



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**
Seréis mis testigos

MANABÍ

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE MANABÍ
CARRERA DE HIDRÁULICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO
MOSQUITO PERTENECIENTE A LA CUENCA HÍDRICA DEL RÍO CHONE,
MANABÍ**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES**

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN
GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS
NATURALES**

**PREVIO AL TÍTULO DE
INGENIERA HIDRÁULICA**

**AUTORA
GEMA ROSARIO BUENAVENTURA ALCÍVAR**

**TUTOR
ING. FABIAN RODRIGO ESPINALES CEDEÑO, M.Sc.**

PORTOVIEJO, ABRIL 2025

Certificación de la Tesis

Ing. Fabian Rodrigo Espinales Cedeño, 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. Fabian Rodrigo Espinales Cedeño, M.Sc.

C.I. 130659765-7

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. Fabian Rodrigo Espinales Cedeño, M.Sc.

Presidente del tribunal

(F)_____

Ing. José Ramón Alarcón Loo, M. Sc.

Primer Lector

(F)_____

Ing. Jesús Enrique Chavarría Párraga, PhD.

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.

Autora:

F. _____

Gema Rosario Buenaventura Alcívar

Dirección: Chone, Puerto Arturo – Entrada a Potrerillo

E-mail: gbuenaventura8930@pucesm.edu.ec

Celular: 095 929 1963

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.

Autora:

F. _____
Gema Rosario Buenaventura Alcívar.
C.I. 2100608930

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, que ha sido mi guía y fuente de fortaleza en todo momento, a la memoria de mi padre, Joaquín Buenaventura, cuyo legado y ejemplo continúan inspirándome A mi madre, Bengalita Alcívar, por su amor incondicional y su inquebrantable apoyo, que me han dado la fuerza para seguir adelante, y especialmente a mi hija, Tairet Morán, quien es la luz de mi vida y la razón por la cual me esfuerzo cada día, a ustedes, les debo todo lo que soy y todo lo que he logrado.

Rosario Buenaventura

Agradecimiento

Agradezco principalmente a Dios, fuente de fortaleza y guía en todo momento. A mi padre, Joaquín Buenaventura, quien desde el cielo sigue siendo mi inspiración y ejemplo a seguir, y a mi madre, Bengalita Alcívar, por su amor incondicional, su apoyo incansable y su constante aliento que me permitieron superar cada obstáculo y alcanzar mis metas.

A mi querida hija, Tairet Morán, cuya presencia ilumina mis días y me motiva a ser una mejor persona cada día. Todo mi esfuerzo y dedicación son para brindarte un futuro lleno de oportunidades.

A mi madrina, Teresa Alcívar, por su cariño, sabiduría y apoyo en cada paso del camino, a mi familia y amigos, gracias por estar siempre a mi lado, por creer en mí y por ofrecerme su apoyo incondicional.

A todo el personal que me acompañó en este proceso, agradezco profundamente su sabiduría, experiencia y orientación, que no solo me guiaron en la dirección correcta, sino que también enriquecieron y mejoraron la calidad de mi trabajo. Sin su ayuda, este logro no habría sido posible.

Rosario Buenaventura

Resumen

Se desarrolló una investigación mixta para analizar la lluvia de diseño y poder caracterizar morfométricamente la subcuenca hidrológica del Río Mosquito en Chone, Manabí. Por tanto, este estudio exploratorio se generó de abril a septiembre del 2024, considerando la distribución de Gumbel y las precipitaciones máximas en 24 horas tomadas desde la estación del INAMHI PUCE U. Católica, a partir de estos datos, se desarrollaron regresiones logarítmicas para derivar la ecuación de intensidad, lo que permitió generar las curvas IDF de la zona en periodos de retorno de 15, 25, 50 y 100 años, y caracterizar la subcuenca mediante una simulación hidrológica en el software HEC-HMS. Con los datos de precipitaciones se obtuvo una media de 107.65 mm y una desviación estándar de 83.57 mm, mediante el método Gumbel se obtuvieron intensidades de lluvia entre 12.21 mm/hr y 133.12 mm/hr; se generaron las curvas IDF para cada periodo de retorno, con los cuales se caracterizó morfométricamente la subcuenca, estimando los siguientes parámetros: área de 110.04 km², perímetro de 50.76 km, longitud del curso de agua principal de 20.59 km, ancho de la cuenca de 6.47, coeficiente de compacidad de 1.37, pendiente media del cauce de 2.8 que le otorgan una baja escorrentía superficial; se estimaron caudales máximos de 662.3 m³/s, 960.9 m³/s, 1523.7 m³/s y 2309.3 m³/s para cada periodo de retorno. Se recomienda establecer un monitoreo continuo para actualizar el plan de riesgo hídrico en la subcuenca y mitigar posibles inundaciones en la zona.

Palabras clave: precipitación, curvas IDF, simulación, análisis

Abstract

A mixed research was developed to analyze the design rainfall and morphometrically characterize the Mosquito River sub-basin in Chone, Manabí. Therefore, this exploratory study was conducted from April to September 2024, considering the Gumbel distribution and the maximum 24-hour rainfall data taken from the INAMHI PUCE U. Católica station. From these data, logarithmic regressions were developed to derive the intensity equation, which allowed generating the IDF curves of the area for return periods of 15, 25, 50, and 100 years, and characterizing the sub-basin through a hydrological simulation in the HEC-HMS software. From the rainfall data, an average of 107.65 mm and a standard deviation of 83.57 mm were obtained. Using the Gumbel method, rainfall intensities between 12.21 mm/hr and 133.12 mm/hr were obtained; IDF curves were generated for each return period, with which the sub-basin was morphometrically characterized, estimating the following parameters: area of 110.04 km², perimeter of 50.76 km, main watercourse length of 20.59 km, basin width of 6.47 km, compactness coefficient of 1.37, average channel slope of 2.8, which gives it a low surface runoff; maximum flows of 662.3 m³/s, 960.9 m³/s, 1523.7 m³/s, and 2309.3 m³/s were estimated for each return period. It is recommended to establish continuous monitoring to update the water risk plan in the sub-basin and mitigate potential floods in the area.

Keywords: precipitation, IDF curves, simulation, analysis.

Índice

Certificación de la Tesis.....	ii
Aprobación del Tribunal	iii
Declaración de Originalidad	iv
Declaración de Derecho del Autor.....	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Resumen.....	viii
Abstract	ix
Índice de Figuras	12
Índice de Tablas	13
Índice de Formulas.....	14
Introducción	15
Materiales y Métodos.....	17
Materiales.....	17
Características de la Investigación	17
Métodos.....	18
Modelos e Información Base.....	18
Lluvias de Diseño	18
Distribución de Probabilidades pluviométricas mediante Gumbel	20
Precipitaciones Diarias Máximas Probables para Distintas Frecuencias	22
Curvas de IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia)	23

Tiempo de Concentración.....	24
Tiempo de Retardo (Lag Time”.....	24
Caracterización Hidrológica	25
Características Generales en la Subcuenca.....	25
Características de Forma en la Subcuenca	27
Características del Relieve en la Subcuenca.	31
Características de la red Hídrica en la Subcuenca.....	33
Modelación Hidrológica.	34
Resultados	35
Lluvia de Diseño	35
Precipitación Diaria Máxima Probable.....	35
Intensidades de Lluvia.....	35
Regresiones IDP (Intensidad - Duración - Período de Retorno)	36
Hietograma	40
Características Morfométricas	40
Simulación Hidráulica	43
Discusiones	44
Conclusiones	47
Recomendaciones.....	48
Bibliografía	49
Anexos	56

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación de la subcuenca del río Mosquito del río Chone, Manabí.....	18
Figura 2. Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión.....	32
Figura 3. Curva de regresión potencial	38
Figura 4. Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)	39
Figura 5. Subcuenca del Río Mosquito en el modelo HEC-HMS	40
Figura 6. Distribución de intensidad para precipitación con $Tr = 15$ años	58
Figura 7. Distribución de intensidad para precipitación con $Tr = 25$ años	58
Figura 8. Distribución de intensidad para precipitación con $Tr = 50$ años	59
Figura 9. Distribución de intensidad para precipitación con $Tr = 15$ años	59
Figura 10. Curva hipsométrica.....	60
Figura 11. Hietograma y caudal de la subcuenca para un $Tr = 15$ años	61
Figura 12. Hietograma y caudal de la subcuenca para un $Tr = 25$ años	62
Figura 13. Hietograma y caudal de la subcuenca para un $Tr = 50$ años	63
Figura 14. Hietograma y caudal de la subcuenca para un $Tr = 100$ años	64

Índice de Tablas

Tabla 1: Registro de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación MA0162	19
Tabla 2: Variables σ_y y μ_y según la cantidad de datos de Gumbel	21
Tabla 3: Categorización según el tamaño de la cuenca	25
Tabla 4: Clasificación según el Coeficiente de Compacidad (kc) de la subcuenca	28
Tabla 5: Clasificación según el factor de forma (Rf).	29
Tabla 6: Clasificación según el Índice de Alargamiento.	30
Tabla 7: Clasificación según la pendiente	32
Tabla 8: Categorización de la Densidad de drenaje según Strahler y Horton	33
Tabla 9: Precipitación Diaria Máxima Probable para diversos Periodos de Retorno	35
Tabla 10: Intensidad diaria de lluvia en la zona	36
Tabla 11: Desarrollo de regresión potencial 1	37
Tabla 12: Desarrollo de regresión potencial 2	37
Tabla 13: Intensidades para cada intervalo de tiempo y periodo de retorno	39
Tabla 14: Caracterización de la Subcuenca del Rio Mosquito	40
Tabla 15: Características generales de la subcuenca	41
Tabla 16: Características de forma de la subcuenca	42
Tabla 17: Características de relieve de la subcuenca	42
Tabla 18: Características de forma en la red Hídrica.	43
Tabla 19: Caudales máximos probables para cada periodo de retorno	43
Tabla 20: Coeficientes de escorrentía	56
Tabla 21: Números de Curvas	57
Tabla 22: Áreas entre las curvas de nivel en la subcuenca	60

Índice de Formulas

Fórmula 1. Media estadística.	20
Fórmula 2. Desviación estándar.....	20
Fórmula 3. Probabilidad de Gumbel.....	20
Fórmula 4. Probabilidad de Gumbel.....	21
Fórmula 5. Probabilidad de ocurrencia.....	22
Fórmula 6. Precipitación.....	22
Fórmula 7. Corrección de intervalos fijos.....	23
Fórmula 8. Intensidades de Lluvia.....	23
Fórmula 9. Analítica para construir la ecuación de intensidad.....	24
Fórmula 10. Tiempo de concentración mediante Kirpich	24
Fórmula 11. Tiempo de retardo	24
Fórmula 12. Desnivel altitudinal.....	26
Fórmula 13. Ancho de la cuenca hídrica	27
Fórmula 14. Coeficiente de compacidad	27
Fórmula 15. Factor de forma	28
Fórmula 16. Índice de Alargamiento	29
Fórmula 17. Relación de elongación	30
Fórmula 18. Pendiente media del cauce	31
Fórmula 19. Densidad de drenaje	33

Introducción

El agua es un recurso natural invaluable y esencial para la vida humana, donde su disponibilidad depende de una gestión efectiva de las cuencas hídricas (NACIONES UNIDAS, 2015). El incremento de la presión sobre los recursos hídricos, impulsado por el crecimiento demográfico, la expansión agrícola, la deforestación y el cambio climático, plantea desafíos significativos para la sostenibilidad de las cuencas hidrográficas. En Ecuador, este asunto recibe escasa atención debido a la falta de información en el monitoreo hidrológico, lo que limita la disponibilidad de datos detallados y de alta resolución temporal; donde la escasez de información sobre los caudales de los ríos dificulta una comprensión de los recursos hídricos y su comportamiento en las cuencas, resaltando la necesidad de una gestión eficaz para garantizar su conservación (Food and Agriculture Organization [FAO], 2011; Martínez y Villalejo, 2018).

En una gestión integral de las cuencas hidrológica se requiere comprender los factores que influyen en su funcionamiento, lo cual implica la unificación de datos meteorológicos y físicos locales para estimar la disponibilidad hídrica, evaluar los riesgos de inundación y optimizar los diseños de infraestructuras hidráulicas (Benítez, 2018). Al vincular los datos hidrológicos con modelos hidráulicos avanzados, se pueden crear enfoques adaptativos que fortalecen la capacidad de recuperación frente a las variaciones climáticas y las demandas humanas, siendo esencial usar modelos matemáticos como HEC-HMS, ya que proporcionan una visión detallada de la dinámica de la cuenca, donde este enfoque perfecciona la administración actual del recurso hídrico y establece fundamentos sólidos para una planificación más resistente y sostenible, garantizando la seguridad hídrica y el bienestar de las comunidades locales, lo cual es de vital importancia en un entorno caracterizado por los desafíos cambiantes del cambio climático (Cabrera *et al*, 2019).

La cuenca del río Chone tiene su origen en las montañas de Río Grande antes de unirse al río Mosquito en el sector de las Dos Bocas, cerca de San Andrés, para luego continuar su curso hacia la ciudad de Chone, donde se une al río Garrapata. Esta cuenca hidrográfica abarca una extensión considerable en la provincia de Manabí, comprendiendo una serie de subcuencas y microcuencas que contribuyen al flujo de agua hacia el río principal; pero si no se implementan medidas de conservación, se espera un deterioro socioeconómico y ambiental significativo, incluida la escasez del agua potable, pérdida agrícola y daños a los ecosistemas acuáticos, para garantizar un manejo sostenible a largo plazo (Aroca *et al.*, 2016; FAO, 2013).

Ante ello la evaluación hidrológica de una de sus subcuencas como lo es la de Río Mosquito es de gran interés, requiriéndose de un análisis de diversos aspectos hidrológicos que influyen en la región, para llevarla a cabo, se requiere información meteorológica, geológica y topográfica (Giler *et al.*, 2019). Mediante este proceso, se amplían los detalles de la subcuenca, considerando los posibles riesgos vinculados a eventos extremos como inundaciones o sequías, con el propósito de dotar a los responsables de la gestión hídrica con las herramientas necesarias para gestionar de manera eficaz el recurso hídrico en la provincia de Manabí, con el afán de fomentar la resiliencia y la sostenibilidad frente a los impactos del cambio climático para fortalecer la capacidad de adaptación de las comunidades y de los ecosistemas (Cozzi, 2023).

Por tanto, se busca evaluar mediante un estudio hidrológico las características de la subcuenca hidrográfica del Río Mosquito, perteneciente a la cuenca hídrica del Río Chone, apoyado en la generación de lluvias de diseño utilizando los datos meteorológicos máximos en 24 horas, mediante la modelación de la curva de intensidad, duración y frecuencia de las precipitaciones; y la caracterización morfométrica de la subcuenca.

Materiales y Métodos

Materiales

Características de la Investigación

La investigación aplicada, caracteriza morfológicamente la subcuenca del río Mosquito mediante datos mixtos, que integra valores cuantitativos y cualitativos; la metodología no experimental descriptiva es la más adecuada, permitiendo identificar las características de la cuenca sin su intervención directa en campo (Borja, 2016). A diferencia de enfoques experimentales controlados, que implicarían manipulación del ecosistema y mayores costos, este enfoque se basa en el análisis de datos existentes y herramientas GIS, garantizando resultados precisos, replicables y comparables con estudios previos como los de Fernández (2016).

Este estudio se relaciona con el de Zambrano *et al.* (2019), quienes analizaron el comportamiento hidrológico de cuencas en la región costera del Ecuador mediante índices hidrológicos para comprender la dinámica hídrica tropical, compartiendo similitudes en su enfoque metodológico, utilizando datos existentes y metodologías no experimentales para caracterizar las cuencas sin intervención directa; además, integran datos cuantitativos y cualitativos con el apoyo de herramientas GIS, garantizando resultados precisos y replicables, destacando las ventajas de la tecnología en la investigación hidrológica.

Características del Lugar

Se desarrolla en la subcuenca del Río Mosquito perteneciente a la cuenca del Río Chone, siendo caracterizada por un clima cálido y lluvioso durante el invierno, que se extiende de junio a noviembre, y una época seca que va desde diciembre hasta mayo (Cornejo *et al.*, 2013). Para su desarrollo se considera el periodo de mayo a septiembre del presente año.

Tabla 1

Registro de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación PUCE U. Católica MA0162.

Año	Precipitación Máxima 24 h
1991	73.60
1992	80.40
1993	131.70
1994	113.80
1995	132.50
1996	52.80
1997	133.20
1998	143.90
1999	110.10
2000	58.00
2001	140.60
2002	73.90
2003	58.10
2004	99.40
2005	77.30
2006	112.30
2007	81.40
2008	55.40
2009	53.90
2010	58.40
2011	60.10
2012	304.43
2013	123.40
2014	83.80
2015	47.20
2016	116.20
2017	169.60
2018	78.60
2019	94.40
2020	67.40
2021	390.90
2022	390.90

Fuente: INAMHI, 2024; NASA, 2024.

Distribución de Probabilidades pluviométricas mediante Gumbel

La distribución de Gumbel es una herramienta estadística que se utiliza para modelar y prevenir eventos extremos, como las lluvias más intensas en un período específico, para lo cual se sigue la metodología presentada a continuación según Sánchez (2013):

Media Estadística.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Fórmula 1. Media estadística.

Donde:

$\bar{x}$ = Media estadística.

x_i = Conjunto de observaciones.

n = Número de observaciones.

Desviación Estándar.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Fórmula 2. Desviación estándar.

Donde:

S = Desviación estándar.

n = Número de observaciones.

x_i = Observación número i de la variable x .

$\bar{x}$ = Media estadística.

Probabilidades mediante Gumbel.

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S$$

Fórmula 3. Probabilidad de Gumbel.

Donde:

α = Probabilidad de Gumbel.

S = Desviación estándar de la muestra.

$$u = \bar{x} - \mu_y * \sigma_y$$

Fórmula 4. Probabilidad de Gumbel.

Donde:

u = Probabilidad de Gumbel.

$\bar{x}$ = Media estadística.

σ_y, μ_y = Factores de Gumbel según el número de datos (ver tabla 2).

Tabla 2

Variables σ_y y μ_y según la cantidad de datos de Gumbel.

Número de datos	μ_y	σ_y
10	0,4952	0,9496
15	0,5128	1,0206
20	0,5236	1,0628
25	0,5309	1,0914
30	0,5362	1,1124
35	0,5403	1,1285
40	0,5436	1,1413
45	0,5463	1,1518
50	0,5485	1,1607
55	0,5504	1,1682
60	0,5521	1,1747
65	0,5535	1,1803
70	0,5548	1,1854
75	0,5559	1,1898
80	0,5569	1,1938
85	0,5578	1,1974
90	0,5586	1,2007
95	0,5593	1,2037
100	0,5600	1,2065

Precipitaciones Diarias Máximas Probables para Distintas Frecuencias

Estas estimaciones representan el valor máximo de precipitación que se puede esperar en un solo día dentro de un período específico, para lo cual se consideran distintos intervalos de recurrencia, tal como se detalla a continuación según Sánchez (2013):

Probabilidad de Ocurrencia.

$$F(xt) = 1 - \frac{1}{T_r}$$

Fórmula 5. Probabilidad de ocurrencia.

Donde:

F (xt) = Probabilidad de ocurrencia.

Tr = Periodo de retorno (años).

Precipitación.

$$P = \mu_y - \ln \left(\frac{-\ln(F(xt))}{\frac{1}{\sigma_y}} \right)$$

Fórmula 6. Precipitación.

Donde:

P = Precipitación (mm).

u_y = Probabilidad de Gumbel.

σ_y = Factores de Gumbel.

F (xt) = Probabilidad de ocurrencia.

Corrección del Intervalos.

$$XT = P * 1,14$$

Fórmula 7. Corrección de intervalos fijos.

Donde:

XT= Corrección del Intervalos.

P = Precipitación.

Intensidades de Lluvia.

$$I = \frac{P}{t}$$

Fórmula 8. Intensidades de Lluvia.

Donde:

I= Intensidades de Lluvia (mm).

P = Precipitación (mm).

t = Tiempo de duración (horas).

Curvas de IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia)

Estas curvas representan la relación entre la intensidad, duración y frecuencia de las lluvias en una región específica. Conocidas como curvas IDF, por la abreviatura de Intensidad-Duración-Frecuencia, muestran cómo la intensidad de la precipitación (medida en mm/h), se vincula con la duración del evento (en horas) y su frecuencia o período de retorno (generalmente expresado en años) (Marcus *et al.*, 2019). Para su obtención se crea la ecuación de intensidad para la zona apoyado en la fórmula propuesta por Aparicio 1977 descrita a continuación (Pizarro *et al.*, 2003):

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

Fórmula 9. 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 (años).

D = Duración (horas o minutos).

Tiempo de Concentración

El tiempo necesario para que el agua de lluvia que cae en un área llegue a su punto de salida aguas abajo, como un lago, océano o laguna, se estima utilizando el método de Kirpich como se muestra en la fórmula 10 (Castillo *et al.*, 2021).

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

Fórmula 10. 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).

Tiempo de Retardo “Lag Time”

El tiempo de retardo o "Lag Time" en una cuenca hidrográfica se refiere al intervalo entre el comienzo de una precipitación significativa y el momento en que se alcanza el máximo caudal en el sistema fluvial como respuesta a esa precipitación.

$$\text{Lag Time} = 0,35 * tc$$

Fórmula 11. Tiempo de retardo.

Donde:

Lag Time = Tiempo de retardo (minutos).

tc = Tiempo de concentración (minutos).

Caracterización Hidrológica

Una caracterización es el proceso de describir y comprender las propiedades de un sistema hidrológico considerando información de tipo meteorológica, geológica y topográfica (Sarría, 2016). Con la asistencia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se obtiene la información detallada de la cuenca hidrológica, de tipo:

Características Generales en la Subcuenca

Área (A).

Es la superficie de terreno que drena agua hacia un punto común del río, determinando la cantidad de precipitación recolectada y su distribución en el territorio. Su medida se expresa en kilómetros cuadrados o en metros cuadrados, y para su determinación usan los Sistemas de Información Geográfica (SIG), para una clasificación según la tabla 3 (Campos, 1992).

Tabla 3

Categorización según el tamaño de la cuenca.

Rangos de áreas (km²)	Calificación
< 25	Microcuenca
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia – pequeña
500 a 2 500	Intermedia – grande
2 500 a 5 000	Grande
> 5 000	Muy grande

Perímetro (P).

Es la longitud que delimita su contorno exterior, definida por la línea divisoria de aguas; siendo crucial para entender la extensión y forma, para su obtención se emplea el software ArcGIS, y se lo mide en kilómetros o en metros (Zhicay, 2020).

Longitud del Curso Principal (L).

Indica la distancia más larga en línea recta desde la desembocadura de la cuenca hasta el punto de origen del río, para su obtención se emplea el software ArcGIS, y se mide en kilómetros (Zhicay, 2020).

Longitud Axial (La).

Es la longitud máxima medida a lo largo del río principal de la cuenca, desde su fuente hasta la desembocadura, siendo una medida esencial para entender la influencia del flujo de agua, para su obtención se emplea el software ArcGIS, y se mide en kilómetros o en metros (Zhicay, 2020).

Desnivel altitudinal (DA).

Es la diferencia de elevación entre el punto más alto y el más bajo dentro de la cuenca, medida en metros o en porcentaje (ver fórmula 12) (Zhicay, 2020).

$$DA = HM - Hm$$

Fórmula 12. Desnivel altitudinal.

Donde:

DA = Desnivel altitudinal (m).

HM= Cota máxima (msnm).

Hm= Cota mínima (msnm).

Ancho de la Cuenca Hídrica (W).

Es la proporción entre el área de la cuenca y su longitud axial, según la fórmula 13. Esta medida es fundamental para evaluar cómo la cuenca recolecta y dirige el agua de lluvia hacia un punto de salida específica, su unidad de medida es en metros (Londoño, 2022).

$$W = \frac{A}{La}$$

Fórmula 13. *Ancho de la cuenca hídrica.*

Donde:

W = Ancho de la cuenca hídrica (m).

A= Área (m²).

La = Longitud Axial (m).

Características de Forma en la Subcuenca

Coeficiente de Compacidad (Kc).

Este factor mide la forma y distribución de la cuenca en comparación con una circunferencia ideal, se estima según la fórmula 14, la cual indica cuán alargada o compacta es la cuenca en relación con su área (Camino *et al.*, 2018).

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

Fórmula 14. *Coeficiente de compacidad.*

Donde:

Kc = Coeficiente de compacidad (-).

P = Perímetro de la cuenca (m).

A= Área (m²).

Tabla 4

Clasificación según el Coeficiente de Compacidad (kc) de la subcuenca.

Rango de Kc	Clasificación
1 – 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	Oval redonda a oval oblonga
1.50 – 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
> 1,75	Alargada

Fuente: Villela y Matos (1975).

Factor de Forma o Strahler (Rf).

Es la relación entre la circunferencia de la cuenca y su área, la cual se estima con la fórmula 15; un valor alto indica una forma más alargada, lo que puede aumentar la probabilidad de erosión e inundaciones, y un valor bajo sugiere una forma más compacta, lo que generalmente implica una mayor capacidad de retención de agua (Zhicay, 2020).

$$Rf = \frac{A}{La^2}$$

Fórmula 15. *Factor de forma.*

Donde:

Rf = Factor de forma (-).

A= Área (m²).

La= Longitud axial (m).

Tabla 5

Clasificación según el factor de forma (Rf).

Rango	Clases de forma
< 0,22	Muy alargada
0,22 – 0,30	Alargada
0,30 – 0,37	Ligeramente alargada
0,37 – 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 – 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 – 0,80	Ensanchada
0,80 – 1,12	Muy Ensanchada
> 1,20	Rodeando el desagüe

Fuente: Strahler (1957).

Índice de Alargamiento (Ia).

Relaciona la forma y la extensión de la cuenca, para lo cual se requiere conocer la longitud máxima con la longitud axial, y se relacionan como se muestra en la fórmula 16. Este parámetro permite conocer la configuración de la cuenca y la dirección del flujo de agua, donde un valor elevado sugiere una forma alargada (Smichowski y Contreras , 2022).

$$Ia = \frac{La}{W}$$

Fórmula 16. Índice de Alargamiento.

Donde:

Ia = Índice de Alargamiento (-).

La= Longitud axial (km).

W = Ancho de la cuenca (km).

Tabla 6

Clasificación según el Índice de Alargamiento.

Rango	Clases de alargamiento
0 - 14	Poco Alargada
1,5 – 2,8	Moderadamente alargada
> 2,90	Muy alargada

Fuente: Smichowski y Contreras, 2022.

Relación de Elongación (Re).

Este factor compara la longitud del curso principal con el área de drenaje como se detalla en la fórmula 17, donde un valor elevado señala que es más alargada en relación con su área total, lo que afecta la velocidad de escurrimiento (Espinoza y Pérez, 2019).

$$\mathbf{Re} = \frac{1,128\sqrt{A}}{Lc}$$

Fórmula 17. *Relación de elongación.*

Donde:

Re = Relación de elongación (-).

A = Área (km²).

Lc = Longitud del cauce principal (km).

Características del Relieve en la Subcuenca.

Pendiente Media del Cauce (j).

Es la medida que indica la inclinación promedio del terreno a lo largo del curso principal del río en una cuenca, siendo esencial para entender el flujo del agua, su impacto en la velocidad y la erosión del suelo. Su valor se lo expresa en porcentaje y se lo estima mediante la fórmula 18, que se describe a continuación (Mueses y Morales, 2018).

$$j = \frac{DA}{Lc}$$

Fórmula 18. Pendiente media del cauce.

Donde:

j = pendiente media del Cauce (%).

DA = desnivel Altitudinal (km).

Lc = Longitud del cauce principal (km).

Pendiente Media de la Cuenca (J).

Se estima a partir de las pendientes de las áreas básicas, asumiendo una pendiente máxima constante, lo que refleja la rugosidad del terreno en porcentaje (Mueses y Morales, 2018); su unidad de medida se expresa en metros y se clasifica de acuerdo con los rangos de la tabla 7. Para determinarla, se utilizan un archivo vectorial de la cuenca (en formato shapefile) y un archivo raster (en formato TIFF), procesados con el software ArcGIS.

Tabla 7

Clasificación según la pendiente.

Rango	Descripción
0 – 4	Nula o casi nivel
4 – 15	Ligeramente inclinada
15 – 25	Moderadamente empinada
25 – 50	Empinada
50 – 75	Muy empinada
> 75	Extremadamente empinada

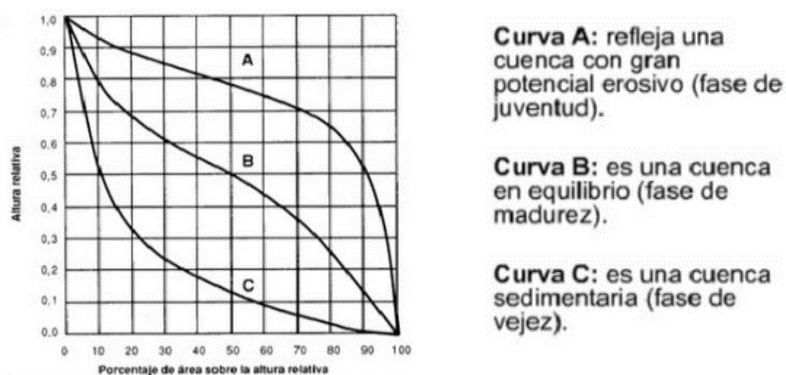
Fuente: Alcántara (2015).

Curva Hipsométrica.

Representa la relación entre la altitud y la superficie de la cuenca, permitiendo entender las características del terreno y su impacto en los procesos hidrológicos, para su elaboración se emplea el software ArcGIS y se categoriza según la figura 2 (Espinoza y Pérez, 2019).

Figura 2

Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión.



Fuente: Strahler (1952).

Características de la red Hídrica en la Subcuenca

Densidad de Drenaje.

Es la manera en que el agua se mueve a través de la subcuenca hidrográfica, donde una mayor densidad indicará una red más intrincada y un aumento en la erosión del suelo (Camino *et al.*, 2018). Para lo cual se utiliza la fórmula presentada a continuación, misma que vincula la longitud de la corriente entre el área hidrográfica.

$$Dd = \frac{L}{A}$$

Fórmula 19. Densidad de drenaje.

Donde:

Dd = Densidad de drenaje (km/km²).

Lt = Longitud total de las corrientes (km).

A = Área de la cuenca (Km²).

Tabla 8

Categorización de la Densidad de drenaje según Strahler y Horton.

Densidad de drenaje (km/km²)	Categoría	Descripción
< 1	Baja	Baja la escorrentía y aumenta la infiltración
1 – 2	Moderada	Tendencia media de escorrentía
2 – 3	Alta	Alta tendencia a fluir ya las inundaciones
> 3	Muy Alta	Alta tendencia a la escorrentía, ya a la erosión

Fuente: Horton (1945) y Strahler (1957).

Orden de la Red de Drenaje.

El orden numérico de la red de drenaje se determina según el grado de importancia según lo propuesto por Arthur Strahler, el cual describe la ubicación y conexión de una cuenca dentro de un sistema de drenaje, y la secuencia se establece utilizando los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Xanay, 2020) .

Modelación Hidrológica.

Se realiza la modelación hidrológica de la cuenca con el software HEC-HMS, utilizando el modelo Muskingum-Cunge para estimar el flujo de agua en la zona (Cunge, 1969). Considerando el factor de escurrimiento según Ibáñez et al. (2011) y el número de curva de United States Department of Agriculture (USDA), 1986, como se menciona en las tablas de los anexos. Además, se combinó la lluvia de diseño con las características de la cuenca para calcular los periodos de retorno de 15, 25, 50 y 100 años (Castro, 2023).

Resultados

Lluvia de Diseño

Precipitación Diaria Máxima Probable

Para estimar los caudales máximos probables en los diversos periodos de retorno fue necesario considerar la lluvia de diseño para la zona, en lo cual se tomaron como base los datos máximos en 24 horas de precipitaciones de la estación más cercana, siendo la MA0162-INAMHI, mismos que se analizaron estadísticamente, teniendo una media calculada de 107.65 mm y una desviación estándar de 83.57 mm, se consideró un factor de Gumbel en relación a la cantidad de datos α de 65.16 mm y μ de 70.03 mm, evaluados en periodos de retornos de 15, 25, 50 y 100 años.

Tabla 9

Precipitación Diaria Máxima Probable para diversos Periodos de Retorno.

Periodo de retorno (Años)	Precipitación (mm)	Probabilidad de ocurrencia F (XT)	Corrección de intervalo fijo XT (mm)
15	2.6738	244.2624	0.9333
25	3.1985	278.4583	0.9600
50	3.9019	324.2936	0.9800
100	4.6001	369.7905	0.9900

Intensidades de Lluvia

Se analizaron las intensidades máximas probables para las variadas frecuencias de periodos de retorno como se presentan en la tabla 10.

Tabla 10

Intensidad diaria de lluvia en la zona.

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr)			
Hr	Min	15 años	25 años	50 años	100 años
24	1440	12.21	13.92	16.21	18.49
18	1080	14.82	16.89	19.67	22.43
12	720	19.54	22.28	25.94	29.58
8	480	24.91	28.40	33.08	37.72
6	360	29.80	33.97	39.56	45.11
5	300	33.42	38.09	44.36	50.59
4	240	38.10	43.44	50.59	57.69
3	180	44.94	51.24	59.67	68.04
2	120	57.16	65.16	75.88	86.53
1	60	87.93	100.24	116.75	133.12

Regresiones IDP (Intensidad - Duración - Período de Retorno)

Se encontró una relación entre la duración de la lluvia, el tiempo que persistía y la probabilidad de que ocurriera en un momento determinado mediante la aplicación de regresiones potenciales como se ilustra en la tabla 11 y 12.

Tabla 11*Desarrollo de regresión potencial 1.*

Periodo de Retorno (años)	Término constante de regresión (d)	Coefficiente de regresión [n]
5	1108.128	-0.616
10	1263.262	-0.616
20	1471.200	-0.616
50	1677.603	-0.616
Promedio	1380.048	-0.616

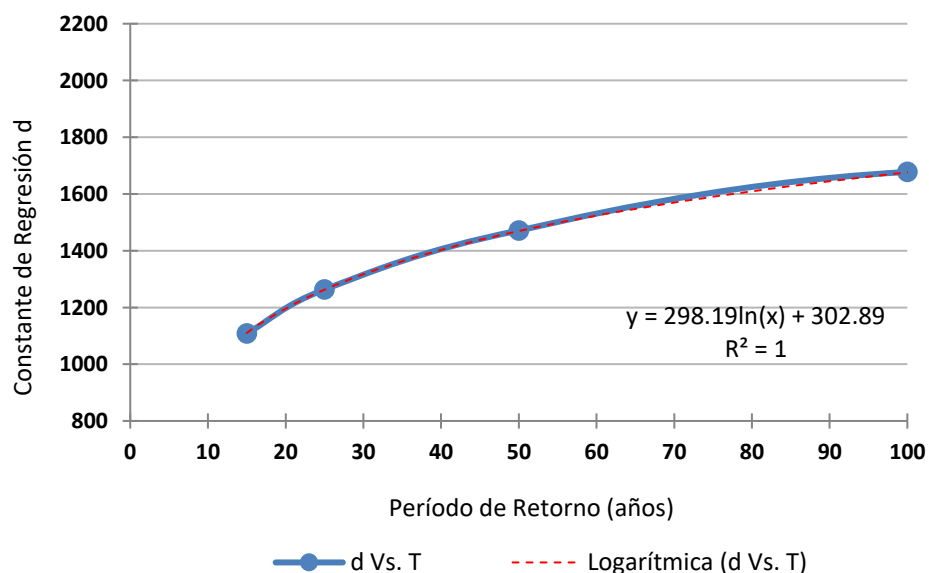
Se generó una segunda regresión de potencia que relaciona el período de retorno (T) con el dato constante de regresión (d), con el objetivo de obtener nuevos valores para los factores k y m en la ecuación de intensidad.

Tabla 12*Desarrollo de regresión potencial 2.*

N.º	x	Y	Ln x	Ln y	Ln x*Ln y	(Ln x)²
1	15	1108.1280	2.7081	7.0104	18.9846	7.3335
2	25	1263.2622	3.2189	7.1415	22.9874	10.3612
3	50	1471.2002	3.9120	7.2938	28.5336	15.3039
4	100	1677.6027	4.6052	7.4251	34.1939	21.2076
Ln (K) =	6.43	K =	620.808	m =	0.2179	

Figura 3

Curva de regresión potencial.



En la primera regresión potencial se obtuvo un valor (n) de 0.612, a partir de la segunda regresión potencial, se determinó un valor constante (k) de 620.808 y un coeficiente (m) de 0.2179. Estos valores son fundamentales para desarrollar la ecuación de intensidad (I), donde (T) representa el periodo de retorno y (t) el tiempo de precipitación, con lo que fue posible calcular las intensidades en los intervalos de tiempo considerados (ver tabla 9) para trazar las curvas IDF de la zona (ver figura 4).

$$I = \frac{620.808 * T^{0.2179}}{t^{0.612}}$$

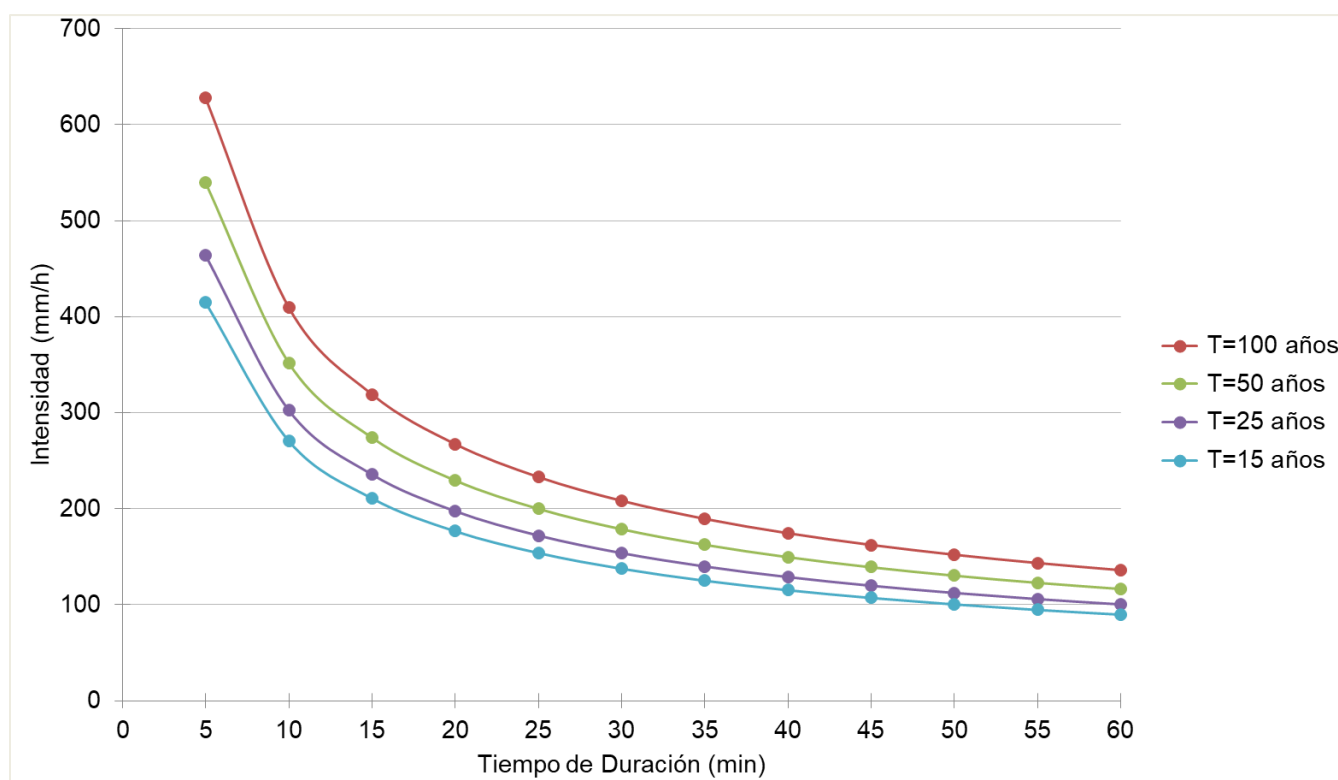
Tabla 13

Intensidades para cada intervalo de tiempo y periodo de retorno.

Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	415.28	270.89	210.98	176.70	153.99	137.63	125.15	115.26	107.19	100.45	94.72	89.77
5	464.17	302.78	235.82	197.50	172.12	153.83	139.88	128.83	119.81	112.28	105.87	100.34
10	539.83	352.13	274.26	229.70	200.18	178.90	162.68	149.83	139.34	130.58	123.13	116.70
50	627.82	409.53	318.97	267.14	232.81	208.06	189.20	174.25	162.05	151.86	143.20	135.72

Figura 4

Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).



Hietograma

Se utilizaron bloques alternos para construir los hietogramas y analizar la distribución de la intensidad de precipitación correspondiente a cada período de retorno, los cuales se detallan en la sección de anexos (figuras 6 a 9), con valores máximos de 37.12 mm para un período de 15 años, 41.49 mm para 25 años, 48.25 mm para 50 años y 56.12 mm para 100 años.

Características Morfométricas

A través de una simulación hidrológica en el software HEC-HMS, considerando la lluvia de diseño fue posible estimar las propiedades morfométricas de la cuenca del Río Mosquito, descritas en las tablas a continuación.

Figura 5

Subcuenca del Río Mosquito en el modelo HEC-HMS.



Tabla 14

Caracterización de la Subcuenca del Río Mosquito.

Subcuenca	Numero de Curva (-)	Área (km ²)	Perímetro (km)
Rio Moquito	86	110.04	50.76

En la tabla 15 se presenta la información general de la cuenca, la cual tiene un área que la clasifica como una cuenca pequeña, al estar en el rango de 25 km² a 250 km² según la clasificación detallada en la tabla 3.

Tabla 15

Características generales de la subcuenca.

Parámetro	Valor
Área (A) [km ²]	110.04
Perímetro (P) [m]	50.76
Longitud del Curso Principal (Lc) [km]	20.58
Longitud Axial (La) [km]	17
Cota Mayor [m]	590
Cota Menor [m]	20
Desnivel altitudinal (DA) [m]	570
Ancho de la Cuenca Hídrica (W) [km]	6.47

Los parámetros de relieve presentados en la tabla 16 indican que la subcuenca posee un coeficiente de compacidad de 1.37, clasificándola como una cuenca oval redonda a oval oblonga, de acuerdo con la tabla 4. El factor de forma o Strahler (Rf) es de 0.38, lo que sugiere que es una sub cuenca es ligeramente alargada según la tabla 5. El índice de alargamiento es de 2.63, denotando una sub moderadamente alargada según la tabla 6. Por último, la relación de elongación de 0.57 indica que la cuenca es muy plana y circular, ya que posee una relación de elongación está entre 0.50 y 0.80.

Tabla 16*Características de forma de la subcuenca.*

Parámetro	Valor
Coeficiente Compacidad o Gravelius (Kc) [-]	1.37
Factor de Forma o Strahler (Rf) [-]	0.38
Índice de Alargamiento (Ia) [-]	2.62
Relación de Elongación (Re) [-]	0.57

En la tabla 17 se muestran los parámetros de relieve, observándose una pendiente media del cauce de 2.8 %, catalogándola como nula o casi a nivel según la tabla 7, y su curva hipsométrica la califica como una de tipo B, que corresponde a una según la figura 10.

Tabla 17*Características de relieve de la subcuenca.*

Parámetro	Valor
Pendiente Media del Cauce (j) [%]	2.80
Pendiente Media de la Cuenca (J) [m/m]	0.007
Curva Hipsométrica [-] (Ver curva en la sección de anexos)	B: Es una cuenca en equilibrio (fase de madurez)

En relación a los parámetros de red hídrica presentados en la tabla 18, la densidad de drenaje de 0.33 km/km², lo que la clasifica como baja la escorrentía y aumenta la infiltración; su río principal es de orden 5, con un tiempo de concentración de 634.8 minutos.

Tabla 18*Características de forma en la red Hídrica.*

Parámetro	Valor
Densidad de Drenaje [km/km ²]	0.33
Número de Orden	5
Tiempo de concentración (tc) [min]	634.8

Simulación Hidráulica

Considerando la morfometría de la cuenca para cada periodo de retorno, se llevó a cabo una simulación hidrológica con el software HEC-HMS, tomando como datos de entrada al número de curva, el tiempo de concentración, las precipitaciones máximas en 24 horas y el tránsito de avenida, logrando estimar los caudales de tránsito presentados en la tabla 19, con un valor de 662.3 m³/s para 15 años, 960.9 m³/s para 25 años, 1523.7 m³/s para 50 años y 2309.3 m³/s para 100 años.

Tabla 19*Caudales máximos probables para cada periodo de retorno.*

Periodo de Retorno (años)	Caudal (m³/s)
15	662.3
25	960.9
50	1523.7
100	2309.3

Discusiones

En la estimación de los caudales máximos probables en la subcuenca del río Mosquito, se consideró las precipitaciones máximas registradas en 24 horas desde la estación meteorológica MA0162-INAMHI; mediante un análisis estadístico de los datos se obtuvo una media de 107.65 mm y una desviación estándar de 83.57 mm, considerando el método de Gumbel para la cantidad de datos, se escogió un factor de ajuste α de 65.16 y μ de 70.03. Mediante estos factores se estimaron las precipitaciones probables para periodos de retorno entre 15, 25, 50 y 100 años, estimando intensidades de lluvia de 12.21 mm/hr para un Tr de 15 años hasta 133.12 mm/hr para un Tr de 100 años. La intensidad de la lluvia, la duración y la probabilidad de ocurrencia se representaron mediante una ecuación de intensidad derivada de regresiones potenciales, obteniendo los datos esenciales para generar las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia), las cuales son fundamentales para la simulación hidráulica de caudales extremos.

Los resultados guardan relación con la investigación de Quiroga *et al.* (2019), quienes estimaron caudales máximos para distintos periodos de retorno a partir de precipitaciones máximas, destacando la importancia de la calidad de los datos para estas estimaciones, y son congruentes con el estudio de Giler y Zambrano (2024), quienes proyectaron una precipitación ajustada de 280 mm para un periodo de retorno de 100 años en la cuenca del Río Chone.

En la caracterización de la subcuenca se obtuvieron los siguientes parámetros morfométricos: área de 110.04 km² y perímetro de 50.76 km que la clasifican como una cuenca pequeña, longitud de curso de agua principal de 20.58 km, longitud axial de 17 km, y desnivel altitudinal de 570 metros entre la cota mayor de 590 m y la cota menor de 20 m, presenta un coeficiente de compacidad de 1.37, que la caracteriza como una cuenca ovalada, y un factor de forma de 0.38, indicando que es ligeramente alargada, mientras que la relación de elongación de

0.57 sugiere que es muy plana y casi circular; su pendiente media del cauce es de 2.8%, catalogada como baja, siendo una cuenca en equilibrio o en fase de madurez, según su curva hipsométrica. Su densidad de drenaje de 0.33 km/km² denotan una baja escorrentía superficial y una mayor infiltración, mientras que su río principal de orden 5 genera un tiempo de concentración de 634.8 minutos que refleja su dinámica hidrológica ante eventos de precipitación.

Los resultados de Gutiérrez *et al.* (2008) muestran similitudes en términos de magnitud con los obtenidos en esta investigación, donde al caracterizar la subcuenca del río Mosquito dentro de la cuenca del río Chone, obtuvieron un área de drenaje de 112.41 km², un perímetro de 53.20 km, y una longitud del río de 24.30 km; ambos estudios señalan características morfométricas similares en cuanto al coeficiente de compacidad (1.41 vs 1.37) y factor de forma (0.36 vs 0.38), reforzando la consistencia en la identificación de una cuenca de forma ovalada y ligeramente alargada, pero la diferencia en la pendiente del río y el tiempo de concentración denotan variaciones en la dinámica hidrológica.

Mediante la simulación hidrológica de la subcuenca del río Mosquito en el software HEC-HMS, se pudo estimar los caudales máximos esperados para diferentes periodos de retorno, considerando las características del terreno, la precipitación máxima en 24 horas, y el tiempo de concentración, siendo 662.3 m³/s para un periodo de retorno de 15 años, 960.9 m³/s para 25 años, 1523.7 m³/s para 50 años, y 2309.3 m³/s para 100 años, Los caudales no coinciden con los obtenidos por el estudio de Gutiérrez *et al.* (2008) en la misma zona, quienes obtuvieron valores de 43 m³/s, 53 m³/s, 70 m³/s, 82 m³/s, 96 m³/s para periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, donde la discrepancia se debe a diferencias en los modelos hidrológicos, siendo el de esta investigación más confiable por su uso de datos actualizados, mayor resolución espacial y temporal, y mejor estimación de parámetros, lo que reduce la incertidumbre y mejora la precisión.

Los caudales obtenidos señalan que hay un aumento significativo en el riesgo de inundación a medida que se incrementan los periodos de retorno, pudiendo conllevar a desbordamientos que afectan la infraestructura existente como caminos y puentes, provocando daños en las zonas agrícolas y viviendas; siendo fundamental identificar áreas vulnerables para desarrollar estrategias de mitigación efectivas que protejan las comunidades como San Andrés, El Mate, El Guabal, El Bejuco y los sectores céntricos más bajos, reduciendo las pérdidas económicas y humanas.

Conclusiones

La lluvia de diseño en la subcuenca del río Mosquito estimada mediante el método de Gumbel y basada en datos de la estación MA0162-INAMHI, permitió determinar las precipitaciones máximas probables para periodos de retorno entre 15 y 100 años, siendo esenciales para predecir caudales extremos y planificar infraestructuras hidráulicas.

La caracterización morfométrica denotó que es una cuenca pequeña, ligeramente alargada y con baja pendiente, siendo los factores influyentes ante su respuesta hidrológica durante eventos de lluvia, generando una baja esorrentía y un elevado tiempo de concentración.

Los caudales máximos estimados de 662.3 m³/s, 960.9 m³/s, 1523.7 m³/s y 2309.3 m³/s para los periodos de retorno de 15, 25, 50 y 100 años, permiten evaluar el riesgo de inundación, planificar medidas de mitigación y garantizar la sostenibilidad de la subcuenca, pero los efectos del cambio climático podrían alterar tanto la frecuencia como la intensidad de las precipitaciones, modificando los caudales y aumentando la incertidumbre.

Recomendaciones

Se sugiere implementar un sistema continuo de monitoreo de precipitaciones en la subcuenca para actualizar periódicamente los análisis estadísticos y las curvas IDF, en busca de optimizar las medidas de prevención de inundaciones.

Dada la morfometría de la subcuenca, es esencial actualizar las áreas de infiltración natural para desarrollar proyectos de manejo del suelo y agua, buscando reducir la erosión y mejorar la capacidad de absorción del terreno.

Como medidas de mitigación de las inundaciones basadas en los caudales estimados, se sugiere la implementación de obras de bioingeniería mediante especies nativas y la forestación estratégica, siendo una solución que estabiliza el suelo, reduce la velocidad de la escorrentía, y mejora la infiltración.

Bibliografía

- Alcántara, J. (2015). *Caracterización hidromorfológica de la microcuenca Puylucana - Baños del Inca - Cajamarca, mediante la aplicación de ArcGIS*. Obtenido de Universidad Nacional de Cajamarca: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/102>
- Aroca, J., Benavidez, M., Cevallos, D., Gómez, M., Hidalgo, J., y Erazo, J. (2016). *Proyecto Multipropósito Chone*. Obtenido de Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador: https://www.academia.edu/25705265/AVANCE_CUENCA_RIO_CHONE
- Benítez, M. (2018). *La Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) como herramienta para contribuir al proceso de adaptación del Cambio Climático en la Cuenca Transfronteriza Catamayo-Chira*. Obtenido de Universidad Andina Simón Bolívar Sede Ecuador: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6438/1/T2746-MCCNA-Benitez-La%20gestion.pdf>
- Borja, M. (2016). *Metodología de Investigación Científica para ingeniería Civil*. Obtenido de ACADEMIA: https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa_de_Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_para_ingenier%C3%ADa_Civil
- Cabrera, J., Timbre, L., y Crespo, P. (2019). *Evaluación del modelo HEC-HMS para la simulación hidrológica de una cuenca de páramo*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <https://www.redalyc.org/journal/496/49662789043/html/>
- Camino, M., Bo, J., Cionchi, J., Del Rio, J., López, A., y Marco, S. (2018). *Estudio morfológico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires*.

- Obtenido de Revista Universitaria de Geografía, Volumen 18:
<https://www.redalyc.org/journal/3832/383257036005/383257036005.pdf>
- Campos, D. (1992). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. San Luis de Potosí: Editorial Universitaria Potosina. San Luis Potosí, México.
- Cañuelas, A. (2018). *Lluvias de Diseño*. Obtenido de Instituto Nacional del Agua, Argentina:
https://www.ina.gov.ar/cirsa/hidrologia/pdf/INA_CIRSA_Lluvias_de_Disenio.pdf
- Castillo, C., Abreu, D., y Álvarez, M. (2021). *Evaluación de distintas fórmulas empíricas para el cálculo del tiempo de concentración en la cuenca urbana del río Bélico y Cubanicay, ciudad de Santa Clara*. Obtenido de Revista Enfoque UTE:
https://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/public/journals/1/html_v12n3/art005.html
- Castro, F. (2023). *Atenuadores de Escorrentía para la Quebrada Cañitas, Parroquia Charapotó, Manabí, Utilizando Herramientas SIG*. Obtenido de Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Volumen 7, Ecuador: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.6841
- Cornejo, M., Zorrilla, D., Flores, S., Bermúdez, N., y Estacio, J. (2013). *Análisis de vulnerabilidad del cantón Chone. Perfil Territorial 2013*. Obtenido de Centro del Agua y Desarrollo Sustentable y ESPOL: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56772.pdf>
- Cozzi, J. (2023). *Vulnerabilidad social y comunicación en la reducción de riesgo de desastres. riesgo multiforme, exposición pandémica y adaptación climática en Argentina y Brasil*. Obtenido de Universidad Rovira, Virgili:
<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/689874/TESI%20Juan%20Manuel%20Francisco%20Cozzi%20Marini.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Cunge, J. (1969). *On the subject of A flood propagation computation method*. Obtenido de Journal of Hydraulic Research: <https://doi.org/10.1080/00221686909500264>
- Espinoza, J., y Pérez, S. (2019). *Caracterización hidrológica de una cuenca mediante un sistema de información geográfico caso de estudio cuenca del río Casacay*. Obtenido de Universidad Técnica de Machala: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14126>
- Fernández, P. (2016). *Acerca de los enfoques cuantitativo y cualitativo en la investigación educativa cubana actual*. Obtenido de Instituto Central de Ciencias Pedagógicas, Cuba: <https://www.redalyc.org/journal/4780/478054643001/html/>
- Giler, A., Zambrano, X., Chila, J., Arcentales, D., Guadamúd, J., Félix, J., Alarcón, J. (2019). *Análisis del comportamiento hidrológico de cuencas hidrográficas tropicales utilizando índices: estudio de caso en la región costera del Ecuador*. Obtenido de Universidad Central de Venezuela, Venezuela: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72164777003>
- Giler, P., y Zambrano E. (2024). *Curvas Intensidad Duración Frecuencia y hietograma de una precipitación sintética para la cuenca del Río Chone*. Obtenido de Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología, volumen 8: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/6409/8212>
- Gutiérrez, C., Góngora, E., Melo, P. y Vaca, A. (2008). *Proyecto sistema de alerta temprana de control de inundaciones en la cuenda del río Chone Ecuador*. Obtenido de Instituto Nacional de Metereología e Hidrología – INAMHI, Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la alimentación FAO: <https://issuu.com/inamhi/docs/chone>

Horton, R. (1945). *Erosion al development of streams and their drainage basins: hydrographical approach to quantitative morphology*. Obtenido de Geological Society of America Bulletin, 56. 275-370.

Ibáñez, S., Moreno, H., y Gisbert, J. (2011). *Método para la determinación del coeficiente de escorrentía C*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10781/Coeficiente%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf>

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR [IGM]. (2024). *Geoportales IGM*. Obtenidos de:
<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA [INAMHI]. (2024).
Biblioteca- Inamhi. Obtenido de Publicaciones metereológicas.

Londoño, A. (2022). *Delimitación Hidrográfica y Caracterización Morfométrica de la Cuenca*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador:
https://aulavirtual.espol.edu.ec/courses/13992/files/3087254/download?download_frd=1

Marcus, R., Valle, M., Elizalde, E., Marcor, J., y Cristina, I. (2019). *Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia de la estación metereológica del CIM-FICH*. Serie 1986 - 2016. Obtenido de Universidad Nacional del Litoral., Argentina:
<http://portal.amelica.org/ameli/journal/242/2421204007/html/>

Martínez, Y., y Villalejo, V. (2018). *La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos*. Obtenido de Revista Scielo, Volumen 39, Ingeniería Hidráulica y Ambiental: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382018000100005

Mueses, J., y Morales, J. (2018). *Diseño hidrológico e Hidráulico del puente sobre el río Jama*.

Obtenido de Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador:

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14895/1/T-ESPE-040162.pdf>

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION [NASA]. (2024). *Shuttle*

Radar Topography Mission (SRTM). Obtenido de:

<https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/srtm>

NACIONES UNIDAS. (2015). *Decenio Internacional para la Acción “El agua, fuente de vida”*

2005-2015. Obtenido de Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones

Unidas:

[https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml#:~:text=El%20agua%20tambi%C3%A9n%20est%C3%A1%20en,renovable%20si%20est%C3%A1%20bien%20gestionado.)

[#:~:text=El%20agua%20tambi%C3%A9n%20est%C3%A1%20en,renovable%20si%20est%C3%A1%20bien%20gestionado.](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml#:~:text=El%20agua%20tambi%C3%A9n%20est%C3%A1%20en,renovable%20si%20est%C3%A1%20bien%20gestionado.)

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA

AGRICULTURA [FAO]. (2013). *Afrontar la escasez de agua Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. Obtenido de

<https://www.fao.org/3/i3015s/i3015s.pdf>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA

AGRICULTURA [FAO]. (2011). *El estado de los recursos de tierras y agua del mundo para la alimentación y la agricultura*. Obtenido de

<https://www.fao.org/3/i1688s/i1688s.pdf>

- Pizarro, R., Abarza, A., Farias, C., y Jordán, C. (2003). *Construcción de Curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) en zonas semiáridas de Chile central*. Obtenido de:
<https://www.fao.org/3/XII/0397-B3.htm>
- Quiroga, L., Heredia, M., Brito, M., y Salazar, S. (2019). *Determinación de los caudales máximos ocurridos en la microcuenca del río Pichan, cantón Quito, provincia de Pichincha, usando HEC-HMS para un tiempo de retorno de 5, 25 y 50 años*. Obtenido de Revista Ciencia Digita, volumen 3: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.6.514>
- Sánchez, J. (2013). *Valores extremos de distribución de Gumbel*. Obtenido de Universidad Salamanca, España: https://hidrologia.usal.es/temas/calculos_esta.pdf
- Sarría, A. (2016). *Sistemas de Información Geográfica*. Obtenido de Universidad de Murcia, España: <https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>
- Smichowski, H., y Contreras, F. (2022). *Índice de Alargamiento (Ia)*. Obtenido de Revista Geográfica de América Central:
<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/16294>
- Strahler, A. (1952). *Dynamic Basis of Geomorphology*. Obtenido de Revista Geological Society of America Bulletin, 63, 923-938: [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[923:DBOG\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[923:DBOG]2.0.CO;2)
- Strahler, A. (1957). *Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology*. Obtenido de Revista Transactions, American Geophysical Union, 38, 913-920:
<http://dx.doi.org/10.1029/TR038i006p00913>
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE [USDA] (1986). *Urban Hydrology for Smallwatersheds*. Obtenido de: <https://tamug-ir.tdl.org/handle/1969.3/24438>

Villela, S. y Mattos, A. (1975). *Hidrología aplicada*. Obtenido de McGraw-Hill do Brasil, Sao Paulo, 245 p.

Xanay, S. (2020). *Diferentes soluciones para la delimitación y codificación de cuencas superficiales cubanas*. Obtenido de Revista Scielo, Volumen 41, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae):

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382020000200075

Zambrano, X., Chila, J., Arcentales, D., Guadamud, J., Félix, J., Caicedo, M., Alarcón, J. (2019).

Análisis del comportamiento hidrológico de cuencas hidrográficas tropicales utilizando índices: estudio de caso en la región costa del Ecuador. Obtenido de Revista Terra, volumen 35: <https://www.redalyc.org/journal/721/72164777003/72164777003.pdf>

Zhicay, J. (2020). *Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, cantón Gualaceo*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18364/1/UPS-CT008684.pdf>

Anexos

Tabla 20

Coefficientes de escorrentía.

Cobertura del suelo	Tipo de suelo	Pendiente (%)				
		> 50	20 – 50	5 – 20	1 – 5	0 – 1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,40	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente: Ibáñez et al. (2011).

Tabla 21

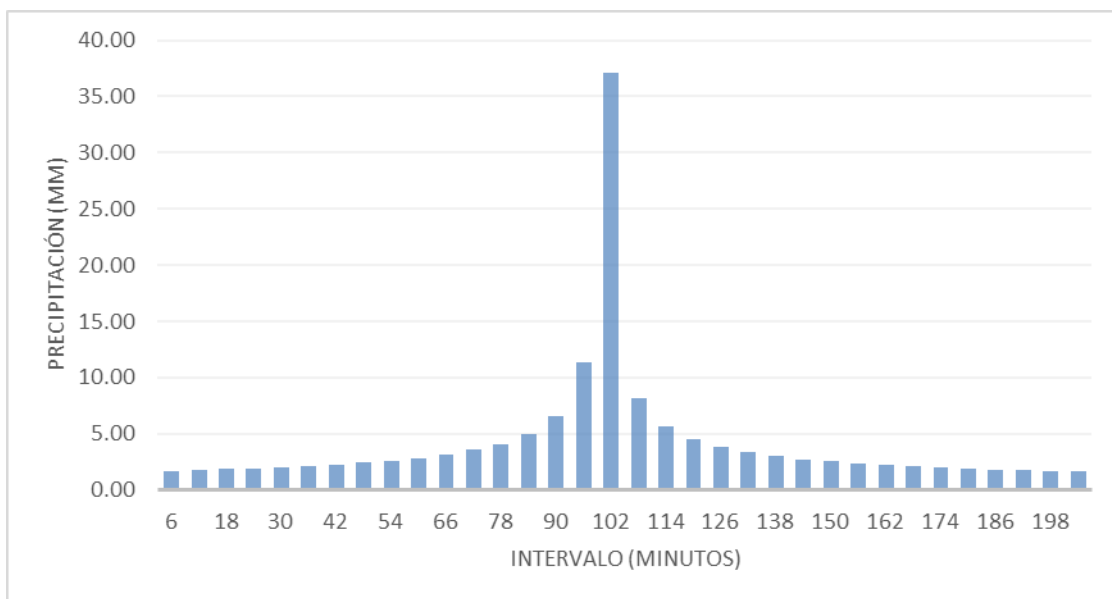
Números de Curvas.

Descripción del Uso						
Uso del Suelo	Promedio área impermeable	Condición Hidrológica	Grupo Hidrológico del Suelo			
			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						
Explanaciones (zonas permeables, sin vegetación)			77	86	91	94

Fuente: United States Department of Agriculture (USDA), 1986.

Figura 6

Distribución de intensidad para precipitación con $Tr = 15$ años.

**Figura 7**

Distribución de intensidad para precipitación con $Tr = 25$ años.

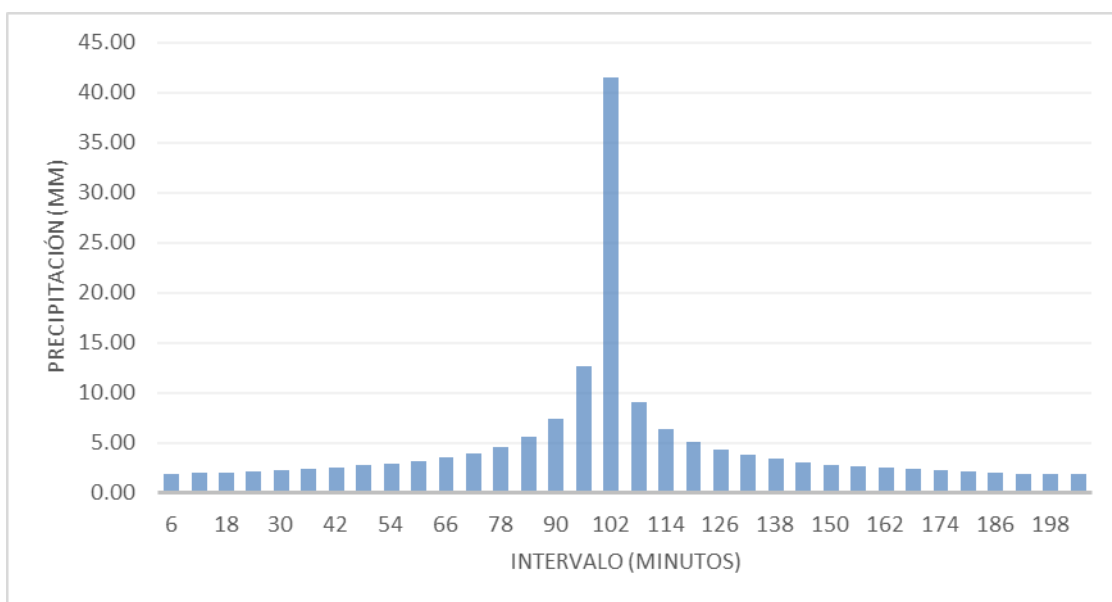
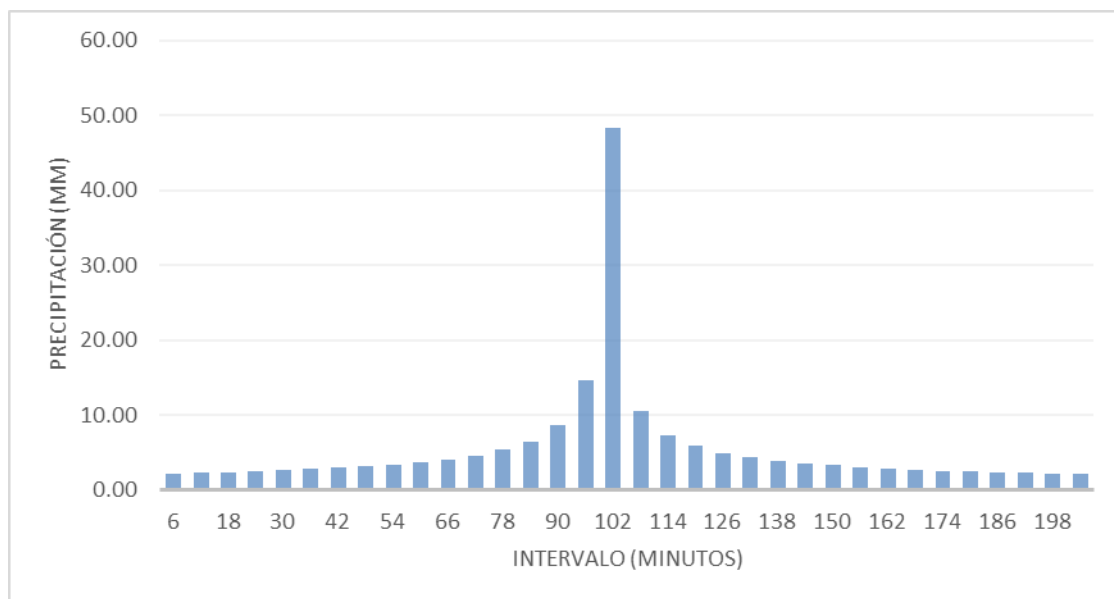


Figura 8

Distribución de intensidad para precipitación con $Tr = 50$ años.

**Figura 9**

Distribución de intensidad para precipitación con $Tr = 100$ años.

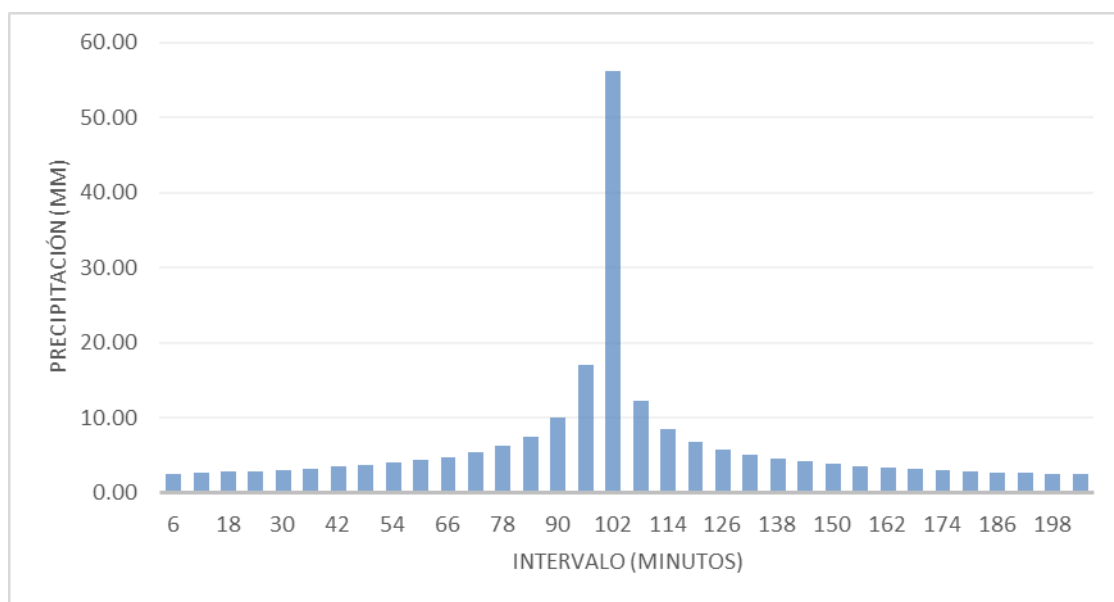


Tabla 22

Áreas entre las curvas de nivel en la subcuenca.

N°	Cota (msnm)			Área (km2)					
	Mínima	Máxima	Promedio "Ci"	Área Parcial (km²) "Ai"	Área Acumulada (km²)	Área que queda sobre la superficie (km²)	Porcentaje de área entre C.N.	Porcentaje de área sobre C.N.	Ci*Ai
1	0.59	44.61	22.6	18.275	18.27	76.91	23.76%	100.0	413.03
2	44.61	88.63	66.6	17.911	36.19	58.64	23.29%	76.2	1193.18
3	88.63	132.64	110.6	17.644	53.83	40.72	22.94%	53.0	1951.99
4	132.64	176.66	154.6	11.216	65.05	23.08	14.58%	30.0	1734.58
5	176.66	220.67	198.7	5.794	70.84	11.86	7.53%	15.4	1151.04
6	220.67	264.69	242.7	2.357	73.20	6.07	3.06%	7.9	571.90
7	264.69	308.70	286.7	1.629	74.83	3.71	2.12%	4.8	466.97
8	308.71	352.72	330.7	1.097	75.92	2.09	1.43%	2.7	362.69
9	352.73	396.73	374.7	0.828	76.75	0.99	1.08%	1.3	310.17
10	396.74	440.75	418.7	0.161	76.91	0.16	0.21%	0.2	67.55
				76.9108				100%	8223.10

Figura 10

Curva hipsométrica.

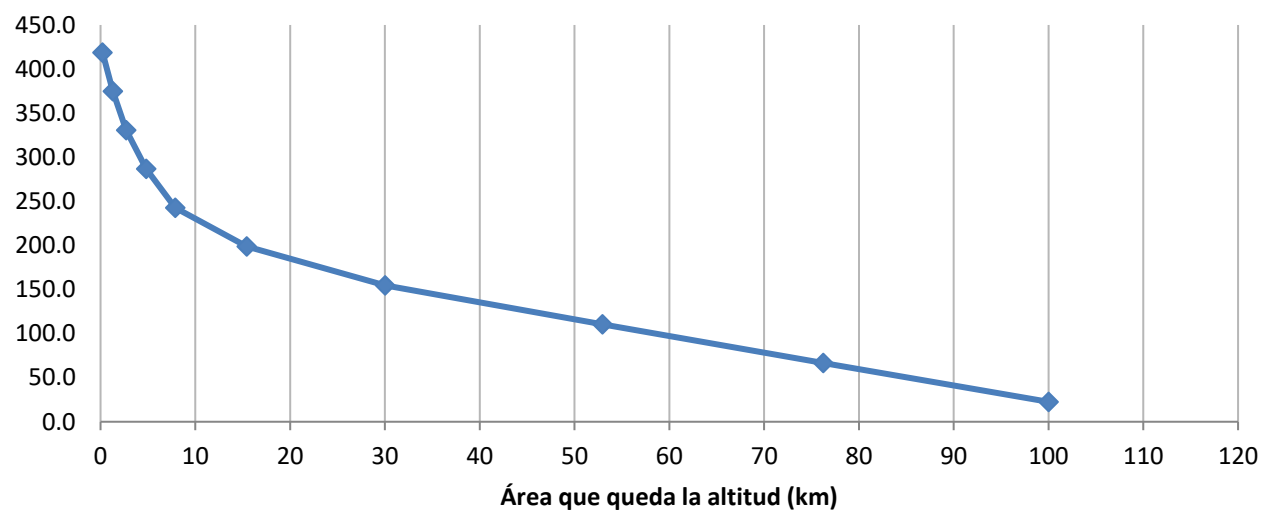


Figura 11

Hietograma y caudal de la subcuenca para un $Tr = 15$ años.

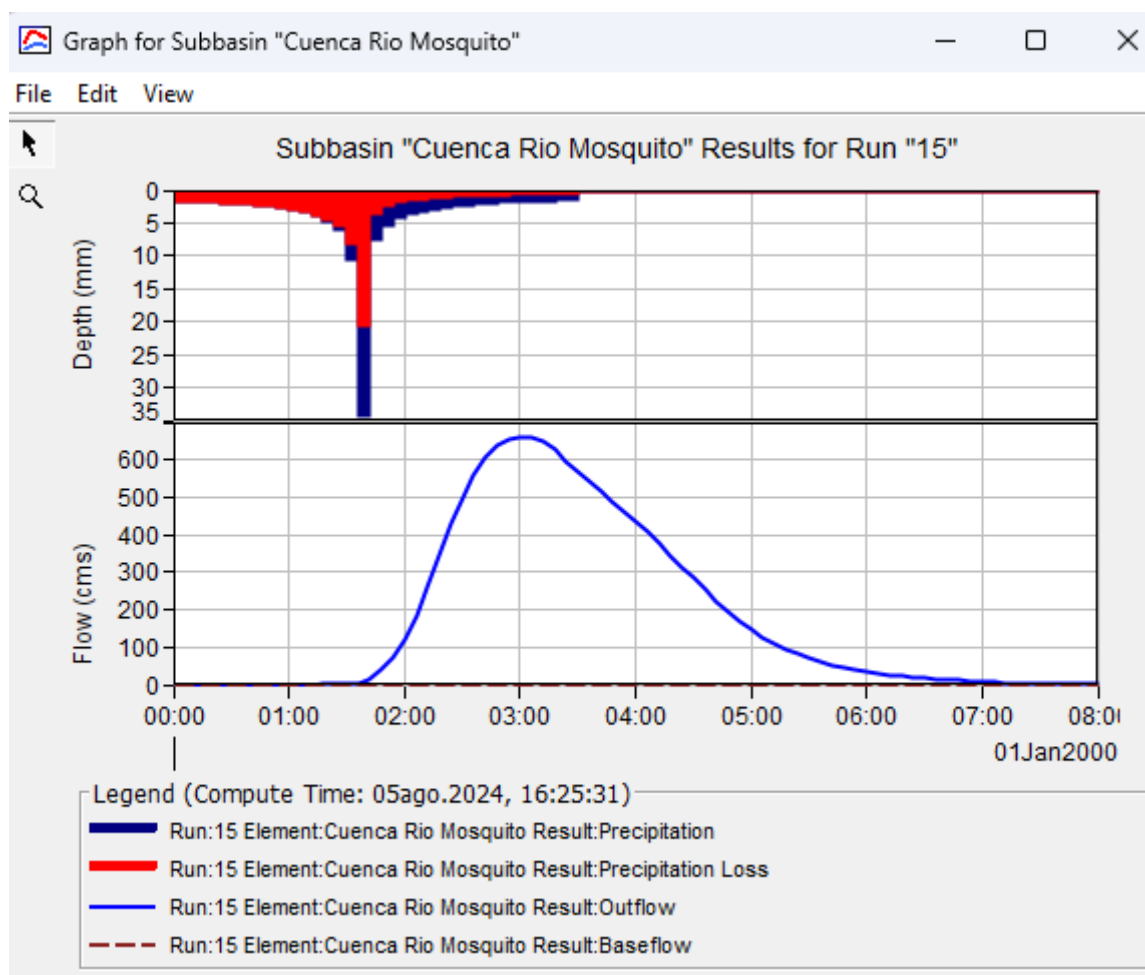


Figura 12

Hietograma y caudal de la subcuenca para un $Tr = 25$ años.

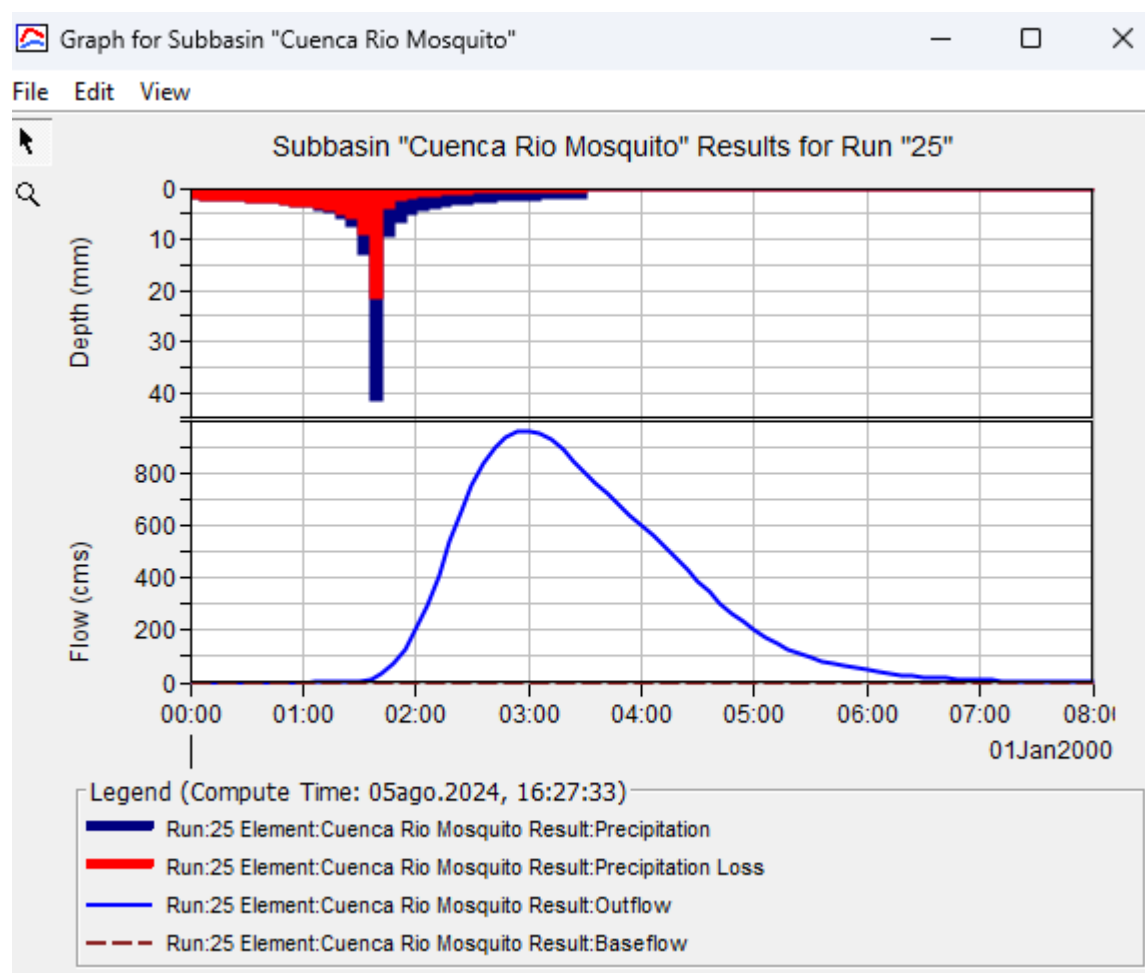


Figura 13

Hietograma y caudal de la subcuenca para un $Tr = 50$ años.

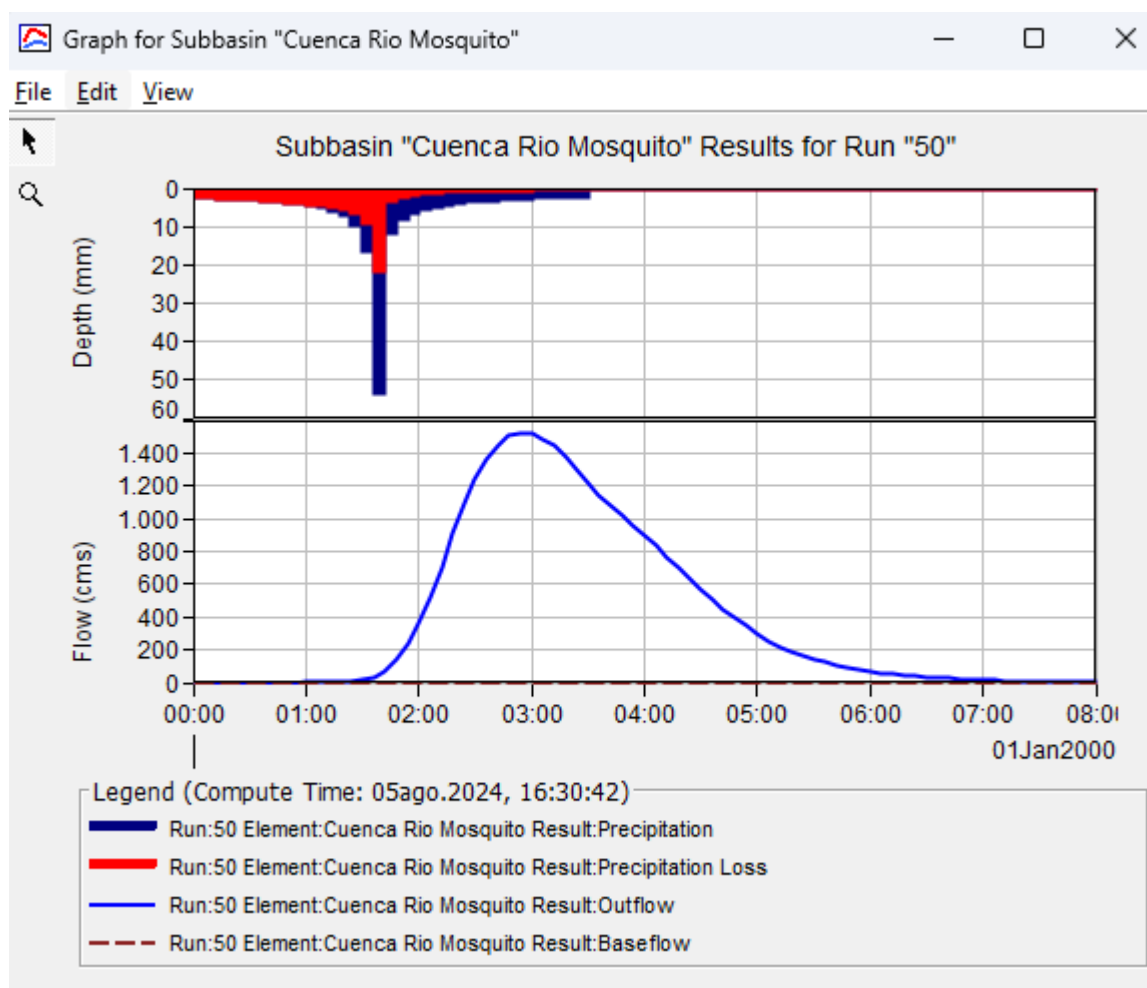


Figura 14

Hietograma y caudal de la subcuenca para un $Tr = 100$ años.

