



HAZARD MAP OF FLOODING IN THE VIUDA MICRO-BASIN, CHITAGÁ, COLOMBIA

MAPA DE AMENAZA POR CRECIENTES SÚBITAS EN LA MICROCUENCA LA VIUDA, CHITAGÁ, COLOMBIA

VILLAMIZAR R., J. ¹, RIVERA, M. E. ², DELAGADO R., J.R ³

¹*Ing. Ingeniera Ambiental. jessica.vrodriguez@outlook.es*

²*Profesor Titular, Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, Tel: 5685303 (ext. 140) e-mail: maes@unipamplona.edu.co*

³*Profesor Asociado. Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, Tel: 5685303 (ext. 140) e-mail: jramondr@unipamplona.edu.co*

Entidad

Ciudadela Universitaria. Km1 Via Bucaramanga, Departamento Ingeniería Civil, Ambiental y Química, Colombia.

Tel: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303 Ext. 140

E-mail: maes@unipamplona.edu.co, jramondr@unipamplona.edu.co

Resumen

Cada día es de gran importancia el análisis de la representación de las componentes hidrológicas y geotécnicas de los cauces cercanos a una zona urbana, dado que hay municipios que se encuentran en crecimiento y que presentan amenazas naturales y deben realizar estudios de zonificación de amenazas por fenómenos naturales que ayuden a la planificación de su desarrollo; las crecientes súbitas son uno de los fenómenos naturales de mayor ocurrencia, por las condiciones climáticas como es el caso de la emergencia ocurrida en el 2015, municipio de Chitagá, Colombia, donde se presentaron desbordamientos de quebradas, causando pérdidas económicas y daños ambientales. La quebrada La Viuda ocupa un área de 2,385km² y una longitud del cauce principal de 5,337 Km con una altura de 2284 m.s.n.m, en cuya vertiente se identificaron usos del suelo agrícola, ganadería. El objeto principal de la investigación fue analizar la amenaza por crecientes súbitas de la quebrada La Viuda. Para ello, se recopiló información básica, características morfométricas, curvas IDF, hietogramas, hidrógramas, identificación de los puntos de muestreo de sedimentos, aforo y nivel, se establecieron ocho (8)





estaciones de muestreo en la parte media y baja de la microcuenca. Se obtuvo que la pendiente promedio de la zona de estudio es de 36.26 %; y se encuentran sedimentos heterométricos incluyendo Depósitos coluviales por deslizamientos, aluviales y sustratos arcillo-limosos. La tendencia a la generación de crecientes repentinas está condicionada por factores permanentes como la naturaleza, la geología, la morfología y la vegetación natural; y en primer orden las características de las precipitaciones (tipo, intensidad, duración, distribución, etc. Por otra parte, a partir de las curvas IDF se estableció que a menor tiempo de duración mayor es la intensidad en función del periodo de retorno; se cuenta con un caudal promedio de 0.053m³/s que es bajo, pero en épocas de alta pluviosidad se presentan crecientes súbitas. Los sedimentos que predominan en el cauce son arenas mal gradadas. Además, el cauce presenta mayor tendencia a sedimentarse que a presentar socavación en su mayoría de los tramos.

Palabras clave: Amenaza, Chitagá, Creciente súbita, Curva IDF, Hec-Ras, Sedimento.

Abstract

The hydrological and geotechnical components representation of the channels close to an urban area are becoming increasingly important, so much so that the municipalities that are growing and presenting natural hazard should advance zoning studies to help plan their development, taking into account that it is one of the natural phenomena of greatest occurrence, due to climatic conditions such as the case of the emergency that occurred in 2015, Chitagá municipality, Colombia, where overflows of streams occurred, causing multiple economic losses and environmental damage. The Viuda stream occupies an area of 2,385 km² and a length of the main channel of 5,337 km up to a height of 2284 m.s.m., on whose slope were identified uses of agricultural land, livestock. The present investigation purpose is to analyze the sudden increase threat of La Viuda stream. For this, basic information, morphometric characteristics, IDF curves, hietograms, hydrograms, identification of sediment sampling points, capacity and level were collected, eight (8) sampling stations were established in the middle and lower part of the microbasin. It was modeled with the software ArcGis 10.2.2 and Hec-Ras 5.0.3. It was obtained: the average slope of the basin is 36.26%; in the study area there are heterometric sediments including colluvial deposits by landslides, alluvial and silty-clay substrates. The tendency to the generation of sudden increases is conditioned by permanent factors such as nature, geology, morphology and natural vegetation; and in first order the characteristics of the precipitations (type, intensity, duration, distribution, etc.). On the other hand, from the IDF curves it was established that the shorter the duration, the greater the intensity as a function of the return period; has an average flow rate of 0.053m³ / s that is low, but in times of high rainfall there are sudden increases, the sediments that predominate in the channel are badly graded sands, and the channel has a greater tendency sediment than to present scour in its majority of the sections.

Keywords: hazard, Chitagá, flooding, IDF Curve, Sediment.





1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a Pardé (1961), la creciente súbita es un hecho hidrológico extremadamente rápido y violento, con un tiempo de concentración mínimo, que provoca altas velocidades, rotura de represamiento, erosión, etc., que ocurre generalmente en zonas de montaña con fuertes pendientes, con enorme capacidad de erosión, transporte de sedimentos y alta peligrosidad por la dificultad de predicción, de manera que no hay tiempo para reaccionar. Así mismo, Garzón 1987 en Ollero 1997, afirma que una creciente a su paso lleva consigo un ascenso del nivel de la corriente, que puede desbordar el cauce, generando aumento del caudal, procesos de erosión y transporte de sedimentos que inciden en la evolución de la cuenca. Así mismo, Walt *et al.*, (1996) considera que una creciente súbita es una amenaza natural muy común y posiblemente la menos estudiada en Colombia; que entre 1985 y 1995 ocurrieron más de 40 avenidas torrenciales altamente destructivas, causando más de 200 pérdidas de vidas humanas y cuantiosos daños a viviendas, sistemas de generación de energía, carreteras y tierras cultivables (Villamizar y Justinico, 2017). Para Ollero 1997, la avenida o creciente torrencial es un proceso natural, sin periodicidad y de grandes consecuencias ambientales, establecido por un aumento importante y repentino de caudal en un sistema fluvial. Por otra parte, Bateman (2007), asocia el tiempo e intensidad de la lluvia que incide en el aumento súbito de la avenida o creciente. También lo afirma Gonzales (2016).

Vale la pena mencionar que estos hechos terminan socavando el lecho y las márgenes del río o quebrada, también pueden originarse a partir de represamientos ocasionados por deslizamientos o desprendimientos en las partes altas de la cuenca, que al romperse

libera una gran cantidad de agua y sedimentos, que se depositan en áreas de menor pendiente.

Se ha encontrado que la precipitación, los caudales picos, la litología y las pendientes son las variables que más inciden en su ocurrencia. Siendo esta la clave empleada para la evaluación y análisis de la acción de la tormenta y posteriormente el evento de crecida en tiempo real, Hibbert, (1967); Bosh & Hewlett, (1982); Ruiz & Gallart, (1997).

Con respecto a la susceptibilidad, es necesario evaluar la resistencia que ofrece el medio a soportar la energía generada por una creciente súbita, sin tener en cuenta la frecuencia y magnitud del evento. En Colombia, el Ministerio de Medio Ambiente (2014) considera que esta es el grado de fragilidad de los diferentes elementos y sectores (económico, social y ambiental) para soportar los eventos amenazantes involucrados dentro del estudio de cuencas hidrográficas. Así mismo, para Alarcón, Richard, Bastidas & Narváez (2016), la susceptibilidad está determinada por el caos en el régimen climático, conflictos por uso inadecuado del suelo, la falta de cobertura, y otros factores que pueden detonar fenómenos adicionales de deslizamientos, represamiento y consecuentes avalanchas, y por supuesto, la potencialidad de afectación es mayor (Rodríguez, 2017). Para la estimación del índice de susceptibilidad es necesario considerar factores importantes como lo son: la pendiente, suelo, cobertura, geomorfología y geología de la cuenca en estudio (Conteras et al, 2016). En otras palabras, la susceptibilidad, generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno, es una propiedad que indica qué tan favorable o desfavorable son las condiciones en las que puede ocurrir un evento.





Para llevar a cabo la zonificación, Varnes (1984) indica que es necesaria la división de la superficie del terreno en áreas y la clasificación de acuerdo con el grado actual o potencial de amenaza; que las zonificaciones geotécnicas se presentan como un importante instrumento técnico que permite definir aspectos como: estimación de grado de amenaza por factores naturales y antrópicos. Según Forero & Dueñas (1994), el término zonificación se puede entender como la subdivisión de un área bajo un criterio establecido, produciéndose una sectorización de acuerdo con los niveles o valores de ese criterio. La zonificación geotécnica consiste en delimitar sectores relativamente homogéneos, con características físico-mecánicas similares, donde se identifican parámetros fundamentales que prevén algunos problemas constructivos que pueden presentarse, además permite conocer la aptitud del terreno para los diferentes usos.

BID (2003), concibe la amenaza como el Peligro latente que representa la posible manifestación de un fenómeno peligroso de origen natural, tecnológico o antrópico dentro de un periodo de tiempo, que puede producir efectos contrarios en el ambiente. Además, se expresa como la probabilidad de que un evento se presente con una cierta intensidad, en un sitio determinado y dentro de un periodo de tiempo definido. Cabe destacar que Cardona (1991), la conceptualizó como el factor de riesgo al que se puede ver expuesto un sistema y que se puede expresar en forma matemática como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un suceso con una cierta intensidad, en un sitio específico y durante un tiempo de exhibición definitivo. La amenaza a crecientes debe ser evaluada en términos de magnitud de caudal o nivel del agua; de igual manera, se debe conocer cuando ocurrieron fenómenos similares, la intensidad y magnitud de los

mismos, las zonas donde pueden ocurrir procesos futuros y su frecuencia. Para esta última parte, se necesita conocer el período de retorno a partir de datos o series históricas y/o herramientas del conocimiento de los factores que desencadenan el evento en particular.

La amenaza o peligrosidad también se puede expresar en función del período de retorno, asociado al evento analizado, el cual puede definirse como el tiempo transcurrido entre la ocurrencia de dos eventos consecuentes, de igual magnitud o de características parecidas. De acuerdo a la Ley 1523 de 2012 la amenaza se define como "Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas de bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales" (Suarez, 1998; Camargo, 2016; Melo et al, 2017).

Las amenazas de origen hidrológico son las manifestaciones peligrosas de la actividad atmosférica e hídrica del planeta, como precipitación, crecientes súbitas, inundaciones, desbordamientos, colmataciones, encharcamientos, también se hace referencia a sitios en donde se presentan cambios bruscos en el nivel y/o curso del agua y divagaciones del cauce, al sobrepasar la capacidad de retención en el suelo, los cauces se desbordan y cubren los terrenos relativamente planos aledaños a las riberas de los ríos y quebradas.

Desde los años 50, el interés por el estudio de cuencas, ha aumentado y hoy en día es un instrumento indispensable para los estudios hidrogeomorfológicos, así como en el estudio y la gestión del medio natural. Los estudios de cuencas son contemplados con una perspectiva





sistemática que incorporan los efectos de los cambios de usos de suelo y permiten relacionar y jerarquizar la influencia de los diferentes factores que intervienen en el ciclo hidrológico (Walling, 1991; Gallart, 1997). De igual manera, Collado (2010) realizó la modelación hidrológica e hidráulica para la estimación de caudales máximos en el Río Grande, área urbana de Matagalpa, Nicaragua. En él se presentan altas pendientes que favorecen la socavación de las vertientes, llegando a modificar la dirección del cauce. Además, se tiene la incidencia de asentamientos subnormales que llegan a invadir las planicies de inundación. Se debe mencionar, que como en muchos lugares, la ausencia o la poca instrumentación dificultan modelar y predecir eventos con mayor confiabilidad.

Hoy en día, tanto en el país como en el mundo, se han creado organismos orientados a la planificación, mitigación y prevención del riesgo ocasionado por fenómenos naturales, dado que debido a estos se han tenido innumerables pérdidas humanas y económicas.

Fernández (2011) menciona el incremento de los caudales en el río Bermúdez, en Costa Rica, que han ocasionado daños socio económicos importantes, demostrando la ausencia de gestión del riesgo por inundación en Santo Domingo de Heredia. Por otro lado, Cortes en 2016 describe la ocurrencia de 1060 casos de inundación por el incremento de los eventos hidrológicos, climatológicos entre los años 80 y 2015. Arreguin manifiesta que algunos de los factores que inciden sobre el incremento de las inundaciones están asociados a la ausencia de ordenamiento territorial y efectos del cambio climático sobre el ciclo hidrológico. Así mismo, Ollero (1997) analiza el riesgo hidrológico desde una óptica didáctica, en la que buscó alcanzar una clasificación de las causas y consecuencias que afecta un territorio por los procesos de crecida e

inundación. También, analizó los elementos de peligrosidad, vulnerabilidad y la percepción del riesgo ante estos procesos, estableciendo grados de riesgo en diferentes tipos de crecidas e inundaciones, como punto de partida para generar una cultura del riesgo, sensibilizando a la sociedad.

En Colombia se destacan los estudios de Vélez (2002) sobre análisis de vulnerabilidad por avenidas torrenciales en la vereda Pekín y el casco urbano del municipio de Fusagasugá, relacionando la precipitación, la infiltración y la escorrentía desde el punto de vista estadístico. Sierra 2005, que analiza la amenaza por crecientes súbitas en el río Upín, departamento del Meta, relacionados con las condiciones climáticas, los procesos geomorfológicos y las características del sistema fluvial. EM-DAT, (2015) destacó que, las inundaciones son eventos naturales más frecuentes y reconocidos como la amenaza “socio-natural” que ha generado mayor afectación en la historia del país, teniendo en cuenta su alta recurrencia, las grandes extensiones territoriales involucradas y la cantidad de población que resulta afectada. Las inundaciones se encuentran en el primer lugar entre los diez (10) mayores desastres naturales en el período comprendido entre los años 1900 y 2011 por el número de personas afectadas y el segundo lugar por la cantidad de pérdidas económicas. Colombia ocupa el octavo y noveno lugar a nivel mundial por el número de muertos y víctimas respectivamente, generados por desastres hidrológicos (Guha-Sapir et al, Dartmouth Flood Observatory, 2011 en Rodríguez 2012). A raíz de esto, se ha visto la necesidad de aplicar en el análisis e implementación de sistemas de gestión de riesgo herramientas el SIG, instrumentación y sistemas de alerta temprana.





Cardona, et al., (2003) considera que el Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad propuesto por la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales hace uso de una selección de indicadores que sirven para construir cuatro índices que reflejan la vulnerabilidad en sus principales componentes: el índice de déficit de desastres-DDI que mide el riesgo por país desde un punto de vista macroeconómico y financiero; el índice local de desastre LDI que identifica el riesgo social y ambiental derivado de diferentes eventos; el índice prevalente de vulnerabilidad-PVI construido a partir de una serie de indicadores que caracterizan las condiciones en áreas expuestas como la fragilidad socio-económica y la ausencia de resiliencia en general, y por último, el índice de gestión del riesgo-RMI que agrupa a todos los indicadores y refleja las acciones organizacionales e institucionales de cada país para reducir la vulnerabilidad, las pérdidas y así poder prepararse y recuperarse de mejor manera.

Jica 2009 describió el comportamiento de los sistemas de alerta temprana para las quebradas Chiguaza, Santa Librada, Yomasa, la Estrella, el río Soacha y el río Tibánica; mientras que Torres y González (2010) simuló el comportamiento hidrológico del río Bogotá con gran aceptabilidad en condiciones de flujo permanente, llegando a describir cualitativa y cuantitativamente la respuesta del sistema hídrico ante un evento extremo de inundación, tomando secciones transversales de los dos tramos de estudio que son más susceptibles a ser afectados por desbordamientos e inundaciones.

Desde la academia se tienen aportes como el realizado por la Universidad Nacional en 2009, donde se estudiaron las avenidas torrenciales como elemento de la amenaza potencial hidrológica en el Valle de Aburrá, Medellín. A nivel regional,

Laverde y Rivera (2015) en Bochalema desarrollaron un sistema de Alerta Temprana (SAT) por inundaciones realizando levantamientos de información hidro-meteorológica, y comunitaria de la zona de estudio, se elaboraron curvas IDF y se obtuvieron caudales máximos y modelación hidráulica e hidrológica mediante el software Hec-Ras, determinando las planicies susceptibles a inundación. Suarez, Rivera y Delgado (2017), identificaron y analizaron los factores que intervienen en el transporte de sedimentos en el río La Plata, cabecera del municipio de Mutiscua. Además, se llegó a determinar las zonas vulnerables y propensas al riesgo por inundación y falla en las estructuras hidráulicas. La Corporación Autónoma Regional Del Nororiente Colombiano (CORPONOR, 1997), elaboró el plan de manejo de la microcuenca La Viuda; reglamentó el uso del agua de las quebradas Arepero y La Viuda del municipio de Chitagá. Por otra parte, Medina (2010), actualizó el plan de manejo ambiental de las microcuencas de las quebradas La Viuda y El Arpero, en el que se encontró la inadecuada planificación y el uso indebido del recurso hídrico y del suelo; el exceso de fertilizantes y la disminución de la cobertura de bosques de protección (Espinell et al, 2016). En la administración municipal de Chitagá, año 2012, se realizaron estudios orientados a caracterizar escenarios de riesgo por procesos de remoción en masa debidos a las altas precipitaciones, a la ubicación de viviendas en la planicie de inundación y la cercanía de viviendas urbanas al cauce de la quebrada La Viuda (Angulo et al, 2017).

2. METODOLOGIA

En la microcuenca de la quebrada La Viuda se realizaron visitas de campo, en las que se aplicó el método observacional para identificar y establecer 8 puntos de muestreo de sedimentos, aforo y medición de nivel de lámina de la quebrada.





Además, se determinaron los parámetros físicos y morfométricos de la microcuenca. Para la obtención de mapas de cobertura vegetal se aplicó la metodología de Arenas (2004), usando imágenes satelitales Landsat 8. Además, se tuvo en cuenta la metodología CORINE Land Cover y control de campo para la determinación de cobertura y uso del suelo.

Las estaciones pluviométricas consultadas fueron: Los Rincón, Presidente, Cacota y Chitagá. Las series históricas de precipitaciones máximas mensuales en 24 horas analizadas fueron suministradas por el IDEAM, para un período comprendido entre 1958 a 2017, para la estación Chitagá. Con ellas se elaboraron los hietogramas y curvas IDF. Luego, se obtuvieron los hidrogramas sintéticos. También se levantaron datos hidrométricos en campo, dado que no se contaba con registros en estaciones; para ello se elaboraron miras teniendo en cuenta los criterios del Reglamento Técnico sobre Hidrología OMM-Nº49- , la Guía de Prácticas Hidrológicas – OMM – 168, y la guía de Monitoreo del agua del IDEAM. Para el modelamiento en Hec Ras v 5.0 fue necesario levantar secciones transversales, aplicando métodos topográficos convencionales, rugosidad de Manning, y posteriormente se procesó la información con las herramientas Geo Ras y Arcgis v 10.2.2, utilizando un sistema de coordenadas Magna Sirgas- Colombia, para periodos de retorno de 2, 5, 10, 50, 100 y 500 años. Para la zonificación de la amenaza y el análisis de las pendientes se utilizaron los criterios del Servicio Geológico Colombiano (2015) e Ingeominas (2011).

3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La discusión de datos en artículos científicos corresponde a la forma como los resultados son interpretados por el investigador, tanto a la luz de la hipótesis

planteada, como a la de lo que otros autores dicen o han encontrado sobre el tema. Se trata de dilucidar qué significan los resultados y por qué ocurrieron de ese modo las cosas.

En la tabla 1 se observa los parámetros físicos y morfométricos de la zona de estudio, de los cuales se establece que por la forma es oval oblonga a rectangular, indicativa de la capacidad de dispersión del escurrimiento de las lluvias intensas corroborado con lo encontrado por Bateman (2006), Sin embargo, el coeficiente de masividad indica que el relieve es montañoso, con vertientes largas y pendientes abruptas, lo que hace que se puedan presentar movimientos en masa que obstruyen el cauce, favoreciendo la formación de avenidas torrenciales, lo cual se corrobora con lo encontrado por Cahuana & Yugar (2009.) Por otra parte, con el coeficiente orográfico se deduce que las tormentas de altas intensidades en la parte alta de la microcuenca influyen en la energía potencial del agua con respecto a la escorrentía. Lo anterior permite suponer que las lluvias intensas en la cabecera de la microcuenca favorecen la ocurrencia de deslizamientos que pueden provocar avenidas o crecientes súbitas a lo largo de la microcuenca. Además, el tiempo de concentración de Kirpich establece que la respuesta de la cuenca es corta, de acuerdo con lo reportado por Vélez y Botero (2011).

Tabla 1. Resultados de parámetros físico morfométricos.

Descripción	Unidades	Valor
Área	Km ²	2,385
Perímetro	Km	9,7
Cota máxima	m.s.m. n	3665
Cota mínima	m.s.m. n	2284
Cota mx cauce pal	m.s.m. n	3537
Altitud media	m.s.m. n	2999,7
Altitud más frecuente	m.s.m. n	2833





Altitud de frecuencia media	m.s.m. n	3000,1
Pendiente promedio cuenca	%	25,86
Pendiente promedio red hídrica	%	10,85
Pendiente del cauce	%	25,87
Longitud cauce pal	Km	5,337
Orden red hídrica	und	2
Ancho mx cuenca	Km	1,086
Factor forma cuenca	adimensional	0,058
Índice de alargamiento	adimensional	3,98
Índice compacidad	adimensional	1,759
Densidad de drenaje	Km/Km ²	2,66
Número de escurrimientos	und	14
Tiempo de Concentración	min	15,32

Fuente: Autores (2017)

En la figura 1 se observan las curvas IDF obtenidas a partir de los datos pluviométricos de la estación Chitagá, de las cuales se infiere que para duraciones cortas se tienen intensidades máximas, por ejemplo, para el periodo de retorno de 2 años, las intensidades van desde 64.14 mm/h en 5 minutos hasta 13.86 mm/h en 60 minutos y para un periodo de retorno de 500 años se tiene intensidades en 5 minutos de 205.28 mm/h y 44.37mm/h en una hora.

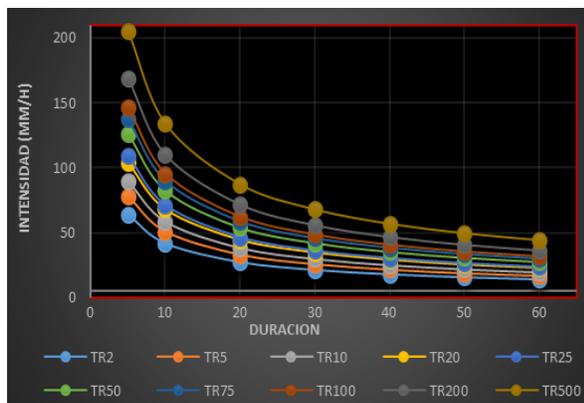


Figura 1. Curvas IDF a partir de datos pluviométricos. Fuente: Autores (2017).

En la figura 2 se muestran los hietogramas e hidrogramas de la zona de estudio, de los cuales se establece que el valor de precipitación máxima se presenta en los 90 minutos del aguacero para periodos de

retorno de 100, 500 años y sus caudales picos son 3.57 y 5.01 m³/s respectivamente.

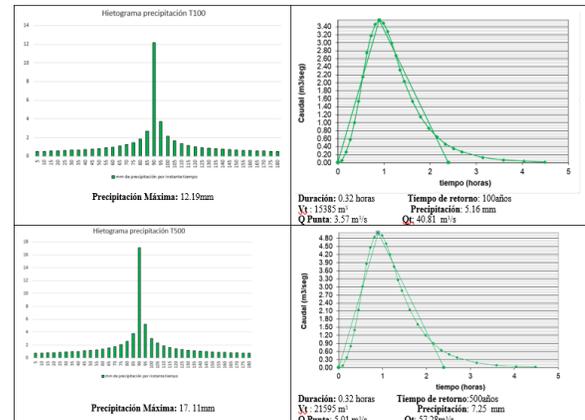


Figura 2. Hidrogramas para periodos de retorno de 100 años y 500 años. Fuente: Autores (2017).

En la figura 3 se presenta el comportamiento de los niveles de agua en la quebrada La Viuda para los cuatro (4) meses de muestreo, donde el nivel de agua disminuyó y aumentó en horas de la mañana, registrando un caudal promedio de (57 l/s) en la parte alta del cauce, y un caudal de (46 l/s) en la parte baja. Los caudales durante el estudio se vieron afectados por acciones antrópicas y el aumento del consumo durante las horas de la noche, especialmente.

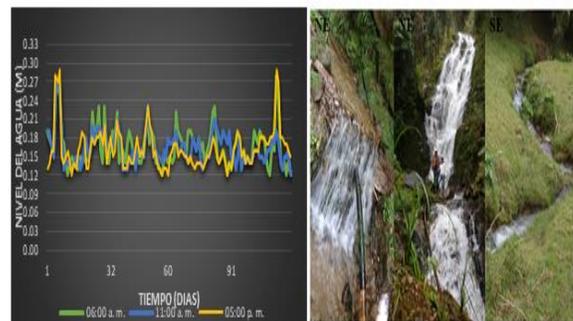


Figura 3. Niveles de agua en la quebrada La Viuda. Fuente: Autores (2017).

En la figura 4 se diferencia la tendencia a pendientes abruptas y escarpadas en la vertiente de la quebrada, mientras que pendientes bajas a medias, se limitan a la



parte baja, parte media del cauce y un sector reducido en la parte más alta de la microcuenca, confirmando la presencia de pendientes abruptas a escarpadas en las vertientes de la quebrada.

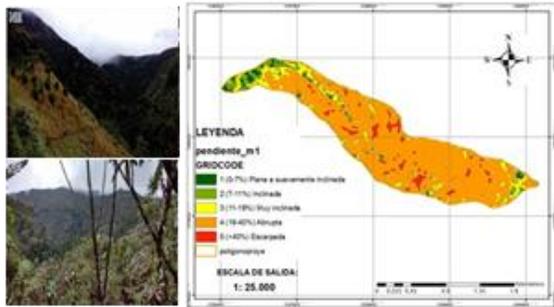


Figura 4. Pendientes en la zona de estudio.
Fuente: Autores (2017).

Las coberturas predominantes en la zona de estudio, son esencialmente cultivos transitorios, pastos en la zona central y norte de la microcuenca y algunos segmentos de bosques y rastrojos, figura 5. Esto refleja una alta intervención antrópica en la zona media y baja de la microcuenca. Así mismo, con la verificación de imágenes en campo y el análisis de los mapas resultantes, se identificaron procesos actuales de deforestación, deslizamientos y ampliación de la frontera agrícola, procesos que se consideran como factores detonantes en el incremento de la magnitud de las crecientes en la quebrada La Viuda, dado que aumentan la vulnerabilidad de la zona frente a eventos de mayores precipitaciones en la cuenca. A partir de los resultados, las vegas de los predios y viviendas que se encuentran en la ronda del margen derecho del cauce presentan la mayor afectación, debido a que tienen alta incidencia antrópica con cultivos y potrerización.

En la zona urbana se encontró una amenaza alta asociada a la presencia de viviendas, puentes, vías. Por otro lado, en la figura 6 se infiere que, para un periodo de retorno de 100 años, se presenta una amenaza baja en todo el cauce, mientras

que para 500 años se pueden diferenciar sectores con amenaza alta y media principalmente.

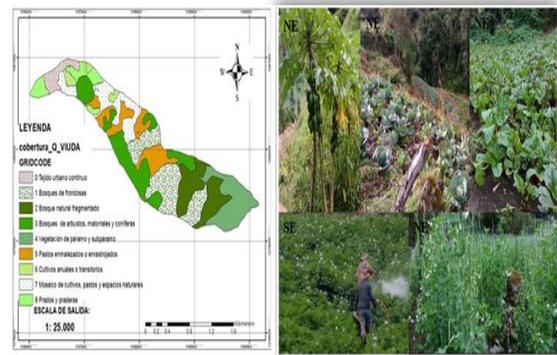


Figura 5. Cobertura vegetal de la zona de estudio. **Fuente:** Autores (2017).

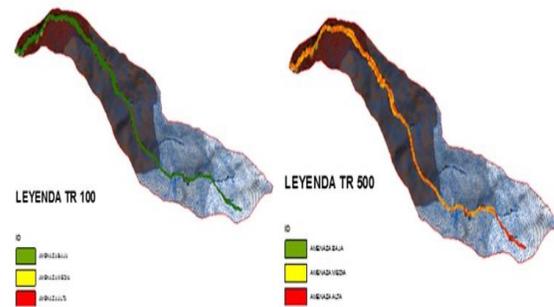


Figura 6. Mapa de amenazas por crecientes súbitas. **Fuente:** Autores (2017).

Con respecto a la categorización se presentan 3 categorías: amenaza alta, media y baja: a) **ÁREA DE AMENAZA ALTA:** corresponde a las zonas con afectación en vegas e infraestructura adyacentes al cauce. Si la creciente presenta arrastre de material vegetal, suelos y roca, puede ocasionar daños en el puente del barrio El Contenido, Cerinza y La Amapola, en la vía nacional que cubre la ruta Pamplona- Bogotá, debido a la reducción en el área del canal. El área de esta amenaza es de 13,45 ha. b) **ÁREA DE AMENAZA MEDIA:** corresponde a las áreas afectadas por crecientes súbitas con menor intensidad, frecuencia y magnitud. Esta amenaza cubre un área aproximadamente de 33,54 ha y se localiza desde la cota 2547 m.s.n.m hasta el tramo conocido como la maquinaria,



barrio la Amapola, afectando principalmente las vegas de los predios a orillas del cauce y c) AREA DE AMENAZA BAJA: Esta amenaza tiene un área de 11,11 ha, localizada en la parte alta de la microcuenca La Viuda y algunos tramos del cauce en la parte media, esta amenaza se localiza en el área rural.

4. CONCLUSIONES

El área estudiada corresponde a un paisaje montañoso con pendientes que van desde abruptas a escarpadas, que pueden facilitar la ocurrencia de procesos de remoción en masa, de tal manera que la amenaza por crecientes súbitas asociadas a esta microcuenca son de mediana a baja intensidad, a su vez no se descarta que se puedan provocar, por el exceso de actividades antrópicas en la parte alta y media de la microcuenca, debido a la pérdida de cobertura vegetal que se viene presentando en la actualidad. No obstante, la información aportada por este análisis de amenaza por crecientes súbitas puede ser utilizada para propósitos de estudios hidrológicos e hidráulicos que puedan involucrarse en la ordenación y planeación del municipio de Chitagá y posteriores estudios.

Las características del relieve, suelos y cobertura vegetal de la microcuenca La Viuda, son factores detonantes que ocasionan desbordamientos, principalmente asociadas a la variación de las condiciones climáticas, a la localización de asentamientos urbanos en las orillas del cauce y al acelerado proceso de deforestación y ampliación de la frontera agrícola y urbana. Lo anterior ha incrementado igualmente los procesos erosivos a lo largo de la microcuenca, facilitando la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos laterales, depósitos de sedimentos (roca, piedra, sedimentos menores y material vegetal) y acumulación de sedimentos en el cauce, ocasionando represamientos y desbordamientos. La

tendencia a la generación de crecientes repentinas está condicionada por factores permanentes como la naturaleza, la geología, la morfología y la vegetación natural; y en primer orden las características de las precipitaciones (tipo, intensidad, Duración, distribución.)

A menor tiempo de duración mayor es su intensidad; es por eso que para el municipio de Chitagá en un tiempo de duración de 10 min se presentan intensidades de 41.842, 50.75, 58.73, 67.96, 71.23, 82.43, 89.78, 95.39, 110.39 y 133.90 para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 75, 100, 200 y 500 años respectivamente.

Mediante el monitoreo realizado durante cuatro (4) meses en la quebrada La Viuda, en cada uno de los puntos de aforo establecidos, se observó cómo disminuye el caudal en la parte alta con un promedio de 53l/s y un caudal de 45l/s en la parte baja, debido a las diferentes captaciones para los sistemas de riego y sumado a esto las bajas precipitaciones generadas en la zona, así mismo se evidencian niveles máximos de 29 cm para las 6:00 am, 11:00 am y 5:00 pm.

Los resultados de la modelación con Hec-RAS permitieron la definición de áreas donde probablemente se producirán daños debido a las crecientes súbitas, constituyéndose en un aporte al conocimiento del riesgo a nivel local. Los resultados indican niveles críticos en las altitudes de 2345 a 2397 m.s.n.m, siendo estos sitios áreas con presencia de asentamientos humanos, afectando infraestructuras como viviendas, establecimientos, puentes, vías y cultivos. En la microcuenca La Viuda se encontró que para un periodo de retorno de 100 años la amenaza es baja a lo largo del cauce; mientras que, para un periodo de retorno de 500 años, esta es alta y media predomina en la mayor del cauce y la zona urbana.





5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angulo, W. J., Mendoza, J. A. y Uriel, H. U. (2017). Análisis de la vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa en la Cuenca Tanauca estudio de caso. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (8), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2017.3276>
- Adamson, M., Castillo, F.: Costa Rica en el tercer milenio: desafíos y propuestas para la reducción de vulnerabilidad ante los desastres.
- Alarcón R, Bastidas M, Narvaez N., 2016. Evaluación de susceptibilidad por inundación de la cuenca alta del Rio Putumayo. Trabajo de grado, Universidad de Manizales.
- Bateman Allen, Hidrología básica y aplicada, Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos, Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia, 2007.
- Bosh, J.M. & Hewlett, J.D., 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55 (1-4): 3-23. doi:10.1016/0022-1694(82)90117-2
- Cahuana, A., & Yugar, W. (2009). Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología civ-233. Consultado en <https://civilmbh.files.wordpress.com/2013/11/hidrology-san-simon.pdf>
- Castiblanco Sierra, Miguel Angel, (2005). Amenazas por Crecientes Súbitas de los Ríos Upín, Caney y Quebrada Salinas, para el Municipio de Restrepo, Meta.
- Camargo, W. C. (2016). MODELACION HIDROLOGICO-HIDRAULICA DE EVENTOS DE INUNDACION EN EL RIO BOGOTA (SECTOR TOCANZIPIA-CHIA) USANDO HEC-RAS. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. Volumen (7), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2016.3267>
- CEPAL. (14-15 de Abril de 2012). CEPAL. Obtenido de <https://www.cepal.org>
- Cardona, Omar Darío (1991), "Evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo", Taller Regional de Capacitación para la Administración de Desastres ONAD/PNUD/OPS/UNDRO, Bogotá, p. 3.
- Cardona, O. D., Hurtado, J. E., Duque, G., Moreno, A., Chardon, A. C., Velásquez, L. S., & Prieto, S. D. (2003). *La Noción de Riesgo desde la Perspectiva de los Desastres: Marco Conceptual para su Gestión Integral*. (Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos, Ed.). Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters-CRED. (2015). EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database. Recuperado a partir de <http://www.emdat.be/database>
- Collado, C. R. (noviembre de 2010). Modelación hidrológica e hidráulica para la estimación de caudales máximos Nicaragua, Matagalpa. Nicaragua, Matagalpa, Guatemala.
- Contreras, W. A, Maldonado, J. O. y Bravo, D. (2016). Herramienta para la simulación de concentración de contaminantes en suelos. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2016.3266>
- CORPONOR, (2001). Reglamentación uso el agua en las quebradas La Viuda y El Arpero de la cuenca del río Chitagá.





- Cortes, e. a. (2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. Mexico.
- Espinel, R. M., Rivera, H. U. y Castellanos, C. (2016). Plan de manejo ambiental para los proyectos de extracción de material de arrastre, localizados en las microcuencas quebradas volcán y navarro del municipio de Pamplona, Norte de Santander. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2016.3282>
- Fernández *et al.*, (2011). Análisis de Gestión de Riesgo de Inundación en la ciudad de Santo Domingo de Heredia
- Forero Dueñas, Carlos Antonio. En: *Conceptos y Metodología Básica de Zonificación Geotécnica*. V Congreso Colombiano de Geotecnia. Medellín, 1994.
- García Ruiz & Gallard F., (1997). Las Cuencas experimentales como base para el estudio de la erosión y la desertificación. En JJ Ibañez BL. Valero y C Machado.
- Gutierrez, T., Castellanos, C. y Hernández, N. (2016). El ordenamiento territorial frente a las consecuencias de los cambios climáticos. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2016.3338>
- Hibbert, A., 1967. Forest treatment effects on water yield. En: Sopper, W.E. & Lull, H.W. (eds): *International symposium for Hydrology*. Pergamon, Oxford, 813 pp
- Ivanova, Y. y Sarmiento, A. (2014). Evaluación de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá como una herramienta de la gestión del agua en el territorio urbano. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (4), Numero (2), 1-5.
- DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2013.427>
- Jica. (2009). El estudio sobre sistema de monitoreo y alerta temprana para deslizamientos e inundaciones en áreas seleccionadas en el distrito capital de Bogotá y el municipio de soacha en la república de Colombia. Fopae.
- Koutsoyiannis, D. K. (1998). A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology* 206, págs. 118-135.
- Laverde P Luz Amanda., Rivera María Esther (2015). .Bochalema-sistema de alerta temprana. *Revista Bistua*. 13(2):91-111
- Melo, J., Saavedra, S. y Ramón, J. (2017). Evaluación de la adsorción de cu+2 y azul de metileno en biosorbentes de bajo costo obtenidos a partir de biomasa residual de la agroindustria de cítricos. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. Volumen (8), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2017.3277>
- Medina M., (2010). Tesis Formulación del plan de manejo ambiental de las microcuencas de las quebradas La Viuda Y El Arpero, Ubicada en el Municipio de Chitagá, Departamento de Norte De Santander. Universidad de Pamplona.
- Meneses, V. B., Álzate, D. y Mosquera, J. (2016). Sistema de optimización de las técnicas de planificación en agricultura de precisión por medio de drones. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2016.3268>
- Moreno, C. y Rueda, L. (2016). La educación ambiental como herramienta para la recuperación de la cobertura vegetal, mediante prácticas agro-ecológicas en la





- comunidad minera asograstorres, asociación de gravilleros de Sabana de Torres. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2016.3260>
- Ollero Ojeda Alfredo, E. (1997). "Crecidas E Inundaciones Como Riesgo Hidrológico Un Planteamiento Didáctico Universidad Del País Vasco, Facultad De Filología Y Geografía E Historia Departamento De Geografía, Prehistoria Y Arqueología. España.
- Pardé, M. (1961). Sur la puissance des crues en diverses parties du monde. *Geographica*, nº monográfico, 293 p., Zaragoza.
- Rodríguez Gaviria, Margarita (2012). Diseño metodológico para la gestión del riesgo de desastre, como herramienta de apoyo en la gestión del desarrollo municipal. Caso de Aplicación: Municipio de Amalfi, Antioquia. Edna
- Rodríguez, Y. A. (2017). Conservación de humedales en el marco de gestión de cuencas hidrográficas. Puerto Rondón–Arauca. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (8), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2017.3281>
- Smith, J.-4. (1993). Handbook of Hydrology, capítulo III, Precipitation. USA: McGraw-Hill, Inc. primera edición.
- Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. © 1998, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Universidad Industrial de Santander
- Suárez, N., Rivera, M. & Delgado, J. (2017). Transporte de sedimentos en el río La Plata, Mutiscua, Norte de Santander, zona de influencia de la cabecera municipal. *Análisis Geográficos*, 53, 95-101.
- Torres Quintero, Ernesto y González Naranjo, Eulises. Aplicación del modelo de simulación hidráulica Hec-ras para la emisión de pronósticos hidrológicos de inundaciones en tiempo real, en la cuenca media del río Bogotá - sector Alicachin
- Varnes DJ, (1984). Landslide hazard zonation: Review of principles and practice UNESCO, Paris.
- Villamizar, V. A. y Justinico, A. J. (2017). Reconstrucción paleoclimática y paleoambiental de los territorios de la llanura inundable del araucana a partir del análisis de sedimentos recientes, Departamento de Arauca. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (8), Numero (1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2017.3272>
- Vélez, M. R. (2002). Verificación del método Gradex en una región colombiana. La Habana, Cuba.
- Vélez y Botero (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de regazo en la cuenca experimental urbana de San Luis, Manizales. *Revista Dyna*. 58-71.
- Walling, D. (1991). Field experiments and measurement programs in geomorphology. Bakelma Rotterdam: Slaymaker, O
- Ward Dwight E. y Richard Goldsmith, U.S. Geological Survey, y Jaime Cruz B., Luis Jaramillo C., Rodrigo Vargas I., (1977), INGEOMINAS

