



La Caracterización Hidrográfica y su Influencia en la Evaluación del Riesgo de Inundación

Hydrographic Characterization and its Influence on Flood Risk Assessment

Caracterização Hidrográfica e a sua Influência na Avaliação do Risco de Inundações

Carlos Luis Valero-Fajardo^I

cvalerof@ulvr.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-3292-9327>

Correspondencia: cvalerof@ulvr.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de junio de 2022 * **Aceptado:** 12 de julio de 2022 * **Publicado:** 12 de agosto de 2022

- I. Ingeniero Civil, Magíster en Arquitectura mención Planificación territorial y Gestión ambiental, Magíster en Ingeniería Civil mención Construcción Civil Sustentable, Maestrando en Salud y Seguridad Ocupacional mención en Prevención de Riesgos Laborales, Doctorando en Administración Gerencial, Investigador Nacional acreditado y categorizado por la SENESCYT, Consultor Privado, Docente Investigador y Coordinador de Investigación en la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Evaluador par ciego de Yachana Revista Científica, Ecuador.

Resumen

El riesgo de inundación es producto de la amenaza y vulnerabilidad, estas variables podrían aparecer de distintas formas dentro de un determinado territorio, dependiendo de la magnitud con la que se presenten, será la influencia en el riesgo de inundación. En este trabajo investigativo, se propone estudiar la influencia de una metodología, con el objetivo de realizar una caracterización hidrográfica del territorio, que permita distinguir la posible existencia de los escenarios de amenaza y vulnerabilidad. La metodología empleada se basa en un análisis exploratorio, metódico, descriptivo, deductivo, probabilístico; y considera como objeto de estudio la gestión del riesgo de inundación y cómo campo de acción la caracterización hidrográfica de la cuenca del cantón Sucúa. Se decide emplear como caso de estudio a Sucúa, ciudad de Morona Santiago, provincia de Ecuador; debido a que, su zona urbana presenta el riesgo de inundación, a causa de la cercanía al punto de descarga o salida de una cuenca hidrográfica, que presenta un alto potencial hídrico, además de ser el escenario propicio para la aplicación de teorías y procesos de análisis, gracias a su topografía y a las condiciones meteorológicas registradas en las bases de datos de libre acceso del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Ecuador. Finalmente, se obtuvo un análisis sustentado por los distintos parámetros de alerta de riesgo de inundación, obtenidos mediante la caracterización hidrográfica; escenario que influye positivamente en el desarrollo urbano del cantón y permitirá tomar decisiones adecuadas, para gestionar el riesgo de inundación de su zona urbana.

Palabras clave: Zona urbana; riesgo; amenaza natural; cuenca fluvial; hidrología.

Abstract

Flood risk is a product of hazard and vulnerability; these variables could appear in different ways within a given territory, depending on the magnitude with which they are presented, the influence on flood risk will depend. In this research work, it is proposed to study the influence of a methodology, with the objective of carrying out a hydrographic characterization of the territory, which allows distinguishing the possible existence of hazard and vulnerability scenarios. The methodology used is based on an exploratory, methodical, descriptive, deductive and probabilistic analysis; and considers flood risk management as the object of study and the hydrographic characterization of the watershed of the Sucúa canton as the field of action. It was

decided to use Sucúa, city of Morona Santiago, province of Ecuador, as a case study, because its urban area presents a flood risk, due to its proximity to the discharge or exit point of a hydrographic basin, which has a high water potential, besides being the appropriate scenario for the application of theories and analysis processes, thanks to its topography and the meteorological conditions registered in the free access databases of the National Institute of Meteorology and Hydrology, Ecuador. Finally, an analysis was obtained, supported by the different parameters of flood risk warning, obtained through hydrographic characterization; a scenario that positively influences the urban development of the canton and will allow making appropriate decisions to manage the flood risk of its urban area.

Keywords: Urban area; risk; natural hazard; river basin; hydrology.

Resumo

O risco de inundação é um produto de perigo e vulnerabilidade. Estas variáveis podem aparecer sob diferentes formas num determinado território e, dependendo da magnitude com que aparecem, a influência sobre o risco de inundação dependerá da sua magnitude. Neste trabalho de investigação, propomos estudar a influência de uma metodologia, com o objectivo de realizar uma caracterização hidrográfica do território, que nos permitirá distinguir a possível existência de cenários de perigo e vulnerabilidade. A metodologia utilizada baseia-se numa análise exploratória, metódica, descritiva, dedutiva e probabilística, e considera a gestão dos riscos de inundação como objecto de estudo e a caracterização hidrográfica da bacia do cantão de Sucúa como campo de acção. Foi decidido utilizar Sucúa, uma cidade de Morona Santiago, província do Equador, como estudo de caso, porque a sua área urbana está em risco de inundação, devido à sua proximidade do ponto de descarga ou saída de uma bacia hidrográfica, que tem um elevado potencial hídrico, além de ser o cenário ideal para a aplicação de teorias e processos de análise, graças à sua topografia e às condições meteorológicas registadas nas bases de dados de livre acesso do Instituto Nacional de Meteorologia e Hidrologia, Equador. Finalmente, foi obtida uma análise, apoiada pelos diferentes parâmetros de aviso de risco de inundação obtidos através da caracterização hidrográfica; um cenário que tem uma influência positiva no desenvolvimento urbano do cantão e que permitirá tomar decisões adequadas para gerir o risco de inundação da sua zona urbana.

Palavras-chave: Área urbana; riesgo; perigo natural; bacía hidrográfica; hidrología.

Introducción

En Ecuador el riesgo de inundación es evidente, teniendo mayor recurrencia en las épocas lluviosas e incidencia en sus cuencas bajas del Litoral, esto sin descartar, pero sí; considerar de menor magnitud lo experimentado en las cuencas de la Amazonia y de la región Andina. (Paucar Camacho, 2016). Gestionar el riesgo de inundación es un reto para el desarrollo social, económico y sustentable de un territorio, debido a los múltiples impactos negativos que generan las inundaciones en la población “Cuando un proceso natural sea geológico o hidrometeorológico afecta al bienestar del ser humano, sus actividades socio-económicas o su infraestructura se convierte en una amenaza natural” (Toulkeridis, 2015), escenario que permite distinguir la importancia de su gestión y a igual tiempo la pertinencia de su estudio, por medio de distintas herramientas, a fin de establecer los adecuados procesos a ejecutar en la gestión del riesgo de inundación, “En el Ecuador por ejemplo, un estudio sobre los efectos del fenómeno El Niño de 1997-1998 muestra que el índice de pobreza en los cantones afectados aumento del 73.1 al 84.3% y la indigencia del 25.5 al 28.8%” (Ercole y Trujillo, 2015).

Sobre la base de las ideas expuestas, el problema científico; incremento del riesgo de inundación en Ecuador, es evidente y lo sustentan los antecedentes descritos, situación que refleja la necesidad e importancia de estudiar la génesis del riesgo de inundación y sus factores productores; amenaza y vulnerabilidad en un determinado territorio (Valero, 2020); “Las amenazas meteorológicas que condicionan el riesgo de inundaciones, no siempre ocasionan desastres, ya que estos son el resultado de la conjugación de diferentes factores que inciden en un tiempo y lugar determinado con una periodicidad aleatoria” (Chávez y Mendoza, 2016). El presente trabajo propone estudiar la influencia de una metodología de estudio hidrográfico en la gestión del riesgo de inundación, que tiene por objetivo realizar una caracterización hidrográfica del territorio, “La incorporación del ordenamiento territorial en los procesos de planificación y gestión del desarrollo de un país a nivel local y nacional resultaría una medida viable y eficiente para la reducción del riesgo de desastres” (Paucar, 2016). La caracterización hidrográfica tiene su aplicación en el cantón Sucúa de la provincia de Morona Santiago, debido a la problemática que atraviesa “Morona Santiago sufre estragos por inundaciones” (Pinto, 2019); se escogió este territorio por el evidente riesgo de inundación que presenta su zona urbana.

Las consecuencias sociales, económicas, hacen que en los entornos urbanos sea notorio el riesgo de inundación (Fajardo, Florencia y Ávila, 2022), pero no solo se pronuncian pérdidas materiales, sino que también algo invaluable, la vida humana, así como también, bienes culturales y naturales, todo esto conlleva a gastos e inversiones de recuperación del territorio residencial y sus equipamientos urbanos, lo cual afecta de manera directa al economía y desarrollo de dicho entorno urbano, a causa de la desazón e incertidumbre en general. Por estas razones es pertinente el desarrollo de ciencias, especialidades, y herramientas; que permitan gestionar el riesgo de inundación por medio de soluciones integrales con soporte técnico experimental (Franco, 2010).

La implementación de una adecuada caracterización hidrográfica, a más de identificar el riesgo de inundación permitiría gestionarlo de manera asertiva, identificarán en el cantón Sucúa los factores; amenaza y vulnerabilidad, existentes en la zona urbana, para dar paso al Ordenamiento Territorial a fin de dar una solución o un modo de controlar las inundaciones; por otro lado, la caracterización hidrológica podría identificar ciertas potencialidades hídricas en el territorio que podrían contribuir en el desarrollo del mismo; “Con un enfoque de Desarrollo Territorial, a nivel local se podría identificar la articulación espacial de unidades de producción, distribución y consumo en torno a una actividad preponderante que caracterice un determinado territorio” (González, 2016).

“Para el modelado de las cuencas hidrológicas es necesaria gran cantidad de información como son los datos hidrometeorológicos que constan de información como: precipitaciones, nevadas, temperaturas, radiación, humedad, evapotranspiración, entre otros” (Rojas, 2018). Es necesario reconocer que la información primaria necesaria para la caracterización hidrográfica fue generada con el empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG); “De entre todas estas tecnologías, los SIG han producido una importante revolución tecnológica disciplinar y, al mismo tiempo, han favorecido una innegable revolución intelectual” (Buzai y Ruiz, 2018). La caracterización permite generar un modelo analógico o conceptual de la cuenca, “Al respecto, son dos los tipos de modelos más frecuentemente utilizados: los modelos de tipos analógicos o conceptuales y los modelos físicos” (Fernández y Peña, 2017).

Métodos

El presente estudio fue realizado en las fechas comprendidas entre enero y junio del 2019, la extensión de 893 km² de Sucúa, se ubica en la orientación cardinal sur-este de la provincia de

Morona Santiago, lindera al con la ciudad Morona al norte, con Logroño y Santiago al sur, mientras que al este con Morona y al oeste con Cañar y Azuay. La metodología de esta investigación está basada en un análisis exploratorio, metódico, descriptivo, deductivo, exploratorio; y considera a la gestión del riesgo de Inundación como el objeto de estudio y cómo campo de acción la Caracterización Hidrográfica de la cuenca del cantón Sucúa.

Tipificación de la cuenca

En función de su morfología y situación del drenaje final, se considera que la cuenca hidrográfica en estudio cumple con las características de una Cuenca Exorreica; en vista a que su punto de salida está en los límites de la cuenca e intersecta a otra corriente. “Partimos de la idea de la cuenca como un sistema, una porción del universo, arbitrariamente delimitada, aunque siguiendo ciertos rasgos topográficos, en la que pueden identificarse relaciones mutuas entre sus elementos” (Musalem y Laino, 2014).

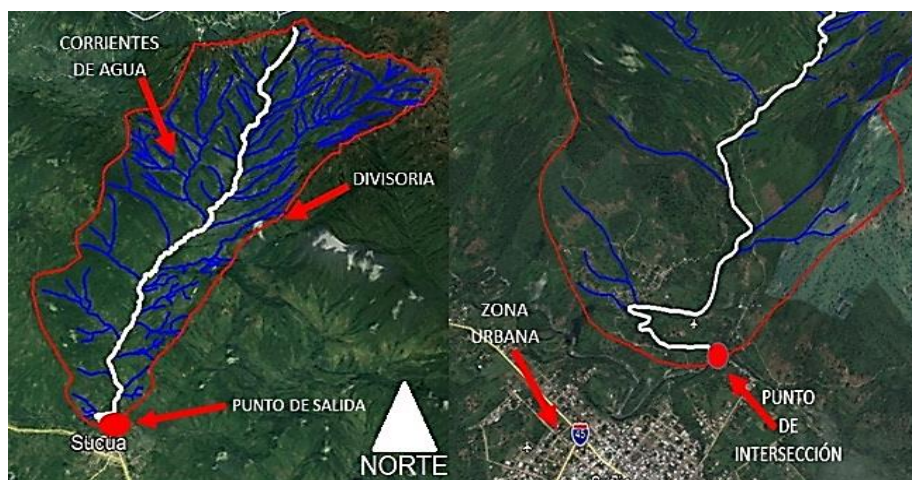


Figura 1: Cuenca Hidrográfica del cantón Sucúa. (Valero, 2022).

Divisoria

La divisoria es la delimitación también reconocida como parte agua, separa a una cuenca hidrográfica de otra vecina, enrumba las corrientes los distintos sistemas fluviales. “Las Cuencas hídricas se convierten en unidades territoriales y sus límites se definen naturalmente” (Tello & Tovar, 2017). La línea que intersecta el curso de agua en el punto de salida de la cuenca hidrográfica se la reconoce como divisoria. Además, se reconoce que esta se conforma de la unión de los puntos que presenta las mayores elevaciones habidas en el terreno, sin embargo, esto

no descarta la posibilidad de que exista dentro de esta delimitación un punto que presente una elevación mayor al de la divisoria, se acostumbra definir la cuenca de drenaje en base a la divisoria topográfica.

Los cursos de agua y su clasificación

Se clasifican como intermitentes, a razón de que su corriente se pronuncia en ocasiones y en ocasiones no de igual marea y mayoritadamente con influencia de las lluvias que ocurren por épocas. El nivel del agua subterránea se conserva por encima del nivel del lecho del río solo en la época lluviosa. En la estación seca no existe escurrimiento, a pesar que podría darse de manera repentina posterior al desarrollo de tormentas.

Área de la cuenca

La determinación de la superficie de la cuenca es posible con la ayuda de la línea divisoria, su cálculo es fundamental, en vista que por medio de aquella se puede definir el potencial de generación por escurrimiento superficial, toda vez que se multiplique por la precipitada lamina de lluvia, obteniendo de esta manera la cantidad o volumen de agua receptada. La proyección normal de la divisoria sobre un plano horizonte visual, permite determinar el área de la cuenca hidrográfica; el área de la cuenca en estudio es 288.85 km².

Ancho de la cuenca (b)

Se determina al dividir el área de la cuenca hidrografía para la longitud de la divisoria per se el perímetro de la cuenca:

$$b = \frac{\text{àrea}}{\text{perimetro}} \quad \text{Ec.1}$$

El perímetro de la cuenca en estudio se obtienes de la distancia en recorrido de la línea divisoria, al determinar el área perímetro de la cuenca hidrográfica en estudio, se logra calcular su ancho:

$$b = \frac{288.85 \text{ km}^2}{72.1 \text{ km}} \quad \text{Ec.2}$$

$$b = 4.01 \text{ km} \quad \text{Ec.3}$$

Perfil

El perfil es un corte longitudinal que, por lo general precisa del cauce principal de la cuenca hidrográfica, es empleado para posibilitar el análisis de los distintos relieves, depresiones y desniveles que experimenta al trazado del mismo sobre el terreno, en la Figura 2 se muestra el perfil longitudinal de la cuenca hidrográfica en estudio considerando el cauce principal.

Longitud del cauce principal

La longitud del cauce principal es determinada a consideración de la sinuosidad en recorrido o la linealidad del mismo. Esta característica es importante para definir el tiempo de concentración de la cuenca y por consiguiente el comportamiento o respuesta de la cuenca para tormentas; la longitud del cauce principal se podrá observar en la Figura 2.

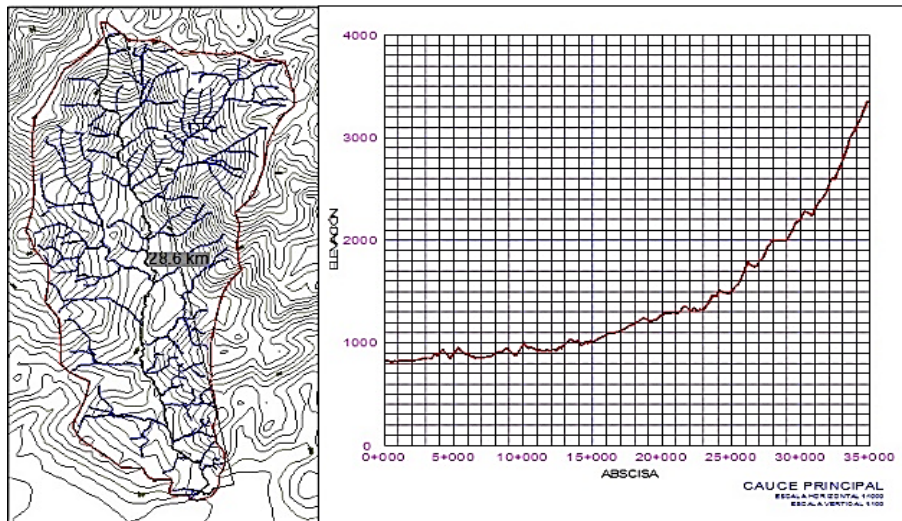


Figura 2: Cauce Principal. (Valero, 2022).

Se considera como información principal lo expuesto por: tipificación, delimitación por medio de la divisoria, clasificación de los cursos de agua, área, ancho, longitud y perfil longitudinal de la cuenca; tal es el motivo por el cual se ha descrito la obtención de sus magnitudes al detalle; sin embargo, a continuación, se presentará los datos generados a partir de la información principal de una forma puntual, es decir sin profundizar en detalles.

Gravelius índice o coeficiente de compacidad (K_c)

Expresa la relación entre el perímetro de longitud de la divisoria y la longitud de un círculo cuya área es igual al de la cuenca hidrográfica en análisis.

$$K_c = 1.200 \quad \text{Ec.4}$$

Factor de forma (K_f)

Es la relación entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca.

$$K_f = 0.35 \quad \text{Ec.5}$$

Relación de elongación (r_e)

Se define como la relación entre el diámetro de un círculo que posea la misma área de la cuenca y cuyo diámetro sea igual la longitud de la cuenca (elongación= es la forma más o menos alargada de la misma, independientemente de las formas redondeadas o lobuladas del perímetro).

$$R_e = 0.3 \quad \text{Ec.6}$$

Las corrientes de agua

Las corréineles de agua son representadas por medio de ramificaciones dadas por convergencias y bifurcaciones, que responde a un orden letárgico dado por el comportamiento propio de aquellas, como se muestra en la Figurara 4 a continuación:

Se estima por el método de Horton y refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de la cuenca, en la Figura 4 se podrá observar el orden de las corrientes:

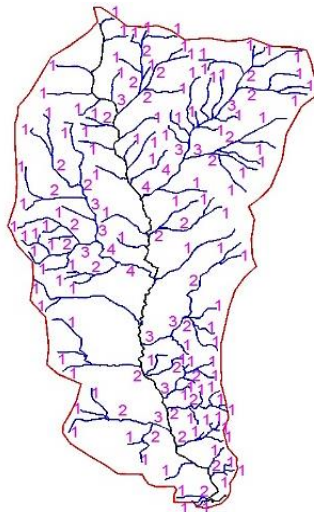


Figura 3: Orden de las Corrientes de Agua. (Valero, 2022).

El medo Horton jerarquiza a las corrientes por el número de orden y este es considerado por medio de las siguientes condiciones:

1. Orden 1: Causes sin tributarios característicos por la fuerza con la cual porta el agua vertiente de la divisoria.
2. Orden 2: Es la convergen a dos corrientes de orden 1.
3. Orden 3: Es la convergente a dos corrientes de orden 2.
4. Orden (n+1): Es la convergente a dos corrientes de orden n.

5. El orden de las corrientes aumenta solo cuando se unen dos corrientes del mismo orden, mientras que, si una corriente de orden menor se une a una de orden mayor, se conserva el orden de la mayor.

Torrencialidad o coeficiente de torrencialidad (C_t)

El índice de torrencialidad se mide lo repentino y abundante que es el caudal de las corrientes de agua dentro de la cuenca, lo cual es posible al relacionar la cantidad o número de corrientes de orden 1 para el área total de la cuenca, considerando que a mayor número de corrientes mayor será la torrencialidad que presente la cuenca.

$$C_t = 0.36 \quad \text{Ec.7}$$

Clasificación de tamaño de cuenca.

La cuenca del cantón Sucúa es clasificada según los parámetros de Campos Aranda, como intermedia-pequeña, esto también en función de su extensión de 288.95 km²

Densidad de drenaje (D_d)

La densidad de drenaje expresa la velocidad con la cual la cuenca drenaría el agua captada y se determina por medio de la relación dada entre la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua y el área de la cuenca.

$$D_d = 1.81 \text{ km/km}^2 \quad \text{Ec.8}$$

La escorrentía superficial y su extensión media (l)

La extensión media de la escorrentía a superficie, expresa la distancia promedio, en la cual el agua producto de las precipitaciones, recorre de manera superficial hasta incorporarse a la corriente o cauce de mayor proximidad.

$$l = 0.13 \text{ km} \quad \text{Ec.9}$$

Frecuencia de ríos

La frecuencia de ríos, es un indicador que expresa la cantidad o número de corrientes o causas promedio, que se presentan por cada kilómetro cuadrado dentro de la cuenca y se determina por medio de la relación dada entre la sumatoria de corrientes o causas de cualquier orden sean, con el área total de la cuenca.

$$F_R = 0.43 \quad \text{Ec.10}$$

Sinuosidad de las corrientes de agua

Es la relación entre la longitud “L” del río principal medido a lo largo de su cauce y la longitud del valle del río principal “ L_t ” medido en línea curva o recta.

$$S = 1.26 \quad \text{Ec.11}$$

Tiempo de concentración (T_c)

El tiempo de concentración hace referencia, a lo que tarda en llegar una gota de agua desde el punto más lejano y alto de la divisoria hasta la salida de la cuenca; es algo complejo de calcular debido a los diferentes escenarios que se pudieran presentar, así como también, a las distintas variables comprometidas en su determinación, sin embargo, el T_c de la cuenca del canto Sucúa fue determinado por medio de varias teorías:

$$T_c = 1.89 \text{ horas Scs-Ranser} \quad \text{Ec. 12}$$

$$T_c = 2.91 \text{ horas California Culvert Practice (1942)} \quad \text{Ec. 13}$$

$$T_c = 3.25 \text{ horas Kirpich (1942)} \quad \text{Ec. 14}$$

$$T_c = 3.84 \text{ horas Témez (1978)} \quad \text{Ec. 15}$$

$$T_c = 2.23 \text{ horas V.T Chow} \quad \text{Ec. 16}$$

Curva hipsométrica

Es una representación gráfica que caracteriza el relieve de la cuenca. Representa el estudio de la variación de elevación de los varios terrenos de la cuenca con referencia al nivel medio del mar, como se muestra en la figura 5.

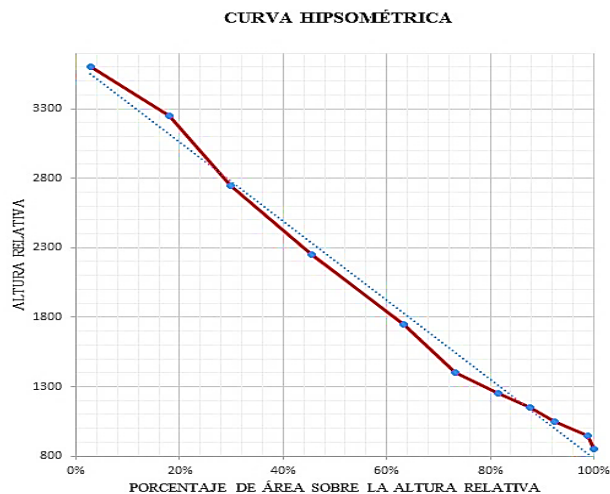


Figura 4: Curva Hipsométrica. (Valero, 2022).

Altura o elevación media (H_{media})

La altura o elevación media es considerada uno de los factores con mayor determinación en la promesa hídrica y del dinamismo del agua en el desarrollo de la cuenca. Además, en gran parte de aquella dependen, el desarrollo de distintos ecosistemas, también se la considera como la distancia vertical promedio, medida desde el nivel medio del mar.

$$H_{media} = 2018.9 \text{ m. s. n. m} \quad \text{Ec.17}$$

Pendiente media (S_{media})

La determinación de la pendiente media, es una de las tareas no sólo más laboriosas, sino también más importantes en la realización de cualquier estudio de caracterización de cuencas, pues está controla la velocidad con que se dará la escorrentía superficial en dicha cuenca.

$$S_{media} = 24.5 \% \quad \text{Ec.18}$$

Pendiente del cauce mayor o principal

La topografía de la cuenca, expresa la capacidad erosiva, la velocidad del flujo y el pronunciamiento de altas descargas, que en conjunto tendrían un comportamiento directamente proporcional a la magnitud de la pendiente del cauce mayor o principal de la cuenca; “La pendiente media del cauce principal, es uno de los indicadores más importantes en el análisis hidrográfico empleado para determinar el grado de respuesta de una cuenca a una tormenta determinada” (Torrero, 2014).

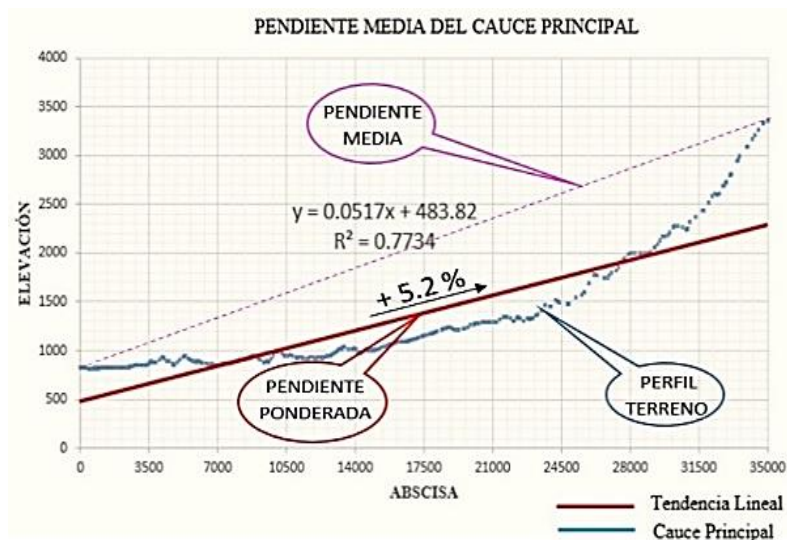


Figura 5: Pendiente del cauce principal. (Valero, 2022).

Precipitación Promedio (P)

Para determinar la precipitación promedio se usó información de los anuarios meteorológicos de Ecuador; de donde se reconoce 4 estaciones pluviométricas: M1040, M0497, M0501, M0217; como se muestra a continuación en la Figura 7. Previo análisis se decide trabajar con la data registrada en los años 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, como se muestra en la Tabla A1; es necesario recalcar que se generó información no registrada en los anuarios meteorológicos de Ecuador.

Figura 6: Precipitaciones anuales (mm)

Año	Estaciones meteorológicas			
	M0217	M0497	M0501	M1040
2006	3147.6	1865.5	2520.2	2511.1
2007	3458.8	2247.4	2762.7	2823.0
2008	3246.9	1981.4	1920.5	2382.9
2009	3693.6	1965.3	1751.2	2470.0
2010	2720.5	1942.7	1803.6	2155.6
2011	3077.4	1928.7	2414.7	3439.0
2012	3560.1	1986.0	2226.2	2836.2
2013	3371.9	1960.4	1945.0	3008.2
Promedio	3284.6	1984.7	2168.0	2703.3

Nota: Información recuperada de los anuarios meteorológicos de Ecuador. (Valero, 2022).

Con la información registrada en la Tabla A1, se aplicó el método Polígono de Thiessen y el método de las Isoyetas para el cálculo de la precipitación promedio, en las Figuras 8 y 9 se podrá observar características gráficas de los métodos mencionados. “Polígonos de Thiessen, indica la variabilidad de las variables meteorológicas con respecto a su media histórica” (Castillo y Ibañez, 2017).

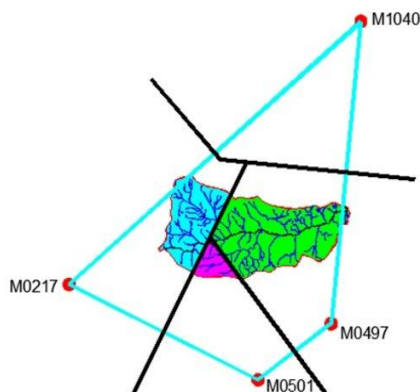


Figura 7: Polígono de Thissen. (Valero, 2022).

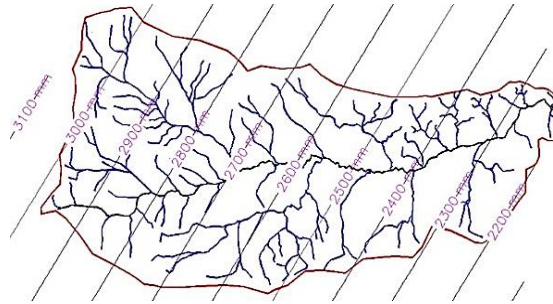


Figura 8: Método de las Isoyetas. (Valero, 2022).

Al aplicar el método Polígono de Thissen y el método de las Isoyetas tenemos:

Método Polígono de Thissen:

$$P = 2395.52 \text{ mm} \quad \text{Ec.19}$$

Método de Isoyetas

$$P = 2636.7 \text{ mm} \quad \text{Ec.20}$$

Caudal (Q)

Para determinar el caudal se emplea la ecuación del método racional modificado que se muestra a continuación:

$$Q = 0.278 \times C \times I \times A \times K \quad \text{Ec.21}$$

Dónde:

Q = Caudal (m³/sg)

C = Coeficiente de escorrentía (a)

I = Intensidad de lluvia (mm/h)

A = Área (km²)

K = Coeficiente de uniformidad (a)

$$C = 0.5 \quad \text{Ec.22}$$

$$I = 833 \text{ mm/h} \quad \text{Ec. 23}$$

$$A = 288.85 \text{ km}^2 \quad \text{Ec. 24}$$

$$K = 0.22 \quad \text{Ec. 25}$$

Al remplazar en Ec. 21 tenemos:

$$Q = 7356.6 \frac{m^3}{s} \quad \text{Ec.26}$$

Evapotranspiración (ETO)

En Ecuador se presentan dos épocas identificadas como invierno y verano; por lo que se decide analizar el mes de marzo como representativo de la época de invierno y el mes de agosto como representativo de la época de verano.

$$ET0 (\text{agosto}) = 4,61 \text{ mm/día} \quad \text{Ec.27}$$

$$ET0 (\text{marzo}) = 4,53 \text{ mm/día} \quad \text{Ec.28}$$

Definida la Evapotranspiración de los meses marzo y agosto, se calculó la evapotranspiración promedio anual.

$$ET0 = 1668 \text{ mm} \quad \text{Ec.29}$$

Escorrentía (E)

El agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada, escurre superficialmente en forma de escorrentía directa y escorrentía basal; para la determinación de la cuenca de estudio emplearemos una expresión matemática que relaciona el caudal y el área de drenaje.

$$E = \frac{31.356 \times Q}{A} \quad \text{Ec.30}$$

Al reemplazar Ec. 24 y Ec. 26 en Ec. 30 tenemos:

$$E = 799 \text{ mm} \quad \text{Ec.31}$$

Infiltración (INF)

En vista que la pendiente media del terreno en nuestra Cuenca es de 24.5%, la cobertura está dada por un pasto vegetación ligera y el tipo de suelo es semipermeable, se estima:

$$INF = 33 \text{ mm} \quad \text{Ec.32}$$

Balance hídrico

Del balance hidrológico, podemos conocer el estado de humedad de la cuenca la cual está asociado al aporte de precipitación, para su análisis se emplea la formula general Ec. 33. “En la práctica el balance hídrico determina la cantidad de agua superficial, que generalmente se presenta como escorrentía, es decir a la precipitación se la debe restar por procesos de infiltración, evapotranspiración, capacidad de almacenamiento del suelo, entre otros parámetros” (Yanqui y Montalvan, 2019).

$$P - ETO = E + INF \quad \text{Ec.33}$$

$$2500 \text{ mm} - 1668 \text{ mm} = 799 \text{ mm} + 33 \text{ mm}$$

$$832 \text{ mm} = 832 \text{ mm}$$

Resultados y Discusión

Se identificó a la cuenca hidrográfica como Cuenca Exorreica; de tal distinción se evidencia que el punto de salida e intercesión a un curso de agua indistinto a la cuenca en estudio, es una potencial amenaza; que en conjunto a la vulnerabilidad producto de la cercanía de la zona urbana como se observa en la Figura 1, amplifican el riesgo de inundación. El coeficiente de compacidad determinado en Ec. 4, nos indica que la forma de la cuenca es casi circular, a causa de esto las crecientes tendrán mayor coincidencia y por ende mayor probabilidad de inundación debido a la similitud de tiempos de concentración desde los distintos puntos en la cuenca.

El factor de forma obtenido en Ec. 5, nos indica que la cuenca es ligeramente Alargada, caracterización que nos permite deducir que las crecientes estarán dentro de un rango moderado en función de su intensidad; este no converge con lo expuesto por el coeficiente de compacidad, pero tampoco difumina el riesgo de inundación. La relación de elongación obtenida en Ec.6, nos permite reconocer que la forma de nuestra Cuenca hidrográfica en estudio es más alargada y menos circular, al igual que el factor de forma no difumina el riesgo de inundación que indica el coeficiente de compacidad. El coeficiente de torrencialidad presentado en Ec. 7, nos indica que la cuenca en estudio presenta una modera susceptibilidad a la erosión, sin embargo, esto no escatima la buena drenabilidad que nos muestra la densidad de drenaje presentada en Ec. 8; a razón de lo mencionado, la moderada susceptibilidad a la erosión podría pasar a un grado mayor, a causa de la alta drenabilidad que muestra la densidad de drenaje.



Figura 9: Zona de Riesgo

La extensión media de la escorrentía superficial presentada en Ec. 9, nos indica que es probable que se experimenten desborde del cauce y de crecientes en la cuenca, en vista de que el agua llegará rápidamente al cauce principal; esto en conjunto con la buena capacidad de drenaje que indica la frecuencia de ríos en Ec. 10; amplifican la magnitud del riesgo de inundación.

La sinuosidad del cauce principal expuesta en Ec. 11, nos indica que la velocidad de su escorrentía es moderada; sin embargo, los bajos tiempos de concentración presentados en Ec. 12, 13, 14, y 16; en conjunto con la fuerte pendiente media de la cuenca presentada en Ec. 18 y el estado de madurez que muestra la curva hipsométrica de la Figura 5; la velocidad de la escorrentía en el cauce principal podría perder el estado moderado, así como también lo sustenta la extensión media de la escorrentía en la cuenca.

Por otro lado, se identifica en la Tabla 1, que las precipitaciones anuales son altas y más aún en la estación pluviométrica M0217, que tiene como área de influencia la parte alta de la cuenca. Además, es necesario mencionar que durante la revisión realizada en los anuarios meteorológicos se observó que en todos los meses del año se registra precipitación, esto aplica el riesgo de inundación en vista de que la cuenca tiene un estado hídrico activo.

Conclusiones

1. Por medio de la caracterización hidrográfica realizada, su análisis y discusión, se logra visualizar las distintas alertas de riesgo de inundación, existente y con soporte en las teorías implementadas en la investigación, así como también, se distingue que tan

provecho es su aplicación, debido a los múltiples beneficios obtenidos en el reconocimiento del comportamiento y respuesta hídrica que presenta la cuenca del cantón Sucúa.

2. Se logra identificar la zona de riesgo dentro del cantón, por efecto de la cuenca a partir de los distintos parámetros analizados, reconociendo que en la formulación del riesgo de inundación el papel de la amenaza es interpretado por la alta drenabilidad de la cuenca y el papel de la vulnerabilidad es interpretado por la exposición y cercanía de la zona urbana de Sucúa, a la descarga de la cuenca, como se observó en la figura 10.
3. Se reconoce que en el sector de estudio se experimentan lluvias durante todo el año, esto con sustento en los registros pluviométricos de las citadas estaciones meteorológicas. Los mayores registros pluviométricos de precipitación media anual, corresponden las estaciones que tienen mayor incidencia con la zona alta de la cuenca, comportamiento que en conjunto con gran número de causas de orden 1, conformo una alta torrencialidad, aumentado de esta manera la magnitud de la amenaza en la formulación del riesgo de inundación.
4. Se logra demostrar la aplicabilidad de la caracterización hidrográfica y su influencia en la evaluación del riesgo de inundación, sin embargo, se deja abierta una puerta para la implementación de un estudio geofísico, que permita determinar el valor de infiltración que fue estimado en la presente investigación, esto como complemento permitirá tomar decisiones asertivas en la gestión del riesgo de inundación de Sucúa, Ecuador.

Referencias

1. Buzai, G., & Ruiz, E. (2018). Geotécnofera. Tecnologías de la Información Geográfica en el Contexto Global del Sistema del Mundo. Anekumene. Obtenido de <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/anezumene/article/view/7541>
2. Castillo, M., & Ibáñez, L. (2017). Análisis de sequías meteorológicas en la cuenca del río Fuerte, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(1). Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v8n1/2007-2422-tca-8-01-00035.pdf>
3. Chávez López, S., & Mendoza Albañez, A. (2016). Aspectos Geomorfológicos e Hidrográficos de la Cuenca San José del Cabo, Baja California Sur, México, como Factor de Riesgo a Inundaciones. *Áreas Naturales Protegidas Scripta*, 2(2). Obtenido de

<https://doi.org/10.18242/anpscripta.2016.02.02.02.0006>

4. Ercole, R., & Trujillo, M. (2015). Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgos en el Ecuador. Quito: EKSEPTION. Obtenido de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01191420>
5. Fajardo, C. L. V., Florencia, G. L. M., & Ávila, M. A. R. (2022). Adoquín vehicular de capacidad drenante con concha de manglar: un innovador material de construcción. *Polo del Conocimiento*, 7(7), 2128-2145. <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4337/10294>
6. Fernández, E., & Peña, F. (2017). Aplicación de un modelo hidrológico espacialmente distribuido en dos cuencas costeras de la Región de La Araucanía. *Estudios Geográficos*, 77(280). Obtenido de <http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeograficos/article/view/474/474>
7. Fernández, M., Borges, J., Meléndez, G., Mora, F., Mora, J., & Muñoz, C. (2011). Análisis de Gestión de Riesgo de Inundación en la ciudad de Santo Domingo de Heredia. *Costa Rica en el Tercer Milenio*, 1(1). Obtenido de http://www.academia.edu/download/46056258/GRD-Santo_Domingo.pdf
8. Franco, F. (2010). Respuestas y propuestas ante el riesgo de inundación de las ciudades colombianas. *Revista de Ingeniería*, 1(31). Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932010000100011&lng=pt&nrm=iso&tlng=es
9. González, P. (2016). Un paisaje rural con identidad minera en la comarca de la cuenca carbonífera del río turbio. Provincia de Santa Cruz, Patagonia Austral Argentina. *Dialnet*, 2(3). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5665952>
10. Musalem, K., & Laino, R. (2014). Manejo integral de cuencas hidrográficas (MICH): el enfoque utilizado en el proyecto FORDECyT Cuenca Grijalva. *ResearchGate*, 1(1). Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/268817805>
11. Paucar Camacho, J. (2016). *Modelo para la articulación de la Gestión del Riesgo en el proceso de Ordenamiento Territorial de la Ciudad de Guaranda, Ecuador* (Tesis Doctoral, Universidad de Valencia, Valencia). Obtenido de <http://hdl.handle.net/10550/54628>
12. Pinto, W. (9 de junio de 2019). Morona Santiago sufre estragos por inundaciones. Obtenido de El Universo: <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/06/06/nota/7363962/morona-santiago-sufre-estragos->

temporal

13. Rojas, I. (2018). Estrategia para estimar la contaminación difusa y su relación con los sistemas productivos de una cuenca hidrológica. (Tesis Doctoral, Centro de Investigación en Alimentación, Hermosillo). Obtenido de https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/645/1/Rojas%20Rodr%c3%adguez%20Isaac%20Shamir_DDR%202018.pdf
14. Tello, C., & Tovar, J. (2017). Contaminación en las cuencas hídricas de Tarqui-Huila. Fundación Universitaria Los Libertadores. Obtenido de <https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/1189/tellocarlos2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
15. Torrero, M. (2014). Delimitación de la Cuenca Hidrográfica del Río Tecka – Gualjaina, Chubut, Argentina. *Revista Geográfica de Valparaíso*, 1(49). Obtenido de http://www.pucv.cl/uuaa/site/artic/20180316/asocfile/20180316172735/49_4.pdf
16. Toulkeridis, T. (2015). Amenazas de origen natural y gestión de riesgo en el Ecuador (Vol. 1). (T. Toulkeridis, Ed.) Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10167>
17. Valero Fajardo, C. L. (2020). Análisis pestel basados en mapas de decisión difusos para la ordenación de factores de riesgo en la planificación territorial del cantón Vinces, Ecuador (Tesis de Maestría, Universidad de Guayaquil). Recuperado del repositorio UG. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/51206>
18. Yanqui, J., & Montalvan, O. (2019). *Incidencia del Balance Hídrico de la Cuenca del Río Olón en el Desarrollo de la Comunidad*. (Tesis de Grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Guayaquil). Recuperado del repositorio ULVR. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/3149/1/T-ULVR-2759.pdf>