

Recepción: 10 de enero de 2021

Aprobación: 29 de septiembre de 2021

EVALUACIÓN DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN DEL RÍO MONIQUIRÁ EN EL MUNICIPIO DE MONIQUIRÁ, BOYACÁ

MONIQUIRÁ RIVER FLOOD THREAT ASSESSMENT IN THE MUNICIPALITY OF MONIQUIRÁ, BOYACÁ

AVALIAÇÃO DA AMEAÇA DE INUNDAÇÃO DO RIO MONIQUIRÁ NO MUNICÍPIO DE MONIQUIRÁ, BOYACÁ

Tatiana Paola Hernández González¹

Diego Fernando Gualdrón Alfonso²

Julián Camilo Melo Barrero³

¿Cómo citar este artículo?

Hernández T, Gualdrón D. y Melo J. (2022) Evaluación de la amenaza de inundación del río Moniquirá en el municipio de Moniquirá, Boyacá, *Cultura Científica*, 20 pp.

¹ Especialista en sistemas de información geográfica, Contratista Alcaldía de Tunja. profesionalsig.th@gmail.com <https://orcid.org/0009-0003-1007-8952>

² Magister en Gerencia de Proyectos de Construcción en la Fundación Universitaria Juan de Castellanos dgualdron@jdc.edu.co <https://orcid.org/0000-0002-1086-4801>

³ Estudiante de Pregrado de la Institución Educativa Técnica Industrial y Minera De Paz De Rio. julian.melo04@uptc.edu.co <https://orcid.org/0009-0005-6348-2726>



RESUMEN

La evaluación de riesgos por inundaciones dentro de los municipios ha cobrado cada vez más relevancia, no solo en términos de investigación, sino para las comunidades que son las principales afectadas. De ahí que, las autoridades gubernamentales han logrado crear y fortalecer los temas relacionados con la gestión del riesgo. Teniendo en cuenta que la disponibilidad y calidad de esta información, así como el procesamiento de datos, no son realizados de la forma más precisa y adecuada, hace que la incertidumbre y la desinformación sea mayor; y esto crea carencias cuando se pretende proponer una primera solución a la problemática. El construir una zonificación del riesgo por inundación en el municipio, con sus propias fuentes de información, brinda una herramienta para plantear posibles soluciones que permitan mitigar la emergencia, disminuyendo las pérdidas a su máximo posible. Dentro de este contexto, se ha desarrollado una metodología para la generación de mapas de amenaza de inundación para 4 diferentes períodos de retorno, identificando zonas inundables con frecuencia y caracterización de la zona, como geomorfología e hidrología-hidráulica a partir de datos recogidos en trabajo de campo, redes hidrológicas nacionales, ortofotos, cartografía básica y modelos digitales de elevación.

Palabras clave: amenaza, inundación, zonificación, emergencia.

ABSTRACT

The risk assessment for floods within the municipalities has been gaining importance not only for the study and research of these, but also for the communities that are the main affected; Therefore, government authorities have managed to create and strengthen issues related to risk management. Taking into account that the availability and quality of this information, as well as the data processing, are not carried out in the most precise and adequate way, it makes the uncertainty and misinformation greater and this creates deficiencies when trying to propose a first solution to the problem. Building a flood risk zoning in the municipality, with its own sources of information, provides a tool that serves to consider possible solutions that manage to mitigate the emergency, reducing losses to their maximum possible. Within this context, a methodology has been developed to generate flood hazard maps for 4 different return periods, identifying frequently flooded areas and characterizing the area, such as geomorphology and hydrology-hydraulics from data collected in work field, national hydrological networks, orthophotos, basic cartography and digital elevation models.

Keywords: threat, flood, zoning, emergency.

RESUMO

A avaliação do risco de inundações nos municípios tornou-se cada vez mais relevante, não só em termos de investigação, mas para as comunidades que são as principais afetadas. Assim, as autoridades governamentais conseguiram criar e fortalecer temas relacionados à gestão de riscos. Tendo em conta que a disponibilidade e qualidade desta informação, bem como o tratamento dos dados, não são realizados da forma mais precisa e adequada, aumenta a incerteza e a desinformação; e isso cria lacunas quando se tenta propor uma primeira solução para o problema. A construção de um zoneamento de risco de inundação no município, com fontes próprias de informações, fornece uma ferramenta para propor possíveis soluções que permitam

mitigar a emergência, reduzindo ao máximo as perdas. Neste contexto, foi desenvolvida uma metodologia para a geração de mapas de ameaça de inundação para 4 períodos de retorno diferentes, identificando áreas frequentemente inundadas e caracterização da área, tais como geomorfologia e hidrologia-hidráulica a partir de dados recolhidos em trabalho de campo, redes hidrológicas nacionais, ortofotos, cartografia básica e modelos digitais de elevação.

Palavras-chave: ameaça, inundação, zoneamento, emergência.

1. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica se han constituido, durante los últimos años, en una de las más importantes herramientas de trabajo para investigadores, analistas, planificadores y, en general, para todos los actores que tengan que ver con la toma de decisiones dentro del territorio. Sin embargo, no se puede desconocer que, aunque éstos tienen gran capacidad de análisis, los sistemas de información geográfica no pueden existir por sí mismos, deben tener una organización, personal y equipamiento responsable para su implementación y sostenimiento. Adicionalmente, este debe cumplir un objetivo y tener garantizados los recursos para su mantenimiento (Flórez y Fernández, 2017).

En el tema puntual de evaluación, los sistemas de información geográfica serán utilizados por medio de varios software, como lo son: "ArcGIS, Hec-HMS y Hec-RAS". En este caso puntual, estos se usaron para evaluar la amenaza de inundación del río Moniquirá en el sector urbano del municipio de Moniquirá, lo que permitirá exponer la susceptibilidad de la zona por inundación.

Moniquirá es un municipio ubicado en el Noreste del departamento de Boyacá, con una extensión de 220 km², una altitud de 1700 m s. n. m. en la provincia de Ricaurte, siendo la capital de esta provincia, a una distancia de 60,5 km de la capital del departamento Tunja. Es un municipio que limita al Sur con Gachantivá, Arcabuco y Santa Sofía (Boyacá); al Norte, con los municipios de Togüí y San José de Pare (Boyacá); al occidente, con Puente Nacional y Barbosa (Santander); y al oriente, con Gambita (Santander).

A través de los años, Moniquirá ha venido presentando un comportamiento

deficiente frente a las inundaciones. Esto se deduce a partir de la observación y análisis de los diferentes reportes de emergencias emitidos por las entidades gubernamentales, noticias periodísticas y/o de investigaciones de los últimos 20 años; en los que el municipio es priorizado y se considera la inundación como amenaza moderada constante, que genera grandes daños y pérdidas a nivel socioeconómico y ambientales (Corpoboyacá, 2014).

El río Moniquirá ocupa un típico valle interandino longitudinal y nace a una cota de 3.590 m.s.n.m. en el páramo de Rabanal en linderos del Departamento de Cundinamarca, Al Occidente se encajona entre las cordilleras de Fondiño y Mazamorra y al Oriente con las de Consuelo o Sara. Baña los Municipios de Ráquira, Sutamarchán, Tinjacá, Villa de Leyva, Santa Sofía, Gachantivá y Moniquirá. Atraviesa el Municipio de Moniquirá de sur a norte en un trayecto aproximado de 26,73 km, siendo el depositario de importantes quebradas como la Sicha, La Honda Chiquita, la Honda Grande, La Capona, La Saravia y la Saraza (Alcaldía de Moniquirá, 2003).

El río Moniquirá cuenta con una precipitación media anual de 1.127,22 mm, con variaciones a lo largo del año que oscilan entre ± 5.70 (m³/s) respecto a los 11,52 (m³/s). Tiene como formación litoestratigráfica un conjunto de areniscas gris oscura, alternando con shales negra, piritoso y un espesor de 130 m, con un área aproximada de la formación cumbre dentro de la cuenca de aproximadamente 279 km. Tiene una elevación media de 2560,0 m s. n. m., una pendiente media de 24,7 % y, por lo anterior, tiene una susceptibilidad Moderada. También posee un índice de calidad relacionadas a continuación (Corpoboyacá, 2017).

| Punto de muestra/ cuerpo de agua | Ica | Calidad | Icomo | Icosus | Icontro |
|---|------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Final del río Moniquirá | 0.86 | Aceptable | 0.39 Bajo | 0.14 Ninguna | Eutrofia |
| Puente de Moniquirá vereda Coper | 0.81 | Aceptable | 0.41 Medio | 0.15 Ninguna | Eutrofia |
| Moniquirá sector anterior a Comfaboy | 0.70 | Regular | 0.47 Media | 0.14 Ninguna | Oligotrófico |
| Salida de Moniquirá | 0.71 | Aceptable | 0.58 Media | 0.06 Ninguna | Oligotrófico |

Ahora bien, es muy importante conocer los parámetros de la cuenca a estudiar para así poder determinar el comportamiento hidrológico ante eventos climatológicos, lo anterior se ve afectado por las características físicas de la cuenca.

Dichas características se clasifican en dos tipos según su impacto en el drenaje: las que condicionan el volumen de escurrimiento como el área y el tipo de suelo de la cuenca, y las que condicionan la velocidad de respuesta entre las que se encuentran el orden de corriente, la pendiente, [etc.] (Moreno y Esquivel, 2015, p. 8).

Con base en lo anterior, y al observar el progreso, contribución y uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en los campos de la ingeniería e hidrología, hemos generado mapas de inundación. Estos nos permitieron evaluar la amenaza de inundación y proporcionar información relevante para tomar decisiones mitigadoras y responder, de manera oportuna, ante la amenaza de inundación que se presentó en el área urbana de la subzona hidrográfica del río Suárez, que forma parte del río Moniquirá, en el municipio

de Moniquirá, Boyacá (Corpoboyacá, 2014). Esto nos ha permitido asegurar el confort y el bienestar de los residentes y de la infraestructura municipal.

2. METODOLOGÍA

Para la evaluación de la amenaza por inundación en el municipio de Moniquirá, se utilizaron los Sistemas de Información Geográfica. Con base en estos, se realizó una zonificación ambiental de la cuenca hidrográfica usando la metodología propuesta por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi; posteriormente, se utilizó la información existente de estaciones pluviométricas y limnigráficas proporcionada por el IDEAM para analizar la precipitación en la zona. Al procesar la información en software especializados, se obtiene la simulación de la inundación a periodos de retorno establecidos, siguiendo los pasos que se observan en la figura 1.

Para esta metodología, se utilizaron tres software diferentes: ArcGIS, Hec-HMS y Hec-RAS, cada uno desempeñó funciones específicas. Estos programas contribuyeron a la identificación de las áreas en riesgo de inundación, la creación de mapas, la recopilación y

transformación de datos geográficos, su gestión, y la generación de gráficos visuales y comprensibles (consultar Figuras 4, 5, 6 y 7). Además, permitieron

calcular el caudal de drenaje, analizar la geometría del cauce y explorar otros aspectos relevantes relacionados con la amenaza de inundación en la zona.

Figura 1.
Metodología



Recopilación de la información: se obtuvo la información de entidades gubernamentales, del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), de Corpoboyacá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y la Alcaldía de Moniquirá, entre otros a nivel nacional, para conocer el comportamiento de la zona de estudio, así como las variaciones que ha presentado y presenta el área de la cuenca objeto de estudio.

Tratamiento de información geoespacial: se obtuvieron diferentes modelos digitales de elevación, por medio de los cuales se puede lograr una representación del relieve y un análisis de los elementos presentes en el mismo, mediante el uso de equipo y software especializado para ese fin.

Delimitación de cuenca: el modelo digital de elevación se obtuvo de la recolección de datos satelitales de observación terrestre ALOS-PALSAR, el cual se descargará con una resolución de 12.5 metros, correspondiente a la

mayor resolución libre que se puede encontrar en el mercado. Este DEM se procesará en el software ArcGIS, en el que se eliminan imperfecciones y se delimitará la cuenca hidrográfica junto a su red de drenaje total mediante la herramienta ArcSWAT. Posteriormente, se simula la cuenca hidrográfica para ser dividida en un número de subcuencas o subvertientes, puesto que es útil para el manejo de las áreas de la misma cuenca, que impactan la hidrología del sector (Uribe, 2010).

Análisis de morfometría: tras la delimitación de la cuenca de interés, se procedió a determinar ciertos parámetros básicos empleando el modelo digital de elevación, la red de drenaje y divisorias de aguas. Con ello, se obtuvieron parámetros asociados a la forma, otros relativos al relieve y otros referentes al drenaje de la cuenca.

Análisis de precipitación: mediante la identificación de las estaciones meteorológicas y climatológicas presentes en la cuenca y sus alrededores,

se solicitaron los datos de precipitación máxima en 24 horas para los últimos 20 años de registro de cada estación, donde se empleó la información de 11 estaciones, omitiendo aquellas que tenían registros incompletos y las que se encontraban inactivas.

Es necesario conocer la estación pluviométrica más cercana o central en la cuenca, lo cual se soluciona mediante distintos tipos de aparatos existentes, tales como: Polígonos de Thiessen, método de la curva de Isohietas, y método de la media aritmética.

Luego, se seleccionaron los valores máximos diarios en cada mes para todos los años de estudio, con el objeto de realizar la distribución de probabilidades pluviométricas utilizando el método de Gumbel, debido a que distintos estudios aplicados en diferentes partes han demostrado que es uno de los más prácticos y precisos a la hora de estimar la distribución de probabilidades.

Posteriormente, se determinó la precipitación máxima diaria al organizar los datos por bloque alterno en intervalos de una hora, para luego ser introducidos en el programa HEC-HMS. En dicho programa, se planteó el modelo con las subcuencas establecidas previamente, con su área respectiva, y se empleó el método SCS (Soil conservation Service) para el cálculo de pérdidas, el cual se utilizó para transformar la precipitación total en precipitación efectiva.

Determinación del caudal: se requirió la identificación del número de curva promedio de cada subcuenca de estudio. Para ello, se utiliza como insumo los usos de suelos y la geología presentes en la cuenca. Además, con el método de inverso de la distancia, se realizó la interpolación de los valores de precipitación procedentes de las estaciones pluviométricas más cercanas.

Para el cálculo del caudal, se utilizó el software HEC-HMS, el cual simula el proceso hidrológico de sistemas dendríticos dentro de las cuencas. Este software contiene procedimientos necesarios para la simulación continua del ciclo hídrico, donde se incluye la evapotranspiración, derretimiento de nieve y el humedecimiento del suelo (Gidahatari, s.f.).

Simulación de inundación: a partir del modelo generado, se realizó la simulación para los periodos de retorno de 2, 2.3, 10 y 50 años; con el fin de determinar el caudal máximo en el punto de descarga para cada periodo de retorno respectivamente.

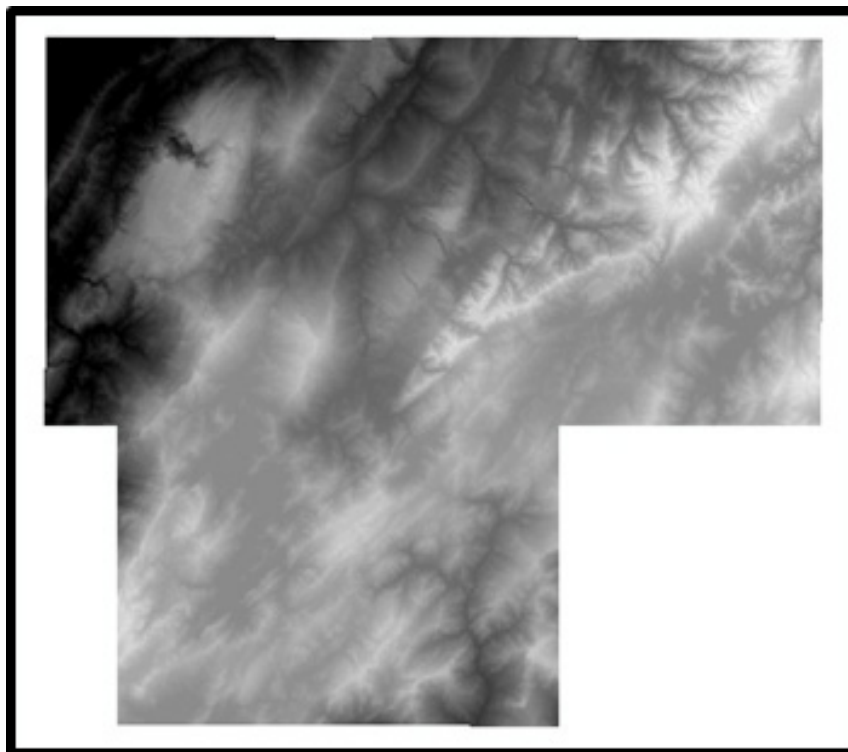
Para determinar las áreas de inundación, se requirió de la realización de un pre-proceso con la finalidad de establecer el cauce principal de inundación, las bancas del mismo, la zona de influencia y las secciones transversales a analizar. Para lo cual, se empleó la extensión Hec-GeoRAS. Este procedimiento preliminar permite la exportación de dichos datos al software HEC-RAS, donde es necesario definir el valor de rugosidad presente tanto en el eje del cauce como en sus bancas. Dicho proceso se realizó a partir de la identificación del uso de suelo mediante imágenes satelitales, y la tabla para valores de rugosidad de Manning que el software recomienda. Además, dentro de este modelo se debió incluir el valor de caudal y pendiente media del tramo del cauce en estudio, para cada periodo de retorno. Con esta secuencia de pasos, se ejecutó el modelo que fue exportado nuevamente a ArcGIS, donde se pudo visualizar el área de inundación para cada periodo de retorno.

3. RESULTADOS

Tratamiento de información geoespacial

En la figura 2, se encuentra el de elevación diferentes de la zona mosaico realizado en el *software* de estudio para mayor precisión. ArcMap de 3 modelos digitales

Figura 2.
Mosaico de DEMs

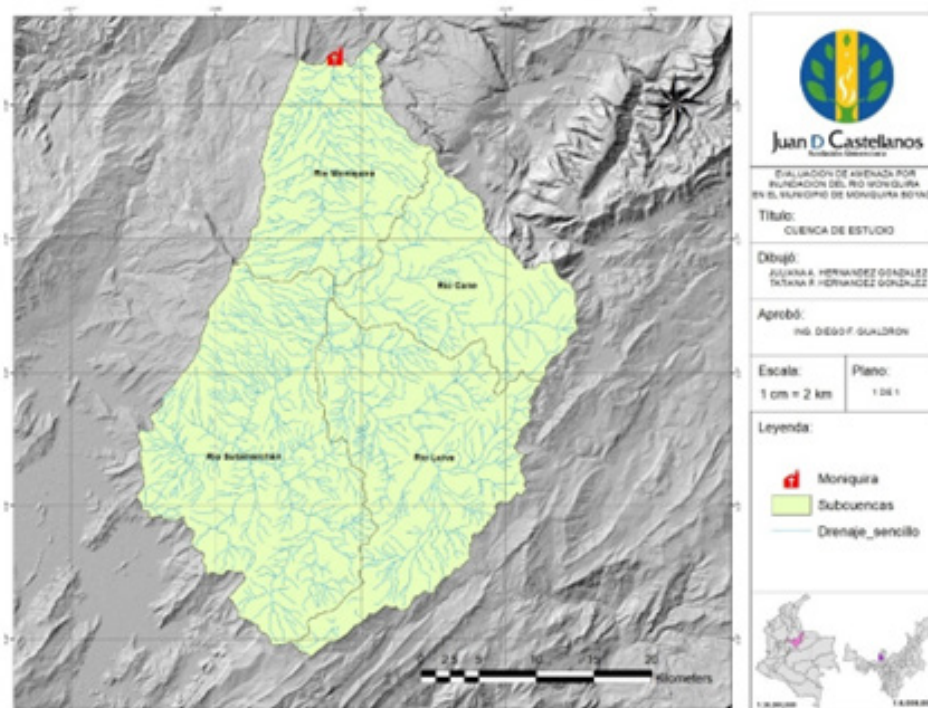


Delimitación de la cuenca el área, como lo indica la tabla 1, y Al delimitar la cuenca, se simuló la se clasifican obteniendo así las 4 división de esta en subcuencas según subcuencas encontradas en la figura 3.

Tabla 2.
Rango de áreas para clasificación de cuencas.

| RANGOS DE AREA (km2) | CLASIFICACIÓN |
|-----------------------------|----------------------|
| < 25 | Microcuenca |
| 25 a 250 | Pequeña |
| 250 a 500 | Intermedia-Pequeña |
| 500 a 2500 | Intermedia-Grande |
| 2500 a 5000 | Grande |
| >5000 | Muy Grande |

Figura 3.
Delimitación de subcuencas.



Análisis de la morfometría

Parámetros asociados a la forma de la cuenca: los datos obtenidos y recopilados en la tabla 2 recogen los aspectos básicos que

representan la cuenca, constituyen la información mínima básica necesaria para conocer la naturaleza, características y comportamiento de la cuenca y sus subcuencas.

Tabla 2.
Parámetros asociados a la forma de la cuenca.

| Nombre SubCuenca | Área (Km ²) | Perímetro (Km) | Long. Cuenca (Km) | Ancho Cuenca (Km) | Factor Forma Kf | Coefficiente Compacidad Kc | Índice Alargamiento |
|------------------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------|-----------------|----------------------------|---------------------|
| Río Moniquirá | 215,386 | 96,525 | 21,401 | 10,064 | 0,470 | 1,8415 | 2,126 |
| Río Sutamarchán | 412,361 | 141,087 | 33,101 | 12,458 | 0,376 | 1,9453 | 2,657 |
| Río Cane | 205,092 | 108,325 | 21,974 | 9,333 | 0,424 | 2,1179 | 2,354 |
| Río Leiva | 321,406 | 150,887 | 30,961 | 10,381 | 0,335 | 2,3565 | 2,982 |

Parámetros relativos al relieve de la cuenca: los datos del relieve de la cuenca encontrados en la tabla 3, son importantes, ya que muestran la influencia sobre el comportamiento hidrológico y, de manera general, influyen en los tiempos de escorrentía.

Tabla 3.

Parámetros relativos al relieve de la cuenca.

| Nombre subcuencas | Altura Máxima (m s. n. m.) | Altura Mínima (m s. n. m.) | Pendiente media Principal (m/m) | Pendiente media Cuenca % |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|---------------------------------|
| Río Moniquirá | 3318 | 1682 | 46,71292617 | 25,342668 |
| Río Sutamarchán | 3480 | 2044 | 76,28569012 | 23,123423 |
| Río Cane | 3614 | 2074 | 119,9003426 | 28,841717 |
| Río Leiva | 3844 | 2045 | 129,7844021 | 24,195034 |

Parámetros referentes al drenaje de la cuenca: los datos recopilados en la tabla 4 permiten clasificar el drenaje de la cuenca en estudio.

Tabla 4.

Parámetros referentes al drenaje de la cuenca.

| Nombre Subcuenca | Cauce Total (Km) | Cauce Principal (Km) | Densidad Drenaje Dd | Tiempo Concentración (Kirpich) (minutos) | Sinuosidad |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|---|-------------------|
| Río Moniquirá | 264,462 | 35,022 | 1,22784854 | 32,5568928 | 1,63650084 |
| Río Sutamarchán | 691,361 | 18,824 | 1,67658891 | 14,4877442 | 0,56868715 |
| Río Cane | 464,498 | 12,844 | 2,26482008 | 8,3058566 | 0,58450226 |
| Río Leiva | 224,563 | 13,861 | 0,69868786 | 8,6945677 | 0,44770748 |

Análisis de precipitación

Se identificaron las estaciones que se encuentran cerca de la cuenca, tomando datos esenciales de estas para

ser pedidas en el portal del IDEAM, donde se solicitó la información según los datos de la tabla 5.

Tabla 5.
Información de estaciones.

| Código | Nombre | Categoría | Estado | Municipio | Latitud | Longitud | Altitud |
|---------------|----------------------|---------------------|---------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|
| 24010410 | Emporio la hacienda | Pluviométrica | Activa | Villa De Leyva | 5,6020 | -73,5452 | 2120 |
| 24015300 | Villa de Leiva - Aut | Climática Principal | Activa | Villa De Leyva | 5,6020 | -73,54394 | 2215 |
| 24010630 | Arcabuco | Pluviométrica | Activa | Arcabuco | 5,7605 | -73,4441 | 2600 |
| 24010810 | Gachantivá | Pluviométrica | Activa | Gachantivá | 5,7500 | -73,5400 | 2375 |
| 24010750 | Miravalles | Pluviométrica | Activa | Moniquirá | 5,9258 | -73,6091 | 1730 |
| 24010710 | Moniquirá | Pluviométrica | Activa | Moniquirá | 5,8521 | -73,5764 | 1764 |
| 24010840 | Panelas | Pluviométrica | Activa | Motavita | 5,6343 | -73,3864 | 3195 |
| 24011110 | Potrero ceba | Pluviométrica | Suspendida | Moniquirá | 5,8333 | -73,5500 | 2000 |
| 24017600 | Moniquirá - Aut | Limnigráfica | Activa | Moniquirá | 5,8781 | -73,5702 | 1720 |

Nota. Tomado de IDEAM.

La delimitación del área de influencia de cada una de las estaciones, se calculó con el método de las isoyetas, con el fin de llegar a obtener la precipitación media sobre la cuenca. Posteriormente, el cálculo de la precipitación máxima probable se realizó por medio del método Gumbel, ya que es más sencillo de aplicar. Las intensidades máximas de precipitación se obtienen de

manera más directa, lo cual dio como resultado las curvas IDF de cada estación.

Determinación del caudal

Para el cálculo del caudal de la cuenca, se usa el método del número de curva a partir del software ArcGIS, el cual, mediante un modelo, proporcionó los datos del número de curva para cada subcuenca como se observa en la tabla 6.

Tabla 6.

Número de curva por subcuenca

| Nombre Subcuenca | Número de Curva | |
|------------------|-----------------|--------------|
| | Cond. Seca | Cond. Húmeda |
| Río Moniquirá | 73,2569 | 80,5819 |
| Río Sutamarchán | 69,3593 | 76,6843 |
| Río Leiva | 67,5495 | 74,8745 |
| Río Cane | 68,6433 | 75,9683 |

Dados estos valores, se procedió a calcular el caudal máximo para cada periodo de retorno, los cuales se observan en las tablas 7, 8, 9, 10 y 11.

Tabla 7.

Caudal de las subcuencas para un periodo de retorno de 2 años.

| Subcuenca | Área de drenaje (km ²) | Caudal (m ³ /s) | Volumen (m ³) |
|-------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Río Moniquirá | 215.386 | 272.7 | 3956 |
| Río Sutamarchán | 412.361 | 146.2 | 2181 |
| Río Leiva | 205.092 | 24.9 | 489 |
| Río Cane | 321.406 | 171.2 | 2294 |
| Punto de interés | | 615 | |

Tabla 8.*Caudal de las subcuencas para un periodo de retorno de 2.3 años.*

| Subcuenca | Área de drenaje (km²) | Caudal (m³/s) | Volumen (m³) |
|-------------------------|---|---------------------------------|--------------------------------|
| Río Moniquirá | 215.386 | 309.8 | 4479.6 |
| Río Sutamarchán | 412.361 | 190.1 | 2621.9 |
| Río Leiva | 205.092 | 51.3 | 969.9 |
| Río Cane | 321.406 | 131.8 | 1693.1 |
| Punto de interés | | 683 | |

Tabla 9.*Caudal de las subcuencas para un periodo de retorno de 10 años.*

| Subcuenca | Área de drenaje (km²) | Caudal (m³/s) | Volumen (m³) |
|-------------------------|---|---------------------------------|--------------------------------|
| Río Moniquirá | 215.386 | 710.4 | 9668.8 |
| Río Sutamarchán | 412.361 | 668.3 | 7606.2 |
| Río Leiva | 205.092 | 364.3 | 4132.8 |
| Río Cane | 321.406 | 282.4 | 3459.3 |
| Punto de interés | | 2025.4 | |

Tabla 10.*Caudal de las subcuencas para un periodo de retorno de 25 años.*

| Subcuenca | Área de drenaje (km²) | Caudal (m³/s) | Volumen (m³) |
|-------------------------|---|---------------------------------|--------------------------------|
| Río Moniquirá | 215.386 | 959.3 | 12945.9 |
| Río Sutamarchán | 412.361 | 989.3 | 11087.2 |
| Río Leiva | 205.092 | 516.1 | 5316.6 |
| Río Cane | 321.406 | 460.3 | 5782.4 |
| Punto de interés | | 2925 | |

Tabla 11.*Caudal de las subcuencas para un periodo de retorno de 50 años.*

| Subcuenca | Área de drenaje (km²) | Caudal (m³/s) | Volumen (m³) |
|-------------------------|---|---------------------------------|--------------------------------|
| Río Moniquirá | 215.386 | 1150.7 | 15492.1 |
| Río Sutamarchán | 412.361 | 1244 | 13903.9 |
| Río Leiva | 205.092 | 635.7 | 7105.2 |
| Río Cane | 321.406 | 604.9 | 6859.5 |
| Punto de interés | | 3635.3 | |

Simulación de la inundación

Las manchas de inundación para los periodos de retorno de 2.3, 10 y 50 años, se procesaron en el

programa HEC-GeoRAS, el cual creó las figuras 4, 5, y 6 respectivamente.

Figura 4.

Mapa de inundación periodo de retorno 2.3 años.

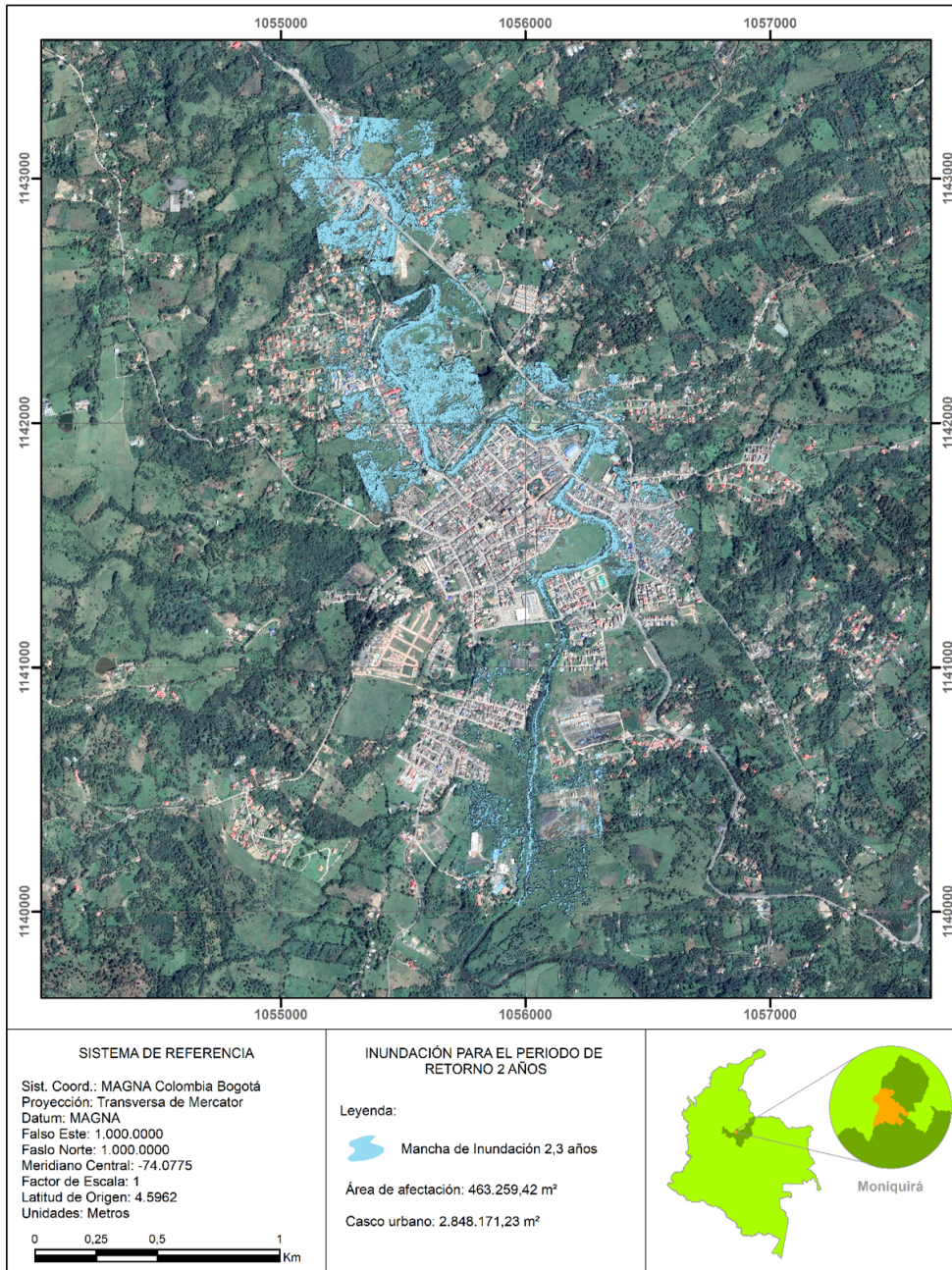


Figura 5.
Mapa de inundación periodo de retorno 10 años.

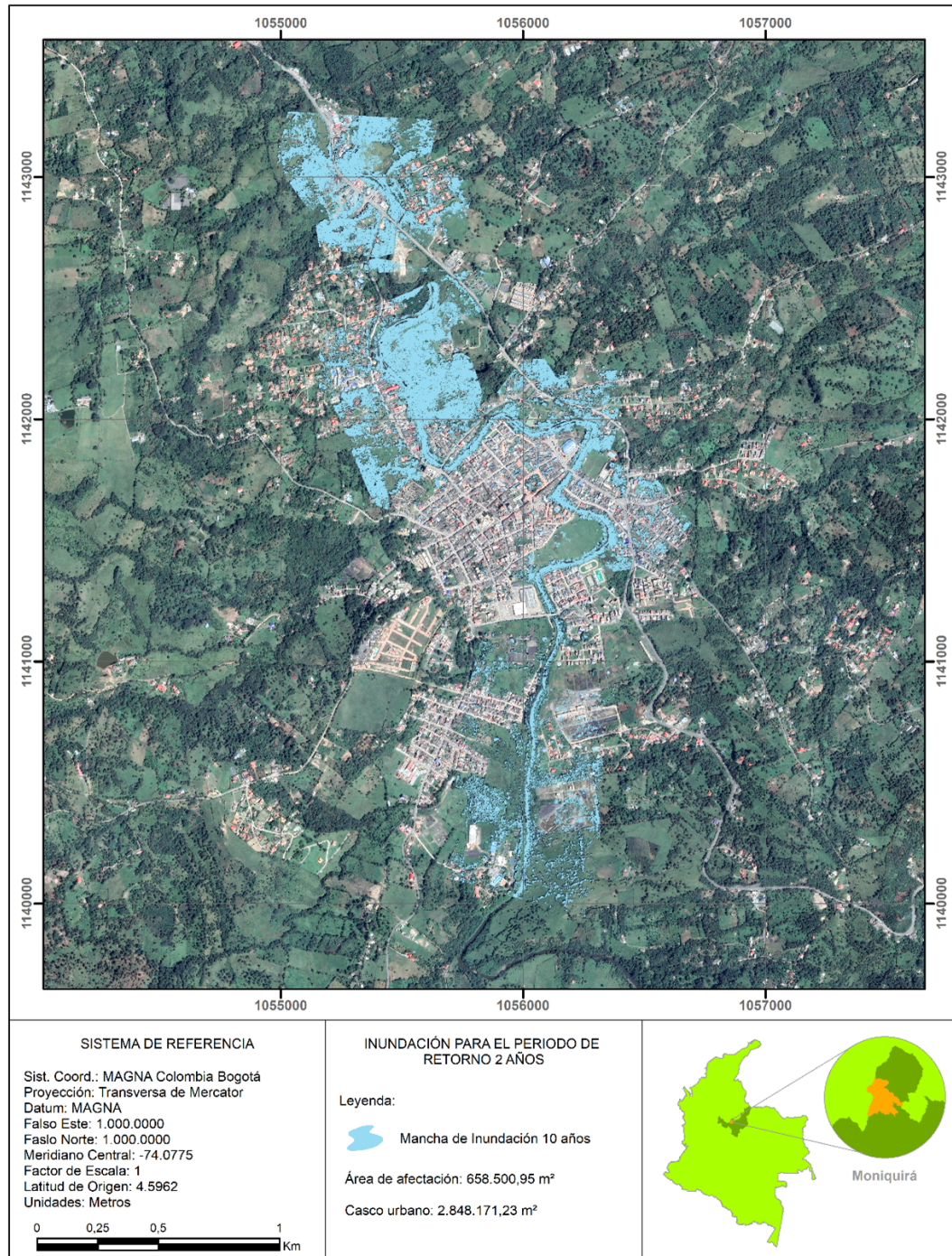
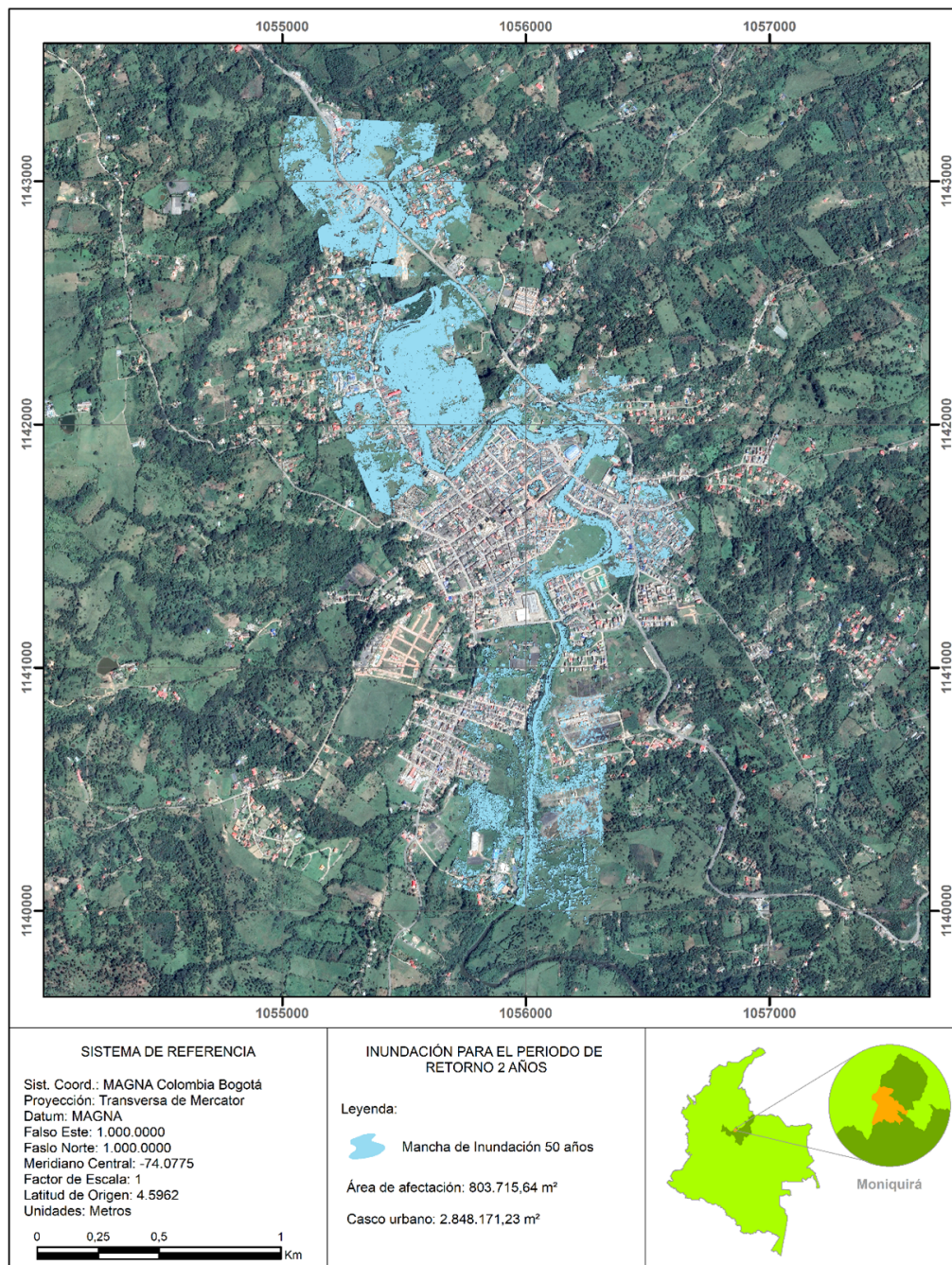


Figura 6.
Mapa de inundación periodo de retorno 50 años.



4. DISCUSIÓN

Debido al área de la cuenca del río Moniquirá, esta tuvo que dividirse en 4 subcuencas cada una con características diferentes. Debido a su ubicación y distinción de

perfiles y tamaños, se encontraron tanto subcuencas ligeramente ensanchadas como no ensanchadas con compacidad rectangular y alargadas. La cuenca cuenta un relieve de accidente y clase fuerte, lo que indica que su pendiente es

considerablemente pronunciada. Por otra parte, la densidad de drenaje de la cuenca está de moderada a baja, y los tiempos de concentración oscilan entre los 8 y los 32 minutos entre las subcuencas, lo que reitera la pendiente pronunciada y la baja capacidad de drenar que tienen las mismas. Es importante recalcar que los números de curva de las subcuencas indican que la zona de estudio cuenta con un suelo en condiciones impermeabilidad, y la obtención del caudal por medio de hietogramas para cada periodo de retorno evidencia la profundidad de la precipitación a lo largo de la duración de la tormenta, y que la amenaza en la que se encuentra el municipio va en aumento. Lo anterior se sustenta en las manchas de inundación donde se aprecia el continuo aumento de la amenaza entre un periodo de retorno y el otro, lo que permitiría la planeación de medidas mitigantes de la afectación humana, ambiental y económica del municipio. En líneas generales, la metodología propuesta ha permitido una representación gráfica precisa de la amenaza de inundación que afecta al municipio de Moniquirá. Esto ha contribuido a un mejor entendimiento por parte de la población en comparación con otras metodologías, como la propuesta por la Universidad Nacional de Colombia. En esta última, la evaluación de la amenaza se basa en mosaicos cartográficos básicos y mapas geomorfológicos, utilizando un enfoque cualitativo que combina los niveles de vulnerabilidad y riesgo. Además, se utiliza una

metodología heurística en la que se asigna una ponderación en función del grado de criticidad.

5. CONCLUSIONES

El análisis de áreas afectadas por inundaciones en Moniquirá, revela una tendencia preocupante de crecimiento en la vulnerabilidad del casco urbano. En un periodo de retorno de 2 años, aproximadamente el 16.26 % del área urbana está propensa a ser afectada. Esta proporción crece al 23.11 % para un periodo de 10 años y alcanza al 28.22 % para 50 años. Estos datos cuantitativos evidencian una progresiva expansión del riesgo de inundación, por lo que se subraya la necesidad de intervenciones técnicas y planificación estratégica para mitigar las potenciales repercusiones en la infraestructura, población y economía del municipio. La cartografía y los datos disponibles en el municipio y entre los organismos gubernamentales, requieren una urgente actualización. Dada la creciente amenaza de inundaciones y la expansión de áreas expuestas, es imperativo que el municipio base su gestión de riesgos en información contemporánea. El crecimiento poblacional, combinado con el inadecuado asentamiento, tiene repercusiones en dimensiones ambientales, económicas y ecológicas que moldean directamente la dinámica del área. A través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se identifica que Moniquirá se encuentra en una zona de amenaza intermedia por inundaciones. Sorprendentemente, es la población

rural la más vulnerable, subrayando la necesidad de actualizar los planes de gestión de riesgos. Es imperativo implementar medidas preventivas, como el manejo adecuado de cuencas, fortificación de ribera, construcción de canales, diques y expansión de drenajes pluviales. Actividades antrópicas, como la contaminación, la expansión urbana indiscriminada, la extracción inadecuada de materiales y la deforestación, intensifican y exacerban los daños por eventos hidrometeorológicos.

Finalmente, es esencial enfatizar en que la precisión de los resultados depende directamente de la calidad de la información de entrada. Para garantizar exactitud en modelaciones con objetivos hidrológicos, es vital ejecutar investigaciones exhaustivas y emplear instrumentación especializada en labores de campo, tales como topografía, batimetría y georreferenciación.

REFERENCIAS

- Alcaldía de Moniquirá. (2003). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial*. Planeación.
- ArcGisPro. (2018). *ArcGisPro. ModelBuilder*. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/analysis/geoprocessing/modelbuilder/what-is-modelbuilder.htm>
- Campos, D. (1998). *Procesos Del Ciclo Hidrológico*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Corpoboyacá. (2014). *Gestión del Riesgo*. <https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/03/Gestion-del-riesgo.pdf>
- Corpoboyacá. (2017). *Actualización POMCA Rio Medio y Bajo Suarez*. Corpoboyacá.
- CORPOCESAR. (s.f.). *Formulación del POMCA del rio Bajo Cesar*. CORPOCESAR.
- Fernández, R. (2020, 17 de febrero). *Statista*. <https://es.statista.com/estadisticas/645082/victimas-mortales-de-los-fenomenos-hidrologicos-mas-devastadores/>
- Flórez, D. y Fernández, D. (2017, 3 de marzo). Los sistemas de información geográfica. Una Revisión. *FAGROPEC*, 9(1), 11-16. <https://editorial.uniamazonia.edu.co/index.php/fagropec/article/view/347>
- Gidahatari. (s.f.). *Gestión Sostenible del agua*. HEC-HMS. <https://gidahatari.com/ih-es/cuantos-metodos-tiene-hec-hms-para-el-modelamiento-hidrologico#:~:text=HEC-HMS%20es%20un%20software%20dise%C3%B1ado%20por%20el%20US,derretimiento%20de%20la%20nieve%2C%20y%20el%20humedecimiento%20del>
- IDEAM. (2020, 1 de enero). *IDEAM*. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>
- Inegi. (s.f.). *Modelos Digitales de Elevación (MDE) - Descripción*. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2017). *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación*. IDEAM.
- Lozano, O. (s.f.). *Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos*. PREDES.
- Lux, B. (2012). *Conceptos básicos de morfometría de cuenca hidrográficas*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Maidment, D. (1993). *Handbook Of Hydrology*. McGraw-Hill.
- Martínez, L. (2012, 24 de abril). En Moniquirá siete barrios amanecieron con el

agua al cuello por fuertes lluvias. *VANGUARDIA*. <https://www.vanguardia.com/santander/region/en-moniquira-siete-barrios-amanecieron-con-el-agua-al-cuello-por-fuertes-lluvias-AFVL153740>

Millán, C. (2018). *Modelación del flujo de detritos para el análisis del riesgo en la quebrada los cóndores, provincia de Lima, Perú* [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional RENATI. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3190830>

Morad, M. y Triviño, A. (2001). Sistemas de información geográfica y modelizaciones hidrológicas: una aproximación a las ventajas y dificultades de su aplicación. *Boletín de la A.G.E.*, (31), 23-46.

Morales, D. y Pinto, J. (2017). *Evaluación de la amenaza y vulnerabilidad por crecientes del río Acacias en el área urbana del municipio de Acacias - Meta* [tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. Repositorio institucional LASALLE. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/275/

Moreno, F. y Esquivel, J. (2015). *Estudio morfométrico de la cuenca del río azul, afluente del río calima, departamento del Valle del Cauca* [tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/2126>

Moreno, J. y Mateus, P. (2011). *Susceptibilidad del departamento de Boyacá a inundaciones y deslizamientos*. Departamento administrativo de planeación de Boyacá.

Moreno, J. (2016, 12 de noviembre). *Villa del Rio*. <https://villadelrioblog.wordpress.com/2016/11/12/98/>

Rodríguez, E. (2016). *Diseño metodológico para la evaluación del riesgo por inundación a nivel local con información escasa* [tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional UN. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57109>

Rojas, N. (2011). *Curvas de Intensidad Duración Frecuencia de algunas estaciones meteorológicas mecánicas*. MINAET.

Sáenz, N. (1992). Los sistemas de información geográfica (SIG) una herramienta poderosa para la toma de decisiones. *Ingeniería e investigación*, (28), 31-40. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4902930>

Sedano, R. (2012). *Gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia* [tesis de máster, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio institucional UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/27223#>

SIAC. (2020). *Mapas de inundación de Colombia*. <http://www.siac.gov.co/inundaciones>

Umpierrez, O. (2016). *Análisis de impactos hidrológicos del “el niño” - compilación, estudios e investigación*. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas.

UNDRR. (2001). *Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres*. <https://www.eird.org/americas/>

Vélez, J. y Correa, P. (s.f.). *Sistema de Información Geográfica para apoyar la gestión del Recurso Hídrico en Cuencas Rurales* [ponencia]. XV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Bogotá, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7832>

Villegas, P. (2014, 18 de agosto). *Agua y SIG. Tiempo de concentración de la cuenca*. [https://aguaysig.com/tiempo-de-concentracion-de-la-cuenca/#:~:text=L%20%3D%20longitud%20del%20curso%20de,y%20la%20salida%20\(m\).&text=tc%3D%20tiempo%20de%20concentraci%C3%B3n%20\(horas,de%20retardo%20SCS%20\(1973\)\)](https://aguaysig.com/tiempo-de-concentracion-de-la-cuenca/#:~:text=L%20%3D%20longitud%20del%20curso%20de,y%20la%20salida%20(m).&text=tc%3D%20tiempo%20de%20concentraci%C3%B3n%20(horas,de%20retardo%20SCS%20(1973)))