



Geohazard: base de datos por movimientos en masa y avenidas torrenciales en Colombia y el departamento de Antioquia*

Edier Aristizábal^a ■ Daniel Correa^b ■ Carolina García^c ■ Ana María Valencia^d ■ Erluan Zabaleta^e

Resumen: Colombia es un país caracterizado por su diversidad geográfica y su alta vulnerabilidad a amenazas naturales, tales como movimientos en masa, avenidas torrenciales, sismos, actividad volcánica, huracanes y tsunamis. La convergencia de placas tectónicas y su topografía montañosa son factores que incrementan significativamente el riesgo de desastres por fenómenos naturales. Este artículo analiza los desastres por fenómenos naturales en Colombia mediante el desarrollo del aplicativo web denominado Geohazard, una herramienta que permite la visualización y el análisis de una base de datos sobre movimientos en masa y avenidas torrenciales. El aplicativo integra datos de diversas fuentes, como DesInventar y Simma, proporcionando un recurso valioso para la gestión del riesgo de desastres. Se analizan los patrones espaciales y temporales de estos fenómenos, así como su impacto en términos de víctimas fatales y daños materiales. Los resultados muestran una concentración espacial de estos eventos en las zonas montañosas de los Andes y un ciclo temporal relacionado con las temporadas de lluvias. Este trabajo subraya la importancia de contar con registros históricos sistematizados para implementar medidas efectivas de mitigación y reducir la vulnerabilidad ante desastres por fenómenos naturales en Colombia.

Palabras clave: Geohazard; deslizamientos; avenidas torrenciales; bases de datos; Colombia; Antioquia

* Artículo de Investigación.

^a Doctor en Ingeniería. Docente de la Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
Correo electrónico: avaristizabal@unal.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2648-2197>

^b Profesional en Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
Correo electrónico: dcorreaz@unal.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5998-900X>

^c Estudiante de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
Correo electrónico: cargarcia@unal.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8566-7257>

^d Estudiante de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
Correo electrónico: avvalencial@unal.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1086-3668>

^e Estudiante de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
Correo electrónico: ezabaleta@unal.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7754-5610>

Recibido: 08/09/2024 **Aceptado:** 19/02/2025 **Disponible en línea:** 11/04/2025

Cómo citar: Aristizábal, E. V., Correa, D., García Cadavid, C., Valencia Londoño, A. M., & Zabaleta Benavides, E. A. (2025). Geohazard: base de datos por movimientos en masa y avenidas torrenciales en Colombia y el departamento de Antioquia. Ciencia E Ingeniería Neogranadina, 35(1), 131–147. <https://doi.org/10.18359/rcin.7786>

Geohazard: A Database of Landslides and Torrential Floods in Colombia and the Department of Antioquia

Abstract: Colombia is a country characterized by its geographical diversity and high vulnerability to natural hazards, such as landslides, debris flows, earthquakes, volcanic activity, hurricanes, and tsunamis. The convergence of tectonic plates and its mountainous topography significantly increase the risk of natural disasters. This article analyzes natural disasters in Colombia through the development of the web application called Geohazard, a tool that enables the visualization and analysis of a database on landslides and debris flows. The application integrates data from various sources, such as DesInventar and Simma, providing a valuable resource for disaster risk management. The spatial and temporal patterns of these phenomena, as well as their impact in terms of fatalities and material damage, are analyzed. The results show a spatial concentration of these events in the mountainous areas of the Andes and a temporal cycle related to the rainy seasons. This study highlights the importance of having systematized historical records to implement effective mitigation measures and reduce vulnerability to natural disasters in Colombia.

Keywords: Geohazard; landslides; debris flow; databases; Colombia; Antioquia

Geohazard: banco de dados sobre movimentos de massa e inundações torrenciais na Colômbia e no departamento de Antioquia

Resumo: A Colômbia é um país caracterizado pela sua diversidade geográfica e pela sua elevada vulnerabilidade às ameaças naturais, como movimentos de massa, inundações torrenciais, terramoto, atividade vulcânica, furacões e tsunamis. A convergência das placas tectônicas e sua topografia montanhosa são fatores que aumentam significativamente o risco de desastres devido a fenômenos naturais. Este artigo analisa desastres causados por fenômenos naturais na Colômbia através do desenvolvimento da aplicação web chamada Geohazard, uma ferramenta que permite a visualização e análise de um banco de dados sobre movimentos de massa e inundações torrenciais. A aplicação integra dados de diversas fontes, como DesInventar e Simma, fornecendo um recurso valioso para a gestão de riscos de desastres. São analisados os padrões espaciais e temporais destes fenômenos, bem como o seu impacto em termos de vítimas mortais e danos materiais. Os resultados mostram uma concentração espacial desses eventos nas áreas montanhosas dos Andes e um ciclo temporal relacionado às estações chuvosas. Este trabalho destaca a importância de ter registros históricos sistematizados para implementar medidas eficazes de mitigação e reduzir a vulnerabilidade a desastres devido a fenômenos naturais na Colômbia.

Palavras-chave: Geohazard; deslizamentos de terra; avenidas torrenciais; bancos de dados; Colômbia; Antioquia

Introducción

Colombia está conformado por un territorio diverso y altamente susceptible a una variedad de amenazas naturales [1]. Su ubicación en el trópico se caracteriza por una marcada variabilidad climática, con lluvias a lo largo de todo el año y eventos de corta duración, pero alta intensidad [2].

Desde el punto de vista tectónico, el país está influenciado por la interacción de las placas oceánicas de Nazca y Caribe con la placa continental Suramericana. Esta colisión ha dado origen a la cadena montañosa de los Andes [3], además, el proceso de subducción de estas placas bajo la placa Suramericana produce material magmático que asciende, formando una cadena de volcanes activos con erupciones violentas [4]. Dicho marco tectónico da lugar a un paisaje montañoso que favorece la ocurrencia de movimientos en masa y avenidas torrenciales [5].

En cuanto a las amenazas hidrometeorológicas, las islas y costas del mar Caribe están expuestas a huracanes [6], mientras que las del océano Pacífico pueden verse afectadas por tsunamis [7]. Adicionalmente, las tierras bajas y llanas del norte del país, los Llanos Orientales y la Amazonía, donde drenan los principales ríos, presentan una alta amenaza a inundaciones [8].

El crecimiento acelerado de la población y su desplazamiento hacia zonas urbanas ha aumentado la exposición humana e infraestructura a dichas amenazas de origen natural, conformando escenarios de riesgo que con recurrencia se materializan en desastres [9], [5]. Casos como Armero en 1985, donde aproximadamente 23 mil personas perdieron la vida por una avenida torrencial de origen volcánico [10]; Villatina en 1987, en la que un deslizamiento en la ciudad de Medellín generó la muerte de aproximadamente 500 personas [11]; y el caso reciente de Mocoa en 2017, donde intensas lluvias en la parte alta de las cuencas montañosas generaron un enjambre de movimientos en masa que formaron una avenida torrencial, la cual se propagó a largo de los principales ríos que cruzan la ciudad, destruyendo cientos de viviendas con un total de 330 víctimas [12].

A pesar de la recurrencia de los desastres por fenómenos naturales en Colombia, no existe una

base de datos sistemática y homogénea que compile estos eventos, lo cual dificulta la planificación de estrategias de mitigación efectivas y la toma de decisiones informadas.

Los registros históricos son fundamentales para el análisis de desastres y la implementación de medidas de mitigación, ya que proporcionan información espacial y temporal sobre la extensión geográfica, la incidencia y las pérdidas humanas y económicas [13], [14]. Para el departamento de Antioquia y el Valle de Aburrá se construyeron dos inventarios construidos por estudiantes de la Universidad Eafit [15], [16], que posteriormente fueron actualizados por el Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres de la ciudad de Medellín (DAGRD), el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) y el Departamento Administrativo para la Prevención, Atención y Recuperación de Desastres (DAPARD). Algunos esfuerzos notables incluyen el Sistema de Inventario de Efectos de Desastres (DesInventar), desarrollado en 1994 por La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres (La Red) y la Corporación Observatorio Sismológico del Suroccidente Colombiano (osso), que permitió sistematizar, organizar y analizar desastres desde un marco espacial y temporal [17]. El DesInventar (<https://www.desinventar.net/>) se convirtió en una herramienta importante para la gestión del riesgo de desastres en Colombia, con bases de datos específicas para distintas regiones y ciudades del país, tales como Bogotá, Cali, Manizales, Armenia y Popayán. Se transformó en una herramienta web implementada para algunos países en el mundo, entre ellos Colombia; sin embargo, las bases de datos a nivel regional o local se eliminaron y no están disponibles para su consulta.

Actualmente, para movimientos en masa existe en Colombia un sistema para registrar y consultar movimientos en masa denominado Simma (<https://simma.sgc.gov.co/#/>), administrado por el Servicio Geológico Colombiano. Simma permite la carga, administración y consulta abierta de los movimientos en masa registrados. Existen también bases de datos internacionales, como EM-DAT, mantenida por el Centro de Investigación sobre Epidemiología de Desastres (CRED),

que contiene registros de más de 17 000 desastres desde 1900 [18], [19].

En este contexto, presentamos el aplicativo web Geohazard (<https://geohazards.com.co/visor-geohazard.html>), que compila bases de datos de desastres generados por avenidas torrenciales y movimientos en masa. La primera base de datos cubre todo el territorio colombiano y registra eventos fatales, como deslizamientos con víctimas mortales, mientras que la segunda se enfoca en el departamento de Antioquia y documenta eventos con algún nivel de afectación a la infraestructura o pérdidas humanas, como deslizamientos que causaron daños en viviendas o infraestructura vial. Esta iniciativa busca contribuir a la gestión del riesgo de desastres, proporcionando información precisa y accesible para el análisis y mitigación de riesgos por fenómenos de origen natural en Colombia. Esta base de datos es construida y actualizada continuamente por el semillero Geohazard (<https://geohazards.com.co>), de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Este trabajo, además de presentar el aplicativo web Geohazard y su funcionalidad para la visualización y análisis de desastres por fenómenos naturales, despliega un análisis detallado de la base de datos, acompañado de discusiones y representaciones gráficas que permiten comprender los patrones espaciales y temporales de los eventos registrados.

Metodología

La base de datos Geohazard compila los datos de DesInventar a nivel Colombia y las 12 bases de datos que existían a nivel regional del DesInventar. Estos datos se depuraron utilizando criterios como la comparación de fechas, ubicaciones y descripciones de los eventos, para eliminar eventos duplicados. Dichas bases de datos contenían una gran cantidad de campos relacionados con la ocurrencia del evento, tales como ubicación, fecha de ocurrencia, tipo de evento, factores detonantes, entre otros; así como campos relacionados con los impactos directos e indirectos, como pérdidas humanas, heridos, infraestructura y sectores afectados. Sin embargo, estos campos de afectaciones generalmente contenían poca información. Para

la base de datos Geohazard se extrajeron todos los campos relacionados con los eventos, y en término de afectaciones solo se obtuvo el campo de pérdidas humanas.

Posteriormente, se incluyeron los eventos reportados en la base de datos Simma, lo cual permitió incorporar información adicional sobre movimientos en masa y mejorar la cobertura y calidad de los registros en Geohazard.

La base de datos se actualiza de forma diaria con reportes de los periódicos nacionales y regionales consultados en sus páginas web. Adicionalmente, se consultan las redes sociales de las entidades que actúan como primeros respondientes, tales como bomberos, Cruz Roja, y las oficinas locales y regionales de gestión del riesgo de desastres. Toda esta consulta y actualización es realizada por los miembros del semillero Geohazard (<https://geohazards.com.co>), de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

A partir de los datos suministrados en dichas fuentes se alimenta la base de datos. La localización se realiza mediante coordenadas que se obtienen a partir de las descripciones y utilizando sistemas de información geográfica y herramientas de sensoramiento remoto como Google Earth, así como otros recursos como QGIS y ArcGIS, que permiten un análisis más detallado. En un gran número de eventos se logra identificar la ubicación del sitio mediante imágenes de satélite, lo cual reduce considerablemente la incertidumbre asociada a la localización. Sin embargo, existen casos en los cuales solo se tiene disponible la descripción de las fuentes escritas, por lo cual la localización es aproximada. Para estos casos se creó un campo donde se consigna el nivel de incertidumbre en la localización del evento, basado en criterios como la precisión de la descripción geográfica y la disponibilidad de referencias en los textos consultados.

Con la base de datos compilada y depurada se construyó un aplicativo web tipo visor cartográfico desarrollado con tecnologías como HTML, CSS y JavaScript. Estas tecnologías se eligieron por su capacidad para crear interfaces de usuario interactivas y responsivas, además de su amplia compatibilidad con navegadores web. Está implementado con la librería de código abierto Leaflet para la

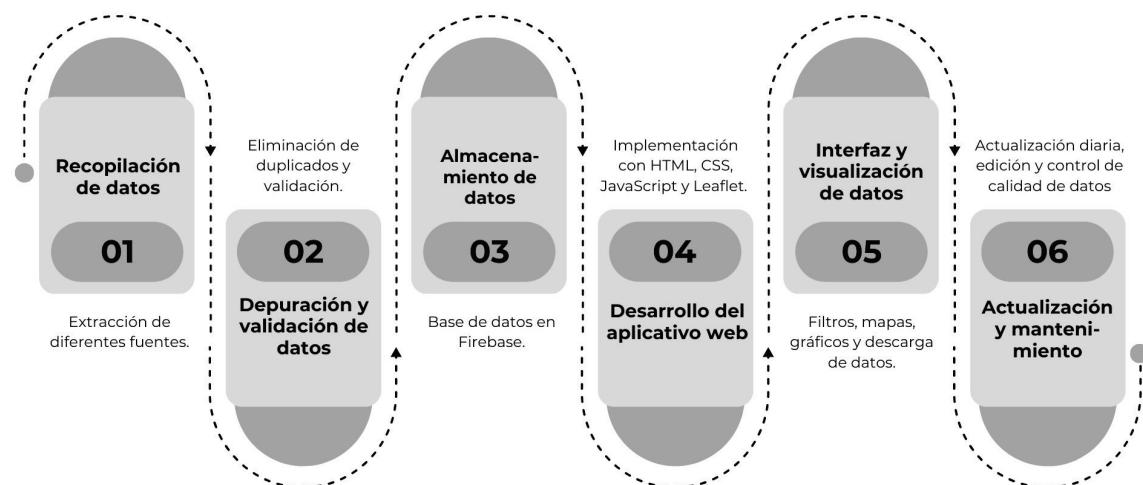
gestión de mapas, debido a su flexibilidad y facilidad de uso para integrar mapas interactivos. El aplicativo está alojado en GitHub pages y utiliza la base de datos proporcionada por la plataforma Firebase de Google para almacenar y acceder a los registros, lo cual permite una gestión eficiente y escalable de la información.

Además de proporcionar una interfaz intuitiva y fácil de usar, el aplicativo ofrece una serie de funcionalidades destinadas a facilitar la exploración y el análisis de la información. Entre estas funcionalidades, dispuestas en la barra lateral del aplicativo, se incluyen la elección de mapas base, el filtrado y la visualización de eventos, y el análisis estadístico de los eventos presentes en el mapa. También se puede visualizar información de estaciones de

campo realizadas en el marco de diferentes proyectos. Además, el aplicativo permite la carga de información externa en formatos Shapefile, GeoJSON, KML, KMZ y TIF, así como la descarga de eventos en formatos Shapefile y GeoJSON. Además, cuenta con una sección para agregar, editar y eliminar eventos, lo que contribuye a la actualización y enriquecimiento continuo de la base de datos. Estas funcionalidades están disponibles para usuarios autorizados, lo cual garantiza la calidad de los datos ingresados y minimiza posibles errores.

La figura 1 muestra de una manera más clara y resumida la metodología empleada en el desarrollo del aplicativo web de Geohazard, desde la recopilación de datos hasta su integración en la plataforma.

Figura 1. Metodología para la creación del aplicativo web de Geohazard



Fuente: elaboración propia.

Resultados

Geohazard: aplicativo web

La figura 2 presenta la interfaz del aplicativo web elaborado. Al acceder al aplicativo, los usuarios pueden visualizar automáticamente todos los registros de eventos de desastres fatales por movimientos en masa y avenidas torrenciales registrados en la base de datos de Colombia. La información detallada de cada evento está disponible al seleccionar

en el marcador correspondiente en el mapa. Además, los usuarios pueden filtrar los eventos según una variedad de parámetros, como la base de datos (Colombia o Antioquia), el rango de fechas, el departamento o subregión, la ciudad, el tipo de evento, el detonante y el número de fallecidos. Una vez completada la búsqueda, los eventos que cumplan con los criterios seleccionados se presentan en pantalla para su revisión y posterior descarga.

Todos los registros cuentan con los siguientes campos: longitud, latitud, fecha de ocurrencia, tipo

de fenómeno, departamento o subregión, municipio, vereda, sitio, incertidumbre en la localización del evento, factor detonante, número de fallecidos, pérdidas económicas, fuente de los datos, notas adicionales. Estos campos permiten ubicar espacial y temporalmente los eventos, entender las causas y consecuencias de cada fenómeno, evaluar la magnitud del impacto, y proporcionar un contexto detallado para la planificación de medidas de mitigación y respuesta ante desastres.

Como se puede ver en la figura 3, la aplicación cuenta con una pestaña con gráficos de las consultas realizadas. Esta sección se ha diseñado para mejorar la comprensión de los datos y facilitar los análisis estadísticos de los eventos. Se trata de un conjunto de gráficos generados a partir de los eventos presentes en pantalla, tanto para la base de datos de Colombia como la de Antioquia, así como

de cualquier tipo de filtrado que realice el usuario. Los gráficos disponibles incluyen ejemplos como el número total de eventos por año, que permite identificar patrones temporales, y el porcentaje de eventos según el detonante, que ayuda a comprender las principales causas detrás de los desastres registrados.

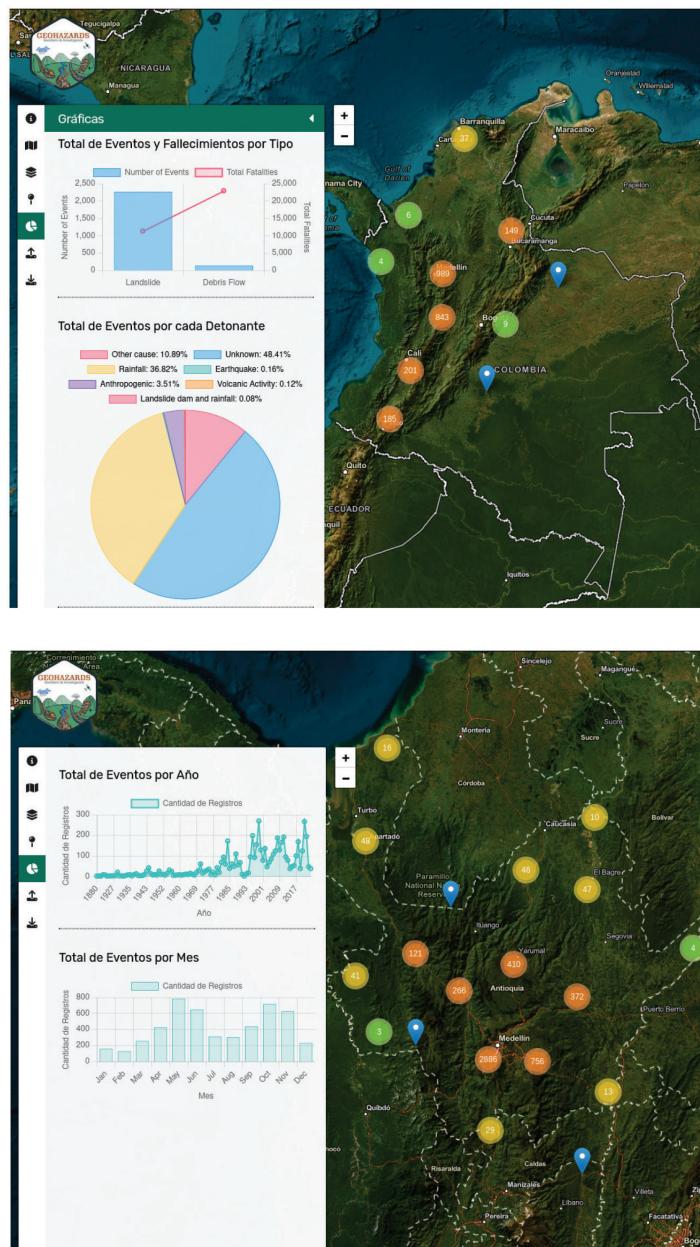
Entre los gráficos generados, se incluyen los siguientes agrupamientos de datos: el total de registros y fallecidos según el tipo de evento, el porcentaje de registros según el detonante, el total de eventos por año y el total de eventos por mes (figura 3). Estos gráficos son interactivos y permiten al usuario visualizar los datos detallados al pasar el cursor sobre ellos, facilitando la toma de decisiones en la gestión del riesgo. Además, los gráficos pueden ser exportados como imágenes en formato PNG.

Figura 2. Interfaz del aplicativo web de consulta de la base de datos Geohazard (<https://geohazards.com.co>).



Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Gráficas generadas a partir de los eventos en pantalla: a) gráficas del total de registros y fallecidos según el tipo de evento, y el porcentaje de eventos según detonante, para la base de datos de Colombia, y b) gráficas de total de eventos por año y total de eventos por mes, para la base de datos de Antioquia



Fuente: elaboración propia.

Registros para Colombia

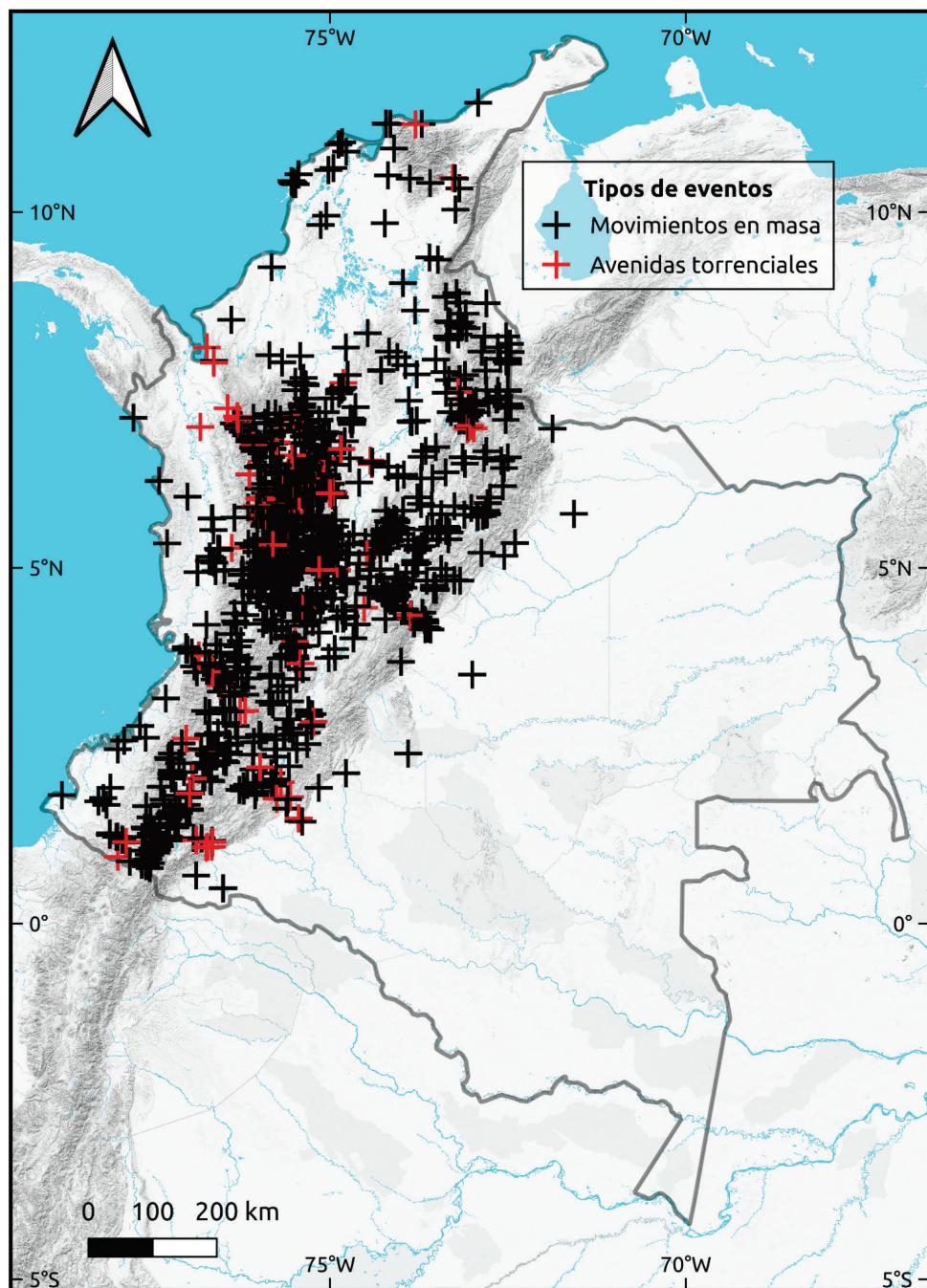
La figura 4 muestra la localización de los movimientos en masa y avenidas torrenciales para los registros del inventario. Al año 2023, el inventario cuenta para Colombia con 2415 registros, con un total de 2259 movimientos en masa, que

corresponden al 93,5 %, y 156 avenidas torrenciales, que representan el restante 6,5 % de los registros. Esta distribución muestra la prevalencia de los movimientos en masa, en comparación con las avenidas torrenciales, lo cual tiene importantes implicaciones para la gestión del riesgo en Colombia.

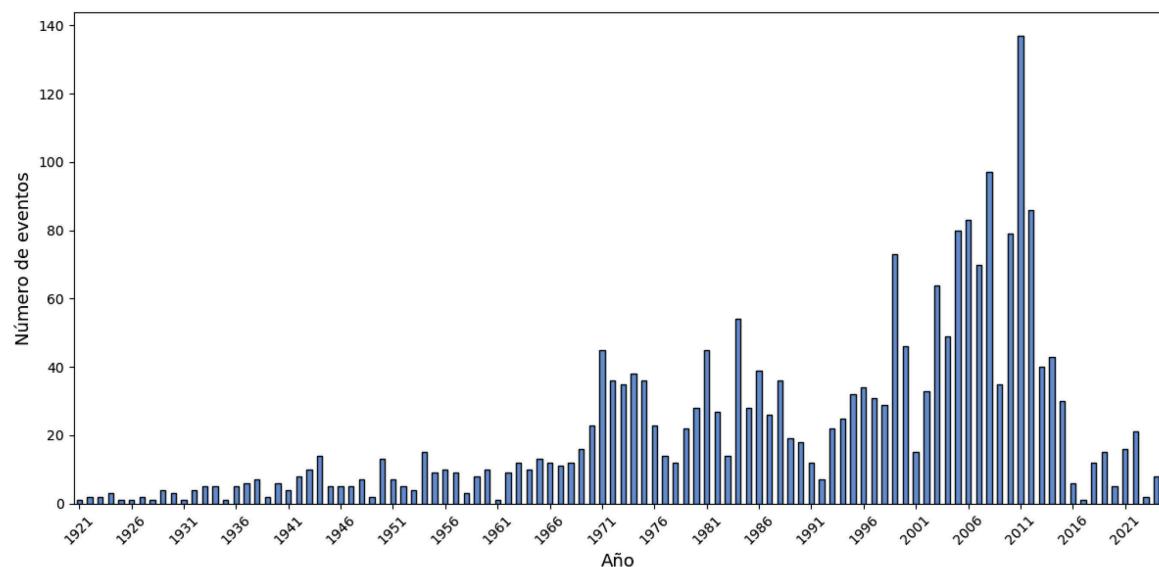
La figura 5 contiene el número de registros reportados por año. Se observa una tendencia creciente exponencial, hasta llegar a su máximo en el año 2010, a partir del cual sobresale una fuerte caída en los registros. El primer registro

corresponde al 23 de abril de 1880, cuando una avenida torrencial en la quebrada La Iguaná, en Medellín, dejó como saldo siete personas fallecidas y un número no determinado de daños materiales.

Figura 4. Localización de los registros de la base de datos para Colombia



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Número de registros anuales en Colombia

Fuente: elaboración propia.

En términos de víctimas mortales, los movimientos en masa y avenidas torrenciales han dejado un saldo de 34 577 muertos. En contraste, aunque las avenidas torrenciales representan un bajo porcentaje de los registros, el número de muertos asciende a 22 877, lo cual corresponde al 67 %. Los movimientos en masa, por su parte, han dejado 11 269 muertos, representando el 33 %. Esta disparidad sugiere que, aunque menos frecuentes, las avenidas torrenciales son más letales en términos de víctimas por evento.

Como factor detonante dominan los casos que registran una causa desconocida (48 %), seguido por la lluvia (37 %), otras causas (11 %) y factor antrópico (3,5 %). Existen otras causas como los sismos y la actividad volcánica, con un bajo porcentaje. El departamento más afectado es Antioquia con el 33,5 % de los movimientos en masa, seguido por Caldas con el 12 % y Risaralda con el 8 %.

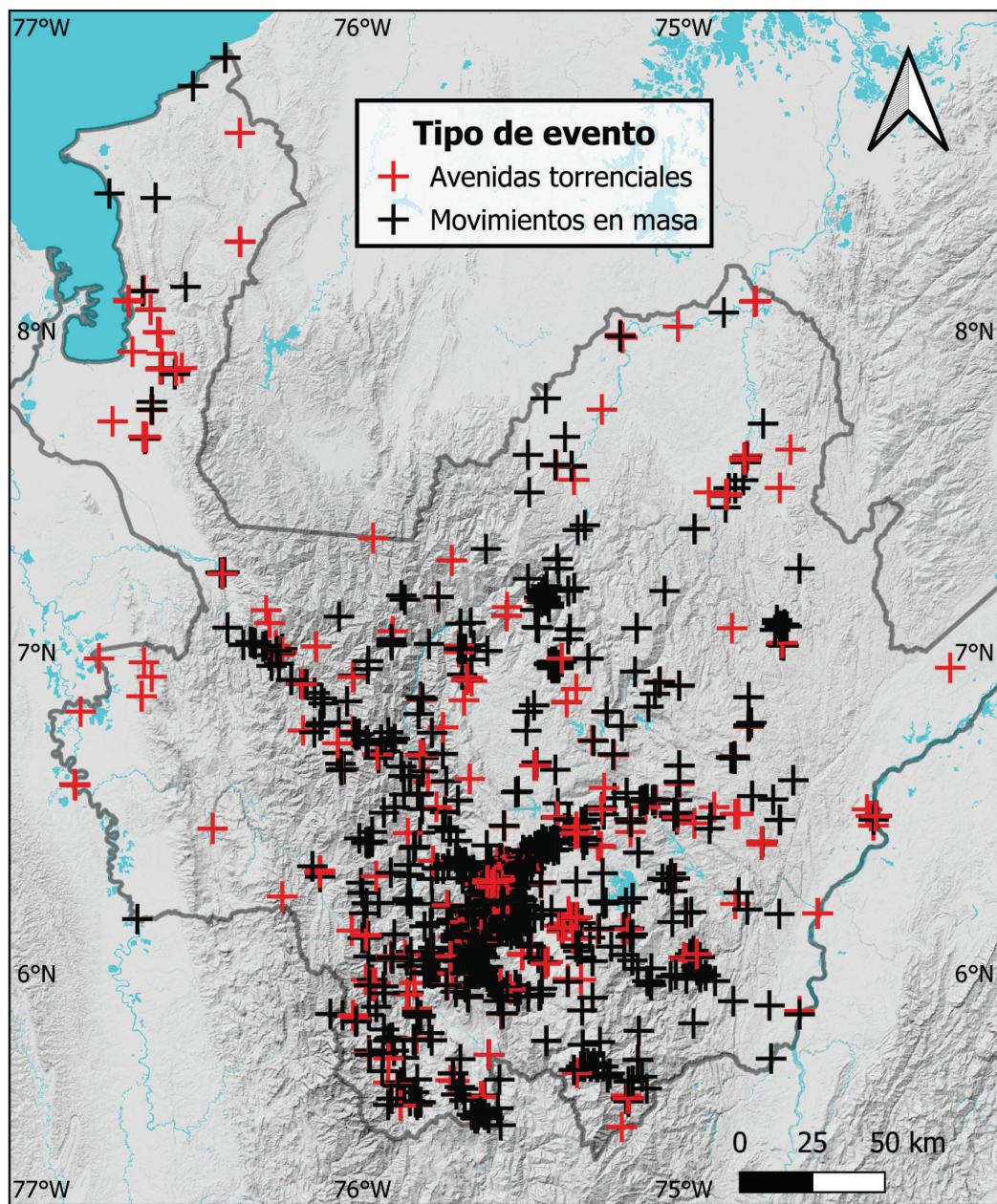
Registros de Antioquia

La figura 6 presenta la localización de los registros del inventario para el departamento de Antioquia.

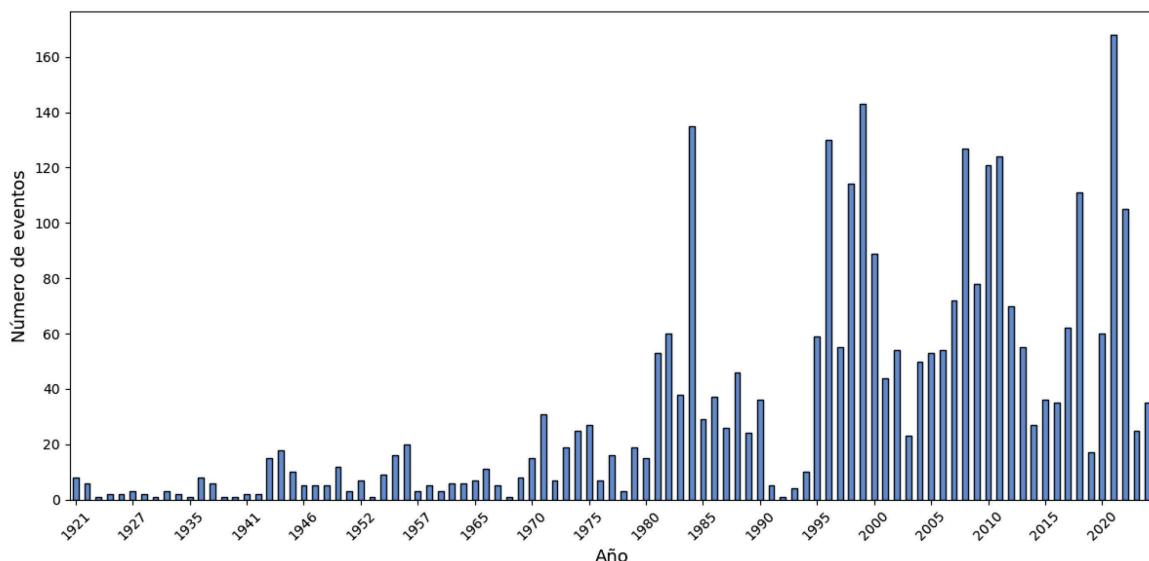
Las regiones más afectadas son el Valle de Aburrá con el 44 % de los registros, el suroeste antioqueño con el 16 %, y el oriente con el 12 %. Como factores detonantes domina la lluvia con el 63 % de los registros, seguido por causas desconocidas (30 %) y causas antrópicas con el 5 %.

La figura 7 presenta el número de registros anuales de la base de datos para Antioquia. Al año 2023, esta base de datos cuenta con un total de 5035 registros, en los que 3076 registros corresponden a movimientos en masa (61 %) y 1959 registros a avenidas torrenciales (39 %). Del total de eventos, solo el 15 % registra víctimas mortales, y entre estos el 73 % son movimientos en masa. Es decir, que de forma similar a la base de datos para Colombia, los movimientos en masa son los eventos fatales más frecuentes, pero, en este caso, los movimientos en masa dominan en número de víctimas con 3021 muertos (75 %). En la base de datos de Colombia el caso excepcional de Armero cambia esta tendencia.

Figura 6. Localización de los registros de la base de datos para Antioquia



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Eventos de la base de datos para Antioquia

Fuente: elaboración propia.

Avenidas torrenciales: fenómenos concatenados con gran capacidad de destrucción

En la base de datos de Colombia, el 64 % de las víctimas fatales están asociados a un solo evento: la avenida torrencial de origen volcánico, fenómeno denominado lahar, registrada el 13 de noviembre de 1985 a lo largo de los ríos Lagunilla, Gualí y Chinchiná, que dejó como saldo 4407 viviendas destruidas y 21 559 entre muertos y desaparecidos. Este evento afectó poblaciones de los departamentos del Tolima y Caldas, principalmente los municipios de Armero y Chinchiná.

El segundo evento con mayor número de pérdidas humanas corresponde a la avenida torrencial del río Páez, en el departamento del Cauca, el 6 de junio de 1994, con un estimado de 1100 personas [10]. Este evento fue el resultado de lluvias intensas combinadas con un sismo de magnitud de 6,8 Mw, lo cual generó un enjambre de movimientos en masa en la cuenca del río Páez. La mayoría de estos movimientos, debido al alto contenido de agua en los suelos, se transformó en flujos de lodo que alcanzaron el cauce principal del río y dieron

lugar a un evento torrencial, arrasando con toda la infraestructura que encontró en las riberas del río.

En la base de datos también destaca la avenida torrencial que destruyó parcialmente el municipio de Mocoa (Putumayo), entre la noche del 31 de marzo y 1 de abril de 2017. Este evento se originó por lluvias intensas que superaron los 130 mm en tres horas, lo cual detonó más de 600 movimientos en masa, la mayoría de ellos tipo flujos, que alcanzaron los cauces de las cuencas Taruca, Mulato y Sangoyaco, dando lugar a una avenida torrencial que destruyó 130 viviendas y generó la muerte de aproximadamente 330 personas [12].

Todos estos eventos tipo avenidas torrenciales, señalados en la tabla 1, se caracterizan por su naturaleza en cadena que combina diferentes amenazas, como lluvias intensas, sismos, y represamientos naturales, su gran capacidad destructiva y la incertidumbre en el registro de víctimas fatales. En todos ellos, el número de personas fallecidas no se logró establecer con precisión, debido al volumen de material que involucró cada evento y a la extensión de las zonas afectadas. Sin embargo, el número de desaparecidos reportados en cada evento hace suponer que las víctimas pueden ser más [20] y [21].

Tabla 1. Avenidas torrenciales y eventos concatenados más fatales en Colombia

Fecha	Localización	Víctimas	Agua	Sedimentos
Nov. 24/1979	El Playón - Santander	100	Represamiento	Cauce
Nov. 12/1985	Armero - Tolima	21.559	Fusión parcial del glaciar	Piroclastos y cauce
Jun. 6/1994	Río Páez	1.100	Precipitación larga duración	Sismo y enjambre deslizamientos
May. 17/2015	Salgar - Antioquia	104	Precipitación intensa	Enjambre deslizamientos y cauce
Mar. 31/2017	Putumayo - Mocoa	330	Precipitación intensa	Enjambre deslizamientos y cauce

Fuente: elaboración propia.

Las avenidas torrenciales se caracterizan por su naturaleza a escala de cuenca, es decir, que no son eventos que se restringen a lo largo de los cauces, sino que tienen un origen diverso que combina tres elementos: cuencas de montaña, disponibilidad de sedimentos y agua abundante [22], [23]. Los registros de avenidas torrenciales más recurrentes en Colombia tienen como causa detonante lluvias intensas [5]. En muchos de estos casos, el agua que se infiltra en las laderas de la cuenca aumenta las presiones de poros y la pérdida de resistencia al cortante de los suelos, dando lugar a movimientos en masa superficiales tipo flujos, por su alto contenido de humedad. El agua que no se infiltra y escurre sobre las laderas genera el aumento súbito del caudal, aumentando la capacidad de erosión sobre los sedimentos de su propio cauce y, al mismo tiempo, la de arrastre de los sedimentos provenientes de los movimientos en masa sobre las laderas. Esta mezcla de agua y sedimentos se transporta a grandes velocidades y en áreas extensas con una gran capacidad destructiva [23].

En el caso de la avenida torrencia originada en el volcán Nevado del Ruiz, los sedimentos corresponden esencialmente a material volcánico de caída y piroclastos. Por otro lado, el agua, en lugar de provenir de eventos de lluvia, se originó por la fusión parcial del glaciar que cubre el volcán. Este flujo torreccional se propagó por más de 100 km, desde los 5000 metros sobre el nivel del mar (msnm), altura a la cual se encuentra el nevado, hasta los 500 msnm en la desembocadura en los ríos Magdalena y Cauca, donde terminaron los flujos torrenciales [10].

Existen en el registro otro tipo de avenidas torrenciales, como la sucedida en el sector Chirapotó, en la vía que conduce de Medellín a Manizales, el 16 de diciembre de 1970, donde inicialmente un movimiento en masa represó el río Cauca. La ruptura violenta de la presa formada por el material del movimiento en masa fue causada por la acumulación de presión hidrostática detrás del represamiento, lo cual finalmente llevó a su colapso y desencadenó una avenida torreccional. En este caso, el flujo arrastró con los vehículos y personas que esperaban sobre la vía, la cual había sido también obstruida por el movimiento en masa. Los reportes estiman un número aproximado de 100 personas fallecidas. Casos similares, en los que la obstrucción del cauce y el represamiento dan lugar a una avenida torreccional, han sido comunes. Un ejemplo es el caso del municipio de El Playón (Santander), el 25 de noviembre de 1979, en el que se reportó un número aproximado de 100 personas muertas.

Discusiones

Geohazard y otras bases de datos

Las bases de datos de desastres por fenómenos naturales han sido una herramienta clave en la gestión del riesgo a nivel global. Sin embargo, existen diferencias significativas entre Geohazard y otras bases de datos internacionales como EM-DAT y DesInventar Internacional, así como la base de datos Simma del Servicio Geológico Colombiano. Una de las principales ventajas de Geohazard es que ofrece una aplicación fácil y amigable para

la consulta y visualización de eventos con georreferenciación precisa. A diferencia de EM-DAT y DesInventar Internacional, que asocian los eventos a un polígono sin proporcionar una ubicación espacial exacta, Geohazard permite a los usuarios ubicar con precisión cada evento dentro del territorio colombiano. A diferencia de la base de datos Simma, la interfaz de Geohazard ofrece múltiples filtros que permiten a los usuarios consultar información según diferentes criterios (tipo de evento, detonante, región, fecha, entre otros) y descargar los datos en formatos espaciales compatibles con sistemas de información geográfica (SIG), lo que facilita su análisis y aplicación en estudios científicos y técnicos. También se destaca la funcionalidad de visualización de gráficos interactivos, que permiten entender la base de datos de manera integral en una sola pantalla, integrando tanto la dimensión espacial como la temporal, mediante representaciones gráficas de tendencias y patrones de ocurrencia.

Otra característica diferenciadora de Geohazard es su capacidad de distinguir entre eventos torrenciales y movimientos en masa. En la mayoría de las bases de datos internacionales y nacionales, las avenidas torrenciales se incluyen dentro de la categoría general de movimientos en masa, sin considerar su dinámica diferenciada. Sin embargo, las avenidas torrenciales engloban una variedad de eventos en los que la mezcla de agua y sedimentos varía significativamente. En muchos casos, estos eventos no están asociados con movimientos en masa en la ladera, ya que los sedimentos pueden provenir de fuentes distintas, como los depósitos aluviales del cauce o la erosión del lecho del río. Geohazard permite esta distinción, reconociendo que, aunque comparten algunos factores comunes con los movimientos en masa, las avenidas torrenciales tienen una dinámica propia que debe ser considerada en los análisis de riesgo y en la planificación de medidas de mitigación.

En términos de cantidad y detalle de los registros, Geohazard supera significativamente a EM-DAT en la documentación de eventos ocurridos en Colombia. Mientras Geohazard reporta 2259 registros de movimientos en masa y 156 avenidas torrenciales con víctimas fatales en el país, EM-DAT

solo documenta 44 movimientos en masa fatales, debido a que solo registra eventos con más de 10 víctimas. Mientras, DesInventar reporta 10 156 movimientos en masa, un número mucho mayor, ya que incluye todos los eventos, independiente de si causaron víctimas o daños significativos. Aunque registrar todos los eventos es una estrategia valiosa para la caracterización del riesgo, también implica ciertas limitaciones, ya que muchos eventos ocurren en áreas remotas donde su identificación y reporte es poco factible, en especial cuando no hay afectaciones directas. Como resultado, la mayor parte de los registros se concentran en zonas urbanas, donde los medios de comunicación y las autoridades pueden documentar con mayor facilidad la ocurrencia de estos fenómenos. Esto genera un sesgo en la información, motivo por el cual varios investigadores, como David Petley, han propuesto que las bases de datos prioricen los eventos con víctimas fatales, dado que estos tienden a ser mejor documentados y reportados en los medios, lo que permite su inclusión con menor incertidumbre y sesgo en los registros históricos.

Finalmente, Geohazard incluye una base de datos local específica para el departamento de Antioquia, donde se registran todos los eventos documentados, no solo los fatales. Esta diferenciación es posible debido a que el semillero Geohazard, encargado de actualizar la base de datos, se encuentra en esta región y realiza un seguimiento continuo de los eventos en tiempo real. Al centrarse en una escala regional más detallada, Geohazard minimiza el sesgo de subregistro y permite incorporar la mayor cantidad de eventos con precisión, lo que resulta en una base de datos más confiable para la planificación y gestión del riesgo en el departamento de Antioquia.

Patrones espaciales y temporales

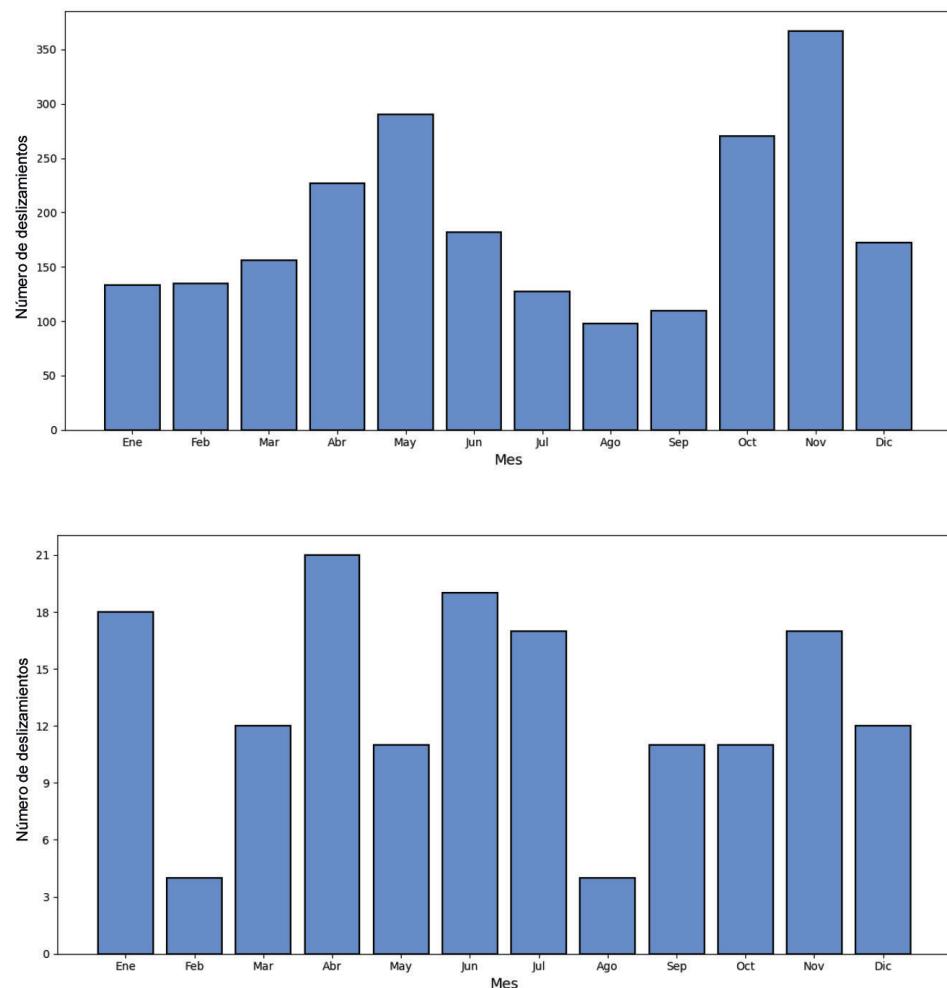
Debido a que los factores que condicionan la ocurrencia de movimientos en masa y avenidas torrenciales están determinados por la presencia de terrenos con alto relieve (diferencia entre los puntos más altos y más bajos) y fuertes pendientes, estos eventos se concentran espacialmente en las regiones montañosas asociadas a los Andes colombianos (figuras 4 y 6). Algunos eventos se observan

en la costa Caribe, en especial alrededor de la Sierra Nevada de Santa Marta, y también sobre la costa Pacífica. Las regiones de los Llanos Orientales y la Amazonía no registran eventos en la base de datos, excepto algunos casos a lo largo del piedemonte de la cordillera Oriental. En los Andes colombianos se encuentran las regiones y ciudades más pobladas, destacándose ciudades como Bogotá, Medellín, Cali, Bucaramanga y Manizales.

En términos temporales, la figura 8 presenta el ciclo anual de las avenidas torrenciales y movimientos en masa, de acuerdo con los registros de la base de datos para Colombia. Los movimientos en masa tienen un ciclo bimodal, con picos en

mayo y noviembre. Este patrón ya ha sido señalado por diferentes autores [24] y [5] y se explica por la correlación con la lluvia, tanto en eventos de lluvia intensos como en los de larga duración y baja intensidad. Mientras, el ciclo anual de las avenidas torrenciales, aunque también está relacionado con la precipitación, no presenta un ciclo bimodal. Esto se podría atribuir a la naturaleza multicausal de los fenómenos torrenciales, así como al detonante de lluvias de alta intensidad, las cuales suelen ser de corta duración y ocurren en distintos momentos del año, no solo durante las temporadas de lluvia, sino también en los períodos secos.

Figura 8. Ciclo anual de movimientos en masa (arriba) y avenidas torrenciales (abajo) en Colombia

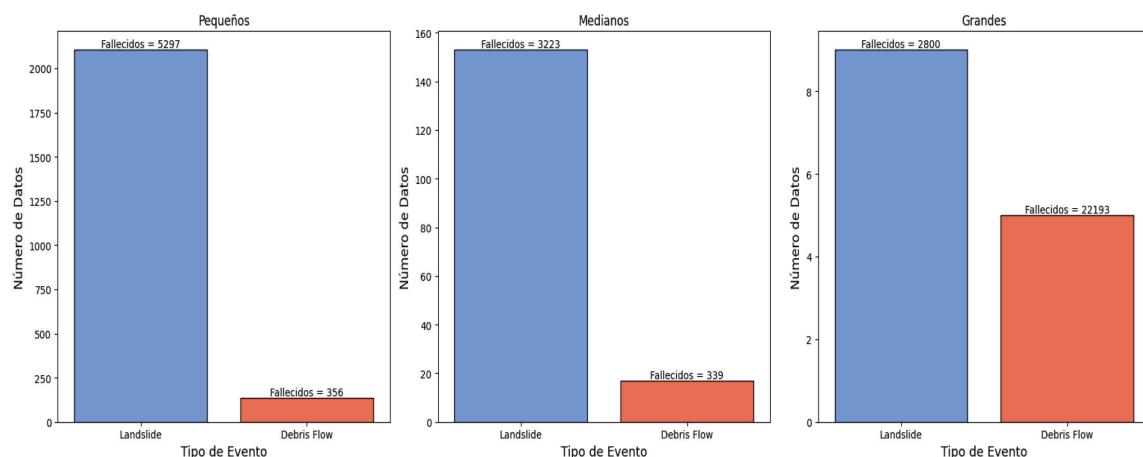


Fuente: elaboración propia.

Magnitud de los desastres

En la base de datos de Colombia se registran 14 desastres con un número igual o mayor a 100 víctimas fatales (denominados como desastres grandes): cinco avenidas torrenciales y nueve movimientos en masa, que suman un total de 24 993 personas fallecidas. Entre los eventos concatenados mencionados antes se destacan el deslizamiento de Villatina (Antioquia), el 27 de septiembre de 1987, con un estimado de 500 personas fallecidas; el deslizamiento del sector Quebrada Blanca, del municipio de Guayabetal (Cundinamarca), el 28 de junio de 1974, con 300 víctimas registradas, y el deslizamiento en el municipio de La Paz (Boyacá), el 26 de noviembre de 1933, con un saldo de 300 personas muertas. Aunque dominan los movimientos en masa en número, el 89 % de las víctimas corresponden a avenidas torrenciales.

Figura 9. Pérdidas humanas por tipo de evento



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Los registros históricos son fundamentales para entender los patrones de los desastres y diseñar medidas efectivas de mitigación y respuesta. Iniciativas como DesInventar y Simma han sido pasos importantes en la sistematización de esta información, aunque han enfrentado limitaciones en la cobertura y actualización de los datos, lo que motivó el desarrollo del aplicativo Geohazard

Desastres medianos, con pérdidas humanas entre 10 y 99 personas, se registran 168 eventos que suman un total de 3513 víctimas fatales. Cuando disminuye el número de víctimas, los movimientos en masa tienden a dominar. En términos de desastres medianos, los movimientos en masa representan el 90 % de los registros y de las víctimas, mientras que las avenidas torrenciales solo contabilizan 16 eventos, lo cual equivale al 10 % de los registros y las muertes.

En la base de datos existen 2261 registros de desastres pequeños, con entre cero y nueve víctimas, que suman un total de 5640 víctimas. En este tipo de desastres también dominan los movimientos en masa, representando el 94 % de los registros y de las víctimas.

En la figura 9 vemos las estadísticas con las que se comparan los tres tipos de eventos.

para superar estos desafíos y mejorar la gestión del riesgo.

El desarrollo del aplicativo web Geohazard representa un avance significativo en la gestión del riesgo de desastres en Colombia. Esta herramienta no solo centraliza los registros de desastres por avenidas torrenciales y movimientos en masa a nivel nacional y regional, sino que también permite la visualización y el análisis interactivo de estos datos. La capacidad de filtrar, visualizar y

descargar eventos, junto con las funcionalidades de agregar y editar información, asegura que la base de datos se mantenga actualizada y sea útil tanto para investigadores como para gestores del riesgo. Por ejemplo, los gestores del riesgo pueden utilizar la herramienta para identificar áreas con alta frecuencia de eventos y priorizar intervenciones de mitigación, mejorando la toma de decisiones durante situaciones de emergencia.

Los datos recopilados en Geohazard muestran una predominancia de movimientos en masa, que constituyen el 93,5 % de los registros en Colombia, mientras que las avenidas torrenciales, aunque menos frecuentes, han causado un mayor número de muertes. Antioquia se destaca como el departamento con mayor número de registros, lo cual subraya la necesidad de enfoques específicos y regionales en la gestión del riesgo de desastres. La información específica de Antioquia puede ser utilizada para priorizar intervenciones de mitigación y mejorar la resiliencia de la región frente a estos fenómenos.

En resumen, la sistematización y el análisis de los desastres naturales en Colombia, facilitados por herramientas como Geohazard, son esenciales para mejorar la preparación, respuesta y mitigación ante futuras emergencias. La naturaleza compleja y concatenada de fenómenos como las avenidas

torrenciales requiere una comprensión profunda y una planificación integral que considere tanto los factores geográficos como los climáticos, así como las dinámicas sociales y urbanas que aumentan la vulnerabilidad de la población. Es necesario un compromiso por parte de los responsables de la formulación de políticas y los gestores de riesgos para promover el uso activo de la herramienta Geohazard y fomentar la colaboración interinstitucional en la actualización de los registros.

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó en el marco del proyecto de investigación Ictex 2022-0772 (Código: 1118-890-82246) denominado *Diseño e implementación de un sistema de alerta temprana por fenómenos hidrometeorológicos extremos utilizando métodos de inteligencia artificial y aprendizaje automático para la gestión del riesgo y ordenación sostenible del territorio colombiano en los Andes y La Guajira*.

Datos

Los datos y códigos utilizados en este trabajo se encuentran completamente disponibles en Github (https://github.com/edieraristizabal/paper_GeohazardDataBase).

Referencias

- [1] E. Aristizábal y S. Yokota, “Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el valle de Aburrá,” *Dyna*, vol. 73, no. 149, pp. 5–16, 2006.
- [2] G. Poveda, “La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna,” 2004.
- [3] F. Cedié, R. P. Shaw, y C. Cáceres, “Tectonic assembly of the northern Andean block,” 2003.
- [4] M. Vásquez, U. Altenberger, R. L. Romer, M. Sudo, y J. M. Moreno-Murillo, “Magmatic evolution of the Andean Eastern Cordillera of Colombia during the Cretaceous: Influence of previous tectonic processes,” *J. South Am. Earth Sci.*, vol. 29, no. 2, pp. 171–186, 2010.
- [5] E. Aristizábal y O. Sánchez, “Spatial and temporal patterns and the socioeconomic impacts of landslides in the tropical and mountainous Colombian Andes,” *Disasters*, vol. 44, no. 3, pp. 596–618, 2020, doi: 10.1111/disa.12391.
- [6] J. C. Ortiz Royero, “Exposure of the Colombian Caribbean coast, including San Andrés Island, to tropical storms and hurricanes, 1900–2010,” *Nat. Hazards*, vol. 61, no. 2, pp. 815–827, 2012.
- [7] L. Otero, J. Restrepo, y M. González, “Tsunami hazard assessment in the southern Colombian Pacific basin and a proposal to regenerate a previous barrier island as protection,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 14, no. 5, pp. 1155–1168, 2014.

- [8] E. Duarte, G. Bayona, C. Jaramillo, M. Parra, I. Romero, y J. A. Mora, “Identificación de los máximos eventos de inundación marina miocenos y su uso en la correlación y análisis de la cuenca de antepaís de los Llanos Orientales, Colombia,” *Bol. Geol.*, vol. 39, no. 1, pp. 19–40, 2017.
- [9] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), “Estadísticas históricas de la población colombiana,” 2021. [Online]. Available: <https://www.dane.gov.co>
- [10] M. Hermelín, *Desastres de origen natural en Colombia, 1979-2004*. Universidad EAFIT, 2005.
- [11] C. García, “Desastres de origen natural en Colombia, 1979-2004,” en *Desastres de origen natural en Colombia, 1979-2004*, M. Hermelín, Ed. Universidad EAFIT, 2005, p. 249.
- [12] H. García-Delgado, S. Machuca, y E. Medina, “Dynamic and geomorphic characterizations of the Mocoa debris flow (March 31, 2017, Putumayo Department, southern Colombia),” *Landslides*, vol. 16, no. 3, pp. 597–609, 2019, doi: 10.1007/s10346-018-01121-3.
- [13] D. Gómez, E. F. García, y E. Aristizábal, “Spatial and temporal landslide distributions using global and open landslide databases,” *Nat. Hazards*, vol. 117, no. 1, pp. 25–55, 2023.
- [14] C. Werthmann *et al.*, “Insights into the development of a landslide early warning system prototype in an informal settlement: The case of Bello Oriente in Medellín, Colombia,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 24, no. 3, pp. 1843–1870, 2024, doi: 10.5194/nhess-24-1843-2024.
- [15] R. Saldarriaga, “Inventario y sistematización de los desastres naturales reportados en el Valle de Aburrá, departamento de Antioquia, entre los años de 1900 y 2002,” Tesis de grado, Universidad EAFIT, 2003.
- [16] C. M. Prieto *et al.*, “Community participation in disaster risk management in Colombia: A case study of local governance and landslide risk reduction in the Coffee Region,” *J. Risk Reduct. Resil.*, vol. 8, no. 2, pp. 67–83, 2022.
- [17] M. C. Marulanda, O. D. Cardona, y A. H. Barbat, “Revealing the socioeconomic impact of small disasters in Colombia using the DesInventar database,” *Disasters*, vol. 34, no. 2, pp. 552–570, 2010.
- [18] D. Guha-Sapir y R. Below, “The quality and accuracy of disaster data: A comparative analysis of 3 global data sets,” *CRED Work. Pap.*, pp. 1–18, 2002.
- [19] J. Smith y E. Thompson, “The evolution of EM-DAT and its role in tracking global disaster trends,” *Int. J. Disaster Risk Sci.*, vol. 12, no. 4, pp. 567–582, 2021.
- [20] P. A. Valencia Londoño y D. Valencia Londoño, “Persistent Vulnerability after Disaster Risk Reduction (DRR) Response: The Case of Salgar, Colombia,” *Sustainability*, vol. 16, no. 11, p. 4394, 2024, doi: 10.3390/su16114394.
- [21] C. Rodríguez y M. Álvarez, “Natural hazards and risk assessment in Colombia: A comprehensive overview,” *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 58, pp. 102–114, 2021.
- [22] M. I. Arango, E. Aristizábal, y F. Gómez, “Morphometrical analysis of torrential flows-prone catchments in tropical and mountainous terrain of the Colombian Andes by machine learning techniques,” *Nat. Hazards*, vol. 105, no. 1, pp. 983–1012, 2021, doi: 10.1007/s11069-020-04346-5.
- [23] E. Aristizábal, M. I. Arango Carmona, y I. K. García López, “Definición y clasificación de las avenidas torrenciales y su impacto en los Andes colombianos,” *Cuad. Geogr.: Rev. Colomb. Geogr.*, vol. 29, no. 1, pp. 242–258, 2020, doi: 10.15446/rcdg.v29n1.72612.
- [24] E. Aristizábal y J. Gómez, “Inventario de emergencias y desastres en el valle de Aburrá originados por fenómenos naturales y antrópicos en el período 1880-2007,” *Gestión y Ambiente*, vol. 10, no. 2, pp. 17–30, 2007.

