



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**

Seréis mis testigos

MANABÍ

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE MANABÍ**

TEMA

**ESTIMACIÓN INDIRECTA DE CAUDALES PARA INUNDACIONES
REPENTINAS EN EL SECTOR CAÑITAS DEL CANTÓN SUCRE**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES

**PREVIO AL TÍTULO DE
INGENIERO HIDRÁULICO**

AUTOR

HORACIO LEONEL PALACIOS ANDRADE

TUTOR

ING. EDUARDO LUIS MIELES ESPINOZA, M.SC.

PORTOVIEJO, DICIEMBRE 2023

Certificación de la Tesis

Ing. Eduardo Luis Mieles Espinoza, M.Sc.

Tutor del plan de investigación curricular

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

Ing. Eduardo Luis Mieles Espinoza, M.Sc.

C.I. 1311854572

Aprobación del Tribunal

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí:

(F)_____

Ing. Eduardo Luis Mieles Espinoza, M.Sc.

Presidente del tribunal

(F)_____

Ing. José Ramon Alarcón, M.Sc.

Primer Lector

(F)_____

Ing. Jhon Enrique Félix Mera, M.Sc.

Segundo Lector

Declaración de Originalidad

Este manuscrito, no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en la información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

Autor:

F. _____
Horacio Leonel Palacios Andrade
Dirección: Portoviejo
E-mail: hpalacios9940@pucesm.edu.ec
Celular: 0979595050

Declaración de Derecho del Autor

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos, con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

Autor:

F. _____
Horacio Leonel Palacios Andrade
C.I. 1316199940

Agradecimiento y Dedicatoria

Agradezco primeramente a Dios quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante, a la Universidad por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera.

Así como también a los docentes que me brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Agradezco también a mi asesor d tesis el ING. Jimmy Reyes por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

Y para finalizar también agradezco a todos los que fueron mis compañeros de clase durante todos los niveles de Universidad ya q gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado en un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

Dedicó mi trabajo d tesis a Dios por ser mi padre celestial confidente y regalarme cada maravilloso día para cumplir cada una de mis metas.

De igual forma a mis padres que han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

Y sin dejar atrás a toda mi familia por confiar en mí, a mis abuelitos, tías, primas y amigos, gracias por ser parte d mi vida y por permitirme ser parte d su orgullo.

Resumen

Esta investigación cuantitativa tuvo como objetivo estimar de manera indirecta los caudales de crecida en el sector Cañitas, cantón Sucre, dada la importancia de estudiarlos para poder controlarlos. Por tanto, en este estudio exploratorio ejecutado entre abril y mayo de 2023, se recopilaron datos de campo correspondientes a las inundaciones repentinas en este sector obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) periodo 1993-2013, a partir de los cuales se generó la estimación del caudal con la ecuación de *Manning*. También se trabajó con dos metodologías, como base comparativa, correspondientes a la simulación hidrológica en el *software Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)* y el Hidrograma Unitario Triangular con un periodo de retorno de 5 años. Según los resultados, se observa un canal natural con un espejo de agua igual a 0,90 m y un ancho de 10,5 m durante una crecida repentina, lográndose estimar un caudal de 20,47 m³/s mediante el método de *Manning*. Con las metodologías comparativas se obtienen caudales de 21,50 m³/s con la simulación hidrológica y de 18,83 m³/s con el hidrograma unitario triangular. Además, los resultados determinan que los valores obtenidos están dentro del mismo rango de magnitud, pero al compararlos la simulación hidrológica indirecta difiere 1.03 m³/seg de la simulación hidrológica *Manning* y 2.67 m³/seg del hidrograma unitario triangular. En conclusión, la estimación indirecta de caudales conlleva incertidumbre considerando la sobreestimación o subestimación de sus variables. Se recomienda trabajar con la mayor cantidad de datos posibles de la zona investigada para poder reducirla.

Palabras clave: comparar, métodos, incertidumbre, caudal

Abstract

This quantitative research paper used indirect methods to estimate flash flood flows in *Cañitas* community, Canton of *Sucra*, given the importance of studying and controlling them effectively. Therefore, this exploratory research study was conducted from April through May 2023, so that field data on flash floods occurred in this area were collected from the National Institute for Meteorology and Hydrology (*INAMHI*, for its initials in Spanish) for the period 1993-2013, from which the flow rate was determined by using the Manning's equation. Also, two different methods were used as a comparative basis corresponding to the Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) and to the Triangular Unit Hydrograph method for a 5-year return period. As per the results, a natural channel with a water surface equivalent to 0.90 m and 10.5 m width is seen during a flash flood, estimating a flow rate of 20.47 m³/s using the Manning method. The findings from the comparative methods reveal flow rates corresponding to 21.50 m³/s by the hydrological simulation and to 18.83 m³/s by the triangular unit hydrograph. The results also point out that these values have the same order of magnitude, but when they are compared to one another, the indirect hydrological simulation differs 1.03 m³/sec from the Manning hydrological simulation and 2.67 m³/sec from the triangular unit hydrograph. In conclusion, indirect estimation of flows involves uncertainty considering the overestimation or underestimation of variables. Collecting as much data as possible from the area under study to reduce uncertainty is recommended.

Keywords: compare, methods, uncertainty, flow

Índice

Certificación de la Tesis	2
Aprobación del Tribunal.....	3
Declaración de Originalidad	4
Declaración de Derecho del Autor	5
Agradecimiento y Dedicatoria.....	6
Resumen	7
Abstract.....	8
Índice de Figuras	11
Índice de Tablas.....	12
Índice de Fórmulas	13
Introducción.....	14
Objetivos.....	16
Objetivo general	16
Objetivos específicos	16
Metodología.....	17
Tipo de investigación.....	17
Características de la zona.....	17
Ubicación Geográfica	18
Condiciones Climatológicas	18
Información empleada en la Construcción del Modelo.....	20
Métodos empleados	21

Caudal mediante el método de Manning	21
Caracterización de la Quebrada	24
Discusión	44
Conclusiones	46
Bibliografía	47
Anexos	52

Índice de Figuras

Figura 1: Localización de la quebrada Cañitas	17
Figura 2: Perfil longitudinal del canal durante un evento de crecida repentina.....	35
Figura 3: Quebrada Cañitas delimitada en HEC-HMS.....	37
Figura 4: Mapa de Número de Curva (CN).....	38
Figura 5: Hidrograma Unitario Triangular	42
Figura 6: Caudales de entrada con un periodo de retorno para 5 años	49
Figura 7: Caudales de entrada con un periodo de retorno para 10 años	49
Figura 8: Caudales de entrada con un periodo de retorno para 25 años	50
Figura 9: Caudales de entrada con un periodo de retorno para 500 años	50
Figura 10: Referencia de zona de inundación sector Cañitas	51
Figura 11: Referencia de zona de inundación sector Cañitas	51

Índice de Tablas

Tabla 1: Localización de la estación metereológica M0005, Portoviejo	18
Tabla 2: Precipitaciones máximas en 24 horas desde el año 1994 hasta el 2013	19
Tabla 3: Características de los archivos DEM empleados.....	20
Tabla 4: Grupos hidrológicos del suelo (SCS)	32
Tabla 5: Números de Curvas para zonas urbanas	32
Tabla 6: Datos del tránsito en el sector la Cañitas durante una crecida repentina	35
Tabla 7: Parámetros morfométricos de la quebrada Cañitas	36
Tabla 8: Parámetros morfométricos de la quebrada Cañitas	37
Tabla 9: Parámetros del curso de agua	38
Tabla 10: Número de curva para cada sub quebrada	39
Tabla 11: Caudales máximos para la sub quebraras Cañitas para cada periodo de retorno	40
Tabla 12: Comparación de caudales de tránsito durante una crecida repentina	40

Índice de Fórmulas

Fórmula 1: Media estadística.....	21
Fórmula 2 Velocidad mediante el flotador	22
Fórmula 3: Área mojada sección rectangular	22
Fórmula 4: Perímetro mojado sección Rectangular.....	23
Fórmula 5: Radio hidráulico	23
Fórmula 6: Radio hidráulico	23
Fórmula 7: Caudal mediante Manning	24
Fórmula 8: Media estadística.....	26
Fórmula 9: Desviación estándar	26
Fórmula 10: Moda estadística.....	27
Fórmula 11: Característica estadística	27
Fórmula 12: <i>Ponderación estadística</i>	27
Fórmula 13: Altura de lluvia máxima diaria.....	28
Fórmula 14: Lluvia máxima horaria	28
Fórmula 15: Analítica para construir la ecuación de intensidad	29
Fórmula 16: Modelo de regresión múltiple	29
Fórmula 17: Tiempo de concentración mediante Kirpich	30
Fórmula 18: Modelo Muskingum Cunge	30
Fórmula 19: Número de escurrimiento	31
Fórmula 10: Caudal Pico	34

Introducción

Las inundaciones son uno de los riesgos naturales más comunes y destructivos del planeta, ya que hay pocos lugares donde el exceso de agua no sea un problema, debido a que cualquier zona donde llueva constantemente por un periodo extendido de tiempo es vulnerable a ser inundada (Núñez, 2018); pudiendo desencadenarse debido a factores naturales como las tormentas tropicales, los tsunamis, fenómenos macro climáticos de gran escala como el ENSO (El Niño Oscilación del Sur), siendo principalmente El Niño y La Niña lluvias torrenciales generadas por la variedad climática local (Pabón y Montealegre, 2017).

En el campo de la hidráulica se estima con frecuencia el caudal, es decir, la cantidad de fluido que transita a través de un conducto en una unidad de tiempo, empleando para ello la ecuación de Manning que considera parámetros del canal como el área, el perímetro mojado, el radio hidráulico y la pendiente, los cuales pueden ser fácilmente medidos; sin embargo, existe un coeficiente conocido como n de Manning que no es tan sencillo de determinar, mismo que refleja la cantidad de resistencia dinámica al flujo (Fernández *et al.*, 2018).

Pudiéndose distinguir en los cauces naturales un cauce principal responsable de transportar el agua durante periodos bajos y medios hacia las llanuras de inundación, evacuando el flujo de agua durante periodos de crecidas máximas, poseyendo elementos diferentes en cuanto a materiales, vegetación, irregularidades y obstáculos, lo que afecta la resistencia al flujo y la n de Manning, por lo que se requiere mayor atención para su estimación, ya que el caudal que circula por el cauce se ve influenciado por el coeficiente de rugosidad, debido a que tiende a disminuir a medida que el nivel de agua aumenta en el cauce (Hidalgo, 2011).

La n de Manning es un coeficiente que representa la resistencia dinámica del cauce, donde esta es nula cuando no hay flujo, pero aumenta a medida que el cauce incrementa y los niveles crecen, con diferentes magnitudes dependiendo del valor de la n . En el caso de grandes avenidas, donde la velocidad del agua es alta y el flujo puede alcanzar las llanuras de inundación, es crucial estimar correctamente la n de Manning, debido a que la estimación decadente de este parámetro puede conllevar a equivocadas velocidades y caudales, representando un riesgo significativo para la población y las propiedades de la zona (Fernández *et al.*, 2018).

Para ello es necesario considerar toda la sección del cauce, incluyendo las llanuras de inundación y la vegetación o irregularidades que puedan existir en ellas, donde si el caudal es tan grande que alcanza las llanuras de inundación y la vegetación es considerable, la n de Manning puede aumentar; por lo que es indispensable analizar el efecto del nivel o caudal en conjunto con toda la sección compuesta del cauce.

En la provincia de Manabí existe un manejo inadecuado de las inundaciones, debido a que no se toman las medidas preventivas pertinentes, y las medidas correctivas llegan muy tarde, afectando principalmente a los moradores del sector Cañitas que son propensos a inundarse de manera repentina (Caicedo, 2021). Ante ello el objetivo de este estudio es examinar la variabilidad de la n de Manning utilizando algunos de los métodos empíricos usuales en la zona, considerando una base de datos de velocidades registradas hasta el momento en un tramo del sector, con el propósito de aplicar el método que se basa en la suposición de una distribución logarítmica de velocidades para calcular la n (León y Martínez, 2013).

Objetivos

Objetivo general

Estimar de forma indirecta los caudales para inundaciones repentinas en el sector Cañitas del Cantón Sucre utilizando métodos hidráulicos e hidrológicos.

Objetivos específicos

Recopilar información de campo sobre secciones transversales del cauce principal de la cuenca para la obtención de áreas, pendientes longitudinales y trasversales, y niveles de agua máximos registrados en recursos multimedia como videos y fotografías de las inundaciones.

Analizar velocidades y caudales mediante las ecuaciones de Manning, Bernoulli y Método del flotador basándonos en la información de campo y fuentes fotográficas y de video.

Contrastar los caudales de los métodos indirectos hidráulicos versus los caudales obtenidos aplicando métodos hidrológicos.

Metodología

Tipo de investigación

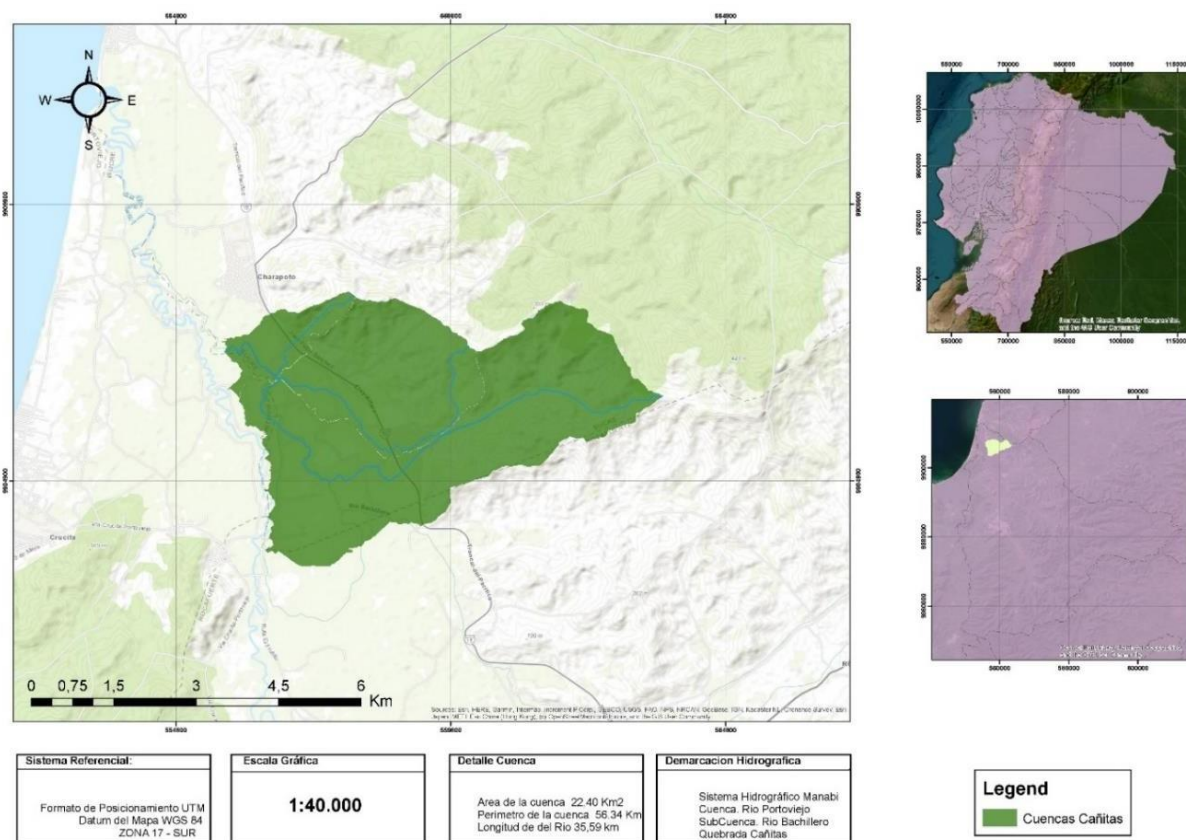
La investigación desarrollada fue de tipo mixta.

Características de la zona

La zona de estudio fue la Quebrada Cañitas, perteneciente al cantón Sucre de la provincia Manabí (ver figura 1), teniendo lugar desde abril a junio del 2023.

Figura 1

Localización de la quebrada Cañitas.



Fuente: Castro (2023)

Ubicación Geográfica

Datum: WGS 1984 UTM zona 17 S.

Coordenada Este (X): 559800.

Coordenada Sur (Y): 9904900.

Condiciones Climatológicas

Las condiciones climatológicas nacen de la interacción entre factores meteorológicos, astronómicos y geográficos, vinculados con los procesos ecológicos, socio productivos y económicos del mundo (Aguirres *et al.*, 2015); donde se considera la insolación, la temperatura del aire, la presión atmosférica, la velocidad del viento, la precipitación y la humedad.

En el desarrollo de la investigación, los datos de precipitación fueron esenciales para conocer el caudal que se puede acumular y escurrir por la quebrada Cañitas, optándose por trabajar con datos de precipitaciones máximas en 24 horas desde el año 1994 hasta el 2013, obtenidos desde el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], mediante la estación meteorológica M0005 cercana al lugar de estudio.

Tabla 1

Localización de la estación metereológica M0005, Portoviejo.

Código	Nombre	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)
M0005	Portoviejo	560128	9885310

Vinculando los datos de intensidad de lluvia con los de precipitaciones máximas en 24 horas, fue posible conocer la intensidad que generó el máximo evento de precipitación.

Tabla 2

Precipitaciones máximas en 24 horas desde el año 1994 hasta el 2013.

Año	Precipitación (mm) Máxima 24 horas
1994	66,5
1995	60,1
1996	40,8
1997	131,1
1998	86,7
1999	69,4
2000	41,3
2001	147,9
2002	50,8
2003	38,4
2004	57,9
2005	79,7
2006	56,7
2007	0
2008	53,3
2009	0
2010	0
2011	0
2012	0
2013	107,6

Fuente: INAMHI, 2023.

Información empleada en la Construcción del Modelo

En Ecuador, dos entidades ofrecen Modelos de Elevación Digital (DEM) mediante sus geos portales, el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Instituto Geográfico Militar (IGM); adicionalmente, es posible obtener Modelos de Elevación Digital en el sitio web de la NASA, con un tamaño mínimo de píxel de 10 metros por 10 metros (Vásquez, 2023).

Tabla 3

Características de los archivos DEM empleados.

Insumo	Institución	Resolución/Escala	Año
DEM Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)	SIGTIERRRAS	10x10 m	2016
Mapa de Textura de Suelos del Ecuador	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP)	1:60 000	2020
Mapa de Cobertura y uso de la tierra en el Ecuador continental	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP)	1:60 000	2020
Cartografía Base	Instituto Geográfico Militar (IGM)	1:60 0000	2020

Métodos empleados

Con el propósito de identificar los sitios más idóneos para la ubicación de los atenuadores de escorrentía, se realizó un cruce de mapas de la Quebrada Cañitas. Este proceso fue llevado a cabo utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta de apoyo (Castro, 2023). Posteriormente, se ejecutó una simulación hidrológica utilizando el software HEC-HMS, a través de un modelo semi distribuido.

Caudal mediante el método de Manning

Para calcular el caudal de un canal abierto utilizando la fórmula de Manning, en primer lugar, se procedió a evaluar la velocidad del agua mediante videos capturados tras las inundaciones en el sector Cañitas. Esta estimación se basó en el análisis de la variación de la velocidad en presencia de obstáculos, así como en la distancia recorrida por elementos como desechos o escombros en un intervalo de tiempo determinado, siguiendo el enfoque propuesto por Lumbroso y Gaume (2012).

Velocidad mediante Bernoulli.

$$v = \sqrt{2g * \Delta Z} * C$$

Fórmula 1. Velocidad mediante Bernoulli.

Donde:

V = Velocidad (m/seg).

g = Gravedad (m/s²).

ΔZ = Diferencia de altura.

C = Factor de corrección (0,79).

Velocidad mediante el Flotador.

$$V = \frac{e}{t} * C$$

Fórmula 2. Velocidad mediante el flotador.

Donde:

V = Velocidad (m/seg).

e = Espacio (m).

t = Tiempo (seg).

C = Factor de corrección (0,79).

Tras localizar la ubicación del video de referencia utilizado en el cálculo de las velocidades, se llevó a cabo un trabajo de campo para realizar mediciones detalladas de las características del canal. Esto implicó la determinación de su profundidad, anchura, pendiente y la evaluación de las condiciones específicas de la zona. Estas mediciones se utilizaron para estimar parámetros clave como el área mojada, el perímetro mojado, el radio hidráulico, el número de Froude y el coeficiente de fricción (n), empleando las fórmulas mencionadas en el estudio de Chow (1994).

Área Mojada.

$$Am = b * h$$

Fórmula 3. Área mojada sección rectangular.

Donde:

Am = Área mojada (m²).

b = Base (m).

h = Altura (m).

Perímetro Mojado.

$$\mathbf{Pm} = b + 2 * h$$

Fórmula 4. Perímetro mojado sección Rectangular.

Donde:

Pm = Perímetro mojado (m).

b = Base (m).

h = Altura (m).

Radio Hidráulico.

$$\mathbf{Rh} = \frac{Am}{Pm}$$

Fórmula 5. Radio hidráulico.

Donde:

Rh = Radio hidráulico (m).

Am = Área mojada (m²).

Pm = Perímetro mojado (m).

Número de Froude.

$$\mathbf{F} = \frac{v}{\sqrt{g * L}}$$

Fórmula 6. Radio hidráulico.

Donde:

F = Número de Froude.

v = Velocidad (m/seg).

g = Gravedad (m/s²).

L = Tirante hidráulico (m).

Caudal mediante Manning.

$$Q = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Fórmula 7. Caudal mediante Manning.

Donde:

Q = Caudal (m³/s) .

n = Coeficiente de rugosidad (ver tabla 2).

R = Radio hidráulico (m).

S = Pendiente longitudinal (m/m).

Caracterización de la Quebrada

La Quebrada del Río Cañitas forma parte del sistema de drenaje de la cuenca hidrográfica del Río Portoviejo (Castro, 2023), en donde se determinaron los aspectos morfométricos de la quebrada utilizando el software HEC-HMS. Para esto, se tomó en cuenta un umbral de 20 km² a partir del punto de aforo.

Área de la Quebrada.

Es el área que señala el límite entre las aguas divisorias, y se calcula en términos de superficie sobre su proyección horizontal, expresada en kilómetros cuadrados (km²) (Sociedad Geográfica de Lima, 2011).

Perímetro de la Quebrada.

Es la distancia que abarca la divisoria de aguas, medida en términos de su proyección horizontal y expresada en kilómetros (km) (Williams y Ettore, 2006).

Longitud del Cauce.

Es la separación que existe entre la desembocadura de la quebrada y el punto más lejano de la divisoria de aguas, por lo general se cuantifica en kilómetros (km) (Ibáñez *et al.*, 2011).

Desnivel Altitudinal.

Es la diferencia entre la altitud más baja y más alta de la quebrada, medido en metros (m) (Sellers *et al.*, 2017).

Pendiente Media.

Indica la rugosidad del terreno en forma de porcentaje y actúa como una medida comparativa entre diferentes cuencas y puede expresarse en metros por metro (m/m) (Ibáñez *et al.*, 2011). Para su determinación, se empleó un Modelo Digital de Elevación (DEM).

Tormenta de Diseño.

Para convertir los registros de precipitaciones intensas en un período de 24 horas a intensidades, se utilizó la información de la estación meteorológica M0005 Portoviejo del

INAMHI. Se aplicó un análisis estadístico descriptivo para establecer las curvas IDF y calcular el tiempo de concentración, como se detalla en los pasos a continuación:

Tratamiento estadístico.

Se emplearon las fórmulas descritas por Chúa (2017):

Media estadística.

$$\bar{x} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N}$$

Fórmula 8. Media estadística.

Donde:

\bar{x} = Media estadística.

X_1, X_2, X_N = Conjunto de observaciones.

N = Número de observaciones.

Desviación estándar.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Fórmula 9. Desviación estándar.

Donde:

σ = Desviación estándar.

N = Número de observaciones.

x_i = Observación número i de la variable x .

\bar{x} = Media.

Moda Estadística.

$$\mathbf{Mo} = L_{i-a} + a * \frac{D_1}{D_1 + D_2}$$

Fórmula 10. Moda estadística.

Donde:

Mo = Moda.

L_{i-1} = Límite inferior de intervalo modal.

a = Amplitud de los intervalos.

D₁ = Diferencia de frecuencia absoluta entre intervalo modal y el anterior.

D₂ = Diferencia de frecuencia absoluta entre intervalo modal y el siguiente.

Característica Estadística.

$$\mathbf{Kd} = \frac{\sigma}{0,55721 * Mo}$$

Fórmula 11. Característica estadística.

Donde:

Kd = Característica estadística.

σ = Desviación estándar.

Mo = Moda.

Ponderación Estadística.

$$\mathbf{P} = \frac{X_1 * P_1 + X_2 * P_2 + \dots + X_n * P_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n}$$

Fórmula 12. Ponderación estadística.

Donde:

P = Ponderación estadística.

X₁, X₂, X_n = Conjunto de datos.

P₁, P₂, P_n = Número de datos.

Altura de Lluvia Máxima Diaria.

$$h_{dt} = Ed_p * (1 + kd_p * \log T)$$

Fórmula 13. *Altura de lluvia máxima diaria.*

Donde:

h_{dt}= Altura máxima diaria (mm).

Ed_p= Moda ponderada.

kd_p= Característica ponderada.

Lluvias Máximas Horarias.

$$h_{Tt} = Ed_p * \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta * (1 + Kdp * \log T)$$

Fórmula 14. *Lluvia máxima horaria.*

Donde:

h_{Tt}= Lluvia máxima horaria (mm).

Ed_p= Moda ponderada.

t = Tiempo de duración de la lluvia (horas).

α = Equivalente de lluvia diaria dependiente de la magnitud de la cuenca.

β = Constante que se adopta generalmente en 0.2.

kd_p= Característica ponderada.

T = Periodo de retorno (años).

Curvas de Intensidad Duración Frecuencia (IDF).

Las gráficas de Intensidad Duración Frecuencia ilustran la cantidad de lluvia que se presenta en un intervalo y frecuencia específicos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017), pudiéndose calcular con las fórmulas detalladas a continuación.

$$I = \frac{k * T^m}{D^n}$$

Fórmula 15. Analítica para construir la ecuación de intensidad.

Donde:

I = Intensidad de precipitación (mm/h).

k, m y n = Constantes calculadas mediante una regresión lineal múltiple.

T = Periodo de retorno en años.

D = Duración en horas o minutos.

Se utilizan los siguientes logaritmos para obtener un modelo de regresión múltiple.

$$\log I = \log k + m \log T - n \log D$$

Fórmula 16. Modelo de regresión múltiple.

Tiempo de concentración.

Es esencial contemplar la duración hipotética de la lluvia durante una tormenta. El tiempo de concentración refleja el intervalo que una gota de agua requiere para viajar desde el momento en que cae en las áreas de gran altitud hasta su desembocadura en la quebrada (Vélez y Botero, 2010). Este valor puede calcularse mediante la fórmula desarrollada por Kirpich.

$$t_c = 0,02 * L^{0,77} * S^{0,385}$$

Fórmula 17. Tiempo de concentración mediante Kirpich.

Donde:

tc = Tiempo de concentración (minutos).

L = Longitud máxima a la salida (m).

S = Pendiente media del lecho (m/m).

En el transcurso de la investigación, se tomó en cuenta que el tiempo de concentración será equivalente a la duración de la tormenta hipotética.

Modelación Hidrológica

Se optó por realizar una simulación hidrológica de la Quebrada Cañitas utilizando el software HEC-HMS. Para el análisis del tránsito de avenidas, se empleó la metodología basada en el modelo Muskingum Cunge.

Modelo Muskingum Cunge.

Es un método hidráulico que utiliza los parámetros geométricos del canal, teniendo en cuenta la pendiente y la configuración de la sección transversal. De acuerdo con este método, las ondas de las inundaciones que se desplazan a lo largo de un río disminuyen debido a la resistencia generada por la fricción entre el lecho del río y su base (Martínez, 2016).

$$k = \frac{\Delta x}{c} \quad X = \frac{1}{2} * \left(1 - \frac{Q}{B * S_0 * X * \Delta x} \right)$$

Fórmula 18. Modelo Muskingum Cunge.

Donde:

Δx = Longitud del tramo del cauce considerando (m).

c = Celeridad, velocidad (m/s).

m = Cerca de $5/3$ para cauces naturales amplios.

S_0 = Pendiente media del cauce (adimensional).

Q = Caudal (m^3/s).

B = Anchura del cauce (m).

Número de Esguerrimiento.

Esta metodología calcula la posible esgurrería al evaluar las propiedades físicas de la quebrada, teniendo en cuenta factores como la densidad, el tipo y el manejo de la cobertura del suelo y su clasificación hidrológica (Chiarito *et al.*, 2018). Para realizar este cálculo, se utilizó la siguiente fórmula empírica:

$$S = \frac{25400 - 254 * CN}{CN}$$

Fórmula 19. Número de esgurrimiento.

Donde:

S = Potencial de máxima retención.

CN = Número de curvas adimensional.

La clasificación del suelo en términos hidrológicos se divide en cuatro grupos, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4*Grupos hidrológicos del suelo (SCS).*

Grupo hidrológico del suelo	Infiltración cuando están muy húmedos	Características	Textura
A	Rápida	Alta capacidad de infiltración > 76 mm/h	Arenosa; Arenosa-limosa; Franca
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h	Franco-arcillosa; Franco-arcillosa-limosa; Arcillo-arenosa
D	Muy Lenta	Capacidad de infiltración < 13 mm/h	Arcillosa

Fuente: Espinales et al., 2021.

En la siguiente tabla se muestra el Número de Curva para las diferentes zonas urbanas publicadas por el Servicio de Conservación del Suelo (SCS) y el Natural Resources Conservation Service (NRCS).

Tabla 5*Números de Curvas para zonas urbanas*

Descripción del Uso			Grupo Hidrológico del Suelo			
Uso del Suelo	Promedio área impermeable	Condición Hidrológica	A	B	C	D
Áreas urbanas completamente desarrolladas		Pobre	68	79	86	89
		Media	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
Áreas Impermeables						
Aparcamientos, azoteas, carreteras			98	98	98	98
Calles y Carreteras						
Pavimentadas; cunetas y red de saneamiento			98	98	98	98
Pavimentadas; cunetas abiertas			83	89	92	93
Grava			76	85	89	91
Sucias			72	82	87	89

Zonas ajardinadas xerofitas					
Zonas naturales (solo permeables)		63	77	85	88
Zonas ajardinadas (incluidas zonas impermeables)		96	96	96	96
Zonas Urbanas					
Centros comerciales y de negocios	85%	89	92	94	95
Industrial	72%	81	88	91	93
Zonas residenciales					
0.05ha o menos (2 casas)	65%	77	85	90	92
0.10 ha	38%	61	75	83	87
0.13 ha	30%	57	72	81	86
0.20 ha	25%	54	70	80	85
0.40 ha	30%	51	68	79	84
0.81 ha	12%	46	65	77	82
Áreas Urbanas en desarrollo					
Explicaciones (zonas permeables, sin vegetación)		77	86	91	94

Estimación de caudales de máxima crecida - Hidrograma Unitario Triangular

(Aparicio, 1992), desarrolló un hidrograma unitario sintético de forma triangular. Es uno de los hidrogramas más fáciles de determinar por su forma que presenta, el mismo que no representa la forma de un hidrograma original, pero es de utilidad para determinar los parámetros principales de un hidrograma y con estos parámetros y utilizando el hidrograma adimensional se puede llegar a representar la forma original del hidrograma para una cuenca.

Tiempo de retraso

Se refiere al lapso desde el punto medio de la duración real de la lluvia que excede la tormenta, o la cantidad neta de ella, hasta alcanzar el momento pico (t_p) del hidrograma

$$T_r = 0.6 t_c$$

Duración en exceso

Se trata del período en el que la lluvia, ya sea la efectiva o en exceso, persiste hasta llegar al momento en que se registra el flujo máximo o el caudal pico.

$$de = 2 \sqrt{tc}$$

Tiempo pico (tp)

Es el tiempo que transcurre desde que principia el escurrimiento directo hasta presentarse el caudal pico

$$tp = \frac{de}{2} + tr$$

Caudal pico (Qp)

Es el caudal máximo observado en el hidrograma de escurrimiento

$$Qp = 0.208 * Ac * Pe / tp$$

Fórmula 20. Caudal Pico

Donde:

Qp = Caudal pico, (m³ /s).

Ac = Superficie de la cuenca, (km²).

tp = Tiempo pico, (h).

Pe = Precipitación (mm.)

Respuesta lluvia escorrentía.

La relación entre la lluvia y la escorrentía en una cuenca es un indicador clave que nos permite determinar el caudal generado en respuesta a las precipitaciones, permitiendo discernir entre el volumen de lluvia caído y la porción que se convierte en flujo superficial. Para llevar a cabo este análisis hidrológico, se utilizó un enfoque basado en el desarrollo de un hidrograma de diseño, que consideró tanto las condiciones de lluvia como los procesos de escorrentía. Esta evaluación se realizó mediante la aplicación del software HEC-HMS, el cual integró datos morfométricos de la cuenca y mediciones realizadas in situ, siguiendo la metodología detallada por (Martínez y Coello, 2015).

Intensidad de precipitación.

Para determinar la intensidad de las precipitaciones pluviales, se empleó la metodología desarrollada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en su estudio sobre lluvias intensas en el contexto de Ecuador. Este enfoque implicó la caracterización de 35 áreas con condiciones hidrológicas similares en el país, y la formulación de ecuaciones de intensidad correspondientes a diferentes períodos de retorno, tomando en cuenta la duración de las lluvias (INAMHI 1999).

Resultados

Caudal de tránsito mediante un video durante una crecida repentina de la quebrada ubicada en el sector cañitas.

Se dedujo el caudal de tránsito en el sector la Cañitas de la cuenca hidrográfica de Portoviejo mediante un video tomado durante una inundación, presentando en la tabla 6 los datos levantados in situ.

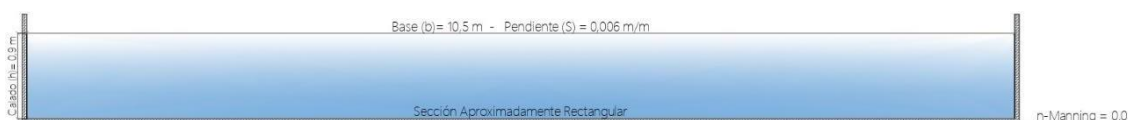
Tabla 6

Datos del tránsito en el sector la Cañitas durante una crecida repentina.

Sección	Aproximadamente rectangular
Calado (h)	0,90 m
Base (b)	10,50 m
Pendiente (s)	0,006
n – Manning	0,03

Figura 2

Perfil longitudinal del canal durante un evento de crecida repentina.



Se visualizó en el video que un objeto flotante recorre 12 metros en 3,5 segundos, y en un poste de alumbrado público se observa una máxima elevación de 40 cm, presentando los resultados hidráulicos del río considerando su velocidad y el caudal de tránsito en la tabla 7.

Tabla 7*Parámetros hidráulicos, velocidades y caudal de tránsito en el sector la Cañitas*

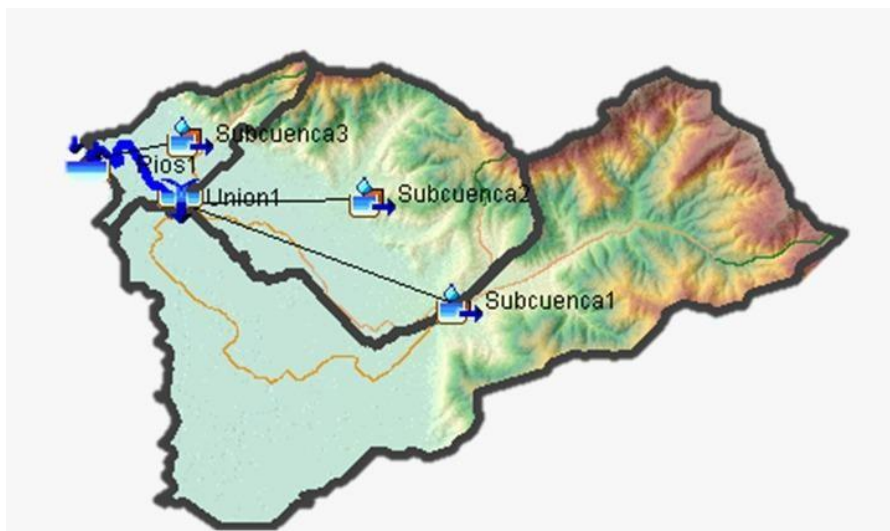
Parámetros	Resultados
Área mojada	9,45 m ²
Perímetro mojado	12,30 m
Tirante hidráulico	10,50 m
Radio hidráulico.	0,768 m
Velocidad mediante Bernoulli	2,21 m/s
Velocidad mediante el Flotador	2,71 m/s
Velocidad Promedio	2,46 m/s
Número de Froude	0,83
Tipo de flujo	Subcritico
Caudal de Diseño	20,47
	m ³ /s

Caudales de Diseño mediante una Simulación Hidrológica

Se delimitó la quebrada Cañitas, obteniendo 3 subquebradas, 1 unión y 1 curso de agua.

Figura 3

Quebrada Cañitas delimitada en HEC-HMS



Se calcularon los parámetros morfométricos de la quebrada (ver tabla 8) y del curso de agua donde nace el tránsito de avenidas (ver tabla 9).

Tabla 8

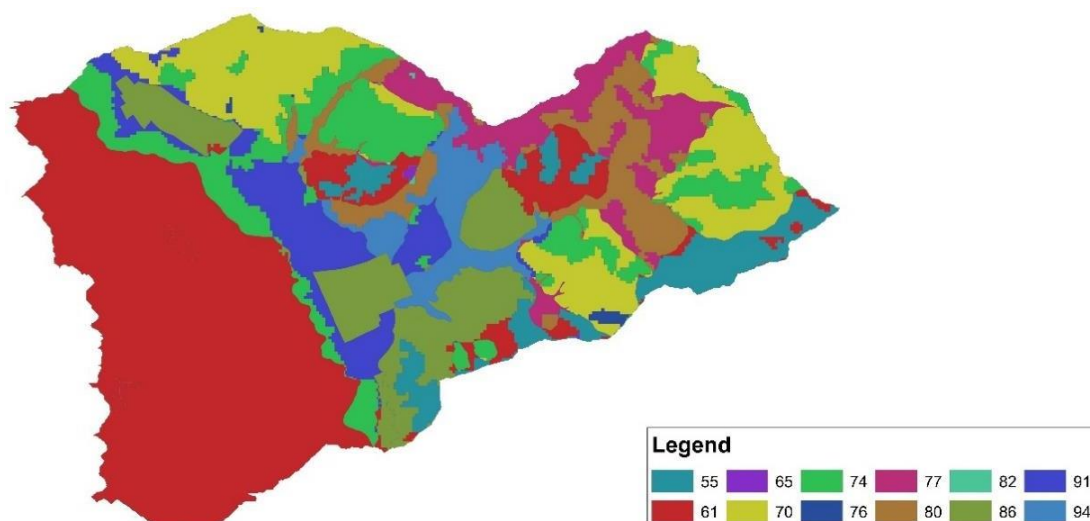
Parámetros morfométricos de la quebrada Cañitas.

Sub quebradas N°	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud del curso de agua (km)	Pendiente del curso de agua (m/m)
1	14,41	32,99	10,88	0,1867
2	6,75	14,58	6,22	0,2002
3	1,80	10,54	4,01	0,1737

Tabla 9*Parámetros del curso de agua.*

Curso de agua	Longitud (km)	Pendiente (m/m)
1	1,65	0,00182

Se utilizó información cartográfica que incluye mapas de pendiente de grupos hidrológicos, los cuales fueron obtenidos del mapa de textura del suelo proporcionado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). Esto se basó en la relación existente entre la textura del suelo y los grupos hidrológicos. Estos mapas, que representan el uso del suelo, los grupos hidrológicos y las pendientes, se superpusieron y analizaron en conjunto para generar un mapa del número de curva (CN)

Figura 4*Mapa de Número de Curva (CN).*

Para convertir la lluvia a escorrentía se utilizó el Hidrograma Unitario del Servicio de Conservación del Suelo (SCS), otorgándole un número de curva a cada sub quebrada (tabla 10).

Tabla 10

Número de curva para cada sub quebrada.

Sub quebrada	Número de Curva (CN)
1	68,26
2	76,75
3	70,92

El tiempo de concentración en la quebrada Cañitas fue de 202 minutos, considerando que es idéntica a la duración hipotética de la tormenta, se trabajó con una duración de 202 minutos para la modelación hidrológica.

Se usaron los datos de precipitación máxima en 24 horas tomados desde la estación meteorológica Portoviejo con rangos entre los 38,4 mm y los 147,9 mm, generando tormentas con periodos de retorno de 5,10,25 y 100 años (en anexos ver los hietogramas).

Teniendo los datos base de entrada: número de curva, tiempo de retardo, precipitación y tránsito para cada sub quebrada, se generó mediante el software HEC-HMS una modelación hidrológica para cada periodo de retorno, obteniendo los siguientes valores de caudales: 21,5 m³/seg para un periodo de retorno de 5 años, 34,4 m³/seg para un periodo de retorno de 10 años, 59,5 m³/seg para un periodo de retorno de 25 años y 121,6 m³/seg para un periodo de retorno de 100 años (ver tabla 11).

Tabla 11

Caudales máximos para la sub quebraras Cañitas para cada periodo de retorno.

Periodo de retorno (Tr)	Caudal (m³/seg)
5 años	21,50
10 años	34,40
25 años	59,50
100 años	121,60

Tabla 12

Estimación de caudales de máxima crecida

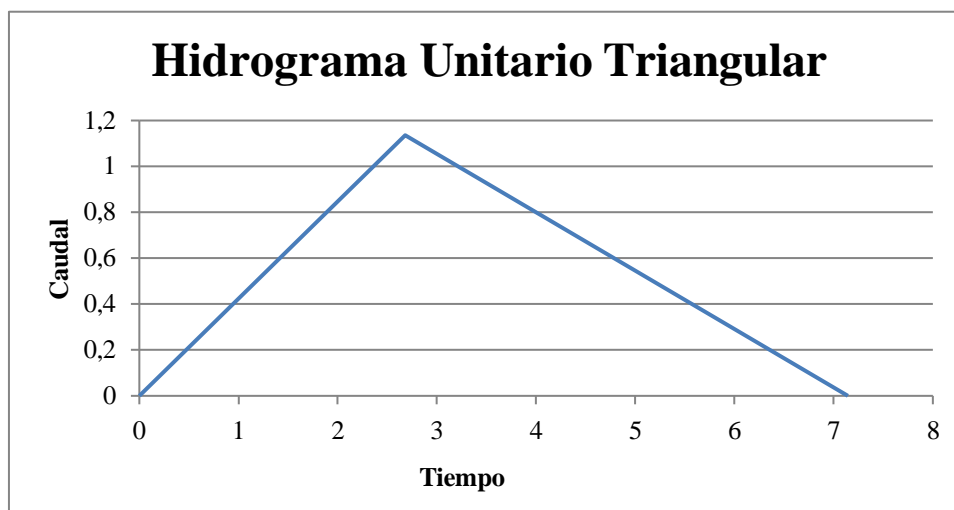
Datos	
tr	1,2 h
de	2,8 h
tp	2,6 h
tb	7,2 h

Mediante el método del hidrograma unitario determinamos las variables de tiempo de retraso (tr) teniendo 1,24 horas y la duración en exceso (de) 2,87 horas con un tiempo pico de 2.67 horas y su tiempo base de 7,14 horas.

Puntos del Hidrograma Unitario Triangular	
0	0
2,68	1,14
7,14	0

Figura 5

Hidrograma Unitario triangular.



Caudal Pico (Q_p)

Una vez indicado el hidrograma unitario triangular obtener un Caudal pico de 1,13 $m^3/s/mm$ ya como final obteniendo un caudal pico 18.83 m^3/s

Comparación de los Caudales de Diseño

Tabla 13

Comparación de caudales de tránsito durante una crecida repentina.

Método	Caudal (m^3/seg)
Video durante una crecida repentina (Manning)	20,47
Hidrograma unitario triangular	18,83
Simulación hidrológica ($Tr = 5$ años)	21,5

Al efectuar una comparación entre las metodologías propuestas, se nota que están dentro del mismo rango de magnitud. Sin embargo, el enfoque que involucra la simulación hidrológica difiere en un calcular el caudal en comparación con la estimación basada en un video capturado durante una crecida súbita en la región, resultando en una discrepancia de 1,03 m³/seg y para el diagrama unitario teniendo otra discrepancia de 2.67 03 m³/seg.

Discusión

En lo que respecta a la adquisición de datos en campo, se procedió a capturar un video durante un evento de crecida súbita que ocurrió en la zona de Cañitas, durante este incidente se observaron deslizamientos de tierra que resultaron en pérdidas significativas tanto en términos humanos como materiales. En este contexto, se evaluó una sección del río Portoviejo, la cual se aproximaba a una forma rectangular, con una altura de 0,90 metros y un ancho de 10,5 metros. Posteriormente, se determinó una pendiente de 0,006 metros por metro y se calculó un coeficiente de fricción (n - Manning) igual a 0,03. El análisis del video reveló que un objeto flotante recorrió una distancia de 12 metros en 3,50 segundos, y se observó que un tronco alcanzó una elevación máxima de 0,40 metros.

Los métodos de obtención de datos a partir de videos durante inundaciones repentinas se alinean con los enfoques sugeridos por Lumbroso y Gaume (2012). Estos autores indican que la estimación indirecta de los caudales en inundaciones extremas, respaldada por la recopilación de datos de videos y validación posterior de las dimensiones en el campo, contribuye a mitigar la incertidumbre en los cálculos.

A partir de los datos recolectados, se procedió al cálculo de los parámetros hidráulicos del canal en el sector Cañitas. Destacan un área mojada de 9,45 metros cuadrados, un perímetro mojado de 12,30 metros y un radio hidráulico de 0,768 metros. Con estos valores, se calculó una velocidad de 2,21 metros por segundo utilizando el método de Bernoulli y 2,71 metros por segundo mediante el método del flotador. Como resultado, se obtuvo una velocidad promedio de 2,46 metros por segundo, lo que indica un tipo de flujo subcrítico debido a un número de Froude igual

a 0,83. Finalmente, aplicando el método de Manning, se estimó un caudal de tránsito de 20,47 metros cúbicos por segundo.

Se efectuó la metodología del hidrograma unitario identificamos las variables: el tiempo de retraso (t_r) fue calculado en 1,24 horas, la duración excedente (d_e) en 2,87 horas, con un tiempo pico de 2,67 horas, y un período base de 7,14 horas teniendo un caudal pico de 18,83 m^3/s .

De manera adicional se efectuó una modelación hidrológica mediante el software HEC-HMS en el sector la Cañitas para estimar el caudal de tránsito, consiguiéndose un valor de 21,50 m^3/s , el cual al compararlo con el método de Manning sobrestima (una diferencia de 1.03 m^3/seg). Los resultados estimados concuerdan en orden de magnitud con la simulación hidrológica generada en la quebrada por Castro (2023) quien consiguió un valor de 21,50 m^3/s para periodo de retorno de 5 años, considerado como de riego moderado para la zona según la investigación.

Conclusiones

La recopilación de datos de campo reveló que, durante un evento de crecida repentina, la sección del canal mostró una forma aproximadamente rectangular, con una altura de 0,90 metros y un ancho de 10,5 metros. Además, se determinó una pendiente de 0,006 metros por metro y un coeficiente de fricción (n - Manning) de 0,03. Durante la observación, se notó que un objeto flotante recorrió una distancia de 12 metros en 3,50 segundos, y se registró una elevación de 0,40 metros de referencia de poste.

Se estimó una velocidad de 2,21 m/s mediante el método Bernoulli y de 2,71 m/s mediante el método del flotador, en promedio 2,46 m/s, señalando un tipo de flujo subcrítico al poseer un número de Froude igual a 0,83, con lo que se dedujo un caudal de tránsito mediante el método de Manning igual a 20,47 m^3/s .

Al comparar las metodologías para estimar el caudal de tránsito a través de la simulación hidrológica con el cálculo basado en un video durante una crecida súbita en la zona, se destacó que el segundo método sobreestima el caudal en 1.03 m^3/seg , en comparación con la simulación hidrológica y de 2.67 03 m^3/seg . En función al hidrograma unitario.

Bibliografía

- Aguirre, N., Ojeda, T., Eguiguren, P., y Mendoza, Z. (2015). *Cambio climático y Biodiversidad: Estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador*. Obtenido de Programa de biodiversidad y Servicios Ecosistémicos:
https://www.researchgate.net/profile/Jaime-Santin/publication/300102061_Diversidad_de_briofitos_de_los_Paramos_de_Cajanuma_del_Parque_Nacional_Podocarpus/links/5709390d08ae8883a1fa50dd/Diversidad-de-briofitos-de-los-Paramos-de-Cajanuma-del-Parque-Nacional
- Caicedo, M. (21 de abril de 2021). *Estudio de características morfológicas de la cuenca “Cañitas” y su relación con el riesgo de inundaciones repentinas. Dilemas contemporáneos: educación, política y valores*. Obtenido de:
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-78902021000400022&script=sci_arttext
- Castro, F. (2023). *Atenuadores de Escorrentía para la Quebrada Cañitas, Parroquia Charapotó, Manabí, Utilizando Herramientas SIG*. Obtenido de Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.6841
- Chiarito, E., Zimmermann, E., y Méndez, S. (2018). *Metodologías para la estimación del coeficiente de escorrentía en áreas urbanizadas mediante teledetección*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7260049.pdf>
- Chow, V. (1994). *Hidrología Aplicada*. Obtenido de Criterio de diseño generalizados para estructuras de control (pág. 430). Texas: Nomos S. A.

Chúa, R. (2017). *Desarrollo y calibración de un sistema informático para el análisis de tormentas, máximas avenidas y generación de lluvia escorrentía*. Obtenido de Método racional deductivo, Pág. 3-4: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2947>

Espinales, F, Alulema, R, y Caicedo, M (2021). *Determinación del Número de Curva (CN) de la cuenca del Río Portoviejo*. Obtenido de Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores: <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2600>

Fernández, C., León, A., y Martínez, P. (2018). *Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales*. Obtenido de Ingeniería Hidráulica y Ambiental: <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/420/333>

Hidalgo, L. (2017). *Guía práctica para aforar en canales y cauces naturales, utilizando instrumentación básica y de bajo costo*. Obtenido de Escuela Politécnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/18851/1/CD-8242.pdf>

Ibañez, S., Moreno, H., y Gisbert, J. (2011). *Método para determinación del tiempo de concentración (tc) de una cuenca hidrográfica*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10779/Tiempo%20de%20concentraci%C3%B3n.pdf>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA [INAMHI]. (1999). *Estudio de Lluvia Intensidad*. Obtenido de Intensidad de lluvia: <https://dokumen.tips/documents/estudio-lluvias-intensas-inamhi.html?page=1>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA [INAMHI]. (2023).

Publicaciones metereológica. Obtenido de Biblioteca INAMHI:

<https://www.inamhi.gob.ec/biblioteca/>

León, A., y Martínez, J. (2013). *Hidráulica de las conducciones libres*. Obtenido Empresa

Editorial Poligráfica Félix Varela: <https://isbn.cloud/9789590718670/hidraulica-de-las-conducciones-libres/>

Lumbroso, Y., y Gaume, E. (2012). *Journal of Hydrology*. Obtenido de Reducing the uncertainty in indirect estimates of extreme flash flood discharges:

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.08.048>

Martínez, E., y Coello, C. (2015). *Análisis hidrológico y respuesta lluvia-escorrentía de cuatro microcuencas de alta montaña del sur del Ecuador*. Obtenido de Universidad de Cuenca, Ecuador: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23104>

Martínez, I. (2016). *Análisis del efecto laminador del cauce utilizando modelos fluviales bidimensionales*. Obtenido de Universidad Politécnica de Madrid: https://oa.upm.es/39064/1/Ignacio_Martinez_Gonzalez.pdf

Méndez, W. y Marcucci, E. (2006). *Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas-Venezuela*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2036163>

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (2017). *Estrategias*

Nacionales de educación ambiental para el desarrollo sostenible 2017 – 2030. Obtenido

de: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/07/ENEA-ESTRATEGIA.pdf>

Núñez, C. (2018). *National Geographic*. Obtenido de National Geographic:

<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/inundaciones>

Pabón, J. y Montealegre, J. (2017). *Los fenómenos de El Niño y de La Niña, su efecto climático e impactos socioeconómicos*. Obtenido de Academia Colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales:

<https://repositorio.accefyn.org.co/bitstream/001/113/1/Fenomeno%20del%20ni%C3%B1o%20y%20la%20ni%C3%B1a%20WEB.pdf>

Sellers, S., Hagan, R., Hayden, G., y Fischer, W. (2017). *The hidden burden of influenza: A review of the extra-pulmonary complications of influenza infection*. Obtenido Wiley Online Library: <https://doi.org/10.1111/irv.12470>

Servicio de Conservación de Suelos de Honduras. (2022). *Plan de Gobierno para Refundar Honduras 2022-2026 de Honduras*. Obtenido de:

<https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-de-gobierno-para-refundar-honduras-2022-2026-de-honduras>

SOCIEDAD GEOGRÁFICA DE LIMA. (2011). *Organización Territorial del Perú: Reformas Contemporáneas*. Obtenido de Universidad Tecnológica de los Andes:

http://sisbiblio.utea.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=5466&query_desc=Provider%3A%20Sociedad%20Geogr%C3%A1fica%20de%20Lima%20

Vásquez, A. (2023). *Evaluación de precisión de elevación digital de dominio público (Aster y ASF Palgar), levantamiento de relieves por dron y topografía de presión generada con RTK*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25480/1/UPS-CT010673.pdf>

Vélez, J., y Botero, A. (2011). *Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales*. Obtenido de DYNA:

<https://www.redalyc.org/pdf/496/49622372006.pdf>

Anexos

Figura 6

Hietograma de Diseño con un periodo de retorno para 5 años

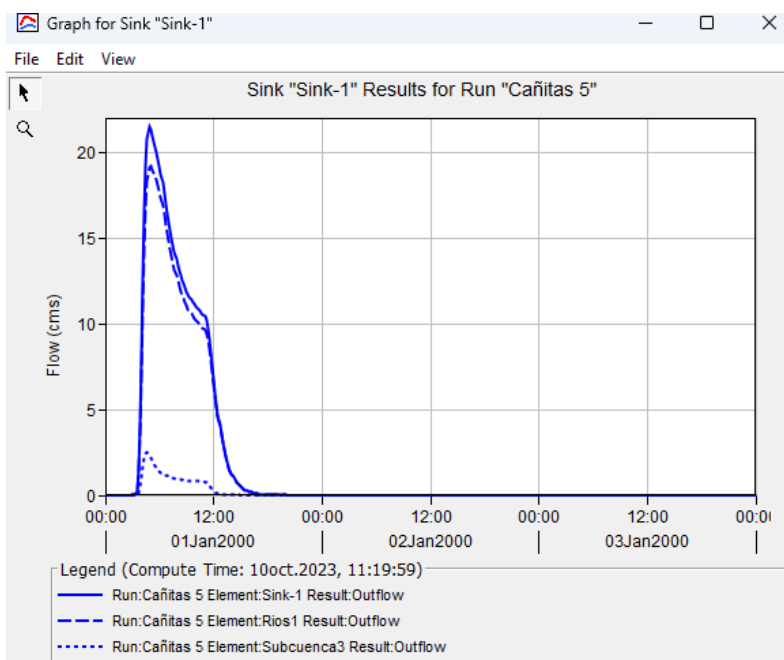


Figura 7

Hietograma de Diseño con un periodo de retorno para 10 años

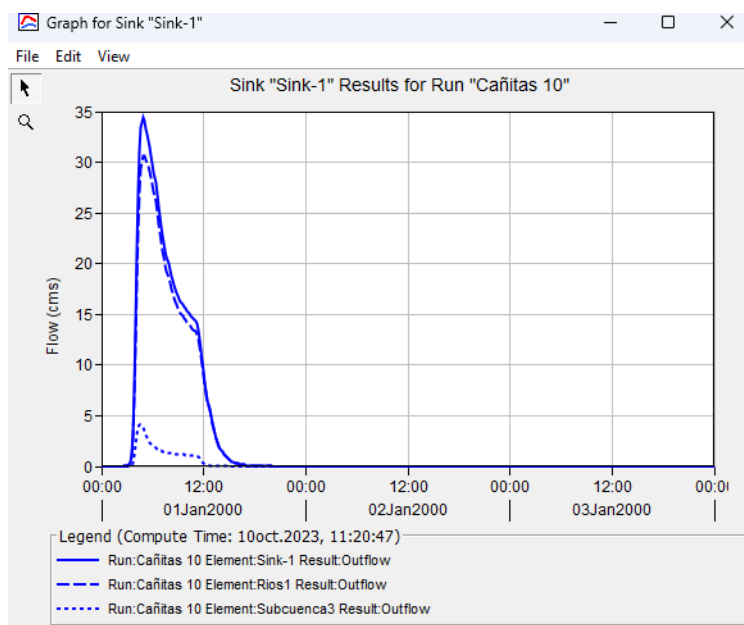
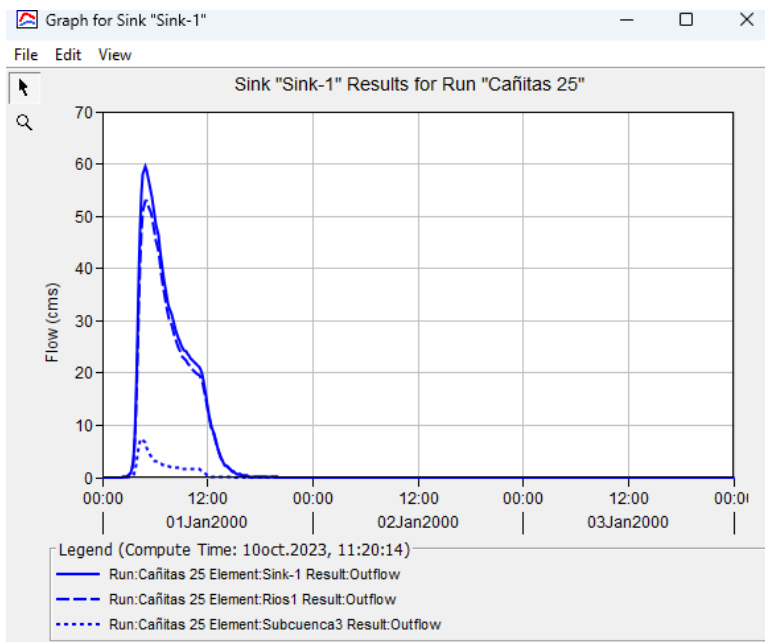


Figura 8

Hietograma de Diseño con un periodo de retorno para 25 años

**Figura 9**

Hietograma de Diseño con un periodo de retorno para 100 años

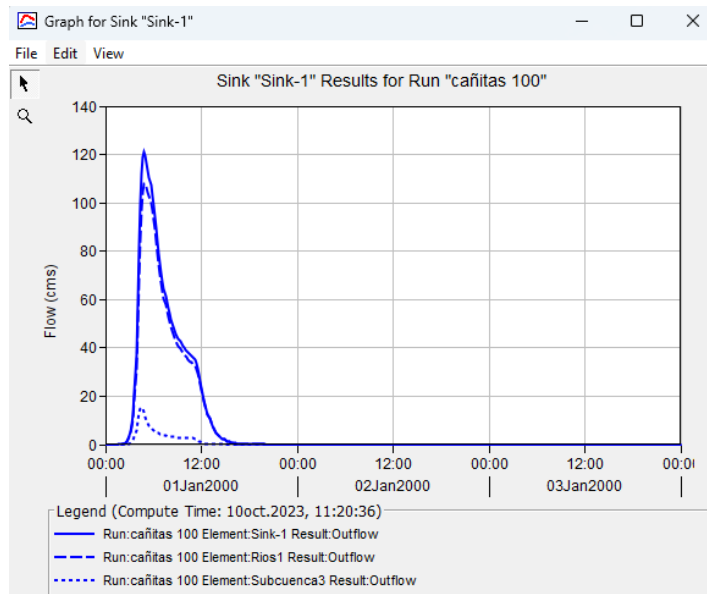


Figura 10

Referencia de zona de inundación sector Cañitas.

**Figura 11**

Referencia de zona de inundación sector Cañitas.

