

2.4 Desafíos Tecnológicos en la Gestión del Riesgo del Río Molino en la Ciudad de Popayán (Colombia)

Catalina Muñoz Collazos [0000-0003-3931-1933], Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. catalinamunoz@unicauca.edu.co.

Gustavo Adolfo Gómez Agredo [0000-0002-3413-562X], Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. gtgomez@unicauca.edu.co

María Manuela Silva Zambrano [0000-0002-5392-0113], Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. mariasilva@unicauca.edu.co

Claudia Milena Hernández Bonilla [0000-0003-0222-633X], Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. claudiah@unicauca.edu.co

Virginia Solarte Muñoz [0000-0001-8594-7479], Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. vsolarte@unicauca.edu.co

Alejandro Toledo Tovar [0000-0001-9289-2496], Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. atoledo@unicauca.edu.co

Resumen - Colombia se caracteriza por ser un país rico en recursos hídricos y su uso eficiente, es factor clave del desarrollo económico, ambiental y turístico del mismo. El Departamento del Cauca, al suroccidente del país, goza de numerosos cuerpos de agua que tienen su origen en el Macizo Colombiano. Su capital, Popayán, es una de las zonas con mayores fuentes de agua y mayores índices de pluviosidad, está bañada por la subcuenca Molino - Pubús y constituye una oportunidad de desarrollo de estrategias, acciones y prácticas encaminadas a la protección de la población y los recursos. Históricamente, factores de riesgo como las fuertes precipitaciones y deslizamientos, han generado situaciones de emergencia por inundaciones en la zona urbana. La Unidad del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo, entidad encargada de dirigir, orientar y coordinar el tema en Colombia, fortalece las capacidades de las entidades públicas, privadas, comunitarias y de la sociedad en general. Sin embargo, a nivel local, aunque existen algunas iniciativas para mitigar los efectos perjudiciales en la zona de influencia de la cuenca, aún se presentan muchas debilidades que evidencian la desarticulación de los procesos de desarrollo sostenible de la ciudad con respecto a la gestión del riesgo. Se ha identificado la necesidad de realizar una búsqueda de información sobre los sistemas de alerta temprana y la gestión de

inundaciones sobre la cuenca del río Molino, que sea base en el planteamiento de soluciones orientadas a mitigar los riesgos alrededor de esta cuenca apoyadas en el uso de las TIC.

Palabras claves - Gestión del Riesgo, TIC, monitoreo, alerta, inundación, sistema de alerta temprana

Resumo - A Colômbia se caracteriza por ser um país rico em recursos hídricos e seu uso eficiente é um fator chave para seu desenvolvimento econômico, ambiental e turístico. O Departamento de Cauca, no sudoeste do país, possui numerosas massas de água que têm sua origem no maciço colombiano. Sua capital, Popayán, é uma das áreas com maiores fontes de água e maiores índices pluviométricos, sendo banhada pela sub-bacia Molino - Pubús, essa constitui uma oportunidade para desenvolver estratégias, ações e práticas voltadas para a proteção da população e dos recursos naturais. Historicamente, fatores de risco como chuvas intensas e deslizamentos de terra têm gerado situações de emergência devido a inundações em áreas urbanas. A Unidade do Sistema Nacional de Gestão de Riscos, entidade encarregada de dirigir, orientar e coordenar o tema na Colômbia, fortalece as capacidades de entidades públicas, privadas, comunitárias e da sociedade em geral. No entanto, ao nível local, embora existam algumas iniciativas para mitigar os efeitos nocivos na área de influência da bacia, ainda existem muitas fragilidades que mostram a desarticulação dos processos de desenvolvimento sustentável da cidade no que diz respeito à gestão de riscos. Foi identificada a necessidade de realizar uma pesquisa de informação sobre sistemas de alerta precoce e gestão de cheias na bacia do rio Molino, e que se baseia na abordagem de soluções destinadas a mitigar os riscos nesta bacia suportadas pelo uso das TIC.

Palavras-chave - Gestão de risco, TIC, monitorização, alerta, inundações, sistema de alerta precoce

1. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país que, dadas sus características físicas y geográficas, se enfrenta a fenómenos de inundación dependientes de condiciones climáticas y comportamentales de su población. La superficie colombiana está cubierta por cuerpos de agua que alcanzan el 1,7 % de ésta, sin embargo, en tiempos de inundación se alcanza a cubrir hasta el 28% del territorio nacional. Los estudios realizados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), arrojan que el 28 % de la población está expuesta a un alto riesgo de inundación, lo que representa aproximadamente 12 millones de colombianos (IDEAM, 2013).

Las condiciones determinadas por la zona intertropical, la pendiente del terreno, la geomorfología de los ríos a las que se asocian factores físicos como el cambio climático y efectos de fenómenos externos por interacción océano-atmósfera (Niño-Niña), además de factores antrópicos y de ordenamiento territorial, han generado desbordamientos de las fuentes hidrográficas en el territorio nacional. En los últimos 21 años y de acuerdo con información de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) se ha registrado un mayor índice de eventos de avalanchas, crecientes súbitas e inundaciones, particularmente en los departamentos Cundinamarca, Antioquia, Santander, Choco, Tolima, Bolívar y Cauca. Este último departamento cuenta con diversidad de fuentes hídricas que registran gran cantidad de los mencionados eventos, registrándose 368 entre los años 2000 y 2020, que afectaron especialmente a familias y pequeños comerciantes. En la Figura 1 se presenta la cantidad de eventos registrados en cada municipio del departamento del Cauca destacando a Popayán como uno de los escenarios más complejos.

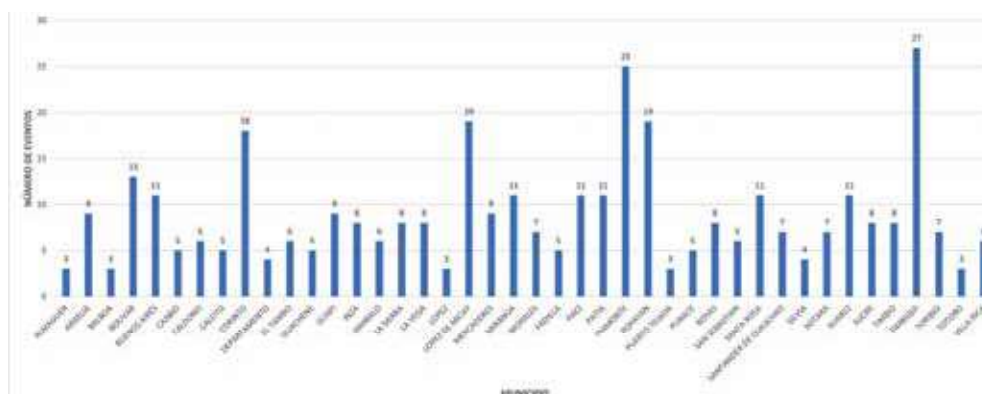


Figura 1: Número de eventos (Inundaciones, Avalanchas y Crecientes súbitas) en el Cauca 2000-2020.
Fuente: Elaboración propia con datos de repositorio de la UNGRD (UNGRD, 2021a).

Los eventos asociados a la ocurrencia del fenómeno de la Niña en los años 2010, 2011 y 2012 evidenciaron la importancia de los mecanismos para la planificación y la prevención de desastres por inundaciones. Dentro de estos mecanismos se considera importante la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) en la prevención y mitigación de desastres naturales trópicos o antrópicos, tales como las inundaciones por desbordamiento de los ríos. La UNGRD define los SAT como: “Sistema o conjunto de capacidades relacionadas entre sí para la vigilancia, previsión y predicción de amenazas, evaluación de los riesgos de desastres, así como, actividades, sistemas y procesos de comunicación y preparación, que permite proveer y diseminar información oportuna y eficiente a individuos, comunidades expuestas a una amenaza, instituciones y autoridades, para actuar con tiempo suficiente de antelación y de manera oportuna ante un evento peligroso, a fin de reducir la posibilidad de daños y pérdidas sobre las personas,

bienes y servicios, infraestructura, sistemas productivos y medio ambiente” (UNGRD, 2021). Un SAT aplicado al monitoreo de las cuencas y afluentes permite el pronóstico de posibles inundaciones, identificación de deslizamientos y su manejo; el cual debe integrar cuatro componentes que son: i) conocimiento sobre los riesgos de desastres, ii) detección, vigilancia análisis y predicción de los peligros y consecuencias posibles, iii) difusión y comunicación de avisos, iv) capacidades de preparación y respuesta (UNGRD, 2021).

En el caso de la ciudad de Popayán, la dinámica de crecimiento de la ciudad se ha realizado alrededor de las diferentes fuentes hídricas; el uso de suelos en la zona rural se ha destinado a la industria, la agricultura y la ganadería. En estas áreas la deforestación y el crecimiento urbano fuera del plan de ordenamiento territorial han contribuido al incremento de contaminación, riesgos de inundación y deslizamientos que afectaron a las zonas urbanas. Es de destacar que en diciembre del año 2013 y como consecuencia de las inundaciones, se registraron afectaciones en 300 viviendas y 46 barrios de la ciudad, así como el colapso del muro en el centro de reclusión de la Magdalena (Alcaldía de Popayán, 2017). De allí, la importancia de aportar en la prevención de inundaciones mediante el mejoramiento del SAT del río Molino desde una perspectiva académica y tecnológica, empezando por una identificación documental de los avances en el conocimiento de los ríos urbanos, así como las iniciativas de otros SAT en Colombia que permita identificar las oportunidades de mejora del SAT del río Molino.

2. DESCRIPCIÓN DEL CASO Y PROBLEMA ABORDADO

Popayán está ubicada al sur occidente colombiano y es la capital del departamento del Cauca, tiene una extensión territorial de 512 km² con altitud media de 1.760 Metros Sobre el Nivel del Mar (MSNM), precipitación media anual de 1.941 mm y su temperatura promedio es de 14 °C a 19 °C. Además, posee un patrimonio cultural tangible representado en los cerros, los ríos y las construcciones coloniales. La cuenca del río Molino es afluente directo del río Cauca, tiene una extensión de 5.547,28 hectáreas de forma alargada y estrecha, de relieve montañoso suavizado por cenizas volcánicas, presenta una elevación media de 2.624 MSNM en un rango altitudinal entre los 1.700 y los 2.800 MSNM, lo cual permite que se diferencien los pisos bioclimáticos subandino, andino y alto andino. El nacimiento del río Molino es en el cerro del Canelo, vereda de Santa Elena, corregimiento de Poblazón, tiene una longitud de 24,5 Km. y aporta el 10 % del agua del acueducto municipal.

El comportamiento del río se rige por una cuenca alta típica de montaña, con vertientes cortas y altas pendientes que influyen un escurrimiento rápido que forman crecientes súbitas con altos picos en los caudales. Los caudales medios y mínimos son regulados por la composición de los suelos. De otro lado, la cuenca en la parte baja tiene una gran extensión en la formación geomorfológica del Valle de Pubenza, lugar donde el río Molino deja su comportamiento torrencial y pasa a describirse como un río típico de llanura aluvial, es

decir, de baja pendiente y formación de meandros entre otras características. La cuenca río Molino, cuenta con 8 corregimientos, 10 veredas y 4 comunas urbanas, en las cuales existen diferentes grupos poblacionales asentados: campesinos e indígenas en la zona rural y comunidades urbanas, estimados en 53.329 habitantes, quienes teniendo en cuenta la actividad que realizan en la zona impactan en mayor o menor medida los recursos en las riberas del río. Por su parte, la zona rural se caracteriza por ser ganadera y agrícola. En la Figura 2 se observa la ubicación del municipio de Popayán en el departamento del Cauca y el recorrido del río Molino sobre la ciudad de Popayán.



*Figura 2: Zonas de inundación en el área urbana de Popayán.
Fuente: Adaptada de Milenioscuro (2015).*

En épocas de lluvias, que actualmente se han intensificado debido a los fenómenos de la Niña y el Niño, se aceleran antiguos problemas de erosión que han contribuido al aumento de los fenómenos de remoción de tierra, llevando a represamientos en el río, incremento en su caudal y afectando posteriormente a la ciudad con anegamiento de áreas con mínima pendiente, daños en viviendas, equipamientos, zonas comerciales, vías de comunicación, producción agropecuaria y, en casos catastróficos, con pérdida de vidas humanas. Adicionalmente, problemas derivados de la intervención humana como las alteraciones del flujo sobre las márgenes del cauce principal, produce cambios de curso permanentes y pérdida de áreas productivas. Por último, ante casos de inundación el drenaje lento de las áreas inundadas, las convierten en depósito de aguas estancadas, generando problemas sanitarios sobre la población (Villaquirán López & Granobles, 2017).

La ciudad de Popayán se ha visto afectada varias veces por inundaciones causadas por las crecientes presentadas en el río Molino, como se muestra en la Figura 3. Hoy en día la Alcaldía Municipal de Popayán, a través de la Oficina de Gestión del Riesgo, busca caminos

que permitan obtener soluciones a esta problemática, pero a pesar de los esfuerzos de esta entidad y otras relacionadas con el sector, es evidente que la ciudad dentro de sus procesos de planificación y desarrollo resulta vulnerable frente a este tipo de eventos ambientales.

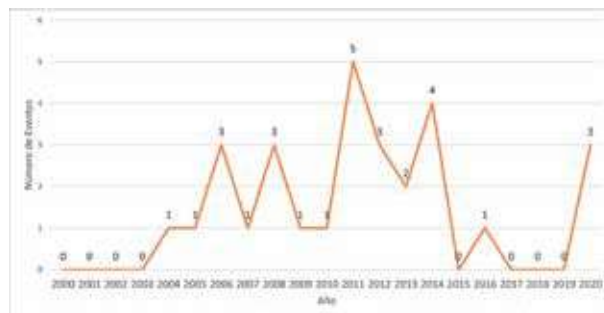


Figura 3: Número de eventos (Inundaciones, Avalanchas y Crecientes súbitas) en Popayán 2000-2020.

Fuente: Elaboración propia con datos de la UNGRD (UNGRD, 2021a).

En la ciudad de Popayán, diferentes entidades gubernamentales han propuesto algunas iniciativas para mitigar los efectos perjudiciales en la zona de influencia del río Molino y se han incorporado estrategias en cuanto a la implementación de un SAT, soportado por dispositivos medidores de nivel del agua, con el fin de obtener un reporte en tiempo real de esta variable. Sin embargo, la información documental sobre los trabajos desarrollados y el SAT se encuentra dispersa, evidenciando la desarticulación del conocimiento existente para la gestión del riesgo de desastres. Con el fin de afrontar este problema se propone la construcción de un estado del arte a partir del cual plantear soluciones más sostenibles de la problemática alrededor de la cuenca del río Molino. A partir de allí y considerando las condiciones naturales y antrópicas que contribuyen al incremento del riesgo por inundación en las zonas urbanas se propone aportar soluciones apoyadas en el uso de Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones (TIC) con las cuales hacer frente al riesgo de desastres en Popayán.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para abordar el trabajo se analizó el estado del arte de la temática de interés en diferentes bases de datos, además se realizó una búsqueda documental de los diferentes sistemas y soluciones planteados frente a la gestión del riesgo en Colombia y específicamente los relacionados con el río Molino en la ciudad de Popayán. La búsqueda de información documental se realizó por medio de una investigación cualitativa, por lo tanto, los métodos de recolección de información no están estandarizados ni predeterminados completamente. Algunos métodos de recolección de información empleados fueron: la observación no estructurada, entrevistas abiertas, revisión de documentos, discusión en grupo, evaluación de experiencias personales, registro de historias de vida, e interacción e introspección con grupos o comu-

nidades. Para este caso, adicionalmente a la revisión de documentos, se realizaron reuniones con personal de la Oficina de Gestión del Riesgo de la Alcaldía del municipio de Popayán.

Para determinar los países que desarrollan estudios alrededor de la implementación de sistemas de alerta temprana y el monitoreo de recursos hídricos, se realizó la búsqueda de trabajos internacionales y nacionales relacionados en la temática, empleando como metodología la revisión sistemática, considerando aspectos del protocolo indicados por Kitchenham (Kitchenham B & Charters S, 2007). Esta metodología cubre 3 fases: planeación de la revisión, ejecución de la revisión y reporte de la revisión. Para la planificación se establecieron los siguientes elementos: preguntas de investigación, criterios de inclusión y exclusión y cadenas de búsqueda. Con respecto a la planeación, se realizó una revisión cienciométrica acotada a un periodo de tiempo abarcado para las investigaciones desarrolladas entre 2017 y 2021 mediante el uso de la herramienta *ScientoPy*¹ (Ruiz-Rosero et al., 2019). Con respecto a la ejecución, para el análisis cienciométrico se consideraron los trabajos publicados en las bases de datos *Web of Science (WoS)* y *Scopus* que reportaron las palabras clave de las cadenas de búsqueda: “monitoreo de ríos”, “monitoreo de caudales”, “sensado y prevención de inundaciones”; con lo cual el programa *ScientoPy* crea y asocia diferentes variaciones generando como resultado más de 150 estudios en el área de interés.

4. RESULTADOS Y DEBATE

247

Las búsquedas realizadas en las bases de datos especializadas permiten realizar un análisis a partir de los metadatos de los documentos resultantes. En virtud de ello es posible conocer, por ejemplo, qué países lideran la investigación en SAT aplicados al monitoreo de las cuencas y afluentes para el pronóstico de posibles inundaciones, así como también las palabras más utilizadas en estos documentos. China es el país que lidera la investigación sobre la aplicación de los SAT para el monitoreo de fuentes hídricas. La investigación en estos temas está altamente correlacionada con las condiciones ambientales de cada país, en la Figura 4 se observa una diferencia significativa entre la investigación realizada en China con respecto a los otros 9 países con mayor producción en estos temas, siendo Estados Unidos el segundo referente mundial.

¹ Esta herramienta está basada en Python; *ScientoPy* fue desarrollado en el programa de Doctorado en Ciencias de la Electrónica de la Universidad del Cauca; entre sus principales características se encuentran: importar el conjunto de datos de las bases de datos bibliográficas, *Web of Science (WoS)* y *Scopus*, filtrar publicaciones por tipo de documento, combinando el conjunto de datos de *WoS* y *Scopus* basado en una tabla de correlación de etiquetas de campo, buscar y eliminar documentos duplicados, extraer el índice H para los temas analizados, permitir diferentes tipos de visualizaciones (línea de tiempo, evolución, barras, tendencias de barras y nube de palabras), encontrar los principales autores, instituciones o países con base a las cadenas de búsqueda.

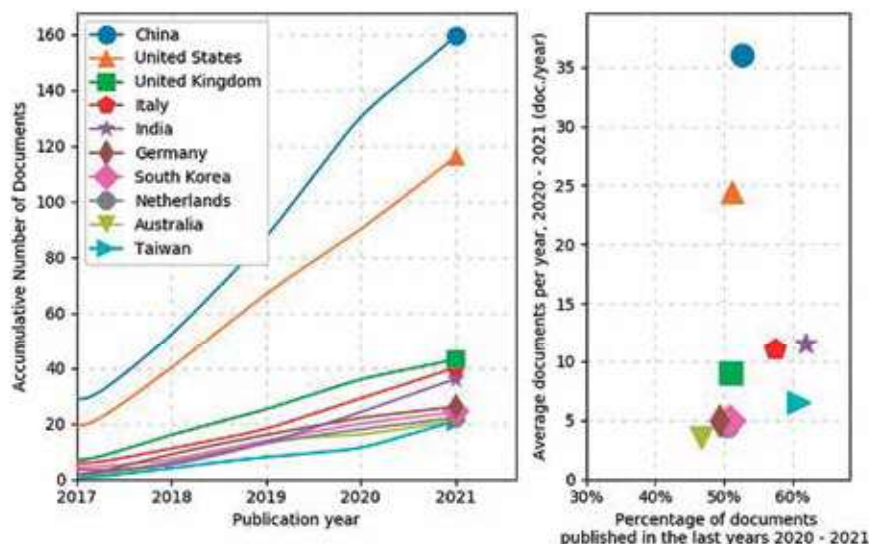


Figura 4: Número de publicaciones por año según el país en los artículos obtenidos en las búsquedas.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5 se muestran las palabras más recurrentes en los documentos resultantes, siendo calidad del agua y sensado remoto las expresiones más utilizadas. Es importante resaltar que, la mayoría de las investigaciones que se encuentran en las bases de datos especializadas se centran en el primer componente de un SAT, según el modelo de cuatro componentes - UNGRD. Sin embargo, existen desarrollos o referentes con respecto a todos los componentes de un SAT, por ejemplo, el paquete de software RFFS (*River Flow Forecasting System*), que corresponde al segundo componente, ha sido utilizado por diferentes agencias gubernamentales de diferentes países, entre los cuales se encuentran: Inglaterra, Escocia, India y China. Este software produce, a partir de datos teledados, pronósticos del flujo y el nivel del río (UK, n.d.).

Por otro lado, la Organización de los Estados Americanos (OEA) junto con el gobierno de Irlanda cuentan con un manual para el diseño e implementación de un SAT de inundaciones en cuencas menores (OEA. Irlanda., 2001), el cual se centra en el cuarto componente de un SAT y tiene como fin crear un método sistemático que reúna los aspectos clásicos de los programas de preparativos y respuesta a emergencias, de tal manera que se mejore la capacitación de la comunidad.

Aunque Colombia es un país muy rico en recursos hídricos, atravesado por la cordillera de los Andes y caracterizado por un clima tropical, condiciones que lo hacen propenso a sufrir inundaciones, en la búsqueda realizada en las bases de datos especializadas no se tiene registro sobre los SAT y las investigaciones que se han realizado en la temática. Sin embargo, es de resaltar que el Gobierno Nacional promulgó la Ley 1523 de 2012 de

creación del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Dicha ley fija los roles de importancia para la gestión del riesgo en los ámbitos nacional y territorial. A partir de ello y de todas las emergencias sucedidas en la última década, se ha incrementado paulatinamente la necesidad de contar con Sistemas de Alertas Tempranas (SAT) con un objetivo claro de salvaguardar vidas siendo un compromiso de Colombia a nivel internacional en materia de adaptación al cambio climático. Con este propósito, el documento de referencia “Guía para el desarrollo de sistemas de alerta temprana SAT” de la UNGRD define una alerta como “estado que se declara con anterioridad a la manifestación de un evento peligroso, con base en el monitoreo del comportamiento del respectivo fenómeno, con el fin de que las entidades y la población involucrada activen procedimientos de acción previamente establecidos.” (UNGRD, 2021).

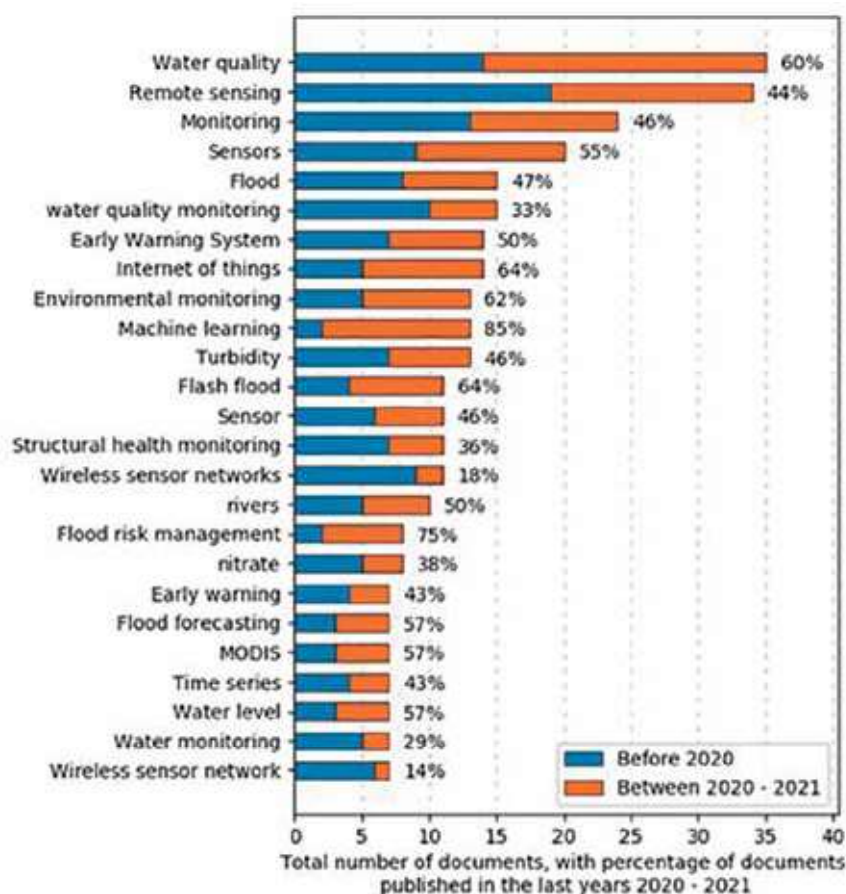


Figura 5: Porcentaje de aparición de palabras clave en los artículos obtenidos en las búsquedas.
Fuente: Elaboración propia.

En Colombia las diferentes entidades territoriales toman como referencia el modelo general de un SAT como se muestra en la Figura 6, con el fin de implementar sus propios procesos

De la búsqueda documental se encontraron algunos SAT implementados en Colombia, en regiones diferentes al departamento del Cauca, de los cuales se destacan:

- Sistema de alerta temprana de la Guajira: coordinado por *Corpoguajira* en asociación con la Cruz Roja. Brinda una descripción de las condiciones climáticas del departamento mediante boletines diarios que se publican en la página web (<https://corpoguajira.gov.co/wp/>), con las variables de temperatura mínima, máxima, viento, humedad, entre otras (Domínguez-Calle & Lozano-Báez, 2014).
- Sistema de Alertas Agroclimáticas Tempranas (SAAT) participativas con organizaciones y familias de custodios indígenas y campesinos de la cuenca alta del río Cauca: su objetivo principal es la participación de la comunidad campesina, capacitando a las comunidades locales sobre temas del clima, de tal forma que puedan planificar sus sistemas productivos y ayudar a monitorear el estado del río (CRC & Fundación Pro-Cuenca Río las Piedras, 2006).
- Sistema de Alertas Temprana ante eventos extremos del Clima (SATC) del Norte de Santander: Este SAT cuenta con un portal web, en el cual se puede consultar en tiempo real el clima y los niveles de alerta en el departamento de Norte de Santander. Adicionalmente se pueden diferenciar las diferentes subcuencas que atraviesan el departamento y los datos históricos de sus estaciones de medida. Otro aspecto que se debe resaltar de este SAT es que cuenta con una plataforma para capacitar a la comunidad y una opción para recibir información actualizada (CDGRD et al., n.d.).
- Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA): permite medir el nivel del agua de las fuentes hídricas de Medellín y sus zonas aledañas y cruzar esta información con las predicciones meteorológicas, para definir un nivel de riesgo para más de 500 estaciones implementadas, este se constituye en el SAT de Colombia con la mayor cantidad de información relevante. Adicionalmente, cuenta con una página web clara y de acceso público, en la cual se puede acceder a los diferentes complementos de SIATA como la capacitación social o las investigaciones que se realizan gracias a la información que recolecta (SIATA - Sistema de Alerta Temprana Del Valle de Aburrá, n.d.).

Con respecto a la ciudad de Popayán, y el río Molino en particular, se tiene información de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) en conjunto con la Fundación Pro-Cuenca Río las Piedras que permite caracterizar y diagnosticar este sistema fluvial. Dentro de la información disponible, la CRC tiene un análisis de espacios públicos del río Molino, en el cual identifican como efectos adversos (CRC & Fundación Pro-Cuenca Río las Piedras, 2006; *Río Molino – Pubús – CRC*, n.d.): i) El deterioro de los elementos construidos como canales u obras para reducir la rigurosidad del río, puentes, taludes, entre otros ii) Secciones del río en donde se presenta un hundimiento o encajonamiento del cauce del río, aumentando el riesgo de inundación iii) Construcciones muy cercanas a la ronda del río. Adicionalmente,

se encuentran disponibles algunas investigaciones de diferentes universidades colombianas, las cuales se pueden agrupar en 2 categorías, la primera categoría agrupa las investigaciones enfocadas en la calidad del agua del río Molino (Burbano Losada & Montaña Fuentes, 2020; Caicedo Zambrano et al., 2017), y la segunda comprende el estudio del riesgo por inundaciones de este afluente, ya sea por las condiciones que generan el riesgo (Villaquirán López & Granobles, 2017) o la evaluación de vulnerabilidad en diferentes zonas urbanas por las cuales transcurre el río (Arturo Hurtado et al., 2016; Muñoz Osorio & Agudelo Rosero, 2020).

La Alcaldía del municipio de Popayán con su Oficina de gestión del Riesgo implementó un SAT enfocado en el río Molino, el cual cuenta con una red de sensores de nivel de lámina de agua y estaciones pluviométricas, como se muestra en la Figura 8. También disponen de un sistema de transmisión de información emplea la banda libre de 900 MHz y potencia de radio frecuencia de 250 mW, adicionalmente, las estaciones tienen un sistema de redundancia operando en la banda de 5.8 GHz y un sistema de gestión que solamente está disponible para los funcionarios de la Oficina de Gestión del Riesgo. El sistema se complementa con una red de vigías comunitarios que emplean un sistema de comunicación por radio para informar sobre el estado del río.



Figura 8: Estaciones de medida del SAT del Río Molino. Fuente: Elaboración propia.

El SAT del río Molino constituye una ayuda para determinar los niveles de alerta temprana de inundación en la ciudad de Popayán; sin embargo, se tienen oportunidades de mejora en su funcionamiento y capacidades enfocadas en los siguientes aspectos tecnológicos:

- Es necesario realizar un análisis técnico del estado actual del SAT, a partir del cual se pueden proponer ampliaciones, vistas como nuevas estaciones de medida (pluviometría y nivel de agua) y nuevos sensores, como los sensores de desprendimientos de masas.
- Dado que la oficina de Gestión del riesgo de la Alcaldía del municipio de Popayán cuenta con un histórico de los datos recolectados por las estaciones de medida,

estos datos se pueden utilizar como insumo para implementar algoritmos de predicción y actualizar los valores que disparan los niveles de alerta (amarillo, naranja y rojo) de dichas estaciones.

- Es importante la colaboración de los vigías que viven cerca de la cuenca del río Molino; sin embargo, en algunos casos no es fácil establecer comunicación con este grupo de voluntarios, por lo que se deben buscar mecanismos para mejorar la comunicación, ya sea vía radio o por medio de la red móvil celular.
- Finalmente, para un correcto uso y aprovechamiento de las herramientas tecnológicas se deben realizar procesos de capacitación sobre aspectos de gestión del riesgo, no solo con los vigías, sino también con la comunidad en general.

5. CONCLUSIONES

- El río Molino es una fuente hídrica relevante para la ciudad de Popayán, pero constituye un riesgo constante para la población que se encuentra en su ladera, por lo tanto, es de vital importancia la generación de un trabajo organizado y participativo entre las entidades gubernamentales, la academia y las organizaciones sociales que permitan identificar y mitigar los riesgos asociados al mismo. Este trabajo busca ser un ente articulador que facilite procesos de capacitación con la comunidad, actualización y revisión del soporte tecnológico del SAT del río Molino, y utilización de sistemas de predicción que aporten en la gestión del riesgo.
- Existen estudios relacionados con las fuentes hídricas en la ciudad de Popayán realizados por diferentes entidades, pero todos obedecen a iniciativas independientes. Adicionalmente, no se encuentra información de estudios referentes al río Molino, específicamente los relacionados con sistemas de alertas tempranas, en bases de datos especializadas; sin embargo, los SAT implementados en otros lugares de Colombia constituyen un referente para las oportunidades de mejora que desde la academia y el área tecnológica se pueden implementar.
- Es posible aportar desde la academia con herramientas que faciliten el análisis de los datos del sistema de alerta tempranas del río Molino, de tal modo que se puedan establecer límites para determinar los diferentes niveles de alerta acordes con las características del río, también es posible utilizar algoritmos de predicción que analicen los datos y tengan la capacidad de determinar el nivel de riesgo existente en la cuenca del río. Además, es necesario realizar la revisión tecnológica del sistema de comunicación soporte del SAT de la ciudad de Popayán, de tal forma que se empleen tecnologías acordes para la zona de interés y con capacidad de escalabilidad a futuro.

- Los procesos de capacitación con la comunidad son vitales en la gestión del riesgo y pueden desarrollarse efectivamente, aprovechando la experiencia de los grupos de investigación GNTT e IDIS en procesos de apropiación social.
- Para propender por el desarrollo sostenible de la región y del país, es de vital importancia la existencia de esfuerzos conjuntos y estrategias orientadas al fortalecimiento de la relación Universidad-Estado, oportunidad presente en este trabajo y que seguramente redundará en el mejoramiento de los procesos al interior de las instituciones en lo relacionado con aspectos de gestión e investigación y el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades mediante la inclusión de las TIC.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaldía de Popayán. (2017). Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres - Popayán.

Arturo Hurtado, C. L., Muñoz Pabón, L. E., & Montaña Fuentes, Á. M. (2016). Evaluación del Riesgo en la Ronda Hídrica de un Tramo del Río Molino Compreendido Entre la Calle 15 Norte Hasta la Carrera 6, en la Zona Urbana del Municipio de Popayán. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.

Burbano Losada, D. F., & Montaña Fuentes, Á. M. (2020). Formulación de Estrategias para la Protección y Conservación de la Subcuenca Molino-Pubús en el Casco Urbano de la Ciudad de Popayán como Insumo Base para la Actualización del Componente Ambiental del Plan de Ordenamiento Territorial (Vol. 1, Issue 1) [Corporación Universitaria Autónoma del Cauca]. <http://etd.eprints.ums.ac.id/14871/%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.cell.2017.12.025%0Ahttp://www.depkes.go.id/resources/download/info-terkini/hasil-risikesdas-2018.pdf%0Ahttp://www.who.int/about/licensing/%0Ahttp://jukeunila.com/wp-content/uploads/2016/12/Dea>

Caicedo Zambrano, D. R., Eraso Huertas, Y., & Fernández, F. (2017). Modelación de la Calidad del Agua del Río Molino en el Área Urbana de la Ciudad de Popayán - Cauca [Corporación Universitaria Autónoma del Cauca]. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2018.07.012%0Ahttp://www.capsulae.com/media/Microencapsulation-Capsulae.pdf%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2019.05.001>

CDGRD, UNGRD, & Universidad de Pamplona. (n.d.). SATC Plataforma. Retrieved June 16, 2022, from <https://www.satcnortedesantander.gov.co/#no-back-button>

CRC, & Fundación Pro-Cuenca Río las Piedras. (2006). Plan de ordenación y manejo de la subcuenca río Molino - quebrada Pubús.

Domínguez-Calle, E., & Lozano-Báez, S. (2014). Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia. Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 38(148), 321. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.132>

IDEAM. (2013). Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia. In IDEAM. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022655/MEMORIASMAPAZONIFICACIONHIDROGRAFICA.pdf>

Kitchenham B, & Charters S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering.

Milenioscuro. (2015). Localización de Popayán y el Cauca. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_Cauca_location_map_%28%2Blocator_map%29.svg

Muñoz Osorio, M. A., & Agudelo Rosero, T. (2020). Estrategias para Disminuir la Vulnerabilidad Frente a la Amenaza por Inundación en el Barrio el Cadillal - Popayán [Fundación Universitaria de Popayán]. <http://univida.fup.edu.co/repositorio/items/show/123>

OEA. Irlanda. (2001). Manual para el Diseño e Implementación de un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones en Cuencas Menores.

Río Molino – Pubús – CRC. (n.d.). Retrieved November 23, 2021, from <https://crc.gov.co/ambiental/interes/manejo-cuencas/rio-molino-pubus/>

Ruiz-Rosero, J., Ramirez-Gonzalez, G., & Viveros-Delgado, J. (2019). Software survey: ScientoPy, a scientometric tool for topics trend analysis in scientific publications. *Scientometrics* 2019 121:2, 121(2), 1165–1188. <https://doi.org/10.1007/S11192-019-03213-W>

SIATA - Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá. (n.d.). Retrieved June 16, 2022, from https://siata.gov.co/sitio_web/index.php/nosotros

UK, C. for E. & H. (n.d.). River Flow Forecasting System (RFFS) | UK Centre for Ecology & Hydrology. Retrieved October 27, 2021, from <https://www.ceh.ac.uk/services/river-flow-forecasting-system-rffs>

UNGRD. (n.d.). Sistema de Alerta Temprana. Retrieved June 16, 2022, from <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/SAT.aspx>

UNGRD. (2021a). Consolidado reporte de emergencias 1998-2021. <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/20782>

UNGRD. (2021b). Guía para el desarrollo de Sistemas de Alerta

LIYUY Temprana (SAT).

Villaquirán López, L., & Granobles, J. C. (2017). Identificación De Las Condiciones Naturales Y Antrópicas, Que Generan Riesgo Por Inundación Del Río Molino En El Municipio De Popayán-Colombia (Vol. 1) [Universidad de Manizales]. [http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/3051/Informe final Tesis_Lorena Villaquirán López_DESMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/3051/Informe%20final%20Tesis_Lorena%20Villaquir%C3%A1n%20L%C3%B3pez_DESMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)