

**ZONAS DE INUNDACIÓN, RÍOS
JORDÁN Y LA VEGA, TUNJA**

**INUNDATION ZONES, JORDAN
RIVER AND THE VEGA, TUNJA**

**ZONAS DE INUNDAÇÃO,
JORDAN RIOS E LA VEGA,
TUNJA**

**Nestor Rafael Perico Granados
Carlos Andrés Caro Camargo
William Acevedo Agudelo
David Sánchez Bonilla
Maira Dávila Bonilla
Heidy Arevalo Algarra**

Facultad Ingeniería Civil, Universidad
Santo Tomas, Tunja, Colombia

nestor.perico@usantoto.edu.co,
Carlos.caro@usantoto.edu.co,
willy21.m2@gmail.com,
davidmarcel30@gmail.com,
alejadabo-26@hotmail.com,
heidy.arevalo@usantoto.edu.co

Fecha de Recepción: 1 de septiembre de 2018

Fecha aprobación: 13 de agosto de 2019

Resumen

El presente artículo aborda la problemática de las inundaciones en la ciudad de Tunja a partir del registro de información clave, hasta el año 2016, de los ríos Jordán y La Vega en su recorrido por la ciudad (11,5 Kilómetros aprox.). Se observan las condiciones en las que se encontraban las secciones de cada río en cuanto a la eficiencia en la conducción del fluido, presencia de desechos, ganado y canalización. Igualmente, este registro comprende la identificación de las principales estructuras de paso vehicular y peatonal y los vertimientos directos que se encuentran en su recorrido. El estado general en que se encontraron los ríos demostró una convivencia deficiente de la ciudad con los mismos, y se evidenció una contaminación del recurso hídrico traducida en la presencia de mosquitos, malos olores, ganado vacuno dentro del cauce de los ríos, vegetación espesa, presencia de escombros de tamaño considerable, de pesadas estructuras de paso que fallaron en anteriores olas invernales e invasión de su ronda.

Palabras clave — zonas de inundación, emergencia, modelo hidrológico, modelo hidráulico.

Abstract

This article addresses the problem of flooding in the city of Tunja from the registration of key information, until 2016, of the Jordan and La Vega rivers on their tour of the city (approx. 11.5 kilometers). The conditions in which the sections of each river were located in terms of efficiency in fluid conduction, presence of waste, livestock and channeling are observed. Likewise, this register includes the identification of the main vehicle

and pedestrian passage structures and the direct pours that are in its route. The general state in which the rivers were found showed poor coexistence of the city with them, and a contamination of the water resource translated into the presence of mosquitoes, bad smells, cattle within the riverbed, was evident, thick vegetation, presence of debris of considerable size, of heavy passing structures that failed in previous winter waves and invasion of its round.

Keywords. Flood zones, emergency, hydrological model, hydraulic model.

Resumo

Este artigo aborda o problema das inundações na cidade de Tunja a partir do registro de informações-chave, até 2016, dos rios Jordan e La Vega em sua turnê pela cidade (cerca de 11,5 quilômetros). As condições em que as seções de cada rio foram localizadas em termos de eficiência na condução de fluidos, presença de resíduos, gado e canalização são observadas. Da mesma forma, este registro inclui a identificação das estruturas principais de passagem do veículo e dos peões e as vendas diretas que estão na sua rota. O estado geral em que os rios foram encontrados mostrou má coexistência da cidade com eles, e uma contaminação do recurso hídrica traduzida na presença de mosquitos, maus cheiros, gado dentro do leito do rio, era evidente, vegetação espessa, presença de detritos de tamanho considerável, de estruturas pesadas que falharam em ondas de inverno anteriores e invasão de sua rodada.

Palavras chave. Zonas de inundação, emergência, modelo hidrológico, modelo hidráulico

Introducción

En la segunda década del siglo XXI se ha incrementado el consumismo de forma alarmante, tanto que corre peligro la existencia humana [1] (Leonard, 2010). Al respecto, se disminuye todos los días la cobertura vegetal en el mundo y lleva al fenómeno de las inundaciones, que son afectaciones globales que causan problemáticas devastadoras en la sociedad, la economía y pérdida de vidas de una población [2] (Fernandez & Buss, 2016). En América Latina entre los años 2002 y 2011 se presentaron 4.130 desastres, con 1.117.527 personas fallecidas. En esta región se presenta el fenómeno del Niño y de la Niña y es vulnerable ante factores como la urbanización, uso de suelo, recursos naturales, disminución de la cobertura vegetal y condiciones socioeconómicas [3](Khamis & Osorio, 2013), [4](Perico, Garavito, & Suárez, 2014). Las variaciones climáticas que se presentan generan frecuentes anomalías en la precipitación que impactan la sociedad y sectores productivos. En Colombia muy parcialmente estamos preparados para estos impactos generados por las inundaciones [5](Carvajal, 2011). En el periodo invernal (2010-2011) y a causa del fenómeno de la niña, se presentó la afectación a 5.2 millones de personas (11.3% de la población del país) en 1.027 municipios, con pérdidas superiores a 9,1 billones de pesos [6] (Senado, Carvajal, & Avila, 2013).

En este sentido, en Mocoa (Putumayo) las lluvias ocurridas en el periodo del 1 al 10 de abril de 2017 causaron una avalancha de lodo y rocas por el desbordamiento de los ríos Mocoa, Mulato y Sangoyaco. Las familias damnificadas fueron 4.506, las personas heridas 332 y 316 personas fallecidas, con 17 barrios afectados [7] (Cruz Roja Colombiana, 2017). En Antioquia, una avenida torrencial en el municipio de Salgar, el día 18 de mayo de 2015

generó una inundación por el desbordamiento de la quebrada la Liboriana, con 69 personas fallecidas y con pérdidas de 354.120 millones de pesos [8](Perico y Perico, 2015b). En este municipio según el DNP (Departamento Nacional de Planeación) se han reportado 22 eventos de emergencia entre 1999 y 2014, con 13 inundaciones [9](Espitia, 2017). Igualmente, en la vereda La Chapa del municipio de Tasco, se han generado de forma cíclica avalanchas cobrando la vida de cerca de cincuenta muertos en los últimos años [10] (Perico & Pachón, 2015a). La deforestación en Boyacá es una causa de la desestabilización de los suelos, donde a medida que pasa el tiempo se generan importantes pérdidas de la cobertura boscosa. En los años 1985 a 2003 se dio una pérdida de cobertura boscosa de 10.16% del área del departamento, lo que corresponde a 235.581,16 has [11](Perico, Garavito, & Suárez, 2014).

La ciudad de Tunja, capital del departamento de Boyacá y ubicada sobre la Cuenca Alta del Río Chicamocha, ha manifestado una deficiente convivencia y gestión de los flujos de agua que pasan por ella, ocasionando problemas de salubridad y de inundaciones [12] (Manrique, Manrique, Manrique, & Tejedor, 2006). Las inundaciones generadas por la ola invernal generada por el fenómeno de la Niña entre los años 2010 y 2011 superan los ciento cincuenta mil metros cuadrados [13](Perico y Perico, 2015b). Tales antecedentes hacen necesario el desarrollo de una caracterización del fenómeno de inundaciones ante las nuevas condiciones que presenta la ciudad en cuanto a su crecimiento y manejo del recurso hídrico [14]((CEPAL) & (BID), 2012). Al respecto, esta investigación plantea el uso de un modelo hidrológico e hidráulico para la generación de mapas de inundaciones en la ciudad de Tunja, basado en el estado de los ríos Jordán y La Vega que permite

aproximar las condiciones a las que se enfrenta la ciudad ante una eventual creciente.

Elementos teóricos

Los modelos hidrológicos son una representación simplificada del sistema físico de una cuenca hidrológica que dependiendo de la necesidad y capacidad del software usado, es capaz de predecir el valor de la escorrentía ya sea en un mes o en una tormenta individual [15] (IDEAM, INSTITUTO DE HIDROLOGIA, 2014). En este sentido, el programa HEC-HMS aplica el método de transformación lineal de la escorrentía que calcula el hidrograma de una cuenca a partir de datos físicos y de precipitación [16] (Garrido, 2008). Para un modelo hidrológico se analizan los eventos de lluvia vinculados directamente a la zona de estudio. La forma más común de hacer esto es utilizar una forma de diseño o un evento que involucre una relación entre la intensidad de lluvia (o profundidad), la duración y las frecuencias o periodos de retorno, por medio de las curvas IDF (curvas intensidad, duración y frecuencia) [17] (Chow, Maidment, & Mays, 1994). Para el análisis morfométrico de una cuenca hidrográfica se determinan características como el tiempo de concentración, como tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de descarga de salida [18] (Vélez Upegui & Botero Gutiérrez, 2011).

El método de abstracción desarrollado por el Soil Conservation Service (1972) calcula las abstracciones de la precipitación de una tormenta. Este emplea el número de curva como parámetro adimensional, en el que se evalúa la capacidad de infiltración del suelo a partir de su uso y características geológicas. Se presenta la clasificación de los suelos, en grupos

hidrológicos de acuerdo a la capacidad de infiltración. Los grupos son [19] (CORPOBOYACÁ, UPTC, 2006): Grupo A: potencial de escurrimiento bajo, suelos con altas capacidades de infiltración cuando están completamente húmedos, principalmente arenas y gravas muy bien ordenadas. Suelos con alta transmisión de agua. Grupo B: suelos con capacidad de infiltración moderada cuando están completamente húmedos, principalmente suelos medianamente profundos y drenados, con textura de sus agregados variando entre moderada y muy fina. Tienen velocidades medias de transmisión del agua. Grupo C: suelos con capacidad de infiltración baja cuando están completamente húmedos, principalmente suelos que contienen una capa que impide el movimiento hacia abajo o suelos con textura fina. Estos suelos tienen baja transmisión de agua. Grupo D: suelos con capacidades de infiltración muy bajas cuando están completamente húmedos. Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos. Suelos con transmisión del agua muy baja.

De otro lado, el tránsito de caudales es un procedimiento para determinar el tiempo y la magnitud del caudal en un punto de un curso de agua utilizando hidrogramas conocidos o supuestos en uno o más puntos aguas arriba [17] (Chow et al., 1994). El modelo numérico de HEC-RAS 4.1 tiene en cuenta como base de análisis el uso del principio de la conservación de la energía, la energía específica del flujo y de la ecuación de cantidad de movimiento. El principio de conservación de la energía establece que la altura de energía total considerada en dos secciones del mismo sistema, deben ser iguales (suma de energía potencial y cinética), considerando las pérdidas de la segunda sección (Chow et al., 1994). Con relación a las fuerzas de inercia y gravedad

presentes en un flujo en una superficie libre, el flujo se puede clasificar como: crítico: si su velocidad media es igual que la velocidad de una onda de gravedad de pequeña amplitud (Numero de Froude igual a la unidad). Subcrítico: si la velocidad de flujo es menor que la velocidad crítica (Numero de Froude menor que la unidad). Supercrítico: si la velocidad media del flujo es mayor que la velocidad crítica del flujo (Numero de Froude mayor que la unidad) [20] (Bladé, Sánchez-Juny, Sánchez, Niñerola, & Gómez, 2009); [21](Duarte, 2004)

Materiales y métodos

Metodología

Fase 1: Delimitación de la zona de estudio. La zona de estudio de la investigación corresponde a la subcuenca del río Jordán ubicada al suroccidente del municipio de Tunja; perteneciente a la red hidrológica de la cuenca alta del río Chicamocha y que comprende los cauces del río Jordán y el río La Vega o Farfacá. La longitud total de la subcuenca es de 47.72 km, con un área de 31.800 hectáreas. El análisis del río Jordán, para la comprensión del fenómeno de inundaciones dentro de la ciudad de Tunja, se analizó a partir de predios que conectan el barrio Ciudad Jardín con la Avenida Circunvalar. El punto final se ubicó 320 metros más adelante del puente del sector Green Hills, para una extensión de 9 kilómetros con 380 metros aproximadamente. El río La Vega se analizó a partir del Barrio Doña Limbania, 100 metros antes del puente que comunica a Tunja con el municipio de Moniquira y la ciudad de Bucaramanga. El punto final de estudio de este río se ubicó en la unión con el río Jordán próxima a la carrera 6 con calle 45, para una extensión de 2 kilómetros con 60 metros aproximadamente.

Fase 2: Recopilación de la información. En esta etapa se recopiló información necesaria como la normatividad y caracterización de la subcuenca del río Jordán, los antecedentes sobre inundaciones en la ciudad de Tunja. Igualmente, la bibliografía correspondiente a la comprensión y obtención de variables hidrológicas, hidráulicas y geológicas y por último información con parámetros topográficos, hidrológicos y geológicos, validada o elaborada por entidades estatales y/o expertos en el tema.

Fase 3: Reconocimiento en campo de los ríos Jordán y La Vega. La descripción del estado de los ríos consistió en la caracterización y toma de registro fotográfico por tramos, de la presencia de vegetación, ganado y estado de canalización y condiciones generales del fluido. También, el registró de puentes y box culverts, el cual incluyó las dimensiones de la sección interna y las aletas de entrada y de salida, estado y ubicación.

Fase 4: Modelo de lluvia – escorrentía HEC-HMS 4.1 de la subcuenca del río Jordán. En el área de análisis de la subcuenca Jordán, (río La Vega y su confluencia), se estableció de acuerdo a un criterio de extensión, a través del software ArcGis 10.2. El tiempo de concentración está en función de la longitud del cauce y teniendo en cuenta el criterio de pendiente (Chow et al., 1994). La información obtenida de curvas intensidad, duración y frecuencia se basó en los coeficientes establecidos y por medio de las estaciones climatológicas de los municipios de Combita, Motavita, Oicatá y Tunja para periodos de retorno 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años. Los hietogramas de diseño, fueron expresados y derivados del análisis de las curvas IDF. Considerando el tiempo de concentración, calculado de cada cauce, se estableció una duración de la tormenta de diseño de tres horas (3) y treinta minutos (30), con intervalos

cada treinta (30) minutos, con un grado de respuesta evaluado en el hidrograma de dos (2) horas y treinta (30) minutos. Sobre la información GIS acerca de las formaciones geológicas y el uso del suelo de la subcuenca del río Jordán, se estableció el grupo hidrológico de suelo asignado a las formaciones geológicas en las zonas de estudio y el número de curva establecido de acuerdo a los usos del suelo.

La relación de caudal y almacenamiento, ante las características de las tormentas de diseño definidas en el modelo hidrológico HEC-HMS 4.1, estableció la necesidad de determinar los parámetros K y X, donde K es la constante de propagación y X es el factor de ponderación de los ríos Jordán y La Vega, que confluyen, para cada periodo de retorno definidos en la curva IDF

Fase 5: Modelación hidráulica subcuenca urbana del río Jordán HEC-RAS 4.1. Para el programa HEC-RAS 4.1, se requirió el uso de un régimen permanente, gradualmente variado, con la incorporación de valores constantes de caudal en el extremo aguas arriba de cada tramo de estudio. La asignación del número de Manning a cada sección transversal en el programa HEC-RAS 4.1., se realizó a través de un análisis visual de las visitas de campo de seguimiento del curso del río y un registro fotográfico favorable de dichas condiciones. El cálculo del perfil de la lámina de agua consideró el uso de un régimen de flujo mixto de acuerdo a su energía específica (subcrítico y supercrítico).

Fase 6: Generación de mapas de inundación. En esta fase se elaboraron mapas para 4 sectores de la ciudad (sector 1: con el software ArcGis 10.2), con base en los resultados exportados de la simulación hídrica en HEC-RAS 4.1, para cada periodo de retorno. Estos mapas delimitan la huella de inundación en

función de la altura lámina de agua, indicando los barrios que se ven afectados.

Resultados y análisis

Reconocimiento en campo

Se llevaron a cabo varias visitas de reconocimiento en campo, entre el 27 de septiembre y el 3 de octubre de 2015 para establecer el estado actual y registro de estructuras de los ríos La Vega y Jordán. Para el Río Jordán se revisó desde Ciudad Jardín – Barrio San Antonio (hasta Carrera 4C- Calle 10). Desde su inicio se observó una sección trapezoidal parcialmente definida, con la constante presencia de vegetación dentro del río y maleza en los taludes. En épocas secas, algún vertimiento. En el barrio Sol de Oriente se manifiesta la presencia de ganado que es usado para la producción de leche. En el siguiente desde San Antonio (desde Carrera 4C – Calle 10) – Glorieta Viaducto, hasta la Casa del Gobernador: En este tramo se evidenció una canalización en concreto reforzado, que pasa por los barrios Patriotas, San Antonio y Fuente Higueras, con puntos en los que las secciones de concreto poseen fisuras, hundimientos y obstrucciones por maleza o desechos. La presencia de algunos vertimientos y basuras provocan olores fuertes en unos sectores.

En el sector de la Glorieta Viaducto, Casa del Gobernador, hasta la unión de los ríos La vega y Jordán. En este tramo la sección del río no está canalizada y se apreció mayor cantidad de árboles, maleza y plantas que entorpecen el flujo de agua y aumentan la capacidad de absorción de los taludes de tierra que conforman estas secciones. Allí, varias casas de los barrios Bosques de Guaguani, Mesopotamia y Santa Inés no respetan la ronda hídrica del río Jordán y se ubican muy cerca de éste

(Perico y Perico, 2015b). Se evidencia una canalización en concreto reforzado que recorre 2.5 kilómetros de la ciudad aproximadamente (K2+260 – K4+840), en mal estado. Los olores son más fuertes y hay una mayor cantidad de desechos, con respecto a los tramos anteriores. En el tramo del Río Jordán a partir de sus confluencias con el río La Vega el recorrido presenta una sección definida por taludes que en su mayoría se ven invadidos por maleza, arbustos, árboles y escombros de estructuras y hay más presencia de ganado en unos tramos. En unos sectores el río se estanca por exceso de escombros y vegetación.

De otro lado, para el río La Vega se comenzó desde el Barrio Doña Limbania al Pozo de Donato. Allí, se evidencia un exceso de maleza, vegetación y árboles. En épocas secas se aprecia un leve estancamiento de aguas en unos sectores, que genera la presencia de mosquitos y vectores potenciales de enfermedades. Dentro de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, se observa el mismo caso. Tampoco, hay barreras entre los andenes y el río que disminuya el riesgo de caídas de los peatones, aspecto que preocupa dado que, en las secciones encontradas, superan los seis metros de altura. Igualmente, desde el Barrio Pozo Donato a la confluencia con el río Jordán se aprecia una invasión de la ronda más crítica. Allí, los muros próximos al río de varias casas del barrio Pozo Donato y otros establecimientos están a tan solo tres metros de los taludes que conforman el cauce del río.

De otro lado, en el río Jordán por su paso en la ciudad de Tunja hasta su unión con el río La Vega, se encontraron 15 estructuras hidráulicas y 20 de paso, con 12 box culvert, una alcantarilla doble y 6 puentes. En el río La Vega se tienen 7 puentes o estructuras de paso y una estructura hidráulica (box culvert). Luego

de la intersección entre los dos cauces se dan 7 estructuras de paso (puentes). Así mismo, a lo largo del paso de los cauces estudiados se dan vertimientos directos a los ríos. Para el río Jordán se tienen 17 puntos de vertimientos y en el río La Vega no se dan vertimientos directos al río, pero luego de su unión con el río Jordán se determinaron 8 puntos de vertimientos. Igualmente, se encontraron 55 puntos de descarga de agua pluvial.

Modelo Hidrológico De Lluvia – Escorrentia HEC-HMS

4.1

La delimitación de cada río en la subcuenca del Jordán se consideró a partir del criterio de longitud para identificar el flujo principal de los mismos. En este caso se definió el intervalo entre 6 y 7 kilómetros. El tiempo de concentración obtenido para los ríos Jordán, La Vega y su confluencia fue de 2,57; 2,21 y 2,38 horas respectivamente. Esta variable representa el tiempo para que todo el sistema contribuya a la generación de flujo en el sitio de desagüe.

El grado de respuesta de la subcuenca evaluado en el hidrograma fue de dos (2) horas y de treinta (30) minutos. Las curvas de intensidad, duración y frecuencia se tuvieron en cuenta en coeficientes que varían según la ubicación de la estación climatológica para periodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años. En este caso se usaron los coeficientes para estaciones ubicadas en los municipios de Combita, Oicatá, Motavita y Tunja.

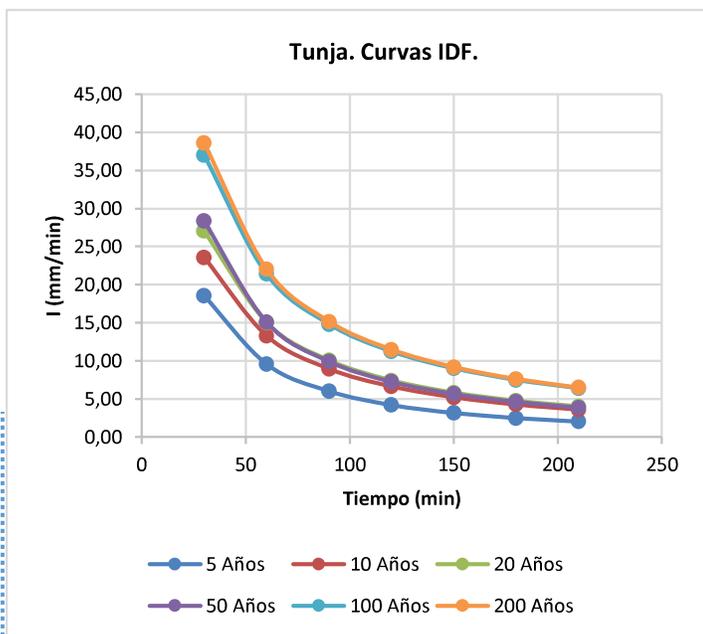
Se calcularon las curvas IDF para las estaciones mencionadas, teniendo en cuenta el porcentaje de área de aportación de cada estación sobre cada río y se tuvieron en cuenta los coeficientes de tiempo de duración (Td) y según las variaciones del lugar y el periodo de retorno (C, e, f). La representación gráfica de las curvas IDF, en el caso de la estación ubicada en Tunja se observa en la Fig. 1.

Tabla 1. Coeficientes Método Wenzel para Combita, Oicatá, Motavita Y Tunja.

Río	Área total (m ²)	Estación			
		Motavita	Cómbita	Oicatá	Tunja
		a			
		%	%	%	%
Jordán	263190 14,3	0	0	0	100
La Vega	787140 64,8	62	0	0	38
Jordán + Vega	109166 35,9	56	0	20	24

Fuente: Autores.

Fig. 1 Curva de intensidad-duración-frecuencia para Tunja.



Fuente: Autores.

Tabla 2X. Porcentaje de aportación según estación y río.

Ubicación	Td	C	e	f
Cómbita	5	1043	1,1	18
	10	724	0,9	9
	20	850	0,9	9
	50	830	0,9	7
	100	831	0,9	6
	200	843	0,8	5
Oicatá	5	2580	1,3	55,2
	10	1661	1,2	26
	20	1822	1,1	24,1
	50	1727	1,1	18,1
	100	1704	1	15,4
	200	1712	1	13,6
Tunja	5	3804	1,4	88
	10	2342	1,2	40
	20	2603	1,2	37
	50	2473	1,2	28
	100	2449	1,1	24
	200	2477	1,1	22
Motavita	5	6023	1,4	121
	10	5343	1,3	84
	20	6030	1,3	80
	50	6346	1,3	69
	100	6622	1,2	63
	200	6950	1,2	59

Fuente: Autores

Se establecieron hietogramas de acuerdo a los de retorno establecidos para las curvas e intensidad,

duración y frecuencia. La información sobre los mismos fue incluida en los datos de entrada para la evaluación del modelo de lluvia – escorrentía en HEC-HMS, ver Fig. 2.

En una eventual creciente el río La Vega es el cauce que transporta mayor proporción de recurso hídrico (80% a 86% aproximadamente). Los valores de caudal para el río Jordán del Anexo Técnico Físico Biótico del Plan de Ordenamiento Territorial de Tunja, para el año 2014 representan condiciones normales que no superen los valores obtenidos de acuerdo a la simulación para la tormenta de diseño, como periodo de retorno de 5 años. Por lo tanto, se indica que no

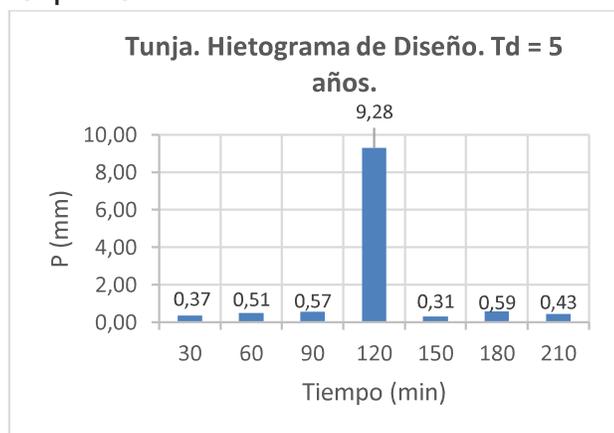
pueden ser valores de referencia al considerar que este modelo establece condiciones críticas de precipitación.

Tabla 3. Valores máximos de caudal de acuerdo a periodo de retorno.

Rio	Caudal (m ³ /s)					
	T= 5 años	T=10 años	T=20 años	T=50 años	T=100 años	T=200 años
Jordán	2	4,8	6,9	7,2	18,2	19,1
La Vega	12,5	24,7	34,8	43,6	103,1	114,6
Jordán + La Vega	14,6	29,5	42,1	51,4	121,8	134

Fuente: Autores.

Fig. 2. Hietograma para Tunja, tormenta de t=5 años, bloques alternos.



Fuente: Autores

En comparación con hidrogramas realizados en el estudio de Modelización Hidrodinámica para Identificación de Zonas Inundables en la Ciudad de Tunja se observa que el caudal de salida máximo de crecida en el río La Vega es de 11 m³/s. Este caudal está asociado a un periodo de retorno de 10 años con un tiempo de respuesta de 2 horas y 50 minutos. Para este estudio se obtuvo un valor de 24,7 m³/s de

caudales máximos en este río, en el mismo periodo de retorno. Para Jordán se obtuvo un valor de 4.8 m³/s de caudal máximo para el tiempo de retorno de 10 años, en la parte alta del río antes de su unión con el río La Vega. En este estudio se obtuvo un valor de 33.7 m³/s y un tiempo de respuesta de 1 hora y 40 minutos. De otro lado, luego de la unión entre los dos cauces se tiene un caudal de 29,5 m³/s y en los hidrogramas del estudio se tuvo un caudal máximo de 42.4 m³/s con un tiempo de respuesta de 3 horas y 10 minutos. Para los periodos de retorno de 50 y 100 años se obtuvo un caudal de 51,4 m³/s y 121,8 m³/s respectivamente. Estos caudales son los encontrados para el Río Jordán y su intersección con el río La Vega. En este estudio se encontró para el periodo de 50 años un caudal de 76.3 m³/s y 94.7 m³/s para un periodo de retorno de 100 años. Las variaciones en los caudales se presentan debido a los intervalos usados para el modelo en el software HEC-HMS, ya que en el presente estudio se hizo de 6 a 7 Km y en este estudio se hicieron con 19.98 Km para el río La Vega, 11.48 Km para la sección de la subcuenca del Río Jordán Alto y 4.2 Km para la subcuenca del río Jordán Bajo [22] (Bayona, 2017).

Los aumentos progresivos en el caudal con respecto a los periodos de retorno para la ciudad de Tunja y en especial para la zona Andina es debido a que el ciclo hidrológico anual en Colombia está afectado en gran magnitud por el fenómeno de ENSO, el cual ocasiona que se presenten mayores caudales y riesgo de fenómenos extremos durante la fase de la Niña y un déficit pronunciado de caudal en el fenómeno del Niño [23] (Bedoya, Contreras, & Ruiz, 2010). Dentro de los factores físicos que influyen en la variabilidad del régimen hidrológico de una cuenca se encuentra la cobertura vegetal de la superficie, donde se considera que este factor está implicado con el comportamiento de la oferta hídrica anual, semestral

y mensual, los cuales definen los tiempos de concentración, características de almacenamiento y regulación superficial. El cambio, en este factor es una problemática, dado que el caudal de los ríos puede aumentar generando crecientes, porque se presentan cambios en la precipitación y en la cobertura vegetal. Entonces, por la falta de cobertura en la cuenca se disminuye el tiempo de concentración, se aumenta la escorrentía y hay deficiencia en la infiltración por parte del suelo [24](Dominguez, 2014).

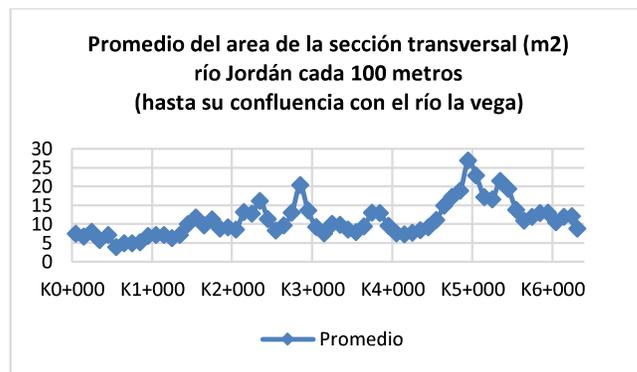
Modelo Hidráulico HEC-RAS 4.1.

Por medio de la extensión ArcGis 10.2 – Extensión HEC GEO- RAS se generaron secciones transversales cada 10 metros, debido a que si se generan a menor distancia (mayor precisión) se pueden generar cruces y errores en la modelación. En la simulación generada se evaluó el comportamiento de las tormentas de diseño con periodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años. No se consideró el uso del módulo de estimación de transporte de sedimentos y se trabajó sobre el régimen permanente gradualmente variado en el cálculo del perfil de la lámina de agua. La dirección transversal y vertical de la velocidad en cada sección transversal no se consideró (solo se consideró la velocidad con dirección de la alineación del conducto), lo que significa que el flujo simulado fue comprendido a través de una hipótesis unidimensional y se asignó un solo valor de esta variable por sección transversal. Se obtuvieron los valores correspondientes a los periodos de retorno evaluados en la simulación y esto se observa en el análisis de la lámina de agua, la cual se muestra en la Fig. 3.

Se analizó la variación del área de la sección transversal de los tramos de estudio, obteniendo este cada 20 metro. Esta variable se analizó con respecto

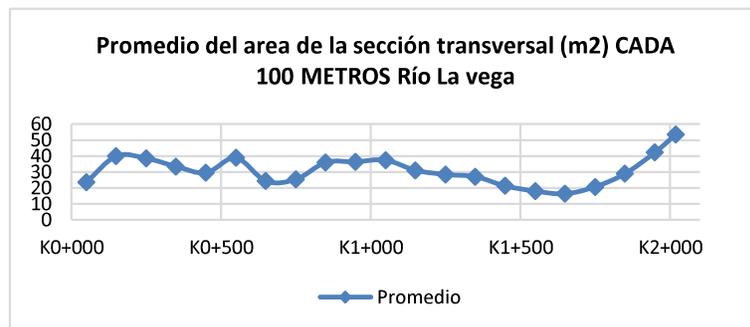
al área promedio que se presentaba cada 100 metros y se observó que el río La Vega posee áreas de sección transversal entre 15 y 55 m², el río Jordán hasta su confluencia con el río La Vega posee áreas de sección transversal entre 4 y 26 m². Se identificó que la menor capacidad de conducción se ubica en este tramo. Por último, en el Jordán a partir de su confluencia con el río La Vega posee áreas de sección transversal entre 27 y 52 m² y se identificó que la mayor capacidad de conducción se ubica en este tramo. La representación gráfica de estos resultados se muestra en la Fig. 4.

Fig. 4. Promedio del área de la sección transversal del río Jordán (hasta la confluencia con el río La Vega).



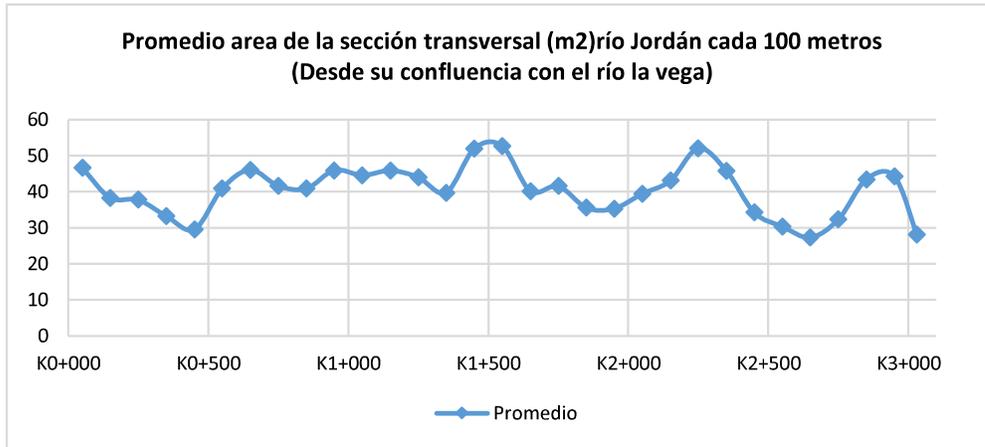
Fuente: Autores

Fig. 5. Promedio del área de sección transversal del río La Vega.



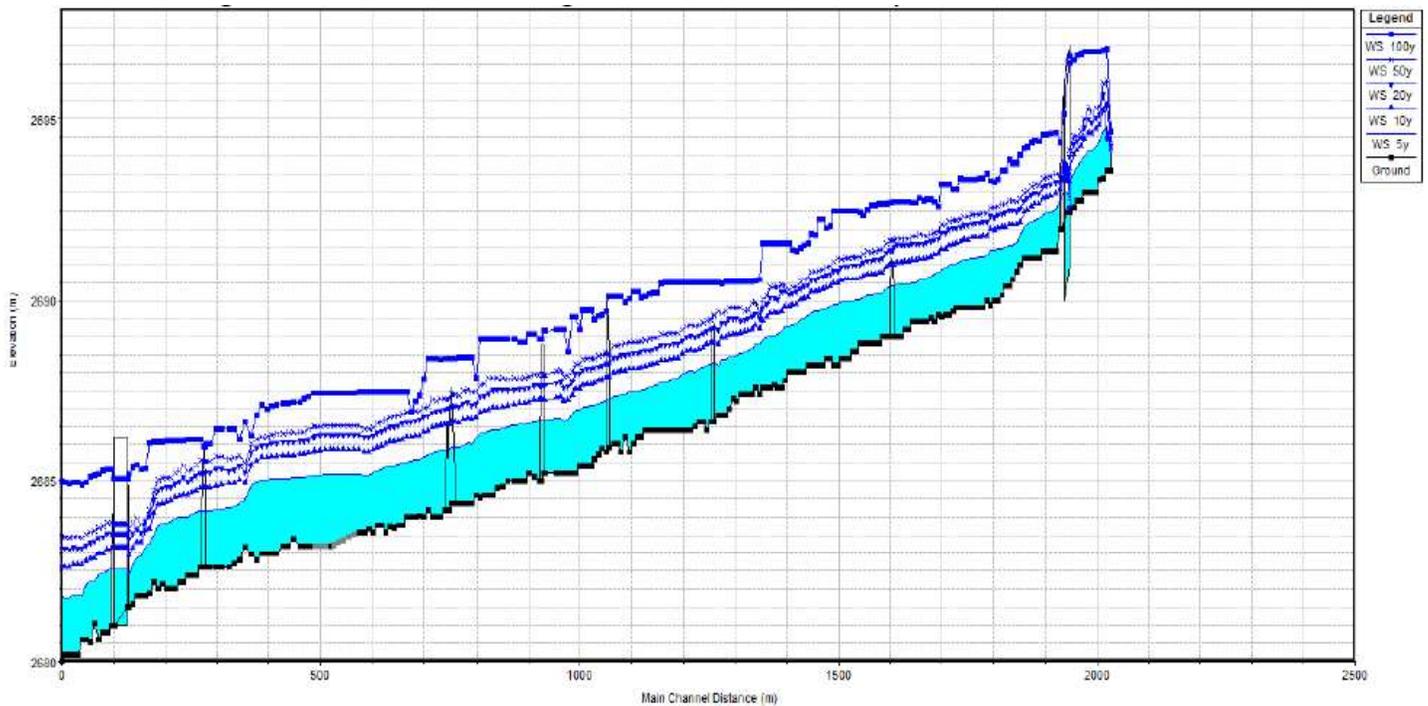
Fuente: Autores

Fig. 6 Promedio del área sección transversal río Jordan (desde su confluencia con el río La Vega).



Fuente: Autores

Fig. 3. Lámina de agua ante diferentes periodos de retorno.



Fuente: Autores

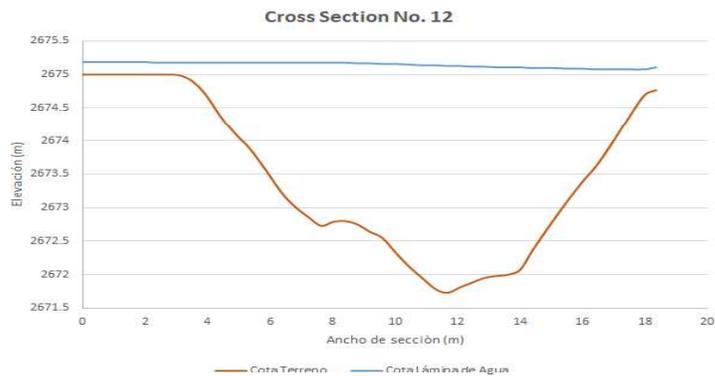
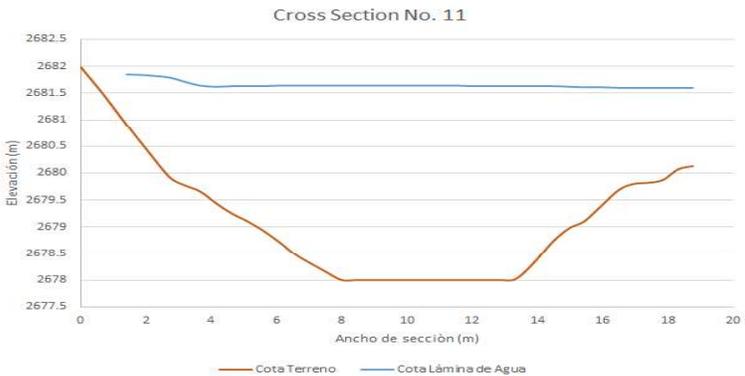
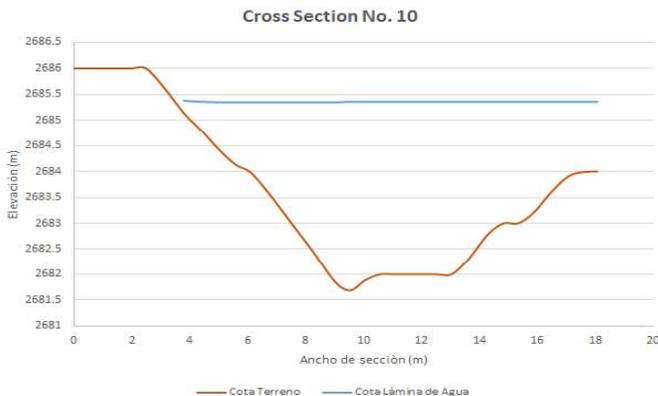
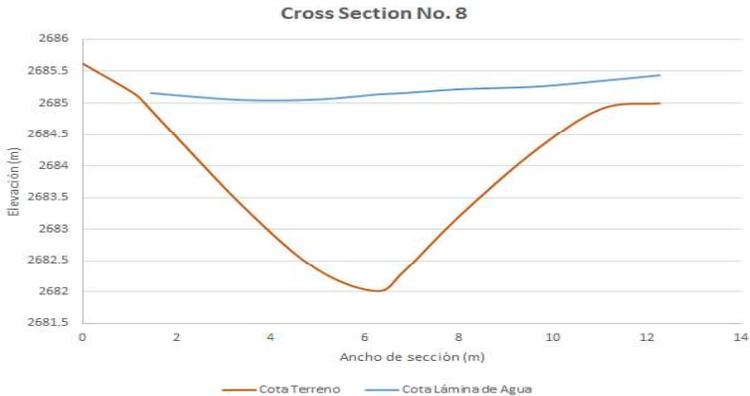
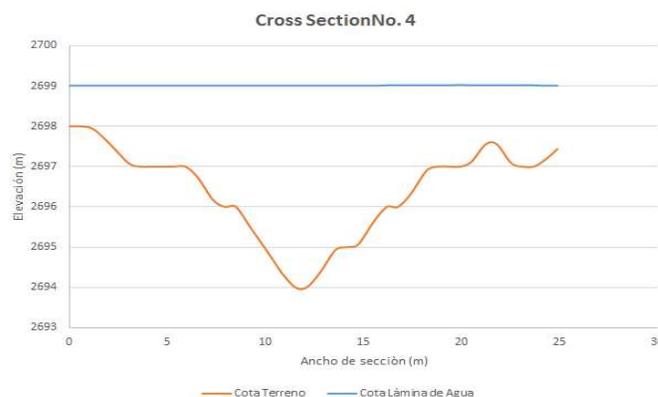
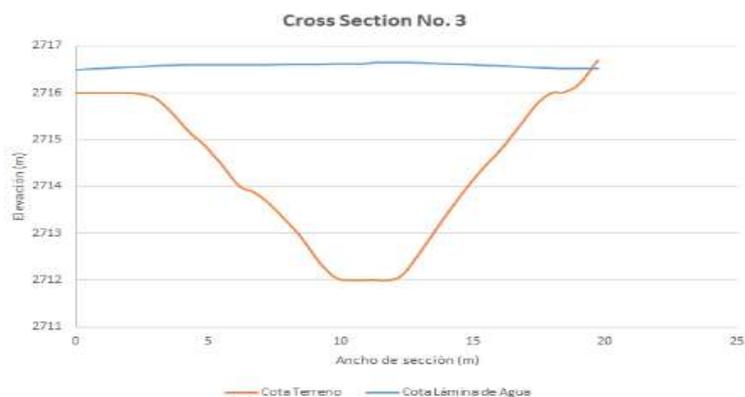
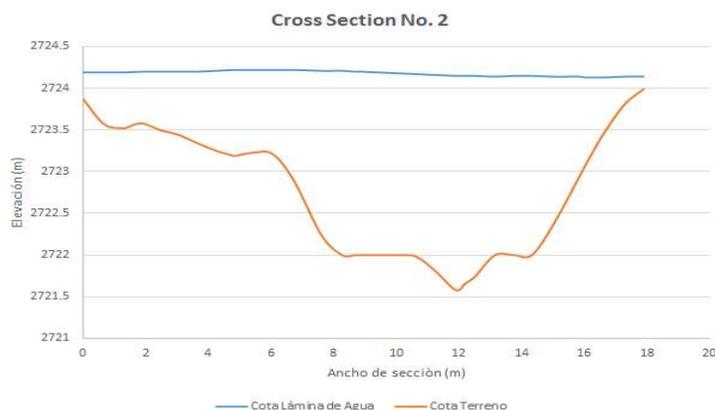
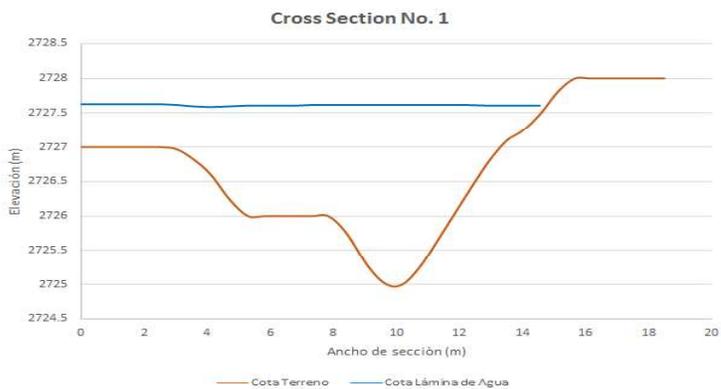
En la Fig. 3 se observa la variación de la lámina de agua con respecto a diferentes periodos de retorno (5, 10, 20, 50 y 100 años), la variación de la elevación se presenta aproximadamente en 5 metros desde la lámina de agua hasta la proyección de aumento de la lámina de agua a los 100 años de periodo de retorno. En la actualidad se presentan puntos de interés en los cuales se da el desbordamiento de los ríos Jordán y La Vega afectando sectores aledaños. Para un periodo de retorno de 50 años, se identificaron ocho (8) puntos de desbordamiento en el río Jordán alto, dos (2) en el río La Vega y dos (2) en la parte baja del río Jordán (unión entre el río Jordán y La Vega) (Bayona, 2017). Las secciones transversales que muestran los puntos de desbordamiento se muestran en la Fig. 7.

El río Jordán presenta un área de sección transversal Entre 4 y 26 m² con baja capacidad de conducción y que comparando con las secciones transversales de la 1 a la 8 (Fig. 7) en un periodo de retorno de 50 años, genera inundaciones en los barrios Cooservicios, San Antonio, Mesopotamia, Las Quintas y Santa Inés y sectores como el Batallón, el Viaducto, estadio La Independencia, Avenida Norte, Pozo Donato. Por otro lado, el río La Vega presenta un área de sección transversal mayor (entre 15 y 55 m²) donde la sección transversal es la 10 de la Fig. 7, con mejor capacidad de conducción. En la confluencia entre los ríos La Vega y Jordán, aumenta las afectaciones por

inundación en el barrio Las Quintas especialmente, donde el área transversal que se presenta es de 27 a 52 m², con un buena capacidad de conducción, las secciones 11 y 12 de la Fig. 7 permiten observar las variaciones en la lámina de agua y cotas del terreno que por cuestiones topográficas de la zona se da la inundación de sectores como Hayuelos y lotes baldíos hasta la glorieta de Green Hills (Bayona, 2017).

La Dirección de Gestión del Riesgo de Tunja reportó que desde el 31 de octubre de 1991 al 2011 se presentaron 29 emergencias por inundaciones, donde los más afectados por las inundaciones fueron los barrios Milagro, Pozo Donato, Las Quintas, Mesopotamia, Santa Inés, Villa Bachue, Bochica, Urapanes, Quince de Mayo y Villa Universitaria. Estas se presentaron debido al flujo lento del agua y por la morfometría de las cuencas. Es importante destacar que esta problemática es mitigable, por medio de obras de ingeniería para manejo de aguas lluvias [25] (Castillo & Ramos, 2016). En este caso de estudio se observa que la población tiende a construir en las rondas de los ríos o zonas susceptibles a inundaciones adyacentes al río, de igual manera se construyen vías paralelamente a los cursos del agua donde las estructuras hidráulicas se diseñan y construyen para su funcionamiento mínimo, sin tener en cuenta aspectos como el mantenimiento y aumentos de caudal en los cauces [26] (Lopardo & Seoane, 2000).

Fig. 7. Puntos de interes susceptibles a desbordamiento.



Fuente: (Bayona, 2017. P, 150-151)

Mapas De Inundación

A partir de la simulación de la tormenta de diseño con un periodo de retorno de 20 años, se manifiesta la inundación progresiva desde el Sur de la ciudad hacia los sectores del Norte. Se aprecia que las zonas

más susceptibles de inundación por el desbordamiento de los ríos Jordán y La Vega, corresponde al sector del Norte de la ciudad y que el área de las zonas de inundadas a cada periodo de retorno se muestran en la Tabla 4:

Tabla 4. Area de inundación total con respecto a periodos de retorno.

Área (m ²)	Periodo de retorno (T)				
	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años
Inundación	480.425	44615.898	97140.917	221159.556	827812.734

Fuente: Autores

Los barrios y/o sectores afectados de acuerdo a cada tormenta y su periodo de retorno correspondiente se mencionan en la tabla 5, con base en cada tormenta.

Tabla 5. Barrios y/o sectores afectados de acuerdo a cada tormenta y periodo de diseño.

Barrios y/o Sectores afectados. T = 5 años.	
Sector	Ubicación
4	Terrenos posteriores a la Clínica Medilaser, Sector Los Muiscas.
Barrios y/o Sectores afectados. T = 10 años.	
Sector	Ubicación
1	Terrenos cercanos al Centro de Rehabilitación Integral de Boyacá
4	Terrenos posteriores a la Clínica Medilaser, Sector Los Muiscas.
	Terrenos cercanos a la Avenida Universitaria.
Barrios y/o Sectores afectados. T = 20 años.	
Sector	Ubicación
1	Terrenos cercanos al barrio Ciudad Jardín (Pinos de Oriente)
	Terrenos cercanos al Centro de Rehabilitación Integral de Boyacá
	Calle 5a Urbanización Bachue.
3	Terrenos UPTC, Barrio La María
	Barrio Pozo Donato.
	Barrio Las Quintas Calle 49a.
	Terrenos Pozo de Donato
4	Calzada Avenida Universitaria.
	Terrenos al frente del colegio Campestre.
	Centro Gastronómico SENA.
Barrios y/o Sectores afectados. T = 50 años.	
Sector	Ubicación
1	Terrenos cercanos al barrio Ciudad Jardín (Pinos de Oriente)
	Terrenos cercanos al Centro de Rehabilitación Integral de Boyacá
	Calle 5a Urbanización Bachue.
3	Terrenos UPTC.
	Escuela Normal Superior.

	Barrios Alameda Universitaria, Santa Inés, Las Quintas, Pozo Donato.
	Terrenos Pozo de Donato
4	Estación de Bomberos - Avenida universitaria
	Terrenos Avenida Universitaria.
	Terrenos posteriores a la Clínica Medilaser, Sector Los Muiscas.
	Centro Gastronómico SENA.
	Terrenos frente al Colegio Campestre
	Terrenos próximos Uniboyaca.
Barrios y/o Sectores afectados. T = 100 años.	
Sector	Ubicación
1	Terrenos cercanos al barrio Ciudad Jardín (Pinos de Oriente)
	Terrenos cercanos al Centro de Rehabilitación Integral de Boyacá
	Calle 5a Urbanización Bachue.
	Terrenos frente a Urbanización Bochica.
2	Colegio Grupo Colombo-Suizo de Pedagogía Especial.
	Terrenos Batallón Bolívar.
3	Terrenos UPTC.
	Escuela Normal Superior.
	Barrios Doña Limbania, Los Lirios, Alameda Universitaria, Mesopotamia, Santa Inés, Las Quintas, Pozo Donato.
	Terrenos Pozo de Donato
4	Estación de Bomberos - Avenida universitaria
	Terrenos Avenida Universitaria.
	Terrenos posteriores al barrio San Antonio del Bosque.
	Terrenos al frente del edificio Belle Ville.
	Terrenos al frente de la Clínica SaludCoop.
	Terrenos en frente de Barrio Reserva Campestre.
	Terrenos posteriores a la Clínica Medilaser.
	Centro gastronómico SENA.
	Terrenos frente al Colegio Campestre
Terrenos próximos Uniboyaca.	

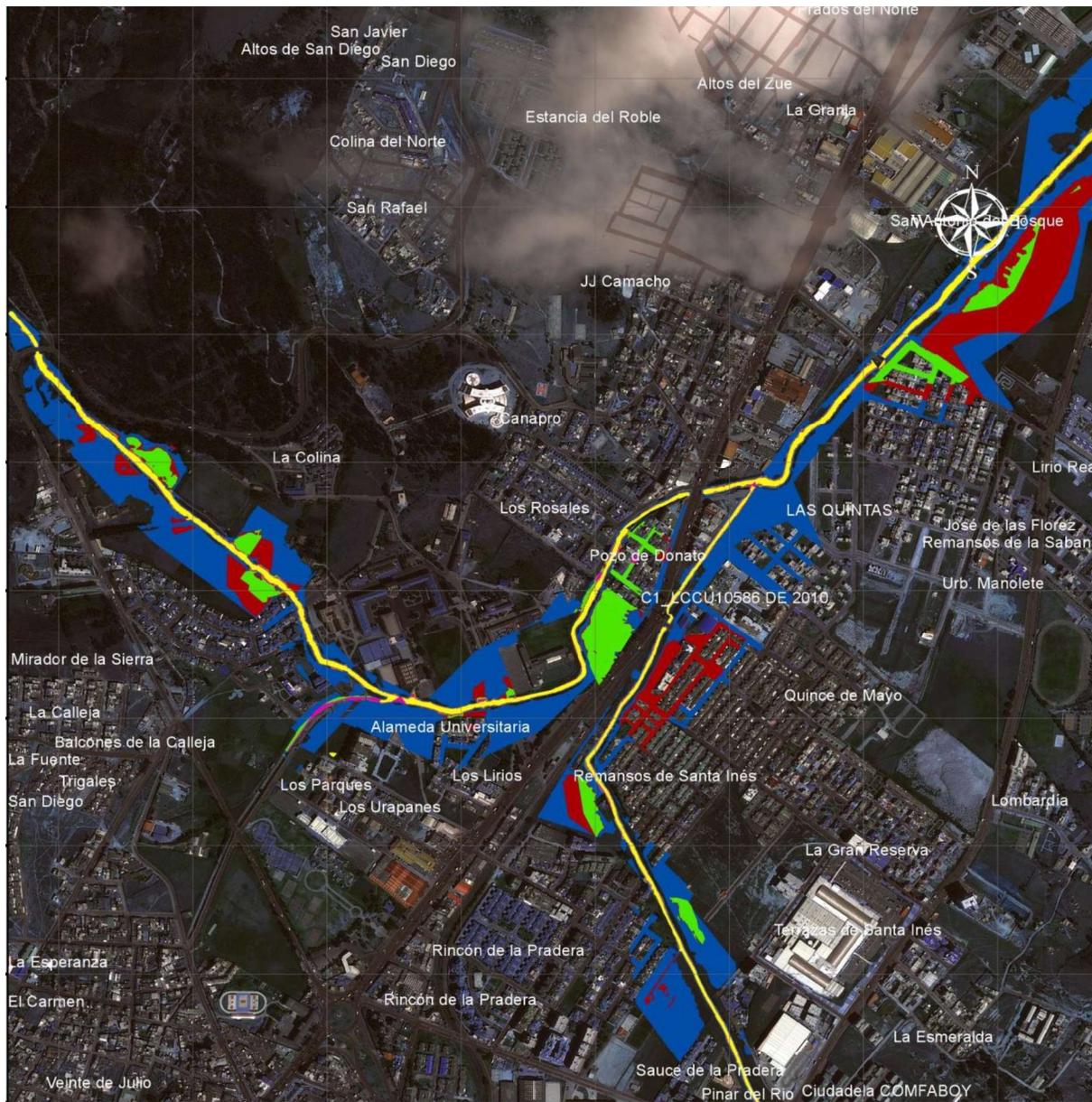
Fuente: Autores

En la Fig. 8, se observa el comportamiento de un sector de la ciudad, ante tormentas con periodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años. De acuerdo a la huella de inundación propuesta para la ciudad de Tunja en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de 2014, se elaboró la comparación con las zonas que muestran inundación obtenidas en el presente estudio. Se definió un 55% de áreas en común con respecto al área total establecida por dicho documento para un periodo de retorno de 100 años. Esto se observa en el Fig. 9. El área de inundación, forma parte de la subzona hidrográfica del río Chicamocha y especialmente sectores aledaños al río La Vega y el río Jordán, el área urbana donde se identifican sectores como San Ricardo, La

Granja – UPTC, Parque Recreacional - La Sexta, UPTC costado derecho, Pozo Donato y Barrio Cristales parte baja, Avenida Universitaria – Barrio Las Quintas hasta el barrio tejares del Norte. Se identifican estas zonas como las vulnerables debido a las condiciones geológicas y geomorfológicas de la cuenca donde corresponden las formaciones geológicas a depósitos de origen cuaternario y que se caracterizan por mantener una geo forma y pendiente constante a lo largo de las zonas de afectaciones [27] (Corpoboyaca, 2013). Por otra parte, el decrecimiento de la cobertura vegetal como árboles en las microcuencas del río Jordán y La Vega ha sido de 30% con respecto a un periodo de análisis de 1985 a 2015, donde simultáneamente se dio

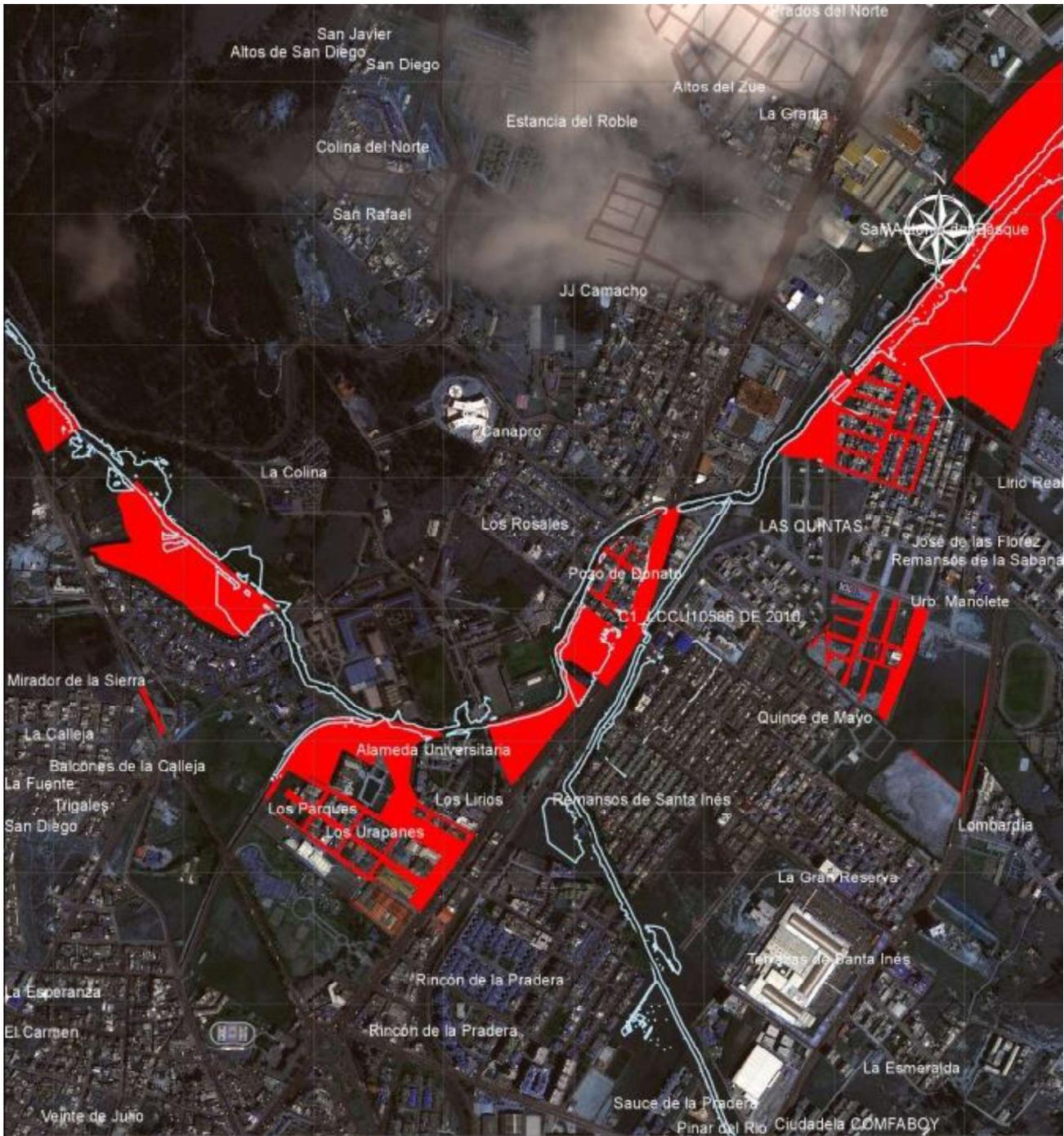
el crecimiento de la población en la ciudad de Tunja del 100%.

Fig. 8. Comportamiento ante tormentas con periodo de retorno de 50 años para Tunja.



Fuente: Autores

Fig. 9. Diagnostico de las zonas de inundación ríos Jordán y La Vega en Tunja, periodo de retorno de 50 años.



Fuente: Autores

Entonces, la infiltración es menor y el tiempo de concentración de aguas lluvias disminuye permitiendo que el cauce de los ríos aumente y el riesgo de desbordamiento también. Es importante en estos casos estudiar, analizar, diseñar, promover y auto gestionar soluciones no convencionales como lo es la reforestación con especies nativas en lugares donde sea posible y así estas ayuden en la retención de aguas lluvias y contribuyendo a la infiltración que se requiere para acuíferos (Perico Granados & Perico Martínez, 2015b).

Debido al crecimiento de la población existe una relación entre el proceso de urbanización desordenados con respecto a ocurrencias de deslizamientos, en especial en áreas geotécnicamente susceptibles. Algunas intervenciones del hombre como cortes, rellenos, deforestación, concentración de aguas lluvias y servidas, determinan en gran parte la ocurrencia de deslizamientos [28] (Suarez Diaz, 1995). Los suelos con consistencia blanda o de baja compacidad son altamente susceptibles a deslizamientos, donde depósitos cuaternarios como arcillas arenosas y suelos algo expansivos con mal drenaje presentan una capacidad portante baja y los cuales son característicos en las zonas aledañas a los barrios las Quintas y los edificios Hayuelos [29] (Alfaro & Torres, 2000). Como propuestas de mejora se recomienda la construcción de muros, gaviones y/o jarillones en zonas como Barrio Villa Bachue, costado del barrio Patriotas, junto al Batallón Bolívar, glorieta de la Casa del Gobernador, barrio Remansos de Santa Inés, Pozo Donato, barrio Las Quintas y zona cercana al Colegio San Viator (Bayona,

2017). Sin embargo, la vegetación por su parte cumple una gran labor en los procesos de estabilidad de suelos y control de inundaciones, debido a que permite la interceptación de lluvia, aumento en la capacidad de infiltración, extracción de humedad del suelo, grietas por desecación, las raíces fuerzan al suelo aumentando la resistencia al corte y anclando el suelo superficial a mantos más profundos, además de retener partículas del suelo disminuyendo susceptibilidad a la erosión (Perico, Garavito, & Suárez, 2014), [30] (Suarez Diaz, 1974). Igualmente, el proceso de reforestación y recuperación del suelo evita posibles avalanchas como las sucedidas en La Chapa, Mocoa y Salgar, sitios en los que han sido trágicas estas acciones generadas por la naturaleza, pero provocadas por el hombre (Perico, Garavito, & Suárez, 2014).

Conclusión y recomendaciones

El estado general en que se encontraron los ríos demostró una convivencia deficiente de la ciudad con los mismos. Se evidencio una contaminación del recurso hídrico, con la presencia de mosquitos, malos olores, ganado dentro del cauce de los ríos, vegetación espesa, presencia de escombros de tamaño considerable.

Tanto el río La Vega como Jordán, se componen de secciones trapezoidales que cambian de tamaño constantemente y son conformadas por taludes naturales con diferente tipo de vegetación. La única canalización dentro de la ciudad corresponde a la del río Jordán, que recorre 2,5 kilómetros de la ciudad

aproximadamente (K2+260 – k4+840) desde la zona Sur (Barrio San Antonio), la cual se encuentra en mal estado en tramos específicos.

Se registró un total de 34 estructuras de paso en los ríos Jordán y La Vega. En situaciones específicas se revisó con base en los mapas de inundación, la posible reducción de la capacidad de conducción de los ríos. Se determina que en los sectores de la Avenida Circunvalar – Barrio Ciudad Jardín. Urbanización Bachue y Electrificadora – Barrio Las Quintas; se presentó dicha situación y la generación unas zonas de inundación está asociado con este hecho.

El modelo hidrológico de lluvia – escorrentía HEC-HMS 4.1, consideró el uso de coeficientes para el cálculo de curvas IDF correspondientes al método de Wenzel, de estaciones meteorológicas ubicadas en los municipios de Cómbita, Motavita, Oicatá y Tunja. Se adoptó un criterio mixto de uso de suelo con base a condiciones antecedentes de humedad AMCIII. El resultado final fue la obtención de caudales máximos para cada río de acuerdo a diferentes periodos de retorno.

Los resultados obtenidos de un modelo hidrológico de lluvia-escorrentía sustentado en valores experimentales para la generación de curvas IDF sobre grandes extensiones de tierra, constituyen valores que pueden llegar a presentar altos márgenes de error al considerar en este caso la falta de instrumentación para la medición de la precipitación en cuencas pequeñas.

El grado de fiabilidad de los modelos hidráulicos depende en gran medida de los resultados del modelo hidrológico y del uso de modelos de elevación digital precisos.

El periodo de mantenimiento de los cauces de los ríos en su recorrido por la ciudad de Tunja, pueden representar una metodología estratégica para el comportamiento adecuado de los mismos.

Referencias

- [1] Leonard, A. (2010). La historia de las cosas, España: fondo de cultura económica de España.
- [2] Fernandez, C., & Buss, S. (2016). Ocurrencia y Gestión de inundaciones en América Latina y el Caribe – Factores claves y experiencia adquirida. BID (Banco Interamericano de Desarrollo), 1-
- [3] Khamis, M., & Osorio, C. (2013). América del Sur: una visión regional de la situación de riesgo de desastres. UNIRDS: Oficina de las Naciones Unidas para la reducción del riesgo de desastres, 1-124.
- [4] Perico, N., Garavito, L., & Suárez, P. (2014). Pedagogía y diagnóstico sobre la variación de la cobertura vegetal, 1985-2011, para Boyacá. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja, 1-14.
- [5] Carvajal, Y. (2011). Inundaciones en Colombia. ¿Estamos preparados para enfrentar la variabilidad y el cambio climático? 1. Revista Memorias, 9, 105-119.
- [6] Senado, K., Carvajal, Y., & Avila, Á. (2013). Análisis de Aspectos que Incrementan el Riesgo De Inundaciones en Colombia. Luna Azul, (37), 219-238. <https://doi.org/10.17151/luaz.2013.37.13>

- [7] Cruz Roja Colombiana. (2017). EMERGENCIA MOCOA - PUTUMAYO. Emergencia Mocoa - Putumayo, 17. Recuperado a partir de <http://www.cruzrojacolombiana.org/sites/default/files/CRCol%2313 EMERGENCIA MOCOA.pdf>
- [8] Perico Granados, N., & Perico Martínez, N. (2015b). Causas De Inundaciones En Tunja Y Propuestas De Solución. ACOFI. Recuperado a partir de <https://www.acofipapers.org/index.php/eiei2015/2015/paper/viewFile/1413/519>
- [9] Espitia, C. (2017). La vulnerabilidad como factor causal directo en el proceso social de materialización del riesgo en desastre. Universidad Católica de Manizales.
- [10] Perico, N., & Pachón, J. (2015a). Corrupción, pedagogía y ética. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería, 1(1), 125. Recuperado a partir de www.acofi.edu.co/eiei2015%5Cn
- [11] Perico, N., Garavito, L., & Suárez, P. (2014). Pedagogía y diagnóstico sobre la variación de la cobertura vegetal, 1985-2011, para Boyacá. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja, 1-14.
- [12] Manrique, F., Manrique, D., Manrique, R., & Tejedor, M. (2006). Contaminación de la cuenca alta del río Chicamocha y algunas aproximaciones sobre la salud humana. Salud Hist.sanind. on-line, 1(1), 13.
- [13] Perico Granados, N., & Perico Martínez, N. (2015b). Causas De Inundaciones En Tunja Y Propuestas De Solución. ACOFI. Recuperado a partir de <https://www.acofipapers.org/index.php/eiei2015/2015/paper/viewFile/1413/519>
- [14] (CEPAL), C. E. para A. L. y el C., & (BID), B. I. de D. (2012). Valoración de daños y pérdidas, ola invernal en Colombia 2010 - 2011., 240. Recuperado a partir de http://www.cepal.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/0/47330/P47330.xml&xsl=/publicaciones/ficha.xsl&base=/publicaciones/top_publicaciones.xsl
- [15] IDEAM (INSTITUTO DE HIDROLOGIA, M. Y. E. A. D. C. (2014). MODELACIÓN HIDROLÓGICA - IDEAM. Recuperado 23 de septiembre de 2018, a partir de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>
- [16] Garrido, M. (2008). Cálculo hidrológico de procesos de lluvia - escorrentía mediante un modelo de aguas someras 2D, 74. Recuperado a partir de www.geama.org/hidraulica/index.php?o=downloads&i=34
- [17] Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. Hidrología aplicada. Recuperado a partir de <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=158911&indexSearch=ID%5Cnhttp://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=BINAI.xis&method=post&formato=2&cantidad=>
- [18] Vélez Upegui, J. J., & Botero Gutiérrez, A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales (Estimation of the time of concentration and the lag time at San Luis creek basin, Manizales). Dyna, 165(165), 59.

- [19] CORPOBOYACÁ, UPTC, U. N. de C. (2006). Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha. Tunja. Recuperado a partir de <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/diagnostico-capitulo2-pomca-chicamocha.pdf>
- [20] Bladé, E., Sánchez-Juny, M., Sánchez, H., Niñerola, D., & Gómez, M. (2009). Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable. Una visión a partir del modelo HEC-RAS. (U. P. de Catalunya, Ed.) (Primera Ed). Barcelona.
- [21] Duarte, C. (2004). Introducción a la Mecánica de Fluidos. (Universidad Nacional de Colombia, Ed.). Bogota. Recuperado a partir de <https://es.scribd.com/document/323306893/Introduccion-a-la-Mecanica-de-Fluidos-Carlos-A-Duarte-pdf>
- [22] Bayona, J. (2017). Modelización hidrodinámica para identificación de zonas inundables en la ciudad de Tunja. Universidad Santo Tomás, Tesis de maestría inédita.
- [23] Bedoya, M., Contreras, C., & Ruiz, F. (2010). Estudio Nacional del Agua. (M. Y. E. A. D. C. IDEAM (INSTITUTO DE HIDROLOGIA, Ed.). Bogota D.C. Colombia. Recuperado a partir de <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/19713>
- [24] Dominguez, E. (2014). Efectos hidrológicos del cambio climático en Colombia. IDEAM, INAP Alta Montaña-PUJ, (June), 31-40. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/235983636_EFECTOS_HIDROLOGICOS_DEL_CAMBIO_CLIMATICO_EN_COLOMBIA
- [25] Castillo, L., & Ramos, S. (2016). Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud. Tunja - Boyacá 2016. Tunja: Alcaldía Mayor de Tunja. Recuperado a partir de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=2ahUKEwiY_v6Vw5jeAhWjo1kKHeeUC7kQFjAFegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.boyaca.gov.co%2FSecSalud%2Fimagenes%2FDocumentos%2Fasis2016%2Fasis-municipal-2016-tunja.pdf&usq=AOvVaw3mOMiMukwm7RA6znZkm
- [26] Lopardo, R., & Seoane, R. (2000). Algunas reflexiones sobre crecidas e inundaciones. Ingeniería del Agua, 7(September 2014), 11-21. <https://doi.org/10.4995/ia.2000.2833>
- [27] Corpoboyaca. (2013). Gestión del Riesgo. CORPOBOYACA.
- [28] Suarez Diaz, J. (1995). Procesos de origen Antrópico. Deslizamientos y estabilidad de Taludes en zonas tropicales, 335-354. Recuperado a partir de <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales.html>
- [29] Alfaro, A., & Torres, A. (2000). Estudios de Amenaza y microzonificación sísmica, vulnerabilidad estructural y evaluación de escenarios de daño. Tunja: Instituto Geofísico Universidad Javeriana. Recuperado a partir de <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales.html>
- [30] Suarez Diaz, J. (1974). Vegetación y Bioingeniería. Deslizamientos y estabilidad de Taludes en zonas tropicales, 275-302.

Recuperado a partir de <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales.html>

[31] Acevedo, W., & Sanchez, D. (2016). Diagnóstico de las zonas de inundación de los ríos Jordán y La Vega en el casco urbano de la

ciudad de Tunja. Universidad Santo Tomas. Tesis Inedita.

[32] Métodos y técnicas de investigación científica - GestioPolis. (s. f.). Recuperado 23 de septiembre de 2018, a partir de <https://www.gestiopolis.com/metodos-y-tecnicas-de-investigacion-cientifica>

/