

**DEFINICIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS METODOLOGÍAS DE
EVALUACIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN ALGUNOS
PAÍSES DE LA ZONA INTERTROPICAL**

PROYECTO DE GRADO

MARCO DAYÁN PINTO BAUTISTA

**PROGRAMA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
FACULTAD SOGAMOSO**



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

SOGAMOSO, noviembre 02 de 2017

**DEFINICIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS METODOLOGÍAS DE
EVALUACIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN ALGUNOS
PAÍSES DE LA ZONA INTERTROPICAL**

MARCO DAYÁN PINTO BAUTISTA

**Proyecto de grado en modalidad de trabajo de investigación, presentado
como requisito para optar al título de
INGENIERO GEÓLOGO**

Director: ING. HÉCTOR ANTONIO FONSECA PERALTA

Msc Ecología tropical

Especialista en Gestión Ambiental

Ingeniero Geólogo

hector.fonseca@uptc.edu.co

**PROGRAMA DE INGENIERIA GEOLÓGICA
FACULTAD SOGAMOSO
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA**

Sogamoso, noviembre 02 de 2017

AGRADECIMIENTOS

Dios es el Autor de mi historia, y todo lo que pasa en ella es su Santa Voluntad. No me alcanzan las palabras para agradecer mi existencia y ahora, este logro en mi formación profesional es una de las infinitas bendiciones que he recibido en mi vida por parte de sus Generosas Manos. Gracias Dios por permitirme dar este gran paso y en tu Santo Espíritu encomiendo mi futuro, para que yo sea quien Tú quieras que yo sea, y todo lo que yo haga sea para Alabanza y Gloria Tuya.

A mi familia por su amor, paciencia y continuo apoyo. Su correcto ejemplo ha hecho de mí la persona que ahora soy y su asistencia me ha brindado ánimo para seguir adelante. A mi novia, por su incondicional compañía

Al ingeniero Héctor Fonseca por confiar en mí y darme la oportunidad de desarrollar mi proyecto de grado bajo su dirección y al ingeniero Ernesto Gutiérrez por su colaboración y sus consejos para llevar a buen término este trabajo.

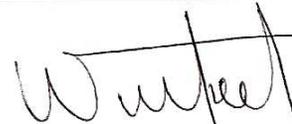
A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y a la escuela de Ingeniería Geológica, que fundaron las bases de mi conocimiento y forjaron mi moral para defender siempre la ética profesional y el servicio a los demás.

“LA AUTORIDAD CIENTÍFICA DE LA FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO, RESIDE EN ELLA MISMA, POR LO TANTO, NO ES RESPONSABLE DE LAS OPINIONES EXPRESADAS EN ESTE PROYECTO”

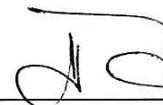
SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN INDICANDO SU ORIGEN

CARTA DE ACEPTACIÓN

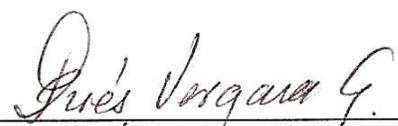
Nota de aceptación



MSc. WILSON NARANJO MERCHÁN
Director de escuela de Ingeniería Geológica



MSc. HÉCTOR FONSECA PERALTA
Director del proyecto



ING. INÉS VERGARA GÓMEZ
Firma del Jurado



MSc. GERMÁN HERRERA SALAMANCA
Firma del Jurado

Sogamoso, 02 de noviembre de 2017

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	2
3. OBJETIVOS	3
3.1 Objetivo general.....	3
3.2 Objetivos específicos.....	3
4. ANTECEDENTES	4
5. MARCO DE REFERENCIA	5
5.1 MARCO CONCEPTUAL.....	5
5.2 MARCO TEÓRICO	11
5.2.1 LAS AVENIDAS TORRENCIALES.....	11
5.2.2 AMENAZA RELACIONADA CON AVENIDAS TORRENCIALES.....	24
5.2.3 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA.....	25
5.2.4 MÉTODOS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA	26
5.2.4.1 Inventario de avenidas torrenciales	26
5.2.4.2 Método heurístico	26
5.2.4.3 Método estadístico.....	29
5.2.4.4 Método determinístico	32
5.2.4.5 Método estocástico.....	34
5.3 MARCO LEGAL.....	36
6. METODOLOGÍA.....	37
6.1 CONSTRUCCIÓN DEL ESTADO DEL ARTE	37
6.1.1 Heurística	37
6.1.2 Hermenéutica.....	37
6.2 DIAGRAMA METODOLÓGICO	38
6.3 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	38
6.3.1 Fase Heurística	38
6.3.1.1 Iniciación.....	39
6.3.1.2 Exploración.....	39
6.3.1.3 Descripción.....	40
6.3.1.4 Formulación.....	41

6.3.1.5	Recolección	42
6.3.1.6	Selección	44
6.3.2	Fase Hermenéutica	44
6.3.2.1	Interpretación.....	44
6.3.2.2	Construcción teórica.....	44
6.3.2.3	Publicación	45
7.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	46
7.1	ESTADÍSTICA DE LA DOCUMENTACIÓN.....	46
7.2	ESTADO ACTUAL DE LAS METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN ALGUNOS PAÍSES DE LA ZONA INTERTROPICAL.....	53
7.2.1	Conceptualización contemporánea de las avenidas torrenciales y problemas asociados	53
7.2.2	Desarrollo actual de las metodologías de evaluación de la amenaza asociada a avenidas torrenciales	55
7.2.2.1	América Intertropical.....	56
7.2.2.2	África Intertropical.....	69
7.2.2.3	Asia Intertropical	71
7.2.2.4	Oceanía Intertropical	76
7.2.3	Nuevas técnicas y tecnologías.....	77
8.	DISCUSIÓN	80
8.1.1	Aportes de la investigación al desarrollo de una metodología de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales que se pueda aplicar en Colombia.....	88
8.1.1.1	Características políticas, culturales, sociales, de recursos disponibles y legales.....	88
8.1.1.2	Insumos temáticos disponibles (en base al Decreto 1807 de 2014)	89
8.1.1.3	Tipo de la metodología a emplear	94
9.	CONCLUSIONES.....	112
10.	RECOMENDACIONES.....	115
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
12.	ANEXOS.....	124

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de flujo de acuerdo con las características de la mezcla y del canal.	13
Tabla 2 Modelos de fluido de acuerdo al tipo de flujo	17
Tabla 3 Clasificación de Flujos de detritos y fenómenos relacionados (modificado de Vandine, 1985)	18
Tabla 4 Distribución de la documentación por idioma.....	47
Tabla 5 Distribución de la documentación por región	47
Tabla 6 Distribución de la documentación por tipo de documento	48
Tabla 7 Distribución de la documentación por tipo de información.....	49
Tabla 8 Disponibilidad de información de los países que fueron objeto de estudio	51
Tabla 9 Cuadro comparativo entre perspectivas metodológicas desarrolladas en diferentes países de la zona intertropical	83
Tabla 10 Escalas de trabajo	96
Tabla 11 Rangos de curvatura	99
Tabla 12 Rangos de pendientes para estudios geomorfológicos	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Etapas del comportamiento de las avenidas torrenciales.....	12
Figura 2 Diferentes solicitudes y su área de influencia.....	19
Figura 4 Uso de SIG para combinación cualitativa de mapas	28
Figura 5 Uso de SIG para análisis estadístico bivariado, para elaborar mapas de susceptibilidad	30
Figura 6 Uso de SIG para análisis estadístico multivariado, para elaborar mapas de amenaza a deslizamientos.....	32
Figura 7 Uso de SIG para análisis determinístico para obtener mapas de factor de seguridad a deslizamientos	34
Figura 8 Metodologías comúnmente usadas en la zonificación de amenazas.....	35
Figura 9 Diagrama de la metodología de la investigación.....	38
Figura 10 Página web SGC.....	90
Figura 11 Geoportal IGAC	91
Figura 12 Mapa de estaciones (IDEAM)	92
Figura 13 Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA)	93
Figura 14 Ejemplo de determinación de umbrales de lluvia crítica.....	105
Figura 15 Esquema simplificado para la estimación determinística de la amenaza	107

RESUMEN

Las avenidas torrenciales, conocidas también, en cierto sentido, como *debris flow*, son desastres naturales rápidos, altamente peligrosos y difíciles de predecir, y han afectado varios países, especialmente en la zona intertropical, durante épocas invernales y periodos intensos de lluvias excepcionales. Para mitigar y prevenir los daños que estas catástrofes producen, es imperativo conocer las zonas del país más susceptibles a la ocurrencia de estos fenómenos y para ello se desarrollan metodologías que facilitan el estudio y la zonificación de amenaza por estos fenómenos.

En este trabajo se realiza la definición del estado del arte de las metodologías de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales, como una práctica investigativa que busca evaluar el desarrollo actual de los métodos usados para estimar la amenaza que estos flujos representan en algunos países de la zona intertropical. Esta actividad investigativa se lleva a cabo para contextualizar, clasificar y categorizar las técnicas y las variables usadas en estos estudios y para descubrir los vacíos y necesidades que pueden existir y que serían indispensables para formalizar una metodología de evaluación de este tipo aplicable al territorio colombiano.

ABSTRACT

The torrential floods, also known as debris flow, are fast, highly dangerous and difficult to predict natural disasters that have affected several countries, especially in the Intertropical zone, during winter times and intense periods of exceptional rainfall. In order to mitigate and prevent the damages that these catastrophes produce, it is imperative to know the areas of the country most susceptible to the occurrence of these phenomena and to this end develop methodologies that facilitate the study and zoning of threat by these phenomena.

In this work the definition of the state of the art of threat assessment methodologies by torrent avenues is carried out, as an investigative practice that seeks to evaluate the current stage of the methods used to estimate the threat that these natural disasters produce on certain areas in some countries in the Intertropical zone. This research activity is carried out to contextualize, classify and categorize the techniques and variables used in these studies and to discover the gaps and needs that may exist and that would be indispensable to formalize an evaluation methodology of this type applicable to the Colombian territory.

1. INTRODUCCIÓN

Los estragos que han generado las avenidas torrenciales en Colombia han dejado como consecuencia la pérdida de un impactante número de vidas humanas, animales y cuantiosos daños a las viviendas, infraestructura vial, cultivos, acueductos y demás servicios, en varias partes del país. Esta situación empeora en cada temporada invernal que azota al territorio nacional y la impotencia abruma a las entidades encargadas de la gestión del riesgo de desastres, porque a primera vista, pareciera que estos desastres y sus consecuencias están fuera de su control. Diferentes sectores del país han sido gravemente afectados por estos fenómenos con el paso de los años, como el Valle de Aburrá en el Departamento de Antioquia, varias poblaciones en el Departamento del Huila y en el Departamento del Valle de Cauca, el más reciente, en la ciudad de Mocoa, capital del Departamento del Putumayo, entre muchos otros lugares. El poder destructivo de la naturaleza es implacable y difícilmente predecible en estos casos, y es necesario estar preparado para un eventual acontecimiento. En apoyo a la toma de decisiones en el ordenamiento y desarrollo territorial, es importante identificar las zonas del país que representan mayor grado de amenaza por estos flujos, y para ello debe implementarse una metodología estandarizada y sistematizada que sea aplicable al territorio colombiano con base en sus características físicas y a lo establecido por la ley, en especial lo contemplado en el Decreto 1807 del 19 de septiembre de 2014, por el que se incorpora la gestión del riesgo de desastres a los planes de ordenamiento territorial. El primer paso para construir dicha metodología (y por ende el objetivo principal de este trabajo), es la definición del estado del arte de las metodologías usadas en otros países de la zona Intertropical y en condiciones climatológicas similares a las de Colombia, y así tener una base teórica que dé pie a su elaboración dentro del marco legal vigente del país.

2. JUSTIFICACIÓN

Dentro de la ley colombiana, se establece en el Decreto 1807 del 19 de septiembre de 2014 que se deben hacer estudios de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales dentro de la incorporación de la gestión del riesgo de desastres en todos los planes de ordenamiento territorial del país, no solo por reglamentación, sino por el bienestar y desarrollo de todas las comunidades, por lo que se necesita elaborar una metodología estandarizada que facilite este estudio y se obtengan resultados ajustados a la realidad.

El estudio de la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales en Colombia ha sido muy escaso. Algunos estudios implementan metodologías basadas en la observación de fenómenos ya ocurridos y sus consecuencias, y han sido aplicadas en zonas delimitadas, es decir, atendiendo a factores geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, climáticos y antrópicos propios de una región y no de todo el país. El objeto de este trabajo es reunir todas las variables que componen estas metodologías y unificarlas en una base teórica (como producto de la definición del estado del arte de este tipo de metodología) acorde a las características físicas del país y que sirva como referente para crear una metodología estandarizada y sistematizada que pueda implementarse en todo el territorio nacional. Este es el primer paso de un proceso que definirá los sectores del país más vulnerables y amenazados por este tipo de desastre natural y así tomar medidas que prevengan y mitiguen las consecuencias graves que trae consigo una avenida torrencial.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Definir el estado del arte de las metodologías de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales que se han usado en algunos países de la zona intertropical, para desarrollar una perspectiva teórica que contribuya a la estandarización de una metodología que se pueda aplicar en el territorio colombiano.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los países de la zona intertropical que faciliten información acerca de metodologías de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales que hayan implementado en su territorio.
- Analizar el desarrollo y la aplicación de dichas metodologías en los países.
- Comparar las diferentes perspectivas que presentan los autores sobre el desarrollo de las metodologías.
- Identificar las variables y los vacíos existentes en la información que se ha recopilado, y que sean importantes para la construcción de la metodología estandarizada aplicable en Colombia.

4. ANTECEDENTES

Alrededor del mundo, los flujos de torrente se han convertido en un problema que, a primera vista, pareciera que no tiene solución debido a la complejidad con la que ocurren y a su impredecibilidad, pero algunos investigadores se han puesto en la tarea de buscar soluciones. El estudio de la amenaza por avenidas torrenciales en Colombia ha sido escaso, pero se han llevado a cabo trabajos importantes que han contribuido a una “zonificación empírica” de algunas partes del territorio nacional y que han servido como referente en otros estudios de este tipo; algunas de estas tareas se han realizado como proyectos de grado y trabajos oficiales por parte de las entidades encargadas de la gestión del riesgo. Este trabajo, por su parte, se desarrolla dentro de la actividad investigativa que se lleva a cabo en el grupo de investigación de Ingeniería Geológica de la UPTC.

En cuanto a estados del arte sobre metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales, no hay tratados afines; aunque como estudio relacionado a los riesgos geológicos, se destaca el “Estado del arte de estudios de Evaluación Probabilista de Riesgo en Colombia “¹, desarrollado por Juan Olaya y Miguel Mora, dentro del proyecto “Fortalecimiento de políticas e instrumentos financieros del SNGRD en Colombia 2016-2018” de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), donde se pretende definir un “perfil probabilista del riesgo” por diferentes daños, ocasionados por eventos sísmicos.

¹ OLAYA, J. C., & Mora, M. (2016). Estado del arte de estudios de Evaluación Probabilista de Riesgo en Colombia. Bogotá,

5. MARCO DE REFERENCIA

Para entender con mayor facilidad el contenido de este trabajo es necesario aclarar los conceptos importantes, los aspectos teóricos preliminares y el marco legal (en Colombia) que engloba lo referente a las metodologías de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales.

5.1 MARCO CONCEPTUAL

- **Definición del Estado del Arte:** Para una definición científica, plantea Consuelo Hoyos que “el Estado del Arte es una investigación documental que tiene un desarrollo propio cuya finalidad esencial es dar cuenta de construcciones de sentido sobre bases de datos que apoyan un diagnóstico y un pronóstico en relación con el material documental sometido a análisis. Implica, además, una metodología mediante la cual se procede progresivamente por fases bien diferenciadas para el logro de unos objetivos delimitados que guardan relación con el resultado del proceso”². La definición del estado del arte es una práctica investigativa, que permite conocer de manera previa y actualizada una problemática o un objeto de estudio, en base a información existente y documentada, y así reconocer quiénes y con qué estudios han aportado al conocimiento del tema a investigar y qué vacíos o necesidades están presentes en la información recopilada.
- **Zona Intertropical:** Se llama zona Intertropical a la franja del planeta comprendida entre los trópicos de cáncer y capricornio. Esta zona se caracteriza por tener condiciones climáticas parecidas, duración similar del día

² HOYOS, Consuelo. 2000. Un modelo para investigación documental. Guía teórico - práctica sobre la construcción de Estados del Arte. Medellín: Señal Editora, 2000.

y la noche, lo que explica las escasas variaciones de temperatura a lo largo del año, pero variaciones considerables de temperatura diarias.

- **Amenaza:** En la legislación colombiana, la ley 1523 de 2012, define en el artículo 4, literal 3, una amenaza como un “Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales”³
- **Análisis de amenaza:** “Esta etapa comprende tres fases principales: definir un modelo geológico-geotécnico, plantear escenarios de amenaza y zonificar la amenaza. Como resultado de estas fases y de la etapa de análisis en sí misma, se obtienen los mapas de amenaza.”⁴
- **Peligro:** El flujo de torrente geoméricamente y mecánicamente caracterizado, es definido como un peligro.
- **Metodología de evaluación de amenaza:** Es un conjunto de lineamientos que se llevan a cabo para calificar una zona de estudio con grado de amenaza por un peligro latente, en base a multicriterios de evaluación estándar o empíricos.
- **Susceptibilidad de avenidas torrenciales:** Evaluación cualitativa o cuantitativa que se realiza a un área determinada en la que hay presencia o

³ COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1523. (24, abril, 2012). Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2012. No. 48.411, Cap.1, Art. 4, Lit. 3

⁴ COLOMBIANO, Servicio Geológico. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá D.C.: Imprenta Nacional de Colombia, 2015. 15 p.

pueden ocurrir flujos torrenciales. Se tienen en cuenta las características de los fenómenos históricos, su clasificación y distribución espacial. Es importante tener en cuenta que los flujos pueden generarse fuera de la zona delimitada de estudio, pero pueden extenderse hasta afectarla.

- ***Inventario de avenidas torrenciales:*** Se considera una base de datos que incluye la información de la ubicación de los fenómenos, tipo, volumen, comportamiento y características principales y la fecha de ocurrencia.
- ***Zonificación:*** “División de la superficie del terreno en áreas y la clasificación de acuerdo con el grado actual o potencial de amenaza por deslizamientos u otros movimientos en masa en las laderas.”⁵
- ***Metodología geomorfológica para zonificación:*** “Establece las condiciones de inestabilidad de las laderas con el empleo de técnicas geomorfológicas y cartográficas”⁶ en base a subunidades geomorfológicas, deslizamientos ocurridos y recientes, y se puede trabajar a diferentes escalas. La incertidumbre que presentan es que el análisis depende de las capacidades del profesional.
- ***Método de zonificación heurístico:*** “Los métodos heurísticos se basan en categorizar y ponderar los factores causantes de inestabilidad según la influencia esperada de éstos en la generación de movimientos en masa.”⁷

⁵ VARNES, D.J. 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Citado por COLOMBIANO, S. G. (2013). Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá, p. 15

⁶ GARCIA, J. M. (2014). Metodología para la evaluación de peligrosidad a los deslizamientos inducidos por terremotos. Citado por SEPÚLVEDA, A., Patiño, J., & Rodríguez, C. (2016). Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: caso Útica, Cundinamarca, Colombia. Obras y proyectos, 20, p. 17

⁷ BRABB, 1972. Landslide susceptibility in San Mateo country, California. Citado por COLOMBIANO, S. G. (2013). Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá, p. 19

- **Método de zonificación estadístico:** La idea principal de este método se basa en el tratamiento estadístico que puede dársele a los factores que han generado flujos de torrente ya ocurridos, y a partir del cual se pueden realizar predicciones cuantitativas en otras zonas donde no han ocurrido fenómenos, pero poseen factores similares. Puede ser bivariado o multivariado.
- **Método de zonificación determinístico:** Estos métodos son precisos, y disponen de análisis geomecánicos y de estabilidad de taludes para hallar un factor de seguridad en una zona determinada; permiten hallar el alcance y frecuencia de los desastres. El análisis se desarrolla bajo condiciones estáticas, pseudoestáticas y dinámicas dependiendo de la utilización o no, de modelos de fuerzas externas que condicionen los fenómenos.
- **Método de zonificación estocástico:** “Los métodos estocásticos están basados en variables tomadas como datos al azar, los cuales se relacionan entre ellas con funciones probabilísticas. Algunos de estos sistemas son: Lógica Difusa (LD), Algoritmos difusos (AD), Redes Neuronales Artificiales (RNA), Algoritmos genéticos (AG), Programación Geotécnica (PG), Colonia de Hormigas y Algoritmos Evolucionados.”⁸
- **Avenida Torrencial:** El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible define las avenidas torrenciales como “crecientes súbitas que por las condiciones geomorfológicas de la cuenca están compuestas por un flujo de agua con alto contenido de materiales de arrastre, con un gran potencial destructivo debido a su alta velocidad”.⁹

⁸ COLOMBIANO, S. G. (2013). Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá, p. 22

⁹ SOSTENIBLE, Ministerio de Ambiente y Desarrollo. Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS. Anexo B: Gestión del Riesgo. Bogotá, D.C., Archivo Digital, 2014. 25 p.

Este tipo de desastre natural se divide en tres sectores; en primer lugar, estos fenómenos se presentan generalmente en zonas montañosas, donde se encuentran laderas de alta pendiente relacionadas con fenómenos de remoción en masa y que, durante fuertes precipitaciones, acumulan gran cantidad de agua que escurre pendiente abajo.

Suelen presentarse obstrucciones durante el escurrimiento del agua, por lo que puede almacenarse, romper la obstrucción y desbordarse, arrasando con lo que encuentre por su paso. El segundo sector se encuentra entre la transición de pendientes fuertes a pendientes suaves, y este es el más peligroso, ya que el fenómeno presenta mayor velocidad, mayor energía y lleva consigo material de arrastre de considerables dimensiones. Por último, está el sector de baja pendiente, donde el material de arrastre se deposita y se explaya.

Es importante mencionar otros términos relacionados con este tipo de fenómeno y con los que en ocasiones es también conocido; entre ellos están:

- ***Flujo de detritos (debris flow) detonados por lluvia:*** Este flujo es un tipo de fenómeno de remoción en masa, muy destructivo, que se genera en zonas de montaña, donde el agua de fuertes lluvias se filtra en el suelo y lo hacen desprenderse, desplazándose hasta una zona de pendiente baja y depositándose en forma de abanico.
- ***Flujo de Derrubios:*** Tipo relativamente rápido de proceso gravitacional que consiste en la fluencia de suelo y regolitos con abundante cantidad de agua. Los flujos de derrubios, denominados también coladas de barro, son fundamentalmente característicos de las regiones montañosas semiáridas y son también comunes en las pendientes de algunos volcanes. Debido a sus

propiedades fluidas, los flujos de derrubios suelen seguir cañones y cauces fluviales”¹⁰

- **Flujos hiperconcentrados granulares:** “Está formado por una mezcla de partículas gruesas y agua. En el flujo hiperconcentrado predominan las partículas granulares (arenas, gravas, cantos y bloques) por tanto la mezcla no tiene cohesión”¹¹. La característica principal que identifica los flujos hiperconcentrados granulares es el volumen de sólidos, que debe estar entre el 20% y el 60%
- **Coladas de barro:** Son llamados también Flujos de Derrubios. (Ver flujo de Derrubios)
- **Avalancha de tierra:** “Son flujos de materiales de suelo o residuos de roca generalmente entremezclados con agua extremadamente rápidos, en los cuales la dinámica del movimiento controla su comportamiento. Aunque generalmente, las avalanchas corresponden a flujos saturados, la saturación no es pre-requisito para su ocurrencia y en ocasiones se presentan avalanchas en materiales secos”¹²
- **Huaico:** Término peruano para referirse a flujos de torrente.
- **Riada:** Término boliviano para referirse a flujos repentinos o crecidas de ríos causados por lluvias intensas, y que llevan una carga de sedimentos considerable.

¹⁰ TARBUCK, Op. Cit., p. 204

¹¹ SUÁREZ, Jaime. 2001. Control de Erosión en Zonas Tropicales. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander, 2001, 177 p.

¹² Ibid., 168 p.

5.2 MARCO TEÓRICO

Para comenzar a tratar sobre las metodologías de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales, es imperativo conocer primero lo referente a estos desastres naturales. A continuación, se explican las características generales de estos fenómenos.

5.2.1 LAS AVENIDAS TORRENCIALES

Las Avenidas Torrenciales son catalogadas como desastres naturales altamente peligrosos debido a que son impredecibles, transportan a gran velocidad y con fuerte energía materiales de considerable tamaño y se desplazan en zonas de baja pendiente donde, con frecuencia, se encuentran asentamientos humanos. Son una amenaza común de las zonas montañosas, generalmente donde se presentan laderas con fuertes pendientes. Cuando este desastre se desencadena arrasa con todo a su paso, llevándose consigo un sinnúmero de vidas humanas, y causando graves daños a la infraestructura, cultivos, acueductos y demás servicios.

Para entender el fenómeno de las avenidas torrenciales es importante primero conocer su comportamiento, que consta principalmente de tres etapas:

1. Etapa de formación

Fuertes precipitaciones y la formación de fenómenos de remoción en masa son los factores detonantes de estos desastres naturales.

En presencia de fuertes precipitaciones (que suelen ser mayores a las precipitaciones máximas normales), la saturación del suelo originada por la infiltración de escorrentía, en juego con las altas pendientes características de la zona de alta montaña, facilitan la generación de deslizamientos, que se desplazan

hasta los cauces, donde son transportados agua abajo u obstruyen el paso del agua y la represan momentáneamente. A su vez, las fuertes lluvias recargan los ríos, y los caudales aumentan súbitamente; estas corrientes de agua, de gran velocidad y energía, erosionan las laderas, aumentando la carga de material que transportan.

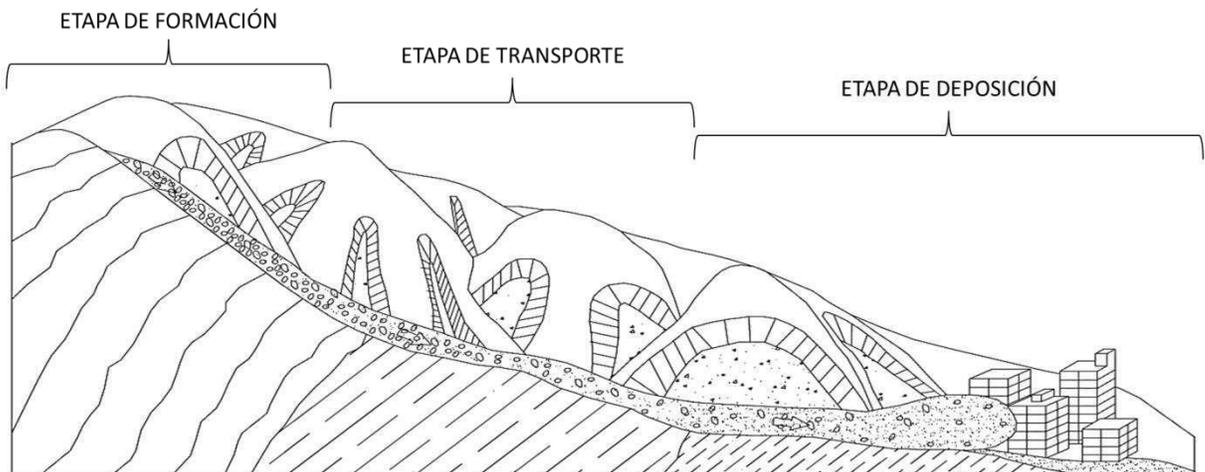
2. Etapa de transporte

Los cauces arrastran cada vez más material aportado por diferentes deslizamientos presentes a lo largo de su curso, otras corrientes de agua y la socavación de las laderas; los caudales aumentan su velocidad y su capacidad de erosión y transporte, en función de la gravedad.

3. Etapa de deposición

Cuando el cauce se ensancha, o llega a una zona de baja pendiente, disminuye su velocidad y su energía, se desborda y se explaya, depositando todo el material de arrastre.

Figura 1 Etapas del comportamiento de las avenidas torrenciales



Fuente: Modificado de Suárez, J. (2001). Control de Erosión en Zonas Tropicales. Bucaramanga, Colombia: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander, p. 186

Las avenidas torrenciales se entienden entonces como un conjunto de flujos de tierra rápidos y altamente destructivos, dentro de los cuales se pueden distinguir flujos de detritos (*debris flow*) especialmente los canalizados, flujos hiperconcentrados granulares, flujos de derrubios, huaicos, llocllas o llapanas (como son conocidos estos flujos en Perú), riadas (nombre dado a estos flujos en Bolivia) o corridas de masa (nombre dado en Brasil).

A continuación, se muestra una tabla referente a los tipos de flujos

Tabla 1 Tipos de flujo de acuerdo con las características de la mezcla y del canal.

Características de los sedimentos	Concentración de sedimentos de la mezcla (Kg/m ³)	Pendiente del canal					
		> 100% (45°)	100 a 50%	50 a 20%	20 a 10%	10 a 5%	< 5%
Tipo de flujo							
Más del 20% del peso total de sedimentos son partículas finas (d<ASTM#200)	<90	Flujo hiperconcentrado		Flujo de lodo			
	>90	Flujo de lodo					
Menos del 20% del peso total de sedimentos son partículas finas (d<ASTM#200)	<300	Flujo hiperconcentrado					
	300 a 600	Flujo turbulento de detritos (Debris flow)		Flujo hiperconcentrado			
	600 a 900	Flujo turbulento de detritos (Debris flow)					
	>900	Flujo laminar de detritos					

Fuente: Suárez, J. (2001). Control de Erosión en Zonas Tropicales. Bucaramanga, Colombia: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander, p. 174

En base a esto, es importante tener en cuenta que el comportamiento en cada flujo es diferente; por tal razón, Según Jaime Suárez¹³, el comportamiento del flujo de las avenidas torrenciales está dado por modelos de fluidos, determinados por la tipo y cantidad de sedimento que se transporta, cantidad de agua, las características y pendientes del terreno. Debido a los diferentes tipos de flujos que pueden representar una avenida torrencial, se destacan tres tipos de fluido principales:

FLUIDO NEWTONIANO; este tipo de fluidos se caracteriza por poseer una viscosidad considerada constante en el tiempo, como por ejemplo el agua, donde la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación es lineal. Este modelo es muy usado en estudios de comportamiento de flujos de tierra rápidos ya que hay modelos matemáticos establecidos que los explican y software que los pueden simular. La relación matemática que expresa el comportamiento de un fluido Newtoniano es,

$$\tau = \eta c (dV / dy) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

T, es la tensión tangencial ejercida en un punto del fluido o sobre una superficie sólida en contacto con el mismo (Pa).

ηc , es el coeficiente de viscosidad (Pa·s).

dV / dy , es el gradiente de velocidad perpendicular a la dirección del plano de la tensión tangencial (s^{-1}).

“La representación hidráulica del flujo de agua de acuerdo a las características del flujo Newtoniano se ha realizado mediante el modelo de Manning, y para flujos con alto contenido de agua como los flujos de lodos y flujos hiperconcentrados, de características Newtonianas viscosas y turbulentas, el modelo de Manning es el

¹³ SUÁREZ, Óp. Cit., 170

que más se asimila a la realidad del flujo.”¹⁴ El modelo de Manning está determinado como:

$$qT = \frac{1}{n} h^{\frac{5}{3}} \text{sen}^{\frac{1}{2}} \theta \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

qT, es el caudal unitario.

n, es el número de rugosidad de Manning.

θ, es el ángulo de la pendiente.

h, espesor del flujo

La variable más importante para modelar los flujos de tipo Newtoniano es el número de rugosidad n de Manning, que representa la fricción entre el canal y el flujo, pero es necesario también tener en cuenta las características del flujo. Algunos estudios usan como criterio de “n”, la siguiente expresión,

$$n = 0,035h^{0,34} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde el número de rugosidad de Manning (n) depende del espesor (h) del flujo. Esta serie de fórmulas empíricas has ayudado a solucionar de una manera u otra la modelación matemática de los flujos, aunque hay que aclarar que no en todas las áreas de estudio es pertinente usar estas fórmulas. Los flujos de tierra considerados como fluidos Newtonianos para facilitar su modelación (como los flujos de lodo o hiperconcentrados) demuestran un comportamiento hidráulico tradicional. “Debe tenerse en cuenta que el modelo de Manning no es completamente válido cuando aumentan las concentraciones de sólidos. Para concentraciones muy altas de sólidos (concentraciones cercanas o superiores a 1.000 kg/m³), la distribución de velocidades es más uniforme y el flujo se asemeja

¹⁴ SUÁREZ, Op. Cit., 170

más al modelo de Bingham, y si la concentración de sedimentos excede un valor crítico, la distribución de velocidades tiende a ser uniforme.”¹⁵

FLUIDO BINGHAM, En base a lo planteado por Jaime Suárez¹⁶ el modelamiento matemático atribuido a las avalanchas de tierra se representa por la siguiente ecuación,

$$\tau = C + \sigma n \tan \varphi + \eta c (dV / dy) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde,

τ , Resistencia al cortante en la base del flujo

C, Cohesión

φ , Ángulo de fricción interna

ηc , Coeficiente de viscosidad.

Esta ecuación representa muy bien las avalanchas de tierra, pero para usarla, es complejo encontrar los parámetros. Asociados a este tipo de fluidos están los flujos con mayor concentración de sólidos, como flujos de lodos con concentraciones mayores al 20% del volumen del flujo.

MODELO DE FLUÍDO DILATANTE, este modelo de fluido definido por Takahashi¹⁷, describe con mayor asertividad el comportamiento matemático de un flujo de detritos, ya que hace referencia a fluidos no viscosos, donde predomina el choque de partículas, y está definido por las siguientes ecuaciones,

¹⁵ Chien N., Wan Z. (1.999) “Mechanics of Sediment Transport”. Citado por SUÁREZ, Jaime. 2001. Control de Erosión en Zonas Tropicales. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander, 2001, 170 p.

¹⁶ SUÁREZ, Op. Cit., p. 170

¹⁷ Takahashi T. (1991). “Debris flow”, citado por SUÁREZ, Jaime. 2001. Control de Erosión en Zonas Tropicales. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander, 2001, 171 p.

$$(1) \tau = \eta c (dV / dy)^2 \quad (2) qT = \frac{2}{5} R h^{\frac{5}{2}} \text{sen}^{\frac{1}{2}} \theta \quad (3) \frac{U_s - U}{U_s} = \left(\frac{h-z}{h}\right)^{\frac{3}{2}}$$

Ecuación 5

Donde,

T, es la tensión tangencial ejercida en un punto del fluido o sobre una superficie sólida en contacto con el mismo (Pa).

ηc , es el coeficiente de viscosidad (Pa·s).

dV / dy , es el gradiente de velocidad perpendicular a la dirección del plano de la tensión tangencial (s^{-1}).

qT , es el caudal unitario.

R, es una función de la concentración de sólidos, el diámetro de las partículas y otras funciones.

Θ , es el ángulo de la pendiente.

h, espesor del flujo

U = velocidad

U_s = velocidad en la superficie del flujo

z = Altura de cada punto con respecto al fondo del canal.

A continuación, se presenta una tabla con modelos de fluido para diferentes flujos.

Tabla 2 Modelos de fluido de acuerdo al tipo de flujo

Flujo	Característica	Fluido	Porosidad	Concentración en volumen	Peso unitario
De lodos	Viscoso	BINGHAM	0.3- 0.8	> 20%	1.0 – 1.6
Hiperconcentrado granular	Viscoso	Bingham o MANNING	0.6- 1.0	0-40%	1-0 – 1.8
	No viscoso	MANNING	0.7 – 1.0	0- 30%	1.0 – 1.7
Turbulento de detritos	Inercial (No viscoso)	MANNING o BAGNOLD/ TAKAHASHI	0.25 – 0.7	> 30%	1.6 – 2.0
	Viscoso	BAGNOLD/ TAKAHASHI	0.1- 0.6	>40%	1.7 – 2.2
Laminar de detritos		BINGHAM	< 0.1		

Fuente: Suárez, J. (2001). Control de Erosión en Zonas Tropicales. Bucaramanga, Colombia: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander, p. 174

Diferentes softwares se basan en estos modelos de fluidos para poder simular flujos de tierra, y así predecir tanto el alcance como la extensión final de estos fenómenos. Una matemática compleja describe el comportamiento de los flujos, así que la visión matemática de los fluidos explicada más arriba, sólo es un referente muy general de la mecánica de los fluidos; en caso de la creación de softwares y modelos matemáticos es necesario consultar otras fuentes.

Tabla 3 Clasificación de Flujos de detritos y fenómenos relacionados (modificado de Vandine, 1985)

AMENAZA NATURAL		INUNDACION	FLUJO DE LODO	FLUJOS DE DETRITOS		DESPLAZAMIENTO DE DETRITOS	AVALANCHA DE DETRITOS
				AVENIDA TORRENCIAL	FLUJO DE DETRITOS		
CARACTERISTICAS							
MATERIAL INVOLUCRADO	Agua con transporte de sedimentos normal	x					
	Principalmente grano fino, material inorgánico		x				
	Principalmente grano grueso, material orgánico e inorgánico			x	x	x	x
MECANICA DEL MOVIMIENTO	Flujo	x	x	x	x		
	Traslación					x	x
LUGAR DONDE OCURRE EL MOVIMIENTO	Canal de drenaje pre-existente	x	x	x			
	Ladera planar				x	x	x
CONTENIDO DE AGUA	Saturado		x	x	x	x	
	No saturado	Húmedo				x	x
		Seco					

Fuente: Castro, E. (s.f.). Amenaza asociada a las Avenidas Torrenciales. Bogotá: INGEOMINAS.

Las avenidas torrenciales son desastres muy complejos, con componentes diversos y variables que generan procesos generadores de daño o “solicitaciones”¹⁸ durante la interacción del fenómeno con los elementos expuestos, aquellos susceptibles a ser afectados. En base a estudios de eventos precedentes, para definir los procesos de daño de estos movimientos y su área de influencia de manera representativa, se han identificado como solicitudes de una avenida torrencial los impactos, las presiones, la socavación lateral y las acumulaciones (Ver Figura 1 y Figura 2)

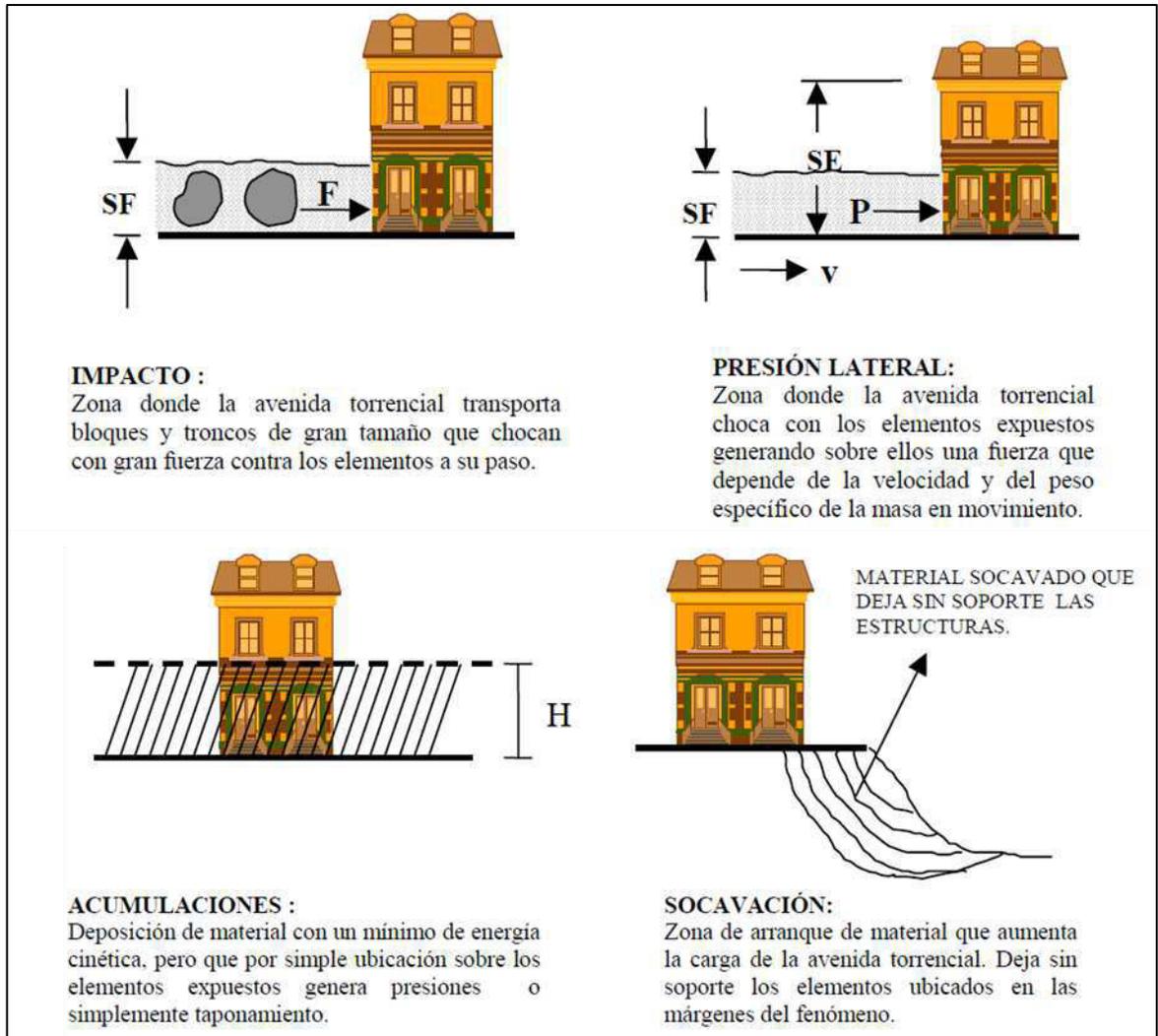
Figura 2 Diferentes solicitudes y su área de influencia.



Fuente: “Guía Metodológica Para La Zonificación De Amenazas Por Fenómenos De Remoción En Masa – Método Invariado - Y Escenarios De Riesgo Por Avenidas Torrenciales”, INGEOMINAS, Bogotá - Colombia, abril de 2001, 40 p.

¹⁸ INGEOMINAS. Guía metodológica para la zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa – método univariado - y escenarios de riesgo por avenidas torrenciales. Bogotá: Apoyo Operativo INGEOMINAS, 2001, 39 p

Figura 2 Procesos generadores de daño



Fuente: “Guía Metodológica Para La Zonificación De Amenazas Por Fenómenos De Remoción En Masa – Método Univariado - Y Escenarios De Riesgo Por Avenidas Torrenciales”, INGEOMINAS, Bogotá - Colombia, abril de 2001, 41 p.

Son varios los agentes que causan las avenidas torrenciales, teniendo en cuenta aquellos que produzcan fenómenos de remoción en masa, incidan en la hidrodinámica de la zona y la actividad antrópica. Estos agentes pueden ser **condicionantes (pasivos)** que dependen de las características del terreno y

desencadenantes (activos) que detonan el desastre natural y controlan su comportamiento.

Como factores condicionantes están:

La geología y la geotecnia: Los estudios geológicos determinan la composición y la textura del terreno que condicionan la densidad, la dureza, la resistencia y el comportamiento hidrogeológico del subsuelo. “La estructura geológica, estratigrafía y litología determinan la potencialidad de movimientos en los diferentes tipos de materiales rocosos y suelos, la existencia de planos de discontinuidad que pueden actuar como superficies de rotura. Aspectos como la composición, resistencia, deformabilidad, grado de alteración y fracturación, porosidad y permeabilidad determinan la posibilidad del terreno a sufrir roturas y desplazamientos bajo la actuación de determinados factores desencadenantes.”¹⁹ La actividad sísmica también es condicionante de fenómenos de remoción en masa, y está puntualizada por la presencia de fallas geológicas que son descritas en estudios de campo. El comportamiento geomecánico y la resistencia al corte de los suelos y las rocas, es controlado por las propiedades resistentes, y son definidas por medio de laboratorios de suelos y rocas

La geomorfología y el relieve: Derruau define que “la explicación del relieve, evolución del mismo y estudio de los procesos de su modelado” ²⁰ son elementos que encierra la Geomorfología. “El relieve juega un papel definitivo, ya que es necesaria cierta pendiente para que se produzca los movimientos gravitacionales”²¹. Las cuencas hidrográficas que presentan relieves abruptos y fuertes pendientes son más propensas a la generación de avenidas torrenciales,

¹⁹ VALLEJO, Luis Gonzáles de, y otros. Ingeniería Geológica. Madrid: Prentice Hall, 2002.630 p

²⁰ DERRUAU, Max. 1970. Geomorfología. Barcelona: Ediciones Ariel S.A., 1970. 17 p.

²¹ VALLEJO, Op. Cit., p. 630

ya que hay mayor probabilidad de originar fenómenos de remoción en masa que puedan obstaculizar cauces, además del aumento de velocidad y energía de las corrientes del agua que favorecen este tipo de pendientes.

Cobertura vegetal: La vegetación representa la mejor protección contra la erosión. La falta de fronda expone el suelo a la intemperie, y lo hace susceptible a ser afectado por el viento y la lluvia. Las laderas son más estables cuando están cubiertas por vegetación, pero cuando esta hace falta ya sea por deforestación, sequías o incendios, la ladera es más susceptible a presentar fenómenos de remoción en masa. La vegetación además absorbe el agua, disminuyendo la saturación del suelo durante las precipitaciones.

Comportamiento hidrogeológico: El comportamiento hidrogeológico está relacionado con las condiciones climáticas y es dominado por las características litológicas y estructurales de los materiales, además de su meteorización. En aquellas zonas donde predominan periodos lluviosos, los estratos suelen encontrarse fuertemente meteorizados y alterados y con los niveles freáticos altos contribuyen a la inestabilidad del terreno. El efecto de la saturación en el suelo se resume en la disminución de la resistencia al corte a causa de las presiones intersticiales y el incremento en los esfuerzos cortantes por el aumento en el peso y la lubricación en discontinuidades y grietas

Actividad antrópica: La actividad del hombre influye directamente en la variación de las propiedades del suelo; la minería, la agricultura, la ganadería y la construcción producen sobrecargas que perjudican la estabilidad del suelo o lo hacen más propenso a ser afectado por la erosión. Estos cambios en el equilibrio de las cargas del suelo aumentan la probabilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, que pueden llegar a ocupar cauces importantes.

Como factores desencadenantes están:

Precipitaciones: El desencadenamiento de crecidas súbitas en los ríos y los movimientos de tierra, está controlado por el régimen de lluvias. Las precipitaciones intensas durante horas o días o periodos lluviosos prolongados (en términos de semanas o meses) promueven la generación y reactivación de movimientos de remoción en masa debido a la modificación de las propiedades, composición y la resistencia del suelo por la infiltración rápida de agua, el incremento en las presiones intersticiales, la alteración de los estados tensionales, el aumento de peso y procesos de erosión interna y externa. Por su parte, las inundaciones y las avenidas, producto de estas fuertes y/o prolongadas precipitaciones, contribuyen a la desestabilidad de las laderas. Gonzáles de Vallejo afirma:

El papel erosivo de la corriente de agua en la base de la ladera se une al de la lluvia saturando el terreno, generando flujos y deslizamientos, o reactivando movimientos. Los deslizamientos en los valles fluviales pueden cortar el cauce y crear lagos o embalses aguas arriba, que dan lugar a riesgos añadidos a los de la propia rotura de la ladera: Inundación del valle aguas arriba por taponamiento del cauce e inundación aguas abajo por rotura violenta del “dique”.²²

Sismicidad: La actividad sísmica genera movimientos de remoción en masa y reactiva deslizamientos, en base a las características litológicas de los materiales y la magnitud y el epicentro del terremoto. En este sentido, las fuerzas sísmicas son un factor desencadenante de inestabilidades.

En ocasiones, un factor detonante es el vulcanismo, especialmente aquel que descongela grandes masas de hielo en los nevados, pero, aunque se considera

²² VALLEJO, Op. Cit., p. 635

como detonante, son escasas las avenidas torrenciales que se generan a causa de actividad volcánica (pero los desastres son igualmente peligrosos), por lo que se hace mayor énfasis en cuánto a las fuertes lluvias y la actividad sísmica, que son más recurrentes.

5.2.2 AMENAZA RELACIONADA CON AVENIDAS TORRENCIALES

Uno de los objetivos que tiene la ingeniería geológica como “ciencia aplicada al estudio y solución de los problemas producidos por la interacción entre el medio geológico y la actividad humana”²³ es la evaluación, prevención y mitigación de los peligros que los desastres naturales traen consigo; para ello se idean estrategias que permitan el equilibrio “entre las condiciones naturales y la ocupación del territorio, incorporando los métodos de prevención y mitigación de los riesgos geológicos a la planificación”²⁴. En este contexto, se han creado metodologías de evaluación de amenaza, donde se expresan estrategias de estudio que permiten estimar el grado de amenaza al que está sujeto un territorio ante un peligro latente de generación de riesgos geológicos. Para la creación de una metodología de este tipo es importante conocer la génesis, desarrollo y consecuencias del desastre natural, es decir, entender muy bien el fenómeno, los agentes que lo condicionan y aquellos que los desencadenan y su comportamiento.

En la zona Intertropical, especialmente en época de invierno, en periodos de lluvias fuertes, o a causa de sismos, se desencadenan numerosos desastres naturales, entre ellos las avenidas torrenciales. Estos fenómenos han azotado varios países a lo largo de los años y varias poblaciones se han visto gravemente afectadas por estos acontecimientos; por mencionar algunos sucesos, se encuentran varias avenidas torrenciales provocadas por el terremoto que devastó

²³ VALLEJO, Op. Cit., p 608

²⁴ Ibid., p 608

parte de Perú el 31 de Mayo de 1970, el fenómeno ocurrido en Berlín (El Salvador) el 29 de mayo de 2007 llevando consigo la vida de 4 personas y la avenida torrencial en la ciudad de Armero (Colombia) en 1985 a causa del descongelamiento de una gran masa de hielo del volcán Nevado del Ruiz que se combinó con ceniza dejando un saldo de 25 mil personas fallecidas.

Por esta razón, en algunos de estos países se han desarrollado metodologías de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales, con la finalidad de delimitar las zonas con mayor peligro, en base a la evaluación, prevención y mitigación de los daños que provocan estos desastres y contribuir a una ocupación segura del territorio por asentamientos humanos.

5.2.3 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA

La “zonificación de amenaza” ligada a las avenidas torrenciales es, según Castro, “la división del terreno contiguo a un cauce, en áreas con igual grado de amenaza actual o potencial frente a las avenidas torrenciales”²⁵. La amenaza que se evalúa por avenidas torrenciales se basa en la afectación del agua y los sedimentos; como ya se había mencionado en las generalidades de las avenidas torrenciales, los procesos de daño o “solicitaciones” de estos fenómenos son los impactos, las presiones, la socavación lateral y las acumulaciones, por tanto, la apreciación del grado de amenaza se puede dar por una o varias solicitudes, por ejemplo, amenaza relacionada con acumulación de sedimentos y socavación lateral, o amenaza atribuida a impactos de bloques de roca. El producto final de la zonificación es un mapa de amenaza, donde se muestran las áreas de la zona de estudio con mayor peligro latente a la ocurrencia de avenidas torrenciales. A partir de este mapa se planifica la ocupación del terreno o en caso de que se

²⁵ CASTRO, Eduardo. Amenaza asociada a las Avenidas Torrenciales. Bogotá: INGEOMINAS. 2 p.

encuentren asentamientos en peligro, se planteen acciones de prevención y mitigación de daños.

5.2.4 MÉTODOS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

Los métodos de zonificación son lineamientos que pueden ser estandarizados o empíricos, y que permiten una delimitación espacial evaluada cualitativa o cuantitativamente y el resultado es un mapa que representa el grado de amenaza, relacionando, según la Guía del JTC-1, 2008²⁶, el propósito de la zonificación (información, planificación, pre-diseño, diseño), el nivel de zonificación y la escala de zonificación. Los métodos usados para zonificaciones son el heurístico, estadístico, determinístico y estocásticos. La elección del método a usar depende de la disponibilidad y calidad de la información, la escala de trabajo y los resultados que se esperan.

5.2.4.1 Inventario de avenidas torrenciales

El método más directo para zonificar la amenaza por flujos torrenciales es haciendo uso del inventario de avenidas torrenciales, acudiendo simultáneamente a la fotointerpretación, datos del subsuelo y el registro histórico de fenómenos ocurridos. El mapa de amenaza que resulta del análisis del inventario es un producto preliminar, donde se delimitan los desastres espacialmente, con sus respectivas características.

5.2.4.2 Método heurístico

²⁶ FELL, R et al.2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning, on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes. Citado por COLOMBIANO, S. G. (2013). Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá, p 16.

El análisis heurístico de la amenaza en una zona determinada se realiza teniendo como base el criterio profesional, la fotointerpretación y el trabajo de campo. En el método heurístico, teniendo en cuenta la escala de trabajo y la información con que se cuenta, lo que se pretende es utilizar valores de peso a cada parámetro y a cada mapa. Se han destacado dos tipos métodos heurísticos especiales.

5.2.4.2.1 Método de Proceso De Análisis Jerárquico (AHP)

Según el Servicio Geológico Colombiano, en el Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza por Movimientos en Masa, escala 1:100.000, menciona que el AHP:

“Consiste en un método semicualitativo que involucra una comparación por pares realizada por los expertos a partir de una matriz de atributos o variables que contribuyen a los movimientos en masa, para lo cual se recomienda seguir las etapas que se describen a continuación: Definir el problema y determinar el tipo de conocimiento requerido, estructurar la decisión jerárquica desde un nivel superior hacia un nivel más bajo a través de los niveles intermedios, construir un conjunto de matrices de comparación por pares, cada elemento de un nivel superior se utiliza para comparar los elementos en el nivel inmediatamente inferior con respecto a ella, utilizar las prioridades obtenidas a partir de las comparaciones para ponderar las del nivel inmediatamente inferior, acción que se repite para cada elemento, luego, para cada elemento en el nivel por debajo añadir sus valores pesados y obtener su prioridad global o mundial, para hacer comparaciones necesitamos una escala de números que indique cuántas veces un elemento es más importante o dominante sobre otro elemento con respecto al criterio con el que se compara.”²⁷

²⁷ COLOMBIANO, Servicio Geológico. Op. Cit., p. 20.

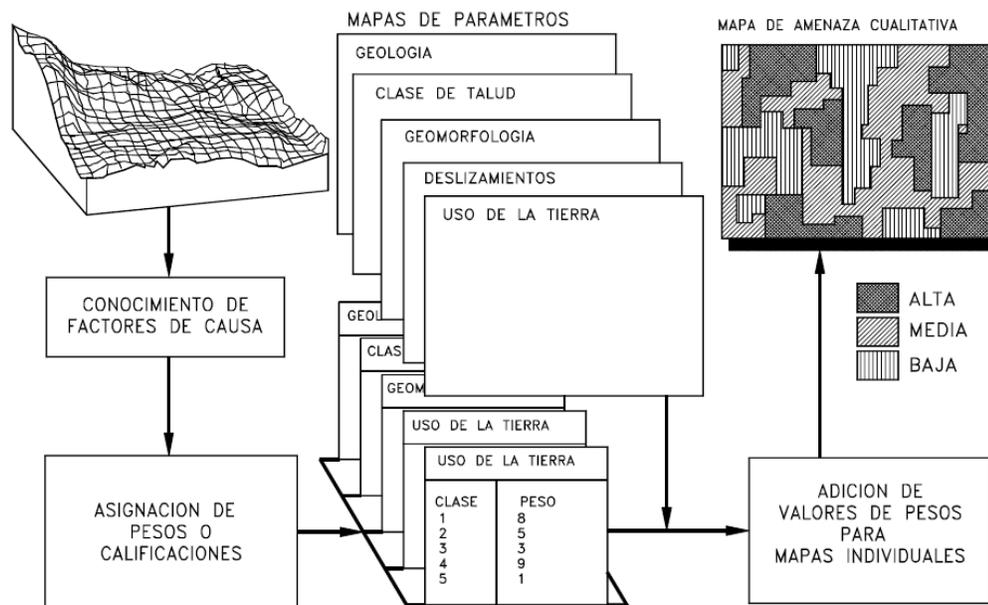
5.2.4.2.2 Método de Combinación Cualitativa

Con este método, basado en la experiencia del profesional, se asignan pesos a los parámetros que generan desastres, mediante la evaluación de las condiciones de terrenos estudiados en varios sitios, para obtener valores de amenaza que se pudieran clasificar. El principal problema de este método es la falta de exactitud en las ponderaciones de los parámetros, para ser usados en otras áreas de estudio.

La utilización de SIG se realiza según Jaime Suárez de la siguiente manera:

1. Clasificación de cada mapa de parámetros de acuerdo a las clases relevantes.
2. Asignación de valores de peso a cada parámetro (por ejemplo, en escala de 1 a 10).
3. Asignación de pesos a cada mapa de parámetros.
4. Cálculo de los pesos para cada pixel y clasificación en clases de amenaza.²⁸

Figura 3 Uso de SIG para combinación cualitativa de mapas



²⁸ SUÁREZ, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Publicaciones UIS, p 380

Fuente: Turner y McGuffey, (1996), citado por Suárez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Publicaciones UIS, p 380

5.2.4.3 Método estadístico

La idea principal de este método es el análisis estadístico que puede aplicarse a los parámetros que generan flujos torrenciales, en varios registros históricos, con el fin de realizar predicciones de ocurrencia de fenómenos en zonas donde no ha habido y podrían presenciarse. Puede ser bivariado o multivariado.

5.2.4.3.1.1 Análisis bivariado

“En el análisis estadístico bivariado cada factor de mapeo (por ejemplo pendiente, geología, uso del suelo), se combina con la distribución de los movimientos en masa en el mapa y se calculan valores ponderados de densidades de movimientos en masa para cada clase, por ejemplo clase de taludes, unidad litológica, tipo, uso del suelo, entre otros.”²⁹

Para la realización de este método, el uso de SIG es esencial, ya que permiten las combinaciones de los mapas y operar atributos. Jaime Suárez hace referencia al siguiente procedimiento de uso de SIG en este método:

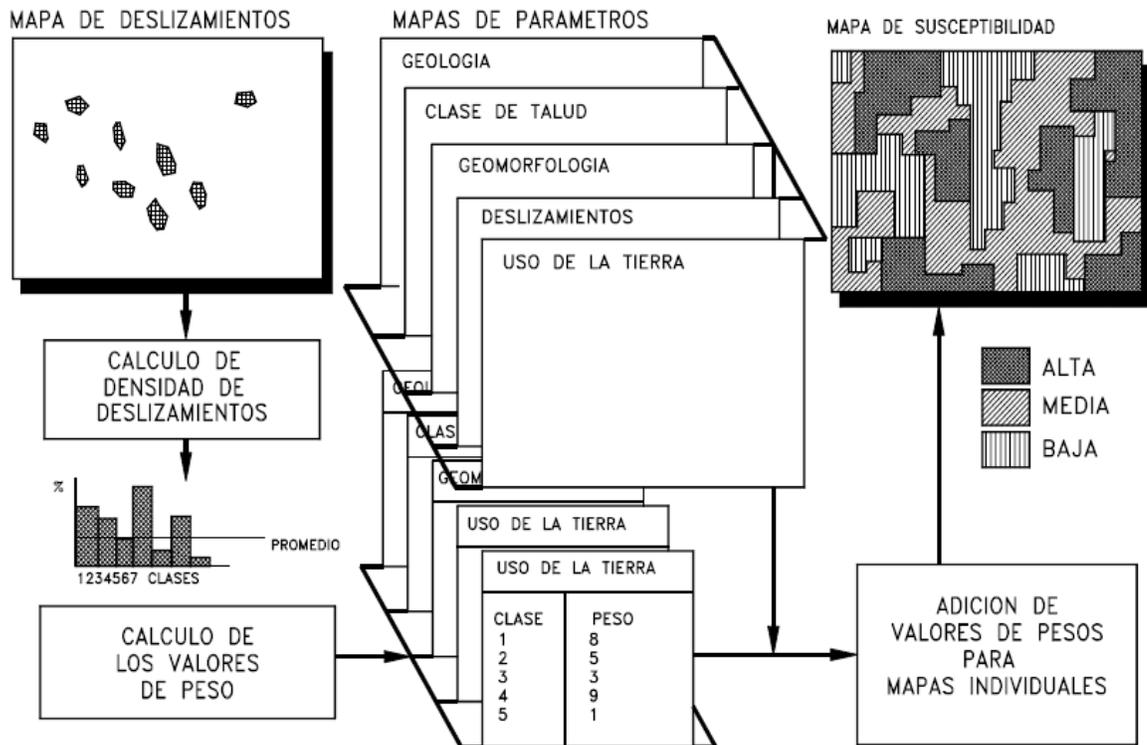
- “1. Clasificación de cada mapa de parámetros en un número de clases relevantes.
2. Combinación de los mapas seleccionados de parámetros con el mapa de deslizamientos, utilizando el sistema de cruce de mapas para producir unas tabulaciones de cruce que definen las correlaciones espaciales entre los mapas de parámetros y el mapa de deslizamientos.

²⁹ COLOMBIANO, Servicio Geológico. Op. Cit., p. 21

3. Cálculo de los valores de peso basados en la tabla de tabulación de cruce.

4. Asignación de valores de peso a los varios mapas de parámetros o diseñar unas reglas de decisiones para ser aplicados a los mapas y clasificaciones de acuerdo a los resultados finales.”³⁰

Figura 4 Uso de SIG para análisis estadístico bivariado, para elaborar mapas de susceptibilidad



Fuente: Turner y McGuffey, (1996), citado por Suárez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Publicaciones UIS, p 381

³⁰ SUÁREZ, Op. Cit., p 381

5.2.4.3.1.2 Análisis multivariado

“Fueron desarrollados en Italia principalmente por Carrara. Para su aplicación se muestrean todos los factores relevantes como una large-grid basis o como unidades morfométricas. Para cada unidad muestreada se determina la presencia o ausencia de movimientos en masa. La matriz que resulte se analiza usando regresiones múltiples o análisis discriminantes. Con estas técnicas se han tenido buenos resultados en zonas homogéneas o en áreas con apenas pocos tipos de movimientos en masa.”³¹

El procedimiento en SIG citado por Jaime Suárez, para análisis estadístico multivariado es:

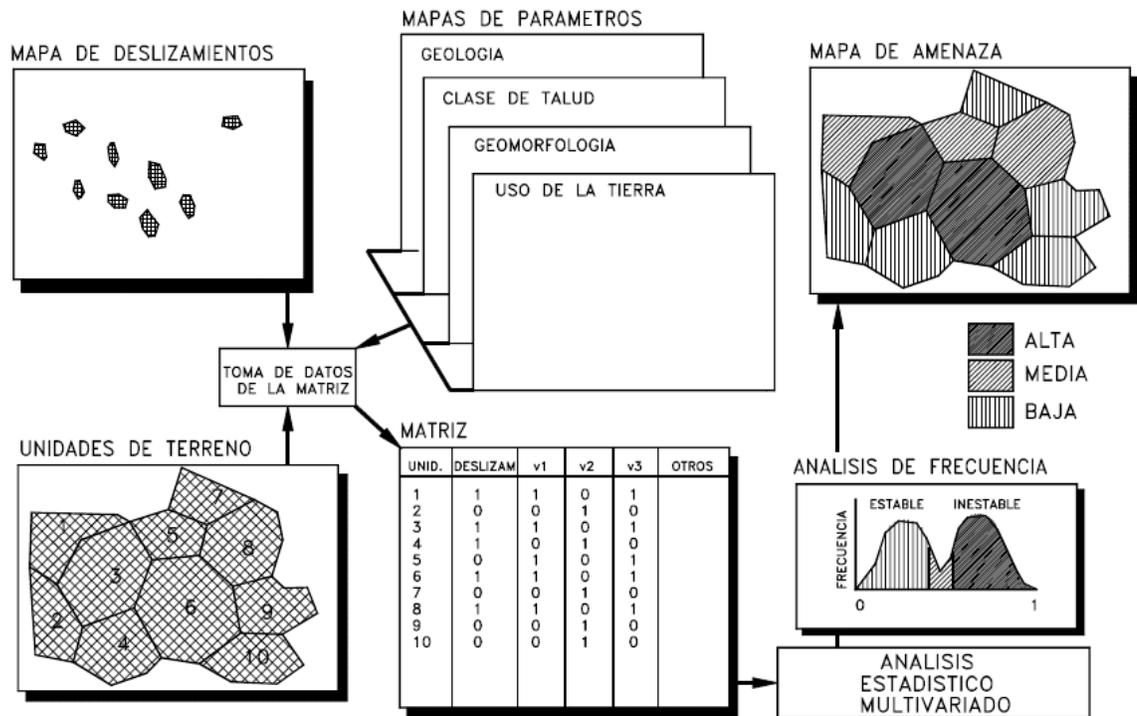
1. Determinación de la lista de factores que se van a incluir en el análisis. Los parámetros deben convertirse a mapas numéricos.
2. Combinación del mapa de unidades de área con el mapa de movimientos y separar los grupos de unidades estables e inestables.
3. Exportación de la matriz a un paquete de estadística para un análisis adicional.
4. Importación de los resultados al SIG y recodificación de las unidades de área.
5. Clasificación del mapa en clases de amenaza.”³²

La complejidad del análisis multivariable está precisamente determinada por el conjunto de datos, por ejemplo, un conjunto de 50 variables hace difícil el estudio.

³¹ COLOMBIANO, Servicio Geológico. Op. Cit., p. 21

³² SUÁREZ, Op. Cit., p 382

Figura 5 Uso de SIG para análisis estadístico multivariado, para elaborar mapas de amenaza a deslizamientos



Fuente: Turner y McGuffey, (1996), citado por Suárez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Publicaciones UIS, p 382

5.2.4.4 Método determinístico

Estos métodos son precisos, y disponen de análisis geomecánicos y de estabilidad de taludes (espesores de capas, resistencia de suelo, profundidades de las superficies potenciales de falla, pendientes de talud y presiones de poros) para hallar un factor de seguridad en una zona determinada; permiten hallar el alcance y frecuencia de los desastres. El análisis se desarrolla bajo condiciones estáticas, pseudoestáticas y dinámicas dependiendo de la utilización o no, de modelos de fuerzas externas que condicionen los fenómenos. Los mapas

necesarios para realizar el análisis determinístico son el de pendientes, de distribución, profundidad y características de los suelos y, de nivel freático.

El uso de SIG citado por Jaime Suarez para este método es:

“1. El uso de un modelo de talud infinito que calcule el factor de seguridad para cada pixel.

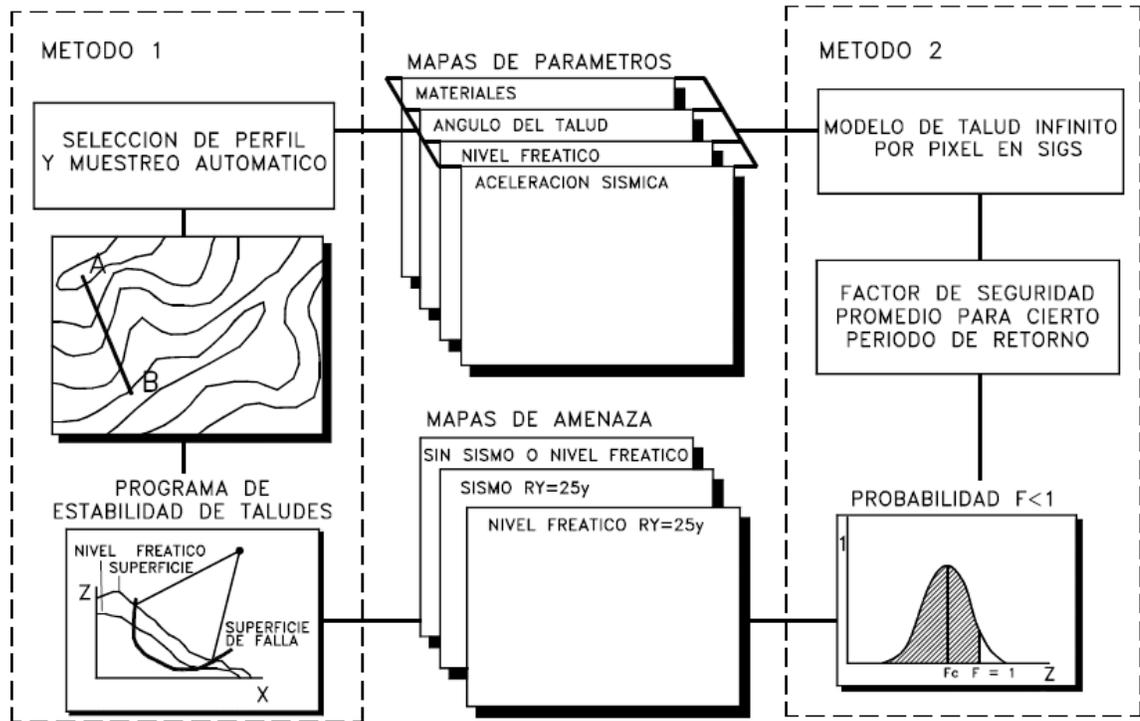
2. Seleccionar el número de perfiles que se exportan a un modelo externo de estabilidad de taludes (Stable o Slope/w).

3. Muestreo de datos en unos puntos de grilla predefinidos y exportación de los datos a un modelo tridimensional de estabilidad de taludes”³³

Este método es el más adecuado para evaluar la inestabilidad de laderas en zonas pequeñas de estudio; algunas técnicas usadas dentro de este método son el análisis de talud infinito y modelos complejos tridimensionales, y requieren, casi siempre, simulaciones de la dinámica del agua subterránea.

³³ SUÁREZ, Op. Cit., p. 383

Figura 6 Uso de SIG para análisis determinístico para obtener mapas de factor de seguridad a deslizamientos



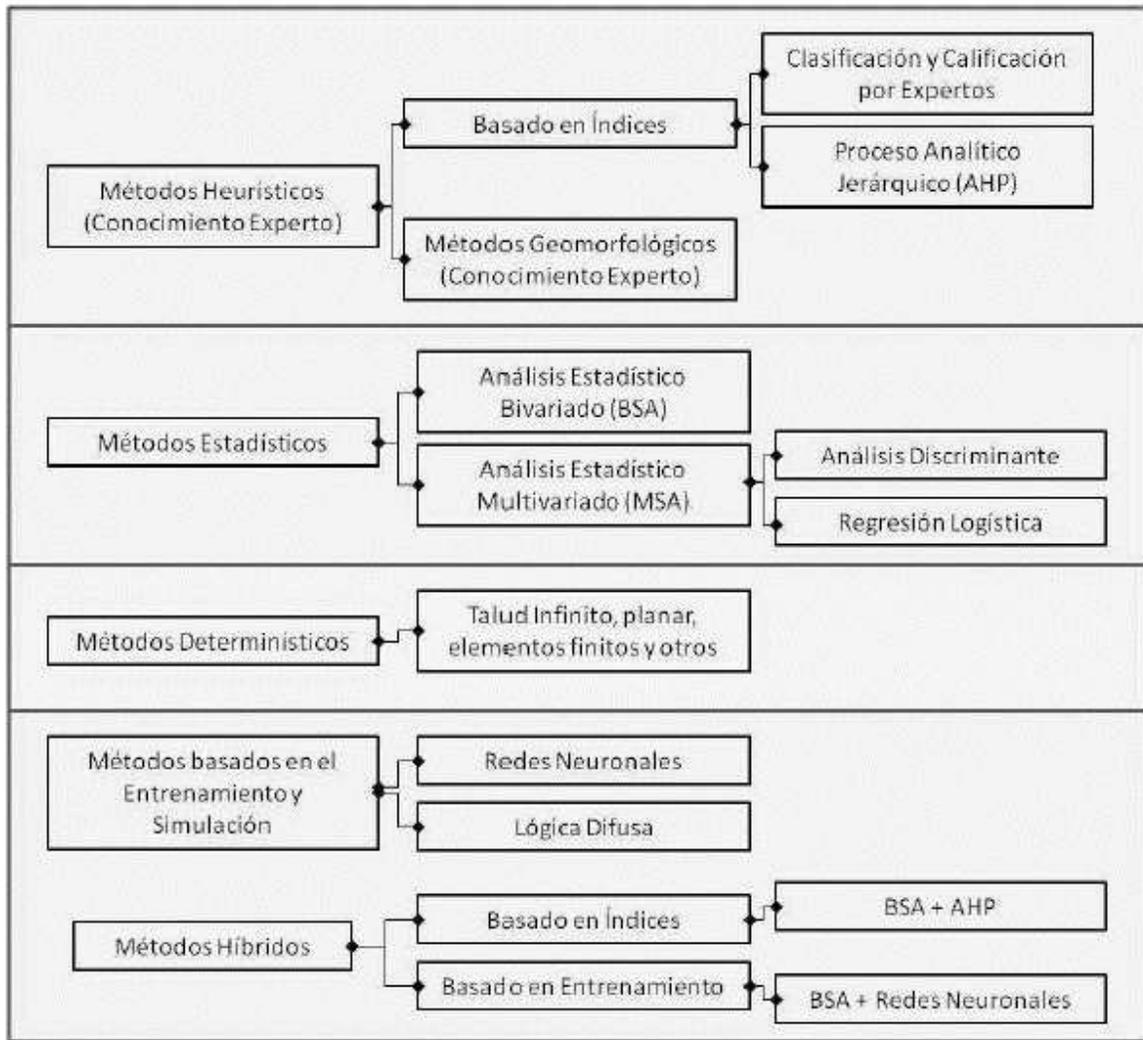
Fuente: Turner y McGuffey, (1996), citado por Suárez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Publicaciones UIS, p 383

5.2.4.5 Método estocástico

“Los métodos estocásticos están basados en variables tomadas como datos al azar, los cuales se relacionan entre ellas con funciones probabilísticas. Algunos de estos sistemas son: Lógica Difusa (LD), Algoritmos difusos (AD), Redes Neuronales Artificiales (RNA), Algoritmos genéticos (AG), Programación Geotécnica (PG), Colonia de Hormigas y Algoritmos Evolucionados.”³⁴

³⁴ COLOMBIANO, S. G., Op. Cit., p. 22

Figura 7 Metodologías comúnmente usadas en la zonificación de amenazas



Fuente: COLOMBIANO, S. G. (2013). Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá, p. 23

5.3 MARCO LEGAL

La realización de este trabajo se lleva a cabo atendiendo a lo establecido en el Decreto 1807 del 19 de septiembre de 2004, “Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones”. Lo que se espera lograr con este decreto es la determinación y delimitación de las zonas del país más susceptibles a ser afectadas por desastres naturales, en especial aquellas en que se encuentran poblaciones. Este estudio se hace con el fin de “considerar el riesgo de desastres como un condicionante para el uso y ocupación del terreno”³⁵ y tomar medidas de prevención y mitigación de daños en aquellos lugares en que los asentamientos humanos se encuentran expuestos a amenazas naturales.

En este decreto se establece en el artículo 3 que "...para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes, se deben elaborar estudios en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural para los fenómenos de inundación, **avenidas torrenciales** y movimientos en masa, que contienen: a) La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza...".³⁶ La ley colombiana obliga a hacer estudios de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales dentro de la incorporación de la gestión del riesgo de desastres en todos los planes de ordenamiento territorial del país, no solo por reglamentación, sino por el bienestar y desarrollo de todas las comunidades, por lo que se necesita elaborar una metodología estandarizada que facilite este estudio y se obtengan resultados ajustados a la realidad.

³⁵ COLOMBIA, Congreso de la República de. 2012. Diario Oficial No. 48.411 de 24 de abril de 2012. Ley 1523 de 2012. 24 de abril de 2012. Art. 39

³⁶ MINISTERIO DE VIVIENDA, Ciudad y Territorio. 2014. Decreto Número 1807 del 19 de septiembre de 2014. Bogotá: s.n., 2014. Art. 3

6. METODOLOGÍA

6.1 CONSTRUCCIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

Para la construcción de estado del arte, se adoptó la “guía para construir estados del arte” propuesta por Londoño, Maldonado y Calderón ³⁷ donde proponen una práctica investigativa basada en dos fases o metodologías: la heurística y la hermenéutica, cada fase es definida como:

6.1.1 Heurística

La palabra heurística deriva del griego *heuriskei*, que significa hallar, inventar o descubrir. Este término aplicado a la investigación hace referencia a encontrar la información que se necesita para aproximarse al objeto de estudio, mediante la recopilación de documentos, siguiendo una estrategia que permite una correcta búsqueda y ordenación de las fuentes informativas.

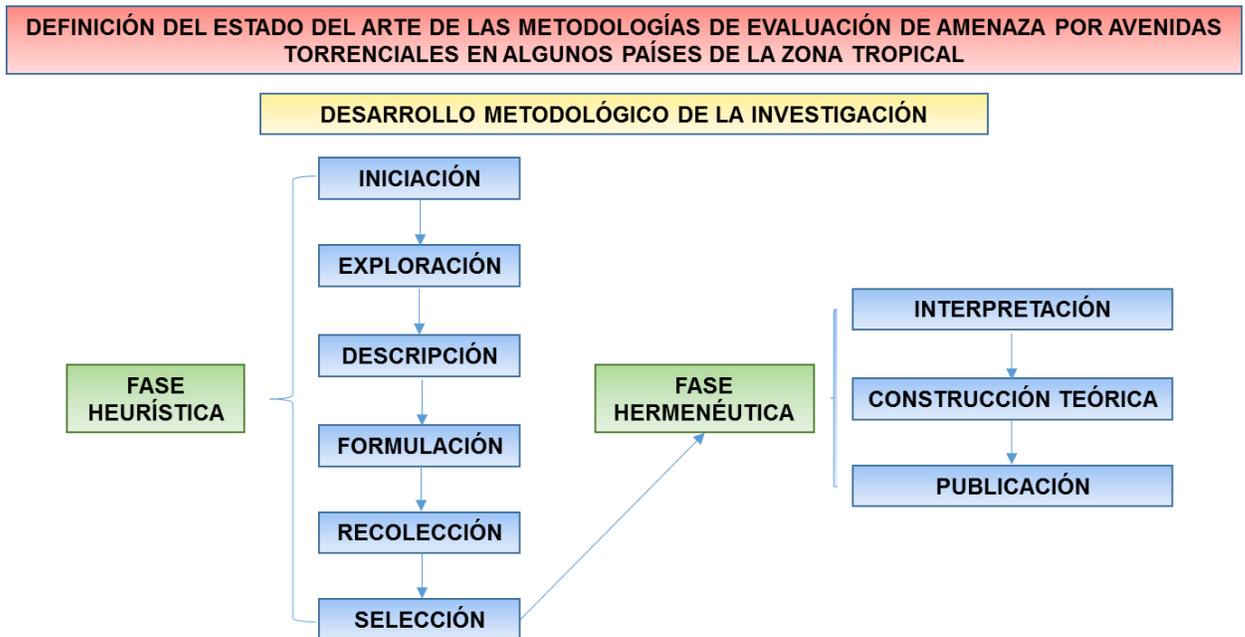
6.1.2 Hermenéutica

Por su parte, la hermenéutica deriva del griego *hermeneutiké tejne*, que significa explicar, traducir o interpretar textos. Este momento de la construcción del estado del arte comprende la lectura, análisis, interpretación y comprensión de la documentación recopilada en la fase heurística, dentro del marco de la investigación.

³⁷ LONDOÑO, Olga L., Maldonado, Luis F. y Calderón, Licy C. 2014. Guía para construir estados del arte. Bogotá: Archivo PDF, 2014

6.2 DIAGRAMA METODOLÓGICO

Figura 8 Diagrama de la metodología de la investigación



Fuente: Autor

6.3 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Como se mencionó anteriormente, para la definición del estado del arte de las metodologías de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales se tuvo en cuenta dos fases investigativas; a continuación, se presentan el desarrollo de cada fase:

6.3.1 Fase Heurística

Esta fase está comprendida por seis subfases: Iniciación, exploración, descripción, formulación, recolección y selección.

6.3.1.1 Iniciación

Se identifica y selecciona el tema a ser investigado; en ello, se definen las áreas temáticas que envuelven el objeto de estudio y su contextualización.

En Colombia, las avenidas torrenciales han afectado gran parte de la población, pero el estudio de su amenaza ha sido escaso. La urgencia se centra en la elaboración de una metodología estandarizada y sistematizada que permita la evaluación del grado de amenaza por la ocurrencia de estos desastres, zonificar las regiones amenazadas y apoyar la toma de decisiones en cuanto a la ocupación del territorio. Para la construcción de dicha metodología es importante tener una base teórica que nazca de las ideas que algunos autores han planteado para la evaluación, prevención y mitigación de los daños que estos flujos producen. Por ende, la práctica investigativa comprendió la “definición del estado del arte de las metodologías de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales”. En torno a este tema, se tiene en cuenta la amenaza asociada a las avenidas torrenciales, y ello enmarca las diferentes definiciones con que estos desastres se conocen, algunos casos históricos importantes, la comprensión de los factores condicionantes (geología y geotecnia, geomorfología y relieve, cobertura vegetal, comportamiento hidrogeológico, actividad antrópica) y desencadenantes (precipitaciones, sismos y actividad volcánica) de los flujos, sus generalidades aplicadas a los estudios que se realizan para la evaluación de la amenaza, y las propuestas de prevención y mitigación que se plantean como resultado de dichos estudios.

6.3.1.2 Exploración

Análisis y comprensión del problema, para fijar el tipo de información que se necesita.

Atendiendo a las características físicas y geográficas del territorio colombiano, se estableció que los factores que influyen en la generación de avenidas torrenciales son similares a los que se presentan en algunos países de la zona Intertropical. La práctica investigativa se limitó entonces a la “definición del estado del arte de las metodologías de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales en algunos países de la zona Intertropical”. Además de esto, se tomaron en cuenta los documentos que hagan referencia sólo a avenidas torrenciales (y terminología referente), sus generalidades aplicadas a los estudios que se realizan para la evaluación de la amenaza y su evaluación metodológica y prevención y mitigación de daños ocasionados por flujos.

6.3.1.3 Descripción

Establecimiento de límites de búsqueda. Se determinan los filtros que se usarán para seleccionar la información y separarla de la que no se necesitará. Como filtros de la información se determinaron:

- Referentes disciplinares y teóricos: Documentos que traten de amenaza relacionada a avenidas torrenciales, flujos de detritos (*debris flow*) especialmente los canalizados, flujos hiperconcentrados granulares, flujos de derrubios, coladas de barro, huaicos, llocllas o llapanas (como son conocidos estos flujos en Perú), riadas (nombre dado a estos flujos en Bolivia) o corridas de masa (nombre dado en Brasil). También se hacen partícipes de este trabajo documentos relacionados con sus generalidades aplicadas a los estudios que se realizan para la evaluación de la amenaza, y prevención y mitigación de daños por riesgos geológicos.
- Delimitaciones espaciales, temporales y contextuales: La información que sustenta la definición del estado del arte plasmada en este trabajo, está

restringida a algunos países de la zona Intertropical, aquellos que faciliten información sobre fenómenos ocurridos o metodologías de evaluación de amenaza aplicadas en sus territorios; en consideración del autor de este trabajo se usó información encontrada en otros países como apoyo a la investigación. El año base de esta investigación es 1998, teniendo en cuenta que a partir de esta fecha en Colombia se llevaron a cabo trabajos importantes en cuanto a la evaluación de amenazas por avenidas torrenciales. Los idiomas que limitan la búsqueda de información serán inglés, español y portugués, debido a que gran parte de los estudios realizados al respecto están en inglés, y que en los países más cercanos a Colombia las lenguas oficiales son el español y el portugués. Para la traducción de los documentos se usan herramientas tecnológicas disponibles.

6.3.1.4 Formulación

Creación de indicadores que favorecerán la clasificación y categorización de la información.

Indicadores de idioma:

- Portugués
- Inglés
- Español

Indicadores de región:

- El país de estudio pertenece a la zona Intertropical
- El país de estudio no pertenece a la zona Intertropical

Indicadores de tipo de documento:

- Acta de conferencia
- Artículo de revista

- Guía metodológica
- Informe
- Ley
- Proyecto de grado (Pregrado y posgrado)
- Libro
- Sección de libro

Indicadores de tipo de información:

- Ley (Decreto 1807 del 19 de septiembre de 2014)
- Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados.
- Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
- Casos históricos.
- Evaluación, prevención y mitigación de riesgos geológicos.

6.3.1.5 Recolección

Recopilación de la información. La información obtenida se registra mediante fichas bibliográficas.

Las fuentes de información que apoyaron la investigación fueron:

- Bases de datos: GeoScienceWorld, Access Engineering, EBSCOhost, Scielo, Google Académico, TDR Tesis Doctorales en Red, SICAT (Sistema de información para el inventario, catalogación, valoración y administración de la información técnico-científica), CRCnetBASE, Scientific Research, Scencedirect.

- Bibliotecas: Biblioteca Central Jorge Palacios Preciado (UPTC, Tunja), Biblioteca Municipal (Sogamoso), Biblioteca Facultad Seccional Sogamoso (UPTC, Sogamoso), Google Libros (Librería virtual), Biblioteca Virtual del Banco de la República, Biblioteca Virtual de Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Biblioteca Virtual de Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

- Revistas de ciencia e ingeniería: Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, Revista Facultad de Ingeniería, Revista Gestión y Ambiente, *Natural Hazard*, Revista Natural Hazard and Earth System Sciences, Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM, *Arabian Journal of Geosciences*, *Engineering*, *Environmental & Engineering Geology (E&EG) Journal*, *Environmental Earth Sciences*, *International Journal of Applied Science and Engineering*, *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, Obras y Proyectos, Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográfica (Perú), Investigaciones sociales (Perú), *Progress in Physical Geography*, *Geomorphology*, *Procedia Earth and Planetary Science*, *Journal of Mountain Science*, *Journal of Geophysical Research*, *Environmental Earth Sciences*, Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, Boletín Geológico y Minero (España), Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (España), Revista Electrónica de Geografía Austral.

La compilación de las fuentes bibliográficas se encuentra en el Anexo 1 donde está organizada mediante el uso de fichas bibliográficas, ordenadas por código, registrando título del documento, nombre(s) de autor(es), tipo de documento, volumen, número y paginación (si presenta), año, ubicación del documento, país de estudio, idioma, palabras claves del documento, palabras claves de búsqueda, indicador de tipo de información, una breve descripción y observaciones.

6.3.1.6 Selección

Ordenación de la documentación para dar por finalizada la búsqueda.

Para la selección de los documentos, se tuvieron en cuenta los indicadores propuestos en la subfase de formulación. Para el cumplimiento de los objetivos de este trabajo se contó con 103 documentos; para facilitar la organización y búsqueda de la información, los documentos se dispusieron por países y por idiomas, haciendo énfasis en aquellos que pertenecen a la zona Intertropical.

6.3.2 Fase Hermenéutica

Esta fase comprende tres subfases: Interpretación, construcción teórica y publicación

6.3.2.1 Interpretación

Análisis y contraste de los documentos.

Ya cerrada la búsqueda y organizada la información, se continúa con la lectura de los documentos. El orden de la lectura se lleva a cabo atendiendo a los indicadores propuestos en la subfase de formulación, con el fin de dar una ruta y un enfoque a la investigación; se comparan las metodologías de evaluación de amenaza de avenidas torrenciales que se han aplicado en los diferentes países y se determinan las conclusiones y aportes a la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales aplicable territorio colombiano.

6.3.2.2 Construcción teórica

Realización del documento que contiene el estado del arte.

Dentro de este trabajo, está el contenido que describe el estado actual de las metodologías evaluación de amenaza por avenidas torrenciales en la zona Intertropical, mostrando hasta la fecha los avances obtenidos en esta área y la producción de los resultados. En adición a la investigación, se contó con documentos de países que no pertenecen a la zona Intertropical, con el fin de hacer más completo el apoyo para construir una metodología estandarizada y sistematizada aplicable a Colombia, por lo que se incluirá también qué partes de la investigación pueden ser usadas en este país atendiendo a sus características físicas, geográficas y legales.

6.3.2.3 Publicación

Difusión de la investigación.

Terminada la investigación, sólo resta dar a conocer los resultados, mediante el documento físico completo con los anexos incluidos y la sustentación de los resultados obtenidos.

7. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo, en primer lugar, se desarrolla un análisis estadístico de los documentos recopilados, para dar más detalles sobre la información obtenida, en base a los indicadores generados durante la subfase de formulación (ver Formulación, página 42). Este análisis de la documentación, como parte de la selección y organización del material, permite identificar los países que facilitan información acerca de metodologías de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales y flujos relacionados, en qué medida, en qué idioma y qué tipo de información se trata (artículo, proyecto de grado, libro, entre otros), mediante su representación en diagramas circulares.

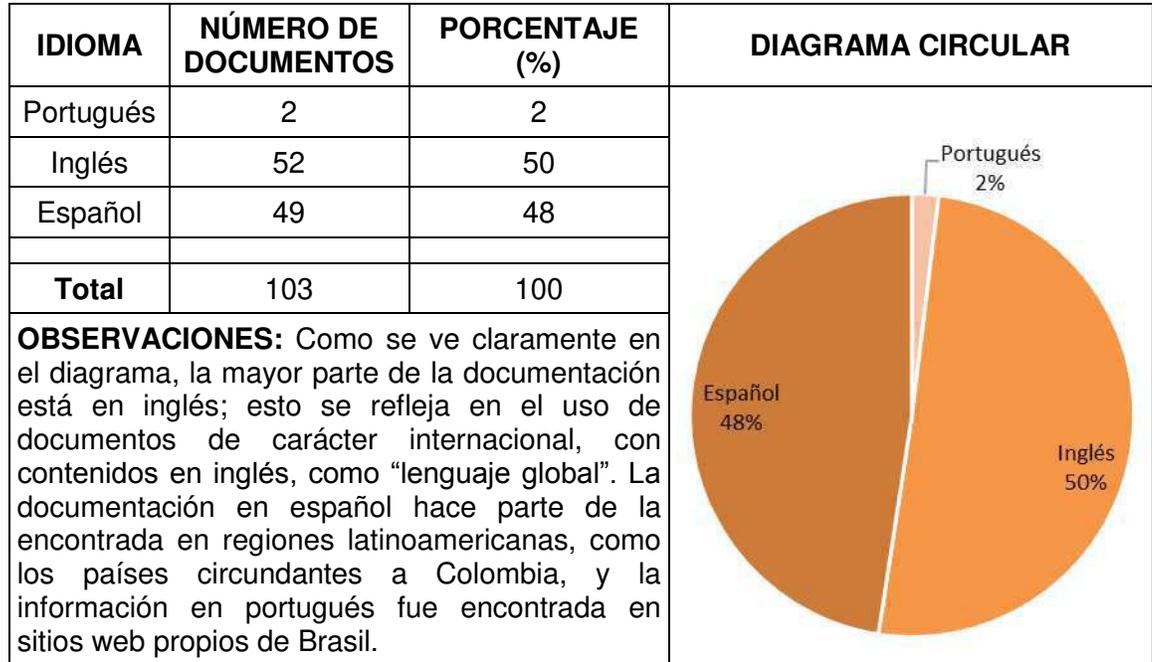
En segundo lugar, se presenta el apartado que contiene el estado actual de las metodologías de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales en algunos países de la zona intertropical. El estado del arte contiene las problemáticas que surgen de la conceptualización contemporánea de las avenidas torrenciales y se presenta el análisis del desarrollo y la aplicación de dichas metodologías en cada país, de acuerdo con sus apariciones en orden cronológico, y clasificadas por franjas intertropicales de cada continente.

7.1 ESTADÍSTICA DE LA DOCUMENTACIÓN

Para el tratamiento estadístico de la información, se tiene en cuenta que este trabajo contó con un total de 103 documentos que corresponden al 100% de la documentación recopilada para su desarrollo.

- Distribución de la documentación por idioma:

Tabla 4 Distribución de la documentación por idioma

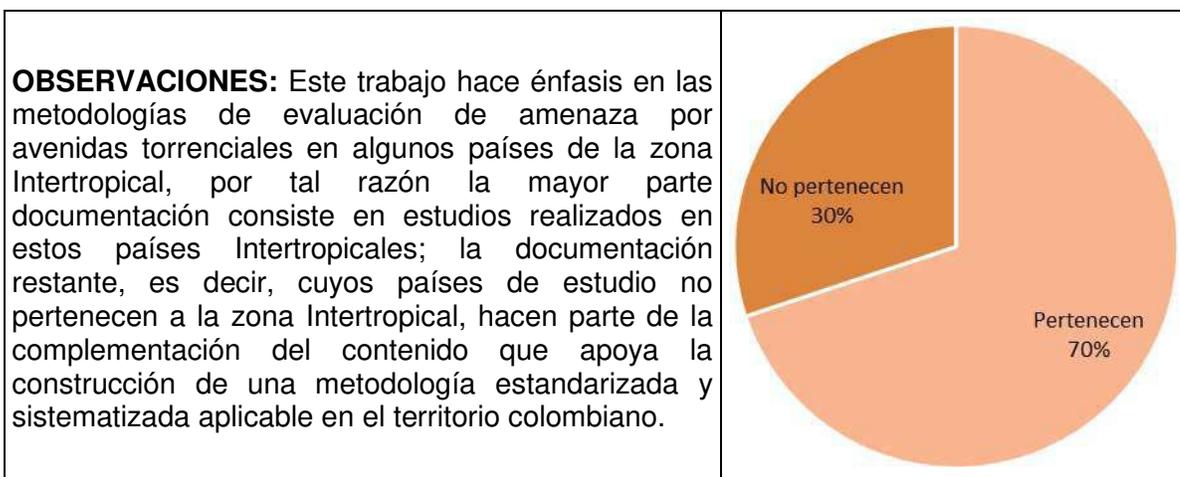


Fuente: Autor

- Distribución de la documentación por región

Tabla 5 Distribución de la documentación por región

ZONA INTERTROPICAL	NÚMERO DE DOCUMENTOS	PORCENTAJE (%)	DIAGRAMA CIRCULAR
Pertenecen	72	70	
No pertenecen	31	30	
Total	103	100	

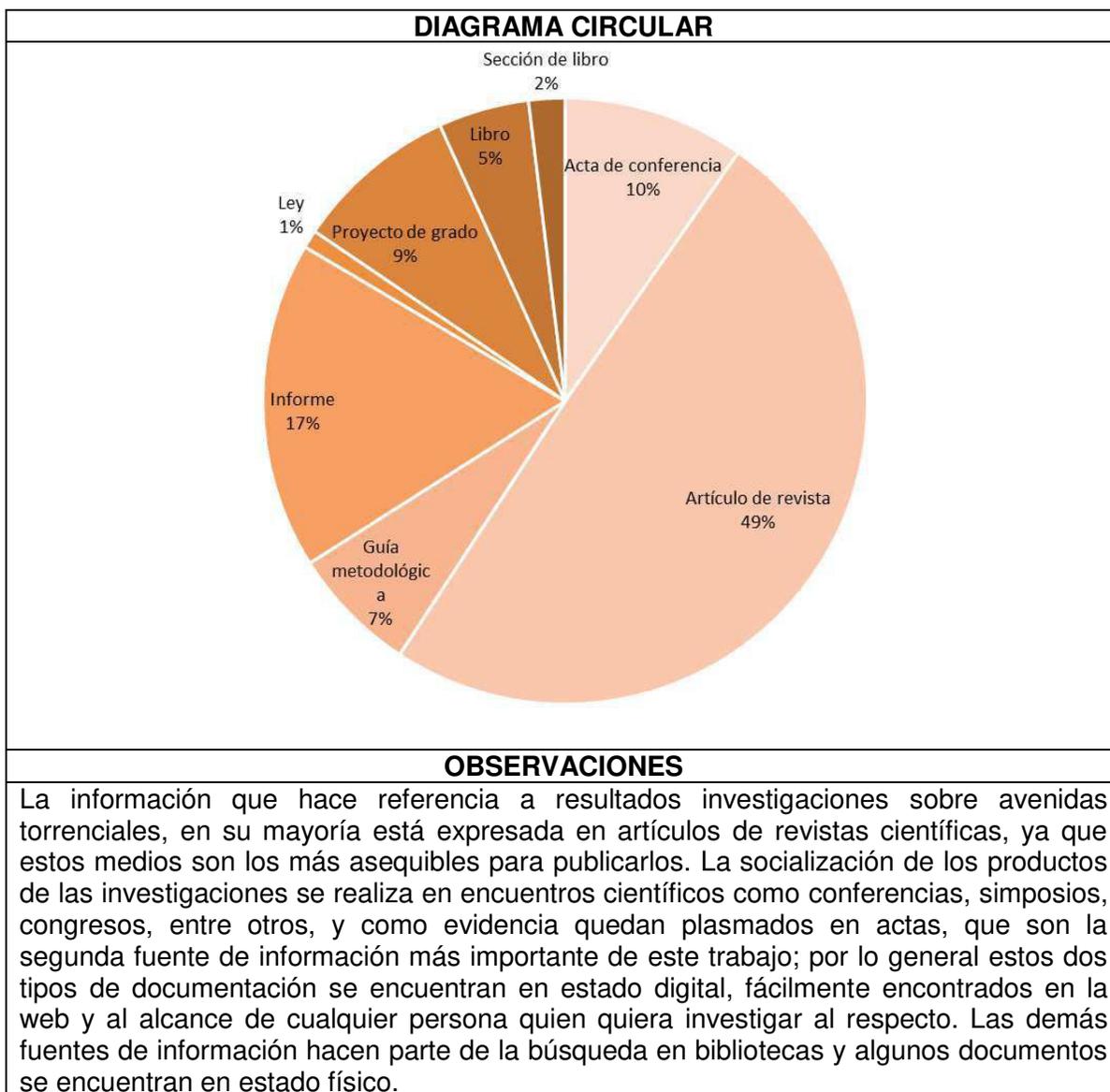


Fuente: Autor

- Distribución de la documentación por tipo de documento

Tabla 6 Distribución de la documentación por tipo de documento

TIPO DE DOCUMENTO	NÚMERO DE DOCUMENTOS	PORCENTAJE (%)
Acta de conferencia	10	10
Artículo de revista	51	49
Guía metodológica	7	7
Informe	18	17
Ley	1	1
Proyecto de grado	9	9
Libro	5	5
Sección de libro	2	2
Total	103	100



Fuente: Autor

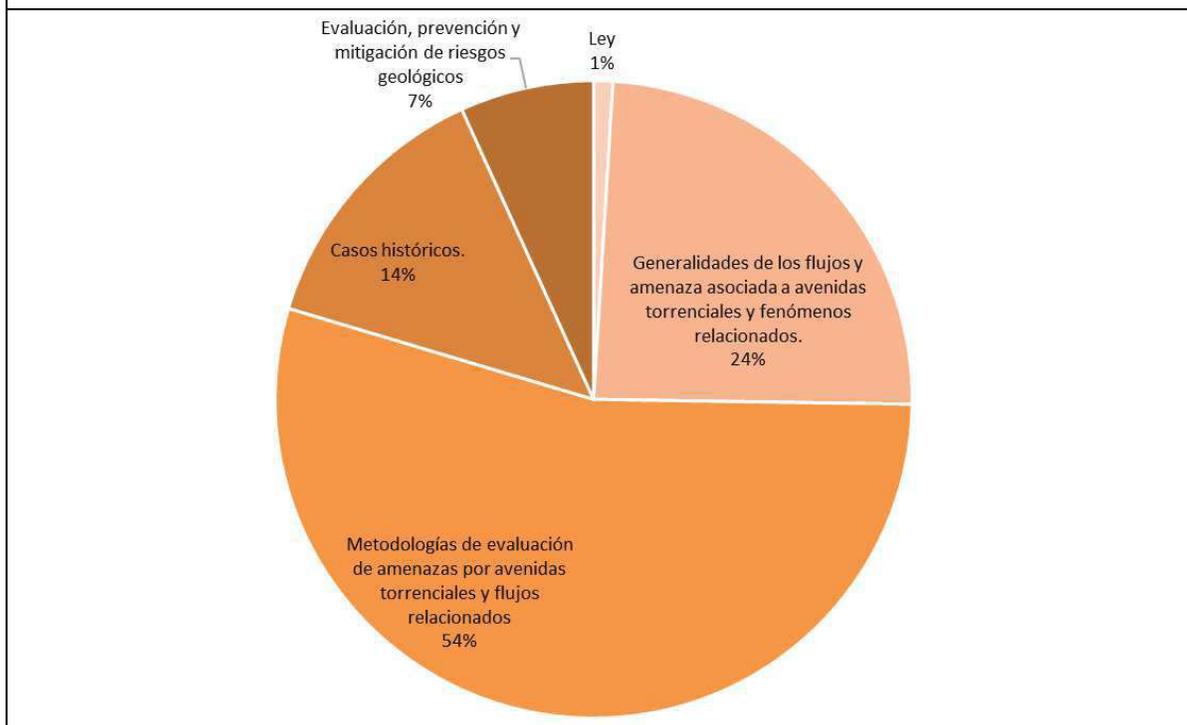
- Distribución de la documentación por tipo de información

Tabla 7 Distribución de la documentación por tipo de información

TIPO DE INFORMACIÓN	No. DE DOCUMENTOS	PORCENTAJE (%)
Ley	1	1

Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados	25	24
Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y flujos relacionados	56	54
Casos históricos.	14	14
Evaluación, prevención y mitigación de riesgos geológicos	7	7
Total	103	100

DIAGRAMA CIRCULAR



OBSERVACIONES

Es de esperar que la mayor parte de la información sea referente a las metodologías de evaluación de amenaza por flujo, ya que es el tema central de este trabajo; es necesario también, antes de comenzar a hablar de metodologías de evaluación, conocer la génesis, el comportamiento y las características de las avenidas torrenciales en el contexto de la evaluación de la amenaza, y ver esta información reflejada en casos histórico importantes y de los cuales han surgido estudios empíricos de susceptibilidad. Parte del trabajo se encuentra dentro del marco legal colombiano, por lo que es importante saber qué trata la ley colombiana respecto a la evaluación de amenaza por avenidas torrenciales, por lo que se involucra el Decreto 1807 del 19 de septiembre de 2014. Como parte del control y el monitoreo estos flujos, se tienen en cuenta documentos relacionados a la prevención y mitigación de riesgos geológicos

Fuente: Autor

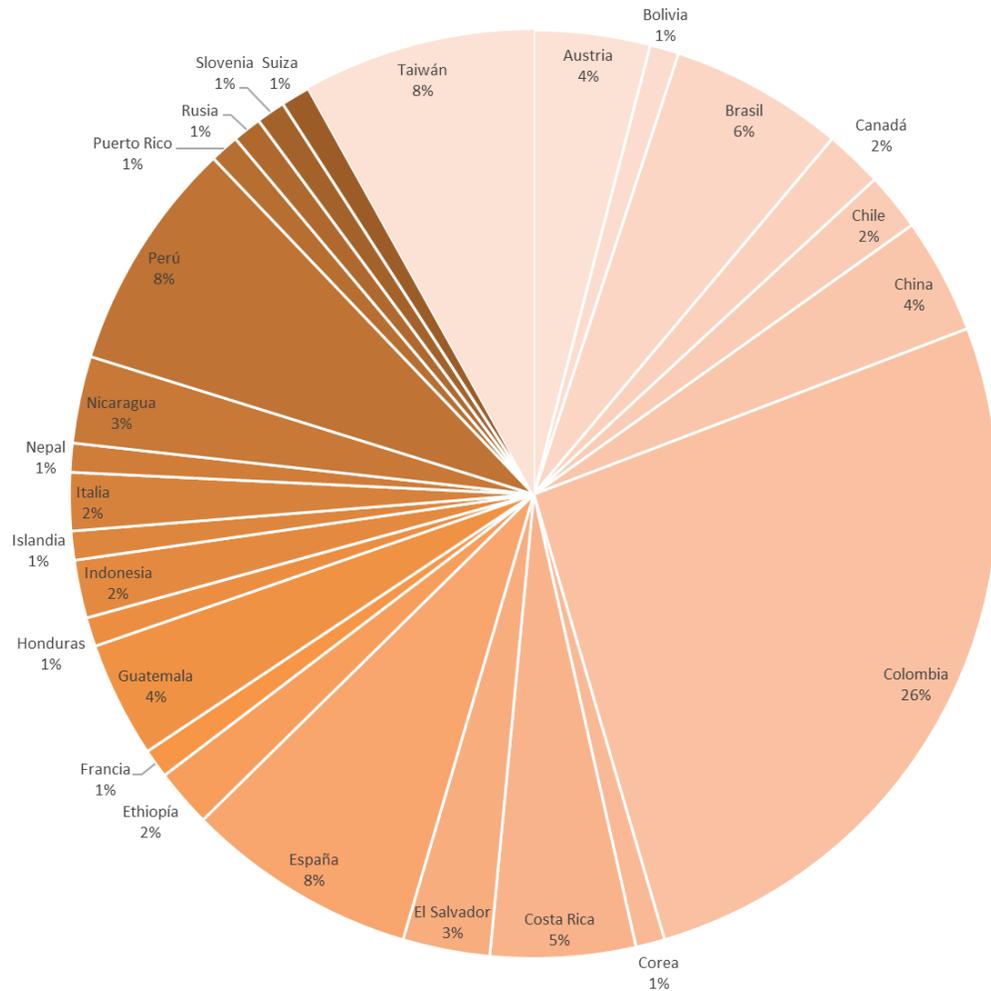
Ya diferente a los indicadores, se presenta una estadística relacionada con la disponibilidad de la información de los países que fueron objeto de estudio.

- Disponibilidad de información de los países que fueron objeto de estudio

Tabla 8 Disponibilidad de información de los países que fueron objeto de estudio

PAÍS	No. DE DOC.	PORCENTAJE (%)	PAÍS	No. DE DOC.	PORCENTAJE (%)
Arabia	3	3	Francia	1	1
Australia	1	1	Guatemala	4	4
Austria	4	4	Honduras	1	1
Bolivia	1	1	Indonesia	2	2
Brasil	6	6	Islandia	1	1
Canadá	2	2	Italia	2	2
Chile	2	2	Nepal	1	1
China	4	4	Nicaragua	3	3
Colombia	26	25	Perú	8	8
Corea	1	1	Puerto Rico	1	1
Costa Rica	5	5	Rusia	1	1
El Salvador	3	3	Eslovenia	1	1
España	8	8	Suiza	1	1
Etiopía	2	2	Taiwán	8	8
			TOTAL	103	100

DIAGRAMA CIRCULAR



OBSERVACIONES

Colombia se muestra como el país que ofrece mayor disponibilidad de información debido a que la investigación se realiza desde este país. Por su parte Taiwán, España y Perú, también ofrecen buenos recursos a esta investigación; Perú ha sido un país fuertemente golpeado en las temporadas invernales, mientras que Taiwán han sufrido periodos intensos de huracanes, lo que los hace susceptibles a la ocurrencia de avenidas torrenciales y, por tanto, estudios para prevenirlas y mitigarlas. Brasil continúa en la lista de benefactores de este estudio, por motivos similares a los anteriores. En los demás países también se ha hecho investigación sobre los flujos torrenciales; vale destacar a China, por ejemplo, pioneros en métodos estocásticos de zonificación de amenazas y softwares de modelamiento de flujos, y Arabia, que pese a poseer en su franja Intertropical relieves muy variados, no se ha dejado vencer por los *debris flows* y por su parte ha logrado construir enormes autopistas en zonas de alta amenaza.

Fuente: Autor

7.2 ESTADO ACTUAL DE LAS METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN ALGUNOS PAÍSES DE LA ZONA INTERTROPICAL

A continuación, se describe el estado actual de las metodologías de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales en algunos países de la zona Intertropical; para entrar en detalle, es importante abordar la concepción contemporánea de estos fenómenos, describir el estado de desarrollo último de las metodologías de evaluación de amenaza por estos flujos, mencionar hechos recientes en diferentes partes de la zona Intertropical y cómo se han monitoreado y controlado.

7.2.1 Conceptualización contemporánea de las avenidas torrenciales y problemas asociados

La evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales es hoy en día un tema de continua investigación, es decir, aún no está establecido un método de evaluación estandarizado en el que se pueda basar oficialmente una entidad encargada de la gestión del riesgo; en primer lugar, los diferentes términos que se usan para referirse a estos fenómenos torrenciales, hacen más compleja la conceptualización (especialmente matemática) de este tipo de flujos; desde otra perspectiva, las avenidas torrenciales son un compendio de diferentes flujos y avalanchas, es decir, que fenómenos como los flujos de detritos (debris flow) especialmente los canalizados, flujos hiperconcentrados granulares, flujos de derrubios, coladas de barro, huaicos, llocllas o llapanas, riadas y las corridas de masa, todos hacen parte del “conjunto” de las avenidas torrenciales.

El principal inconveniente actual que se enfrenta al tratar sobre las avenidas torrenciales, es la variabilidad en su definición; diferentes ciencias, en relación con el conocimiento que dominan, han atribuido conceptos disímiles sobre estos flujos y, en otros casos, el vocabulario coloquial o nativo es usado para referirse a estos

fenómenos o, más aún, se usan expresiones imprecisas o términos con el mismo inconveniente, para citar estos torrentes; el principal problema que generan estas variaciones en los conceptos y que afecta directamente la evaluación de su amenaza es el comportamiento diferente de cada tipo de fluido. Mientras en Colombia se hace uso del término “avenida torrencial”, en Perú y en Bolivia se usa “huaicos o riadas” respectivamente. Otros estudios por su parte prefieren referirse a un tipo de flujo en especial, por ejemplo “*debris flow*”, avalanchas o lahares.

Desde este punto de vista, la complejidad matemática que encierra el comportamiento de las avenidas torrenciales, hace referencia a los diferentes modelos de fluidos; Jaime Suárez Díaz³⁸ plantea tres tipos de modelos de fluidos asociados a avalanchas de tierra: modelo Newtoniano, modelo Bingham y modelo de fluido dilatante, así por ejemplo, un flujo de lodos se comporta como un fluido tipo Bingham, un flujo de detritos o “*debris flow*” como un fluido dilatante y un flujo hiperconcentrado como un fluido Newtoniano. El modelamiento matemático de los flujos es importante si se quiere llegar a predecir su comportamiento, rapidez y posible extensión, o si lo que se pretende es crear un software que genere simulaciones.

Sin embargo algunos autores han decidido generalizar el concepto de avenidas torrenciales; Guillermina Garzón, José Becerril y Júlio Garrote, las definen como “corrientes efímeras pero súbitas, que alcanzan rápidamente su caudal punta e incorporan abundante carga sólida que depositan también de forma brusca al desvanecerse la crecida”³⁹; el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, define las avenidas torrenciales como “crecientes súbitas que por las condiciones geomorfológicas de la cuenca están compuestas por un flujo de agua con alto contenido de materiales de arrastre, con un gran potencial destructivo

³⁸ SUÁREZ, Op. Cit., p. 170

³⁹ GARZÓN, G., Ortega, J., & Garrote, J. (2009). Las avenidas torrenciales en cauces efímeros: ramblas y abanicos aluviales. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 17(3), p.1

debido a su alta velocidad⁴⁰; por su parte, Jaime Suárez Díaz adopta el término de avalanchas de tierra para referirse a las avenidas torrenciales, y las define como “flujos de materiales de suelo o residuos de roca generalmente entremezclados con agua, extremadamente rápidos, en los cuales la dinámica del movimiento controla su comportamiento”⁴¹; otros autores como Eduardo Castro Marín prefieren ser más específicos, y abordan estos fenómenos como “una creciente de un cauce natural con volúmenes excepcionales de materiales provenientes de laderas empinadas contiguas, confinadas o no, que se producen por causas hidrometeorológicas, gravitacionales sísmicas o volcánicas. En general el contenido de sólidos de una avenida torrencial puede alcanzar el 70-90% en peso (47-77% en volumen) de la masa en movimiento, y densidades del orden de 1,8 a 2,3 g/cm³”⁴²

7.2.2 Desarrollo actual de las metodologías de evaluación de la amenaza asociada a avenidas torrenciales

La zonificación del riesgo por avenidas torrenciales o flujos de torrente se ha convertido en una tarea de investigación continua, y se han llevado a cabo estudios, generalmente empíricos, que han dado fruto a técnicas innovadoras de evaluación de amenaza, dentro del cálculo del riesgo.

Alrededor de la zona intertropical se han tenido en cuenta varios métodos para zonificar la amenaza por flujos de torrente. Métodos estocásticos se han desarrollado en China y Taiwán, análisis heurísticos en Colombia y Perú, modelos estadísticos bivariados en Puerto Rico, estocásticos en Etiopía y análisis determinísticos en Arabia. El principal aspecto que determina el método de

⁴⁰ SOSTENIBLE, Ministerio de Ambiente y Desarrollo, Op. Cit., p.25

⁴¹ SUÁREZ, Op. Cit., p. 168

⁴² BAKER, V. et al., (1988). Flood Geomorphology, citado por CASTRO, Eduardo. (s.f.). Amenaza asociada a las Avenidas Torrenciales. Bogotá: INGEOMINAS, p. 2

evaluación a usar, son los recursos que están disponibles para la gestión del riesgo; por ejemplo, en países tercermundistas como Etiopía, que cuentan con recursos limitados, los tipos de análisis de evaluación que se implementan, son aquellos de bajo costo, como aquellos que no se basan en datos de laboratorio o pruebas de campo, sino en la experiencia en la prevención y mitigación de desastres que ofrecen los profesionales en la investigación de los riesgos geológicos, en trabajos de campo y fotointerpretación; cabe destacar que en ocasiones, profesionales de otros países, a veces en la realización de proyectos de grado, aplican métodos más complejos y financiados fuera del país de estudio.

La investigación de la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales continúa a pasos agigantados en países desarrollados, pero caso contrario ocurre en países subdesarrollados, que, debido a los limitados recursos, la investigación no es la mejor. Se presenta a continuación, el análisis del desarrollo y la aplicación de dichas metodologías en cada país, de acuerdo con sus apariciones en orden cronológico, y clasificadas por franjas intertropicales de cada continente.

7.2.2.1 América Intertropical

- Desastres relevantes

América Central y parte de Suramérica, han sido golpeados fuertemente por periodos invernales extremos y los fuertes huracanes han azotado gravemente, además de eso, la actividad volcánica es intensa, al igual que la actividad sísmica, debido al complejo tectónico que presenta la región; en Guatemala, por ejemplo, cita Santi et al⁴³ el paso del Huracán Stan en 2005 llevó tras su paso cerca de un millar de personas, sin contar los demás estragos. En otro momento, un *debris flow* de cerca de 360.000 m³ cubrió la pequeña villa de Panabaj dejando un saldo de 82 fallecidos y cerca de 600 personas desaparecidas. En Centroamérica han

⁴³ GEOTIMES (2005) Landslides bury Guatemala. Citado por SANTI (2011). Debris-flow impact, vulnerability, and response. *Natural Hazards*, 56(1), p.380.

ocurrido importantes *debris flow* dominados por actividad volcánica, especialmente en la zona circumpacífica. De manera similar, Nicaragua, El Salvador, México y Costa Rica sufren las mismas calamidades. El paso del Huracán Mitch que no sólo afectó Centroamérica sino el este de Asia también (en especial Taiwán), fue un acontecimiento climático que no solo dejó a su paso devastación, sino que las secuelas se sienten hoy en día; las fuertes lluvias provocaron deslizamientos y dejaron debilitadas muchas laderas que, en juego con la actividad sísmica y volcánica, los desastres se reactivaron; las precipitaciones intensas, por ejemplo, cita Santi et al⁴⁴, fueron el factor detonante de varios desastres naturales en Nicaragua, pero después, por el desestabilizamiento de una ladera del Volcán Casita, se generó un *debris flow* tan extenso que, en cerca de 3 minutos, sepultó dos poblaciones y cerca de 2513 residencias. En Suramérica, hay registros históricos de fenómenos importantes, como el ocurrido el 13 de noviembre de 1985 en las ciudades de Armero, Chinchiná y Villamaría (Colombia), donde la actividad del Volcán Nevado del Ruiz derritió las nieves perpetuas y dio a luz un evento torrencial de tal magnitud que cobró la vida de cerca de 23.000 vidas humanas. Este monstruoso evento despertó las alarmas en Colombia y dejó al descubierto la impotencia y el riesgo del país a la ocurrencia de avenidas torrenciales. Varios estudios asociados al riesgo nacieron a partir de ese momento, pero tal avance hasta el día de hoy no ha sido suficiente; la avenida torrencial que golpeó Mocoa en la madrugada del 1 de abril del 2017 arrasó con todo a su paso y se llevó la vida de 32 personas y más de 400 heridas, con un número oficial de 800 desaparecidos y más de 22.000 damnificados. Perú, Ecuador, Venezuela y Brasil lamentablemente, no se quedan atrás. David Durand⁴⁵ menciona que en Perú (país que es afectado considerablemente durante el fenómeno de La Niña), tuvo lugar una avenida torrencial (o huaico como allí la

⁴⁴ SANTI et al (2011). Debris-flow impact, vulnerability, and response. *Natural Hazards*, 56(1), p. 384

⁴⁵ DURAND, D. (2012). Flujos torrenciales catastróficos en el Perú Primera etapa. *Investigaciones Sociales*, 16(29), p.34

llaman), el 2 de abril de 2010 en el poblado de Ambo, en el que 25 personas perdieron la vida y 36 se declararon desaparecidas, y uno de los fenómenos más reciente, es el huaico ocurrido el 15 de marzo de 2017, en Chosica (Perú).

Son pocos los desastres mencionados, la realidad es más nostálgica y devastadora, y con cada año, incrementan las cifras de fallecidos, desaparecidos y damnificados. Los frutos de los avances en la zonificación de amenazas por avenidas torrenciales han sido insuficientes, mientras el cambio climático hace de las suyas, y con más intensidad, en cada temporada invernal. Se han realizado zonificaciones experimentales en la América Intertropical, pero el desconocimiento del comportamiento de los flujos es evidente, y no sólo eso, sino la importancia y los recursos que deberían otorgársele a la gestión del riesgo de desastres no han sido los mejores.

- Aplicación de metodologías de evaluación de amenaza por flujos torrenciales

No existen metodologías de evaluación de avenidas torrenciales estándar, es decir, metodologías oficiales, por el contrario, los estudios de amenaza relacionada a flujos torrenciales que se han llevado a cabo en la América Intertropical se han basado en estudios empíricos, siguiendo lineamientos encontrados en documentación extranjera y metodologías aplicadas en otros países. Los métodos heurísticos y estadísticos predominan en el análisis de la amenaza, y esto se debe a la insuficiencia de datos necesarios y limitados recursos con que se cuenta. Aun así, importantes estudios se han logrado llevar a cabo, pero la incertidumbre está en que los procedimientos aplicados en cada trabajo, no se pueden usar en regiones diferentes a las zonas de estudio.

Algo que es de resaltar, es que, dentro de las metodologías de evaluación de amenaza estudiadas, en su mayoría hacen parte de trabajos de grado, que han dado importantes aportes a la gestión del riesgo del país donde se desarrollan.

Cronológicamente se presentan en constancia, el desarrollo de algunas metodologías de evaluación de amenaza por flujos de torrente desarrollados en la franja Intertropical del continente americano.

A finales de los 90, importantes estudios comenzaron a nacer en Colombia y a partir de ellos, comenzó la innovación en las metodologías de evaluación de amenaza en este país. De los estudios de susceptibilidad por avenidas torrenciales desarrollados entre el 98 y el 99, se destacan tres trabajos; el primero, llevado a cabo por el INGEOMINAS (ahora Servicio Geológico Colombiano), es un “Mapa preliminar de susceptibilidad por avenidas torrenciales de las quebradas La Sierra y El Salto en la población de Villa Restrepo, municipio de Ibagué (Tolima)”⁴⁶, evaluando la susceptibilidad en base a datos de tipo sedimentológico y geomorfológico, registros históricos, el tipo de afectación y áreas afectadas. Se trataba de una situación de emergencia, por tal razón las principales limitaciones fueron el tiempo, presupuesto y el material de apoyo, que en esa época (hablando de mapas topográficos a escalas 1:25.000 y 1:10.000, fotografías aéreas, información meteorológica e hidrológica y antecedentes históricos registrados de avenidas torrenciales), no existía. Este inconveniente se presentó en diferentes estudios. El segundo estudio fue la “Zonificación de amenazas por procesos de remoción en masa en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, Valle del Cauca”⁴⁷ siguiendo el método propuesto por Vargas (1995)⁴⁸ que comprende, en forma general, de 5 fases: Adquisición y evaluación de la información existente, tanto técnica como cartográfica, procesamiento de datos y estudio de las variables

⁴⁶ INGEOMINAS. (1998). Mapa preliminar de susceptibilidad por avenidas torrenciales de las quebradas La Sierra y El Salto población de Villa Restrepo, Municipio de Ibagué (Tolima). Ibagué.

⁴⁷ CASTRO, E., Vargas, G., & Moreno, M. (1998). Zonificación de amenazas por procesos de remoción en masa en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, Valle del Cauca. Sociedad Colombiana de Geotecnia.

⁴⁸ VARGAS, G. 1995. Developpment de methodes de cartographie des mouvements de masse et zonage de L'area das les Andes de Colombie, citado por CASTRO, E., Vargas, G., & Moreno, M. (1998). Zonificación de amenazas por procesos de remoción en masa en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, Valle del Cauca. Sociedad Colombiana de Geotecnia.

ambientales, preparación de mapas índice, análisis de las variables en un SIG, y la zonificación de la susceptibilidad y de la amenaza. El tercer trabajo, es un análisis de la “Susceptibilidad a avenidas torrenciales de las quebradas San Roque y Obando, del sector de la urbanización Tierra Firme, Municipio de Ibagué, Departamento del Tolima”⁴⁹ realizado por el INGEOMINAS, siguiendo una metodología similar y contando con las mismas limitaciones del primer trabajo.

Algunos estudios hechos en Centroamérica tuvieron el apoyo monetario de otros países. Para 1999, La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC), desarrollan el Programa de Acción Regional para Centro América (RAPCA), de la mano con el Instituto Internacional de Ciencias de la Geo-información y Observación de la Tierra (ITC, en inglés) y la ayuda financiera del gobierno de Holanda. El objetivo de este proyecto es “la integración del conocimiento existente sobre la ocurrencia de fenómenos naturales y el uso de técnicas de geo-información en la zonificación de amenazas asociadas a estos eventos y su transferencia a instituciones involucradas en la toma de decisiones en el ordenamiento y desarrollo territorial; así como de las regulaciones y legislaciones apropiadas”⁵⁰. En el marco de este proyecto, se analizaron casos de estudio donde, haciendo uso de las tecnologías SIG (especialmente ILWIS y ERDAS) se realizaron metodologías de evaluación de amenaza de diferentes desastres naturales. Dentro de los estudios destacados, sobresalen artículos y proyectos de grado relacionados a la gestión del riesgo. En uno de ellos, el “Estudio preliminar de amenazas naturales en la cuenca del río

⁴⁹ INGEOMINAS. (1999). Susceptibilidad a avenidas torrenciales de las quebradas San Roque y Obando, del sector de la urbanización Tierra Firme, Municipio de Ibagué, Departamento del Tolima. Ibagué.

⁵⁰ Twente, F. o.-I. (s.f.). Módulo de capacitación, Aplicación de Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos para el Análisis de Amenazas, Vulnerabilidad y Riesgo. Obtenido de <https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio>

Turrialba, Cantón Turrialba, Costa Rica”⁵¹ se utilizaron dos métodos para la zonificación de la amenaza por deslizamientos: un método indirecto, con el que se racionan las condiciones del terreno y la ocurrencia de los deslizamientos, mediante el levantamiento de varios parámetros y el análisis de los factores que contribuyen a la generación de movimientos en masa, y un método determinístico, basado en la amenaza absoluta (Factores de seguridad). Westen, Montoya y Vargas⁵² presentan un ejercicio, usando información de Tegucigalpa (Honduras), en el que se pretende generar un mapa simple de amenaza por deslizamientos haciendo uso del método estadístico, teniendo en cuenta sólo la pendiente y la litología; a pesar de ser un ejercicio práctico, se puede resaltar el método aplicado, basado en cruce de mapas con determinados parámetros (uso de SIG). Y así, este proyecto involucra varios trabajos (algunos desarrollados hasta el 2003), que no sólo sirven de apoyo a la creación de metodologías de evaluación de amenaza, sino que funcionan como material de estudio para aprender sobre ello.

En el 2001, en Colombia, el INGEOMINAS elaboró una “Guía metodológica para la zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa – método univariado - y escenarios de riesgo por avenidas torrenciales”⁵³, en la que se propone una metodología de zonificación de amenaza, vulnerabilidad y escenarios de riesgo por avenidas torrenciales en cabeceras municipales, basada en el “método implícito”, teniendo en cuenta observaciones geológicas, geomorfológicas e hidráulicas de las áreas urbanas. Se resalta que se deben llevar a cabo dos tipos de análisis, uno en las zonas donde se encuentra el material que puede alimentar avenidas torrenciales (zonas montañosas) y otro en los cascos urbanos,

⁵¹ n/a. (2000). Estudio preliminar de amenazas naturales en la cuenca del río Turrialba, Cantón Turrialba, Costa Rica. Turrialba: <https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio>.

⁵² WESTEN, C. v., Montoya, L., & Vargas, R. (s.f.). Aplicación de SIG para la evaluación de amenazas y riesgos: Tegucigalpa, Honduras. <https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio>.

⁵³ INGEOMINAS. (2001). Guía metodológica para la zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa – método univariado - y escenarios de riesgo por avenidas torrenciales. Bogotá: Apoyo Operativo INGEOMINAS.

de los cuales se generará una evaluación cualitativa de la amenaza, clasificándola como alta, moderada o baja. Se proponen subdivisiones de la amenaza en caso de ser pertinente, teniendo en cuenta no sólo el peligro que representa el agua sino también aquel que ocasiona su combinación con sedimentos, hablando de inundaciones, impactos, presiones, acumulaciones y socavaciones laterales. En este trabajo, se presenta también una metodología usando SIG para la zonificación de la amenaza.

El paso del Huracán Mitch por Centroamérica en 1998 generó una cadena de eventos devastadores (especialmente *debris flow*), y condicionó varias zonas a la ocurrencia de fenómenos en el futuro; a partir de este suceso, y pese a la escasez de fondos y falta de personal especializado, varios estudios tuvieron lugar para prevenir y mitigar estos desastres. En el 2005, Guinau, Pallàs y Vilaplana⁵⁴, idearon una metodología de bajo costo que se fundamenta en inventarios de fenómenos realizado por trabajo de campo y una selección de factores de inestabilidad relevantes de un mapa de unidades de terreno previamente generado en un proyecto rural desarrollo, y el tratamiento de datos se desarrolla en SIG.

Un año después del estudio anterior, en Perú, Valderrama⁵⁵ realizó un estudio de la geología y geodinámica en las ciudades de Urubamba y Ollantaytambo, además de simulaciones de flujos, haciendo uso del software FLO-2D, y como resultado comparó los mapas de peligros obtenidos en el programa con mapas de peligros hechos con parámetros geológicos realizados dentro del Proyecto INDECI – PNUD. Teniendo en cuenta la misma problemática ocasionada por el Huracán

⁵⁴ GUINAU, M., Pallàs, R., & Vilaplana, J. M. (2005). A feasible methodology for landslide susceptibility assessment in developing countries: A case-study of NW Nicaragua after Hurricane Mitch. *Engineering Geology*, 80(3-4), 316-327

⁵⁵ VALDERRAMA, P. (2006). Geología, geodinámica y simulación de flujos en las ciudades de Urubamba y Ollantaytambo. Cusco.

Mitch, en el 2007, Guinau y Vilaplana, esta vez con apoyo de Vilajosana⁵⁶, idearon una metodología, también de bajo costo, que pueda usarse como referente en países en vía de desarrollo, tratando con SIG (ArcGIS) información digital como el inventario y el mapa de movimientos en masa y modelos de elevación digital (DTM). Por medio de un análisis bivariado ejecutado en SIG, se puede determinar la contribución de cada parámetro del terreno a la inestabilidad de la pendiente. El objetivo de este procedimiento es combinar el mapa de deslizamiento y los factores condicionantes, que ejercen una influencia en la inestabilidad de la pendiente, con el fin de determinar el peso de influencia para cada clase de factor, que al final, se suman para determinar el índice de susceptibilidad a movimientos en masa, y representarlo cualitativamente en un mapa de amenaza.

Para el 2009, nuevamente en Colombia, Montoya, Silva y González⁵⁷ presentaron una metodología de evaluación de zonas de amenaza por avenidas torrenciales, empleando un método multicriterio en el que, de forma general, se combinan los factores que generan estos desastres para zonificar la amenaza. El progreso del método se realizó usando el software IDRISI Kilimanjaro que permite calcular pesos y superponer capas temáticas, siguiendo los lineamientos planteados por Ordoñez y Martínez⁵⁸. Este trabajo ha servido como referente importante en trabajos actuales de evaluación de amenaza.

⁵⁶ GUINAU, M., Vilajosana, I., & Vilaplana, J. M. (2007). GIS-based debris flow source and runout susceptibility assessment from DEM data – a case study in NW Nicaragua. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 7(6), 703-716.

⁵⁷ MONTOYA, L., Silva, S., & González, J. (2009). Evaluación de zonas de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas. caso de aplicación a la quebrada Doña María. *Ingenierías*, 8(15), 11-29

⁵⁸ C. Ordoñez, and R. Martínez, *Sistemas de Información Geográfica, Aplicaciones prácticas con IDRISI KILI MANJARO al análisis de riesgos naturales y problemáticas medioambientales*, citado por MONTOYA, L., Silva, S., & González, J. (2009). Evaluación de zonas de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas. caso de aplicación a la quebrada Doña María. *Ingenierías*, 8(15), 11-29

Jiménez⁵⁹, en el 2010, plantea en Colombia, una propuesta metodológica semicuantitativa para la zonificación de la susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa, como resultado del análisis de diferentes metodologías desarrolladas por otros autores. Tiene en cuenta para calcular la susceptibilidad, factores condicionantes como los parámetros del material (Roca, suelo, material intermedio), el relieve, la hipsometría y morfometría de la cuenca, la sismicidad, las evidencias de inestabilidad, la erosión, la vegetación y como actores detonantes, la sismología, la lluvia detonante y el efecto antrópico. La amenaza resulta entonces del producto entre la susceptibilidad por los factores antes evaluados.

A partir del 2010, en diferentes países se realizaron varios estudios importantes sobre la amenaza relacionada a avenidas torrenciales y los fenómenos asociados; los gobiernos demuestran más interés por la investigación de las avenidas torrenciales y se realizan estudios de evaluación de amenaza de manera oficial. En Bolivia, por ejemplo, se crea el “Plan Nacional de Contingencias”⁶⁰, como alternativa oficial para la prevención, mitigación, control y monitoreo de inundaciones, granizadas, desbordes y riadas, durante el paso del fenómeno de La Niña 2010 – 2011. En él, teniendo en cuenta información oficial de pronóstico de lluvias y datos sobre las cuencas principales del país, se diseñó un “Sistema Nacional de Alerta Temprana en el Escenario del F – Niña 2010 – 2011.”

Para el 2012, La Corporación Autónoma Regional de los Ríos Negro – Nare (CORNARE)⁶¹ realiza el proyecto para determinar el riesgo por avenidas torrenciales, inundación y movimientos en masa, en el municipio de Guatapé,

⁵⁹ JIMÉNEZ, O. J. (2010). Propuesta metodológica para la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa. Facultad de Ingeniería, 19(28), 7-20

⁶⁰ CONARADE. (2010). PLAN NACIONAL DE CONTINGENCIAS. Componente: Inundaciones, Desbordes y Riadas FENÓMENO LA NIÑA 2010 – 2011. GFDRR/BM.

⁶¹ CORNARE. (2012). Zonificación de riesgo por movimientos en masa inundación y avenidas torrenciales. atención de áreas afectadas por eventos desastrosos. San Rafael.

como parte la Gestión del Riesgo integrada al ordenamiento ambiental del Territorio. En el documento presenta en primera instancia, la zonificación del riesgo por movimientos en masa y avenidas torrenciales e inundación, y en segundo lugar la atención a las áreas afectadas por estos desastres. El método utilizado es el indirecto, en el que se analiza la relación entre las características del terreno y las condiciones sociales. Para validar los resultados, se refuerzan con visitas de campo. Respecto a la evaluación de la amenaza, el análisis se lleva a cabo con la interacción de la morfometría de la cuenca, la precipitación, la cobertura vegetal, el material superficial y la geomorfología como variables, y el resultado es el mapa de amenazas clasificado en cinco categorías (muy baja, baja, media, alta y muy alta), por cada municipio evaluado, a través del análisis de la información científica disponible.

Ese mismo año, en Puerto Rico, en pro de una mejor ocupación del terreno, Lepore, Kamal, Shanahan y Bras⁶² llevan a cabo una zonificación de susceptibilidad a deslizamientos de tierra, usando como referente el método estadístico de frecuencia bivariada (FR), basado en una supuesta “independencia condicional” de varios factores respecto a la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa. El análisis y la construcción del mapa final se realizó usando ArcGIS/Arcinfo y teniendo en cuenta fallas geológicas, distancia de las carreteras, geología y cobertura de la tierra y derivado del tratamiento al DEM, la pendiente y la curvatura de la superficie. Por su parte, Jorge Navarro⁶³ implementa una metodología para evaluar la susceptibilidad y amenaza de movimientos de ladera mediante SIG en el municipio de Berlín (El Salvador), aplicando el método heurístico de zonificación y dando peso a los parámetros de evaluación empleando el análisis de Matriz de Jerarquización Analítica (AHP), para finalmente

⁶² LEPORE, C., Kamal, S., Shanahan, P., & Bras, R. (2012). Rainfall-induced landslide susceptibility zonation of Puerto Rico. *Environmental Earth Sciences*, 66(6), 1667-1681

⁶³ NAVARRO, J. (2012). Susceptibilidad y amenaza de movimientos de ladera mediante S.I.G. en el municipio de Berlín, El Salvador

dar una apreciación cualitativa (Muy baja, baja, moderada, alta, muy alta) en el mapa de amenaza

Durante el 2013 y el 2015, la mayoría de estudios se realizaron para evaluar el riesgo por movimientos en masa, como la metodología heurística aplicada por Abril, Amaya y Fonseca⁶⁴ en el municipio de Jericó (Colombia); además, en este mismo país se generan oficialmente la “Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS”⁶⁵ y “la Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa”⁶⁶ en contribución a la mejora de la gestión del riesgo, ofreciendo técnicas oficiales en que se puede basar cualquier entidad para hacer estudios de amenaza y riesgo por algunos riesgos geológicos. En contraste, la investigación de las avenidas torrenciales y los fenómenos relacionados se desplaza a trabajos de grado (no menos importantes), pero sin dar los frutos esperados. Cada año, las temporadas invernales siguen haciendo de las suyas, y pese a los estudios importantes de amenaza por riesgos geológicos que se han hecho, las tragedias no dejan de cesar.

Es meritorio destacar algunos estudios que hacen los profesionales en el área y los cuerpos de investigación en diferentes países americanos Intertropicales, por comprender los flujos, su amenaza, su prevención y mitigación. Tal es el caso del XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, llevado a cabo del 28 al 30 de septiembre de 2016 en Lima (Perú), donde temas de gran interés como el desarrollo sostenible, el cambio climático, modelamiento de precipitaciones -

⁶⁴ ABRIL, N., Amaya, E., & Fonseca, H. (2015). Evaluación de amenazas por movimientos en masa causados en Jericó Boyacá, durante el período invernal de 2011. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(1), 6-13.

⁶⁵ DESARROLLO Sostenible, M. d. (2014). *Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS*. Bogotá.

⁶⁶ COLOMBIANO, S. G. (2015). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Bogotá D.C.: Imprenta Nacional de Colombia.

escorrentías, evaluación del riesgo por inundaciones, erosión, entre otros hacen parte de los 1085 estudios registrados; 525 exposiciones orales de representantes de 25 países tuvieron lugar, y sobresalieron Colombia con 107 trabajos, México con 110 y Perú con 87. Dentro de los estudios elaborados en relación con la amenaza de avenidas torrenciales y fenómenos relacionados sobresalió el trabajo de La Rosa y Kuroiwa⁶⁷, con una propuesta innovadora para mejorar el Sistema de Monitoreo de Peligros existente en Perú, que involucra cambios tecnológicos de buen nivel.

En este año también, en Colombia nace una propuesta metodológica innovadora para la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales y fenómenos asociados, denominada “Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia”, como resultado del proyecto de grado para optar por el título de Magister en Ingeniería Civil con énfasis en Geotecnia, realizado por Sepúlveda y Patiño⁶⁸; dentro del análisis del riesgo, se elabora una metodología de evaluación haciendo uso del método de frecuencia relativa (análisis estadístico bivariado) usando la pendiente, litología, cobertura y uso del suelo, y la curvatura como factores condicionantes para hallar la susceptibilidad y posteriormente, junto con la lluvia como factor detonante, se determina el grado de amenaza.

En Brasil, se llevó a cabo en 2017 un estudio importante en cuanto al comportamiento de los *debris flow*, llamado “*Efeito do tamanho dos sedimentos sobre a área atingida por fluxos de detritos: Estudo de caso da bacia do arroio*”

⁶⁷ ROSA, J. C., & KUROIWA, J. (2016). Sistema de alerta temprana en zona de aluviones. XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica Lima, Perú. Lima, p. 1.

⁶⁸ SEPÚLVEDA, A., Patiño, J., & Rodríguez, C. (2016). Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: caso Útica, Cundinamarca, Colombia. Obras y proyectos, 20, 31-43.

*Böni, Serra Gaúcha*⁶⁹ realizado por Paixão y Kobiyama, donde se estudió los efectos del tamaño de los sedimentos (de 0,15 a 3 metros de diámetro) en el comportamiento de los flujos haciendo uso del software Kanako-2D y tomando como zona de estudio la cuenca del río Böni, Serra Gaúcha (Brasil), concluyendo que el tamaño de los sedimentos influye en gran medida tanto en el alcance de los *debris flow*, como en su área total y área de deposición, ya que, sedimentos más pequeños presentan mayor movilidad respecto a sedimentos gruesos.

En la América Intertropical, los adelantos en la investigación del comportamiento de flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados, han sido importantes, incluso han sido base clave en el desarrollo de nuevos trabajos y recientes estudios; aun así, parece ser que no son suficientes, o que hace falta algo más para hacer de los resultados de los análisis una realidad; pero el fondo de esta contrariedad es, como cita Ómar Jiménez "... el desinterés, sobre todo, de los que participan en los procesos políticos, muchas veces desmotivados por la falta de continuidad de las acciones más allá de los procesos electorales o luego de los desastres, cuando los medios de comunicación ya no ofrecen la oportunidad de ser parte de la noticia"⁷⁰. A pesar de los estudios realizados, las tragedias que ocasionan las temporadas invernales y los periodos extraordinarios de lluvia intensa siguen teniendo el mismo comportamiento. La principal razón de este hecho no se enfatiza en la falta de investigación (porque la hay), sino principalmente a los conflictos armados y a los limitados recursos disponibles para hacer estudios más detallados y cercanos a la realidad y para poner en práctica las recomendaciones producto del análisis de prevención y mitigación de riesgos. Esta lamentable situación no afecta sólo la materialización de las obras planeadas para control y monitoreo de desastres, sino la capacitación a las personas

⁶⁹ PAIXÃO, M. A., & Kobiyama, M. (2017). Efeito do tamanho dos sedimentos sobre a área atingida por fluxos de detritos: Estudo de caso da bacia do arroio Böni, Serra Gaúcha. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas*, 39(2), 299 – 307

⁷⁰ MORA y Vahrson (1993), Determinación "a priori" de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos, citado por JIMÉNEZ, Ómar (2009) Op. Cit., p.8

vulnerables en la reacción a eventuales acontecimientos, es decir, los habitantes de sectores amenazados no saben qué hacer en caso de un evento fortuito.

A pesar de lo anterior, cabe destacar el avance no sólo metodológico sino tecnológico que América Intertropical ha tenido en cuanto a la evaluación de riesgos geológicos; la adquisición de cartografía de detalle, fotografías aéreas, imágenes satelitales, modelos de elevación digital (DTM), entre otros recursos ya son asequibles, y en algunos casos gratuitos al igual que algunos software usados para operar mapas temáticos y calcular los parámetros de cuencas o flujos, lo que ha facilitado los estudios de evaluación de amenaza y la cobertura de exploración; zonas de difícil acceso puede ya ser mapeadas y evaluadas con mayor versatilidad.

7.2.2.2 África Intertropical

El periódico “El Comercio” de Perú, publica un artículo el 26 de julio 2016 llamado “África: El continente más rico y la población más pobre”⁷¹, en que refleja una realidad muy conocida del continente africano, donde la corrupción, la pobreza y las guerras civiles abundan por doquier; un continente cuya principal amenaza es el hambre y no los desastres naturales. Sencillamente no hay recursos para llevar acabo análisis de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados, y de hecho lo poco que se ha llevado a cabo no es suficiente; es más, las continuas guerras impiden que por lo menos las recomendaciones que resultan de los estudios se puedan aplicar de forma efectiva. Y la población más vulnerable es la más pobre.

⁷¹ RODRÍGUEZ, M. (26 de Julio de 2016). África: El continente más rico y la población más pobre. *El Comercio*. Obtenido de <http://elcomercio.pe/mundo/africa/africa-continente-rico-poblacion-pobre-184940>

“Los efectos del cambio climático (..), unido a las características de África, hacen particularmente vulnerable a este continente ante el fenómeno. La posible elevación del nivel del mar constituye un impacto negativo en las áreas costeras densamente pobladas. Esto, unido a la elevación de la temperatura y al aumento de las lluvias en regiones como el este africano, están provocando desastres naturales que afectan a la población.”⁷² Al igual que los demás continentes, África posee épocas de invierno y verano, muy fuertes, por cierto. Entre las épocas de sequías, se encuentran periodos invernales torrenciales, incrementándose las inundaciones, los flujos y los deslizamientos en casi todo el continente.

Inundaciones, por ejemplo, dejan 50 fallecidos, 20 desaparecidos y cerca de 1.000 damnificados en Kinshasa (Congo)⁷³, hace sólo unos meses, en diciembre del 2016, y en el evento más reciente, cerca de 400 personas perdieron la vida y 3.000 quedaron sin hogar, tras una avalancha de lodo y piedras ocurrida en la madrugada del 14 de agosto de 2017, en la ciudad de Freetown (Sierra Leona).⁷⁴

Como parte de este estudio, se destacan dos trabajos; en el primero, desarrollado en 2016, Märker, Hochschild, Maca y Vilímek⁷⁵ en el que se muestra un análisis híbrido (estocástico y estadístico) aplicado a la cuenca de Jemma, en Etiopía Central, con el fin de mapear la distribución espacial de deslizamientos y *debris flows* y predecir futuros acontecimientos; el análisis está basado en los métodos *Boosted Regression Trees* (BRT) y *Maximum Entropy Method* (MEM); el segundo

⁷² TELESUR. (18 de agosto de 2016). Telesur. Obtenido de África, el continente más vulnerable ante desastres naturales: <http://www.telesurtv.net/news/Africa-el-continente-mas-vulnerable-ante-desastres-naturales-20160818-0076.html>

⁷³ UNIVERSAL, El. (29 de diciembre de 2016). El Universal. Obtenido de Inundaciones dejan 50 muertos y 20 desaparecidos en Congo: <http://www.eluniversal.com.co/ambiente/inundaciones-dejan-50-muertos-y-20-desaparecidos-en-congo-243421>

⁷⁴ BBC. (16 de agosto de 2017). BBC. Obtenido de Alrededor de 400 muertos y cientos de desaparecidos por deslave causado por fuertes lluvias en Sierra Leona: <http://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-40931715>

⁷⁵ MÄRKER, M., Hochschild, V., Maca, V., & Vilimek, V. (2016). Stochastic assessment of landslides and debris flows in the Jemma Basin, Blue Nile, Central Ethiopia. *Geografía Física e Dinámica Cuaternaria*, 51 - 58.

trabajo, llevado a cabo en 2017, se denomina “*Regional Landslide Inventory Mapping of Bashilo River Watershed, Ethiopia*”⁷⁶ en el que, en contribución a la evaluación de peligros regionales en Etiopía, se realizó un inventario de deslizamientos en la cuenca del Río Bashilo, recurriendo a técnicas de mapeo de bajo costo, como el análisis de DEM (resolución de 30 metros el pixel) y usando mapas topográficos escala 1:200.000 descargados a precio normal del Ministerio de Defensa de la Federación de Rusia; El costo de la recolección y procesamiento de datos fue menos de US \$ 300, excluyendo el costo del software SIG (ArcGIS y ENVI).

En 2013, el secretario general de las Naciones Unidas de ese entonces, Ban Ki-moon, visita África con el fin de consolidar un proyecto financiero por parte del Grupo del Banco Mundial y la Unión Europea que serviría de apoyo para respaldar “las prioridades de desarrollo regional más urgentes, como la creación de redes de protección social para ayudar a las familias a lidiar con los efectos más graves de la adversidad económica y los desastres naturales, la mejora de la infraestructura y la creación de oportunidades en las zonas rurales”⁷⁷. Millones de dólares serán aportados con el fin de que para el 2020, la calidad de vida de los habitantes de la región de Sahel sea cada vez mejor.

7.2.2.3 Asia Intertropical

En el continente asiático, la investigación de las avenidas torrenciales y los flujos asociados ha sido más avanzada. La clave de este alto desempeño está en la disponibilidad de recursos que se destinan a la gestión del riesgo, no sólo para la

⁷⁶ ISMAIL, E. H., Rogers, J. D., Ahmed, M., & Abdelsalam, M. G. (2016). Regional Landslide Inventory Mapping of Bashilo River Watershed, Ethiopia. *Environmental & Engineering Geology (E&EG) Journal*.

⁷⁷ MUNDIAL, G. B. (4 de noviembre de 2013). Banco Mundial. Obtenido de Líderes internacionales prometen miles de millones de dólares para la región del Sahel, en África: <http://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2013/11/04/global-leaders-pledge-billions-of-dollars-for-africas-Sahel>

evaluación de las amenazas sino también en la materialización de planes de prevención y emergencias. Contra el poder de la naturaleza es muy difícil hacer algo a tiempo, pero las correctas medidas de control y atención de emergencia han permitido que los estragos sean de menor magnitud.

El continente ha estado sometido a terremotos, huracanes, tifones, ciclones y fuertes temporadas de lluvia, que han desatado un sinnúmero de desastres en la región. Por ejemplo, el paso de Huracán Mitch (octubre de 1998) o del Huracán Sandy (2012) o los tifones Morakot y Etau (2009), afectó gran parte del este asiático, especialmente Taiwán e Indonesia. Jan, Hsu, Wang y Huang⁷⁸, mencionan que el Centro de Operación Central de Emergencia (CEOC, en inglés), estimó un saldo de 665 personas fallecidas y 34 desaparecidas durante el paso del tifón Morakot, que dio lugar a 45 *debris flows* en el centro y sur de Taiwán.

Indonesia es considerado probablemente como el país más vulnerable a desastres naturales⁷⁹, no sólo por su susceptibilidad a tempestades, sino por la alta actividad volcánica y sísmica del país (posee el 13% de los volcanes activos y ha sufrido el 11% de los terremotos más severos del mundo) Era de esperarse que se tomaran importantes medidas. En orden cronológico se presentan algunos trabajos desarrollados en la Asia Intertropical.

⁷⁸ JAN, C.-D., Hsu, Y.-C., Wang, J.-S., & Huang, W.-S. (2011). Debris Flows and Landslides Caused by Typhoon Morakot in Taiwan. International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Proceedings, p. 676

⁷⁹ VANGUARDIA, L. (29 de 08 de 2007). La Vanguardia. Obtenido de Indonesia es, probablemente, el país más vulnerable a los desastres naturales: <http://www.lavanguardia.com/vida/20070829/53389363153/indonesia-es-probablemente-el-pais-mas-vulnerable-a-los-desastres-naturales.html>

En el 2006, en Taiwán, Ping-sien Lin, Ji-yuan Lin, Shang-yuh Lin y Lai⁸⁰ llevaron a cabo un proceso estadístico de evaluación de *debris flow* utilizando técnicas de análisis multivariante y SIG, aplicado a la cuenca del río Chen-Yu-Lan, teniendo en cuenta la geología, pendiente, características del terreno, morfometría de la cuenca, cobertura vegetal y uso del suelo como factores condicionantes de dichos fenómenos. Los resultados del proceso analítico se corroboraron con estudios de campo de eventos recientes.

Para el 2010, en favor de la prevención y mitigación de los desastres ocasionados por lluvias intensas y tifones, se realizaron varios estudios importantes en el pronóstico de *debris flow*; por ejemplo, Chang, Wang y Chien⁸¹ presentaron un modelo de evaluación de peligro para predecir *debris flow*, basado en técnicas estocásticas y algoritmos: el teorema del *genetic algorithm* (GA), el *artificial neural model* (ANN) y *biological neuron simulation* (BPN). En promedio, el éxito en la predicción de los fenómenos fue del 94,94%, aparentemente, un modelo de evaluación con una tasa de pronóstico muy buena. Los factores que tuvieron en cuenta para el análisis fueron la longitud de los cauces, pendiente media, área de la cuenca, coeficiente de forma, profundidad media del suelo, y la acumulación e intensidad de las lluvias.

Ese mismo año, Youn, Lee y Woo⁸² idearon en Corea un método de mapeo del peligro por *debris flow* usando el “*Random Walk Model (RWM)*”, que permite simular los flujos, calculando su velocidad y volumen, y posteriormente delimitar

⁸⁰ LIN, P.-s., Lin, J.-y., Lin, S.-y., & Lai, J. (2006). Hazard Assessment of Debris Flows by Statistical Analysis and GIS in Central Taiwan. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 4(2), 165-187

⁸¹ CHANG, T.-C., Wang, Z.-Y., & Chien, Y.-H. (2010). Hazard assessment model for debris flow prediction. *Environmental Earth Sciences*, 60(8), 1619-1630.

⁸² YOUN, H.-J., Lee, C.-W., & Cortejar, C.-S. (2010). Debris flow hazard mapping with a random walk model in Korea. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, 43, Risk Analysis VII & Brownfields V, 627 – 635

las zonas en peligro. El caso de estudio se desarrolló en los condados de Inje y Pyeongchang, provincia de Gangwon y condado de Bongwaha, provincia de Gyeongbuk.

En un estudio publicado en el 2011, en el desarrollo de la “*5th International Conference on Debris-flow Hazards Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment*”, Liu, Hsu, Li y Shu⁸³ demuestran el éxito de un análisis del peligro en base a la simulación de estos flujos, realizado en Daniao (Taiwán). El trabajo consistió en el uso del modelo DEBRIS-2D creado por Liu, en la simulación de un posible flujo en el 2006, determinando su área de extensión y en base en esto, la delimitación las zonas en riesgo; para el 2009, en consecuencia, del paso del tifón Morakot, se produjo un *debris flow* de extensión muy similar a la simulada.

Entre el 2014 y 2015, la investigación de las avenidas torrenciales y flujos relacionados continuó satisfactoriamente. Una metodología heurística para la evaluación del riesgo por *debris flow* en base al método de *analytical hierarchy process (AHP)*, fue desarrollada por Li-Jeng⁸⁴ en Sen-Mu y Hua-San (Taiwán). El análisis se realizó teniendo en cuenta nueve factores condicionantes de estos flujos: la pendiente, tipo de depósitos, tamaño de grano, cobertura vegetal, área de la cuenca, salida de sedimentos, y la intensidad, duración y acumulación de las lluvias. Los resultados finales fueron cercanos a la realidad, según la corroboración en campo.

⁸³ LIU, K.-F., HSU, Y.-C., LI, H.-C., & SHU, H.-M. (2011). Numerical Simulation of Debris Flow: A case study of the Daniao Tribe Debris Flow in Eastern Taiwan in August 2009. 5th international conference on debris-flow hazards "mitigation, mechanics, prediction and assessment", (p. 885-893).

⁸⁴ LI-JENG, H. (2014). Application of AHP to Debris-Flow Hazards Risk Assessment - Case Study of Disasters Occurred in Sen-Mu and Hua-San Villages, Taiwan. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 4(12), 106-113.

En Arabia, significativos estudios se han llevados a cabo gracias a los recursos disponibles. Las condiciones geológicas de la región hacen susceptibles las autopistas importantes del país, especialmente en la parte sur, a impactos por *debris flow*, y los análisis realizados tienen como objetivo dar solución a estas problemáticas. Alharbi et al⁸⁵, desarrollaron una evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos en la zona Faifa, Arabia Saudita, usando técnicas de teledetección y SIG, ya que la zona de estudio tiene difícil acceso. El fin de la evaluación de susceptibilidad fue la predicción de futuros flujos, en base a un número de flujos calculados aleatoriamente que, en relación a fenómenos observados, tuvo una coincidencia del 82% con la realidad, es decir, que las localizaciones adicionales marcan probablemente áreas potenciales de ocurrencia de *debris flow*; un estudio similar, lo realizaron Youssef, Al-Kathery y Pradhan⁸⁶, en el puente del valle superior Tayyah que hace parte de la autopista “*Shear escarpment highway*” de suma importancia en la zona, por donde pasan cerca de 10.000 vehículos al día, que está constantemente amenazada por movimientos en masa. Se realiza la evaluación del impacto de estos fenómenos sobre el puente usando fotointerpretación, investigaciones de campo y resultados de laboratorios (ensayos de corte directo) sobre propiedades geomecánicas de las rocas. Arabia ha sido una potencia mundial en obras de ingeniería, y en ocasiones, la solución a la afectación que los flujos de detritos ocasionan en las vías, ha sido elevarlas.

Así ha sido un referente destacado en cuanto a la investigación de las avenidas torrenciales y flujos relacionados. La innovación ha dado como frutos software y metodologías nuevas que facilitan, y aún más, hacen más preciso el análisis de la evaluación de amenazas por estos fenómenos. Estos avances, los países

⁸⁵ ALHARBI, T., Sultan, M., Sefry, S., ElKadiri, R., Ahmed, M., Chase, R., . . . Chounaird, K. (2014). An assessment of landslide susceptibility in the Faifa area, Saudi Arabia, using remote sensing and GIS techniques. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 14(1553–1564).

⁸⁶ YOUSSEF, A. M., Pradhan, B., & Maerz, N. H. (2013). Debris flow impact assessment caused by 14 April 2012 rainfall along the Al-Hada Highway, Kingdom of Saudi Arabia using high-resolution satellite imagery. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(7), 2591–2601.

asiáticos Intertropicales han querido compartirlo con otros; en 2012, Taiwán, por ejemplo, “aportó 2,5 millones de dólares para la lucha contra los desastres naturales que azotan a Latinoamérica y el Caribe”⁸⁷. Diferentes estudios llevados a cabo alrededor del mundo usan bibliografía asiática como base para el desarrollo de sus trabajos.

7.2.2.4 Oceanía Intertropical

La alta actividad volcánica y sísmica del continente, los desastres naturales relacionados, son pan de cada día. Los eventos más relevantes parecen agruparse hacia la costa este de Australia. En 1997, un *debris flow* tuvo lugar en Thredbo, New South Wales (Australia), y destruyó dos edificios, cobrando la vida de 18 personas y se convirtió en el peor desastre natural en la historia de ese país. Dentro de los acontecimientos más importantes se encuentran los flujos ocurridos en Montrose (Victoria) en 1891, con una carga de 60.000 toneladas, Captain Cook Highway (Queensland) en 1951 y en Humphrey (Tasmania) en 1972.⁸⁸ La mayoría de los desastres naturales que han ocurrido en Oceanía, han sido originados por intensas lluvias. En caso de Nueva Zelanda, durante el paso del Ciclón Giselle en 1968, 52 personas perdieron la vida, en el terremoto de magnitud 7.1 del 4 de septiembre de 2010 dio lugar a diferentes desastres, tuvieron lugar cerca de 80.000 deslizamientos en 2016 y recientemente, a mediados de abril de 2017 fue nuevamente afectado por el Ciclón Cook, desatando varios deslizamientos.

No hay información disponible sobre aplicación de metodologías de evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales en Oceanía, aunque algunos documentos

⁸⁷ DIARIO, El. (13 de diciembre de 2012). El Diario. Obtenido de Taiwán ayuda a Latinoamérica a combatir los desastres naturales: http://www.eldiario.es/politica/Taiwan-Latinoamerica-combatir-desastres-naturales_0_79092241.html

⁸⁸ OSUCHOWSKI, M., & Mazengarb, C. (2007). Landslide. En M. Middlemann, Natural Hazard in Australia: Identifying Risk Analysis Requirements, p. 119. Canberra, Australia.

tratan sobre generalidades de la gestión del riesgo y el análisis del riesgo. Osuchowski y Mazengarb agregan que ⁸⁹ la distribución de los deslizamientos en Australia no está bien conocida. No hay una zonificación de riesgo por desastres a escala regional, porque los deslizamientos ocurren en espacios con características especiales y los métodos usados son limitados por la falta de información. Es bueno destacar que, en Australia, actualmente hay una organización ejemplar de entidades, todas encargadas de la prevención y control de desastres, cada una con responsabilidades específicas en caso de un imprevisto.

En general, la investigación de la evaluación de la susceptibilidad, amenaza y riesgo por flujos torrenciales han dado grandes avances y, ni hablar de los progresos tecnológicos que hacen cada vez más fácil estos estudios; al parecer, la dificultad del desarrollo de recientes metodologías y la aplicación de nuevas tecnologías, están limitados por los recursos disponibles y las zonas de conflicto en cada país. Lo cierto es que, con el cambio climático, cada año, con cada temporada invernal, los desastres aumentan, y cada vez son más severos, y cada nación, está en la obligación de velar por el bienestar de sus habitantes, y parte de esa responsabilidad es la gestión del riesgo, tan importante como la salud o la educación; por ende, es importante comprender el comportamiento de los fenómenos mencionados en este documento, y mucho mejor, hacerlo en cada país, con sus características físicas únicas.

7.2.3 Nuevas técnicas y tecnologías

Saliendo un poco del marco de la zona Intertropical, es importante traer a colación novedosas técnicas, nuevas tecnologías y mejoras en los softwares usados en la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales y fenómenos relacionados.

⁸⁹ OSUCHOWSKI, Op. Cit., p. 126

La falta de información meteorológica y la inexistencia de inventarios de estos fenómenos son un problema que padecen varios países, especialmente aquellos de bajos recursos, y sin estos insumos no se pueden hacer los estudios de una manera precisa. Como solución a la falta de inventarios de avenidas torrenciales, en España se está perfeccionando una técnica muy interesante, que consiste en la aplicación de métodos botánicos de árboles en la evaluación de amenazas. “La interacción de la vegetación con las áreas de influencia de procesos reiterados permite localizar formas o señales sobre los árboles denominados indicios dendrogeomorfológicos.”⁹⁰ Estas señales se pueden observar en el registro histórico anual del anillo de crecimiento de los árboles. En algunas muestras de troncos, hay anomalías en el desarrollo regular de su interior, y esto se debe a que el árbol en un momento fue decapitado, descortezado, doblado o sucedió algo que distorsionó su figura. Con la localización del indicio es posible saber en qué momento sucedió el desastre, y no sólo eso, sino calcular su caudal, velocidad, carga de sedimentos y estacionalidad, de forma cuantitativa y cualitativa. Para entender más estas técnicas es importante revisar los proyectos desarrollados por Ballesteros, Bodoque del Pozo y Díez-Herrero⁹¹ dentro del proyecto “dendro-avenidas”.

Los softwares usados en la evaluación de la amenaza mejoran en cada año; algunos de los programas de computadora usados en estos estudios son:

- Simulación de flujos: Kanako2D, FLO-2D, DEBRIS 2D, TITAN 2D, FLOW-R.
- Morfometría de cuencas hidrográficas: ArcGIS, *Watershed Modeling System (WMS)*

⁹⁰ BALLESTEROS, J. A., Pozo, J. M., & Díez-Herrero, A. (2011). Aplicación de las técnicas dendrogeomorfológicas al estudio de las avenidas torrenciales. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, 32, Actas de la II Reunión sobre Hidrología Forestal (2011), p. 77.

⁹¹ DÍEZ-HERRERO, A., Ballesteros, J., Bodoque, J., Eguíbar, M., Fernández, J., Génova, M., . . . Stoffel, M. (2007). Mejoras en la estimación de la frecuencia y magnitud de avenidas torrenciales mediante técnicas dendrogeomorfológicas. Boletín Geológico y Minero, 4(118), 789-802.

- Cálculo de factores geotécnicos: VP Expert, Dips.
- Realización de mapas e inventarios: ArcGIS, SIG basado en la web, QGIS, ILWIS, Google Earth Pro.
- Tratamiento de imágenes de alta resolución: ERDAS Image.

En cuanto a los avances tecnológicos, los insumos necesarios como imágenes satelitales, fotografías aéreas y los DEM's, cada vez tienen más resolución, mayor detalle y más asequibilidad, ya que los instrumentos de teledetección como satélites y cámaras aéreas son cada vez son más sofisticados. SPOT, LANDSAT o Quickbird son ejemplos de satélites que en la actualidad ofrecen una alta gama de imágenes satelitales de alta resolución y compuestas por diferentes bandas que permiten diferentes análisis y nuevos modelos de cámara vertical Vexcel Ultracam para fotografías aéreas están ya a la venta.

En la actualidad se está usando en estudios de detalle la tecnología "*Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*", mejor conocidos como drones, para los levantamientos topográficos y generación de Modelos Digitales del Terreno (DTM's). La técnica se basa en la planificación del vuelo y estableciendo puntos de control, en los cuales el dron tomará imágenes y datos de elevación que permitirán la generación de curvas de nivel y modelos tridimensionales del terreno.

La tecnología avanza rápidamente, pero por el momento el control de la naturaleza está fuera de las manos del hombre, así que tendrá que ingeniárselas para poder vivir bajo su influencia. Más que los daños materiales, importa la vida de las personas, que son irremplazables, por tanto, se debe hacer lo posible por garantizar su existencia y, sobre todo, hacer cuenta de la responsabilidad tan importante que tienen las entidades encargadas de la gestión del riesgo, donde no debe tener cabida la negligencia y la corrupción, porque con la vida de las personas no se puede jugar.

8. DISCUSIÓN

En el siguiente capítulo se presenta la comparación entre las diferentes perspectivas que hay sobre el desarrollo de las metodologías, y las variables y los vacíos existentes en la información que se ha recopilado y que son importantes para la construcción de la metodología estandarizada aplicable en Colombia.

Para comenzar, vale la pena resaltar que la mayoría de los estudios son trabajos empíricos, producto de la observación de fenómenos pasados y presentes y el trabajo de campo; estos estudios han servido como referente en el estudio de la amenaza por avenidas torrenciales y flujos asociados en otros países.

La aplicación de unos mismos lineamientos para evaluar la amenaza en diferentes países propone prácticamente el desarrollo de nuevas metodologías, cada una acorde a las características de la zona donde se vaya a llevar a cabo; así, por ejemplo, un análisis desarrollado en Arabia no tendrá resultados confiables si se realiza de la misma forma en Brasil, porque hasta la posición geográfica de los países es diferente. Es importante destacar que, a pesar de las concepciones distintas de las avenidas torrenciales, la mayoría de los autores coinciden en los factores condicionantes y desencadenantes, por lo que hay claridad a la hora de definir variables a tener en cuenta a la hora de analizar cualitativa o cuantitativamente la amenaza por estos fenómenos.

Definir cuál es la mejor metodología de evaluación de amenaza es impreciso; todo atiende a las características físicas, políticas, sociales y culturales de cada país. Las deficiencias en la ejecución de los métodos van desde desórdenes públicos, prohibición de acceso a ciertas zonas por ocupación de grupos aborígenes o la escasez de insumos e información cartográfica, meteorológica, hidrológica e histórica por distorsiones en el orden público o falta de recursos, hasta negligencia y corrupción en las entidades encargadas de la gestión de riesgo. Como se dijo

anteriormente, la metodología la define las condiciones del país. Qué entidades conocen mejor las características de cada nación que las entidades propias de la región; por tanto, estas son las encargadas de diseñar una metodología, tomando como referentes métodos aplicados en otros países, pero innovando y acoplando acorde a las necesidades del territorio.

La diferencia abismal entre la calidad del control y prevención de riesgos geológicos entre países primermundistas y tercermundistas está dada por la política y recursos. Se plasma esto en la realidad, por ejemplo, que vive el continente africano, sumido en gran parte, en los conflictos sociales, la corrupción y los desastres naturales, mientras en Taiwán, que, siendo una pequeña isla, está en la capacidad de colaborar a otros países en la gestión del riesgo. Ese es otro factor importante a tener en cuenta a la hora de implementar una metodología de evaluación, la cooperación financiera que de uno u otro modo se ofrece entre los países. Puede que un país no tenga los recursos para desarrollar métodos costosos de evaluación de amenaza, pero en apoyo a la investigación de desastres naturales (especialmente las avenidas torrenciales) en numerosas ocasiones, países del primer mundo patrocinan excelentes estudios, que no sólo aporta a la pesquisa, sino también al ordenamiento territorial del país beneficiado. De igual manera, la buena voluntad de algunos expertos en el tema, ha permitido que documentos de diferentes índoles relacionados a la gestión de riesgo, software de análisis de datos, e incluso insumos de alta calidad sean fácilmente asequibles hasta para estudiantes en proceso de formación profesional (es más, estudios que han aportado importante información a este tema, han sido producto de proyectos de grado para obtener títulos de especializaciones, maestrías y doctorados), incluso llegan a ser gratuitos. Estas herramientas permiten una mejor comprensión de los fenómenos y un desempeño superior a la hora de zonificar las amenazas.

A pesar de estas facilidades, es todavía complicado evitar que haya limitaciones y vacíos en estas investigaciones. Este trabajo, por ejemplo, la definición del estado del arte de las metodologías de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales comprende el análisis de un compendio de documentos, limitados por el idioma (portugués, inglés y español) y los recursos, cerrando la posibilidad de integrar un sinnúmero de documentos que aportarían información más completa; aun así, los archivos estudiados contribuyen a una mejor percepción del comportamiento de las avenidas torrenciales y la evaluación de su amenaza. Además, generalizar la definición del estado actual de estas metodologías de evaluación de amenaza, es una tarea muy compleja, porque no se puede dar un concepto trascendente a nivel mundial, ya que, de continente a continente, los desastres naturales se producen de diferente manera; mientras en algunas regiones prevalecen la actividad volcánica y la actividad sísmica, en otros, el principal problema son las tempestades, los tifones y los ciclones, o en el peor de los casos, la conjugación de ambas circunstancias; además, como ya se había mencionado, las características políticas, sociales y culturales son distintas. Estas desigualdades generan problemas en el estudio de la amenaza por avenidas torrenciales y flujos asociados, que deben ser resueltas en cada zona de estudio, atendiendo a sus características y apoyándose en trabajos afines.

De todas maneras, desde una perspectiva algo general, hay grandes avances en la elaboración de metodologías de evaluación de amenazas por riesgos geológicos, hasta el punto de encontrarse tasas de éxito hasta del 94.94%⁹² en el uso de métodos estocásticos, y el continuo avance tecnológico ha contribuido a estas mejoras.

A continuación, se muestra una tabla comparativa de perspectivas metodológicas donde se destacan 15 autores de diferentes países:

⁹² CHANG, T.-C., Wang, Z.-Y., & Chien, Y.-H. (2010). Hazard assessment model for debris flow prediction. *Environmental Earth Sciences*, 60(8), 1619-1630.

Tabla 9 Cuadro comparativo entre perspectivas metodológicas desarrolladas en diferentes países de la zona intertropical

Autor(es)	País de estudio	Metodología de evaluación de amenaza	Insumos	Variables
Ferreira, et al.	Brasil	Zonificación de la susceptibilidad y riesgo por <i>debris flow</i> en Itacoa, Brasil, usando técnicas de teledetección y SIG	DEM (5x5), GIS Software, Cartografía topográfica 1:50.000, Imágenes satelitales, inventario de fenómenos	Geología regional y local, Pendiente (30° y 40°), Relieve, Densidad de drenaje, Curvatura, relación de Melton, índice de riesgo por deslizamientos
Märker, et al.	Etiopía	Evaluación estocástica de deslizamientos de tierra y flujos de escombros en la cuenca Jemma, Blue Nile, Etiopía Central	Imágenes de Google Earth, imágenes satelitales, fotografías aéreas, DEM (30 x 30) trabajo de campo, inventario de fenómenos, GIS software, Boosted Regression Trees (BRT) y Maximum Entropy Method (MEM)	Topografía, índice de energía de la corriente, índice de capacidad de transporte, pendiente del terreno, curvatura, relieve, exposición del terreno, longitud de la corriente, profundidad del valle.
Guinau, et al.	Nicaragua	Evaluación estadística de la susceptibilidad por <i>debris flow</i> basado en GIS software en el NW de Nicaragua	DEM (20x20), inventario y mapa de deslizamientos, GIS software	Relieve, Pendiente, curvatura, morfodinámica
Huang Li-Jeng	Taiwán	Aplicación de Proceso Jerárquico Analítico (AHP) a la evaluación de riesgos de riesgos de <i>debris flow</i>	Modelo heurístico y GIS software, datos de precipitación, inventario de deslizamientos	Topografía, pendiente, geología, tipo de depósitos, distribución del tamaño de grano, vegetación, condiciones de la cuenca

		en Sen-Mu y Hua-San Villages, Taiwán		(área y régimen de sedimentos), precipitaciones (intensidad, duración y acumulación)
Tung-Chiung Chang, et al.	Taiwán	Modelo estocástico para predecir <i>debris flow</i>	Métodos: <i>The neural network (NN)</i> y <i>the genetic algorithm (GA)</i>	Condiciones fisiográficas, suelos residuales, área de la Cuenca, longitud del cauce principal, pendiente del terreno, condiciones hidrológicas, humedad, precipitaciones
Lin, et al.	Taiwán	Evaluación estadística de riesgos por <i>debris flow</i> y GIS en Taiwán Central	GIS Software, trabajo de campo, mapas topográficos y geológicos, inventario de deslizamientos, fotografías aéreas, DTM (40x40)	Geología, tectónica regional (Fallas geológicas), Suelos desnudos, pendiente del terreno, curvatura, pendiente de la corriente, área de la cuenca, factor forma de la cuenca, cobertura y uso de suelos.
LIU, et al.	Taiwán	Simulación numérica de <i>debris flow</i> en Taiwán Oriental	DEBRIS – 2D Software	Volumen total, tensión de fluencia y pendiente para la dispersión del <i>debris flow</i> en la escala de laboratorio
Montoya, Silva y González	Colombia	Evaluación de zonas de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas. caso de aplicación a la quebrada Doña María	Software IDRISI Kilimanjaro, DEM (10x10), mapa geológico, mapa geomorfológico y mapa cartográfico	Red de drenaje acumulada, índice de Melton, pendientes, distancia a los cauces, geología, geomorfología
INGEOMINAS	Colombia	Guía metodológica para la zonificación de amenazas	GIS Software, topografía digital. Fotografías aéreas	Geología, geomorfología, geotecnia, análisis hidráulico,

		por fenómenos de remoción en masa – método univariado - y escenarios de riesgo por avenidas torrenciales		cobertura y uso de suelo, pendientes, precipitación, morfodinámica
Sepúlveda, Patiño y Rodríguez	Colombia	Metodología estadística para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: caso Útica, Cundinamarca, Colombia	GIS software, software FLO – 2D, DEM (10x10 y 5x5), fotografías aéreas, cartografía geológica y topográfica	Pendiente, naturaleza de los materiales geológicos, cobertura y uso de suelo, curvatura, espesor de los estratos.
CONARADE	Colombia	Zonificación de riesgo por movimientos en masa inundación y avenidas torrenciales. (método indirecto)	Trabajo de campo, cartografías geológica y topográfica, trabajos previos, GIS software, Software HydroSIG, software SIG Global Mapper 11.0, GPS, Cámaras fotográficas, base de datos hidrológica	Pendiente, precipitación, morfología, cobertura vegetal, materiales superficiales, cuencas, estructuras geológicas, fallas, inventario de deslizamientos, actividad sísmica
Gastulo	Perú	Evaluación del riesgo en el Asentamiento Humano Perú - Jaén ante el peligro de Huaycos. (análisis estadístico)	Imágenes satelitales, inventario de movimientos en masa, software AutoCAD Civil 3D 2012, base de datos de precipitaciones, visitas de campo	Área de la cuenca, longitud del cauce principal, pendiente promedio de la cuenca, morfogénesis, geomorfología, geología local, taxonomía de suelos, precipitaciones.
Badilla	Costa Rica	Evaluación de riesgo de inundación, vulnerabilidad y riesgo en la ciudad de	Software GIS (ILWIS 3.0), fotografías aéreas, visitas de campo, DEM, inventario	Cobertura y uso del suelo, geomorfología, erosión fluvial,

		Turrialba, Costa Rica	de flujos, base catastral,	
Peters, et al	Guatemala	Zonificación de Amenazas Naturales en la cuenca del río Samalá y Análisis de vulnerabilidad y riesgo en la población de San Sebastián Retalhuleu, Guatemala, Centro América (modelo semi – determinístico)	Software GIS, base de datos de precipitaciones, cartografía geológica y geomorfológica, registro histórico de erupciones volcánicas, DTM	Análisis geomorfológico, actividad fluvio – volcánica, comportamiento hidrológico, comportamiento geomecánico, precipitaciones, fallas locales, morfodinámica
Aris y Kamwaria	Costa Rica	Análisis de vulnerabilidad y evaluación de riesgos para riesgo sísmico y de inundación en la ciudad de Turrialba, costa rica	Registro histórico de sismos, GIS software (ILWIS), cartografía geológica y geomorfológica, visitas a campo,	Geología, geomorfología, taxonomía de suelos, comportamiento hidrológico, cobertura y uso de suelos, actividad sísmica

Fuente: Autor

A partir de la tabla anterior, se deduce que el comportamiento hidrológico y las características fisiográficas de cualquier zona de estudio juegan un papel fundamental en el tratamiento en entornos SIG (Sistemas de Información Geográfica) para evaluar la amenaza por avenidas torrenciales y flujos asociados. Los insumos que más se usan son los softwares SIG y de modelación de flujos, los modelos digitales de elevación o del terreno, bases de datos hidrometeorológicas, inventarios de movimientos en masa y sismos, cartografía topográfica, geológica y geomorfológica (primordialmente oficial) y elementos de teledetección (fotografías aéreas e imágenes satelitales). Las variables comunes usadas en las metodologías son la geología, geomorfología, pendientes, cobertura y uso del suelo, los parámetros de la cuenca hidrográfica y las precipitaciones, y dependiendo del método aplicado se anexan o excluyen factores. Cabe destacar también que el término “avenidas torrenciales” es usado en Colombia y Costa Rica de manera similar, mientras que en los demás países, estos fenómenos se tratan con diferentes conceptos.

En contraste, los métodos usados para evaluar la amenaza por estos flujos son diferentes, y tienen estrecha relación con el país en que se desarrollan. Por ejemplo, en Etiopía se aplican métodos estocásticos, en Colombia predominan los métodos estadísticos y en Taiwán se aplican análisis variados. Aun así, las metodologías estadísticas prevalecen sobre las demás para la evaluación de este tipo de amenaza.

En este orden de ideas, se muestra a continuación una concepción teórica, que incluye los aportes y vacíos que esta investigación ofrece respecto a la implementación de una metodología de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales que se pueda aplicar en Colombia.

8.1.1 Aportes de la investigación al desarrollo de una metodología de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales que se pueda aplicar en Colombia

8.1.1.1 Características políticas, culturales, sociales, de recursos disponibles y legales

En primera instancia, lo que hay que tener en cuenta antes de comenzar a tratar el desarrollo de las metodologías, es la situación actual del país, en cuestiones políticas, culturales, sociales y de recursos disponibles para definir métodos más adecuados. Colombia ha sido un país que por varias décadas ha vivido el conflicto armado entre fuerzas militares y varios grupos al margen de la ley; esta situación ha hecho inaccesibles algunas partes de territorio colombiano y, por tanto, no se cuenta con ningún tipo de información de esos lugares. El difícil acceso a ciertas zonas se da también por la ubicación de grupos aborígenes, que en determinadas épocas del año realizan rituales o consideran tierra sagrada algunos sectores y no permiten la entrada a esos terrenos, a personas ajenas a sus tribus. Este factor es importante traerlo a colación, ya que, esta circunstancia impide el correcto desarrollo del estudio de las avenidas torrenciales y su amenaza en todo el territorio nacional.

Partiendo de este aspecto, se tiene en cuenta que, si se pretende formalizar una metodología de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales en todo el país, van a haber zonas con deficiencia de datos e insumos necesarios. Con relación a esta situación, Jiménez afirma que “En Colombia se presentan diferentes estudios referidos a la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por fenómenos de remoción en masa, los cuales, en repetidas ocasiones, terminan en ellos mismos, puesto que quienes pueden aplicar los resultados obtenidos en los mapas, concentran su cuidado a los factores económicos y de orden público, dejando a un lado las condiciones naturales”⁹³. Es más, el colombiano promedio no sabe qué

⁹³ JIMÉNEZ, Op. Cit., p.8

hacer en caso de que ocurra un desastre natural, y menos en caso de una avenida torrencial, con lo impetuosas e impredecibles que son, precisamente porque no ha habido ocasiones, o más bien dinero suficiente, para capacitar a los más vulnerables. Colombia, en cuanto a recursos económicos, no está en condiciones de implementar metodologías de alto costo, por lo que hay que comenzar con tener en mente métodos de bajo costo. ¿Qué implica una metodología de bajo costo? Obviamente los resultados no van a ser tan exactos como lo serían con una metodología más sofisticada, pero eso no significa que no se puedan aplicar con muy buenos resultados.

Respecto a la parte legal, el decreto 1807 de 2014, en el capítulo 1 que trata de estudios básicos (escalas 1:5.000 – 1:25.000), y en el artículo 10 que trata sobre los estudios básicos de amenaza por avenidas torrenciales, tiene en cuenta como insumos básicos: la geomorfología, estudios hidrológicos de la cuenca (teniendo en cuenta el ciclo de sedimentos), análisis hidráulico del área a zonificar y la base cartográfica escala 1:2000. Además, como alcance, se solicita una calificación cualitativa de la amenaza, definida en tres categorías (alta, media y baja), además de restringir el tipo de metodologías a usar en estadísticas, determinísticas o probabilísticas.

8.1.1.2 Insumos temáticos disponibles (en base al Decreto 1807 de 2014)

8.1.1.2.1 Geología y geomorfología

Figura 9 Página web SGC



Fuente: <http://geoportal.sgc.gov.co/geoportalsgc/catalog/main/home.page>

Las entidades que ofrecen cartografía temática son el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC); el primero, encargado de la cartografía geológica colombiana ofrece un catálogo de planchas a escala 1.100.000 (con información litológica a nivel de formación y estructural convencional), con sus respectivas memorias explicativas que facilitan la caracterización litoestratigráfica de las unidades cartografiables a la escala necesaria; mapas geológicos a mayor detalle pueden encontrarse en las páginas oficiales de las gobernaciones o alcaldías, aunque por lo general, se acostumbra actualizar la cartografía haciendo estudios de campo. En cuanto la geomorfología, ofrecen las planchas geomorfológicas que ofrece el SGC, esenciales para definir parámetros de morfología, morfodinámica y morfogénesis. Esta entidad no sólo se ofrece cartografía geológica; al alcance están los visores de Atlas Geológico de Colombia de 2007 y 2015, información geomorfodinámica, amenaza sísmica,

mapa geológico de Colombia, potencial carbonífero, amenaza por movimientos en masa, amenaza volcánica, programas de exploración de aguas subterráneas (2005), mapa de estaciones GNSS (2016), mapa de datos geofísicos, mapa metadato geográfico, mapa inventario de muestras de litoteca, mapa inventario nacional de manifestaciones hidrotermales y mapa sísmico.

Figura 10 Geoportal IGAC



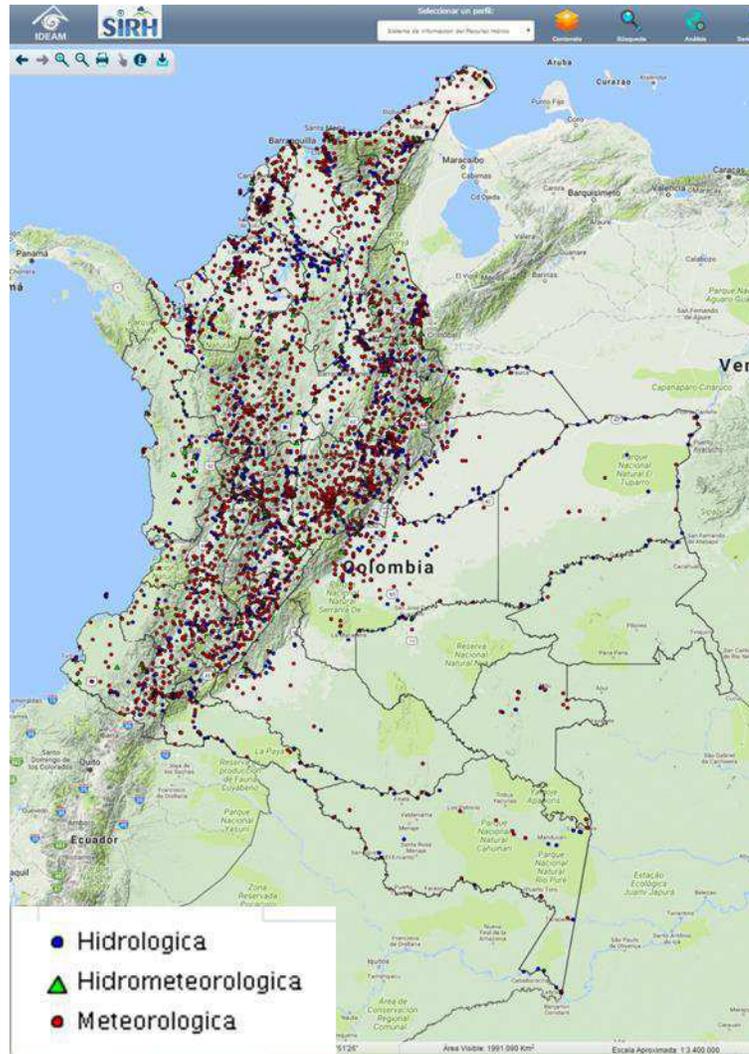
Fuente:

<http://ssiglwps.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapald=7&title=Mapa%20Base>

El IGAC por su parte ofrece cartografía topográfica a escalas 1.500.000 hasta 1.10.000; al igual que las planchas geológicas, si se necesita a mayor detalle y actualización, es necesario realizar mapas nuevos. Planchas de catastro y suelos, venta fotografías aéreas y modelos digitales de elevación hacen parte de los servicios ofrecidos por el IGAC.

8.1.1.2.2 Hidrometeorología

Figura 11 Mapa de estaciones (IDEAM)



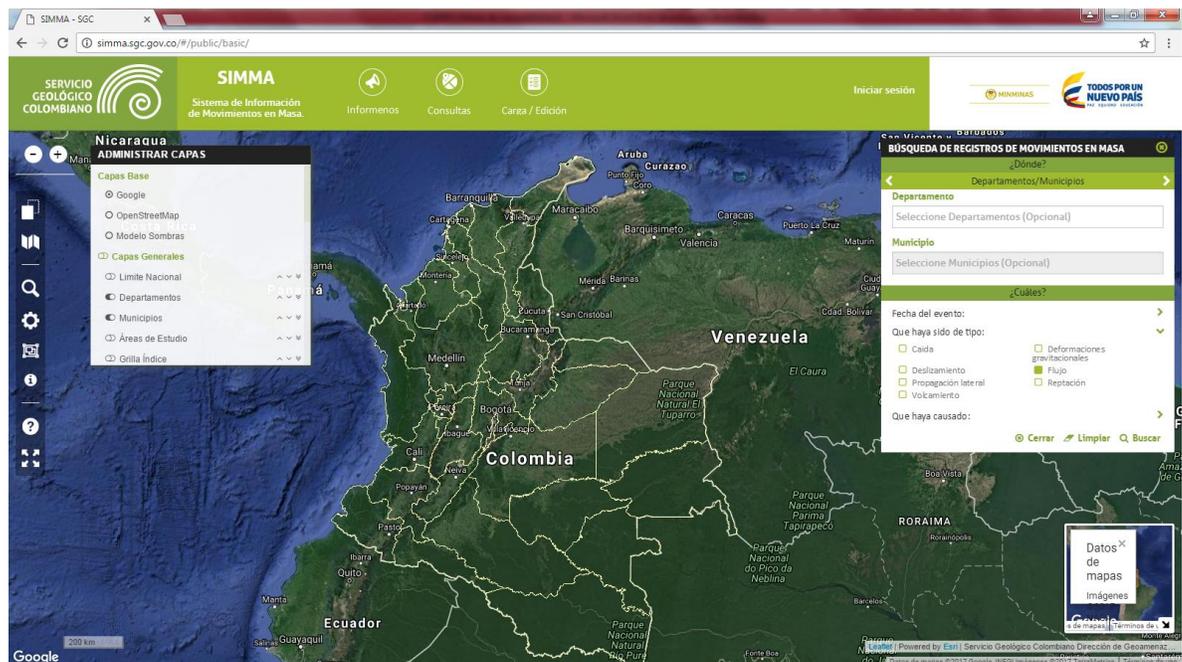
Fuente: IDEAM

En un gran porcentaje del territorio colombiano, los factores hidrometeorológicos están continuamente monitoreados. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) tiene a disposición una red de estaciones hidrológicas, hidrometeorológicas y meteorológicas registrando datos de lluvia, humedad, luz solar, evapotranspiración, entre otros factores, de forma

ininterrumpida. Estos datos son necesarios hacer el estudio hidrológico de una cuenca y para explicar la ocurrencia de avenidas torrenciales, ya que las lluvias extraordinarias y su comportamiento, son factor detonante de estos fenómenos. Como se puede observar en el mapa de estaciones (Figura 11), el monitoreo en los llanos orientales y la costa pacífica es deficiente respecto al resto del país, por lo que, si se van a realizar estudios de amenaza por avenidas torrenciales o inundaciones (caso del llano), los datos hidrometeorológicos serán insuficientes. Esta entidad se encarga también del pronóstico del tiempo y las alertas tempranas de temporadas tempestuosas. La información que se recolecta por medio de las estaciones está disponible de manera gratuita.

8.1.1.2.3 Catálogo de flujos

Figura 12 Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA)



Fuente: <http://www.simma.sgc.gov.co/#/public/basic/>

En Colombia está implementado el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), como acción facilitadora del registro de estos fenómenos ocurridos en todo el territorio nacional. El catálogo cuenta con la ubicación,

características y fotografías de los desastres, clasificados por tipos, es decir, la búsqueda inteligente permite encontrar movimientos en masa según su clasificación (caída, deslizamiento, propagación lateral, volcamiento, deformaciones gravitacionales, flujos y reptación); para el caso de la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales, está disponible un inventario especial, aunque en caso de estudios de detalle es importante (1) corroborar la información haciendo uso de fotointerpretación y visitas de campo y (2) actualizar el inventario local con eventos recientes o antiguos que no se han reportado en el SIMMA.

En cuanto al personal capacitado, está constituida la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), con profesionales altamente experimentados en geología, geomorfología, hidráulica y en el campo de la prevención y mitigación de los riesgos geológicos y que pueden hacer un excelente trabajo de interpretación de datos y evaluación de amenazas.

8.1.1.3 Tipo de la metodología a emplear

El Decreto 1807 de 2014, limita el tipo de metodologías de evaluación a métodos estadísticos, determinísticos o probabilísticos. Por tanto, métodos directos, estocásticos y heurísticos no son recomendables para evaluar la amenaza por avenidas torrenciales.

Ahora bien, es importante mencionar que la evaluación de la amenaza parte de un estudio previo, el de la susceptibilidad; además, atendiendo a que las avenidas torrenciales tienden a ser fenómenos extensos, la evaluación de la amenaza debe realizarse tanto a la zona de génesis y transporte (cuenca) como a la zona de explaye (donde por lo general se encuentran los cascos urbanos). Los análisis determinísticos suelen ser más costosos que los demás, ya que para hallar factores de seguridad es necesario encontrar parámetros de resistencia del terreno y para ello se involucran ensayos de laboratorio. En este orden de ideas, y

teniendo en cuenta los factores mencionados en los literales anteriores, los métodos que se podrían llevar a cabo de manera más sencilla y económica serían los estadísticos y probabilísticos.

Según Olaya y Mora⁹⁴, la evaluación probabilística en Colombia, en cuanto el riesgo generado por amenazas hidrometeorológicas, los métodos probabilísticos han sido usados principalmente para el peligro asociado a las inundaciones (diferentes a las avenidas torrenciales). Por ejemplo, el IDEAM llevó a cabo la zonificación de amenazas por inundación a nivel nacional, teniendo como base periodos de retorno de 2.33 a 100 años, y para el 2013, junto a la Universidad nacional de Colombia ejecutaron el estudio de zonificación de amenazas por Inundaciones a escala 1:2000 y 1:5000, aplicado en los municipios de Fundación, Plato, Mornil, Girón, Puerto Boyacá, Paipa, La Virginia, Tuluá, La Victoria y Pitalito. Además, estos mismos autores concluyen que en las metodologías probabilísticas aplicadas en Colombia, “existe una disociación entre lo que se pretende comunicar por medio de estas metodologías y sus principales resultados, con las decisiones que se pueden y deben tomar a la luz de los mismos para aportar a la gestión del riesgo.”⁹⁵ El método probabilístico poco ha sido usado en la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales, y pese a los avances que se han tenido en la evaluación probabilística del riesgo, no han sido suficientes y existen vacíos aún, que incrementan el incertidumbre en los resultados obtenidos.

En su trabajo, González⁹⁶ determina que los métodos estadísticos bivariados son los más adecuados para evaluar la amenaza por avenidas torrenciales.

⁹⁴ OLAYA, J. C., & Mora, M. (2016). Estado del arte de estudios de Evaluación Probabilista de Riesgo en Colombia. Bogotá, p. 100

⁹⁵ Ibid., p. 110

⁹⁶ González, M. (2015). Comparación entre los métodos heurístico, estadístico univariado y estadístico bivariado, para la zonificación de amenazas por movimientos en masa a escala 1:25.000 en el municipio de Santa Bárbara, departamento de Antioquia. Medellín: Universidad EAFIT.

En conclusión, teniendo en cuenta lo anterior y la urgencia de la creación de una metodología de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales aplicable en Colombia, los métodos estadísticos serían los más adecuados, aunque métodos probabilísticos pueden aplicarse en apoyo.

8.1.1.3.1 Aspectos importantes para tener en cuenta para el desarrollo de los métodos estadísticos.

8.1.1.3.1.1 Escala de trabajo

En el Decreto 1807 de 2014, hace referencia sólo a estudios básicos de amenaza por avenidas torrenciales. Las escalas de trabajo para tener en cuenta se muestran en la tabla 9.

Tabla 10 Escalas de trabajo

TIPO DE ESTUDIO	CLASE DE SUELO	ESCALA
Estudio Básico	Urbano	1:5.000
	Expansión urbana	1:5.000
	Rural	1:25.000
Estudio Detallado	Urbano	1:2.000
	Expansión urbana	1:2.000
	Rural	1:5.000

Fuente: Decreto 1807 de 2014

Los estudios básicos comprenden entonces escalas 1:25.000 y 1:5.000 según la clase de suelo, así que esas serán las escalas para tener en cuenta en la evaluación de amenazas por avenidas torrenciales.

8.1.1.3.1.2 Evaluación y zonificación de la susceptibilidad

8.1.1.3.1.2.1 Método de relación de frecuencias

Esta sección, está realizada en base a la zonificación de susceptibilidad hecha por Lepore et al⁹⁷ (Puerto Rico) y de Sepúlveda y Patiño⁹⁸ (Colombia), en las que el método estadístico indicado para realizar el análisis de susceptibilidad es el método bivariado de relación de frecuencias, ya que, el ajuste de los resultados es el mejor respecto a la aplicación de otros métodos. Ésta técnica, basada en el uso de SIG, se define como “la razón aritmética entre el área o número de pixeles de clase (para cada variable), que es efectivamente afectada por flujos de detritos, y el área total de la clase, de la variable considerada.”⁹⁹ Matemáticamente, esta relación se determina por la siguiente ecuación:

$$F_r = \frac{\frac{N_{pix}(FD)}{N_{pix}(FDt)}}{\frac{N_{pix}(A)}{N_{pix}(At)}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde,

Fr = valor de la relación de frecuencias

Npix(FD) = número de pixeles que contienen flujos de detritos en la clase de la variable temática.

Npix(FDt) = número de pixeles totales que contienen flujos de detritos.

Npix(A) = número total de pixeles para la clase de la variable considerada

Npix(At) = número de total pixeles dentro de la zona de estudio.

⁹⁷ LEPORE, Op. Cit., p. 1667-1681

⁹⁸ Sepúlveda, A., & Patiño, J. (2016). Metodología para la evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, p 72

⁹⁹ BONHAM Carter (1994) citado por SEPÚLVEDA, Op. Cit., p. 73

Lepore¹⁰⁰ dice que, si la relación es menor a 1, hay menor correlación entre la ocurrencia de flujos y las variables tenidas en cuenta, si es igual a 1, dicha correlación entre la generación de flujos y las variables del entorno es igual, y si es mayor a 1, habrá mayor correlación.

8.1.1.3.1.2.2 Variables para tener en cuenta para hallar el índice de susceptibilidad

Lo primero que hay que realizar antes de hacer cualquier análisis, es el inventario de avenidas torrenciales, ya que, en base a este, se superpondrán los mapas temáticos para la relación de frecuencias. Para realizar este inventario, puede consultarse el historial de flujos que presenta el SIMMA, las corporaciones autónomas regionales, la UNGRD, o alcaldías, aunque es importante actualizar el inventario con eventos presentes o antiguos que no se encuentren allí, mediante herramientas de teledetección y trabajo de campo, haciendo énfasis especial en las márgenes de los cuerpos de agua. El inventario debe contar con información de cada fenómeno, incluyendo “localización geográfica y documental del evento, actividad del movimiento, litología y estratigrafía, clasificación del movimiento, morfometría, causas del movimiento, cobertura y uso del suelo, importancia del evento, daños, erosión asociada y observaciones”¹⁰¹. El siguiente paso es la ubicación espacial de los fenómenos (cada uno con sus atributos) en el entorno SIG, en forma de polígonos.

El estudio de la susceptibilidad por avenidas torrenciales tiene en cuenta los factores condicionantes de estos fenómenos, como lo son la litología, la curvatura, la pendiente, dirección de la pendiente, la cobertura y uso del suelo, el espesor de los estratos superficiales, las distancias a las fallas y las distancias a las vías. Las

¹⁰⁰ LEPORE, Op. Cit., p. 1670

¹⁰¹ SEPÚLVEDA, Op. Cit., p. 70

categorías de cada variable se determinan pues, con el tratamiento estadístico relacionado con los eventos históricos registrados en el inventario de avenidas torrenciales.

El índice de Susceptibilidad estaría determinado por:

$$IS = L_{fr} + C_{fr} + P_{fr} + DP_{fr} + Gm_{fr} + C\&US_{fr} + E_{fr} + DF_{fr}$$

Ecuación 7

Donde L_{fr} es la Litología ponderada, C_{fr} es la curvatura ponderada, P_{fr} es la Pendiente ponderada, DP_{fr} es la dirección de la pendiente ponderada, Gm_{fr} es la Geomorfología ponderada, $C\&US_{fr}$ es la Cobertura y Uso del Suelo ponderados, E_{fr} es el Espesor de los estratos superficiales ponderado y DF_{fr} es la Distancia a las Fallas ponderada. Antes de superponer las capas temáticas estas deben presentar clases. Así, por ejemplo, pueden clasificarse:

- La litología en base a las formaciones geológicas de la plancha geológica base y previamente actualizada a la escala necesaria.
- La Curvatura en base a los rangos propuestos por Chrustek¹⁰²:

Tabla 11 Rangos de curvatura

Forma del relieve	Valor
Cóncavo	< -0.2
Plano	+0.2 a -0.2
Convexo	> +0.2

¹⁰² CHRUSTEK, (2000). Avalanche risk assessment in the Tatra Mts. Citado por SEPÚLVEDA, Op. Cit., p. 55.

Fuente: CHRUSTEK, (2000). Avalanche risk assessment in the Tatra Mts. Citado por SEPÚLVEDA, Óp. Cit., p. 55.

- La Pendiente, medida en grados, se puede clasificar según Carvajal¹⁰³ como:

Tabla 12 Rangos de pendientes para estudios geomorfológicos

Inclinación (Grados)	Descripción
0 – 5°	Plana a suavemente inclinada
5,000000001 - 10°	Inclinada
10,000000001 -15°	Muy Inclinada
15,000000001 – 20°	Abrupta
20,000000001 – 30°	Muy abrupta
30,000000001 – 45°	Escarpada
45,000000001 – 89,9999999	Muy Escarpada

Fuente: CARVAJAL, H. (2008). Primeras aproximaciones a la estandarización de la geomorfología en Colombia. Citado por COLOMBIANO, S. G. (2012). Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá: Archivo PDF, p. 31

- La dirección de la pendiente en ocho categorías (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW)
- La geomorfología se clasifica teniendo en cuenta el glosario de términos geomorfológicas que aplica el Servicio Geológico Colombiano.¹⁰⁴

¹⁰³ CARVAJAL, H. (2008). Primeras aproximaciones a la estandarización de la geomorfología en Colombia. Citado por COLOMBIANO, S. G. (2012). Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá: Archivo PDF, p. 31

- La Cobertura y Uso del Suelo en base a “Leyenda nacional de coberturas de la tierra metodología *CORINE Land Cover* Adaptada para Colombia, escala 1:100.000”¹⁰⁵, actualizada a la escala necesaria.
- El Espesor de los estratos superficiales en base a la metodología descrita por Sepúlveda y Patiño¹⁰⁶
- La Distancia a las Fallas en base a alguna clasificación estándar preferente.

8.1.1.3.1.2.3 Mapeo de la susceptibilidad

Teniendo cada mapa temático reclasificado en base a la relación de frecuencias respectiva, mediante un software SIG, se suman y el resultado será el mapa de susceptibilidad por avenidas torrenciales. El mapa final de susceptibilidad se categorizará en alta, media y baja.

“Algunos estudios han empleado el procedimiento propuesto por Náquira, según el cual la clasificación de susceptibilidad estará dada de la siguiente forma:

- **Susceptibilidad Alta:** Corresponden al 25% de los valores más altos de susceptibilidad.

¹⁰⁴ COLOMBIANO, S. G. (2012). *Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000*. Bogotá: Archivo PDF. Anexo 1.

¹⁰⁵ IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi, Asocars, UPTC, UAESPNN. 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Citado por COLOMBIANO, S. G. (2013). Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá, p. 86

¹⁰⁶ SEPÚLVEDA, Op. Cit., p. 60 – 66

- **Susceptibilidad Media:** Corresponden a los valores entre el 25% y el 45% más altos de susceptibilidad.
- **Susceptibilidad Baja:** Corresponden al 45% de los valores más bajos de susceptibilidad.¹⁰⁷

La clasificación del mapa se puede realizar haciendo uso de SIG (ArcGIS), mediante el método de Cuantil para tres categorías que ofrece el software. Terminado el mapa se realiza la respectiva validación espacial del mapa.

8.1.1.3.1.3 Evaluación y zonificación de la amenaza

La evaluación y la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales parten del tratamiento aritmético que se puede realizar en un entorno SIG, entre el mapa de susceptibilidad y los mapas de factores detonantes. El cálculo para zonificar la amenaza, Vargas¹⁰⁸ lo plantea la siguiente ecuación:

$$H = S_{fx} + Fl_{fx} + Fd_{fx} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde, **H** es la amenaza, **S_{fx}** es la susceptibilidad el terreno ponderada, **Fl_{fx}** es la inestabilidad del terreno ponderada y **Fd_{fx}** es la acción de los factores detonantes ponderados. El resultado de este cruce de mapas es el mapa final de amenazas por avenidas torrenciales, clasificado en alta, media y baja como lo indica el decreto 1804 de 2014.

¹⁰⁷ NÁQUIRA, M. (2014). Susceptibilidad de Remociones en Masa en las Costas de Fiordos Cercanos a Hornopirén, X Región. Citado por SEPÚLVEDA, Op. Cit., p.

¹⁰⁸ VARGAS G. 1995. Developpment de methodes de cartographie des mouvements de masse et zonage de L'area das les Andes de Colombie. Citado por CASTRO, Vargas y Moreno, Op. Cit.

8.1.1.3.1.3.1 Variables para tener en cuenta para evaluar la amenaza

Para evaluar la amenaza por avenidas torrenciales se tiene en cuenta el mapa de susceptibilidad descrito más arriba, asociado a los factores detonantes de estos fenómenos, como los son las fuertes precipitaciones, la ocurrencia de movimientos en masa y la actividad volcánica. Es importante agregar que, si se pretende crear una metodología aplicable a toda Colombia, se debe tener en cuenta las avenidas torrenciales que se produzcan por fallos de almacenes (tipo presa o embalse).

8.1.1.3.1.3.1.1 La susceptibilidad en el análisis de la evaluación de amenaza

El mapa de susceptibilidad es uno de los agentes usados para hallar la amenaza; se determina usando el método de relación de frecuencias (ver método de relación de frecuencias) y se clasifica en alta, media y baja.

8.1.1.3.1.3.1.2 La inestabilidad del terreno en la evaluación de la amenaza

Para este caso se usa el mapa de amenaza por fenómenos de remoción en masa de la zona de estudio, clasificado en alta, media y baja. Dentro de esta evaluación estará incluida la amenaza sísmica, ya que hace parte de la zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa.

8.1.1.3.1.3.1.3 Los factores detonantes en la evaluación de la amenaza

8.1.1.3.1.3.1.3.1 Las precipitaciones como factor detonante

Para obtención del mapa de umbrales de lluvia críticas como factor detonante de flujos torrenciales se aconseja la metodología propuesta por Sepúlveda y Patiño

donde usa el método probabilístico de determinación propuesto por Mayorga¹⁰⁹, basado en la precipitación acumulada o antecedente a los desastres naturales, teniendo en cuenta la siguiente secuencia:

Se parte de la obtención de registros de precipitación diaria de la zona, antecedentes de 3 a 6 meses, a avenidas torrenciales históricas. Se realiza el gráfico de lluvia acumulada (duración en días vs precipitación acumulada medida en milímetros), tomando como día de inicio aquel en que sucedió el desastre. La curva se realiza de forma regresiva con tal de obtener el periodo donde la precipitación se iguala a cero, es decir, donde se determina la precipitación acumulada.

La probabilidad de que se presente una avenida torrencial está definida por:

$$P \left(\frac{\text{deslizamiento}}{X1, X2} \right) = \frac{1}{(1 + e^{-z})} \quad \text{Ecuación 9 (Mayorga}^{110})$$

Donde,

$$z = -19.2837 + 0.1546 * D + 0.0336 L_{EV_D} + 16.0931 R_{LL_D} + 0.00152 ALT$$

Ecuación 10

Con LL_EV_D como lluvia evento diaria (mm), ALT como altitud (msnm), R_LL_D como relación entre la lluvia acumulada diaria y lluvia anual (mm) y D como la duración en días. Este cálculo se realiza para cada estación hidrometeorológica tenida en cuenta.

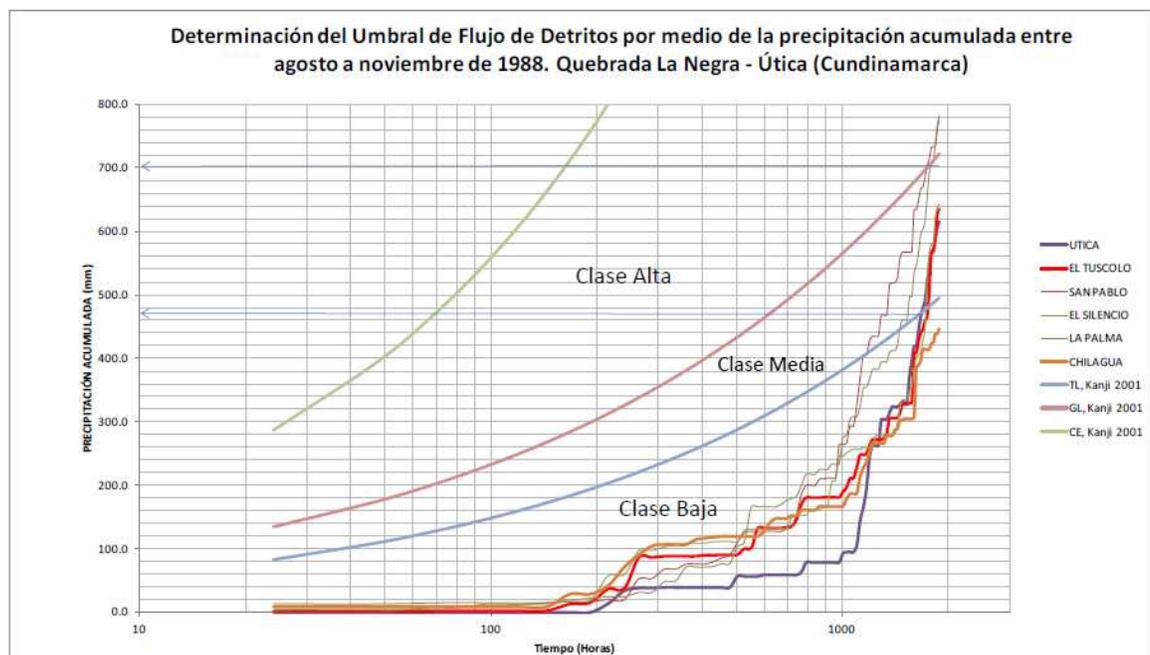
¹⁰⁹ MAYORGA (2003). Determinación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en Colombia. Citado por SEPÚLVEDA, Op. Cit., p. 81

¹¹⁰ MAYORGA (2003). Determinación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en Colombia. Citado por SEPÚLVEDA, Op. Cit., p. 83

De los resultados obtenidos en el proceso anterior, se realiza la gráfica de probabilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales (%) vs precipitación acumulada (mm).

Para la determinación de los umbrales, en la gráfica Precipitación acumulada (mm) vs tiempo (horas), en escala logarítmica, se superponen las curvas de Kanji¹¹¹ que clasifica estas acumulaciones en clase alta, clase media y clase baja según su influencia en la generación de flujos de detritos, y en los puntos de corte entre las curvas serían los umbrales propiamente dichos.

Figura 13 Ejemplo de determinación de umbrales de lluvia crítica



Fuente: Sepúlveda, A., & Patiño, J. (2016). Metodología para la evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, p 94

¹¹¹ KANJI (2003). Debris flows in areas of residual soils: occurrence and characteristics. Citado por SEPÚLVEDA, Op. Cit., p. 94

Descripción de la imagen: “Determinación del Umbral de Flujo de Detritos por medio de la precipitación acumulada entre septiembre a noviembre de 1988 para la cuenca Quebrada La Negra y las curvas detonantes de flujo de detritos de Kanji en 2001.”¹¹²

Para determinar el periodo de retorno correspondiente a la precipitación máxima probable en cada estación pluviométrica, se usa el método de distribución de probabilidades pluviométricas de Gumbel, los resultados modelados en polígonos de Thiessen (ArcGIS), el uso de las curvas IDF (Intensidad, duración y frecuencia) y relaciones de probabilidad.

El resultado de este proceso es el mapa de umbrales de ocurrencia de precipitación detonante de avenidas torrenciales, clasificado en alto, medio y bajo.

8.1.1.3.1.3.1.3.2 La actividad sísmica como factor detonante

El estudio de la actividad sísmica como factor detonante de avenidas torrenciales se limita a la generación de enjambres de movimientos en masa. En caso de que en la zona de estudio no haya una zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa, de todas maneras, se debe hacer la evaluación de la amenaza por actividad sísmica, relacionando la tectónica de la zona y la sismicidad histórica.

Para este factor, Climent et al¹¹³ desarrollaron una metodología determinística para definir la amenaza sísmica. El método consiste en:

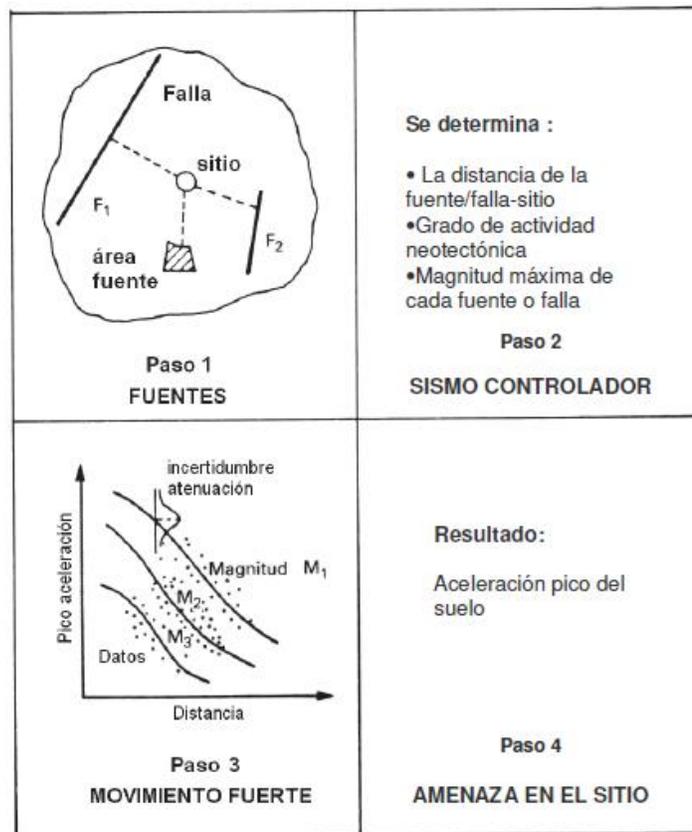
- Definir las principales fuentes sísmicas o fallas con actividad sísmica reciente.

¹¹² SEPÚLVEDA, Op. Cit., p. 94

¹¹³ CLIMENT et al Op. Cit., p 12

- Determinar el potencial sísmico o magnitud máxima de la actividad neotectónica, sismicidad histórica y longitud de la falla.
- El siguiente paso es, teniendo en cuenta el potencial sísmico y la distancia de cada una de las fuentes sísmicas, aplicar una ecuación de atenuación de las señales sísmicas, para calcular el nivel de intensidad sísmica en unidades de Intensidad de Mercalli.

Figura 14 Esquema simplificado para la estimación determinística de la amenaza



Fuente: Climent, A., Salgado, D., Slob, S., & Westen, C. J. (2003). *Amenaza Sísmica y Vulnerabilidad Física en la ciudad de Cañas, Guanacaste, Costa Rica*. <https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio>

La amenaza sísmica es determinada con base a la definición de escenarios sísmicos específicos, teniendo en cuenta la sismicidad histórica y el potencial de cada fuente sísmica de generar sismos.

Definidos los escenarios sísmicos, haciendo uso de un software SIG, se prepara el mapa de distancias, y en ellos se desarrolla la ecuación de atenuación de señales sísmicas para obtener valores de aceleración horizontal pico, tanto para suelos como rocas. La ecuación está definida como:

$$\ln A = -1.687 + 0,553 * M - 0.537 * \ln(r) - 0,00302 * r + 0.327 * S + \ln e$$

Ecuación 11

Donde, A es la aceleración horizontal pico (m/s^2), M es la magnitud del momento (Mw), r la distancia hipocentral, S=0 para rocas y S=1 para suelos, y $\ln e$ es el término relacionado con el error de estimación (0,75). “La ecuación anterior relaciona el nivel de aceleración con el tamaño del sismo (magnitud), la distancia de ocurrencia del evento y la condición de la geología superficial local del sitio a evaluar.”¹¹⁴

El resultado es el mapa de amenaza sísmica, que podría clasificarse en alta, media y baja en base al método de Cuantil de ArcGIS, por ejemplo.

8.1.1.3.1.3.1.3.3 Factores opcionales: La actividad volcánica y el fallo de almacenes como factor detonante

Obviamente estudios de amenaza por actividad volcánica no se realizan en zonas donde no hay volcanes, al igual que estudios de amenaza por fallo de almacenes donde no hay represas o embalses cerca. Estas variables entonces son opcionales, es decir, se aplican si las condiciones de la zona lo ameritan.

¹¹⁴ CILMENT et al (2003), Op. Cit., p 13

- Actividad volcánica como factor detonante

La consecuencia principal de la actividad volcánica es el descongelamiento de los nevados. “Las avenidas torrenciales pueden generarse por erupciones volcánicas y deshielo o por acumulación de capas gruesas de cenizas sueltas.” ¹¹⁵ El Servicio Geológico Colombiano dispone de un mapa de amenaza volcánica que podría usarse como capa temática para evaluar la amenaza por avenidas torrenciales. Vale aclarar que los avances en el estudio de avenidas torrenciales por causas volcánicas no son suficientes para generar mapas de amenaza propios, y por ello, se cuenta con los mapas oficiales del SGC.

- Fallo de almacenes como factor detonante

El Instituto Geológico y Minero de España¹¹⁶ propuso en el 2009 una metodología para elaborar cartografía de peligrosidad por avenidas e inundaciones, donde uno de los factores para tener en cuenta es el fallo de almacenes, entendiéndolos como embalses, que, a pesar de ser represamientos controlados, pueden seguir la lógica del represamiento de cauces por fenómenos de remoción en masa.

Como punto de partida, se tuvo en cuenta la información de las características de las presas y la estimación de avance de ondas de avenidas generadas por su rotura, tomada de los Planes Especiales de Emergencia de Presas. Las variables que resultaron de esta documentación fueron

- La capacidad del embalse: Esta variable determina la magnitud de la avenida en función del volumen máximo de agua almacenada.

¹¹⁵ MONTOYA, Op. Cit., p. 17

¹¹⁶ ESPAÑA, I. G. (2009). Metodología para la elaboración de cartografía de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Madrid.

- El alcance de la onda de avenida: Representa la distancia que recorrería la avenida por la rotura de la presa.
- La distancia a los núcleos urbanos a los ríos: Representa la probabilidad de alcance de la avenida a una población.

Es apenas una concepción general de una realidad poco tenida en cuenta en la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales. Fallas en los embalses por deterioro de la estructura o terremotos, son variables que deben tenerse en cuenta.

8.1.1.3.1.3.2 Mapa de amenaza

El mapa de amenaza es el resultado de la operación algebraica realizada en entorno SIG, representada en la ecuación 8 (Ver ecuación 8, página 102) teniendo en cuenta la susceptibilidad el terreno ponderada y la acción de los factores detonantes ponderados. Es importante aclarar que dentro de los rangos finales de la amenaza (alta, media y baja) deben expresarse subclases relacionadas a los procesos de daño generadores de las avenidas torrenciales: los impactos, las presiones, la socavación lateral y las acumulaciones (Ver Figura 1 y Figura 2)

8.1.1.3.1.4 Evaluación de la amenaza en la cuenca

La evaluación de la amenaza en la cuenca se realiza siguiendo la metodología explicada en los literales anteriores. La amenaza de la cuenca a la ocurrencia avenidas torrenciales está determinada por el mapa de susceptibilidad de la cuenca adicionando el mapa de umbral de lluvias y el mapa de amenaza sísmica. La amenaza volcánica y por fallo de almacenes es adicionada también si es pertinente.

8.1.1.3.1.5 Evaluación de la amenaza en el casco urbano

Para el casco urbano, la evaluación de la amenaza se determina mediante la modelación de la avenida torrencial (ver nuevas técnicas y tecnologías). La simulación refleja el comportamiento del flujo y de la depositación de los sedimentos. Las zonas de amenaza se evalúan teniendo en cuenta la intensidad del fenómeno y la probabilidad de ocurrencia.

Antes de modelar el flujo en cualquier software es importante tener en cuenta los parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica. Estos parámetros pueden hallarse con herramientas SIG y estimaciones matemáticas. Así, los parámetros morfométricos relevantes de la cuenca son el área, la elevación mínima y máxima, la jerarquía de los drenajes, longitud del drenaje principal y la pendiente promedio.

Además de estos factores, es necesario hallar determinar las corrientes de drenaje de la cuenca, el tiempo de concentración de las subcuencas, el número de curva hidrológico de las cuencas, el caudal líquido, el volumen de sólidos y la concentración volumétrica. Para más información leer a Sepúlveda y Patiño¹¹⁷.

¹¹⁷ SEPÚLVEDA, Op. Cit., p. 102

9. CONCLUSIONES

- El trabajo contó con la documentación de 28 países de estudio, 15 pertenecientes a la zona intertropical (Arabia, Australia, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Etiopía, Guatemala, Honduras, Indonesia, Nicaragua, Perú, Puerto Rico, Taiwán) y 13 que no pertenecen (Austria, Canadá, Chile, China, Corea, España, Francia, Islandia, Italia, Nepal, Rusia, Eslovenia, Suiza), destacándose Colombia, España, Brasil, Perú y Taiwán con mayor aporte de información.
- El desarrollo último de las metodologías de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales son características de cada continente; en países desarrollados, se aplican las técnicas más sofisticadas e incluso son apoyo en otros países en el control de desastres naturales, mientras que, en países en vía de desarrollo, se practican metodologías de bajo costo y la falta de recursos no permite que las recomendaciones producto de la evaluación de la amenaza se cumplan a cabalidad.
- De los países comprendidos en la franja intertropical, se ha desarrollado un mayor número de metodologías en los países americanos que en los demás continentes; esto se debe a que la América intertropical ha sido objeto de estudio, desde hace varias décadas, de entidades internacionales, universidades prestigiosas y centros internacionales de investigación, para la evaluación de riesgos geológicos. Por otra parte, los avances significativos se han llevado a cabo en países asiáticos, como Arabia, Taiwán, China e Indonesia, en la realización de software de modelamiento de flujos torrenciales e innovación de técnicas estocásticas y determinísticas para la gestión del riesgo de desastres. África, por el contrario, debido a las condiciones difíciles que se viven en este continente, no se ha desarrollado un sistema de control

de desastres adecuado y es considerado como el continente más afectado por los desastres naturales, en pérdidas humanas y económicas.

- De las metodologías estudiadas, se concluye que las variables tenidas en cuenta en los estudios de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales son similares; por tanto, en base a los estudios analizados, para una metodología aplicable en Colombia intervienen factores condicionantes como la litología, curvatura, pendiente, dirección de la pendiente, geomorfología, cobertura y uso del suelo, el espesor de los estratos y la distancia a las fallas, y como factores detonantes, las precipitaciones, la generación de movimientos en masa, la actividad volcánica y el fallo de almacenes (represas y embalses).
- El fallo de almacenes es un factor detonante que no se ha utilizado en las metodologías elaboradas en Colombia, y debe tenerse en cuenta ya que algunas represas están situadas en zonas que, en caso de fallo, producirían avenidas torrenciales que afectarían gravemente cascos urbanos importantes.
- En Colombia, el registro histórico de flujos (referente al SIMMA) no está actualizado, es decir, hay fenómenos que no han sido reportados y los que lo están, carecen de información; este hecho ha dificultado los estudios de evaluación de amenaza, ya que se deben inventariar independientemente los fenómenos de forma local, pero los indicios de ocurrencia de los fenómenos en algunos casos ya no son visibles.
- La gestión del riesgo de desastres es una actividad obligatoria en todos los países. Es obligación de cualquier gobierno implementar planes de prevención, mitigación, control y monitoreo de desastres, además de sistemas de alertas tempranas y de atención de emergencia eficaces y la falta de recursos no es excusa para llevar a cabo estas acciones. Frente a estas problemáticas, alrededor del mundo se crean metodologías de evaluación de la amenaza y riesgo por desastres naturales de bajo costo, para que en aquellas zonas

donde los recursos son limitados, puedan emplearse con el fin de salvaguardar la vida y seguridad de aquellas familias en condición de vulnerabilidad. Además, se desarrollan técnicas nuevas e interesantes que impiden que la insuficiencia de datos de análisis sea excusa para la realización de estos importantes estudios.

- Las características físicas de cada país son muy diferentes, a pesar de pertenecer a la zona intertropical; la ubicación geográfica y las condiciones meteorológicas cambian de una región a otra y esto imposibilita la unificación de criterios para evaluar la amenaza por avenidas torrenciales; por tanto, el desarrollo de las metodologías deben partir de las condiciones de cada uno, y llevarse a cabo de manera individual, por ejemplo, una metodología aplicada en Colombia, será acertada sólo en Colombia, podrá ser usada como referente, pero no se podrá aplicar confiablemente en otro país.

- Respecto a Colombia, se han llevado a cabo metodologías de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales muy importantes y que han servido de referente para la creación de nuevas concepciones y el desarrollo de la gestión del riesgo de desastres; el estudio de estos fenómenos es continuo y por tal razón, existen ciertos vacíos en sus aplicaciones. Estas necesidades se expresan en la falta de información temática detallada, deficiencias en la conceptualización de los flujos y las variaciones en los modelos de evaluación, como el uso de diferentes variables condicionantes y detonantes de una metodología a otra. Las perspectivas técnicas que presentan las metodologías aplicadas en Colombia son diferentes y esto dificulta que se puedan combinar para crear una metodología integral.

10. RECOMENDACIONES

- Uno de los objetivos de este trabajo es construir una base teórica que sirva como base para la estandarización de una metodología de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales aplicable en Colombia, a partir de la definición del estado del arte de dichas metodologías desarrolladas en la zona intertropical; no se pretendió crear una metodología prototipo, por lo que ponderaciones respectivas de las capas temáticas, por ejemplo, deben calcularse con mayor detalle; de igual manera, los métodos y operaciones mencionados en este trabajo, son sólo recomendaciones, así que, se pueden integrar técnicas diferentes o más sofisticadas, según las condiciones de la época y las zonas de estudio.
- Para un mejor entendimiento de las avenidas torrenciales y su amenaza, se recomienda establecer un concepto técnico oficial sobre estos flujos, para que, en Colombia, se use como referente estándar en los estudios asociados.
- Es importante que se detalle más la información que el Decreto 1807 de 2014, ofrece respecto a la evaluación de amenaza por avenidas torrenciales, porque analizando lo que está establecido, permite tener perspectivas diferentes y diseños metodológicos variados.
- Para completar la información de los registros históricos de eventos y como apoyo en los cálculos de tasas de retorno, pueden usarse las técnicas dendrogeomorfológicas, usando la información de en los troncos de los árboles interpretada por botánicos que determinan las características de antiguas avenidas torrenciales.
- La base teórica que comprende este trabajo sirve de apoyo para la creación de una metodología de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales más completa, que se pueda aplicar a una cuenca piloto para evaluar los resultados

y sirva como herramienta para el correcto ordenamiento y desarrollo del territorio.

- En este trabajo se hace énfasis en métodos estadísticos para evaluar la amenaza por avenidas torrenciales, por ser los más económicos y teniendo en cuenta lo establecido en el decreto 1807 de 2014; no obstante, para futuros trabajos relacionados tener en cuenta los métodos determinísticos y probabilísticos para explorar otras posibilidades y que puedan contribuir a la gestión del riesgo de desastres.
- Hay escasa información sobre la incidencia de la actividad volcánica en la generación de avenidas torrenciales (factor detonante importante dentro de la evaluación de su amenaza), por tanto se recomienda realizar investigaciones relacionadas que permitan definir insumos y variables para integrarla a las metodologías de evaluación de amenaza por estos flujos.
- El Decreto 1807 de 2014 determina que la amenaza debe expresarse en tres clases (alta, media o baja); se recomienda tener en cuenta las solicitudes o procesos de daños que generan las avenidas torrenciales (impactos, las presiones, la socavación lateral y las acumulaciones), e incluirlas como anotaciones especiales a la amenaza clasificada.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril, N., Amaya, E., & Fonseca, H. (2015). Evaluación de amenazas por movimientos en masa causados en Jericó Boyacá, durante el período invernal de 2011. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(1), 6-13.
- Alharbi, T., Sultan, M., Sefry, S., ElKadiri, R., Ahmed, M., Chase, R., . . . Chounaird, K. (2014). An assessment of landslide susceptibility in the Faifa area, Saudi Arabia, using remote sensing and GIS techniques. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 14(1553–1564).
- Ballesteros, J. A., Pozo, J. M., & Díez-Herrero, A. (2011). Aplicación de las técnicas dendrogeomorfológicas al estudio de las avenidas torrenciales. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 32, *Actas de la II Reunión sobre Hidrología Forestal (2011)*, 77-82.
- BBC. (16 de agosto de 2017). BBC. Obtenido de Alrededor de 400 muertos y cientos de desaparecidos por deslave causado por fuertes lluvias en Sierra Leona: <http://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-40931715>
- Castro, E. (s.f.). *Amenaza asociada a las Avenidas Torrenciales*. Bogotá: Ingeominas.
- Castro, E., & Galindo, Á. M. (2017). *Concepto Técnico sobre la Amenaza por Deslizamientos y Avenidas Torrenciales en la cuenca del río Cañaverale, Municipios de San José Del Palmar (Chocó), La Celia (Risaralda) y El Aguila - Corregimiento de Villanueva (Valle Del Cauca)*.
- Castro, E., & Rojas, G. (2003). *Avenidas torrenciales que afectan el casco urbano del Municipio de Cepitá, Departamento de Santander*. Bogotá.
- Climent, A., Salgado, D., Slob, S., & Westen, C. J. (2003). *Amenaza Sísmica y Vulnerabilidad Física en la ciudad de Cañas, Guanacaste, Costa Rica*. <https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio>.
- Colombia, C. d. (24 de Abril de 2012). Diario Oficial No. 48.411 de 24 de abril de 2012. *Ley 1523 de 2012*. Colombia.

- Colombiano, S. G. (2012). *Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000*. Bogotá: Archivo PDF.
- Colombiano, S. G. (2013). *Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000*. Bogotá.
- Colombiano, S. G. (2015). *Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- CONARADE. (2010). *PLAN NACIONAL DE CONTINGENCIAS. Componente: Inundaciones, Desbordes y Riadas FENÓMENO LA NIÑA 2010 – 2011*. GFDRR/BM.
- CORNARE. (2012). *Zonificación de riesgo por movimientos en masa inundación y avenidas torrenciales. atención de áreas afectadas por eventos desastrosos*. San Rafael.
- Derruau, M. (1970). *Geomorfología*. Barcelona: Ediciones Ariel S.A.
- DesarrolloSostenible, M. d. (2014). *Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS*. Bogotá.
- Desastres, S. N. (2016). *Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (2015 - 2025)*. Bogotá: Arkimax Internacional Ltda.
- Desastres, U. N. (2015). *Guía de integración de la Gestión del Riesgo de Desastres y el Ordenamiento Territorial Minicipal*. Bogotá.
- Diario, E. (13 de diciembre de 2012). *El Diario*. Obtenido de Taiwán ayuda a Latinoamérica a combatir los desastres naturales: http://www.eldiario.es/politica/Taiwan-Latinoamerica-combatir-desastres-naturales_0_79092241.html
- Díez-Herrero, A., Ballesteros, J., Bodoque, J., Eguíbar, M., Fernández, J., Génova, M., . . . Stoffel, M. (2007). Mejoras en la estimación de la frecuencia y

- magnitud de avenidas torrenciales mediante técnicas dendrogeomorfológicas. *Boletín Geológico y Minero*, 4(118), 789-802.
- Durand, D. (2012). Flujos torrenciales catastróficos en el Perú Primera etapa. *Investigaciones Sociales*, 16(29), 29-38.
- España, I. G. (2009). *Metodología para la elaboración de cartografía de peligrosidad por avenidas e inundaciones*. Madrid.
- González, M. (2015). *Comparación entre los métodos heurístico, estadístico univariado y estadístico bivariado, para la zonificación de amenazas por movimientos en masa a escala 1:25.000 en el municipio de Santa Bárbara, departamento de Antioquia*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Guinau, M., Pallás, R., & Vilaplana, J. M. (2005). A feasible methodology for landslide susceptibility assessment in developing countries: A case-study of NW Nicaragua after Hurricane Mitch. *Engineering Geology*, 80(3 - 4), 316-327.
- Guinau, M., Vilajosana, I., & Vilaplana, J. M. (2007). GIS-based debris flow source and runout susceptibility assessment from DEM data – a case study in NW Nicaragua. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 7(6), 703-716.
- Hoyos, C. (2000). *Un modelo para investigación documental. Guía teórico - práctica sobre la construcción de Estados del Arte*. Medellín: Señal Editora.
- INGEOMINAS. (1998). *Mapa preliminar de susceptibilidad por avenidas torrenciales de las quebradas La Sierra y El Salto población de Villa Restrepo, Municipio de Ibagué (Tolima)*. Ibagué.
- INGEOMINAS. (1999). *Susceptibilidad a avenidas torrenciales de las quebradas San Roque y Obando, del sector de la urbanización Tierra Firme, Municipio de Ibagué, Departamento del Tolima*. Ibagué.
- INGEOMINAS. (2001). *Guía metodológica para la zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa – método univariado - y escenarios de riesgo por avenidas torrenciales*. Bogotá: Apoyo Operativo INGEOMINAS.

- Ismail, E. H., Rogers, J. D., Ahmed, M., & Abdelsalam, M. G. (2016). Regional Landslide Inventory Mapping of Bashilo River Watershed, Ethiopia. *Environmental & Engineering Geology (E&EG) Journal*.
- Jan, C.-D., Hsu, Y.-C., Wang, J.-S., & Huang, W.-S. (2011). Debris Flows and Landslides Caused by Typhoon Morakot in Taiwan. *International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Proceedings*, (págs. 675-683).
- Jiménez, O. J. (2009). Propuesta metodológica para la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa. *Facultad de Ingeniería, 19(28)*, 7-20.
- Lepore, C., Kamal, S., Shanahan, P., & Bras, R. (2012). Rainfall-induced landslide susceptibility zonation of Puerto Rico. *Environmental Earth Sciences, 66(6)*, 1667-1681.
- Li-Jeng, H. (2014). Application of AHP to Debris-Flow Hazards Risk Assessment - Case Study of Disasters Occurred in Sen-Mu and Hua-San Villages, Taiwan. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 4(12)*, 106-113.
- Lin, P.-s., Lin, J.-y., Lin, S.-y., & Lai, J. (2006). Hazard Assessment of Debris Flows by Statistical Analysis and GIS in Central Taiwan. *International Journal of Applied Science and Engineering, 4(2)*, 165-187.
- LIU, K.-F., HSU, Y.-C., LI, H.-C., & SHU, H.-M. (2001). Numerical Simulation of Debris Flow: A case study of the Daniao Tribe Debris Flow in Eastern Taiwan in August, 2009. *5th international conference on debris-flow hazards "mitigation, mechanics, prediction and assessment"*, (págs. 885-893).
- Londoño, O. L., Maldonado, L. F., & Calderón, L. C. (2014). *Guía para construir estados del arte*. Bogotá: Archivo PDF.
- Märker, M., Hochschild, V., Maca, V., & Vilimek, V. (2016). Stochastic assessment of landslides and debris flows in the Jemma Basin, Blue Nile, Central Ethiopia. *Geografía Física e Dinámica Cuaternaria, 51 - 58*.

- Ministerio de Vivienda, C. y. (2014). Decreto número 1807 del 19 de Septiembre de 2014. Bogotá.
- Montoya, L., Silva, S., & González, J. (2009). Evaluación de zonas de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas. caso de aplicación a la quebrada Doña María. *Ingenierías*, 8(15), 11-29.
- Moreno, M., Castro, E., & Vargas, G. (1998). Zonificación de amenazas por procesos de remoción en masa en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, Valle del Cauca. *Sociedad Colombiana de Geotecnia*.
- Mundial, G. B. (4 de noviembre de 2013). *Banco Mundial*. Obtenido de Líderes internacionales prometen miles de millones de dólares para la región del Sahel, en África: <http://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2013/11/04/global-leaders-pledge-billions-of-dollars-for-africas-Sahel>
- n/a. (2000). *Estudio preliminar de amenazas naturales en la cuenca del río Turrialba, Canton Turrialba, Costa Rica*. Turrialba: <https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio>.
- Navarro, J. (2012). *Susceptibilidad y amenaza de movimientos de ladera mediante S.I.G. en el municipio de Berlín, El Salvador*.
- Olaya, J. C., & Mora, M. (2016). *Estado del arte de estudios de Evaluación Probabilista de Riesgo en Colombia*. Bogotá.
- Osuchowski, M., & Mazengarb, C. (2007). Landslide. En M. Middlemann, *Natural Hazard in Australia: Identifying Risk Analysis Requirements* (págs. 115-133). Canberra, Australia.
- Paixão, M. A., & Kobiyama, M. (2017). Efeito do tamanho dos sedimentos sobre a área atingida por fluxos de detritos: Estudo de caso da bacia do arroio Böni, Serra Gaúcha. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas*, 39(2), 299 - 307.
- Rodríguez, M. (26 de Julio de 2016). África: El continente más rico y la población más pobre. *El Comercio*. Obtenido de

<http://elcomercio.pe/mundo/africa/africa-continente-rico-poblacion-pobre-184940>

- Rosa, J. C., & Kuroiwa, J. (2016). Sistema de alerta temprana en zona de aluviones. *XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica Lima, Perú*. Lima.
- Santi, P. M., Hewitt, K., VanDine, D. F., & Cruz, E. B. (2011). Debris-flow impact, vulnerability, and response. *Natural Hazards*, 56(1), 371 - 402.
- Sepúlveda, A., & Patiño, J. (2016). *Metodología para la evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Sepúlveda, A., Patiño, J., & Rodríguez, C. (2016). Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: caso Útica, Cundinamarca, Colombia. *Obras y proyectos*, 20, 31-43.
- Sostenible, M. d. (2014). Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS. Archivo Digital.
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga: Publicaciones UIS.
- Suárez, J. (2001). *Control de Erosión en Zonas Tropicales*. Bucaramanga, Colombia: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico*. Bucaramanga: UIS.
- Tarbutck, E. J., & Lutgens, F. K. (1999). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. Madrid: Prentice Hall.
- Telesur. (18 de agosto de 2016). *Telesur*. Obtenido de África, el continente más vulnerable ante desastres naturales: <http://www.telesurtv.net/news/Africa-el-continente-mas-vulnerable-ante-desastres-naturales-20160818-0076.html>
- Twente, F. o.-I. (s.f.). *Módulo de capacitación, Aplicación de Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos para el Análisis de Amenazas, Vulnerabilidad y Riesgo*. Obtenido de <https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio>

- Universal, E. (29 de diciembre de 2016). *El Universal*. Obtenido de Inundaciones dejan 50 muertos y 20 desaparecidos en Congo: <http://www.eluniversal.com.co/ambiente/inundaciones-dejan-50-muertos-y-20-desaparecidos-en-congo-243421>
- Valderrama, P. (2006). *Geología, geodinámica y simulación de flujos en las ciudades de Urubamba y Ollantaytambo*. Cusco.
- Vallejo, L. G., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Prentice Hall.
- Vanguardia, L. (29 de 08 de 2007). *La Vanguardia*. Obtenido de Indonesia es, probablemente, el país más vulnerable a los desastres naturales: <http://www.lavanguardia.com/vida/20070829/53389363153/indonesia-es-probablemente-el-pais-mas-vulnerable-a-los-desastres-naturales.html>
- Westen, C. v., Montoya, L., & Vargas, R. (s.f.). *Aplicación de sig para la evaluación de amenazas y riesgos: Tegucigalpa, Honduras*. <https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio>.
- Youn, H.-J., Lee, C.-W., & Cortejar, C.-S. (2010). Debris flow hazard mapping with a random walk model in Korea. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, 43, Risk Analysis VII & Brownfields V, 627 - 635.
- Youssef, A. M., Al-Kathery, M., & Pradhan, B. (2015). Assessment of impact of mass movements on the upper Tayyah valley's bridge along Shear escarpment highway, Asir region (Saudi Arabia) using remote sensing data and field investigation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3(497 - 533).
- Youssef, A. M., Pradhan, B., & Maerz, N. H. (2013). Debris flow impact assessment caused by 14 April 2012 rainfall along the Al-Hada Highway, Kingdom of Saudi Arabia using high-resolution satellite imagery. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(7), 2591–2601.

12. ANEXOS
(FICHAS BIBLIOGRÁFICAS)

FICHAS BIBLIOGRÁFICAS

No. De Documento	D001
Nombre del Documento	“Debris flows” em Cubatão-SP: danos em instalação industrial e em barragens-gabião
Autor(es)	Faiçal Massad, P. T. Cruz, M. A. Kanji
Tipo de documento	Artículo (Biblioteca virtual de Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica)
Volumen / número / página	Np / Np / 1-8
Año	2009
Ubicación del documento	https://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/cobrae/debrisflows-massad.pdf
País de estudio	Brasil
Idioma	Portugués
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment, debris flow, Brasil,
Indicador de información	Casos históricos
Descripción	Se describen los daños causados por “debris flows” en las instalaciones e inmediaciones de la Refinería Presidente Bernardes, localizada al pie de la “Serra do mar” en São Paulo, Brasil, entre 1985 y 1996 y el mal funcionamiento de algunas obras de protección.
Observaciones	No volumen, no número

No. De Documento	D002
Nombre del Documento	Efeito do tamanho dos sedimentos sobre a área atingida por fluxos de detritos: Estudo de caso da bacia do arroio Böni, Serra Gaúcha
Autor(es)	Maurício Andrades Paixão & Masato Kobiyama
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Ciência e Natura)
Volumen / número / página	39 / 2 / 299 - 307
Año	2017
Ubicación del documento	Ciência e Natura, Santa Maria v.39 n.2, 2017, Mai - Ago, p. 299 – 307, Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM; ISSN impressa: 0100-8307; ISSN on-line: 2179-460X
País de estudio	Brasil
Idioma	Portugués
Palabras Claves del Artículo	Flujo de detritos; Tamanho dos sedimentos; Kanako-2D
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment, debris flow, Brasil,
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados

Descripción	Estudio de los efectos del tamaño de los sedimentos (de 0,15 a 3 metros de diámetro) en el comportamiento de los flujos haciendo uso del software Kanako-2D y tomando como zona de estudio la cuenca del río Böni, Serra Gaúcha (Brasil)
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D003
Nombre del Documento	An assessment of landslide susceptibility in the Faifa area, Saudi Arabia, using remote sensing and GIS techniques
Autor(es)	T. Alharbi, M. Sultan, S. Sefry, R. ElKadiri, M. Ahmed, R. Chase, A. Milewski, M. Abu Abdullah & M. Emil, and K. Chounaird
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Natural Hazards Earth System Sciences)
Volumen / número / página	14 / Np / 1553 – 1564
Año	2014
Ubicación del documento	https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/14/1553/2014/
País de estudio	Arabia Saudita
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Arabia
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos en la zona Faifa, Arabia Saudita, usando técnicas de teledetección y SIG, ya que la zona de estudio tiene difícil acceso. El fin de la evaluación de susceptibilidad fue la predicción de futuros flujos, en base a un número de flujos calculados aleatoriamente que, en relación con fenómenos observados, tuvo una cercanía del 82% con la realidad, es decir, que las localizaciones adicionales marcan probablemente áreas potenciales en flujos de escombros.
Observaciones	No número

No. De Documento	D004
Nombre del Documento	Assessment of impact of mass movements on the upper Tayyah valley's bridge along Shear escarpment highway, Asir region (Saudi Arabia) using remote sensing data and field investigation
Autor(es)	A. M. Youssef, M. Al-Kathery, and B. Pradhan
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Natural Hazards Earth System Sciences)
Volumen / número / página	3 / Np / 497 – 533
Año	2015
Ubicación del documento	Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., 3, 497–533, 2015 www.nat-hazards-earth-syst-sci-discuss.net/3/497/2015/ doi:10.5194/nhessd-3-497-2015
País de estudio	Arabia Saudita
Idioma	Inglés

Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Arabia
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	El puente del valle superior Tayyah hace parte de la autopista “Shear escarpment Highway” de suma importancia en la zona, por donde pasan cerca de 10.000 vehículos al día, pero este puente está constantemente amenazado por movimientos en masa. Se realiza la evaluación del impacto de estos fenómenos sobre el puente usando teledetección e investigaciones de campo.
Observaciones	No número

No. De Documento	D005
Nombre del Documento	Debris flow impact assessment caused by 14 April 2012 rainfall along the Al-Hada Highway, Kingdom of Saudi Arabia using high-resolution satellite imagery
Autor(es)	Ahmed M. Youssef, Biswajeet Pradhan, Norbert H. Maerz
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Arabian Journal of Geosciences)
Volumen / número / página	7 / 7 / 2591 – 2601
Año	2014
Ubicación del documento	Arabian Journal of Geosciences, DOI 10.1007/s12517-013-0935-0
País de estudio	Arabia Saudita
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Debris flow, Landslide, Geographic information systems (GIS), Remote sensing, Volume estimation, Mitigation methods, KSA
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Arabia
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	Estudio del impacto de “debris flow” en la autopista Al-Hada (Occidente de Arabia Saudita), una de las más importantes del país. Se hace referencia a un acontecimiento ocurrido el 14 de abril de 2012. El fin del trabajo es el mapeo de todos los flujos, mediante el uso de imágenes satelitales, que han afectado la autopista y sugerir soluciones para prevenir y mitigar los daños que podrían causar futuros fenómenos.
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D006
Nombre del Documento	Debris flow hazard and susceptibility zonation in small watersheds in Itaoca municipality, São Paulo state, Brazil
Autor(es)	Claudio Jose Ferreira, Denise Rossini-Penteado, Maria José Brollo & Jefferson Picanço
Tipo de documento	Actas de conferencia (Encuentro: Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice)
Volumen / número / página	Np / Np / 893 – 900
Año	2016

Ubicación del documento	https://www.researchgate.net/publication/303884969
País de estudio	Brasil
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Brasil
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Este trabajo describe un análisis regional de susceptibilidad y riesgo de "debris flows" aplicado a 106 cuencas hidrográficas pertenecientes al municipio de Itaoca en el estado de São Paulo, (Brasil), explicando las consideraciones que se tuvieron en cuenta para realizar el estudio.
Observaciones	No volumen, no número

No. De Documento	D007
Nombre del Documento	Debris flows in areas of residual soils: occurrence and characteristics
Autor(es)	M. A. Kanjil, F. Massad & P. T. Cruz
Tipo de documento	Actas de conferencia (Encuentro:International Workshop on Occurrence and Mechanism of Flows in Natural Slopes and Earthfills)
Volumen / número / página	Np / Np / 1 – 13
Año	2003
Ubicación del documento	International Workshop on Occurrence and Mechanism of Flows in Natural Slopes and Earthfills, pp. 1-13.
País de estudio	Brasil
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Debris flows, Triggering conditions, Mechanism, Parameters, Back-analysis.
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Brasil
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	Se tratan algunos temas relacionados con la generación de " <i>debris flow</i> " en suelos residuales; se hace énfasis en su génesis, comportamiento y características principales. Se hace alusión a un caso especial ocurrido en Petrobras Refinery (Cubatão, Brazil)
Observaciones	No volumen, no número

No. De Documento	D008
Nombre del Documento	Historical views and current perspective of debris flow disaster management in Brazil
Autor(es)	M. Kobiyama, G.P. Michel & R.F. Goerl
Tipo de documento	Actas de conferencia (Encuentro:12th International Symposium on Landslides)
Volumen / número / página	Np / Np / 1189 – 1194
Año	2016
Ubicación del documento	http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/b21520-144

País de estudio	Brasil
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Np presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Brasil
Indicador de información	Casos históricos
Descripción	Revisión histórica de 1900 a 2014 de fenómenos importantes ocurridos en suelo brasileño; se hace mención de algunas recomendaciones para prevenir este tipo de desastres.
Observaciones	No volumen, no número

No. De Documento	D009
Nombre del Documento	Real-Time Monitoring of Climactic and Geotechnical Variables during Landslides on the Slopes of Serra do Mar and Serra da Mantiqueira (São Paulo State, Brazil)
Autor(es)	Rodolfo Moreda Mendes & Mário Valério Filho
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Engineering)
Volumen / número / página	7 / 3 / 140 – 159
Año	2015
Ubicación del documento	http://file.scirp.org/Html/4-8102274_55085.htm
País de estudio	Brasil
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Landslides, Urban Area, Real-Time Monitoring, Analysis of Rainfall and Geotechnical Parameters
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Brasil
Indicador de información	Casos históricos
Descripción	Durante algunos fenómenos ocurridos en enero del 2013, en los municipios de Ubatuba, Campos do Jordão, and São José dos Campos en la región de São Paulo (Brazil), fueron monitoreados en tiempo real algunas variables climáticas y geotécnicas. Los datos recopilados sumados a investigaciones de campo permitieron hacer un análisis de la influencia de dichas variables en la generación de deslizamientos.
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D010
Nombre del Documento	Regional Landslide Inventory Mapping of Bashilo River Watershed, Ethiopia
Autor(es)	Elamin H Ismail, J David Rogers, M.Farooq Ahmed, Mohammed G Abdelsalam
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Environmental & Engineering Geoscience (E&EG) Journal)
Volumen / número / página	23 / 2 / 137 – 151
Año	2017
Ubicación del documento	http://eeg.geoscienceworld.org/content/early/2016/12/07/EEG-1862/article-info
País de estudio	Etiopía

Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Landslide Inventory, Hillshade Map, GIS, Topography, ASTER DEM
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Africa
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	En contribución a la evaluación de peligros regionales en Etiopía, se realizó un inventario de deslizamientos en la cuenca del Río Bashilo, recurriendo a técnicas de mapeo de bajo costo. Se explica el método y los insumos usados en la elaboración de dicho trabajo
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D011
Nombre del Documento	Stochastic assessment of landslides and debris flows in the Jemma Basin, Blue Nile, Central Ethiopia
Autor(es)	Märker Michael, Hochschild Volker, Maca Vit, Vilimek Vit
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Geografía Física e Dinámica Cuaternaria)
Volumen / número / página	Np / Np / 51 – 58
Año	2016
Ubicación del documento	https://www.researchgate.net/publication/311968497_STOCHASTIC_ASSESSMENT_OF_LANDSLIDES_AND_DEBRIS_FLOWS_IN_THE_JEMMA_BASIN_BLUE_NILE_CENTRAL_ETHIOPIA
País de estudio	Etiopía
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Landslides, Debris flows, Boosted Regression Trees (BRT), Maximum Entropy Method (MEM), Spatially explicit prediction, Ethiopia, Blue Nile, Jemma Basin.
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, África
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	En este trabajo se muestra un análisis estocástico aplicado a la cuenca de Jemma, en Etiopía Central, con el fin de mapear la distribución espacial de deslizamientos y debris flows y predecir futuros acontecimientos, basados en los métodos Boosted regression trees (BRT) y Maximum Entropy Method (MEM)
Observaciones	No volumen, no número

No. De Documento	D012
Nombre del Documento	Debris-flow impact, vulnerability, and response
Autor(es)	P. M. Santi, K. Hewitt, D. F. VanDine, E. Barillas Cruz
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Natural Hazards)
Volumen / número / página	56 / 1 / 371 – 402
Año	2011
Ubicación del documento	https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-010-9576-8
País de estudio	Guatemala

Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Debris Flow, Socio-cultural Mitigation Vulnerability
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, América Central
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	Se hace un llamado de conciencia a la ocurrencia de debris flows en zonas con poblaciones vulnerables, es decir, grupos humanos que por una difícil situación económica se ven obligados a vivir en zonas peligrosas. Se dan algunas recomendaciones para mejorar la gestión del riesgo.
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D013
Nombre del Documento	Early Warning Of Rainfall-Induced Landslides and Debris Flows On Mt. Bawakaraeng South Sulawesi, Indonesia
Autor(es)	Hasnawir Hasnawir
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Indonesian Journal of Forestry Research)
Volumen / número / página	10 / 1 / 1 – 10
Año	2014
Ubicación del documento	http://ejournal.forda-mof.org/ejournal-litbang/index.php/IJFR/article/view/14
País de estudio	Indonesia
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Earlywarning, landslide and debris flow, rainfall thresholds, Mt. Bawakaraeng
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Indonesia
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	En South Sulawesi, Indonesia, se llevó a cabo un estudio en base a datos de precipitación recolectados entre 1997 y 2007, y los registros históricos de deslizamientos y Debris flows, donde se estimó una relación entre las lluvias y la probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D014
Nombre del Documento	Study on Early Warning for Shallow Landslides in the Upper Citarum River catchment, Indonesia
Autor(es)	APIP, Kaoru Takara, Yosuke Yamashiki, Agung Bagiawan Ibrahim
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Engineering Geology)
Volumen / número / página	52 / B / 9 – 18
Año	2009
Ubicación del documento	http://docplayer.net/36706591-Study-on-early-warning-system-for-shallow-landslides-in-the-upper-citarum-river-catchment-indonesia.html
País de estudio	Indonesia
Idioma	Inglés

Palabras Claves del Artículo	Shallow landslides, sediment, hydrology, slope stability, early warning, Citarum River
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Indonesia
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	Estudio realizado en la cuenca alta del Río Citarum en Indonesia, con el fin de desarrollar un sistema de alarma temprana de deslizamientos, teniendo en cuenta una distribución espacial invariable en el tiempo de la superficie terrestre y un mapa que relaciona las propiedades hidrológicas y del suelo variables en el tiempo
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D015
Nombre del Documento	A feasible methodology for landslide susceptibility assessment in developing countries: A case-study of NW Nicaragua after Hurricane Mitch
Autor(es)	Marta Guinau, Raimon Pallás, Joan Manuel Vilaplana
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Annuals Disaster Prevention Research Institute)
Volumen / número / página	80 / 3 – 4 / 316 – 327
Año	2005
Ubicación del documento	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795205001389
País de estudio	Nicaragua
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Landslide susceptibility; Debris flows; Geographic information system; Developing countries; Nicaragua; Hurricane Mitch
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, América Central
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	El estrago causado por el Huracán Mitch en octubre de 1998 afectó en gran medida el NW de Nicaragua, llevándose consigo un gran número de muertos y graves daños. Dentro de los principales fenómenos ocurridos fueron los debris flow, y en base a estos acontecimientos se desarrolló una metodología a bajo costo para evaluar la susceptibilidad por estos desastres.
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D016
Nombre del Documento	GIS-based debris flow source and runoff susceptibility assessment from DEM data – a case study in NW Nicaragua
Autor(es)	M. Guinau, I. Vilajosana, J. M. Vilaplana
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Natural Hazards and Earth Systems Sciences)
Volumen / número / página	7 / 6 / 703 – 716
Año	2007
Ubicación del documento	https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/7/703/2007/
País de estudio	Nicaragua

Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, América Central
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	En octubre de 1998, el huracán Mitch provocó numerosos desprendimientos de tierra (principalmente corrientes de desechos) en Honduras y Nicaragua, lo que resultó en un alto número de muertos y daños considerables a la propiedad. El estudio se basó en la aplicación de modelos para predecir desastres, usado en países desarrollados y usando software GIS
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D017
Nombre del Documento	Robust debris-flow and GLOF risk management strategy for a data-scarce catchment in Santa Teresa, Peru
Autor(es)	Holger Frey, Christian Hugge, Yves Bühler, Daniel Buis, Maria Dulce Burga, Walter Choquevilca, Felipe Fernandez, Javier García Hernández, Claudia Giráldez, Edwin Loarte, Paul Masias, Cesar Portocarrero, Luis Vicuña, Marco Walser
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Landslides)
Volumen / número / página	13 / 6 / 1493 – 1507
Año	2016
Ubicación del documento	https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-015-0669-z
País de estudio	Perú
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Debris-flows, GLOF, RAMMS, Risk management, Early Warning System
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Sur América
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Estudio de riesgo asociado a deslizamientos y debris flows aplicado a la ciudad de Santa Teresa (Perú)
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D018
Nombre del Documento	Application of AHP to Debris-Flow Hazards Risk Assessment - Case Study of Disasters Occurred in Sen-Mu and Hua-San Villages, Taiwan
Autor(es)	Huang Li-Jeng
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering)
Volumen / número / página	4 / 12 / 106 – 113
Año	2014
Ubicación del documento	http://www.ijetae.com/files/Volume4Issue12/IJETAE_1214_16.pdf
País de estudio	Taiwán

Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Analytical Hierarchy Process (AHP), Case Study, Debris-flow, Multi-criteria, Risk Assessment.
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Taiwán
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Evaluación del riesgo por debris flows usando analytical hierarchy process (AHP). Se tienen en cuenta las condiciones geológicas y topográficas, condiciones de las ciencias hidrográficas y condiciones de precipitación, aplicadas a un fenómeno ocurrido en Sen-Mu y Huan-San, Taiwán
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D019
Nombre del Documento	Apreliminary Study of Debris Flow Risk Estimation and Management in Taiwan
Autor(es)	Ting-Chi Tsao, Wen-Ko Hsu, Chin-Tung Cheng, Wen-Chun Lo, Chen-Yu Chen
Tipo de documento	Acta de conferencia (Encuentro: International Symposion Interpraevent in the Pcific Rim - Taipei)
Volumen / número / página	Np / Np / 930 – 939
Año	2010
Ubicación del documento	http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.452.2767
País de estudio	Taiwán
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Debris flow, Risk management, Risk analysis, F-N curve
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Taiwán
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	Estudio realizado en Taiwán, con la idea de llevar a cabo un análisis de riesgo de bajo costo, en 50 arroyos de 20 aldeas. Los resultados fueron simulaciones numéricas de peligros de debris flow de diferentes magnitudes y se calcularon las pérdidas económicas y humanas.
Observaciones	No volumen, no número

No. De Documento	D020
Nombre del Documento	Debris Flows and Landslides Caused by Typhoon Morakot in Taiwan
Autor(es)	Chyan-Deng Jan, Y.-C. Hsu, J.-S. Wang, W.-S. Huang
Tipo de documento	Acta de conferencia (Encuentro:International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Proceedings)
Volumen / número / página	Np / Np / 675 – 683
Año	2011
Ubicación del documento	https://www.researchgate.net/publication/287692684_Debris_flows_and_landslides_caused_by_Typhoon_Morakot_in_Taiwan
País de estudio	Taiwán
Idioma	Inglés

Palabras Claves del Artículo	Typhoon Morakot, Debris Flow, Landslide, Gaoping river watershed, Taiwan
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Taiwán
Indicador de información	Casos históricos
Descripción	El artículo muestra las condiciones de lluvia y las características de los desastres que provocó el paso del Tifón Morakot, que asoló Taiwán a mediados de agosto de 2009. Dejó tras su paso fuertes precipitaciones y causó desastres catastróficos, dejando un saldo de más de 700 personas fallecidas.
Observaciones	No volumen, no número

No. De Documento	D021
Nombre del Documento	Hazard assessment model for debris flow prediction
Autor(es)	Tung-Chiung Chang, Zhou-Yin Wang, Yue-Hone Chien
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Environmental Earth Sciences)
Volumen / número / página	60 / 8 / 1619 – 1630
Año	2010
Ubicación del documento	https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-009-0296-x
País de estudio	Taiwán
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Hazard assessment, Debris flow, Prediction
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Taiwán
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Propuesta metodológica del uso de "generic algorithm (GA)" para simular la ocurrencia de debris flows y "Neural Network (NN)" para predecir ocurrencia de debris flows en base a ciertos criterios; del estudio se obtuvo un modelo de pruebas que, en comparación con 154 fenómenos ocurridos en Taiwán se encontró una coincidencia cercana al 94,94%
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D022
Nombre del Documento	Hazard Assessment of Debris Flows by Statistical Analysis and GIS in Central Taiwan
Autor(es)	Ping-sien Lin , Ji-yuan Lin , Shang-yuh Lin , Jiunnren Lai
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: International Journal of Applied Science and Engineering)
Volumen / número / página	4 / 2 / 165 – 187
Año	2006
Ubicación del documento	http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.582.4170&rank=1
País de estudio	Taiwán
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	debris-flow, hazard assessment, geographic information system, multivariate analysis
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Taiwán

Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Este trabajo representa un proceso analítico de evaluación de riesgos de flujo de escombros utilizando técnicas de análisis multivariante y sistemas de información geográfica (SIG), aplicado a la cuenca del río Chen-Yu-Lan, y teniendo en cuenta nueve factores importantes. Los resultados del proceso analítico han sido corroborados con estudios de campo de eventos recientes.
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D023
Nombre del Documento	Numerical Simulation of Debris Flow: A case study of the Daniao Tribe Debris Flow in Eastern Taiwan in August, 2009
Autor(es)	Ko-Fei LIU, Yu-Charn HSU, Hsin-Chi LI, Hung-Ming SHU
Tipo de documento	Acta de conferencia (Encuentro: 5th international conference on debris-flow hazards "mitigation, mechanics, prediction and assessment")
Volumen / número / página	Np / Np / 885 – 893
Año	2011
Ubicación del documento	http://www.ijege.uniroma1.it/rivista/5th-international-conference-on-debris-flow-hazards-mitigation-mechanics-prediction-and-assessment/topic-8-prediction-and-assessment-of-debris-flow-hazards/numerical-simulation-of-debris-flow-a-case-study-of-the-daniao-tribe-debris-flow-in-eastern-taiwan-in-august-2009/
País de estudio	Taiwán
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Typhoon Morakot, Numerical Simulation, Debris flow, DEBRIS-2D, Hazards assessment.
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Taiwán
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Uno de los desastres que provocó el paso del tifón Morakote el 2009, fue un enorme debris flow que afectó a una tribu Daniao en Taitung (Taiwán). Dos años antes del fenómeno, con el software DEBRIS-2D se había hecho una simulación del suceso y resultó ser muy similar al real. En este documento se discuten algunos factores que harían de este software un programa especial en la predicción de debris flows.
Observaciones	No volumen, no número

No. De Documento	D024
Nombre del Documento	Study on the Configurations of Debris-Flow Fans
Autor(es)	Y.F. Tsai, H.K. Tsai, Y.L. Cheng
Tipo de documento	Acta de conferencia (Encuentro: 5th international conference on debris-flow hazards "mitigation, mechanics, prediction and assessment")
Volumen / número / página	Np / Np / 273 - 282
Año	2012

Ubicación del documento	http://www.ijege.uniroma1.it/rivista/5th-international-conference-on-debris-flow-hazards-mitigation-mechanics-prediction-and-assessment/topic-3-debris-flow-deposits-and-fan-morphology/study-on-the-configurations-of-debris-flow-fans/?searchterm=STUDY%20ON%20THE%20CONFIGURATIONS%20OF%20DEBRIS-FLOW%20FANS
País de estudio	Taiwán
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Debris flow, debris-flow fan, morphological similarity
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Taiwán
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	El objetivo de este trabajo consiste en identificar la similitud de morfológica de los abanicos que forman los debris flows mediante experimentos de laboratorio e investigaciones de campo. El proceso se aplica como ejemplo al abanico formado en Nan-tou, en el centro de Taiwán.
Observaciones	No volumen, no número

No. De Documento	D025
Nombre del Documento	The Present Development of Debris Flow Monitoring Technology in Taiwan – A Case Study Presentation
Autor(es)	Hsiao-Yuan Yin, Ching-Jer Huang, Cheng-Yu Chen, Yao-Min Fang, Bing-Jean Lee, Tien-Yin Chou
Tipo de documento	Acta de conferencia (Encuentro: 5th international conference on debris-flow hazards "mitigation, mechanics, prediction and assessment")
Volumen / número / página	Np / Np / 623 – 631
Año	2012
Ubicación del documento	http://www.ijege.uniroma1.it/rivista/5th-international-conference-on-debris-flow-hazards-mitigation-mechanics-prediction-and-assessment/topic-6-debris-flow-monitoring-and-alert-systems/the-present-development-of-debris-flow-monitoring-technology-in-taiwan-2013-a-case-study-presentation/?searchterm=THE%20PRESENT%20DEVELOPMENT%20OF%20DEBRIS%20FLOW%20MONITORING%20TECHNOLOGY%20IN%20TAIWAN%20%E2%80%93%20A%20CASE%20STUDY%20PRESENTATION
País de estudio	Taiwán
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	debris flows, debris flow monitoring system, mobile debris flow monitoring station
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Taiwán
Indicador de información	Casos históricos
Descripción	Se analiza el debris flow importante ocurrido durante el paso del tifón Mindulle en 2004, que tuvo lugar un en Nantou (Taiwán), y se hace relación de su comportamiento con los datos recopilados in situ.
Observaciones	No volumen, no número

No. De Documento	D026
Nombre del Documento	PLAN NACIONAL DE CONTINGENCIAS. Componente: Inundaciones, Desbordes y Riadas FENÓMENO LA NIÑA 2010 – 2011
Autor(es)	CONARADE
Tipo de documento	Informe
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2010
Ubicación del documento	http://saludpublica.bvsp.org.bo/cc/bolp.016/documentos/doc801-contenido.pdf
País de estudio	Bolivia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Metodologías de evaluación de amenazas, debris flows, riadas, Bolivia
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Presentación del procedimiento de coordinación, alerta, movilización y respuesta ante la ocurrencia de inundaciones, granizadas, desbordes de ríos y riadas, ocurridos a consecuencia del paso del fenómeno de La Niña 2010 – 2011
Observaciones	No volumen, no número, no paginación

No. De Documento	D027
Nombre del Documento	Amenaza asociada a las Avenidas Torrenciales
Autor(es)	Eduardo Castro Marín
Tipo de documento	Artículo (Servicio Geológico Colombiano)
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	Np
Ubicación del documento	Servicio Geológico Colombiano
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	Avenida torrencial, flujos de detritos, deslizamiento, medidas de protección, preventivas y correctivas.
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	El documento hace referencia a la utilidad del término "Avenida Torrencial", se describen algunos casos históricos y un serio análisis de la amenaza por estos fenómenos.
Observaciones	No volumen, no número, no paginación, no año

No. De Documento	D028
-------------------------	-------------

Nombre del Documento	Aspectos Geomorfológicos De la Avenida Torrencial del 31 de enero de 1994 en la Cuenca del Río Fraile y sus Fenómenos Asociados
Autor(es)	Juan Luis González, Michel Hermelin, Omar Alberto Cháves
Tipo de documento	Informe
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2004
Ubicación del documento	http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/cuadernos-investigacion/article/viewFile/1365/1236
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	Avenidas torrenciales, flujos de tierra, depósitos de flujo de escombros, lluvia torrencial, Río Fraile, Colombia.
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Casos históricos
Descripción	Se describe la avenida torrencial ocurrida el 31 de enero de 1994 en la cuenca del río Fraile y que afectó a la población de Florida. Se hace énfasis en la descripción de los factores que produjeron el fenómeno
Observaciones	No volumen, no número, no paginación

No. De Documento	D029
Nombre del Documento	Avenidas torrenciales que afectan el casco urbano del Municipio de Cepitá, Departamento de Santander
Autor(es)	Eduardo Castro Marín, Gonzalo Rojas
Tipo de documento	Informe
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2003
Ubicación del documento	SICAT
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torecnciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Casos históricos
Descripción	El Municipio de Cepitá se ha caracterizado por poseer problemas de flujos torrenciales en las tempradas invernales, y esto se debe principlamnte a la ocurrencia de deslizamientos en la Quebrada Sonsiquí y transporta todo el material desprendido a la cabecera municipal. En el documento se aborda un concepto técnico sobre las consecuencias que trae consigo estos fenómenos.
Observaciones	No volumen, no número, no paginación

No. De Documento	D030
Nombre del Documento	Concepto Técnico sobre la Amenaza por Deslizamientos y Avenidas Torrenciales en la cuenca del río Cañaveral, Municipios de San José Del Palmar (Chocó), La Celia (Risaralda) y El Aguila - Corregimiento de Villanueva (Valle Del Cauca)
Autor(es)	Eduardo Castro Marín, Ángela María Galindo
Tipo de documento	Informe
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2017
Ubicación del documento	http://www.ciudadregion.com/_files/noticias/2017/concepto-tecnico-emergencia-aguila.pdf
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	Mirada conceptual sobre el riesgo al que están sometidos algunos habitantes de la margen de la Quebrada Cañaveral, debido a los constantes deslizamientos que han colmatado el río de sedimentos. El fin del trabajo es aportar información para tomar medidas de prevención.
Observaciones	No volumen, no número, no paginación

No. De Documento	D031
Nombre del Documento	Estado del arte de estudios de Evaluación Probabilista de Riesgo en Colombia
Autor(es)	Juan Camilo Olaya, Miguel Mora
Tipo de documento	Informe
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2016
Ubicación del documento	http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/20745
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	Definición del estado del arte estudios de Evaluación Probabilista de Riesgo en Colombia. El trabajo es hecho con el fin de apoyar el proyecto "Fortalecimiento de políticas e instrumentos financieros del SNGRD en Colombia 2016-2018" en el que se pretende elaborar el EPR nacional por amenaza sísmica

Observaciones	No volumen, no número, no paginación
---------------	--------------------------------------

No. De Documento	D032
Nombre del Documento	Evaluación de amenazas por movimientos en masa causados en Jericó Boyacá, durante el período invernal de 2011
Autor(es)	Nebardo Arturo Abril González, Edwin Gilberto Amaya Reyes, Héctor Antonio Fonseca Peralta
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo)
Volumen / número / página	16 / 1 / 6 – 13
Año	2015
Ubicación del documento	http://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5115
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	deslizamiento, remoción en masa, estabilidad, geotecnia, SIG.
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Evaluación de amenazas por movimientos en masa en el Municipio de Jericó, Boyacá (Colombia), durante el período invernal del 2011, donde cinco veredas se vieron gravemente afectadas. Se muestran estudios geológicos y geotécnicos para evaluar la estabilidad del terreno y tomar decisiones en cuanto a la habilitación de la zona para la agricultura.
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D033
Nombre del Documento	Evaluación de zonas de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas. caso de aplicación a la quebrada Doña María
Autor(es)	Luis Montoya, Sandra Silva, Juan González
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Ingenierías)
Volumen / número / página	8 / 15 / 11 – 29
Año	2009
Ubicación del documento	http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1692-33242009000200002&lng=es&nrm=iso
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	Avenidas torrenciales, zonas de amenaza, quebrada Doña María
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados

Descripción	Aplicación de una metodología de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales aplicada a la quebrada Doña María (Antioquia), usando SIG y la técnica de residuos ponderados
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D034
Nombre del Documento	La gestión del riesgo de desastres en las inundaciones de Colombia: Una mirada crítica
Autor(es)	Julio César González Velandia
Tipo de documento	Informe
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2014
Ubicación del documento	http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2128/1/Gesti%C3%B3n_riesgo_desastres_inundaciones_%20Colombia_mirada-cr%C3%ADtica.pdf
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Casos históricos
Descripción	Definición del estado actual de las acciones del Gobierno Colombiano en el control de desastres y se evalúa diferentes aspectos con el fin de recomendar mejoras.
Observaciones	No volumen, no número, no paginación
No. De Documento	D035
Nombre del Documento	Guía metodológica para la zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa – método univariado - y escenarios de riesgo por avenidas torrenciales
Autor(es)	INGEOMINAS
Tipo de documento	Guía Metodológica
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2001
Ubicación del documento	Biblioteca UPTC Facultad Seccional Sogamoso
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Asociación de conceptos claves en el estudio de amenaza e implementación de una guía metodológica para evaluar la amenaza por FMR y avenidas torrenciales, usando SIG

Observaciones	No volumen, no número, no paginación, no ubicación precisa
---------------	--

No. De Documento	D036
Nombre del Documento	Guía de integración de la Gestión del Riesgo de Desastres y el Ordenamiento Territorial Municipal
Autor(es)	Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres
Tipo de documento	Guía Metodológica
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2015
Ubicación del documento	http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Guia-Integracion-Gestion-Riesgo-Ordenamiento-Territorial-Octubre2015.pdf
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	Guía que plantea los procesos y etapas de la gestión del riesgo incorporada al ordenamiento territorial con el fin de facilitar la toma de decisiones en la prevención y mitigación de desastres naturales.
Observaciones	No volumen, no número, no paginación

No. De Documento	D037
Nombre del Documento	Mapa preliminar de susceptibilidad por avenidas torrenciales de las quebradas La Sierra y El Salto población de Villa Restrepo, Municipio de Ibagué (Tolima)
Autor(es)	INGEOMINAS
Tipo de documento	Informe
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	1998
Ubicación del documento	http://aplicaciones1.sgc.gov.co/sicat/html/Metadato.aspx?CID=236048
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	En las quebradas La Sierra y El Salto, se presenta continuamente avenidas torrenciales. En solución a esta problemática, se plantearon acciones y trabajos a realizar a corto y mediano plazo para prevenir estos desastres; entre estas acciones se realizó el mapa de susceptibilidad a avenidas torrenciales de la zona.

Observaciones	No volumen, no número, no paginación
---------------	--------------------------------------

No. De Documento	D038
Nombre del Documento	Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: caso Útica, Cundinamarca, Colombia
Autor(es)	Amanda Sepúlveda B., Jaime Patiño Franco, Carlos E. Rodríguez Pineda
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Obras y proyectos)
Volumen / número / página	20 / Np / 31 – 43
Año	2016
Ubicación del documento	http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132016000200003
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	flujo de detritos, susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad física, índice de exposición, índice de resistencia, lluvia máxima, modelación matemática, caudal líquido, volumen de sedimentos, riesgo
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Se practica una metodología de evaluación de riesgo por flujos de detritos detonados por lluvias, en el municipio de Útica, Cundinamarca (Colombia), haciendo uso de SIG, factores detonantes de estos fenómenos y simulaciones de flujo (FLO-2D), dando como resultado el mapa de amenaza.
Observaciones	No número

No. De Documento	D039
Nombre del Documento	Propuesta metodológica para la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa
Autor(es)	Omar Javier Jiménez Jiménez
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Facultad de Ingeniería)
Volumen / número / página	19 / 28 / 7 – 20
Año	2010
Ubicación del documento	http://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/1393
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	Susceptibilidad, Amenaza, Inestabilidad
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Evaluación, prevención y mitigación de riesgos geológicos
Descripción	Se plantea una propuesta metodológica para la zonificación de amenazas y susceptibilidad a FMR como resultado del estudio de otras metodologías ya aplicadas.

Observaciones	No presenta
---------------	-------------

No. De Documento	D040
Nombre del Documento	Susceptibilidad a avenidas torrenciales de las quebradas San Roque y Obando, del sector de la urbanización Tierra Firme, Municipio de Ibagué, Departamento del Tolima
Autor(es)	INGEOMINAS
Tipo de documento	Libro
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	1999
Ubicación del documento	http://aplicaciones1.sgc.gov.co/sicat/html/Metadato.aspx?CID=170038
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	La zona conocida como Tierra Firme en Ibagué se ha caracterizado por presentar avenidas torrenciales desde épocas muy antiguas, incluso desde antes de la instalación de la ciudad de Ibagué. En el trabajo se realiza la identificación espacial de fenómenos ocurridos, y de tal manera planificar el desarrollo urbano.
Observaciones	No volumen, no número, no paginación

No. De Documento	D041
Nombre del Documento	Las avenidas torrenciales: una amenaza potencial en el valle de Aburrá
Autor(es)	José Humberto Caballero Acosta
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Gestión y Ambiente)
Volumen / número / página	14 / 3 / 45 – 50
Año	2011
Ubicación del documento	http://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/29734
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	Avenidas torrenciales, mass movements, natural hazards, watershed management, Aburrá Valley, Antioquia; Colombia
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Este artículo muestra la susceptibilidad por avenidas torrenciales del Valle de Aburrá y se hacen algunas recomendaciones para su prevención.

Observaciones	No presenta
---------------	-------------

No. De Documento	D042
Nombre del Documento	Zonificación de amenazas por procesos de remoción en masa en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, Valle del Cauca.
Autor(es)	Eduardo Castro Marín, Germán Vargas Cuervo, Manuel Moreno Espitia
Tipo de documento	Artículo (Alcaldía de Palmira. Valle del Cauca)
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	1998
Ubicación del documento	http://www.palmira.gov.co/attachments/article/808/zonificacion_cuencas.pdf
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Evaluación, prevención y mitigación de riesgos geológicos
Descripción	Aplicación del modelo estadístico univariado para determinar la susceptibilidad por FMR, como resultado de un trabajo conjunto del INGEOMINAS y la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), integrando cartografía temática y factores detonantes de fenómenos.
Observaciones	No volumen, no número, no paginación

No. De Documento	D043
Nombre del Documento	Zonificación de riesgo por movimientos en masa inundación y avenidas torrenciales. Atención de áreas afectadas por eventos desastrosos
Autor(es)	CORNARE
Tipo de documento	Informe
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2012
Ubicación del documento	https://www.cornare.gov.co/GestionRiesgo/SAN-RAFAEL/Informe-San-Rafael.pdf
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Se realiza la zonificación de riesgo por movimientos en masa y avenidas torrenciales e inundación en el municipio de San Rafael, y se dictan algunas recomendaciones para prevención de próximos eventos

Observaciones	No volumen, no número, no paginación
---------------	--------------------------------------

No. De Documento	D044
Nombre del Documento	Susceptibilidad y amenaza de movimientos de ladera mediante S.I.G. en el municipio de Berlín, El Salvador
Autor(es)	Jorge Navarro Vidal
Tipo de documento	Proyecto de grado (Maestría: Tecnologías de la Información Geográfica)
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2012
Ubicación del documento	http://eprints.ucm.es/19876/
País de estudio	El Salvador
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, América Central
Indicador de información	Evaluación, prevención y mitigación de riesgos geológicos
Descripción	Evaluación de la susceptibilidad y amenaza de movimientos de ladera en el municipio de Berlín, El Salvador, haciendo uso de SIG a escala municipal y análisis de las condiciones orográficas y geológicas de la zona.
Observaciones	No volumen, no número, no paginación

No. De Documento	D045
Nombre del Documento	Caracterización y análisis de los huaycos del 5 de abril del 2012 Chosica- Lima
Autor(es)	Enrique Guadalupe, Norma Carrillo
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográfica)
Volumen / número / página	15 / 29 / 69 – 82
Año	2012
Ubicación del documento	http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/2206
País de estudio	Perú
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	Huaycos en Chosica, Desastres Naturales, Río Rímac
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Sur América
Indicador de información	Casos históricos
Descripción	Se describen y explican los huaycos ocurridos en Chosica, Lima (Perú) el 5 de abril del 2012. Se explican las condiciones que los generaron y los daños que causaron.
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D046
Nombre del Documento	Evaluación del riesgo en el Asentamiento Humano Perú - Jaén ante el peligro de Huaycos.
Autor(es)	Gastulo Tapia, Cristhian Junior
Tipo de documento	Proyecto de grado (Pregrado: Ingeniería Civil)
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2014
Ubicación del documento	http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/383
País de estudio	Perú
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Sur América
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Se determina el nivel de riesgo en el asentamiento humano de Jaén (Perú) a la ocurrencia de huaycos debidos a las intensas lluvias que se presentan en la zona regularmente. El estudio se realiza mediante la aplicación de encuestas, visitas de campo y estudios hidrológicos. El resultado es el mapa de riesgo final (Nivel alto) y finalmente se dan algunas recomendaciones para prevenir los fenómenos y mitigar los daños.
Observaciones	No volumen, no número, no paginación

No. De Documento	D047
Nombre del Documento	Flujos de detritos y dispersores de energía en la torrentera Juan Carossio Chosica – Lima
Autor(es)	Tomás Gallarday, Nora Malca
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográfica)
Volumen / número / página	17 / 33 / 39 – 44
Año	2014
Ubicación del documento	http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11495 http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11495
País de estudio	Perú
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	Flujo de detritos (huaycos) en Chosica, Lima, dispersores de energía en torrentera.
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Sur América
Indicador de información	Casos históricos

Descripción	Evaluación de los flujos de detritos que ocurren en la quebrada Juan Carossio en Lima (Perú) y se realiza el diseño de una estructura disipadora de energía para disminuir la velocidad de las corrientes de agua.
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D048
Nombre del Documento	Flujos torrenciales catastróficos en el Perú Primera etapa
Autor(es)	David Durand Castro
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Investigaciones Sociales)
Volumen / número / página	16 / 29 / 29 – 38
Año	2012
Ubicación del documento	http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/sociales/article/view/7696
País de estudio	Perú
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	Flujos torrenciales, llocllas o llapanas.
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Sur América
Indicador de información	Casos históricos
Descripción	Descripción de algunos fenómenos torrenciales ocurridos en Perú y explicación de algunos factores que lo causaron
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D049
Nombre del Documento	Geología, geodinámica y simulación de flujos en las ciudades de Urubamba y Ollantaytambo
Autor(es)	Patricio Alonso Valderrama Murillo
Tipo de documento	Proyecto de grado (Pregrado: Ingeniería Geológica)
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2006
Ubicación del documento	http://es.calameo.com/books/000820129aede1e6440d7
País de estudio	Perú
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Sur América
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados

Descripción	Metodología para evaluar el riesgo a ocurrencia de huaycos, aplicada a los municipios de Urubamba y Ollantaytambo en Perú, haciendo uso del software FLO-2D, visitas de campo, e información cartográfica base.
Observaciones	No volumen, no número, no paginación

No. De Documento	D050
Nombre del Documento	Huaycos en 1987 en el distrito de Lurigancho- Chosica (Lima-Perú)
Autor(es)	César Abad Pérez
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines)
Volumen / número / página	38 / 3 / 475 – 486
Año	2010
Ubicación del documento	http://bifea.revues.org/2272
País de estudio	Perú
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	Huaycos (aluviones), vulnerabilidad, gestión de crisis, obras de protección, ocupación del suelo, Lurigancho-Chosica, Lima
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Sur América
Indicador de información	Casos históricos
Descripción	Se presenta un análisis de los huaycos ocurridos e en 1987 en el distrito de Lurigancho- Chosica (Lima-Perú); se describen sus causas y consecuencias y se evidencia faltas graves e incumplimientos en el plan de prevención y mitigación.
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D051
Nombre del Documento	Sistema de alerta temprana en zona de aluviones
Autor(es)	J. Chira La Rosa, J.M. Kuroiwa
Tipo de documento	Acta de conferencia (Evento: XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica Lima, Perú)
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2016
Ubicación del documento	https://www.researchgate.net/publication/312967985_SISTEMA_DE_ALERTA_TEMPRANA_EN_ZONA_DE_ALUVIONES
País de estudio	Perú
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	Aluvión, Huayco, Sistema de Alerta Temprana, Chosica
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Torrent, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Sur América
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados

Descripción	Propuesta de un sistema de alerta temprana aplicado a la cuenca media-alta del río Rimac (Lima, Perú), haciendo uso de tecnologías de monitoreo ambiental y un modelo de gestión del sistema.
Observaciones	No volumen, no número, no paginación

No. De Documento	D052
Nombre del Documento	The acceptability of risks from natural disasters
Autor(es)	Higson, D. J
Tipo de documento	Acta de conferencia (Evento: 9th international conference on risk analysis and hazard mitigation)
Volumen / número / página	Risk Analysis IX / Np / 27 – 33
Año	2014
Ubicación del documento	https://books.google.com.co/books?id=omODAwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Risk+Analysis+I+X&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi42bZ26dzVAhWCMSYKHSvaCG4Q6AEIJDA#v=onepage&q=Risk%20Analysis%20IX&f=false
País de estudio	Australia
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Risk, natural disaster, earthquake, tsunami, flooding, storm, meteorite, Fukushima, radiation
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, Australia
Indicador de información	Evaluación, prevención y mitigación de riesgos geológicos
Descripción	Concepción actual del riesgo de desastres y cómo afecta la vida del hombre
Observaciones	No número

No. De Documento	D053
Nombre del Documento	Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (2015 - 2025)
Autor(es)	Sistema Nacional De Gestión del Riesgo de Desastres
Tipo de documento	Informe
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2016
Ubicación del documento	http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/20.500.11762/756/27/PNGRD-2016.pdf
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	El Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres de Colombia "una Estrategia de Desarrollo", presenta todos los procesos que involucran el reconocimiento del riesgo y prevención y mitigación de desastres.

Observaciones	No volumen, no número, no paginación
---------------	--------------------------------------

No. De Documento	D054
Nombre del Documento	Decreto número 1807 del 19 de septiembre de 2014
Autor(es)	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
Tipo de documento	Ley
Volumen / número / página	No presenta
Año	2014
Ubicación del documento	http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/SRR/decreto_1807_19_%20septiembre_2014.pdf
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Decreto 1807 del 19 de septiembre de 2014
Descripción	"Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones"
Observaciones	No volumen, no número, no paginación

No. De Documento	D055
Nombre del Documento	A quantitative vulnerability function for fluvial sediment transport
Autor(es)	Reinhold Totschnig, Walter Sedlacek, Sven Fuchs
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Natural Hazard)
Volumen / número / página	58 / 2 / 681 – 703
Año	2011
Ubicación del documento	https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-010-9623-5
País de estudio	Austria
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Risk assessment, Vulnerability, Fluvial sediment transport, Torrent, Hazard, Alps, Austria
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Metodología empírica aplicada a tres eventos de torrente en los Alpes Austriacos, para evaluar la vulnerabilidad del sector a estos fenómenos. Se usa como base SIG y características espaciales de los desastres a escala local. El resultado tiene un 90% de confianza
Observaciones	El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D056
------------------	------

Nombre del Documento	Benefits of local structural protection to mitigate torrent-related hazards
Autor(es)	M. Holub, S. Fuchs
Tipo de documento	Sección de libro (Libro: Risk Analysis VI, Simulation and Hazard Mitigation)
Volumen / número / página	Np / Np / 401 – 411
Año	2008
Ubicación del documento	https://books.google.com.co/books?id=XgHQCwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false
País de estudio	Austria
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	integral risk management, vulnerability, cost-benefit analysis, local, structural measures, natural hazards
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Evaluación, prevención y mitigación de riesgos geológicos
Descripción	Se presenta una comparación entre estrategias de mitigación y sus costos, en un área donde los recursos para la gestión integral del riesgo son escasos. Se concluye que medidas estructurales locales reducen considerablemente la vulnerabilidad de los edificios a los peligros naturales y que, por lo tanto, deben considerarse como medidas de mitigación adicionales o incluso alternativas.
Observaciones	No volumen, no número, el país no pertenece a la Zona Tropical.

No. De Documento	D057
Nombre del Documento	Managing risks related to drift wood (woody debris)
Autor(es)	Florian Rudolf-Miklau, Johannes Hübl
Tipo de documento	Acta de conferencia
Volumen / número / página	Np / Np / 868 – 878
Año	2010
Ubicación del documento	http://www.interpraevent.at/palm-cms/upload_files/Publikationen/Tagungsbeitraege/2010_868.pdf
País de estudio	Austria
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Drift wood, Woody debris, Risk assessment, Structural protection measures, Protection forest, Maintenance of torrents
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	El artículo ofrece un resumen conciso de los métodos para evaluar los riesgos de la madera en deriva y las estrategias integradas de protección, enfatizando también las brechas de conocimiento en este campo.
Observaciones	No volumen, no número, el país no pertenece a la Zona Tropical.

No. De Documento	D057
-------------------------	-------------

Nombre del Documento	Managing risks related to drift wood (woody debris)
Autor(es)	Florian Rudolf-Miklau, Johannes Hübl
Tipo de documento	Acta de conferencia
Volumen / número / página	Np / Np / 868 – 878
Año	2010
Ubicación del documento	http://www.interpraevent.at/palm-cms/upload_files/Publikationen/Tagungsbeitraege/2010__868.pdf
País de estudio	Austria
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Drift wood, Woody debris, Risk assessment, Structural protection measures, Protection forest, Maintenance of torrents
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	El artículo ofrece un resumen conciso de los métodos para evaluar los riesgos de la madera en deriva y las estrategias integradas de protección, enfatizando también las brechas de conocimiento en este campo.
Observaciones	No volumen, no número, el país no pertenece a la Zona Tropical.

No. De Documento	D058
Nombre del Documento	Vulnerability to torrent processes
Autor(es)	S. Fuchs
Tipo de documento	Sección de libro (Libro: Risk Analysis VI, Simulation and Hazard Mitigation)
Volumen / número / página	Np / Np / 289 – 298
Año	2008
Ubicación del documento	https://books.google.com.co/books?id=XgHQCwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false
País de estudio	Austria
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Risk analysis, torrent processes, debris flows, vulnerability
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	Evaluación empírica de la vulnerabilidad de los edificios a los procesos de torrente, con datos tomados en Austria y Suiza. La evaluación se realizó usando SIG e información cartográfica; como resultado se obtuvo una función matemática que expresa la vulnerabilidad por procesos de torrente con intensidades de flujo de residuos entre 0,33 y 3,06 metros
Observaciones	No volumen, no número, el país no pertenece a la Zona Tropical.

No. De Documento	D059
-------------------------	-------------

Nombre del Documento	Debris flow susceptibility mapping using a qualitative heuristic method and Flow-R along the Yukon Alaska Highway Corridor, Canada
Autor(es)	A. Blais-Stevens, P. Behnia
Tipo de documento	Artículo de (Revista: Natural hazard and Earth System Sciences)
Volumen / número / página	16 / Np / 49 – 462
Año	2016
Ubicación del documento	https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/16/449/2016/
País de estudio	Canadá
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Método heurístico cualitativo para evaluar la susceptibilidad por debris flow y Flow-R a lo largo del Corredor vial Yukon ne Alaska (Canadá). En el proceso se usaron imágenes satelitales, fotografías aéreas, visitas de campo e información fisiográfica de la zona. El resultado es el mapa de susceptibilidad.
Observaciones	El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D060
Nombre del Documento	Subaerial sediment-water flows on hillslopes: Essential research questions and classification challenges
Autor(es)	Daniel Germain, Marie-Audray Ouellet
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Progress in Physical Geography)
Volumen / número / página	37 / 6 / 813 – 833
Año	2013
Ubicación del documento	http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0309133313507943?journalCode=ppga
País de estudio	Canadá
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Classification, flows, geomorphology, rheology, sediment, sedimentology, wáter
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	Conceptualización de los Flujos subaeriales de sedimento-agua y calificación
Observaciones	El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D061
Nombre del Documento	Assessment of debris flow hazards using a Bayesian Network
Autor(es)	Wan-jie Liang, Da-fang Zhuang, Dong Jiang, Jian-jun Pan, Hong-yan Ren

Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Geomorphology)
Volumen / número / página	171 – 7172 / Np / 94 – 100
Año	2012
Ubicación del documento	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X12002279
País de estudio	China
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Debris flow hazard, Bayesian Network, Hazard assessment, Chinese mainland
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent. Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Este estudio presenta un nuevo enfoque para evaluar el riesgo de flujo de escombros utilizando BN (Bayesian Network) y el conocimiento del dominio. Basados en los registros de peligros de flujo de escombros y datos geomorfológicos / ambientales para el continente chino, se compararon los enfoques basados en BN, SVM (Vector Vector Machine) y ANN (Artificial Neural Network). BN proporcionó los valores más altos de probabilidad de detección de riesgos, precisión y AUC (área bajo la curva característica de funcionamiento del receptor). El modelo BN es útil para cartografiar y evaluar el riesgo de flujo de escombros a escala nacional.
Observaciones	No número, el país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D062
Nombre del Documento	Debris Flow Characteristics and Risk Degree Assessment in Changyuan Gully, Huairou District, Beijing
Autor(es)	Yang Qilin, Gao Jiarong, Wang Yue, Qian Bintian
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Procedia Earth and Planetary Science)
Volumen / número / página	2 / Np / 262 - 271
Año	2011
Ubicación del documento	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878522011000439
País de estudio	China
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Debris flow; Changyuan gully; risk degree assessment; AHP
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Evaluación del riesgo por debris flow aplicada en Changyuan Gully (China) en base al método "analytic hierarchy process (AHP)". El resultado del trabajo muestra un alto grado de riesgo para esta zona y se recomiendan medidas de prevención y mitigación como sistemas de monitoreo y alerta temprana.
Observaciones	No número, el país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D063
Nombre del Documento	Risk assessment of highways affected by debris flows in Wenchuan earthquake área
Autor(es)	Peng Cui, Ling-zhi XiangQiang Zou
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Journal of Mountain Science)
Volumen / número / página	10 / 2 / 173 - 189
Año	2013
Ubicación del documento	https://link.springer.com/article/10.1007/s11629-013-2575-y
País de estudio	China
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Debris flow; Highway disaster; Hazard analysis; Vulnerability analysis; Risk analysis Wenchuan earthquake
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	En mayo del 2008 un terremoto afectó a Wenchuan (China) y desde entonces las carreteras se han visto afectadas por debris flows. Se realiza entonces una evaluación del riesgo, usando como criterios la escala de flujos de escombros, depósitos en carreteras y bloqueo de ríos. Este método de riesgo puede ser utilizado objetivamente para evaluar el riesgo de flujo de escombros a lo largo de carreteras y es útil para la reconstrucción de carreteras en áreas montañosas que sufren de flujos de desechos activos, ya que los resultados de la evaluación eran muy cercanos a lo que se podía apreciar en campo.
Observaciones	El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D064
Nombre del Documento	The devastating Zhouqu Storm-triggered debris flow of August 2010: Likely causes and possible trends in a future warming climate
Autor(es)	Ren Diandong
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Journal of Geophysical Research: Atmospheres)
Volumen / número / página	119 / 7 / 3643 – 3662
Año	2014
Ubicación del documento	http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2013JD020881/full
País de estudio	China
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados

Descripción	En agosto de 2010, un debris flow acabó con el pueblo de Zhouqu (China); en base a estudios hechos, se determinó que las causas principales del suceso fueron fuertes lluvias seguidas de períodos de sequía que profundizaron las grietas causadas por el terremoto de Wenchuan en mayo del 2008. El artículo muestra un estudio donde relaciona el cambio climático con la posible ocurrencia de debris flows, ya que en un futuro se prevé que si el clima se torna más cálido, los períodos de lluvias extremas serán más extremos.
Observaciones	El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D065
Nombre del Documento	Evaluation of approaches to calculate debris-flow parameters for hazard assessment
Autor(es)	Marcel Hürlimann, Dieter Rickenmann, Vicente Medina, Allen Bateman
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Engineering Geology)
Volumen / número / página	102 / 3 – 4 / 152 - 163
Año	2008
Ubicación del documento	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795208001816
País de estudio	España
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Debris flow, Runout, Hazard assessment, Pyrenees
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	En el presente artículo se revisan las técnicas empíricas, analíticas, de flujo simple y técnicas numéricas. Todas estas técnicas se aplicaron para volver a calcular un flujo de escombros, que se produjo en 1982 en la cuenca de La Guingueta, en los Pirineos Orientales
Observaciones	El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D066
Nombre del Documento	Monitoring and geomorphologic characterization of debris flows at catchment scale
Autor(es)	Clàudia Abancó Martínez de Arenzana
Tipo de documento	Proyecto de grado (Doctorado: Ingeniería del terreno)
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2014
Ubicación del documento	http://www.tdx.cat/handle/10803/128677
País de estudio	España
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados

Descripción	Conceptualización de algunos aspectos de la escala de evaluación de riesgo por debris flows; en particular la estimación de la magnitud de los eventos, la determinación de su intensidad y la caracterización de los factores desencadenantes.
Observaciones	No volumen, no número, no paginación, El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D067
Nombre del Documento	Assessing debris-flow hazard focusing on statistical morphofluvial susceptibility models and magnitude-frequency relationships: Application to the Central-eastern Pyrenees
Autor(es)	Guillaume G. Chevalie
Tipo de documento	Proyecto de grado (Doctorado: Ingeniería del terreno)
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2013
Ubicación del documento	http://www.tesisenred.net/handle/10803/128804
País de estudio	Francia
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Evaluación del riesgo en algunos debris flows ocurridos en los Pirineos centro-orientales, como primer paso en la gestión del riesgo en esta zona. La evaluación contó con el apoyo de un inventario realizado dentro del trabajo de la tesis y criterios geológicos y morfológicos de la zona.
Observaciones	No volumen, no número, no paginación, El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D068
Nombre del Documento	Meteorological conditions during slushflow release and their geomorphological impact in northwestern iceland: a case study from the Bíldudalur Valley
Autor(es)	Armelle Decaulne, Þorsteinn Sæmundsson
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Geografiska Annaler)
Volumen / número / página	88 / 33 / 187 – 197
Año	2006
Ubicación del documento	http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1468-0459.2006.00294.x/abstract
País de estudio	Islandia
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Flows, snowmelt, debris cone, northwest Iceland.
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados

Descripción	En este artículo se examinan los factores desencadenantes y la importancia geomórfica de los flujos de lodo en el valle de Bıldudalur, al noroeste de Islandia. Se tienen en cuenta eventos ocurridos y las condiciones geomorfológicas de fenómenos sucedidos entre 1997 y 1998.
Observaciones	El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D069
Nombre del Documento	An integrated approach to the study of catastrophic debris-flows: geological hazard and human influence
Autor(es)	C. Del Ventisette, F. Garfagnoli, A. Ciampalini, A. Battistini, G. Gigli, S. Moretti, N. Casagli
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Natural azards and Earth System Sciences)
Volumen / número / página	12 / Np / 2907 – 2922
Año	2012
Ubicación del documento	https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/12/2907/2012/
País de estudio	Italia
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Estudio y caracterización del debris flow ocurrido el 1 de octubre de 2009, en el sector noreste de Sicilia (Italia). Se evalúa la susceptibilidad de esta zona a la ocurrencia de debris flow y el resultado es el mapa de áreas propensas a deslizamientos, que contribuirá a un mejor desarrollo urbano.
Observaciones	No número, el país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D070
Nombre del Documento	Physically based dynamic run-out modelling for quantitative debris flow risk assessment: a case study in Tresenda, northern Italy
Autor(es)	Byron Quan Luna, Jan Blahut, Corrado Camera, Cees van Westen, Tiziana Apuani, Victor Jetten, Simone Sterlacchini
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Environmental Earth Sciences)
Volumen / número / página	72 / 3 / 645 – 661
Año	2014
Ubicación del documento	https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-013-2986-7
País de estudio	Italia
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Debris flow, FLO-2D, Run-out, Quantitative hazard and risk assessment, Vulnerability, Numerical modelling
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados

Descripción	Metodología aplicada a la evaluación del riesgo por debris flow en el área de Tresenda en el Valle Valtellina (Región de Lombardía, Norte de Italia), haciendo uso de datos puvliométricos y geotécnicos y modelaciones con FLO-2D. El resultado es el mapa de riesgo por estos flujos para contribuir a una mejor ocupación del territorio.
Observaciones	El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D071
Nombre del Documento	Debris flow hazard mapping with a random walk model in Korea
Autor(es)	H.-J. Youn, C.-W. Lee, C.-S. Cortejar
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista:WIT Transactions on Information and Communication Technologies)
Volumen / número / página	43, Risk Analysis VII & Brownfields / Np / 627 – 635
Año	2010
Ubicación del documento	https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-information-and-communication-technologies/43/21569
País de estudio	Korea
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Landslide, soil volume at a time, stop angle and inertia weight, correspondence rate.
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Evaluación del riesgo por debris flow en los condados de Inje y Pyeongchang, provincia de Gangwon y condado de Bongwha, provincia de Gyeongbuk, Corea, usando el modelo "random walk". El resultado es el mapa de riesgos que apoyará la toma de decisiones en cuanto a uso del suelo y sitios para trabajos de control de erosión del suelo.
Observaciones	No número, el país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D072
Nombre del Documento	Regional-scale landslide activity and landslide susceptibility zonation in the Nepal Himalaya
Autor(es)	Ranjan Kumar Dahal
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Environmental Earth Sciences)
Volumen / número / página	71 / 12 / 5145 – 5164
Año	2014
Ubicación del documento	https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-013-2917-7
País de estudio	Nepal
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Event-based landslide, Geo-disasters, Susceptibility zonation maps, The Nepal Himalaya, Blind landslide inventory, Landslide activity, Validation of susceptibility maps
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Evaluación, prevención y mitigación de riesgos geológicos

Descripción	Se realiza la evaluación del riesgo por deslizamientos en los Himalayas de Nepal, a escala regional. El resultado es el mapa de susceptibilidad a estos fenómenos, con una tasa de confiabilidad del 82% y que contribuye a una mejora significativa en el procedimiento de preparación de inventario de deslizamientos, enfoques de cartografía de zonación de susceptibilidad y el papel de varios parámetros causales predisponentes para la actividad de deslizamiento de tierra.
Observaciones	El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D073
Nombre del Documento	A Critical Look At Risk Analysis Of Disasters
Autor(es)	A. Lepikhin
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista:WIT Transactions on Information and Communication Technologies)
Volumen / número / página	43, Risk Analysis VII & Brownfields V / Np / 59 – 67
Año	2010
Ubicación del documento	https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-information-and-communication-technologies/43/21523
País de estudio	Rusia
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Hazards, disasters, risk analysis, damages, critical infrastructure, critical technologies
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Evaluación, prevención y mitigación de riesgos geológicos
Descripción	Mirada crítica de las metodologías utilizadas para evaluar el riesgo por desastres naturales, teniendo en cuenta la identificación de riesgos, análisis de riesgos, evaluación de riesgos y las medidas de seguridad de riesgo
Observaciones	El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D074
Nombre del Documento	Public Perception and Stakeholder Involvement in the Crisis Management of Sediment-Related Disasters and their Mitigation: The Case of the Stoz̃e Debris Flow in NW Slovenia
Autor(es)	Matjaz Mikos
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Integrated Environmental Assessment and Management)
Volumen / número / página	7 / 2 / 216 – 227
Año	2010
Ubicación del documento	https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20836057
País de estudio	Slovenia
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Crisis management, debris flows, stakeholders' involvement, risk management, sediments.

Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Casos históricos
Descripción	Análisis y comprensión del desastre ocurrido en noviembre del 2000 en la parte montañosa de Slovenia; se examinan las medidas tomadas antes, durante y después del suceso y se evalúa el estado actual del fenómeno.
Observaciones	El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D075
Nombre del Documento	Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale
Autor(es)	P. Horton, M. Jaboyedoff, B. Rudaz, M. Zimmermann
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Natural Hazard and Earth System Sciences)
Volumen / número / página	13 / Np / 869 – 885
Año	2013
Ubicación del documento	https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/13/869/2013/nhess-13-869-2013.html
País de estudio	Suiza
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Metodología basada en el modelo empírico "Flow-R for Flow path assessment of gravitational hazards at a Regional scale", desarrollado por la Universidad de Lausana para estudios de riesgo a escala regional, usando como base el DEM. El software Flow-R está en la capacidad de modelar el flujo, delimitar en área de origen y la extensión de la propagación.
Observaciones	No número, el país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D076
Nombre del Documento	Aplicación de las técnicas dendrogeomorfológicas al estudio de las avenidas torrenciales
Autor(es)	Juan Antonio Ballesteros Cánovas, José María Bodoque del Pozo, Andrés Díez-Herrero
Tipo de documento	Acta de conferencia (Encuentro: II Reunión sobre Hidrología Forestal (2011))
Volumen / número / página	32 / Np / 77 – 82
Año	2011
Ubicación del documento	http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos_secf/article/view/10142/10046
País de estudio	España
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	Anillos de crecimiento, inundación, hidrología, torrente

Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Metodología para estimar la frecuencia, magnitud y características físicas de avenidas torrenciales en base a análisis dendrogeomorfológico de árboles afectados y localización en campo, en caso de que no se cuente con información pluviométrica o foronómica.
Observaciones	No número, el país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D077
Nombre del Documento	Introducción de múltiples tiempos de respuesta en la simulación hidrológica de avenidas torrenciales en cuencas hidrográficas
Autor(es)	José Carlos Robredo Sánchez, Carlos De Gonzalo Aranoa, Juan Ángel Mintegui Aguirre
Tipo de documento	Acta de conferencia (Encuentro: II Reunión sobre Hidrología Forestal (2011))
Volumen / número / página	32 / Np / 165 - 174
Año	2011
Ubicación del documento	http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos_secf/article/view/10155/10059
País de estudio	España
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	Avenida, caudal punta, tiempo de respuesta, laminación, simulación
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Estimación del comportamiento de flujos torrenciales haciendo uso de simulaciones basadas en los métodos del Hidrograma Unitario del SCS y Muskingum, con el fin de relacionar el tiempo de movilización de la escorrentía con la magnitud de los caudales de las avenidas torrenciales. Como ejemplo se hace un estudio en base a datos de aforos recopilados de la Diputación foral de Bizkaia y la Confederación Hidrográfica del Ebro en campo y en Graus, de la provincia de Huesca, España.
Observaciones	No número, el país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D078
Nombre del Documento	Las avenidas torrenciales en cauces efímeros: ramblas y abanicos aluviales
Autor(es)	M. Guillermina Garzón Heydt, José A. Ortega Becerril, Júlio Garrote Revilla
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Enseñanza de las Ciencias de la Tierra)
Volumen / número / página	17 / 3 / 2654 - 2760
Año	2009
Ubicación del documento	http://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/199929
País de estudio	España
Idioma	Español

Palabras Claves del Artículo	Torrentes, ramblas, abanicos aluviales, avenidas súbitas, peligrosidad
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	Conceptualización de las avenidas torrenciales, su comportamiento y amenaza asociada a estos.
Observaciones	El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D079
Nombre del Documento	Mejoras en la estimación de la frecuencia y magnitud de avenidas torrenciales mediante técnicas dendrogeomorfológicas
Autor(es)	A. Díez-Herrero, J.A. Ballesteros, J.M. Bodoque, M.A. Eguíbar, J.A. Fernández, M.M. Génova, L. Laín, M. Llorente, J.M. Rubiales, M. Stoffel
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Boletín Geológico y Minero)
Volumen / número / página	4 / 118 / 789 – 802
Año	2007
Ubicación del documento	http://oa.upm.es/2776/
País de estudio	España
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	Avenida, dendrogeomorfología, inundación, riada, riesgo
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Aplicación de la dendrogeomorfología en el análisis científico del riesgo y caracterización de las avenidas torrenciales. El método implica 1, caracterización geomorfológica; 2, caracterización florística; 3, muestreo de ejemplares; 4, adquisición de datos topográficos detallados; 5, preparación de las muestras; 6, conteo y medida de los anillos de crecimiento; 7, estudio anatómico e histológico; 8, sincronización de las series; 9, detección y datación de eventos; 10, modelación hidráulica de tramos; 11, análisis estadístico de caudales de avenida; y 12, cartografía de las áreas de peligrosidad por avenidas torrenciales y mapas de riesgo.
Observaciones	El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D080
Nombre del Documento	Metodología para la elaboración de cartografía de peligrosidad por avenidas e inundaciones
Autor(es)	Instituto Geológico y Minero de España
Tipo de documento	Guía Metodológica
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2009
Ubicación del documento	http://info.igme.es/SIDIMAGENES/141000/722/141722_0000001.PDF

País de estudio	España
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Síntesis de los trabajos realizados dentro del marco del proyecto Investigación metodológica para la elaboración de cartografía de peligrosidad por avenidas e inundaciones” (METAVENIDAS) del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Se presenta un desarrollo metodológico de evaluación de la peligrosidad y se analiza el estado actual de metodologías relacionadas.
Observaciones	No volumen, no número, no paginación, El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D081
Nombre del Documento	Guía para la elaboración de mapas inventario y de susceptibilidad de movimientos de ladera a escala 1/50.000
Autor(es)	Ferrer Guijón; García López-Davalillo
Tipo de documento	Guía metodológica
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2009
Ubicación del documento	http://info.igme.es/ConsultaSID/presentacion.asp?Id=133424
País de estudio	España
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	En esta guía se presenta una metodología para la elaboración de mapas de inventario y susceptibilidad de movimientos de ladera a escala 1:50,000. Se describen algunos casos de aplicación
Observaciones	No volumen, no número, no paginación, El país no pertenece a la Zona Tropical
No. De Documento	D082
Nombre del Documento	Génesis y características de un nuevo flujo de detritos en Lo Valdés, Cajón del Maipo, Chile.
Autor(es)	Jorge Romero Moyano, Carlos Pérez Rubio
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Revista Electrónica de Geografía Austral)
Volumen / número / página	3 / Np / 1 – 6
Año	2011

Ubicación del documento	https://www.researchgate.net/publication/262973190_Genesis_y_caracteristicas_de_un_nuevo_flujo_de_detritos_en_Lo_Valdes_Cajon_del_Maipo_Chile
País de estudio	Chile
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	Flujo de detritos, litofacies, Formación Lo Valdés, lluvias estivales.
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows
Indicador de información	Casos históricos
Descripción	Caracterización y análisis del flujo de detritos ocurrido en 2011 en el municipio de Lo Valdés (Chile). Se describen las causas y las consecuencias del fenómeno
Observaciones	No volumen, El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D083
Nombre del Documento	Análisis morfométrico de microcuencas afectadas por flujos de detritos bajo precipitación intensa en la quebrada de Camiña, Norte Grande de Chile
Autor(es)	Mónica Meza Aliaga, Alan Rodríguez Valdivia, Oscar Corvacho Ganahín, Alejandro Tapia Tosetti
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Dálogo Andino)
Volumen / número / página	44 / Np / 15 - 24
Año	2014
Ubicación del documento	http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0719-26812014000200003&script=sci_arttext&tlng=en
País de estudio	Chile
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	Quebrada de Camiña, morfometría de cuencas hidrográficas, análisis hipsométrico
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	Análisis de los parámetros de las microcuencas Cuisana, Camiña, Chapiquilta, Yala-Yala, Apamilca y Altuza, usando métodos cuantitativos. En los resultados se demuestra la alta susceptibilidad de estas microcuencas a la ocurrencia de flujos de detritos.
Observaciones	No número, El país no pertenece a la Zona Tropical

No. De Documento	D084
Nombre del Documento	Guía ambiental para evitar, corregir y compensar los impactos de las acciones de reducción y prevención de riesgos en el nivel municipal
Autor(es)	Departamento Nacional de Planeación
Tipo de documento	Guía Metodológica
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2005

Ubicación del documento	https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/1_Doc_riesgos_Guia_Ambiental.pdf
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Apoyo metodológico a la gestión ambiental local, dentro del marco del Programa para la Reducción de la Vulnerabilidad Fiscal del Estado ante Desastres Naturales. El fin del documento es la incentivación de buenas prácticas ambientales de mitigación y prevención de riesgos.
Observaciones	No volumen, no página, no número

No. De Documento	D085
Nombre del Documento	Deslizamientos: Análisis Geotécnico
Autor(es)	Jaime Suárez Díaz
Tipo de documento	Libro
Volumen / número / página	1 / Np / Np
Año	2009
Ubicación del documento	http://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	Este libro ofrece una excelente descripción de los factores pasivos y activos que generan movimientos en masa, sus características principales y comportamiento.
Observaciones	No número, no página

No. De Documento	D086
Nombre del Documento	Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS
Autor(es)	Ministerio de Ambiente
Tipo de documento	Guía Metodológica
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2014

Ubicación del documento	http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/cuencas-hidrograficas/Guia-Tecnica-para-la-formulacion-de-planes-de-ordenacion-y-manejo-de-cuencas-hidrograficas-POMCAS.pdf
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Guía técnica que establece criterios, procedimientos y metodologías de apoyo a las CAR para la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.
Observaciones	No volumen, no página, no número

No. De Documento	D087
Nombre del Documento	Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa
Autor(es)	Servicio Geológico Colombiano
Tipo de documento	Guía Metodológica
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2015
Ubicación del documento	http://www2.sgc.gov.co/Noticias/archivos/Guia-Methodologica-Servicio-Geologico.aspx
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Guía metodológica para evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa; se describe una metodología heurística para zonificaciones.
Observaciones	No volumen, no página, no número

No. De Documento	D088
Nombre del Documento	Statistical Analysis of Landslide Events in Central America and their Run-out Distance
Autor(es)	Devoli, Graziella; Blasio, Fabio De; Elverhøi, Anders; Høeg, Kaare
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Geotechnical and Geological Engineering)
Volumen / número / página	27 / 1 / 23 – 42
Año	2009
Ubicación del documento	https://link.springer.com/article/10.1007/s10706-008-9209-0

País de estudio	Nicaragua
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Landslides, Debris flows, Lahars, Run-out distance, Nicaragua, Central America
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, América Central
Indicador de información	Casos históricos
Descripción	Presentación de varios casos de flujos de torrente ocurridos en algunos países; se hace énfasis especial en la parte central de América.
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D089
Nombre del Documento	Control de Erosión en Zonas Tropicales
Autor(es)	Jaime Suárez Díaz
Tipo de documento	Libro
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2001
Ubicación del documento	Biblioteca UPTC Facultad Seccional Sogamoso
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Generalidades de los flujos y amenaza asociada a avenidas torrenciales y fenómenos relacionados
Descripción	El libro trata sobre los movimientos en masa, génesis, comportamiento, consecuencias, obras de prevención, mitigación y control. Se tratan temas de erosión debidas a condiciones meteorológicásticas de la zona tropical
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D090
Nombre del Documento	Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000
Autor(es)	Servicio Geológico Colombiano
Tipo de documento	Guía Metodológica
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2013
Ubicación del documento	http://repositorio.uptc.edu.co/jspui/handle/001/1686
País de estudio	Colombia

Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Evaluación, prevención y mitigación de riesgos geológicos
Descripción	Guía técnica que ofrece los procedimientos heurísticos necesarios para zonificación del riesgo por movimientos en masa a escala 1:100,000
Observaciones	No volumen, no número, no páginas

No. De Documento	D091
Nombre del Documento	Rainfall-induced landslide susceptibility zonation of Puerto Rico
Autor(es)	Chiara Lepore; Sameer Kamal; Peter Shanahan;Rafael Bras
Tipo de documento	Artículo de revista (Revista: Environmental Earth Sciences)
Volumen / número / página	66 / 6 / 1667 – 1681
Año	2012
Ubicación del documento	https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-011-0976-1
País de estudio	Puerto Rico
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Landslide, Landslide susceptibility, Rainfall-induced landsliding, Frequency ratio, Logistic regression, GIS, Susceptibility maps, Puerto Rico
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Aplicación de las metodologías Landslide susceptibility zonation (LSZ) y bivariate frequency ratio (FR method), para el análisis de riesgo por deslizamientos detonados por lluvia en la Isla de Puerto Rico.
Observaciones	No presenta

No. De Documento	D092
Nombre del Documento	Amenaza Sísmica y Vulnerabilidad Física en la ciudad de Cañas, Guanacaste, Costa Rica
Autor(es)	Climent, A.; Salgado, D.; Slob, S.; Westen, C. J. van
Tipo de documento	Informe
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2003
Ubicación del documento	https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio
País de estudio	Costa Rica
Idioma	Español

Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, América Central
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Dentro del marco del Regional Action Program Central America (RAP-CA) subprograma del Capacity Building for Natural Disaster Reduction Program (CBNDR) de UNESCO, "se realizó una cuantificación del efecto de la tectónica y la sismicidad de Costa Rica en la ciudad de Cañas, por medio del cálculo de la aceleración horizontal pico del terreno y de la Intensidad Mercalli Modificada (IMM), que definen el grado de amenaza sísmica en la misma. Además, se obtuvieron mapas cualitativos de vulnerabilidad física de las edificaciones de la ciudad, utilizando el archivo digital del catastro de la ciudad y una base de datos relacionada, obtenida del censo e inventario realizado dentro del marco del proyecto, que incluye este estudio en particular."
Observaciones	No volumen, no número, no páginas

No. De Documento	D093
Nombre del Documento	Análisis de riesgo por inundaciones y deslizamientos de tierra en la microcuenca del Arenal de Montserrat
Autor(es)	Np
Tipo de documento	Informe
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2003
Ubicación del documento	https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio
País de estudio	El Salvador
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, América Central
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Proyecto piloto de un Análisis del Riesgo por Inundaciones y Deslizamientos de Tierra en la Microcuenca del Arenal de Montserrat (El Salvador) basado en la integración del conocimiento sobre la ocurrencia de fenómenos, con el fin de tomar decisiones en el ordenamiento y desarrollo territorial.
Observaciones	No volumen, no número, no páginas

No. De Documento	D094
Nombre del Documento	Zonificación determinística de peligros de deslizamiento
Autor(es)	C.J. van Westen

Tipo de documento	Artículo
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	Np
Ubicación del documento	https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio
País de estudio	Colombia
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, Colombia
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Aplicación de un modelo de pendientes infinitas haciendo uso de datos de Manizales de profundidad de agua subterránea (con periodos de retorno de lluvias) y aceleración sísmica (terremotos) en el software ILWIS, para hallar el peligro por deslizamientos.
Observaciones	No volumen, no número, no páginas, no año

No. De Documento	D095
Nombre del Documento	Flood hazard, vulnerability and risk assessment in the city of Turrialba, Costa Rica
Autor(es)	Elena Badilla
Tipo de documento	Proyecto de grado (Maestría en las ciencias de los recursos de la tierra y geociencias ambientales)
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2002
Ubicación del documento	https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio
País de estudio	Costa Rica
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	Flood, geomorphology, hazard, vulnerability, evaluation, damage, risk, Turrialba, Costa Rica
Palabras Claves de Búsqueda	Hazard assessment methodology, debris flow, torrent.
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Evaluación del riesgo por inundaciones en la ciudad de Turrialba, Costa Rica
Observaciones	No volumen, no número, no páginas

No. De Documento	D096
Nombre del Documento	Aplicación de SIG para la evaluación de amenazas y riesgos: Tegucigalpa, Honduras
Autor(es)	Westen, Cees van; Montoya, Lorena; Vargas, Ruben
Tipo de documento	Informe
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	Np
Ubicación del documento	https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio

País de estudio	Honduras
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, América Central
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Realización del mapa de la zonificación cualitativa del riesgo por inundación y deslizamientos, para un sector de la ciudad de Tegucigalpa (Honduras) haciendo uso del software ILWIS
Observaciones	No volumen, no número, no páginas, no año

No. De Documento	D097
Nombre del Documento	Estudio preliminar de amenazas naturales en la cuenca del río Turrialba, Canton Turrialba, Costa Rica
Autor(es)	Np
Tipo de documento	Informe
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2000
Ubicación del documento	https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio
País de estudio	Costa Rica
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, América Central
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Con la colaboración del Grupo de Zonificación de Amenazas del Programa de Acción Regional para Centro América (UNESCO-CEPREDENAC-ITC), y haciendo uso de técnicas en trabajo de campo en la zona y la recopilación y análisis de información utilizando el programa ILWIS y PC Raster , se evalúan las amenazas naturales de la cuenca del río Turrialba.
Observaciones	No volumen, no número, no páginas, no autor

No. De Documento	D098
Nombre del Documento	Flood risk assessment for the town of San Sebastian in Guatemala
Autor(es)	Graciela Peters
Tipo de documento	Informe
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2003
Ubicación del documento	https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio
País de estudio	Guatemala

Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	San Sebastian, Mitch hurricane, flood hazard, physical and social vulnerability, risk.
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, América Central
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	A consecuencia de las fuertes precipitaciones que generó el paso del Huracán Mitch por Guatemala y América Central se presentaron varios fenómenos de remoción en masa acompañados de inundaciones. En este trabajo se hace mención a una inundación en 1998, analizando los factores inherentes, contribuyentes y desencadenantes del fenómeno. Se propone un método para la reconstrucción de dicha inundación y sus efectos en la ciudad de San Sebastián porque no se disponía de datos hidrológicos y meteorológicos.
Observaciones	No volumen, no número, no página.

No. De Documento	D099
Nombre del Documento	Geomorphology and natural hazards of the Samalá river basin, Guatemala
Autor(es)	Francisco Viera
Tipo de documento	Proyecto de grado (Master of Science in Natural Hazard Study)
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2003
Ubicación del documento	https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio
País de estudio	Guatemala
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, América Central
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Evaluación del riesgo por inundaciones, flujos lahar, flujos piroclásticos y flujos de lava en la cuenca haciendo uso del software ILWIS, una base de daos geomorfológicos (basados en fotointerpretación y trabajo de campo) en la cuenca del río Samalá (Guatemala)
Observaciones	No volumen, no número, no página.

No. De Documento	D100
Nombre del Documento	Vulnerability analysis and risk assessment for seismic and flood hazard in Turalba City, Costa Rica
Autor(es)	Muh Aris; Jacob Kamwaria
Tipo de documento	Informe
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	Np
Ubicación del documento	https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio

País de estudio	Costa Rica
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, América Central
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Debido estos fenómenos de torrencialidad en la ciudad de Turialba, es necesario hacer una evaluación de riesgos para saber cuánto sería el daño si ocurre un peligro particular. La evaluación del riesgo de riesgos sísmicos y de inundación se hizo utilizando el estado de la técnica de SIG. Las herramientas SIG son muy importantes para crear un modelo, hacer la evaluación y el cálculo en un cierto período de retorno del fenómeno peligroso en particular.
Observaciones	No volumen, no número, no página.

No. De Documento	D101
Nombre del Documento	Numerical Assessment of the Influence of Earthquakes on Irregular Morphologies – Analysis of Colombia, 1999 and El Salvador, 2001 Earthquakes
Autor(es)	Carolina Sigarán
Tipo de documento	Proyecto de grado (Thesis for the degree of M. Sc. in Geological Engineering)
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2003
Ubicación del documento	https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio
País de estudio	El Salvador
Idioma	Inglés
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, América Central
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Se realiza un modelado numérico bidimensional para evaluar la respuesta del suelo de diferentes geometrías sometidas a grandes terremotos, a partir de datos del terremoto de Colombia en 1999 y de El Salvador en 2001. Modelos digitales de elevación están preparados para seleccionar y trazar los contornos topográficos.
Observaciones	No volumen, no número, no página.

No. De Documento	D102
Nombre del Documento	Guía para la Elaboración de Inventarios de Elementos en Riesgo en Áreas Vulnerables a Inundaciones y Sismos en Costa Rica
Autor(es)	Madelin Villalón
Tipo de documento	Proyecto de grado (Professional Master in Natural hazard Studies)

Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2003
Ubicación del documento	https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio
País de estudio	Costa Rica
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, América Central
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Guía metodológica para elaborar inventarios de elementos bajo riesgo, mediante la creación de bases de datos y su análisis en SIG y desarrollar la evaluación de vulnerabilidad y riesgo.
Observaciones	No volumen, no número, no página.

No. De Documento	D103
Nombre del Documento	Zonificación de Amenazas Naturales en la cuenca del río Samalá y Análisis de vulnerabilidad y riesgo en la población de San Sebastián Retalhuleu, Guatemala, Centro América
Autor(es)	Edy Manolo Barillas, Et al.
Tipo de documento	Informe
Volumen / número / página	Np / Np / Np
Año	2003
Ubicación del documento	https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#inicio
País de estudio	Guatemala
Idioma	Español
Palabras Claves del Artículo	No presenta
Palabras Claves de Búsqueda	Amenaza asociada a Avenidas Torrenciales, Metodologías de evaluación de amenazas, Avenidas Torrenciales, Debris Flows, América Central
Indicador de información	Metodologías de evaluación de amenazas por avenidas torrenciales y fenómenos asociados
Descripción	Estudio de amenazas naturales en la cuenca del río Samalá y la ciudad de San Sebastián, integrado al análisis de vulnerabilidad y riesgo e implementando un Centro de Zonificación de Amenazas Naturales (CEZAN)
Observaciones	No volumen, no número, no página.