

Análisis del desastre ocurrido en Mocoa (Colombia)*

Analysis of the disaster occurred in Mocoa (Colombia)

Jeisson Fabian Martin Calvo^a
Universidad Pedagógica Nacional, Colombia

jfmartinc@udistrital.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2390-9677>

DOI: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd24-47.adom>

Recibido: 20 Julio 2020

Aceptado: 20 Agosto 2020

Publicado: 30 Diciembre 2020

Julián Alfonso Castañeda Gómez
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2551-2972>

Yeffer Edilberto Diaz Cuesta
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0289-897X>

Daniela Escobar Mahecha
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1307-3420>

Resumen:

En este artículo se muestra un estudio de la catástrofe ocurrida en Mocoa en el año 2017, en términos de lluvias y características generales de la zona. Donde se analizaron los datos de precipitaciones registrados desde el año 1985 hasta el 2017 por dos estaciones climatológicas: Campucana y Mocoa Acueducto, con las cuales se obtuvieron funciones de distribución de probabilidad de datos anuales, mensuales y diarios para estudiar la ocurrencia del fenómeno. Analizando los resultados obtenidos se evidenció una precipitación desmesurada para el día de la catástrofe y una baja probabilidad de precipitación en la zona, con lo cual se realizó una comparación con otros factores de incidencia en el movimiento en masa de sedimentos que ocasiono el desastre. Finalmente se efectuó una visita de inspección posterior a lo ocurrido, con el fin de evidenciar la insuficiente reparación de la zona y se realizaron recomendaciones para mitigar el impacto en caso de una emergencia de riesgo a futuro.

Palabras clave: hidrología, movimiento en masa, precipitaciones, probabilidad de eventos, sedimentos.

Abstract:

This article shows a study of the mudslide catastrophe occurred in Mocoa in 2017, in terms of rainfall and general characteristics of the area. Rainfall data recorded from 1985 to 2017 by two climatological stations Campucana and Mocoa Acueducto were analyzed, with which probability distribution functions of annual, monthly and daily data were obtained in order to study the occurrence of the phenomenon. Analysis of the results obtained evidence excessive rainfall for the day of the catastrophe and a low probability of precipitation in the area. A comparison was made with other factors of incidence in the mass movement of sediments that caused the disaster. Finally, an inspection visit was made after the disaster, with the purpose of evidencing the insufficient repair of the area and recommendations to mitigate the impact of new emergencies.

Keywords: Hydrology, Mass movement, Precipitation, Probability of events, Sediments.

Introducción

Mocoa es un municipio del departamento de Putumayo en Colombia, entre el 31 de marzo y 1 de abril del 2017 ocurrió una catástrofe natural. Al respecto Duque (2017) afirma que fue provocada por los desbordamientos de los ríos Mocoa, Mulato y Sancoyaco, induciendo según afirma Wire (2017), deslizamientos de sedimentos, causando la muerte de 306 personas que incluyeron a 92 niños.

Notas de autor

^a Autor de correspondencia. Correo electrónico: jfmartinc@udistrital.edu.co

Según Artha y Julián (2017), paralelo a ello se identificó que fenómenos similares ocurrieron a principios del 2017 en lugares como Italia, Indonesia, Nueva Zelanda, India, Bosnia y Kirguistán.

En Mocoa se practica la extracción artesanal de aluvión de oro, lo que ha afectado los cauces de los ríos y propiedades del terreno, este proceso fue estudiado por Franco y Valdés (2005) de la Corporación Autónoma Regional del Putumayo -CAP-, con el fin de establecer criterios legislativos en torno al tema. Respecto al uso del suelo, se realizan actividades de agricultura principalmente en los que se incluyen cultivos de plátano, yuca, piña, maíz y hortalizas, lo cual, según García (2018), generó la deforestación de la montaña aledaña al municipio con el fin de expandir la frontera agrícola y la actividad ganadera. Por otro lado, el estudio del Sistema Económico del Putumayo Corpoamazonia (2015), sostiene que la explotación de hidrocarburos existe en menor proporción en Mocoa respecto a otros municipios. Sin embargo, esta actividad es de impacto en la zona ya que afecta directamente la estratificación del suelo. Lo anterior en conjunto con reportes del DANE- y Corpoamazonia (2017), indican que la afectación recae directamente en las propiedades del suelo de Mocoa, generando amenaza para la población vulnerable debido al aumento del riesgo de posibles catástrofes.

Corpoamazonia (2014) categoriza a Mocoa como uno de los municipios mayormente afectados por amenazas de inundación y deslizamientos (Amenaza media-alta), a causa de las crecientes en los ríos, las lluvias intensas o continuas que representan un riesgo por la fractura, mal funcionamiento u operación incorrecta de obras de infraestructura hidráulica. Según lo informado por Corpoamazonia (2021), fue hasta después de la catástrofe que se desarrolló un plan de manejo del recurso hídrico como acción específica para integrar instrumentos de planificación y ordenamiento ambiental, en donde se contemplaba la creación de un Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica POMCA para la cuenca del río Mocoa que tiene entre sus microcuencas a los ríos Mulato y Sangoyaco. Esto se desarrolló con los recursos del Sistema general de regalías asignados a la reconstrucción de Mocoa después de la tragedia. Sin embargo, hasta el año 2020 se inició la ejecución del proyecto. Esta información conlleva a la hipótesis de éste trabajo la cual plantea que las lluvias atípicas acompañadas del inadecuado uso del suelo junto con el diseño de algunas estructuras hidráulicas, pudieron ser los principales factores de los deslaves y desbordamientos de los ríos Mulato, Sancoyaco y Mocoa.

Esta investigación se enmarca bajo el marco cuantitativo, donde impera la comprobación de la hipótesis de forma estadística. Según Cruz y Campano (2007), en las investigaciones cuantitativas se recolectan y analizan datos cuantitativos o cualitativos, pero el procesamiento es estadístico. Para abordar desde esa perspectiva la catástrofe ocurrida en el municipio de Mocoa y con la finalidad de que este tipo de análisis contribuyan en estudios sobre la prevención del riesgo, se examinaron 33 años de datos de lluvia proporcionados por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] de dos estaciones climatológicas situadas en la cuenta alta (Estación Campucana) y baja (Estación Mocoa) ubicadas como se muestran en la figura 1. Además, se efectuó una visita de inspección con el fin de observar el avance en la recuperación de la zona afectada.



FIGURA 1.

Ubicación de estaciones, Proyección Cartográfica: Datum Magna, Coordenadas Planas Gauss Krugger, Origen Oeste

Fuente: Software de implementación de información geográfica QGIS, procesado por autores.

Se realizó un análisis hidrológico que según Pantoja (2017), permite interpretar catástrofes como la ocurrida en Mocoa y sirve como herramienta en la comprensión de fenómenos como: deslaves, desbordamientos de ríos e inundaciones entre otros, producidos a partir de precipitaciones. En ese sentido, Mijares (1989), recomienda recurrir a las funciones de distribución y probabilidad, que se utilizan para interpretar el comportamiento de las precipitaciones, los datos atípicos, las probabilidades de lluvias intensas, las proyecciones y en este caso en la comparación entre una cuenca alta y una baja mediante registros de datos pluviales. A partir de los estudios de Suarez (2013), se infiere que los fenómenos físicos como los deslaves se relacionan directamente a las condiciones del terreno el cual se ve afectado por las precipitaciones, los usos del suelo que perturban sus propiedades intrínsecas como la estabilidad del terreno, cohesión, licuefacción, lubricación del suelo y erosión, entre otros.

El papel de la investigación es relevante para el estudio de este tipo de fenómenos, ya que permite comprender sus características, causas y consecuencias tanto en el entorno ambiental como social de la comunidad donde se presenta. Su fuerte impacto hacia la dinámica de la población de la zona en términos de familia, vivienda, educación, salud pública pero sobre todo salubridad hacen de la investigación aplicada en este campo una herramienta fundamental para describir lo sucedido permitiendo implementar procesos de mitigación y mejoramiento mediante planes, intervenciones, diseños y estructuras que eviten la ocurrencia de desastres como el de Mocoa en el año 2017.

Materiales y métodos

Esta investigación se fundamenta en el análisis de los posibles fenómenos ambientales que influyeron en la ocurrencia de la catástrofe en Mocoa-Colombia, para esto fue necesario el desarrollo de las siguientes fases de investigación que hacen referencia al análisis de precipitaciones, observaciones y recomendaciones. Teniendo en cuenta lo anterior se aplicó el siguiente diseño metodológico:

Fase hidrológica

En esta etapa de investigación, se logró un análisis hidrológico mediante el uso de conceptos estadísticos evaluando varias funciones de distribución, entre ellas la Normal, Gumbel, Pearson III, Exponencial y Gamma; para datos de precipitación en una muestra de 33 años, los cuales fueron proporcionados por el IDEAM y de dos estaciones climatológicas que se muestran en la figura 1, ubicadas en la cuenca baja (Acueducto Mocoa) y cuenca alta (Campucana) del municipio de Mocoa. Se selecciona este período de tiempo debido a que permite hacer una relación entre las estaciones escogidas, ya que la estación Mocoa Acueducto fue instalada en el año de 1983 para el mes de abril. En sus primeros meses no se generó un correcto proceso de toma de datos por lo cual no se encuentran registros de precipitaciones. Sin embargo, para el año de 1984 se normalizó la toma de datos y para 1985 si se registran de manera constante. Por otra parte, la estación Campucana se instaló en noviembre de 1977. Se analizan los comportamientos de los registros anuales, mensuales y diarios, descritos a continuación:

- Análisis anual: se examinó el comportamiento anual de los datos suministrados por las estaciones climatológicas nombradas, para evidenciar si las precipitaciones influyeron sobre el año de la catástrofe en comparación del intervalo, estableciendo la probabilidad de ocurrencia del año del suceso.
- Análisis mensual: se tuvo en cuenta el comportamiento de los datos en cada uno de los meses del intervalo de tiempo evaluado, lo que equivale a 684 datos de precipitaciones, para ambas estaciones climatológicas, con el fin de examinar si la lluvia del mes de la catástrofe se encuentra en un rango atípico.

Cabe resaltar que en los registros proporcionados por el IDEAM algunos datos no se encontraban, para lo cual se utilizó el método de las proporciones¹ que permite estimar los datos de lluvia faltantes para cualquier mes, estableciendo una razón de proporcionalidad entre la lluvia mensual y anual que se muestra en la ecuación 1.

$$\frac{x}{\bar{x}} = \frac{P_f}{(P_a - \bar{x})}$$

Ecuación 1. Relación de proporcionalidad entre la lluvia mensual y anual, IDEAM. Montealegre (1990)

Donde:

x : Equivale a la lluvia del mes faltante

\bar{x} : Lluvia promedio del mes faltante

P_f : Total, Anual del mes faltante

P_a : Total anual Promedio

Análisis de datos diarios:

Teniendo en cuenta un rango de 5 años (2013-2017), lo que equivale a 1760 datos de lluvia, se aplicó una estadística descriptiva que permite analizar el comportamiento a su vez establecer si la catástrofe fue influenciada por el ciclo hidrológico de la cuenca, desencadenando fenómenos ligados al suelo.

Fase de observación:

En el intervalo de 33 años y dos estaciones climatológicas se tuvo en cuenta el día de la catástrofe para analizar los posibles fenómenos físicos que ocasionaron la afectación a la población. También se realizó una visita al lugar afectado después de un año de ocurrida esta catástrofe, para comprobar el desarrollo de planes de intervención social por parte del Estado, con el An de disminuir el impacto generado en la zona de estudio a causa de la catástrofe a futuro.

Recomendaciones:

Finalmente se busca brindar recomendaciones en cuanto a estructuras necesarias para mitigar el riesgo a futuro en la población mediante estudios de índole hidrológico con el fin de que sean contemplados dentro de las políticas de Estado, al igual que el Plan de Ordenamiento Territorial -POT- y los Esquemas de Ordenamiento Territorial de los municipios de Colombia.

Resultados

A continuación, se presenta el análisis de los resultados obtenidos en cada etapa de desarrollo de la investigación.

Fase hidrológica

Resultados y Discusiones de datos anuales:

Estación Campucana. Como se evidencia en la Tabla 1, el error calculado es de 2,37 respecto al permitido 5,99 con lo cual la función de probabilidad normal se ajusta al comportamiento de las precipitaciones anuales de la estación Campucana. La probabilidad de que existan precipitaciones como las del 2017 (3607,1 mm, según registro pluviométrico de la estación Campucana [4401000155] del IDEAM) es del 16,51%, con lo cual se muestra una baja probabilidad. Cabe resaltar que esto indica que las lluvias del 2017 son muy poco probables en la parte alta de la cuenca, donde está ubicado el municipio de Mocoa; lo anterior tiene concordancia con lo establecido por Prada-Sarmiento et al. (2019) mediante su estudio de remoción en masa.

TABLA 1.
Cálculo del ajuste de la función normal para las precipitaciones anuales de la estación Campucana.

Intervalo	De (mm)	Hasta (mm)	Frecuencia observada*	Prob. Desde*	Prob. Hasta*	Probabilidad*	Frecuencia Esperada*	Error calculado*
1	3102,9	3352,9	2	0,0145	0,0566	0,0421	1,3901	0,27
2	3352,9	3602,8	4	0,0566	0,1626	0,1060	3,4992	0,07
3	3602,8	4102,8	13	0,1626	0,5859	0,4232	13,9670	0,07
4	4102,8	4602,7	10	0,5859	0,9218	0,3360	11,0871	0,11
5	4602,7	4904,7	4	0,9218	0,9839	0,0621	2,0490	1,86
Sumatoria								2,37

* Estos cálculos estadísticos generan datos adimensionales

Fuente: elaboración propia.

Frecuencia observada de la estación de Campucana:

En la Figura 2 se aprecia el caso de la estación Campucana (parte alta de la cuenca de Mocoa) donde se obtuvieron los datos anuales de 33 años de precipitaciones lapso establecido para este estudio, los cuales presentan un máximo de 4902,7 mm, y un mínimo de 3152,9 mm, una media de 4012,45 mm y una desviación estándar de 416,395 mm. Además, se realizó el estimado de los posibles datos atípicos en el registro de precipitaciones teniendo en cuenta los percentiles extremos (25% y 75%) donde se calculó un valor de 6241,9 mm como valor atípico extremo, lo cual evidencia la ausencia de datos atípicos del comportamiento de las precipitaciones durante 33 años. Por otro lado, se hizo el ajuste de funciones de probabilidad teniendo en cuenta una confianza de 95% y un error permitido de 5,99.

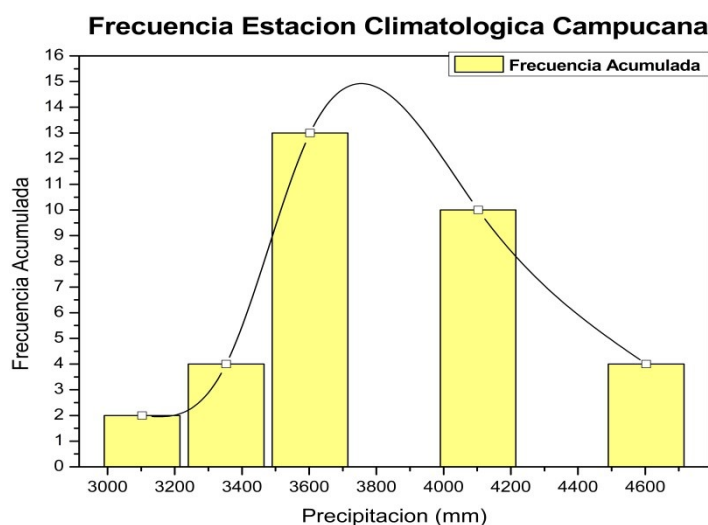


FIGURA 2.
Datos de precipitación registrados por la estación Campucana en 33 años (de 1985 hasta 2017).
Fuente: elaboración propia.

Estación Mocoa Acueducto:

Como se observa en la Tabla 2 el error calculado es de 4,34 respecto al permitido 5,99, por lo cual la función de probabilidad normal se ajusta al comportamiento de las precipitaciones anuales registradas por la estación. La probabilidad de que existan precipitaciones como las del 2017 (2853 mm, según registro del IDEAM) es de 2%, lo que indica una baja probabilidad y revela que las lluvias del 2017 son poco probables en la parte baja de la cuenca donde se encuentra ubicado el municipio de Mocoa.

TABLA 2.
Cálculo del ajuste de la función normal para las precipitaciones anuales de la estación Campucana.

Intervalo	De (mm)	Hasta (mm)	Frecuencia observada*	Prob. Desde*	Prob. Hasta*	Probabilidad*	Frecuencia esperada*	Error calculado*
1	2850	3074	3	0,0204	0,0655	0,0451	1,49	1,54
2	3074,9	3521,9	8	0,0655	0,3298	0,2642	8,72	0,06
3	3521,9	3969,9	11	0,3298	0,7353	0,4055	13,38	0,42
4	3969,9	4193,9	8	0,7353	0,8777	0,1424	4,70	2,32
5	4193,9	4469,8	3	0,8777	0,9658	0,0881	2,91	0,003
Sumatoria								4,34

* Estos cálculos estadísticos generan datos adimensionales
Fuente: Autores

Frecuencia observada de la estación de Mocoa Acueducto:

En la Agura 3 se observa el caso de la estación Mocoa Acueductos (parte baja de la cuenca de Mocoa) donde se obtuvieron los datos anuales de precipitaciones de 33 años, los cuales presentan un máximo de 4420,6 mm, mínimo de 2852,7 mm, una media de 3706,4 mm y una desviación estándar de 418,890 mm; también se efectuó el estimado de los posibles datos atípicos presentes en el registro de precipitaciones, teniendo en cuenta los percentiles extremos (25% y 75%) se calculó un valor de 6172,85 mm como valor atípico extremo, con lo cual se evidencia la ausencia de datos atípicos del comportamiento de las precipitaciones durante el intervalo de tiempo estudiado. Por otro lado, se realizó el ajuste de funciones de probabilidad teniendo en cuenta una confianza de 95% y un error permitido de 5,99.

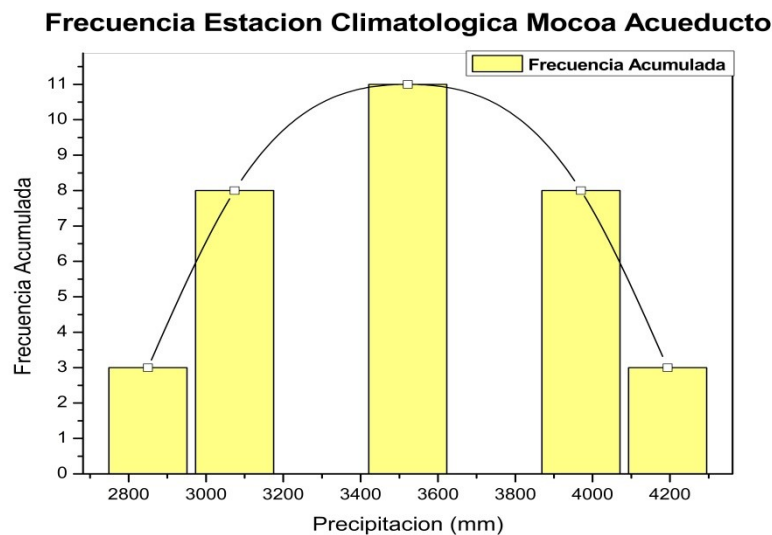


FIGURA 3.
Datos de precipitación registrados por la estación Mocoa Acueducto de 1985 hasta 2017.
Fuente: elaboración propia.

Resultados y Discusiones de datos Mensuales:

El análisis estadístico mensual de la precipitación registrada en las dos estaciones, Campucana y Mocoa Acueducto, fue inferior al valor atípico 1158.73mm y 938.85 mm, con una media de 334,37 mm y 308,871 mm respectivamente. Los datos de precipitación mensual tienen un comportamiento similar a la distribución simétrica de Gauss en comparación a los datos diarios. Sin embargo, estas dos estaciones

presentan un coeficiente de asimetría positivo (0,803 y 0,410), lo significa que tiene valores máximos de lluvias (Campucana 866,5mm y Mocoa Acueducto 693,6mm). Por otra parte, la curtosis que registra para cada estación es diferente, para Campucana proyecta una curtosis positiva de 0,221 indicando que la distribución es leptocúrtica. En otras palabras, hay una gran concentración de valores en torno a la media, mientras que la estación Mocoa Acueducto registra una curtosis negativa de -0,285 siendo una distribución Platicúrtica y existe una menor concentración de valores en torno a la media.

Posteriormente se realizó el ajuste de diferentes funciones de distribuciones, donde se evidencia que para la estación Campucana la única distribución que se ajustó fue la de Gumbel, con un porcentaje de confianza de 95% y un error calculado de 2,9 teniendo en cuenta un error permitido de 5,99, ya que esta distribución es usada para valores altos como en este caso las precipitaciones que causaron el desastre natural en el municipio de Mocoa. En el caso de la estación de Mocoa Acueducto, la distribución que se ajustó fue la normal de Gauss y la distribución de Pearson III con un 95% de confianza y para el caso de la función normal se ajusta con un error calculado de 5,6 y de Pearson III de 2,6 con un error teórico permitido de 3,84, igualmente se emplea para valores de precipitaciones extremas.

Resultados y Discusiones de datos Diarios:

En el análisis estadístico de los datos de precipitación de forma diaria en un lapso de 5 años se evidencia que en las dos estaciones (Campucana y Mocoa Acueducto) registran valores bajos de lluvias con una media de 12,068 mm y 11,252 mm respectivamente. Además, en cada caso se tiene un coeficiente de asimetría positivo (2,594 y 2,525) indicando que la mayoría de valores están centrados hacia a la izquierda de la Agura 3. Esta asimetría con sesgo hacia la derecha se debe a que gran parte de los datos de las precipitaciones se encuentra entre el rango de los 0 a 35 mm. Sin embargo, se presentan datos atípicos en los cuales se destacan los valores del día de la catástrofe por ser los más altos de cada estación. Esta dispersión en las cifras se ve reflejada en la varianza que se presentó en cada conjunto de datos, siendo para Campucana de 304,705 y para Mocoa Acueducto de 270,125 con relación a la media de cada uno.

A partir de este análisis estadístico de la precipitación, se deduce que la zona afectada por este problema tiene un bajo índice de lluvias. Debido a los factores antes nombrados y siguiendo la investigación de Amaris Novoa (2019): la explotación de minería y canteras (equivalente al 41,11% de la actividad económica de Mocoa), la deforestación (a causa del asentamiento urbano que representa el 85% del total de habitantes), entre otros (como la acidez característica del suelo y características de erosión), conllevaron a una desestabilización del ambiente y del clima de la zona, produciendo amenazas de inundación o movimientos en masa que se agudizan con el incremento desmesurado de precipitación repentina; lo cual fue registrado en la estación Campucana de 140,3 mm y en la estación de Mocoa Acueducto de 129,3 mm para los días 31 de marzo y 1 de abril de 2017. Estos dos datos se destacan principalmente por ser los valores máximos en cada análisis realizado de forma diaria a las dos estaciones.

Fase de observación:

Durante el desarrollo de esta fase, se realizó una visita a la zona en los días 30 y 31 de marzo del 2018 un año después de ocurrida la catástrofe y se hizo el correspondiente registro fotográfico, donde se evidencian los resultados de los deslizamientos ocasionados por el uso del suelo, que afecta directamente la estabilidad del mismo y sus características intrínsecas. En la figura 4 se evidencia el resultado de un flujo de detritos con arrastre de grandes sedimentos.



FIGURA 4.

Arrastre de rocas en la cuenca alta del municipio de Mocoa, 30 de marzo de 2018.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 5 se observa como el flujo de detritos que conllevó al arrastre de sedimentos de gran tamaño afectó la zona poblacional del municipio de Mocoa. También se ve un poste con las redes de suministro de energía arruinadas, así como la destrucción de las redes de acueducto y alcantarillado evidenciando la afectación en los servicios públicos al igual que el saneamiento básico.



FIGURA 5.

Afectación a viviendas y servicios públicos, 30 de marzo de 2018.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 6 se puede apreciar la destrucción de las estructuras de las edificaciones. A causa de la magnitud de los impactos generados por la colisión de rocas con las viviendas de la zona afectada.



FIGURA 6.
Edificaciones afectadas por rocas debido a los deslaves, 31 de marzo de 2018
Fuente: elaboración propia.

Tomando como referencia a las figuras 4, 5 y 6 se puede pensar en la inapropiada y poco desarrollada intervención del Estado, ya que no se ha visto un adelanto significativo en el manejo eficiente de los daños ocasionados por la catástrofe teniendo en cuenta la propuesta del gobierno ‘El plan para la Reconstrucción de Mocoa’ la cual para el 2020 (3 años después de la catástrofe) tenía un avance total de solo el 67% y una inversión de 2 billones de pesos colombianos, según reportes de vicepresidencia (2020). Además, el área de afectación solo ha sido estudiada parcialmente y aún no se han desarrollado soluciones ingenieriles viables para la prevención de posibles desastres.

Perspectiva actual

Uno de los problemas actuales en la zona, es la explotación de minerales como cobre, molibdeno y batolito conocido como monzogranito de Mocoa que según García, Machuca y Medina (2019), se encuentran exclusivamente en la cordillera central y occidental de Colombia. En términos del Servicio Geológico Colombiano (2018), esta actividad sigue afectando las características intrínsecas del terrero ya que se tiene una estrecha relación con los procesos tectónicos de la zona debido a la falla Mocoa-Tebaida aumentando los procesos de formaciones sedimentarias, por el alto grado de meteorización del terreno facilitando la degradación de los cuerpos rocosos y de los suelos, dando lugar al transporte y depósitos de considerable volumen de material con procesos como el flujo de detritos. Aunque Zambrano, Paixão, Kobiyama, Guevara y Narváez (2018) muestran que esta actividad se ha tratado de regular ya que se trata de uno de los principales factores del desastre ocurrido en 2017, éste ha sido infructuoso porque los lugares donde se lleva a cabo la actividad minera no cuentan con ningún tipo de plan de riesgo, ni de prevención de desastres o de emergencias.

Tras el desastre ocurrido en Mocoa el 1 de abril de 2017, la Unidad Nacional de Gestión de Riesgos y Desastres, declaró en 2018 calamidad pública, para lo cual se establecieron algunas medidas de prevención de riesgo en el municipio como puntos de encuentro, con capacidad de 20.000 personas, para cuando existan fuertes lluvias. Por otro lado, siguiendo a Luis Ulcué (2018), comunero del pueblo Nasa, “se construyó una muralla para evitar otra avalancha, la cual era de arena, razón por la que el agua ha ido destruyendo el dique y termino inundando nuevamente 5 barrios y 3 veredas de la capital del Putumayo”. Así mismo se realizó una delimitación de zonas de amenaza por inundación dónde se evacuaron a las personas de sus viviendas.

Sin embargo, con base al estudio de Responsabilidad del Estado Colombiano derivada de la ocurrencia de desastres naturales de Peña y Galeano (2018), las personas evacuadas no tuvieron garantías de nuevas casas y por ende vuelven a sus hogares. En el año 2017 se implementa un plan para la reconstrucción de Mocoa, donde el Ministerio de vivienda construyó 1.209 casas urbanas incluido un colegio y una biblioteca, mejorando la calidad de vida de la población del municipio. (Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres [UNGRD],2017)

En el siguiente año se inicia la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT), el cual se realiza con un convenio entre la unidad riesgo y la Universidad Nacional de Colombia, este sistema contiene 48 planes para la prevención de emergencias, tan solo el 60% se encuentra en ejecución. (UNGRD, 2018). Por otra parte las precipitaciones en Mocoa, continúan produciendo escasez de agua potable para la población, pues según Carlos Ardila (2019) Representante a la Cámara por el departamento del Putumayo, la fuente de captación que abastece a Mocoa no es la apropiada, cuando se registra incremento de lluvias la turbiedad aumenta; generando que el tratamiento del recurso hídrico captado sea técnicamente imposible, por lo cual en ese año la capital del Putumayo duró 35 días sin agua potable, razón por la cual se sigue abasteciendo con carrotanques en puntos priorizados. Además, estas precipitaciones que continúan siguen preocupando a los habitantes por los repetitivos deslizamientos que se presentan en la zona como el deslizamiento de grandes porciones del 28 de febrero del año 2019 que dejó sin agua potable a la población durante 10 días. Esto demuestra que el municipio aún no ha tomado las medidas necesarias teniendo en cuenta el entorno geológico e hidrológico del lugar para darle una solución a los deslizamientos provocados por las lluvias, y así mismo soluciones al saneamiento básico como lo es el suministro de agua potable para sus habitantes.

Recomendaciones:

Según los resultados, las precipitaciones más destacadas para la fecha del desastre fueron de 140,3 mm y 129,3 mm lo cual provocó arrastre de sedimentos debido a la erosión del suelo por diferentes actividades realizadas en el municipio. Por tal razón se recomienda la implementación de estructuras hidráulicas como taludes, las cuales permitan mejorar la circulación del cauce del río y mitigar el fenómeno de arrastre de sedimentos. Para esto se aconseja realizar un estudio de lluvias críticas o detonantes con el fin de analizar el comportamiento del cauce del río Sancoyaco en términos hidrológicos.

Por otro lado, según el grupo de investigación de Geotecnia de la Universidad Nacional de Colombia (2018) es necesaria la reubicación en las zonas más vulnerables e incluir esto en el esquema de ordenamiento territorial del municipio de Mocoa, ya que la población afectada estaba en áreas de alto riesgo.

Conclusiones

Cuando los registros de precipitaciones muestran comportamientos atípicos, se debe tener en cuenta que dichos comportamientos, influyen en la ocurrencia de catástrofes como la ocurrida en Mocoa. Esto se evidencia en el presente estudio ya que la distribución estadística de los datos de precipitaciones analizados tanto anuales como mensuales de las dos estaciones climatológicas, tienen una tendencia de distribución normal. Es decir, que se autorregula la cuenca en términos de estabilidad hídrica, mientras que una fuerte lluvia diaria puede generar arrastre de sedimentos de piedras de gran tamaño, lo cual desencadena afectaciones en zonas vulnerables, en este caso se comprobaron mediante registros fotográficos. Se requiere una mayor atención del Estado en términos de prevención del riesgo en los municipios de Colombia como Mocoa, donde se evidencia por medio de éste estudio como los datos atípicos de lluvia pueden ocasionar catástrofes. Para lo anterior se deben contemplar estructuras hidráulicas donde el diseño se realice en términos de análisis de lluvias críticas, con la finalidad de soportar óptimamente las posibles alteraciones del cauce de los ríos.

Así mismo en los esquemas de ordenamiento territorial se debe tener en cuenta los mapas de riesgo en torno al buen uso del suelo y mejorar el suministro de servicios públicos como alcantarillado, para evitar la afectación de las características del terreno e impedir fenómenos ligados al arrastre de sedimentos.

Referencias

- Amaris Novoa, L. E. (2019). *Renovación urbana, vulnerabilidad y resiliencia al borde del río Sangoyaco, Mocoa, Putumayo*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/43461>
- Aparicio Mijares, F. J. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Limusa.
- Artha, Y., & Julian, E. S. (2017). *Landslide early warning system prototype with GIS analysis indicates by soil movement and rainfall, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1-2. doi: 10.1088/1755-1315/106/1/012012
- Ardila C. (2019, abril 1). Mocoa después de dos años de la tragedia. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/politica/gobierno/reconstruccion-de-mocoa-tras-dos-anos-de-la-avalancha-344102>
- Prada-Sarmiento, L. F., Cabrera, M. A., Camacho, R., Estrada, N., y Ramos-Cañón, (2019). *Æe Mocoa Event on March 31 (2017): analysis of a series of mass movements in a tropical environment of the Andean-Amazonian Piedmont. Landslides*, 16(12), 2459-2468. <https://doi.org/10.1007/s10346-019-01263-y>
- CorpoAmazonia. (2014). *Determinantes y asuntos ambientales para el ordenamiento territorial en el departamento del Putumayo*. Amazonas: CORPOAMAZONIA. https://www.corpoamazonia.gov.co/files/Ordenamiento/Determinantes/Determinantes_Putumayo.pdf
- CorpoAmazonia. (2015). *Sistema Económico Putumayo, Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia*. Amazonas: CORPOAMAZONIA.
- CorpoAmazonia. (2021). *Corpoamazonia declara en ordenación de la cuenca del río Mocoa*. Amazonas: CORPOAMAZONIA. <https://www.corpoamazonia.gov.co/index.php/noticias/1133-corpoamazonia-declara-en-ordenacion-de-la-cuenca-del-rio-mocoa>
- Cruz, M. & Campano, A. (2007). *El Procesamiento De La Información En Las Investigaciones Educativas*. La Habana: Educación Cubana.
- DANE, y CorpoAmazonia. (2017). *Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Mocoa*. Municipio Mocoa.
- Duque Escobar, G. (2017). *El siniestro de Mocoa, diseño de la imprevisión*. <https://godues.wordpress.com/2012/05/17/la-patria-mi-columna-de-opinion/>
- Franco Hernández, F., y Valdés Carrillo, H. (2005). *Minería artesanal del oro de aluvión en Mocoa, Putumayo, Amazonia colombiana*. Bogotá: Universidad Nacional.
- García, H., Machuca, S., y Medina, E. (2019). Dynamic and geomorphic characterizations of the Mocoa debris flow (March 31, 2017, Putumayo Department, southern Colombia). *Landslides*, 16(3), 597–609. <https://doi.org/10.1007/s10346-018-01121-3>
- García, H. (2018 enero 13). *Estamos cambiando la forma como funciona el planeta; nos va tocar adaptarnos*. (I. d. Humboldt, Entrevistador).
- Montealegre, J. E. (1990). *Técnicas estadísticas aplicadas en el manejo de datos hidrológicos y meteorológicos*. Bogotá: Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras.
- Pantoja Valencia, N. (2017). *Estimación de caudal ecológico mediante método hidrológico, hidráulico y ecológico en la quebrada El Conejo (Mocoa-Putumayo)*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Servicio Geológico Colombiano. (2018). *Amenaza por movimientos en masa tipo flujo de las cuencas de las quebradas taruca, Taruquita, San Antonio y el Carmen y los ríos Mulato y Sangoyaco, Municipio de Mocoa, Escala 1:5.000*. Bogotá, febrero de 2018. Dirección de Geoamenazas.

- Peña, P., & Galeano, W. (2018). *Responsabilidad del estado colombiano derivada de la ocurrencia de desastres naturales*. Universidad La Gran Colombia.
- Suarez Díaz, J. (2013). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico*. Obtenido de Visión geotécnica de la amenaza sísmica. <http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/163-cap-6-amenaza-sismica.html>
- Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (UNGRD), (2018). *Gobierno nacional sigue avanzando en la reconstrucción de mocoa-.347*.
- Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (UNGRD). (2017). *Boletín informativo UNGRD. 053, 4*. https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/26588/Boletin_de_prensa_N_053.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ulucé, L. (08 de 2018). Luis Ulucé, comunero pueblo Naza. (C. Radio, Entrevistador)
- Vicepresidenta entregó balance sobre reconstrucción de Mocoa. <https://archivo.contagioradio.com/sin-soluciones-concretas-para-mocoa.html>
- Wire, U. (2017). *Mudslide in Colombia leaves hundreds dead and the city in ruins*. E.E.UU.: PROQUEST.
- Zambrano, F. Paixão, M. Kobiyama, M. Guevara, J. y Narváez, B. (2018). Gestão de risco de desastres naturais na Colômbia: estudo de caso, desastre hidrológico no município de Mocoa – Putumayo. *Revista de gestão & sustentabilidade ambiental. Palhoça, SC, 7*, 135-151. <http://hdl.handle.net/10183/184476>

Notas

- * Artículo de investigación. Este artículo es resultado del proyecto de investigación y desarrollo en curso titulado: La investigación formativa en el Proyecto curricular de Ingeniería Sanitaria: desde los espacios académicos de física adscrito al Núcleo de investigación en ciencias, liderado por el Prof. Jeisson Martin de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Pedagógica Nacional.
- 1 Según Montealegre (1990), el método de proporciones es una técnica utilizada para la estimación de datos faltantes, cuando no se cuenta con datos de una estación climatológica similar.