



Susceptibilidad a eventos por inundaciones en un sector del área urbana del Cantón Rocafuerte (Manabí-Ecuador): aproximación desde un enfoque multicriterio

Susceptibility to flood events in a sector of the urban area of the Rocafuerte Canton (Manabí-Ecuador): approach from a multicriteria approach

Suscetibilidade a eventos de inundação em um setor da área urbana do cantão de Rocafuerte (Manabí-Ecuador): abordagem a partir de um enfoque multicritério

Cesar Alfredo Loor-Vélez ^I

ingcalv@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1876-5672>

Xavier Horacio Valencia-Zambrano ^{II}

Xavier.valencia@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1948-1161>

Henry Antonio Pacheco-Gil ^{II}

henrypacheco@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1948-2897>

Correspondencia: ingcalv@hotmail.com

Ciencias Técnica y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de marzo de 2023 * **Aceptado:** 12 de abril de 2023 * **Publicado:** 03 de mayo de 2023

- I. Ingeniero Civil, Estudiante de la Maestría de Investigación en Prevención y Gestión de Riesgos, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- II. Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería de Riego, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- III. Instituto de Investigaciones, Universidad Técnica de Manabí, Avenida Urbina y Che Guevara, Portoviejo, Manabí, Ecuador.

Resumen

El objetivo principal de esta investigación es evaluar la susceptibilidad a eventos de inundaciones en un sector del área urbana de la ciudad de Rocafuerte-Manabí, con un enfoque multicriterio aplicando Sistemas de Información Geográfica. La problemática surge porque el cantón Rocafuerte se encuentra ubicado en un valle de inundación. Ha sido una zona altamente inundable en las temporadas de invierno, en las que se producen lluvias intensas que han ocasionado inundaciones recurrentes, que a su vez han provocado avalanchas de lodo-escombros, lo que ha puesto en alta amenaza a la población urbana del centro de la ciudad. La misma que se encuentra ubicada en la parte baja de la microcuenca San Marcos por lo que tiene alta susceptibilidad a este tipo de peligros naturales. En la metodología de la investigación de tipo descriptiva de campo, se aplicó la herramienta de Geomática Aplicada a través del software SAGA GIS, para analizar el modelo espacial de áreas susceptibles a inundaciones dentro de la microcuenca San Marcos en base del denominado Método Cartográfico con Heurística en referencia del análisis de variables o factores físicos como son la pendiente, geomorfología, saturación, isoyetas, vegetación e hidrogeología. En este estudio se aplica la técnica de Evaluación Multicriterio, para la cual se construye un modelo de ponderaciones empleando la integración de variables de diferentes naturalezas. Entre los hallazgos, con mapas elaborados, se concluye que los resultados presentan coincidencia espacial con otros estudios, aunque ésta aporta precisión cartográfica.

Palabras Clave: Inundaciones; Lluvias; Cuenca Hidrográfica; Sistema de Información Geográfica; Mapas.

Abstract

The main objective of this research is to evaluate the susceptibility to flood events in a sector of the urban area of the city of Rocafuerte-Manabí, with a multicriteria approach applying Geographic Information Systems. The problem arises because the Rocafuerte canton is located in a flood valley. It has been a highly flooded area in the winter seasons, in which intense rains occur that have caused recurring floods, which in turn have caused avalanches of mud-debris, which has put the urban population of the center at great risk. from the city. The same one that is located in the lower part of the San Marcos micro-watershed, which is why it is highly susceptible to this type of natural hazard. In the descriptive field research methodology, the Applied Geomatics tool was applied through the SAGA GIS software, to analyze the spatial model of areas susceptible to flooding

within the San Marcos micro-watershed based on the so-called Cartographic Method with Heuristics. in reference to the analysis of variables or physical factors such as slope, geomorphology, saturation, isohyets, vegetation and hydrogeology. In this study, the Multicriteria Evaluation technique is applied, for which a weighting model is built using the integration of variables of different natures. Among the findings, with elaborated maps, it is concluded that the results present spatial coincidence with other studies, although this provides cartographic precision.

Keywords: floods; rainy; Watershed; Geographic information system; maps.

Resumo

O principal objetivo desta pesquisa é avaliar a suscetibilidade a eventos de inundação em um setor da área urbana da cidade de Rocafuerte-Manabí, com uma abordagem multicritério aplicando Sistemas de Informação Geográfica. O problema surge porque o cantão de Rocafuerte está localizado em um vale de inundação, da cidade. A mesma que está localizada na parte baixa da microbacia San Marcos, por isso é altamente suscetível a esse tipo de perigo natural. Na metodologia de pesquisa de campo descritiva, aplicou-se a ferramenta Geomática Aplicada, por meio do software SAGA GIS, para analisar o modelo espacial de áreas susceptíveis a inundações na microbacia San Marcos com base no chamado Método Cartográfico com Heurísticas. a análise de variáveis ou fatores físicos como declividade, geomorfologia, saturação, isoietas, vegetação e hidrogeologia. Neste estudo é aplicada a técnica de Avaliação Multicritério, para a qual é construído um modelo de ponderação a partir da integração de variáveis de diferentes naturezas. Entre os achados, com mapas elaborados, conclui-se que os resultados apresentam coincidência espacial com outros estudos, embora isso proporcione precisão cartográfica.

Palavras-chave: inundações; chuvoso; Bacia hidrográfica; Sistema de Informações Geográficas; mapas.

Introducción

A nivel mundial siempre han existido los fenómenos o amenazas naturales que han causado grandes desastres, afectando la forma de vida cotidiana e impactando a la población y los territorios, generando pérdidas humanas, económicos, sociales, ambientales. Estas se han incrementado a través de la historia aun cuando los fenómenos que la originan no son nuevos. En este sentido, los

fenómenos naturales como las inundaciones que son producidas por diversas causas, principalmente por el ciclo hidrológico o lluvias, en ocasiones son clasificados como catástrofes que pueden producir grandes daños dependiendo de su magnitud y el tiempo de caída de la lluvia, entre otros factores.

Las inundaciones propiamente como tales corresponden a una consecuencia derivada de otros procesos de recurrencia interanual, como son las crecidas de los cursos de agua, sumado a las condiciones de insuficiencia de los sistemas de evacuación, sean estos cauces naturales, sistemas de drenaje artificializados, colectores urbanos. Se trata del resultado del desequilibrio que se manifiesta en un momento, lugar y situación dada, entre el volumen hídrico a evacuar en una determinada parcela de tiempo, y la capacidad de evacuación de los cauces o sistemas de drenaje o, en otras palabras, la oferta de cauce se ve superada por su demanda.

Por tal motivo, debe tenerse en cuenta, además, que la demanda no está concertada sólo por agua, sino también por los sedimentos que traslada y empuja, y cuya proporción respecto del volumen hídrico, adicional a las variaciones en la capacidad de carga del curso de agua, va a influir directamente en la ocurrencia de los desbordes. Un suceso notable es la recurrencia de las crecidas que muestra una cuenca fluvial dada respecto de otra. Esto relacionado, a las peculiaridades del régimen pluviométrico y térmico que registre el clima imperante y, a las características morfométricas como la altura, pendiente media, forma, y superficie, al desarrollo del sistema de drenaje, densidad, frecuencia y jerarquía de la red hídrica, y a la capacidad de retención hídrica de la cuenca, elementos que influyen en la torrencialidad, el tiempo de concentración, velocidad de respuesta, y el volumen de los caudales. No obstante, existen otros factores que causan la inundación como las no naturales como el daño de una represa.

En este mismo orden, es importante destacar que las inundaciones fluviales son fenómenos hidrológicos que se producen periódicamente y que han sido la causa de la formación de valles fluviales, llanuras aluviales, planicies de inundación y vegas de los ríos, es decir, forman parte de la geodinámica natural del planeta. (Choez et al., 2019). Según (Castejón & Romero, 2014) las inundaciones causan y seguirán causando grandes daños catastróficos a todo lo que se encuentra al frente suyo perjudicando especialmente a infraestructuras, viviendas, campos de cultivo y pérdidas de vidas humanas. Aunado a esto, expresa (Ollero Ojeda, 2014) en forma global el riesgo de inundación está simbolizado por los espacios inundables, la mayoría de áreas o superficies de

relieve llano son susceptibles a frecuentes inundaciones que pueden ser provocadas por crecidas fluviales y las inmensas precipitaciones son las principales causas.

Recientes avances técnicos, en la conexión de los SIG con los modelos hidrológicos e hidráulicos y en la conexión SIG-Internet, la disminución de los costes y emergen nuevas fuentes de información, han ayudado su utilización y se han convertido en unas herramientas necesarias en la gestión del riesgo natural. Sobre este particular, es importante precisar la realidad del modelo geográfico de Latinoamérica que se ajusta con inquietudes ecológicas y de economía política para generar otra variante en la tendencia gubernamental sobre desastres encaminados en la interacción del riesgo y la vulnerabilidad, la cual se ha manifestado con varias afectaciones, esto se debe en su generalidad a los asentamientos humanos no planificados o informales, por lo que crean diversas escalas de vulnerabilidad y son más proclives a pérdidas y daño ambiental que conlleva a un subdesarrollo de países y un impacto dañino al medio ambiente.(Chan et al., 2022)

Los Sistemas de Información Geográfica poseen variados campos de aplicación en el análisis y la gestión del riesgo de inundaciones fluviales, partiendo de elementos del estudio de la peligrosidad, como regionalización de datos de precipitación, obtención y discretización de parámetros morfométricos e hidrológicos de la red, circunscripción de áreas inundables, cartografías de riesgo integradas; inclusive la adopción de medidas de mitigación de carácter predictivo, preventivo o post-desastre, que vislumbran la predicción meteorológica e hidrológica, la ordenación del territorio y los sistemas de aseguramiento, y los planes de protección civil y emergencias. Su empleo presume habitualmente un ahorro de tiempo, esfuerzo y una garantía de objetividad y precisión. (Llorente, et al, 2009)

Existen varias técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) que pueden ser manejadas como modelo de evaluación y combinación de variables con base en el análisis, discusión y jerarquización de alternativas para producir soluciones a problemas. En la aplicación de las EMC, por su condición multidisciplinar, se puede usar métodos varios actuando con prudencia. Es preciso conocer que su origen está arraigado en disciplinas que no consideran las particularidades de los datos espaciales. Entre las distintas técnicas de EMC las más empleada es el método designado Proceso Analítico Jerárquico, (Analytical Hierarchy Process- AHP) creado por Saaty (1990) que se enfatiza por la facilidad y simplicidad para partir una decisión compleja en varias decisiones sencillas, proporcionando la penetración y solución del problema (Álvarez, et al., 2010 p.580).

Bajo una visión puramente geográfica hacia la búsqueda de lograr un objetivo, la EMC es un proceso en el cual múltiples capas son incorporadas para conseguir un solo mapa de salida. Esta técnica se recalca por su capacidad de producir una decisión frente a un objetivo específico en un proceso donde múltiples productos cartográficos son apreciados para alcanzar un único mapa de salida. Esta herramienta vale de soporte a la toma de decisiones en los procesos de planificación territorial porque consiente manipular e integrar grandes cantidades de información espacial de manera eficiente. (Celemín, 2014).

De igual forma, el uso de los sistemas de información geográfica en estudios de amenaza representa de manera significativa, buscar soluciones que permitan analizar y representar de forma concisa diferentes fenómenos que se despliegan en el territorio. Sin embargo, es necesario a partir de diferentes criterios definidos y evaluados para sustentar cualquier tipo de estudio o investigación que solicite un SIG, como se dispone en el trabajo de Olivera (et al 2011) donde se emplearon los SIG y la evaluación multicriterio para la determinar zonas susceptibles a inundaciones en la cuenca de Guanabo en Cuba, teniendo en cuenta variables físicas del terreno (geología, geomorfología, uso de suelo, pendiente, índice de humedad y dirección de flujo), procesadas a través del método estadístico de ponderación de atributos y la evaluación según criterios de expertos.

Ahora bien, en el área geográfica ecuatoriana se sufre de emergencias o desastres ante la llegada de eventos adversos muchas por los relieves litorales que tiene nuestro país, por lo que se está expuesto, de ahí que es de significativo tener identificadas las zonas susceptibles a inundaciones, en el caso del cantón Rocafuerte

Zona de estudio

Para la delimitación del área de estudio se tomaron en consideración las áreas de aporte obtenidas a través de un análisis hidrológico generado en el Global Mapper, tal como se observa a continuación en la figura 1.

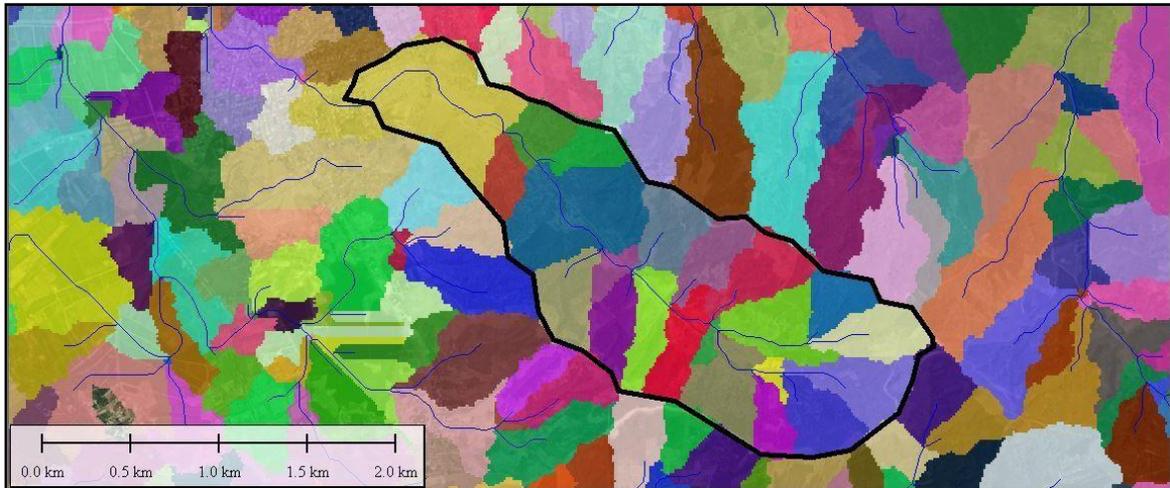


Figura 1. Áreas de aporte de la microcuenca San Marcos obtenidas a través de análisis hidrológico en software Global Mapper.

El área de estudio cuenta con 22 áreas de aporte según el análisis realizado en el software mencionado. La microcuenca tiene una extensión territorial de 3.11 km². El uso de suelo está destinado para la ganadería y sector agrícola. El cauce principal tiene una longitud de 2.68 km. La microcuenca San Marcos se encuentra ubicada al sur del cantón Rocafuerte, tal como se observa en la Figura 6.

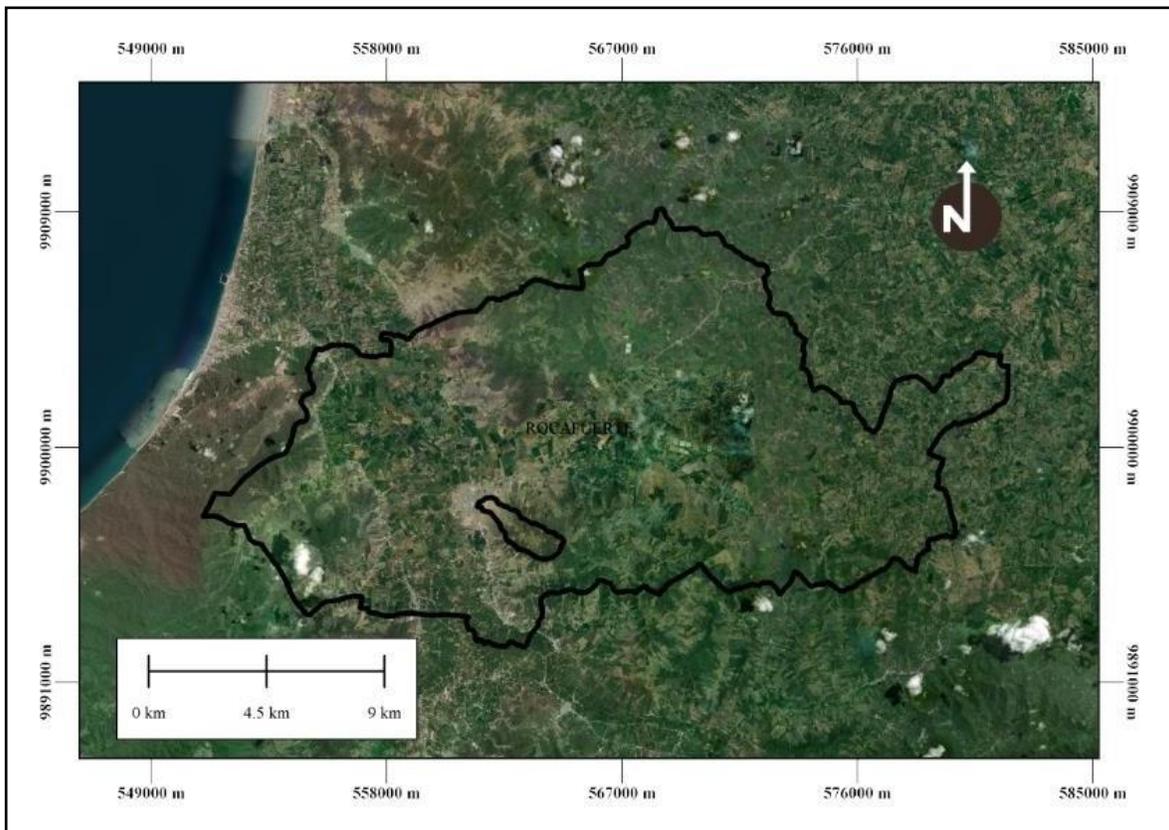


Figura 2. Ubicación de la microcuenca San Marcos dentro del cantón Rocafuerte.

Materiales y métodos

Los materiales que se utilizaron para la investigación son los siguientes:

Un modelo digital de elevación de 4 metros de resolución espacial obtenido desde el Geoportal Sismo del Instituto Geografico Militar.

El software SAGA GIS que es un software libre, el mismo que realiza análisis geoespacial desarrollado por la Universidad de Gottingen, Alemania.

La metodología de la investigación será presentada en el siguiente flujograma, descrito en la figura 3.

En el primer proceso, se insertó un modelo digital de elevación de 4 metros de resolución espacial para tener claridad y precisión en los resultados del estudio hidrológico y morfométrico.

En el segundo proceso se realizó el geoprocesamiento, es decir, el análisis espacial con la final de obtener los índices morfométricos e hidrológicos.

En el tercer proceso se obtuvieron los insumos que servirán finalmente para determinar la susceptibilidad ante riesgos por inundación del área de estudio.

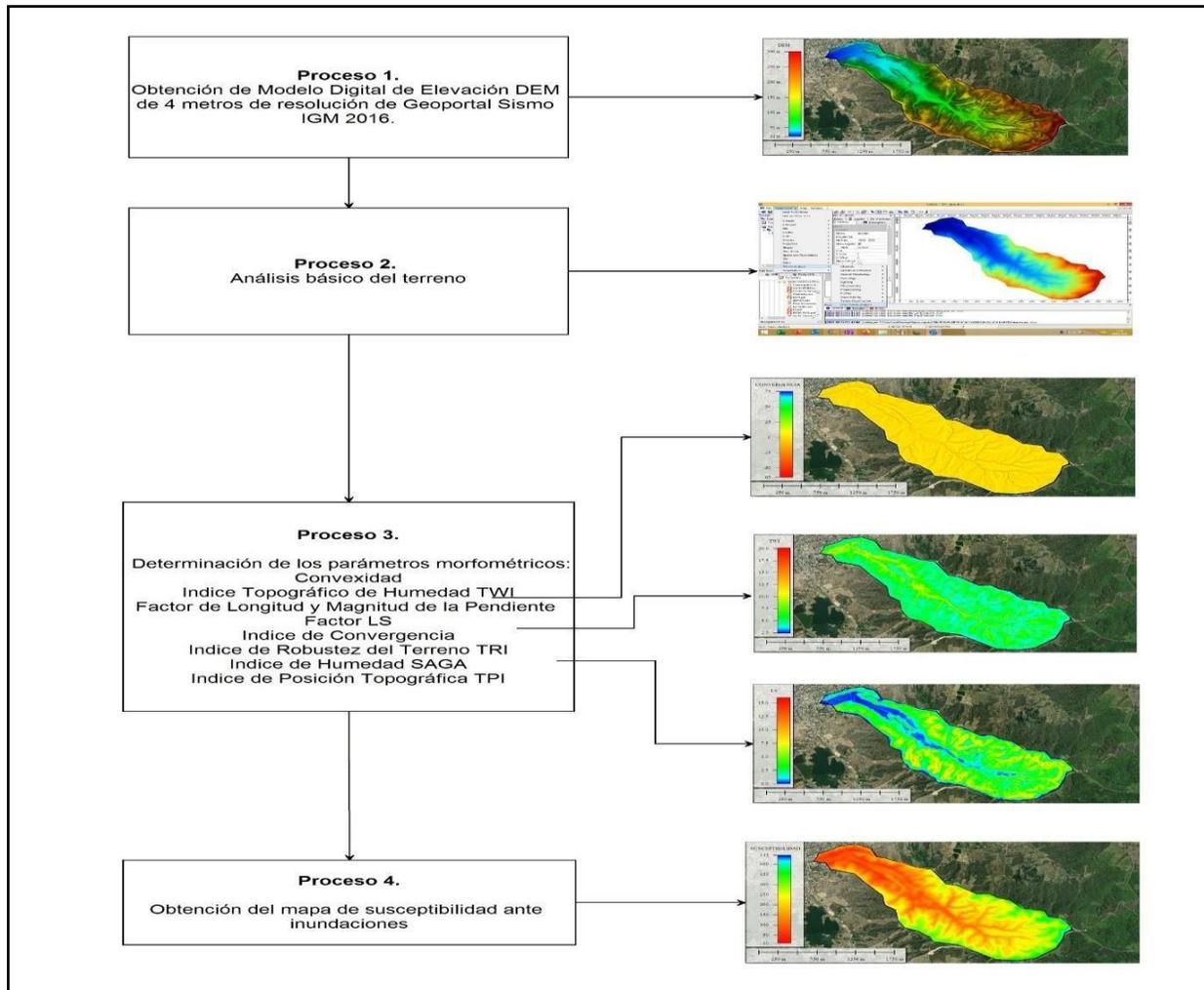


Figura 3. Metodología general de la investigación para la determinación de la susceptibilidad de la microcuenca San Marcos.

Resultados y Discusión

Resultados

Descripción del mapa de pendiente

Las inundaciones pueden ser provocadas por dos vías fundamentales: almacenamiento de la lámina de lluvia producto de que la intensidad de la lluvia que escurre es mayor que la de infiltración para un determinado para lluvias intensas y de larga duración en zonas predominantemente llanas, y la otra por el desbordamiento de los cauces de los ríos, que no son capaces de evacuar los caudales de gran magnitud.

La lluvia como elemento desencadenante constituye un factor necesario, pero no suficiente para que se desarrollen los fenómenos de inundación, deben existir otras condiciones del terreno que juntamente con la lluvia provoquen una elevación del nivel de las aguas. A partir de este enfoque se determinan los parámetros naturales que definen el escenario de peligro posible en una cuenca a ser inundada con cierta periodicidad.

Entre los parámetros naturales se destacan por su importancia, los suelos, en dependencia de su capacidad de retención del agua, el contenido de humedad que presentan, los procesos degradativos que ocurran en él, desarrollarán condiciones de susceptibilidad favorables o desfavorables a ser inundados o no, otro factor a tener en cuenta son los factores geomorfológicos, las formas depresionales del relieve no cárstico son zonas potencialmente susceptibles a ser inundadas, la inclinación de las pendientes es un elemento a tener en cuenta, pues en dependencia del ángulo de inclinación que posea el terreno, se desarrollarán los procesos de escurrimiento o encharcamiento cuando el agua incide sobre el terreno. (Olivera, et. al. 2011).

El cantón Rocafuerte según (Pacheco, 2018) posee una pendiente regularmente plana, presenta elevaciones que en promedio oscilan entre los 100 y 300 msnm en promedio, aunque existen elevaciones como la del cerro Tebaida (límites de Junín, Portoviejo y Rocafuerte) cuya elevación es de 500 msnm y en la parte alta de Danzarín 404 msnm. Las elevaciones montañosas existentes en la parroquia están estimadas entre el 0% (relieves totalmente planos) al 50 - 70%, (relieves irregulares, de ondulación moderada y escarpados) según el análisis de los datos obtenidos por el mapa de pendientes de datos cartográficos de www.igm.ec y www.sni.ec. Debido a los datos obtenidos en el mapa de pendiente de la zona (Mapa 1), en el cual se interpreta como resultado que la geomorfología del relieve de área de estudio comprende valores entre el 0% y <70%, donde el relieve más bajo comprende del 0% y el 10% con un nivel de pendiente de carácter plano debido a las cercanías de la microcuenca.

También se identificó otros niveles de pendientes cuyo valor comprende una variación del 10% al 40% de carácter suave o ligeramente ondulado y en su menor extensión colinas y escarpados que van desde un 70% o más, se toma en cuenta para evaluar la susceptibilidad existente con los porcentajes adquiridos en la investigación.

La figura 4 nos muestra las pendientes de la microcuenca San Marcos representada de la siguiente manera: en color rojo las zonas de mayor pendiente (0.44-0.67 radianes), en colores amarillo y verde las zonas de pendiente media (0.08-0.44 radianes) y en color azul las zonas de menor

pendiente (0-0.08 radianes). Las crecidas torrenciales también se mezclan con flujos de lodo, por lo que es necesario realizar el análisis de las pendientes, para saber que material está propenso a mezclarse con las aguas lluvias.

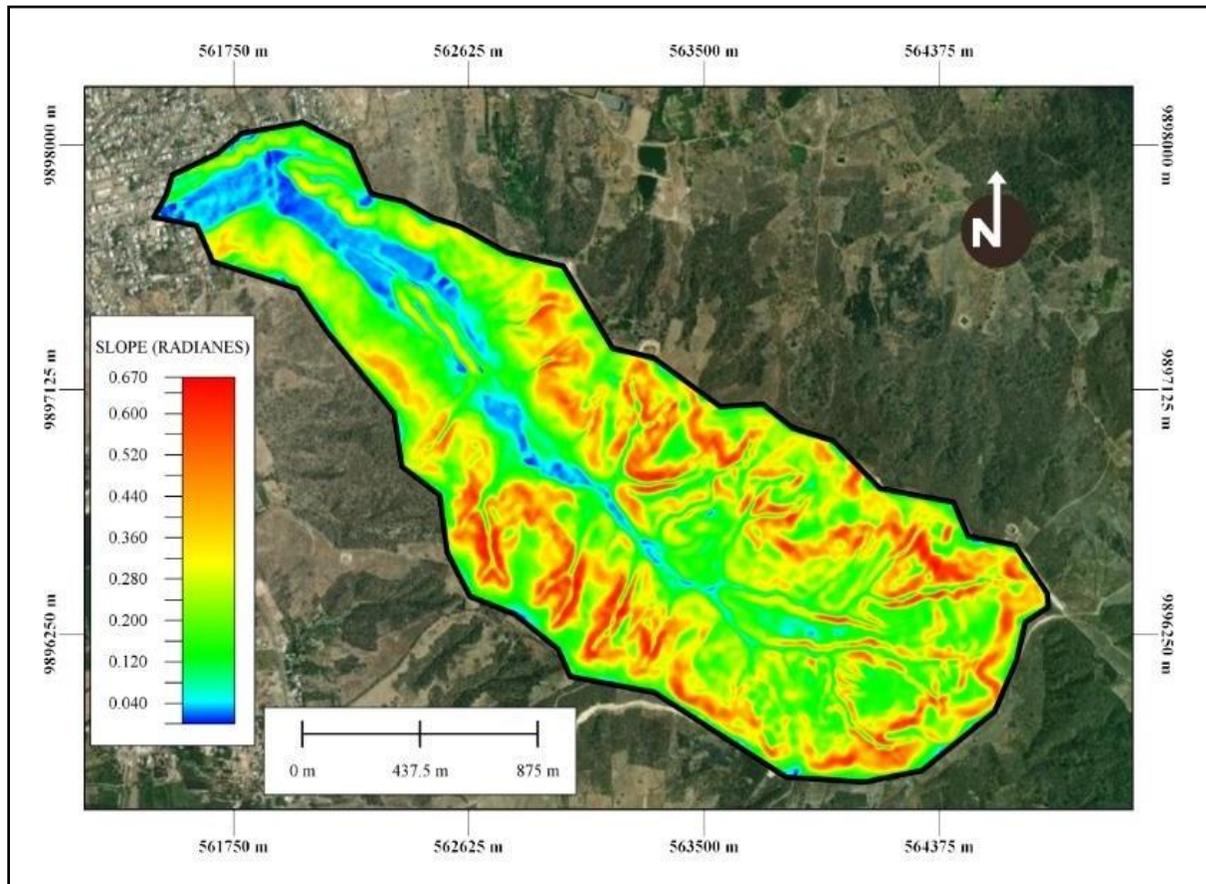


Figura 4. Mapa de pendientes en radianes del área de estudio.

Descripción del mapa de Acumulación de Flujos

En la Figura 5 se muestran las áreas de acumulación de flujos, donde el color blanco representa los flujos más profundos, los colores amarillo y café representan los encauzadores de flujos y el color verde las zonas donde se concentra la mayor humedad y los flujos superficiales. Los flujos más profundos tienen un valor de 6000 celdas de acumulación, mientras que los flujos superficiales tienen un valor de 16 celdas de acumulación. Cabe indicar que este índice es adimensional.

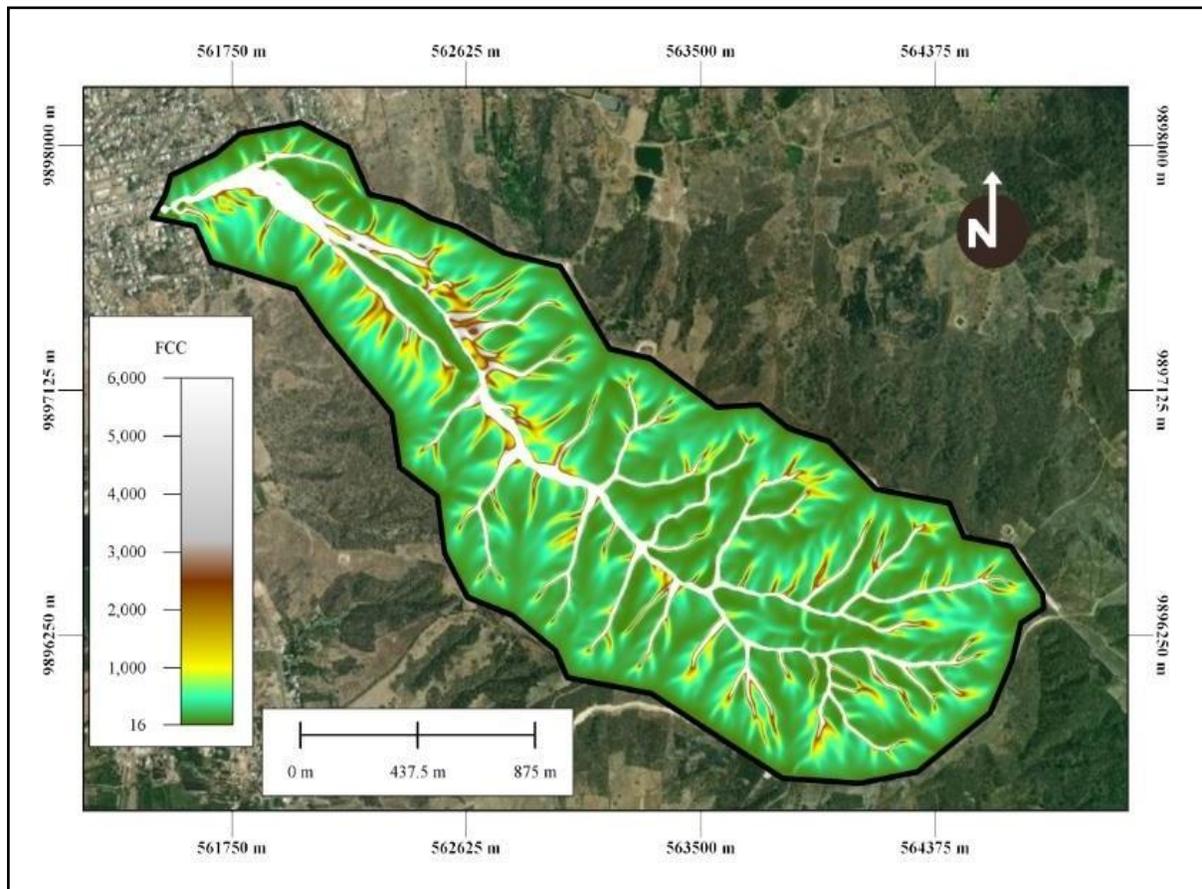


Figura 5. Zonas de acumulación de flujos dentro del área de estudio.

Descripción del mapa de Índice Topográfico de Humedad

La figura 6 nos muestra las zonas de concentración de humedad dentro del área de estudio, en donde el color rojo representa las zonas de mayor concentración de humedad, además de las zonas de mayor pendiente (15-20), en colores verde y amarillo las zonas de una concentración media de humedad (5-15) y en color celeste las zonas de menor concentración de humedad (2.5-5). Claramente se observa que la mayor concentración de humedad se encuentra sobre el cauce principal de la microcuenca con valores superiores a 20. Cabe indicar que este índice es adimensional.

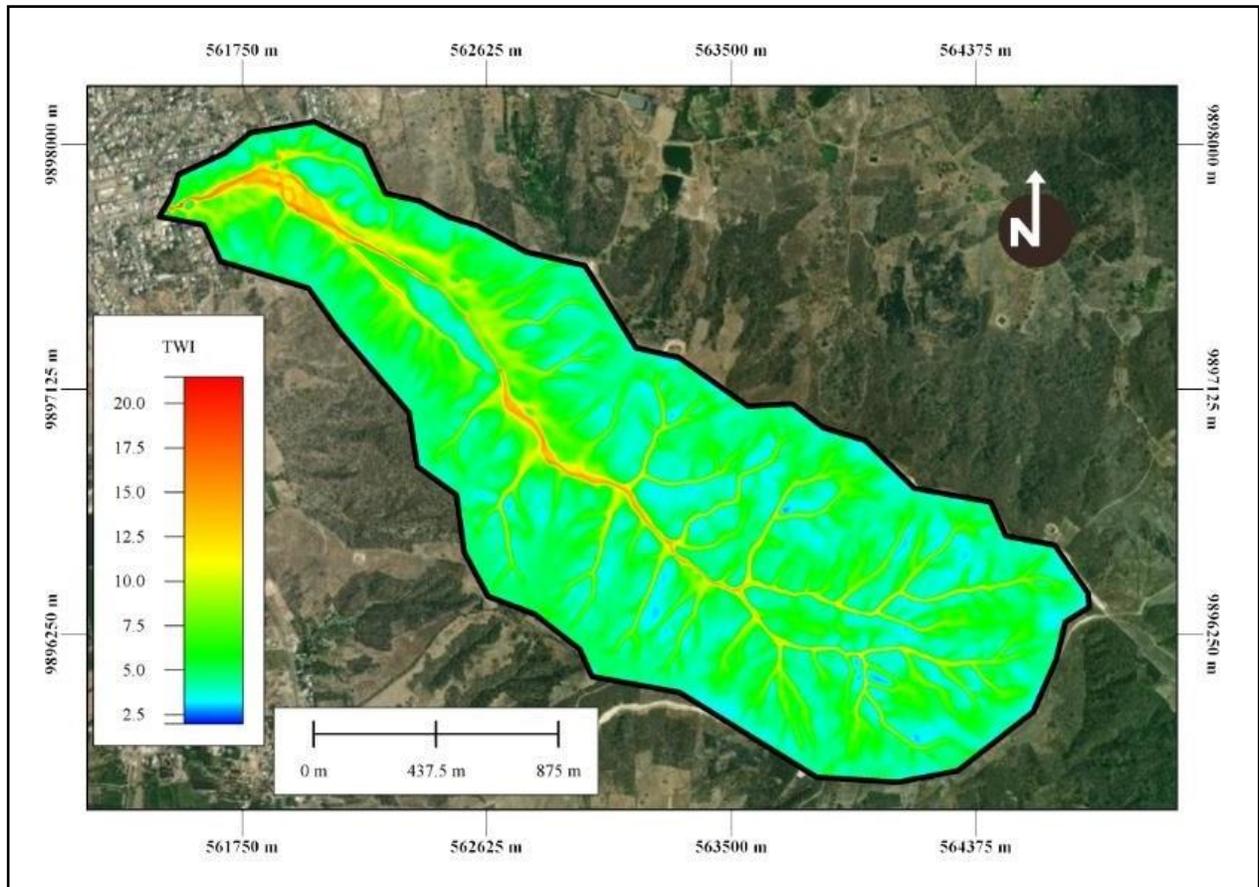


Figura 6. Zonas de concentración de humedad dentro del área de estudio.

Descripción del mapa de Factor y Longitud de la Pendiente LS

La Figura 7 nos muestra las zonas de erosión hídrica de la microcuenca, en donde las zonas más erosionadas están representadas con el color rojo con valores entre 10 a 12.5. Las zonas de erosión media están en los valores de 2.5 a 10 representadas por el color verde y amarillo y las zonas de baja erosión representadas con color azul y turquesa con valores entre 0 a 2.5. Cabe indicar que este índice es adimensional. Las zonas de mayor erosión se encuentran en las laderas adyacentes al cauce principal. La zona menos erosionada es el cauce principal.

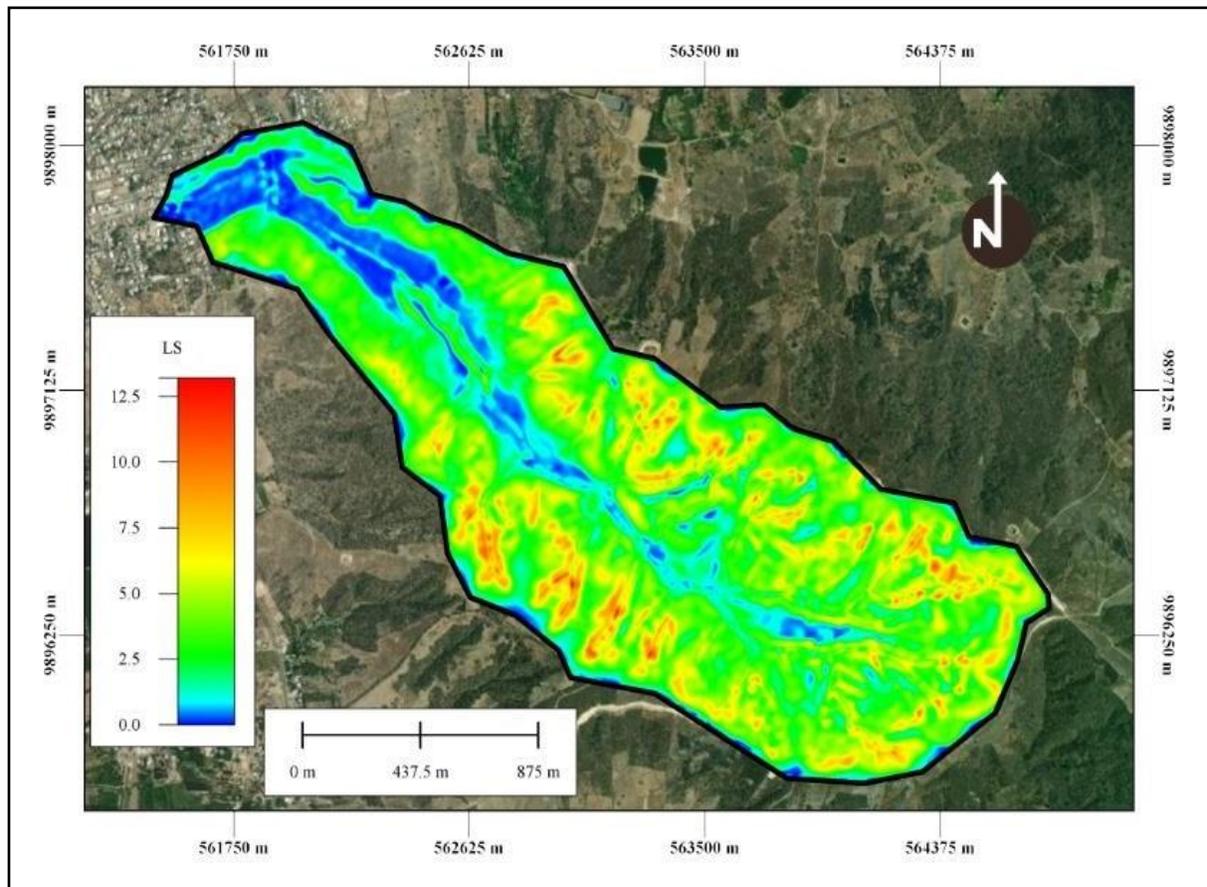


Figura 7. Zonas de erosión hídrica existentes en el área de estudio.

Descripción del mapa de Robustez del Terreno

La Figura 8 nos muestra las zonas de robustez del terreno. En color rojo están representadas las zonas de mayor robustez (1.5-2.2), en color amarillo y verde las zonas de mediana robustez (0.5-1.5) y en color azul las zonas de menor robustez (0-0.5). Las zonas de mayor robustez se encuentran en las laderas adyacentes al cauce principal de la microcuenca, mientras que las zonas de menor robustez se ubican sobre el cauce principal de la microcuenca.

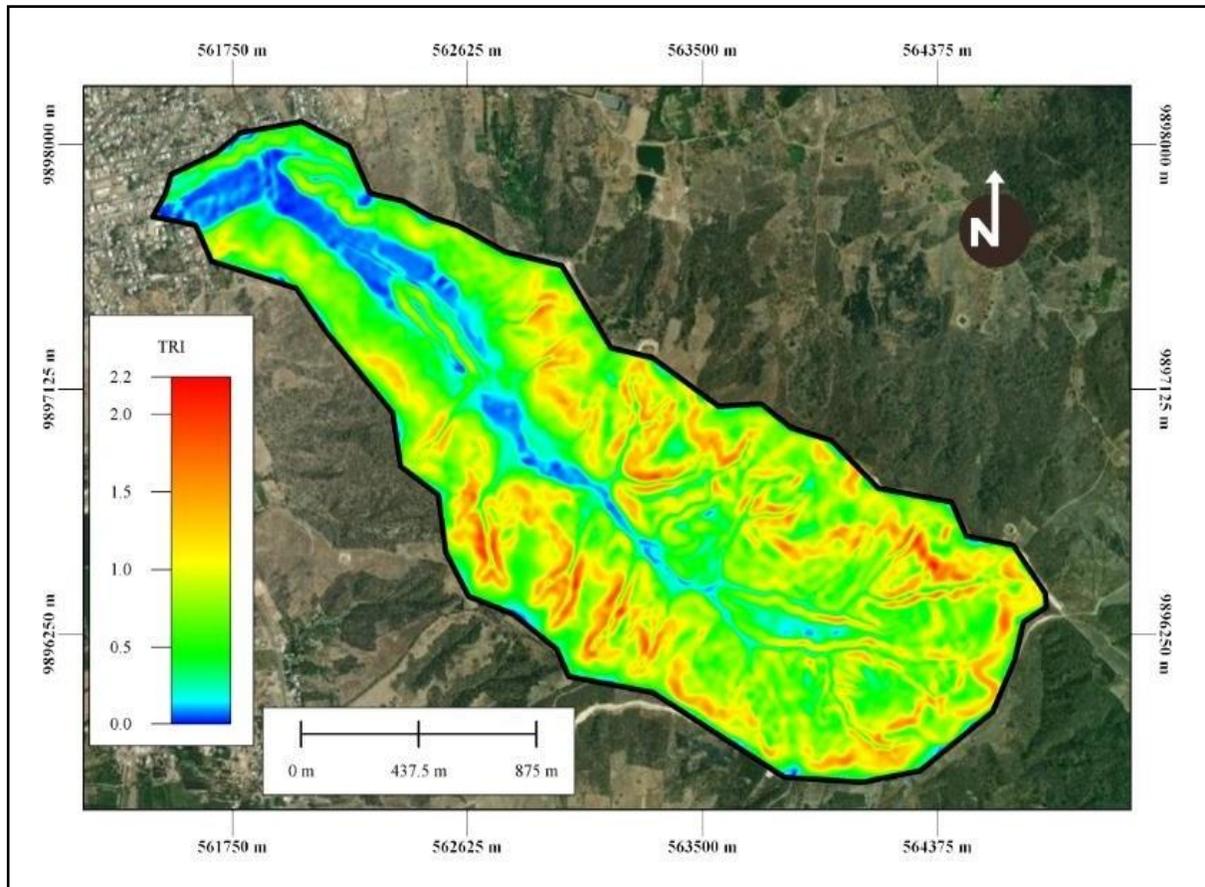


Figura 8. Zonas de rugosidad del terreno en el área de estudio.

Descripción del mapa de Convergencia de los Flujos

La convergencia de los flujos es otro parámetro determinante en la determinación de inundaciones. Esto nos permite determinar el lugar donde convergen los flujos superficiales y los flujos subsuperficiales. La figura 9 nos muestra la convergencia de los flujos superficiales representados en color verde, mientras la convergencia de los flujos subsuperficiales representados en color rojo. La convergencia de flujos subsuperficiales presenta un valor máximo de 75 mientras que la convergencia de los flujos superficiales presenta un valor máximo de 50. Cabe indicar que este índice es adimensional.

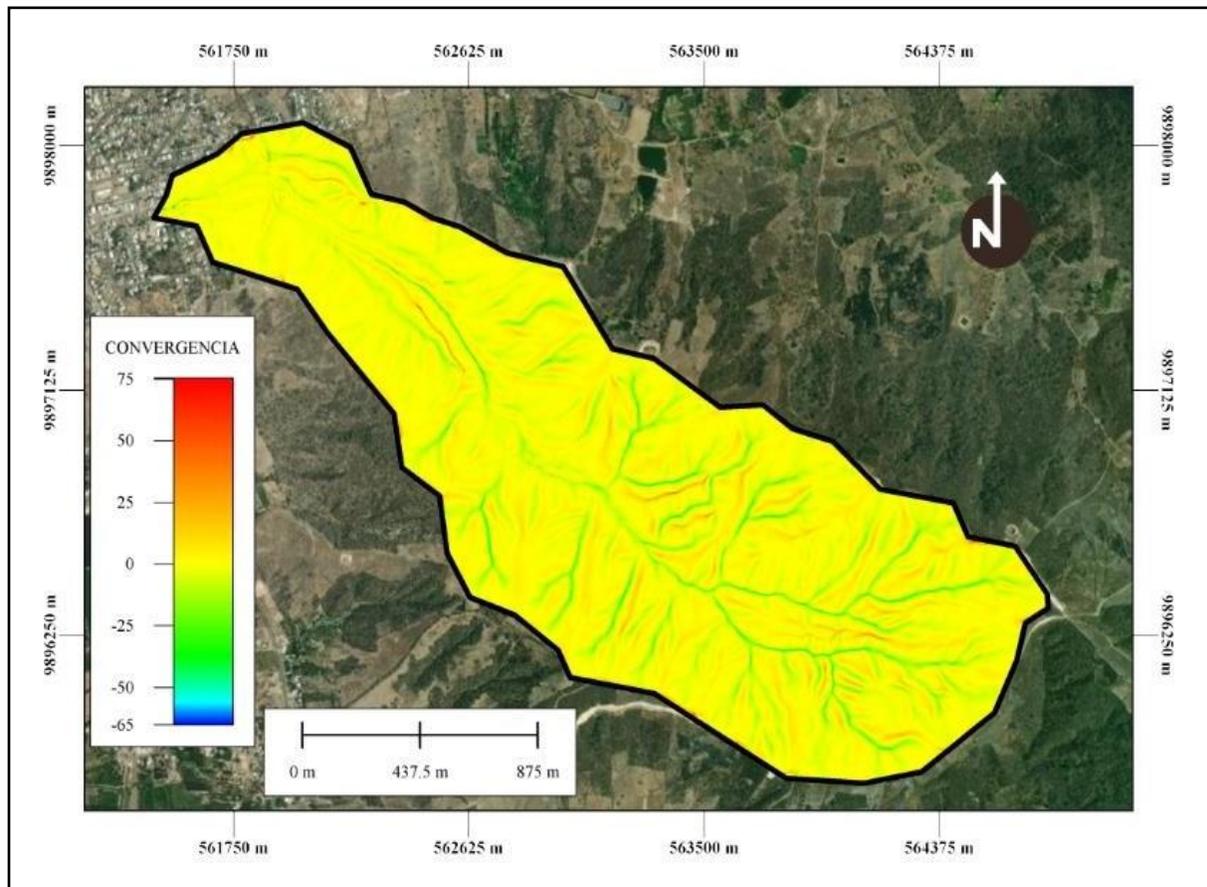


Figura 9. Convergencia de flujos dentro del área de estudio.

Descripción del mapa de Susceptibilidad

La Figura 10 nos muestra el resultado final, el cual es el mapa de susceptibilidad ante inundaciones representado de la siguiente manera: en color rojo se representan las zonas de mayor susceptibilidad (0-150), en color amarillo las zonas de susceptibilidad media (150-250) y en color verde las zonas de susceptibilidad baja (250-400). Cabe indicar que esta clasificación se realizó de una manera diferente, ya que se combinaron los parámetros morfométricos e hidrológicos mencionados anteriormente. El 90% de la microcuenca San Marcos presenta una alta susceptibilidad ante riesgos por inundación.

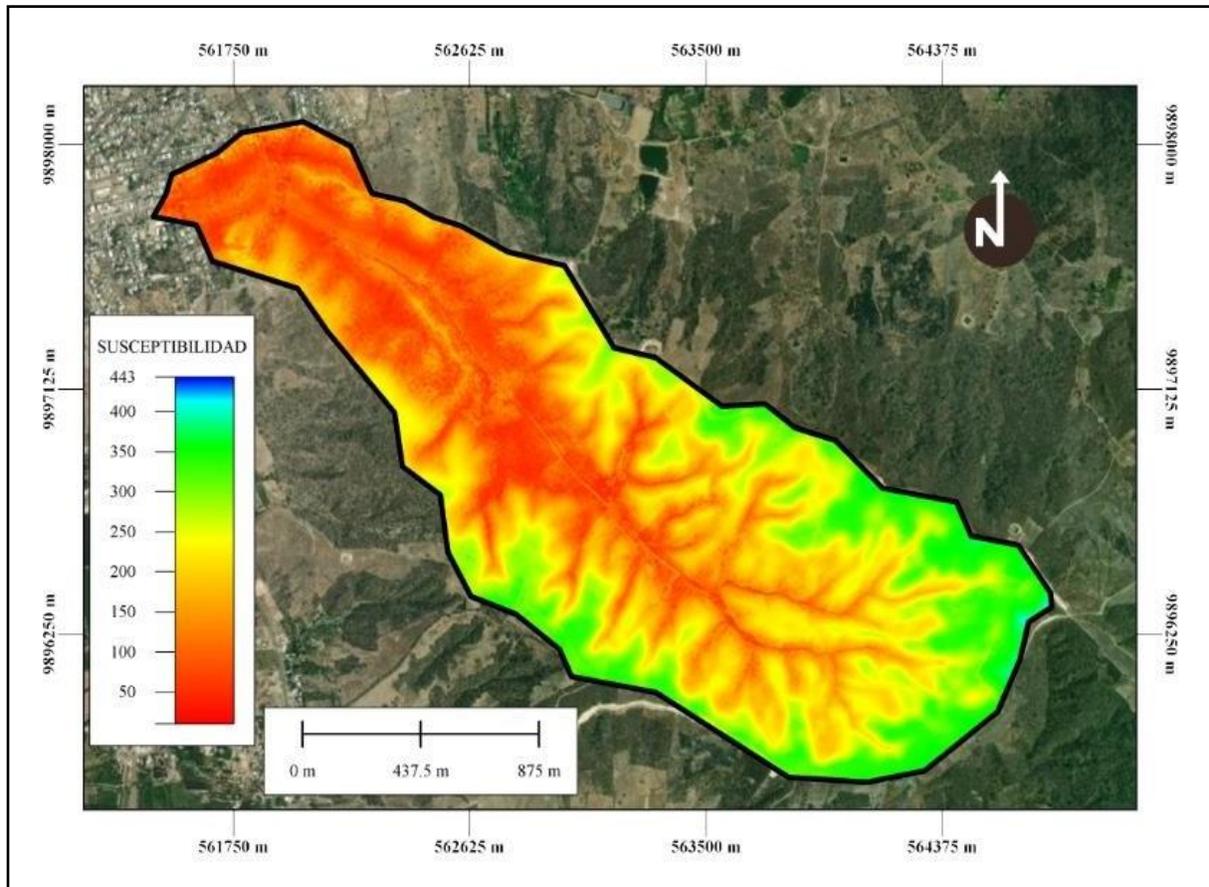


Figura 10. Zonas susceptibles ante riesgo por inundaciones dentro del área de estudio.

Discusión

Al combinar los parámetros hidrológicos Factor de Longitud y Magnitud de la Pendiente LS con el Índice Topográfico de Humedad y el Índice de Humedad SAGA se obtienen las zonas de mayor intensidad hidrológica en la microcuenca, tal como se observa en la Figura 11. En color rojo están representadas las zonas de mayor intensidad hidrológica con un valor máximo de 30 celdas, las zonas de concentración media de flujos representadas en color verde. Por lo tanto, la microcuenca San Marcos se considera una zona con gran cantidad de humedad y de alta intensidad de lluvias.

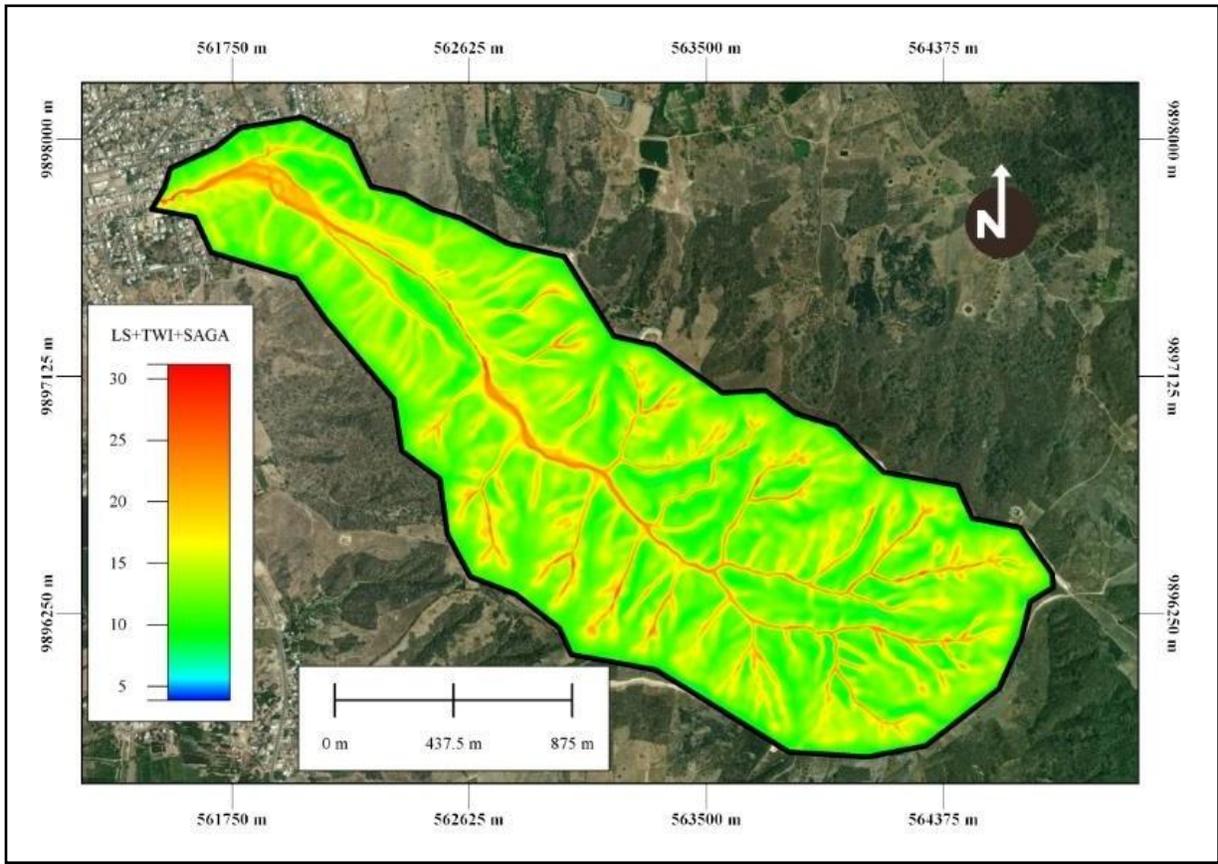


Figura 11. Zonas de mayor intensidad hidrológica de la microcuenca San Marcos.

Al combinar los parámetros morfométricos TRI, TPI y la convexidad se obtienen las zonas de mayor intensidad morfométrica tal como se observa en la Figura 12. En color rojo se observan las zonas de mayor intensidad morfométrica (-25 hasta 50), en amarillo las zonas de intensidad media (50 a 75) y en color verde las zonas de baja intensidad (75 a 150). Cabe recalcar que estas zonas son inversamente proporcionales a las zonas de intensidad hidrológica.

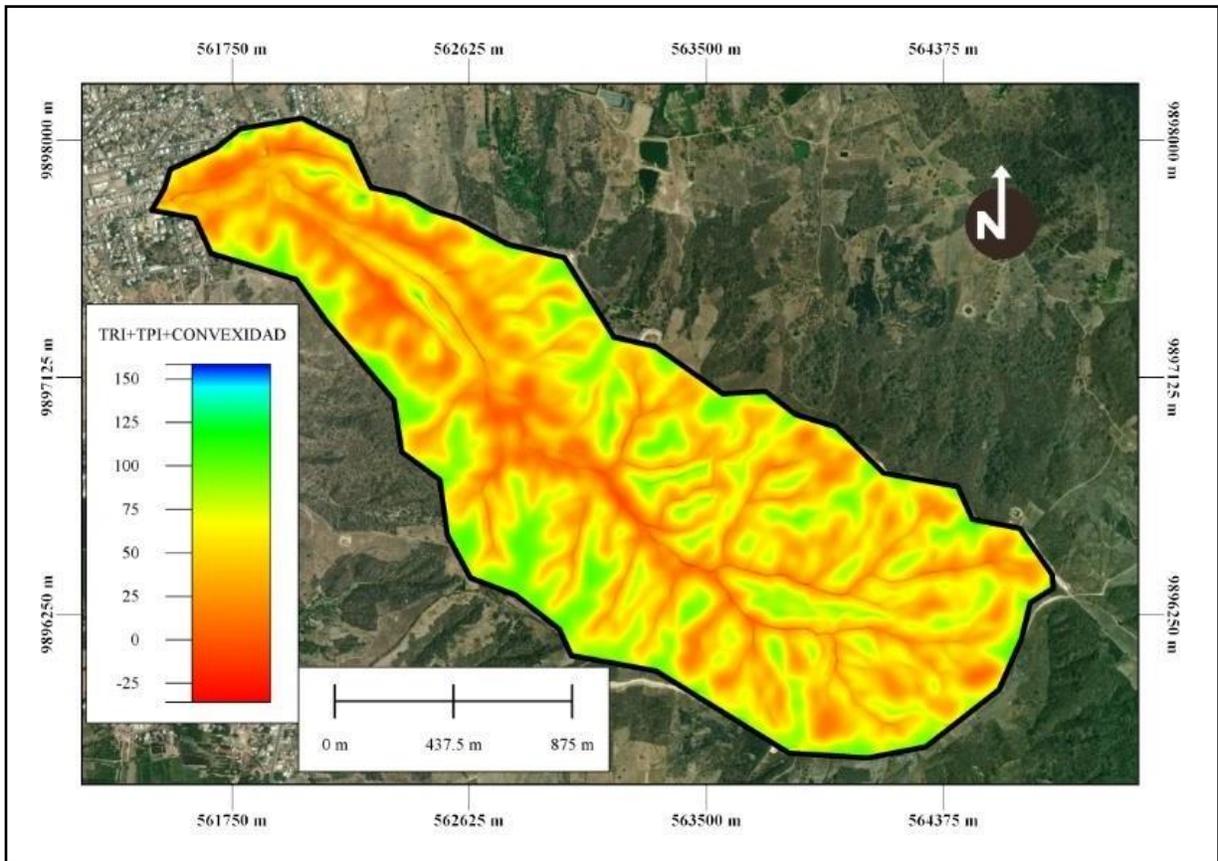


Figura 12. Zonas de mayor intensidad morfométrica en la microcuenca San Marcos.

Conclusiones

El trabajo muestra la potencialidad que presentan los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la evaluación multicriterio (EMC), para determinar con precisión, la cartografía de las zonas susceptibles al desarrollo de inundaciones recurrentes en cuencas fluviales. La capacidad de análisis y manejo de la información espacial que poseen los SIG en la actualidad, juntamente con el procesamiento estadístico apoyados en el uso de la EMC, permiten cuantificar factores del medio natural y establecer grados de adecuación, reduciendo la subjetividad durante el procesamiento analítico.

Las zonas susceptibles determinadas con el empleo de esta metodología se compararon con estudios anteriores y los resultados presentan una buena coincidencia espacial, aunque ésta mejora en precisión cartográfica. Por tanto, los resultados obtenidos componen preciadas herramientas de gestión, los cuales contribuyen a la toma de decisiones en el territorio e incrementa el nivel de conocimiento para reducir los riesgos de desastres naturales en el cantón Rocafuerte.

El mapa de pendiente del área seleccionada como resultado que la geomorfología del relieve de área de estudio comprende valores entre el 0% y <70%, donde el relieve más bajo comprende del 0% y el 10% con un nivel de pendiente de carácter plano debido a las cercanías de la microcuenca. Esto se interpreta como un área altamente vulnerable de ser inundada por ser altamente plana y encontrarse cerca de un cuerpo de agua o corriente de agua.

Los mapas de geomorfología y de saturación, permiten vincular su relación pudiendo referir que en donde se presentan vertientes regulares y colinas medianas es proporcional a un índice de saturación alto. Esto ocasiona suelos aptos para facilitar las escorrentías, altamente vulnerables a inundaciones.

La variable de precipitación (isoyetas), pendientes y saturación, ayudaron en la determinación de la zonificación de susceptibilidad de inundación presente en cada zona, a mayor precipitación, menor permeabilidad del suelo y menor pendiente. Esta será de alta susceptibilidad a inundaciones. Los resultados muestran que la amenaza clasificada como alta, en el área de predio urbana, donde se presenta un relieve totalmente plano, en proceso de erosión con un índice de saturación alto que ocasionan escorrentías y alta vulnerabilidad a inundaciones, mientras resultó baja para el área con pendientes más elevadas con presencia de vegetación arbustiva y árboles.

Recomendaciones

Las autoridades del GAD de Rocafuerte deben considerar esta investigación para la elaboración de su Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT), ya que el área estudiada altamente vulnerable de ser inundada y encontrarse cerca de un cuerpo de agua o corriente de agua.

El mantenimiento y preservación de bosques y selvas juegan un papel importante en el mecanismo regulador para prevenir las inundaciones.

Realizar campañas de concientización para la población urbana y rural acerca de los fenómenos naturales, catástrofes, zonas de riesgos y formarlos para que no contaminen el ambiente con desechos que obstruyan el cauce de los ríos para evitar posibles inundaciones.

Referencias

1. Alberto, J. A. (2007): "Vulnerabilidad Ecológica. Entre lo ambiental y lo social. El caso del Área Metropolitana del Gran Resistencia", en A. M. Foschiatti (Ed.): Aportes conceptuales

- y empíricos de la vulnerabilidad global en el Nordeste Argentino. Corrientes, Secretaría General de Extensión Universitaria. UNNE, pp. 117-158.
2. Arabameri, A., Pal, S. C., Rezaie, F., Nalivan, O. A., Chowdhuri, I., Saha, A., Lee, S., & Moayedi, H. (2021). Modeling groundwater potential using novel GIS-based machine-learning ensemble techniques. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 36, 100848. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100848>
 3. Arnell, N. W., & Gosling, S. N. (2016). The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. *Climatic Change*, 134(3), 387-401. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1084-5>
 4. Arreguín-Cortés, F. I., López-Pérez, M., & Marengo-Mogollón, H. (2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5), 5-13.
 5. Calderón, H., Pérez, J. E., Chow, M., & Reyna, J. B. (s. f.). Índice de Posición Topográfica (TPI) para identificar áreas inundables y zonificación de especies vegetales en un manglar del Pacífico Sur de Nicaragua. *Revista Torreón Universitario*, 9(26), 124-146.
 6. Cando Jácome, M. (2020a). Geomática aplicada al análisis de riesgos geológicos. <https://gredos.usal.es/handle/10366/144015>
 7. Cando Jácome, M. (2020b). Geomática aplicada al análisis de riesgos geológicos. <https://gredos.usal.es/handle/10366/144015>
 8. Cando-Jácome, M., & Martínez-Graña, A. (2019). Determination of Primary and Secondary Lahar Flow Paths of the Fuego Volcano (Guatemala) Using Morphometric Parameters. *Remote Sensing*, 11(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/rs11060727>
 9. Castejón, G., & Romero, A. (2014). Antecedentes. XIX, 1-40.
 10. Chan, S. W., Abid, S. K., Sulaiman, N., Nazir, U., & Azam, K. (2022). A systematic review of the flood vulnerability using geographic information system. *Heliyon*, 8(3), e09075. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09075>
 11. Chen, J., Dowman, I., Li, S., Li, Z., Madden, M., Mills, J., Paparoditis, N., Rottensteiner, F., Sester, M., Toth, C., Trinder, J., & Heipke, C. (2020). 1.1. Información a partir de imágenes: Visión científica y agenda de investigación del ISPRS. 35.

12. Choez, B. D. B., Ríos, S. J. C., & Del Valle, D. J. M. (2019). Analysis of the vulnerability to flooding in the Santa Ana de Vuelta larga Parish, province of Manabi, Ecuador. *Investigaciones Geograficas*, 98, 1-14. <https://doi.org/10.14350/rig.59767>
13. Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Constitucion de la republica del Ecuador 2008*. Registro oficial 449 de 20 Oct. 2008, 1-136.
14. COOTAD. (2010). 3998300-3998400.
15. Cruz Romero, B., Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Carrillo González, F. M., & Téllez López, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia*, 23, n.o 64. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/66784>
16. Del, C., Gualjaina, R. Í. O., & Orrero, M. P. T. (2015). MANEJO INTEGRADO DE CUENCAS HÍDRICAS : Vicente FERRER A LESSI. pag. 615-643.
17. El Comercio. (2020). <https://www.elcomercio.com/actualidad/mapa-inundaciones-sitios-vulnerables-inundaciones.html>
18. El Comercio 2019. (s. f.). Recuperado 22 de julio de 2020, de <https://www.elcomercio.com/actualidad/personas-viviendas-balance-inundaciones-manabi.html>
19. El Telégrafo 2020. (s. f.). Recuperado 20 de julio de 2020, de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/ecuador/1/alerta-amarilla-provincias-lluvias-ecuador>
20. El Universo. (2020). <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/07/12/nota/7903011/inundaciones-ecuador-2020-agua-lluvias-cambio-climatico>
21. El Universo 2017. (s. f.). Recuperado 22 de julio de 2020, de <https://www.eluniverso.com/noticias/2017/04/12/nota/6135256/27-muertos-127500-afectados-inundaciones-ecuador-segun-sgr>
22. Gómez, C. V., Pérez, M. E., & Prause, J. (2016). Áreas de riesgo de inundación pluvial en la Provincia del Chaco. *Facena*, 30(1), 3. <https://doi.org/10.30972/fac.300654>
23. Grupo, C., Urbanas, A., Hidrologico, P., Phi, I., & Titular, P. (s. f.). MATANZA-RIACHUELO.

24. Guajala Agila, H., & Zambrano Solís, M. (2016). Departamento de ciencias de la tierra y la construcción. 103.
25. Hidalgo-Bastidas, J. P., & Boelens, R. (2018). Inundaciones Políticamente Construidas. El Megaproyecto Hídrico Chone En Ecuador. Cuadernos de Geografía de la Universitat de València, 101, 127. <https://doi.org/10.7203/cguv.101.13724>
26. Hu, G., Dai, W., Li, S., Xiong, L., Tang, G., & Strobl, J. (2021). Quantification of terrain plan concavity and convexity using aspect vectors from digital elevation models. *Geomorphology*, 375, 107553. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107553>
27. Isbn, C. D. (2010). Obras Colectivas 24. Universidad de Alcalá de Henares , Alcalá. (Versión. Versión CD, 1-23.
28. Khosravi, K., Shahabi, H., Pham, B. T., Adamowski, J., Shirzadi, A., Pradhan, B., Dou, J., Ly, H. B., Gróf, G., Ho, H. L., Hong, H., Chapi, K., & Prakash, I. (2019). A comparative assessment of flood susceptibility modeling using Multi-Criteria Decision-Making Analysis and Machine Learning Methods. *Journal of Hydrology*, 573(November 2018), 311-323. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.073>
29. LOTAIP. (2010). XVI, 29-59.
30. Lux Cardona, B. (2016). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>
31. María Perevochtchikova, & José Luis Lezama de la Torre. (2010). Causas de un desastre: Inundaciones del 2007 en Tabasco, México. *Journal of Latin American Geography*, 9(2), 73-98. <https://doi.org/10.1353/lag.2010.0010>
32. Nabel, P. E., & Becerra Serial, R. M. (2008). Uso de técnicas geomáticas para el mapeo y caracterización de unidades geomórficas de la Ciudad de Buenos Aires (Argentina) mediante interpretación visual de parámetros morfométricos. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 60(2), 173-185. <https://doi.org/10.18268/BSGM2008v60n2a3>
33. Olaya, V., & Conrad, O. (2009). Chapter 12 Geomorphometry in SAGA. En T. Hengl & H. I. Reuter (Eds.), *Developments in Soil Science* (Vol. 33, pp. 293-308). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00012-3](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00012-3)
34. Ollero Ojeda, A. (2014). Gestión de inundaciones. Manual para gestores.

35. Raduła, M. W., Szymura, T. H., & Szymura, M. (2018). Topographic wetness index explains soil moisture better than bioindication with Ellenberg's indicator values. *Ecological Indicators*, 85, 172-179. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.011>
36. Rózycka, M., Migoń, P., & Michniewicz, A. (2016). Topographic Wetness Index and Terrain Ruggedness Index in geomorphic characterisation of landslide terrains, on examples from the Sudetes, SW Poland. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*, 61. https://doi.org/10.1127/zfg_suppl/2016/0328
37. S. Cartaya, R. M.-E. (2016). Identificación de zonas de riesgo de inundación mediante la simulación hidráulica en un segmento del Río Pescadillo , Manabí , Ecuador ,.
38. Salehi-Varnousfaderani, B., Honarbakhsh, A., Tahmoures, M., & Akbari, M. (2022). Soil erodibility prediction by Vis-NIR spectra and environmental covariates coupled with GIS, regression and PLSR in a watershed scale, Iran. *Geoderma Regional*, 28, e00470. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00470>
39. Scarpati, O. E., & Capriolo, A. D. (2013). Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal. *Investigaciones Geograficas*, 82(82), 38-51. <https://doi.org/10.14350/rig.31903>
40. Secretaría de Gestión de Riesgos. (2018). *Glosario de términos de gestión de riesgos de desastres: Guía de Consulta*. 0-25.
41. Servicio Nacional Gestión Riesgos y Emergencias 2020. (s. f.). Recuperado 24 de julio de 2020, de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/>
42. Souissi, D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M. H., Zghibi, A., & Dlala, M. (2019). GIS-based MCDM–AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia. *Geocarto International*, 0(0), 000. <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1566405>
43. Suarez, J. (2011). *Deslizamientos*. Capítulo 13: Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo. 527-582.
44. Tang, Z., Yi, S., Wang, C., & Xiao, Y. (2018). Incorporating probabilistic approach into local multi-criteria decision analysis for flood susceptibility assessment. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32(3), 701-714. <https://doi.org/10.1007/s00477-017-1431-y>

45. Tiryaki, M., & Karaca, O. (2018). Flood susceptibility mapping using GIS and multicriteria decision analysis: Saricay-Çanakkale (Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 11(14). <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3675-3>
46. University of Gottingen. (2001). Module SAGA Wetness Index / SAGA-GIS Module Library Documentation (v2.2.3). https://saga-gis.sourceforge.io/saga_tool_doc/2.2.3/ta_hydrology_15.html
47. Villegas-rodríguez, E., Sandoval-betancour, G., & Molina-prieto, L. F. (2019). Gestión estratégica del recurso pluvial urbano: Strategic Management of the Urban Rainwater Resource: Gestão estratégica do recurso pluvial urbano : 12, 0-3.
48. Wang, Y., Hong, H., Chen, W., Li, S., Pamučar, D., Gigović, L., Drobnjak, S., Bui, D. T., & Duan, H. (2019). A hybrid GIS multi-criteria decision-making method for flood susceptibility mapping at Shangyou, China. *Remote Sensing*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/rs11010062>
49. Zhang, H., Wei, J., Yang, Q., Baartman, J. E. M., Gai, L., Yang, X., Li, S., Yu, J., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2017). An improved method for calculating slope length (λ) and the LS parameters of the Revised Universal Soil Loss Equation for large watersheds. *Geoderma*, 308, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.006>