



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

MANABÍ

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

**TRABAJO DE TITULACIÓN
MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RIO CAÑA-
UPHLMA004, DEMARCACIÓN HIDROGRAFICA DE 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
INGENIERO HIDRÁULICO**

**AUTOR
LUIS ERNESTO VARGAS CENTENO**

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

PORTOVIEJO, JULIO 2025

Certificación de la Tesis

Ing. Yandri Xavier Vélez Molina, 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. Fabián 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. Fabián Rodrigo Espinales Cedeño. M.Sc.

Presidente del tribunal

(F)_____

Ing. José Ramón Alarcón Llor, M. Sc.

Primer Lector

(F)_____

Ing. Jimmy Leandro Reyes Zambrano, 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. _____

Luis Ernesto Vargas Centeno
Dirección: Portoviejo, ciudadela Los Mangos.
E-mail: lvargas0376@pucesm.edu.ec
Celular: 098 560 4306

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. _____
Luis Ernesto Vargas Centeno
C.I. 131223037-6

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi madre, Priscila, por ser mi mayor inspiración, por su amor incondicional y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la dedicación. A mi padre, Marlon, cuya fortaleza, consejos y apoyo constante me han dado la confianza para superar cada desafío.

A mi abuela, María Piedad, que con su recuerdo sigue siendo una guía y una fuente de inspiración en cada paso que doy, por dejar en mi vida un legado de amor, fortaleza, y sabiduría.

A Philly, mi fiel compañero, cuya presencia silenciosa y tierna fue un consuelo en los momentos de mayor exigencia.

A mis amigos Juan, Luis Fernando, Ángelo y Sebastián, quienes, con su amistad sincera, palabras de aliento y compañía en este proceso hicieron que el camino fuera más llevadero, cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi vida, y este logro no habría sido posible sin su apoyo y confianza.

Luis Ernesto Vargas Centeno

Agradecimiento

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mis padres, quienes, con su apoyo constante, esfuerzo y ejemplo han sido fundamentales en mi formación académica y personal.

A mis amigos, por su compañerismo y respaldo en las diferentes etapas de este proceso, aportando siempre un ambiente de confianza y motivación.

A mis profesores, por compartir sus conocimientos, experiencias y tiempo, guiándome con profesionalismo, dedicación y paciencia a lo largo de mi formación.

Extiendo también mi gratitud a todas aquellas personas que, de forma directa o indirecta, contribuyeron a mi crecimiento, ya sea con consejos, recursos, oportunidades o palabras oportunas, este trabajo es el resultado de un esfuerzo colectivo, donde cada aporte ha sido clave para alcanzar este objetivo académico.

Luis Ernesto Vargas Centeno

Resumen

Su propósito es modelar hidrológicamente la cuenca del Río Caña en Jama, Manabí. Por tanto, la investigación descriptiva no experimental se desarrolló en el mes de enero del 2025 identificando datos cuantitativos de precipitación, infiltración, escorrentía, intensidad, número de curva y tiempo de concentración para modelarlos en el software HEC-HMS, a fin de caracterizar parámetros generales, de forma, relieve y de la red hídrica, para la determinación del flujo de agua mediante el modelo Muskingum-Cunge en periodos de retorno de 2, 5, 15, 25, 50 y 100 años. Se analizaron las precipitaciones máximas en 24 horas entre 1994 y 2023, obteniendo una media de 63.03 mm y una desviación estándar de 27.04 mm, donde las precipitaciones aumentan de 57.44 mm (2 años) a 171.52 mm (100 años), mientras que la probabilidad de ocurrencia disminuye del 50 % al 1 %, los hietogramas reflejan intensidades máximas de 19.13 mm (2 y 25 años), 16.99 mm (5 y 15 años), 22.47 mm (50 años) y 26.39 mm (100 años); la cuenca posee un área de 1372.08 km² y un curso principal de 58.67 km, presenta forma oval-oblonga, un coeficiente de compacidad de 1.40, pendientes medias del 1.10 % (cauce) y 2 % (cuenca), y alta infiltración; su río principal de orden 5 tiene un tiempo de concentración de 534.08 minutos, con caudales picos que varían de 589.1 m³/s (2 años) a 5298.6 m³/s (100 años). Se concluye que la cuenca es equilibrada, con una alta infiltración y riesgos crecientes de caudales extremos.

Palabras clave: precipitación, infiltración, caudales.

Abstract

The purpose of this study is to hydrologically model the Caña River basin in Jama, Manabí. Accordingly, this nonexperimental descriptive research was conducted in January 2025, identifying quantitative data on precipitation, infiltration, runoff, intensity, curve number, and time of concentration to model them using the HEC-HMS software. The goal was to characterize general parameters related to shape, relief, and the hydrographic network, in order to determine water flow using the Muskingum-Cunge model for return periods of 2, 5, 15, 25, 50, and 100 years. Maximum 24-hour precipitation data from 1994 to 2023 were analyzed, yielding an average of 63.03 mm and a standard deviation of 27.04 mm. Precipitation increases from 57.44 mm (2-year return period) to 171.52 mm (100-year return period), while the probability of occurrence decreases from 50% to 1%. The hyetographs reflect maximum intensities of 19.13 mm (2 and 25 years), 16.99 mm (5 and 15 years), 22.47 mm (50 years), and 26.39 mm (100 years). The basin covers an area of 1,372.08 km² with a main channel length of 58.67 km. It has an oval-oblong shape, a compactness coefficient of 1.40, average slopes of 1.10% (channel) and 2% (basin), and high infiltration. Its main river, classified as order 5, has a concentration time of 534.08 minutes, with peak flows ranging from 589.1 m³/s (2 years) to 5,298.6 m³/s (100 years). The study concludes that the basin is balanced, with high infiltration and increasing risks of extreme flows.

Keywords: Precipitation, infiltration, streamflow.

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	13
Índice de Tablas	14
Índice de Formulas.....	16
Introducción	17
Objetivos	20
Objetivo General	20
Objetivos Específicos.....	20
Materiales y Métodos.....	21
Características de la investigación	21
Características del Lugar.....	21
Información Base de Parametrización del modelo en el software HEC-HMS	22
Geometría de la Cuenca.....	22
Información de Elevación, Textura y cobertura Empleados	23

Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF).....	23
Modelo de Precipitación -Escorrentía	31
Tiempo de Concentración (tc)	33
Tiempo de Rezago (tg)	34
Modelación Hidrológica de la Cuenca.....	34
Características Generales.....	35
Características de Forma	37
Características del Relieve.....	40
Características de la Red Hídrica.....	42
Modelación Hidráulica de la Cuenca	43
Resultados	44
Identificación de información base para modelado en el software HEC-HMS	44
Hietogramas de precipitación	49
Caracterizar morfométricamente la cuenca del río Caña	53
Características generales.....	53
Características de forma	54
Características de relieve	55
Características de la red hídrica.....	57
Flujo de agua en la cuenca del río Caña.....	58
Discusiones	60

Conclusiones	63
Recomendaciones.....	64
Bibliografía	65
Anexos	73

Índice de Figuras

Figura 1. Localización de la cuenca del río Caña en Jama - Manabí.....	21
Figura 2. Cuencas hidrográficas sectorizadas de la provincia de Manabí	22
Figura 3. Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión.....	41
Figura 4. Curva de regresión potencial	47
Figura 5. Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).	48
Figura 6. Hietograma de precipitación con periodo de retorno de 2 años	49
Figura 7. Hietograma de precipitación con periodo de retorno de 5 años	50
Figura 8. Hietograma de precipitación con periodo de retorno de 15 años	50
Figura 9. Hietograma de precipitación con periodo de retorno de 25 años	51
Figura 10. Hietograma de precipitación con periodo de retorno de 50 años	51
Figura 11. Hietograma de precipitación con periodo de retorno de 100 años	52
Figura 12. Cuenca del Río Caña en Jama modelada en HEC-HMS.....	53
Figura 13. Curva Hipsométrica de la cuenca del Río Caña	56
Figura 14. Polígono de frecuencia de altitudes	56
Figura 15. Representación de hietograma y caudal para un $Tr = 2$ años	79
Figura 16. Representación de hietograma y caudal para un $Tr = 5$ años	80
Figura 17. Representación de hietograma y caudal para un $Tr = 15$ años	80
Figura 18. Representación de hietograma y caudal para un $Tr = 25$ años	81
Figura 19. Representación de hietograma y caudal para un $Tr = 50$ años	81
Figura 20. Representación de hietograma y caudal para un $Tr = 100$ años	82

Índice de Tablas

Tabla 1: Propiedades de los archivos empleados	23
Tabla 2: Comparativa entre distribuciones de probabilidad	24
Tabla 3: Variables σ_y y μ_y según la cantidad de datos de Gumbel	27
Tabla 4: Precipitaciones máximas 24 horas de JAMA M167 y CARIMANGA M146....	30
Tabla 5: Números de Curvas	32
Tabla 6: Clasificación de la cuenca según su área	35
Tabla 7: Categorización según su K_c	37
Tabla 8: Categorización según su R_f	38
Tabla 9: Categorización según I_a	39
Tabla 10: Clasificación según la pendiente	41
Tabla 11: Categorización según Strahler y Horton	42
Tabla 12: Valores promedios y factores de Gumbel considerados	44
Tabla 13: Precipitaciones Máximas Probables.	45
Tabla 14: Intensidades Diarias de lluvia.	46
Tabla 15: Regresión Potencial (Primera)	46
Tabla 16: Regresión Potencial (Segunda).	47
Tabla 17: Intensidades para cada intervalo de tiempo y periodo de retorno.....	48
Tabla 18: Aspectos clave en la simulación hidrológica en el software HEC-HMS	52
Tabla 19: Características generales de la cuenca	54
Tabla 20: Características de forma de la cuenca	55
Tabla 21: Características de relieve de la subcuenca	56
Tabla 22: Características de la red Hídrica	57
Tabla 23: Caudales máximos probables para cada periodo de retorno	58

Tabla 24: Hietograma para periodo retorno 2 años	73
Tabla 25: Hietograma para periodo retorno 5 años	74
Tabla 26: Hietograma para periodo retorno 15 años	75
Tabla 27: Hietograma para periodo retorno 25 años	76
Tabla 28: Hietograma para periodo retorno 50 años	77
Tabla 29: Hietograma para periodo retorno 100 años	78
Tabla 30: Cuadro de áreas entre curvas de nivel de Curva Hipsométrica	79

Índice de Formulas

Fórmula 1. Media estadística.	25
Fórmula 2. Desviación estándar.....	25
Fórmula 3. Probabilidad de Gumbel.....	26
Fórmula 4. Probabilidad de Gumbel.....	26
Fórmula 5. Probabilidad de ocurrencia.	27
Fórmula 6. Precipitación.....	26
Fórmula 7. Corrección de intervalos fijos.....	27
Fórmula 8. Intensidades de Lluvia.....	29
Fórmula 9. Analítica para construir la ecuación de intensidad.....	29
Fórmula 10. Escorrentía mediante método de SCS	31
Fórmula 11. Capacidad de almacenamiento	31
Fórmula 12. Tiempo de concentración mediante Kirpich	33
Fórmula 13. Tiempo de concentración mediante California	33
Fórmula 14. Tiempo de concentración mediante SCS.....	33
Fórmula 15. Tiempo de rezago.	34
Fórmula 16. Ancho de la cuenca hídrica	36
Fórmula 17. Coeficiente de compacidad	37
Fórmula 18. Factor de forma	38
Fórmula 19. Índice de Alargamiento	39
Fórmula 20. Relación de elongación	40
Fórmula 21. Pendiente media del cauce	40
Fórmula 22. Densidad de drenaje	42

Introducción

Las cuencas hidrográficas enfrentan una creciente presión debido a factores como el cambio climático, la expansión urbana descontrolada y las actividades agrícolas intensivas (GRUPO BANCO MUNDIAL, 2024), que alteran de manera significativa el ciclo hidrológico y aumentan la frecuencia e intensidad de eventos extremos, como inundaciones y sequías. En este contexto, se hace imprescindible implementar una gestión integral del agua que garantice la seguridad hídrica y preserve los ecosistemas en las zonas vulnerables. Para ello, estrategias como la evaluación hidrológica son esenciales, ya que permiten comprender los procesos involucrados y diseñar estrategias de mitigación efectivas (Araque *et al.*, 2019; Mirassou, 2019).

En América Latina, la gestión de cuencas hidrográficas enfrenta importantes desafíos, debido a la variabilidad climática, la degradación ambiental y la falta de infraestructuras adecuada, los cuales se ven agravados por fenómenos climáticos como El Niño y La Niña, que afectan la disponibilidad de agua, particularmente en países en desarrollo como Ecuador, Colombia y Perú (Magrin, 2015). A esto se suma la creciente tasa de deforestación y la urbanización descontrolada, que impactan tanto la calidad como la cantidad del agua disponible, resaltando la necesidad de comprender el comportamiento hidrológico de las cuencas para desarrollar planes de manejo adaptados a las realidades locales (Dourojeanni *et al.*, 2002).

En Ecuador, esta problemática es particularmente evidente debido a su diversidad climática, que complica el manejo de los recursos hídricos, donde en provincias como Manabí, cuyo desarrollo depende en gran medida de la agricultura, el régimen hídrico variable genera problemas como la erosión, sedimentación y escasez durante los períodos secos (Bárcena *et al.*, 2012). En la cuenca del río Caña, en Jama, se percibe la urgente necesidad de realizar

evaluaciones hidrológicas específicas para abordar los desafíos locales y proponer soluciones sostenibles (Baquerizo *et al.*, 2024)

La cuenca del río Caña, en el cantón Jama, es fundamental para el desarrollo socioeconómico regional, ya que proporciona agua para la agricultura, la ganadería y el consumo humano, además de regular el ciclo hidrológico local. Sin embargo, enfrenta crecientes presiones debido a la urbanización, la expansión agrícola y los efectos del cambio climático, lo que pone en riesgo su sostenibilidad (Xinqiang *et al.*, 2016). Baquerizo *et al.* (2024) destacan que la cuenca posee una topografía montañosa y valles, lo que influye en su dinámica ambiental, además, la calidad del agua se ve afectada por las descargas residuales provenientes de zonas urbanas y el manejo inadecuado de aguas servidas. Por lo tanto, es necesario implementar estrategias de conservación integrales, que incluyan prácticas agrícolas sostenibles y la regulación de actividades en zonas de recarga hídrica, para garantizar la disponibilidad de agua para las futuras generaciones.

El análisis de los procesos de lluvia-escorrentía, la dinámica del flujo hídrico y los patrones de distribución del agua es esencial para identificar áreas vulnerables, estimar caudales máximos y diseñar estrategias de mitigación de riesgos, como lo indica Castro (2023). Además, la evaluación del comportamiento hidrológico de la cuenca bajo diferentes escenarios, mediante herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y modelos hidrológicos como HEC-HMS, es clave para planificar el recurso hídrico y fortalecer la resiliencia frente a eventos climáticos extremos. Estos estudios, que integran datos topográficos, hidrometeorológicos y de uso del suelo, son fundamentales para una planificación efectiva del recurso (Benítez y Ordoñez, 2018).

Este tema es de gran relevancia, ya que la presión sobre las cuencas hidrográficas sigue creciendo, especialmente por los efectos del cambio climático. La cuenca del río Caña en Jama, aunque poco intervenida en términos de investigación, desempeña un papel crucial en el desarrollo socioeconómico de la región. Su importancia radica en su aporte a la economía local, a pesar de las amenazas derivadas del manejo inadecuado del agua. Por ello, resulta urgente fortalecer la resiliencia de la cuenca frente a eventos extremos y garantizar la conservación de este valioso recurso.

Objetivos

Objetivo General

Modelar hidrológicamente de la cuenca del Río Caña en Jama de Manabí.

Objetivos Específicos

Identificar datos de precipitación, infiltración, escorrentía, intensidad, numero de curva y tiempo de concentración para su modelado en el software HEC-HMS.

Caracterizar morfométricamente la cuenca del río Caña, analizando sus parámetros generales, de forma, de relieve y de red hídrica.

Determinar el flujo de agua en la cuenca del río Caña mediante el modelo Muskingum-Cunge para estimar los caudales de tránsito en periodos de retorno de 2, 5, 15, 25, 50 y 100 años.

Materiales y Métodos

Características de la investigación

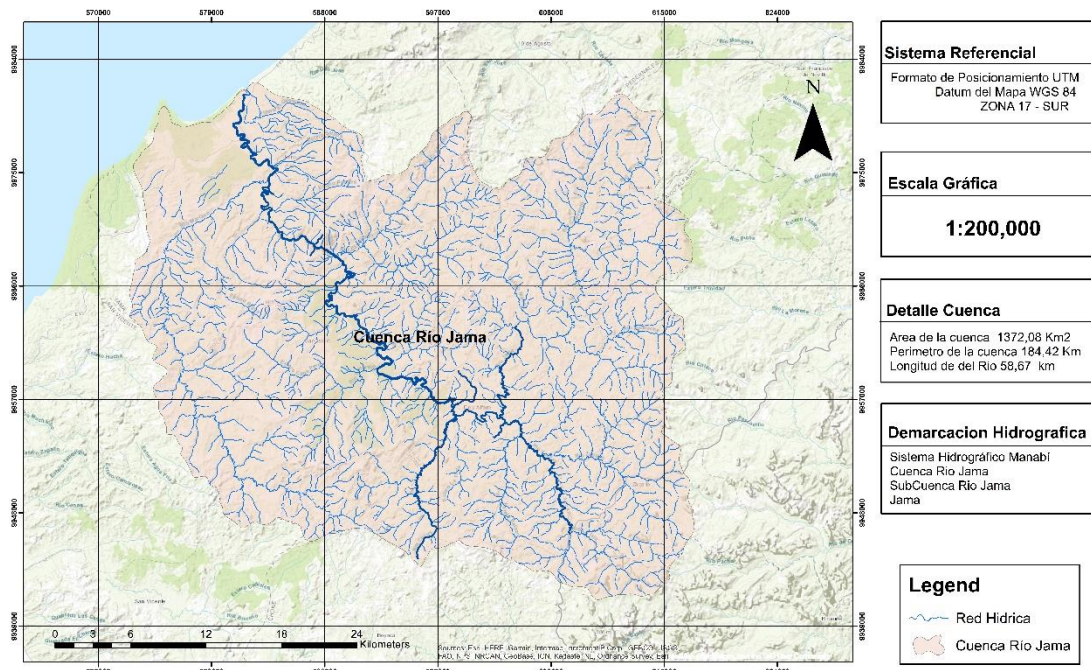
Se realizó una investigación descriptiva no experimental que analiza y describe las características hidrológicas de la cuenca sin alterar el entorno ni manipular variables, para ello se usan datos mixtos, que combina la recopilación y análisis de datos numéricos con observaciones cualitativas que contextualizan los resultados, a fin de caracterizar las condiciones hidrológicas e hidráulicas de la cuenca (Escudero y Cortez, 2017).

Características del Lugar

La investigación se desarrolla en la cuenca del Río Jama de Manabí, localizada en la costa central de Ecuador (ver figura 1), que posee un clima tropical con dos temporadas bien marcadas, la lluviosa de diciembre a mayo, y la seca de junio a noviembre (Varela y Ron, 2022); para la ejecución de la investigación se contemplan los meses de diciembre del 2024 a febrero del 2025.

Figura 1

Localización de la cuenca del río Caña en Jama - Manabí.



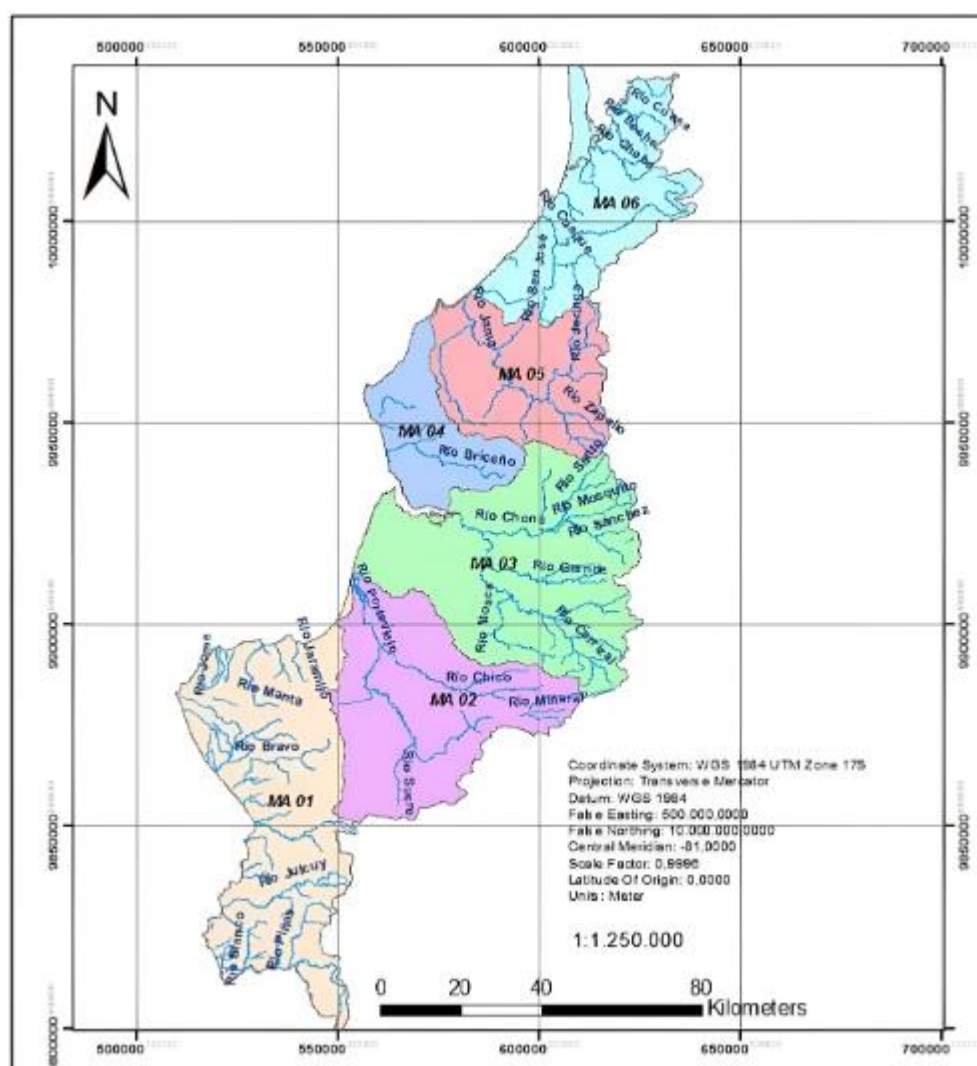
Información Base de Parametrización del modelo en el software HEC-HMS

Geometría de la Cuenca

Para definir el área de la cuenca en estudio, se empleó la demarcación hidrográfica de la Secretaría Nacional del Agua (2018), considerando la unidad de planificación hidrográfica local MA004 Jama.

Figura 2

Cuencas hidrográficas sectorizadas de la provincia de Manabí.



Fuente: Guerra (2021).

Información de Elevación, Textura y cobertura Empleados

Para modelar las características morfológicas de la cuenca se utilizan los Modelos de Elevación Digital (DEM) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) con resolución de 10 x 10 m (SIGTIERRAS, 2016), cartas geográficas del Instituto Geográfico Militar (IGM), datos de textura de suelos del Ecuador y el Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra en el Ecuador, ambos con escala 1:60,000 (MAGAP, 2020), así como la Cartografía Base del IGM (2020), con escala 1:60,000 (ver resumen en tabla 1) (Castro, 2023).

Tabla 1

Propiedades de los archivos empleados.

Insumo	Institución	Resolución/Escala	Año
DEM Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)	NASA	10 x 10 m	2020
Mapa de textura de suelos en Ecuador	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP)	1: 60 000	2020
Cartografía Base	Instituto Geofísico Militar (IGM)	1: 60 000	2020

Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF)

Según Grajales y Carbajal (2019), las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) representan la relación entre la intensidad, duración y frecuencia de las lluvias en una zona particular, permitiendo estimar la intensidad de la precipitación en función de la duración del evento y su período de retorno, utilizando ecuaciones como la de Aparicio de 1977 expuesta por Pizarro *et al.* (2003), para generar la fórmula de intensidad, apoyada en análisis estadísticos y distribuciones de probabilidad las de Gumbel.

Distribuciones de Probabilidad

Las distribuciones de probabilidad permiten analizar cómo se comportan los caudales extremos, como los máximos registrados en un periodo determinado, en relación con su frecuencia o probabilidad de ocurrencia, siendo clave para modelar eventos hidrológicos extremos, como inundaciones (Sánchez, 2018). La estimación de estas distribuciones se realiza mediante distintos métodos, que se eligen según las condiciones del análisis y la cantidad de datos disponibles (ver métodos en tabla 2).

Tabla 2

Comparativa entre distribuciones de probabilidad.

Distribución	Descripción	Aplicación Principal	Características
Distribución de Gumbel	Modela el valor máximo de una serie de datos.	Caudales máximos anuales o extremos en una serie temporal.	Se utiliza para eventos extremos, asumiendo independencia entre ellos.
Distribución de Pearson Tipo III	Modela datos asimétricos, adecuados para caudales con sesgo.	Caudales máximos o mínimos con asimetría en la distribución.	Se ajusta a datos sesgados, tanto hacia valores altos como bajos.
Distribución Log-Normal	El logaritmo de la variable sigue una distribución normal.	Caudales con crecimiento exponencial o sesgo hacia la derecha.	Utilizada cuando los caudales tienen una cola a la derecha (valores altos).
Distribución Exponencial	Modela el tiempo entre eventos en un proceso de Poisson.	Eventos extremos independientes con tasa constante de ocurrencia.	A menudo se usa en procesos de ocurrencia de eventos raros, con tasa constante.

Fuente: Ramos y Rodríguez (2019); Acosta y Sierra (2013); Sánchez (2013a).

Según Ramos y Rodríguez (2019), la distribución de probabilidad Gumbel facilita la evaluación del riesgo y es adecuada para modelar eventos extremos, como lluvias intensas, debido a su capacidad para ajustar datos de precipitaciones máximas y predecir su probabilidad de ocurrencia en períodos largos, lo cual no ofrecen otros métodos con el mismo ajuste preciso a fenómenos extremos, para su desarrollo se considera la metodología propuesta por Sánchez (2013), descrita a continuación:

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 (tabla 3).

Tabla 3

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

Referencia: Sánchez (2013b).

Precipitaciones Diarias Máximas Probables.

Según Sánchez (2013), las estimaciones señalan la cantidad máxima de precipitación que se espera en un solo día durante un período determinado, considerando diferentes intervalos de recurrencia, como se describe a continuación:

Probabilidad de Ocurrencia.

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

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).

Ecuación de Intensidad.

Según Ramos y Rodríguez (2019), la ecuación de intensidad calcula la cantidad de precipitación en unidad de tiempo (mm/h) considerando el período de retorno y su duración.

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

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).

Precipitaciones Máximas en 24 Horas.

Se utilizan datos de precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones JAMA M0167 y CARIAMANGA M146 del INAMHI, seleccionadas por su proximidad e influencia en la cuenca de estudio, abarcando el periodo de 1994 a 2023. Para garantizar la continuidad y calidad de la información, los datos faltantes se completan mediante el promedio de estaciones cercanas, permitiendo una estimación más precisa del régimen de lluvias en la zona de interés.

Tabla 4

Precipitaciones máximas en 24 horas de JAMA M167 y CARIMANGA M146.

Año	JAMA M167	CARIMANGA M146	Promedio
1994	40.6	81.9	61.3
1995	86.4	72.1	79.3
1996	78.6	63.8	71.2
1997	77.6	89.6	83.6
1998	168.6	121.4	145.0
1999	92.2	69.2	80.7
2000	16.0	57.0	36.5
2001	111.0	70.8	90.9
2002	94.0	86.2	90.1
2003	77.5	44.0	60.8
2004	20.1	21.8	21.0
2005	28.7	27.0	27.9
2006	37.4	107.8	72.6
2007	46.1	57.6	51.9
2008	36.0	76.8	56.4
2009	25.9	32.7	29.3
2010	45.7	55.6	50.7
2011	30.7	85.2	58.0
2012	97.2	41.6	69.4
2013	82.6	25.4	54.0
2014	31.8	-	31.8
2015	31.8	-	31.8
2016	44.5	-	44.5
2017	77.9	-	77.9
2018	76.3	-	76.3
2019	47.7	-	47.7
2020	39.7	-	39.7
2021	117.6	-	117.6
2022	64.2	-	64.2
2023	69.1	-	69.1

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2024.

Modelo de Precipitación -Escorrentía

Se considerará según el modelo SCS (Soil Conservation Service), debido a su ajuste en modelados con datos básicos de precipitación, útil en cuencas con procesos hidrológicos no son excesivamente complejos, simplificando los procesos de escorrentía mediante una relación empírica entre la precipitación, la escorrentía y las características del suelo, basándose en que la cantidad de precipitación que excede la capacidad de infiltración del suelo (Sánchez, 2022).

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia + S)}$$

Fórmula 10. Escorrentía mediante método de SCS.

Donde:

Q = Escorrentía (mm).

P = Precipitación (mm).

Ia = Perdida Inicial (años).

S = Capacidad de almacenamiento (mm) que depende del CN.

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

Fórmula 11. Capacidad de almacenamiento.

Donde:

S = Capacidad de almacenamiento (mm).

CN = Numero de Curva (ver tabla 5).

Tabla 5

Números de Curvas.

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						
Explanaciones (zonas permeables, sin vegetación)			77	86	91	94

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

Tiempo de Concentración (tc)

Según Vélez y Gutiérrez (2010), el tiempo de concentración es el intervalo necesario para que toda la cuenca contribuya al flujo en el punto de salida tras una lluvia uniforme; su estimación depende de las características de la cuenca y los datos disponibles, por lo que en este estudio se emplearán los métodos de Kirpich, California y SCS para obtener un promedio, ya que Kirpich es preciso en cuencas con pendientes, California se adapta a zonas con infraestructura hidráulica y SCS considera la influencia del suelo, permitiendo comparar resultados y obtener una estimación representativa del tiempo de concentración.

$$tc = 0.02 * L^{0.77} * S^{-3.885}$$

Fórmula 12. Tiempo de concentración mediante Kirpich.

Donde:

tc = Tiempo de concentración (minutos).

L = Longitud máxima a la salida (m).

S = Pendiente media del cauce principal (m/m).

$$tc = 0.0195 * \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Fórmula 13. Tiempo de concentración mediante California.

Donde:

tc = Tiempo de concentración (minutos).

L = Longitud máxima a la salida (m).

H = Diferencia de altitudes entre las cotas extremas (m).

$$tc = 0.01947 * (3.30 * L * \sqrt{S})^{0.77}$$

Fórmula 14. Tiempo de concentración mediante SCS.

Donde:

tc = Tiempo de concentración (minutos).

L = Longitud máxima a la salida (m).

S = Pendiente media del cauce principal (m/m).

Tiempo de Rezago (tg)

Según Vélez y Gutiérrez (2010), el tiempo de rezago es el tiempo que transcurre desde el momento en que comienza la lluvia más intensa hasta que el caudal máximo llega al punto de desagüe, se estima a partir del tiempo de concentración como se muestra en la fórmula 15.

$$tg = 0.60 * tc$$

Fórmula 15. *Tiempo de rezago.*

Donde:

tg = Tiempo de rezago (minutos).

tc = Tiempo de concentración (minutos).

Modelación Hidrológica de la Cuenca

Según Vilchis *et al.* (2015), la modelación hidrológica es un proceso que simula el ciclo del agua en una cuenca, para ello considera factores como la precipitación y el escurrimiento, considerando el uso de algoritmos avanzados para estimar la distribución espacial y temporal de la precipitación, esencial en estudios de hidrología, pronóstico de inundaciones y gestión de recursos hídricos. Para su desarrollo se pueden considerar varios enfoques y modelos, pero en la presente investigación se adoptó la metodología propuesta por Zhicay (2020), quien propone una caracterización segmentada en cuatro grupos, tales como: características generales, características de forma, características de relieve, y características de la red hídrica como se detallan a continuación.

Características Generales

Área (A).

Según Villegas (2013), la estimación del área de una cuenca es fundamental para calcular parámetros hidrológicos como el caudal; esta se expresa generalmente en unidades de medida como kilómetros cuadrados (km²) o metros cuadrados (m²) y puede realizarse con el apoyo del software HEC-HMS, integrando datos topográficos y morfométricos para simular los procesos de escorrentía y lluvia. Su clasificación se basa en la categorización propuesta en la tabla 6 por Campos (1992).

Tabla 6

Clasificación de la cuenca según su área.

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).

El perímetro de una cuenca es la longitud total de su contorno, expresada en kilómetros o metros, su estimación según Villegas (2013), apoya el cálculo hidrológico integrando datos topográficos mediante herramientas como el software HEC-HMS.

Longitud del Curso Principal (L).

De acuerdo con Ibañez (2011), la longitud del cauce principal es la distancia medida a lo largo del río (su unidad de medida es el km o m), considerando desde donde nace el río hasta el tramo más extenso, siendo esencial para definir el área de drenaje y para calcular parámetros hidrológicos, como el tiempo de concentración.

Longitud Axial (La).

Según Gaspari *et al.* (2012), la longitud axial de una cuenca representa la distancia entre la desembocadura y el punto más lejano sobre su eje, para su estimación se considera localizar el punto más lejano desde la salida siguiendo el cauce principal de la cuenca y mediante la herramienta de medición de HEC-HMS se traza una línea larga que representa este valor, su unidad de medida es en m o km.

Desnivel altitudinal (DA).

Representa la diferencia entre la altitud máxima y mínima en la cuenca, siendo un factor que se emplea para evaluar la pendiente, el flujo del agua y los procesos erosivos, su estimación se genera mediante las herramientas de elevación en el software HEC-HMS, para lo cual se debe tener cargado el DEM de elevación para identificar el valor máximo y mínimo dentro del área delimitada (Gaspari *et al.*, 2012).

Ancho de la Cuenca Hídrica (W).

De acuerdo con Ibañez (2011), esta se define como la proporción entre el área de drenaje y su longitud, y se calcula utilizando la fórmula que se presenta a continuación.

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

Fórmula 16. Ancho de la cuenca hídrica.

Donde:

W = Ancho de la cuenca hídrica (m).

A= Área (m²).

La = Longitud Axial (m).

Características de Forma**Coefficiente de Compacidad (Kc).**

Según Díaz *et al.* (1999), definido por Gravelius este índice representa la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia de un círculo con la misma superficie que la cuenca (ver fórmula 17), su valor es igual a uno cuando la cuenca es perfectamente circular y varía según la clasificación presentada en la tabla 7.

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

Fórmula 17. Coeficiente de compacidad.

Donde:

Kc = Coeficiente de compacidad (-).

P = Perímetro de la cuenca (m).

A= Área (m²).

Tabla 7

Categorización según su Kc.

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).

Según Zhicay (2020), este factor también conocido como de Horton relaciona el área de la cuenca con el cuadrado de su longitud axial máxima, empleado para analizar la forma de la cuenca, proporcionando información sobre la rapidez con la que puede concentrarse el escurrimiento en el punto de salida.

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

Fórmula 18. Factor de forma.

Donde:

Rf = Factor de forma (-).

A= Área (m²).

La= Longitud axial (m).

Tabla 8

Categorización según su 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).

Según Cruz (2015), el índice de alargamiento es un parámetro adimensional que relaciona la longitud máxima de la cuenca con su ancho máximo, medido de forma perpendicular a la longitud, dotando información sobre su tendencia a concentrar escurrimientos.

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

Fórmula 19. Índice de Alargamiento.

Donde:

Ia = Índice de Alargamiento (-).

La= Longitud axial (km).

W = Ancho de la cuenca (km).

Tabla 9

Categorización según Ia.

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

Referencia: Cruz (2015).

Relación de Elongación (Re).

Según Zhicay (2020), esta relación es un parámetro adimensional que compara la forma de una cuenca hidrográfica con un círculo de igual área (ver fórmula 20), permitiendo evaluar cuán circular o alargada es la cuenca, lo que a su vez influye en su respuesta hidrológica.

$$\text{Re} = \frac{1,128\sqrt{A}}{L_c}$$

Fórmula 20. Relación de elongación.

Donde:

Re = Relación de elongación (-).

A = Área (km²).

Lc = Longitud del cauce principal (km).

Características del Relieve

Pendiente Media del Cauce (j).

Según Mogollón y Sánchez (2018), este parámetro mide la inclinación promedio del cauce principal del río estimada a partir de la fórmula 21, y se utiliza para evaluar cómo la topografía influye en el flujo del agua y la velocidad de escorrentía.

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

Fórmula 21. 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).

Según Ibañez (2011), este un parámetro que se obtiene a partir de la media ponderada de las pendientes de las superficies de la cuenca, considerando que la línea de máxima pendiente se mantiene constante a lo largo de la misma, reflejando la velocidad media de la escorrentía en la cuenca y su capacidad para generar erosión; su respuesta se categoriza según la tabla 10.

Tabla 10

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

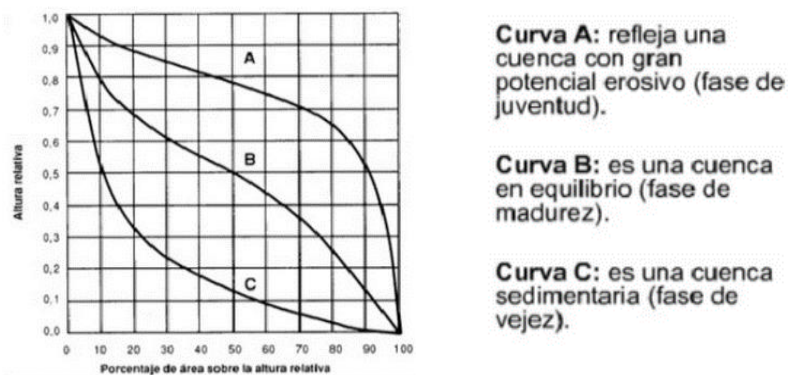
Fuente: Alcántara (2015).

Curva Hipsométrica.

Según Zhicay (2020), es una representación del área y altitud en una cuenca hidrográfica, mediante la que se puede analizar su equilibrio y evolución geológica, vinculando las características topográficas con el desarrollo del relieve.

Figura 3

Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión.



Fuente: Strahler (1952).

Características de la Red Hídrica

Densidad de Drenaje.

Según Camino *et al.* (2018), este parámetro mide el desarrollo y complejidad de un sistema hidrográfico, vinculando la longitud total de los cursos de agua con el área de la cuenca, donde a un mayor valor este denota un menor tiempo de escorrentía y mayor peligrosidad (ver fórmula 22).

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

Fórmula 22. Densidad de drenaje.

Donde:

Dd = Densidad de drenaje (km/km²).

Lt = Longitud total de las corrientes (km).

A = Área de la cuenca (Km²).

Tabla 11

Categorización 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.

Este factor clasifica los cursos de agua en relación de su jerarquía en la cuenca, donde se considera para ello el método de Strahler, donde en su obtención en el software HEC-HMS se digitaliza la red hidrográfica sobre un DEM, asignando órdenes según la confluencia de cauces principales y secundarios (Zhicay, 2020).

Modelación Hidráulica de la Cuenca

Este proceso analiza el comportamiento del agua en el río, considerando caudales, pendientes y las características físicas del terreno para evaluar riesgos y gestionar los recursos hídricos. Se utiliza el software HEC-HMS para estimar el flujo de agua mediante el modelo Muskingum-Cunge, debido a su capacidad para simular procesos lluvia-escorrentía y analizar el comportamiento hidrológico de la cuenca; para ello, se considera la lluvia de diseño en función de las características de la cuenca, estimando el flujo esperado para periodos de retorno de 2, 5, 15, 25, 50 y 100 años, según lo generado por Tenesaca *et al.* (2024).

Resultados

Identificación de información base para modelado en el software HEC-HMS

Con la información de precipitación máxima obtenida en 24 horas desde los años 1994 hasta 2023, se estimó la lluvia de diseño para la zona, considerando las precipitaciones máximas probables, las intensidades diarias de lluvia y las curvas de regresión para derivar la ecuación de intensidad. Esto permitió generar las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) necesarias para la elaboración de los hietogramas de diseño correspondientes a los periodos de retorno.

Como se aprecia en la tabla 12, se obtuvo una media estadística de 63.03 mm y una desviación estándar de 27.04 mm de los datos máximos en 24 horas, mismos que se ajustaron a una distribución Gumbel con un factor α de 21.08 mm y un factor μ de 50.86 mm, los cuales permiten modelar eventos extremos de precipitación asociados a diferentes periodos de retorno para el diseño hidrológico en la zona de estudio.

Tabla 12

Valores promedios y fatores de Gumbel considerados.

Variables Analizada	Valor Obtenido (mm)
Media Estadística ($\bar{x}$)	63.03
Desviación Estándar (S)	27.04
Factor α (Gumbel)	21.08
Factor μ (Gumbel)	50.86

Según los periodos de retorno considerados de 2, 5, 15, 25, 50 y 100 años, se estimaron las precipitaciones máximas probables considerando la probabilidad de ocurrencia $F(XT)$ y la corrección de intervalos fijos como se detallan en la tabla 13, donde a medida que aumenta el periodo de retorno, la precipitación esperada también incrementa, pasando de 57.44 mm para 2 años a 171.52 mm para 100 años, donde la probabilidad de ocurrencia disminuye de 50% a 1%.

Tabla 13

Precipitaciones Máximas Probables.

Periodo de retorno (Años)	Precipitación (mm)	Probabilidad de ocurrencia $F(XT)$	Corrección de intervalo fijo XT (mm)
2	58.59	0.5000	70.30
5	82.48	0.8000	98.98
15	107.22	0.9333	128.67
25	118.29	0.9600	141.95
50	133.12	0.9800	159.74
100	147.84	0.9900	177.40

En la tabla 14 se detalla el análisis de las intensidades de lluvia en intervalos de 1 a 24 horas considerando los periodos de retorno de 2 a 100 años, a fin de interpretar como en el transcurso del día varían las lluvias intensas que repercuten en la escorrentía superficial, la cual aumenta con la reducción del tiempo de duración y el incremento del periodo de retorno, donde para 1 hora y 100 años alcanza 53.22 mm/h, mientras que para 24 horas y 2 años llega a 2. mm/h, evidenciando la relación entre eventos extremos y duraciones menores.

Tabla 14*Intensidades Diarias de lluvia.*

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia según el Periodo de Retorno (mm /hr)					
Hr	min	2 años	5 años	15 años	25 años	50 años	100 años
24	1440	2.93	4.12	5.36	5.91	6.66	7.39
18	1080	3.55	5.00	6.50	7.18	8.08	8.97
12	720	4.69	6.60	8.58	9.46	10.65	11.83
8	480	5.98	8.41	10.94	12.07	13.58	15.08
6	360	7.15	10.06	13.08	14.43	16.24	18.04
5	300	8.01	11.28	14.67	16.18	18.21	20.22
4	240	9.14	12.87	16.73	18.45	20.77	23.06
3	180	10.78	15.18	19.73	21.76	24.49	27.20
2	120	13.71	19.30	25.09	27.68	31.15	34.59
1	60	21.09	29.69	38.60	42.58	47.92	53.22

Se desarrollaron regresiones potenciales basadas en las intensidades diarias de lluvia, considerando la relación Intensidad-Duración-Periodo de Retorno (IDP), los cuales se presentan en las tablas 15 y 16, que describen el comportamiento de las intensidades.

Tabla 15*Regresión Potencial (Primera).*

Periodo de Retorno (años)	Término constante de regresión (d)	Coefficiente de regresión [n]
2	265.779	-0.616
5	374.178	-0.616
15	486.439	-0.616
25	536.629	-0.616
50	603.901	-0.616
100	670.677	-0.616
Promedio	489.601	-0.616

Mediante una segunda regresión potencial se relacionan los periodos de retorno de 2, 5, 15, 25, 50 y 100 años, considerando la constante de regresión (d), pudiendo obtener los factores “k” y “m” de la ecuación de intensidad, descritos en la tabla 14, donde a medida que aumenta el periodo de retorno, tanto $\ln(x)$ como $\ln(y)$ crecen, sugiriendo una relación logarítmica positiva.

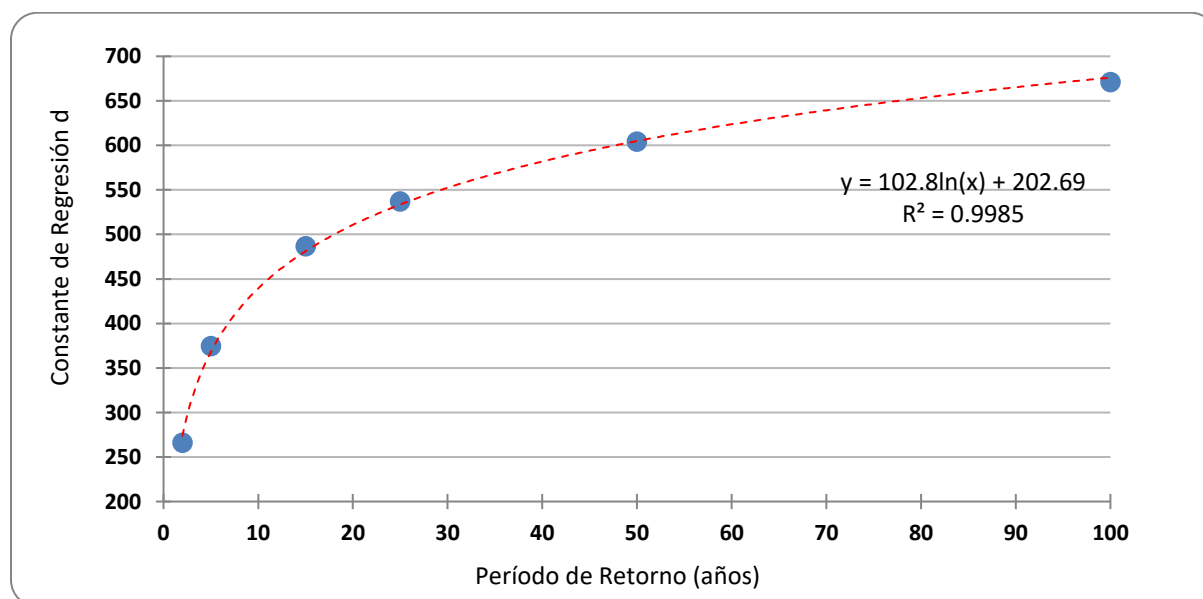
Tabla 16

Regresión Potencial (Segunda).

N.º	x	y	Ln x	Ln y	Ln x*Ln y	(Ln x) ²
1	2	265.7789	0.6931	5.5827	3.8696	0.4805
2	5	374.1780	1.6094	5.9247	9.5355	2.5903
3	15	486.4395	2.7081	6.1871	16.7550	7.3335
4	25	536.6288	3.2189	6.2853	20.2316	10.3612
5	50	603.9012	3.9120	6.4034	25.0503	15.3039
6	100	670.6769	4.6052	6.5083	29.9718	21.2076
Ln (K) =		5.50	K =	244.87	m =	0.2321

Figura 4

Curva de regresión potencial.



La ecuación de intensidad se generó a partir de las regresiones potenciales obtenidas, lo que permitió calcular las intensidades correspondientes a cada intervalo de tiempo y periodo de retorno, valores que se utilizaron para trazar las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) (ver tabla 17 y figura 5), posteriormente se generan los hietogramas de precipitación.

$$I = \frac{244.87 * T^{0.2321}}{t^{0.6163}}$$

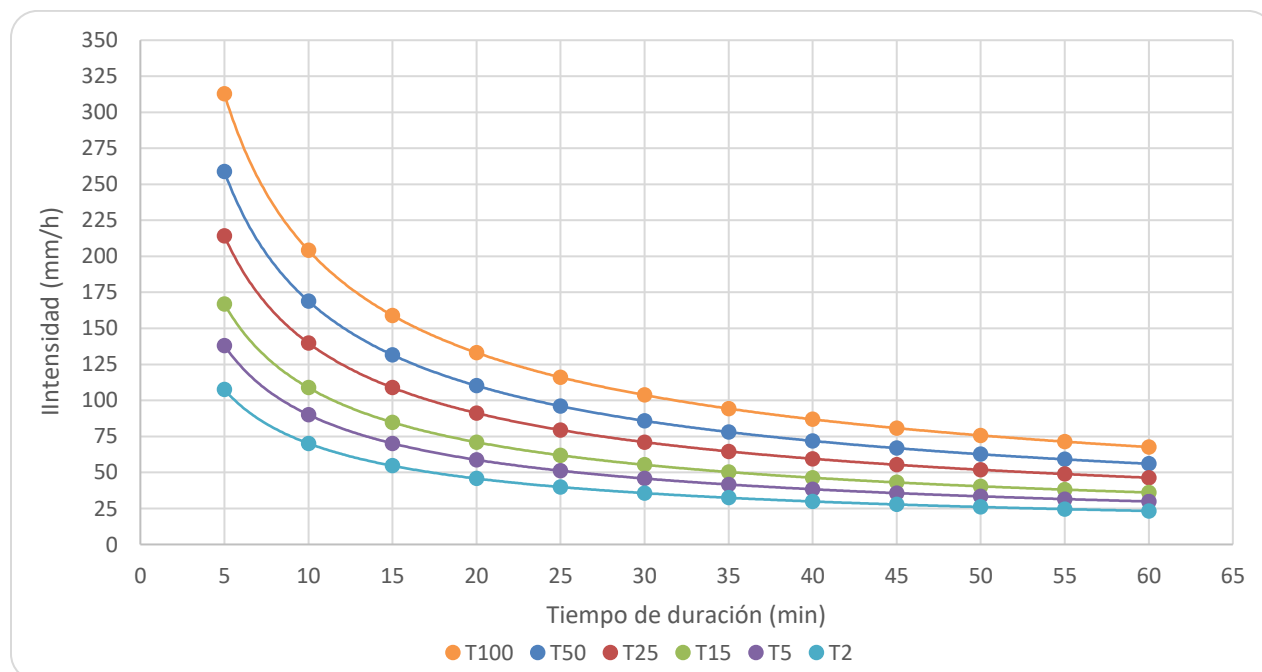
Tabla 17

Intensidades para cada intervalo de tiempo y periodo de retorno.

Frecuencia	Duración en minutos											
Años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	106.65	69.57	54.19	45.38	39.55	35.35	32.14	29.60	27.53	25.80	24.33	23.06
5	131.93	86.06	67.03	56.14	48.92	43.72	39.76	36.62	34.05	31.91	30.09	28.52
15	154.96	101.08	78.73	65.93	57.46	51.35	46.70	43.01	40.00	37.48	35.34	33.50
25	191.68	125.03	97.38	81.56	71.08	63.52	57.77	53.20	49.48	46.37	43.72	41.44
50	225.14	146.86	114.38	95.80	83.49	74.61	67.85	62.49	58.11	54.46	51.35	48.67
100	264.44	172.49	134.35	112.52	98.06	87.64	79.69	73.40	68.26	63.96	60.31	57.17

Figura 5

Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).



Hietogramas de precipitación

Utilizando la metodología de bloques alternos, se trazaron los hietogramas para analizar la distribución de la intensidad de lluvia en distintos periodos de retorno, donde los resultados obtenidos denotaron un valor máximo de 19.13 mm para un periodo de retorno de 2 años, 16.99 mm para un periodo de retorno de 5 años, 16.99 mm para un periodo de retorno de 15 años, 19.13 mm para un periodo de retorno de 25 años, 22.47 mm para un periodo de retorno de 50 años y 26.39 mm para un periodo de retorno de 100 años (ver figuras 6 a 11, respectivamente).

Figura 6

Hietograma de precipitación con periodo de retorno de 2 años.

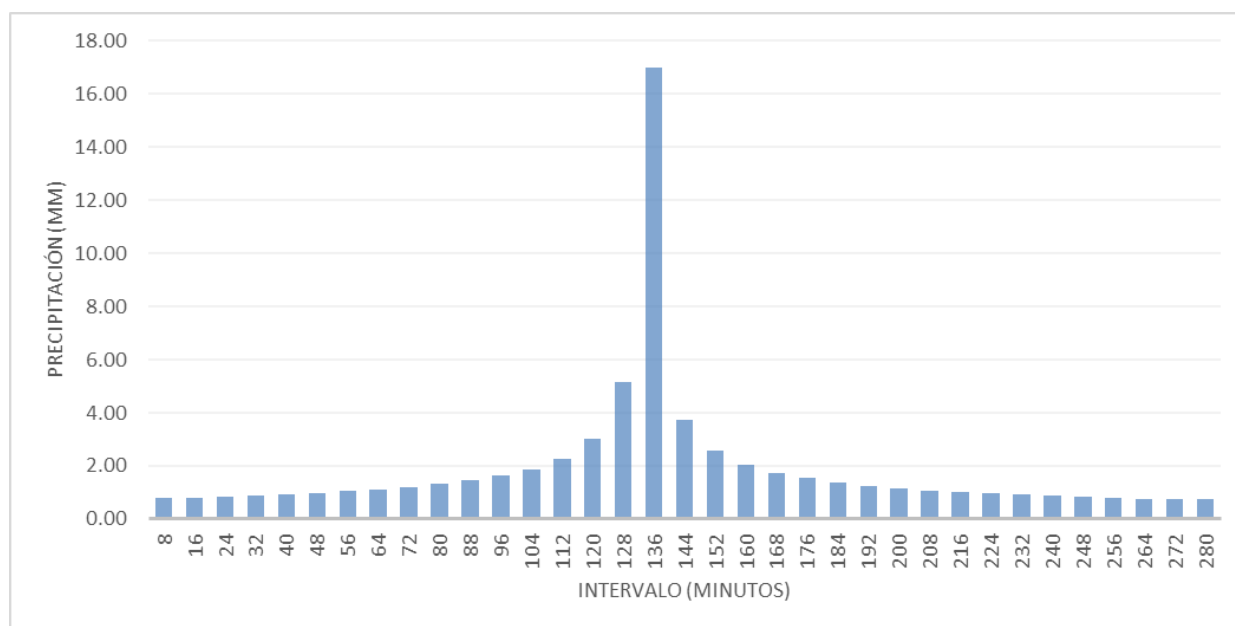
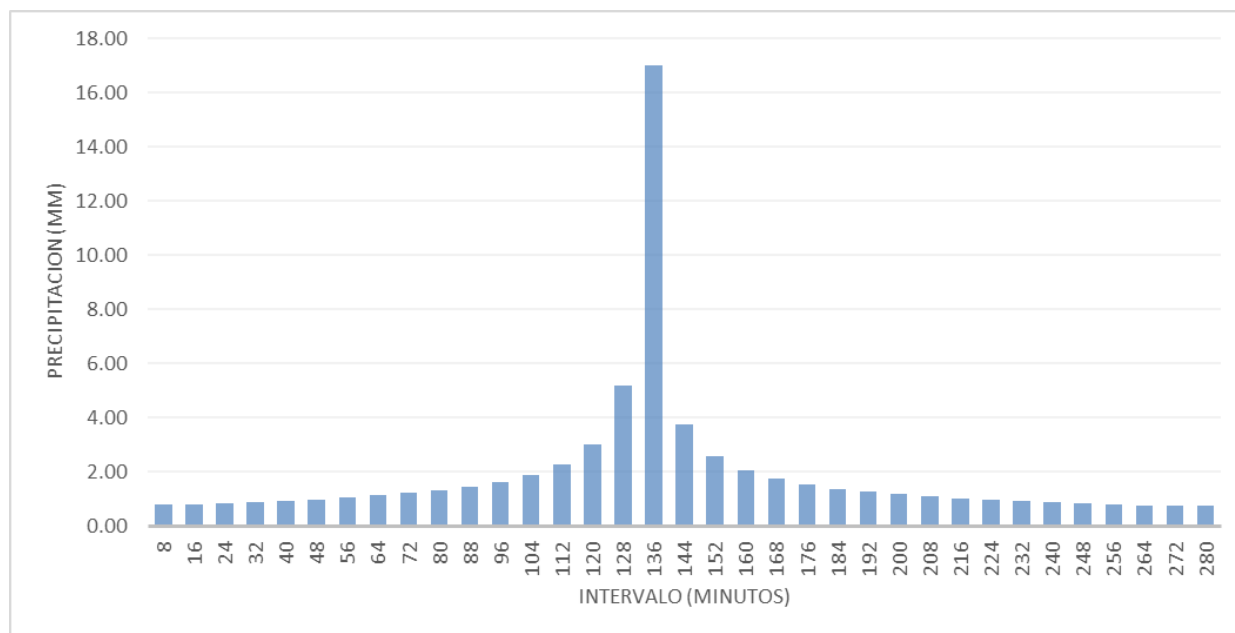


Figura 7

Hietograma de precipitación con periodo de retorno de 5 años.

**Figura 8**

Hietograma de precipitación con periodo de retorno de 15 años.

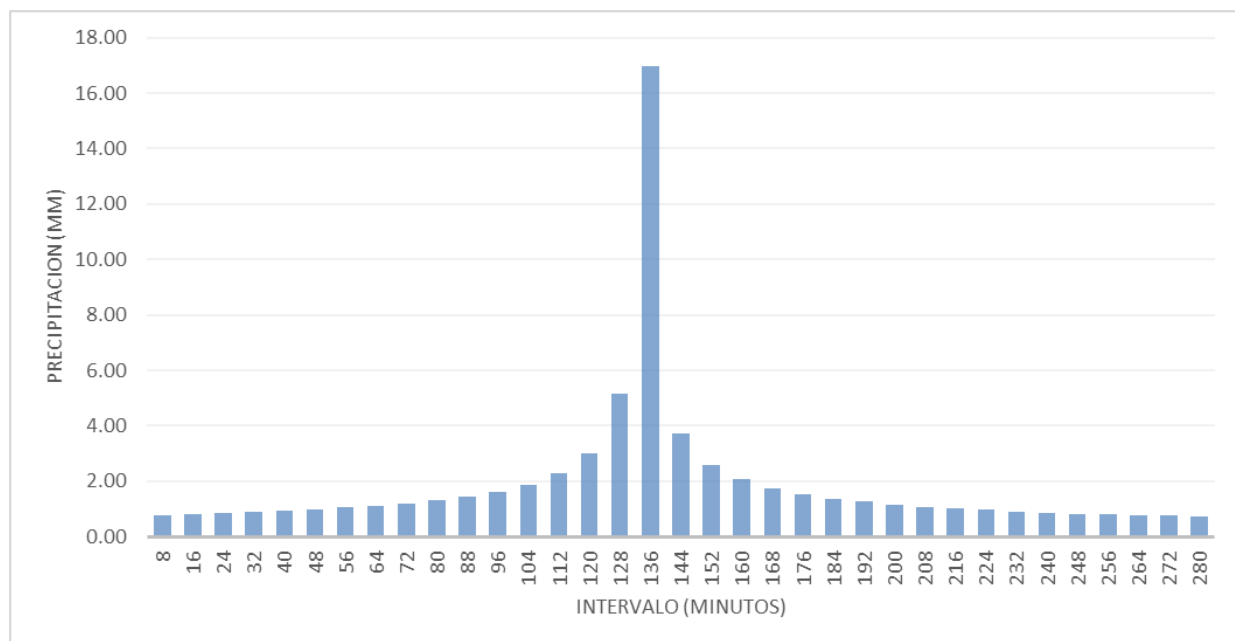
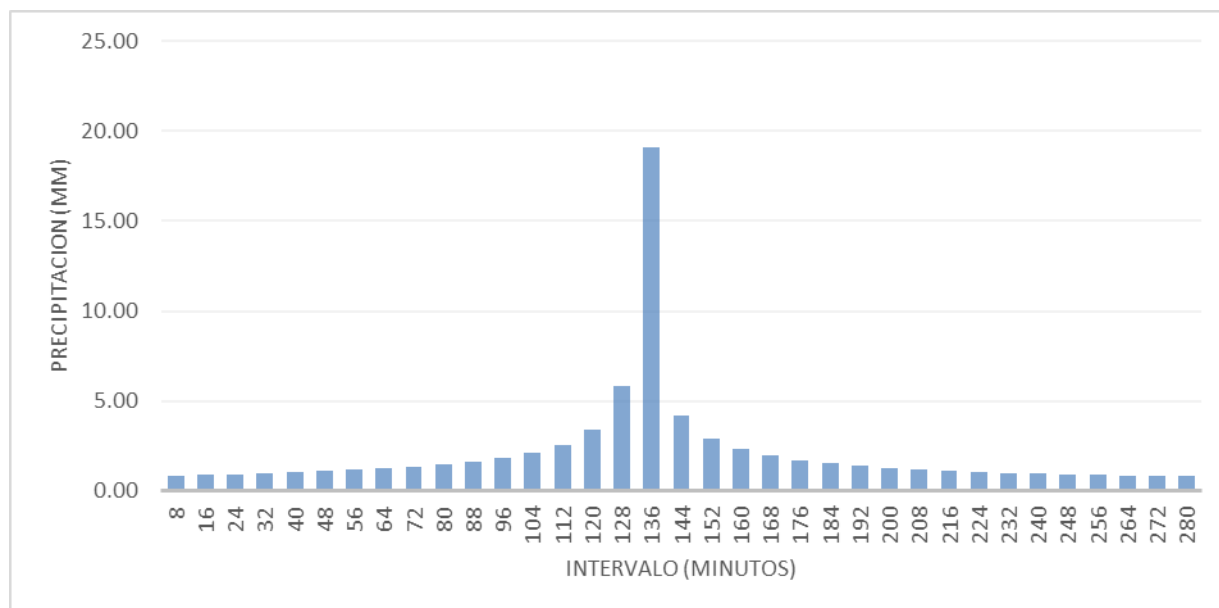


Figura 9

Hietograma de precipitación con periodo de retorno de 25 años.

**Figura 10**

Hietograma de precipitación con periodo de retorno de 50 años.

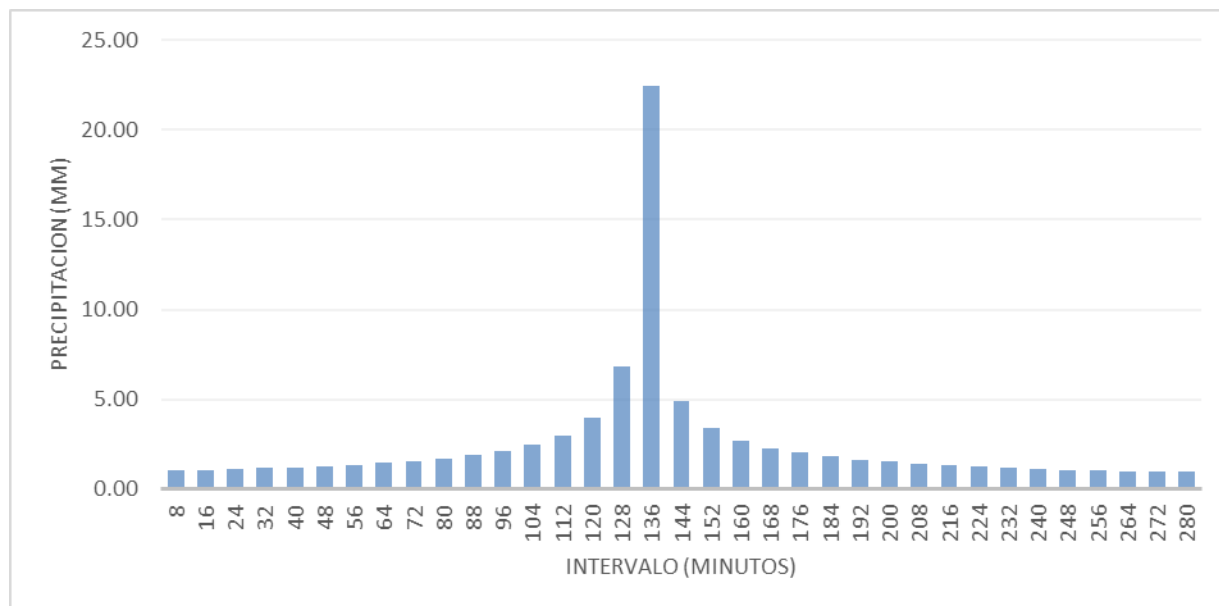
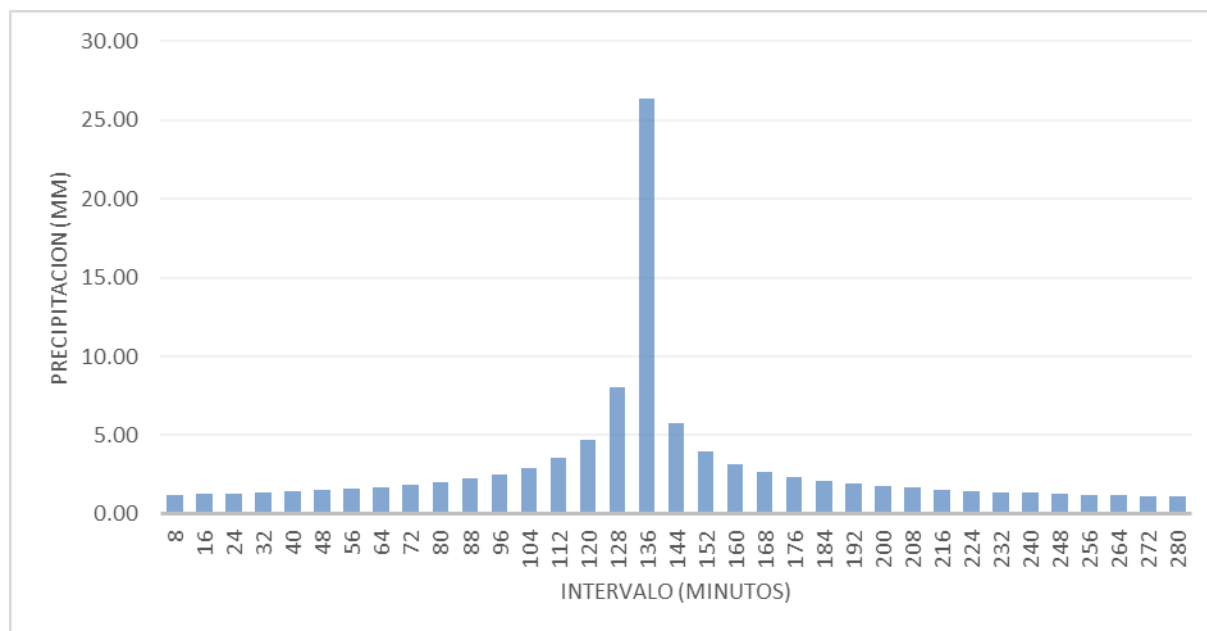


Figura 11

Hietograma de precipitación con periodo de retorno de 100 años.



Se presenta en la tabla 18 los factores considerados para configurar el modelo hidrológico de la cuenca del río Caña en Jama en el software HEC-HMS.

Tabla 18

Aspectos clave en la simulación hidrológica en el software HEC-HMS

Aspectos	Herramienta/Configuración
Número de Series Temporales	5 precipitation gages (Periodos de Retorno de 2, 5, 15, 25 y 100 años)
Periodo de Simulación	1 de enero de 2000, 12:00 al 2 de enero de 2000, 12:00 con intervalos de 10 minutos.
Método de pérdida	Hidrograma unitario SCS
Método de transformación	Método constante
Curva Number	75
Lag Time (Minutos)	178.52

Caracterizar morfométricamente la cuenca del río Caña

Mediante la modelación hidrológica en el software HEC-HMS considerando la información base previamente levantada detallada en la sección anterior se estimaron las propiedades morfométricas de la cuenca del río Caña de Jama, señaladas a continuación.

Figura 12

Cuenca del Río Caña en Jama modelada en HEC-HMS.



Características generales

En la tabla 19 se presentan las principales características de la cuenca del río Caña, la cual posee un área de 1372.08 km², que la clasifica como una cuenca de tipo intermedia-grande, según el rango de 500 a 2500 km² establecido en la tabla 4; su perímetro es de 184.42 km, lo que refleja la extensión de su contorno, mientras que la longitud del curso de agua principal es de 58.67 km, complementada por una longitud axial de 56 km, que indica la trayectoria más corta entre el punto más alto y el punto de salida.

El desnivel altitudinal de 663 m proporciona información del gradiente de la cuenca que influye en la velocidad de escorrentía y el tiempo de concentración del agua; su ancho promedio es de 24.50 km, lo cual permite comprender su comportamiento hidrológico que influyen en el volumen y la velocidad del flujo de agua.

Tabla 19

Características generales de la cuenca.

Parámetro	Valor
Número de Curva (CN) [-]	75
Área (A) [km]	1372.08
Perímetro (P) [km]	184.42
Longitud del Curso Principal (Lc) [km]	58.67
Longitud Axial (La) [km]	56
Cota Mayor [m]	668
Cota Menor [m]	5
Desnivel altitudinal (DA) [m]	663
Ancho de la Cuenca Hídrica (W) [km]	24.50

Características de forma

En la tabla 20 se presentan los parámetros de relieve de la cuenca, que la clasifican como oval redonda a oval oblonga debido a su coeficiente de compacidad de 1.40, que se encuentra entre los rangos de 1.25 a 1.50 según la tabla 5, además su factor de forma o Strahler es de 0.44, lo que la categoriza como una cuenca ni alargada ni ensanchada al ubicarse entre 0.37 y 0.45

según la tabla 7; su índice de alargamiento de 2.28 indica que es moderadamente alargada, de acuerdo con los rangos de 1.50 a 2.80 establecidos en la tabla 8; mientras que su relación de elongación de 0.71 sugiere que es una cuenca plana con porciones accidentadas, al encontrarse entre 0.5 y 0.8, donde su forma oval, moderadamente alargada y plana con áreas accidentadas influyen en su hidrología al favorecer flujos uniformes, reducir tiempos de concentración y generando variaciones en la velocidad de escorrentía, erosión y transporte de sedimentos.

Tabla 20

Características de forma de la cuenca.

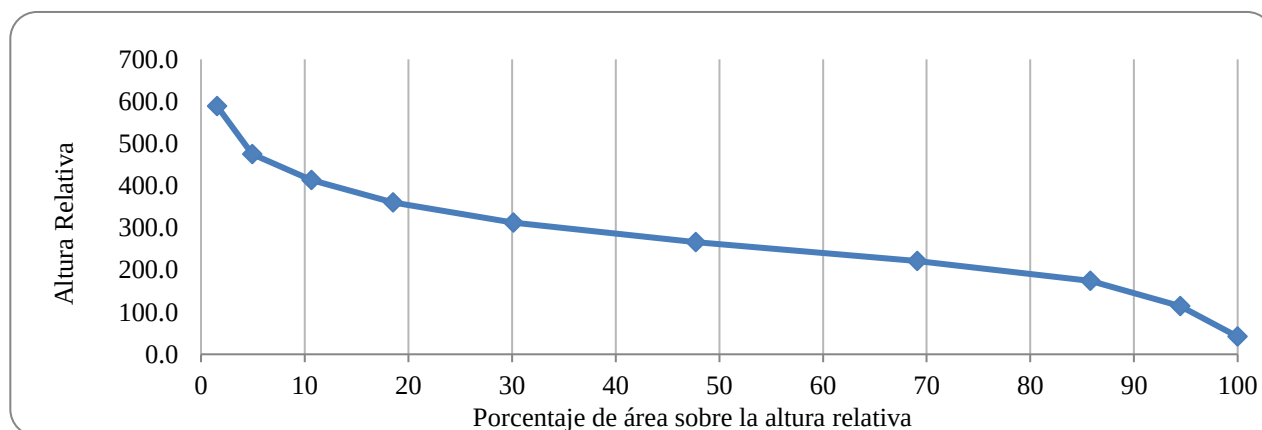
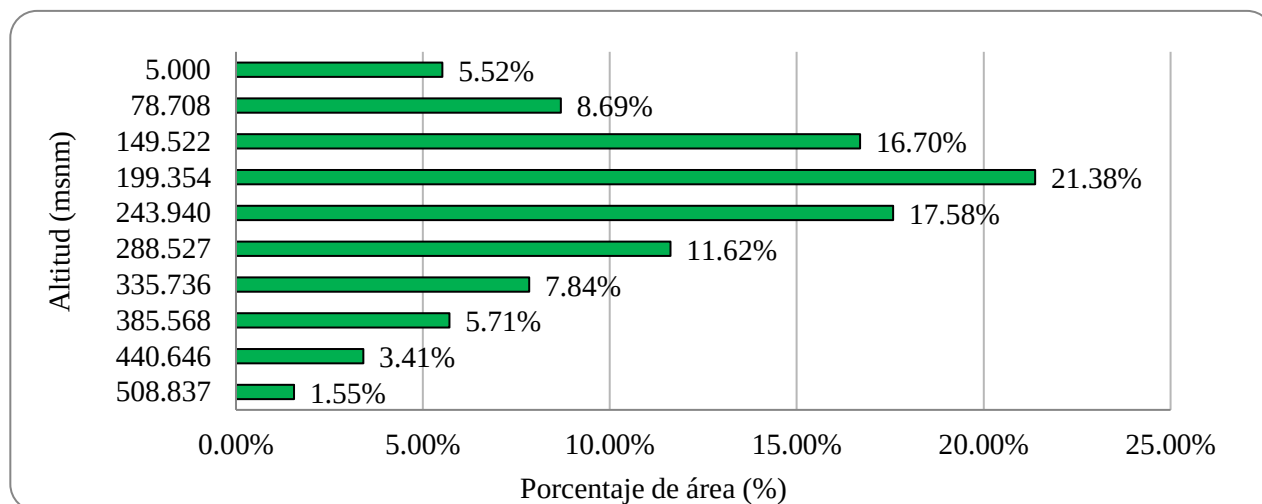
Parámetro	Valor
Coeficiente Compacidad o Gravelius (Kc) [-]	1.40
Factor de Forma o Strahler (Rf) [-]	0.44
Índice de Alargamiento (Ia) [-]	2.28
Relación de Elongación (Re) [-]	0.71

Características de relieve

En la tabla 21 se presentan los parámetros de relieve de la cuenca, destacándose una pendiente media del cauce de 1,10 % y una pendiente media de la cuenca de 2 %, valor que la clasifica como de pendiente nula o casi nula, al encontrarse en el rango de 0 % a 4 %, según lo indicado en la tabla 9. Además, su curva hipsométrica de tipo B, la caracteriza como una cuenca en equilibrio o en fase de madurez, de acuerdo con la figura 12; lo cual representa que la cuenca presenta baja energía erosiva, flujo estable y desarrollo equilibrado, lo que favorece su capacidad para retener y regular agua.

Tabla 21*Características de relieve de la subcuenca.*

Parámetro	Valor
Pendiente Media del Cauce (j) [m/m]	0.011
Pendiente Media de la Cuenca (J) [m/m]	0.02
Curva Hipsométrica [-] (Ver figura 13)	B: Es una cuenca en equilibrio (fase de madurez)

Figura 13*Curva Hipsométrica de la cuenca del Río Caña.***Figura 14***Polígono de frecuencia de altitudes.*

Características de la red hídrica

En la tabla 22 se detallan las características de la red hídrica, donde la densidad de drenaje de 0.03 km/km² indica baja escorrentía y mayor infiltración, al estar dentro del rango < 1 según la clasificación de la tabla 9, la cuenca alcanza un orden de río principal de 5, con un tiempo de concentración promedio de 534.08 minutos, calculado a partir de los métodos de Kirpich (510.07 minutos), California (514.36 minutos) y SCS (577.81 minutos), dando lugar a un tiempo de rezago de 320.45 minutos, lo cual representa una cuenca de drenaje eficiente con baja escorrentía, favoreciendo la infiltración del agua, con una red fluvial moderadamente compleja con un tiempo de concentración relativamente largo, lo que sugiere una respuesta hidrológica lenta y un mayor tiempo de rezago en la evacuación de aguas.

Tabla 22

Características de la red Hídrica.

Parámetro	Valor
Densidad de Drenaje [km/km²]	0.03
Número de Orden	Orden 1: 175
	Orden 2: 88
	Orden 3: 6
	Orden 4: 3
	Orden 5: 1
Tiempo de concentración (tc) [min]	534.08
Método de Kirpich	510.07
Método de California	514.36
Método del SCS	577.81
Tiempo de Rezago (tg) [min]	320.45

Flujo de agua en la cuenca del río Caña

Según la morfometría analizada de la cuenca se generó una simulación hidrológica en el software HEC-HMS para estimar el tránsito de avenida como se presenta en la tabla 23 según cada periodo de retorno, donde para un Tr de 2 años se prevé un caudal 589.1 m³/s, para un Tr de 5 años se prevé un caudal 1004.6 m³/s, para un Tr de 15 años se prevé un caudal 1924.5 m³/s, para un Tr de 25 años se prevé un caudal 2587.5 m³/s, para un Tr de 50 años se prevé un caudal 3754.5 m³/s, y para un Tr de 100 años se prevé un caudal 5298.6 m³/s.

Tabla 23

Caudales máximos probables para cada periodo de retorno.

Periodo de Retorno (años)	Caudal (m ³ /s)
2	589.1
5	1004.6
15	1924.5
25	2587.5
50	3754.5
100	5298.6

Los caudales estimados son esenciales para el diseño de infraestructuras hidráulicas, como presas, diques y sistemas de drenaje, permitiendo también crear sistemas de alerta temprana y definir zonas de evacuación, facilitando los riesgos en áreas urbanas y rurales vulnerables, ayudando a prever el impacto de las inundaciones en viviendas, tierras agrícolas y zonas críticas como hospitales y escuelas.

Los valores correspondientes a un Tr de 2 años (589.1 m³/s) y Tr de 5 años (1004.6 m³/s) representan eventos relativamente frecuentes que pueden afectar áreas rurales y zonas bajas de la cuenca del Río Caña en Manabí, pudiendo generar inundaciones moderadas, afectando principalmente cultivos agrícolas, pequeñas infraestructuras y aumentando el riesgo de erosión en áreas vulnerables.

A medida que el caudal aumenta, como en el Tr de 15 años (1924.5 m³/s), el impacto se intensifica, afectando tanto a zonas urbanas como rurales, poniendo en peligro la seguridad de las personas y la infraestructura, especialmente en áreas agrícolas productoras de cacao y banano. Por otro lado, los caudales asociados a un Tr de 25 años (2587.5 m³/s), Tr de 50 años (3754.5 m³/s) y Tr de 100 años (5298.6 m³/s) representan eventos extremos de baja frecuencia, pero de alto impacto, donde generarían inundaciones generalizadas, dañando infraestructuras críticas y erosionando suelos agrícolas, lo que ocasionaría pérdidas económicas significativas y dificultaría la recuperación de la región.

Discusiones

Con la información de precipitación máxima en 24 horas registrada entre 1994 y 2023, se obtuvo una media de 63.03 mm y una desviación estándar de 27.04 mm, donde para periodos de retorno de 2, 5, 15, 25, 50 y 100 años, las precipitaciones máximas probables aumentan conforme al periodo, desde 57.44 mm (2 años) hasta 171.52 mm (100 años), mientras que la probabilidad de ocurrencia desciende del 50% al 1%. La ecuación de intensidad, obtenida mediante regresiones potenciales, permitió estimar intensidades específicas: para una duración de 60 minutos y un periodo de retorno de 100 años, se obtuvo un valor de 53.22 mm/h, y para una duración de 1440 minutos con un periodo de retorno de 2 años, un valor de 2.93 mm/h. Con estos datos, se generaron hietogramas utilizando bloques alternos, reflejando valores máximos de intensidad de 19.13 mm (para 2 y 25 años), 16.99 mm (para 5 y 15 años), 22.47 mm (para 50 años) y 26.39 mm (para 100 años).

Los resultados obtenidos se alinean con el estudio de Tenesaca *et al.* (2024), quienes modelaron las características hidrológicas de la cuenca de la quebrada Las Abras, en la provincia de Riobamba, utilizando un enfoque similar para la caracterización hidrológica, lo que resalta su relevancia en la modelación de los recursos hídricos. Por otro lado, los registros de intensidad presentan un orden de magnitud comparable con el estudio realizado por Cevallos 2023, que analizó series de datos de la estación M0167 JAMA desde 1982 hasta 2011 con periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, para el diseño de un sistema de alcantarillado pluvial en el cantón Jama, donde obtuvo para una duración de 60 minutos y un periodo de retorno de 100 años, una intensidad de 91.40 mm/h, mientras que para una duración de 1440 minutos y un periodo de retorno de 2 años, una intensidad de 3.20 mm, poseyendo igual orden de magnitud a las obtenidas en la investigación desarrollada.

La modelación hidrológica en HEC-HMS determinó que la cuenca, con un área de 1372.08 km², perímetro de 184.42 km y un curso principal de 58.67 km, es intermedia-grande; con un desnivel altitudinal de 663 m y ancho promedio de 24.50 km influyen en la escorrentía y el tiempo de concentración, posee una forma oval-oblonga, con un coeficiente de compacidad de 1.40 y una relación de elongación de 0.71, que indica una cuenca plana con áreas accidentadas y flujos uniformes, con pendientes medias de 1.10 % (cauce) y 2 % (cuenca), su curva hipsométrica sugiere equilibrio hidrológico y baja energía erosiva; la densidad de drenaje de 0.03 km/km² refleja alta infiltración, y el río principal, de orden 5, tiene un tiempo de concentración promedio de 534.08 minutos, indicando eficiencia y baja escorrentía.

Los resultados obtenidos guardan relación con el estudio Plan Hidráulico Regional de Demarcación Hidrográfica de Manabí (2015), donde en la cuenca del Río Jama MA-05 estimaron una superficie de 1365.2 km², que la clasifica como intermedia-grande, donde la forma de la cuenca y su pendiente influyen en la escorrentía, la cual es baja; además según Gómez *et al.* (2023), la modelación hidrológica de cuencas intermedias-grandes son fundamentales para comprender el comportamiento hidrológico de la escorrentía en regiones con datos limitados, permitiendo una representación precisa del recurso hídrico para su gestión.

Se estimó un tránsito de avenida para cada periodo de retorno, donde para un Tr de 2 años se prevé un caudal de 589.1 m³/s, para un Tr de 5 años uno de 1004.6 m³/s, para un Tr de 15 años se prevé uno de 1924.5 m³/s, para un Tr de 25 años se prevé uno de 2587.5 m³/s, para un Tr de 50 años se prevé uno de 3754.5 m³/s, y para un Tr de 100 años se prevé uno de 5298.6 m³/s; siendo valores similares en orden de magnitud con el periodo de retorno más bajo analizado en el Plan Hidráulico Regional de Demarcación Hidrográfica de Manabí (2015), donde en la cuenca del Río Jama MA-05 estimaron un caudal promedio multianual de 1103 hm³ (425.45 m³/seg).

Las limitaciones de los datos empleados, como la calidad de los registros meteorológicos y la resolución del Modelo de Elevación Digital (DEM), pueden influir en la precisión de los resultados, afectando la estimación de la precipitación extrema y la modelación hidrológica, donde datos meteorológicos con errores en la medición pueden subestimar o sobrestimar las precipitaciones y caudales, mientras que un DEM de baja resolución puede generar imprecisiones en la caracterización del relieve y la escurrimiento, por lo cual en estudios futuros se podría incorporar el impacto del cambio climático mediante proyecciones de precipitación y temperatura basadas en modelos de circulación global, integrada con sensores remotos y redes de estaciones meteorológicas de alta resolución para mejorar la representatividad espacial y temporal.

Conclusiones

Se evidencia un incremento progresivo en las precipitaciones máximas probables a medida que aumentan los periodos de retorno, lo que permite estimar las intensidades y la escorrentía a través de las curvas IDF y los hietogramas de precipitación, siendo esenciales para el diseño de infraestructura hidráulica, como diques, canales de drenaje y áreas de retención de agua, que permitan mitigar riesgos de inundación y mejorar la resiliencia ante eventos extremos.

La caracterización morfométrica de la cuenca del río Caña muestra una forma oval-oblonga y una baja pendiente, lo que sugiere un flujo uniforme y una escorrentía moderada, con alta infiltración y eficiencia en la distribución del agua, lo cual representa una oportunidad para implementar estrategias de conservación del recurso hídrico, como la recarga de acuíferos, la reforestación en zonas de cabecera y la construcción de terrazas de infiltración, lo que favorecería la sostenibilidad del agua para el abastecimiento y las actividades productivas.

La modelación del flujo de agua permitió estimar los caudales de tránsito con valores entre 589.1 m³/s y 5298.6 m³/s para periodos de retorno de 2 a 100 años, evidenciando la necesidad de una gestión integral del riesgo de inundaciones, donde la construcción de embalses estratégicos y sistemas de drenaje optimizados contribuiría a proteger a la población y a sectores clave como la agricultura y la ganadería, fundamentales en la economía de Jama.

Recomendaciones

La cuenca presenta una baja pendiente y un equilibrio adecuado según su curva hipsométrica, pero es recomendable realizar estudios de erosión en las áreas de mayor pendiente y en los sectores con alta densidad de drenaje, con el fin de identificar posibles zonas de alto riesgo de escorrentía superficial.

Es fundamental llevar a cabo un análisis detallado de las zonas bajas de la cuenca y los puntos críticos, considerando la implementación de medidas de control de inundaciones, entre las posibles acciones, se pueden incluir la construcción de diques, canales de derivación o áreas de retención de agua, especialmente en aquellas zonas donde los caudales tienden a ser elevados en periodos de retorno de 50 y 100 años.

La aplicación del modelo en HEC-HMS permite no solo evaluar el comportamiento hidrológico de la cuenca, sino también proporcionar información clave para el diseño de infraestructura hídrica y la toma de decisiones en la gestión del recurso hídrico en la región.

Bibliografía

- Alcántara, J. (2015). Caracterización hidromorfométrica de la microcuenca Puyllucana - Baños del Inca - Cajamarca, mediante la aplicación de ArcGIS. Obtenido de Universidad Nacional de Cajamarca: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/102>
- Araque, M., Vásconez, M., Manchero, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., y Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- Baquerizo, J., Sandoval, L., Lectong, N., Quiñonez, N., Parrales, V., y Moreira, L. (2024). *Caracterización física del agua del río Jama, Manabí, Ecuador*. Obtenido de Revista científica Dominio de las Ciencias, volumen 10: <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/3792>
- Bárcena, A., Prado, A., Samaniego, J., y Pérez, R. (2012). *La economía del cambio climático en el Ecuador*. Obtenido de Naciones Unidad y CEPAL: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/6a9184f0-ded7-4de0-a585-58d4bd63cdc4/content>
- Benítez, M., y Ordoñez, A. (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>

- Camino, M., Bó, M., Cionchi, J., Del Río, J., López, A., y De 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 27:
<https://www.redalyc.org/journal/3832/383257036005/383257036005.pdf>
- Campos, D. (1992). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. San Luis de Potosí: Editorial Universitaria Potosina.
- 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
- Cevallos, C. (2023). *Diseño del sistema de alcantarillado pluvial en la ciudadela Mayor Cevallos del cantón Jama*. Obtenido de Universidad Estatal Del Sur De Manabí:
<https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/5461/1/Cevallos%20Valencia%20Cristian%20Alejandro.pdf>
- CHANGJIANG INSTITUTE OF SURVEY PLANNING DESIGN AND RESEARCH [CISPDR]. (2016). *Plan Hidráulico Regional De Demarcación Hidrográfica Manabí*. Obtenido de:
<https://suia.ambiente.gob.ec/files/MEMORIA%20DH%20MANAB%C3%8D.pdf>
- Cruz, B. (2015). *Análisis morfológico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México*. Obtenido de Revista Investigación y Ciencia, volumen 23:
<https://www.redalyc.org/pdf/674/67441039004.pdf>
- Díaz, C., Mamadou, K., Iturbe, A., Esteller, V., y Reyna, F. (1999). *Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso*

alto del río Lerma, Estado de México. Obtenido de Universidad Autónoma del Estado de México: <https://www.redalyc.org/pdf/104/10401504.pdf>

Dourojeanni, A., Jouravlev, A., y Chávez, G. (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. Obtenido de CEPAL:

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/4a1aa6b2-4603-4de1-882e-caf774c07978/content>

Escudero, C., y Cortez, L. (2017). *Técnicas y métodos cuantitativos para la investigación científica*. Obtenido de Universidad Técnica de Machala, Ecuador:

<https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12501/1/Tecnicas-y-MetodoscualitativosParaInvestigacionCientifica.pdf>

Gaspari, F., Rodríguez, A., Sinisterra, G., Gerardo, D., y Delgado, M. (2012). *Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina*. Obtenido de Asociación de Universidades:

<http://revistas.unlp.edu.ar/index.php/domus/issue/current/showToc>

Gómez, M., Ferreira, C., Castillo, M., Tarso, P. (2023). Distributed Hydrodynamic and Water Quality Model: Challenges and Opportunities in Poorly-Gauged Catchments. Obtenido de Cornell University: https://arxiv.org/abs/2304.11099?utm_source=chatgpt.com

Grajales, D., y Carvajal, L. (2019). *Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia no estacionarias para la cuenca del río Medellín*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia:

<https://www.redalyc.org/journal/496/49660955040/html/#:~:text=Las%20curvas%20de%20Intensidad%2DDuraci%C3%B3n,obras%20hidr%C3%A1ulicas%20y%20de%20infraestructura.>

GRUPO BANCO MUNDIAL. (2024). *Agua, Panorama General*. Obtenido de

<https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview#1>

Guerra, R. (2021). *Inventario de infraestructura hidráulica mediante herramienta de*

geoposicionamiento de la cuenca hídrica MA-01 del Sur de Manabí. Obtenido de

Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador:

<https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3006/1/TESIS%20FINAL%20GUERRA%20PINCAY%20RUSBEL%20JOSE.pdf>

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%A1.pdf>

INSTITUTO GEOFÍSICO MILITAR [IGM]. (2025). *Geoportales IGM*. Obtenidos de:

<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA [INAMHI]. (2024).

Biblioteca- Inamhi. Obtenido de Publicaciones metereológicas.

Magrin, G. (2015). *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe*. Obtenido de

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL):

https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/39842/S1501318_es.pdf

MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA, ACUACULTURA Y PESCA [MAGAP].

(2020). *MAGAP genera Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra en el país para apoyar el cambio de la Matriz Productiva*. Obtenido de: <https://www.agricultura.gob.ec/magap-genera-mapa-de-cobertura-y-uso-de-la-tierra-en-el-pais-para-apoyar-el-cambio-de-la-matriz-productiva/>

Mirassou, S. (2019). *La Gestión Integral de los Recursos Hídricos: Aportes a un desarrollo conceptual para la gobernabilidad del agua*. Obtenido de Repositorio Digital FLACSO Ecuador: <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/1365?mode=full>

Mogollón, D., y Sánchez, E. (2018). *Análisis de Estabilidad de Cauces en ríos de montaña empleando el método químico*. Obtenido de Revista Ciencia e Ingeniería, volumen 39: <https://www.redalyc.org/journal/5075/507557607002/html/>

Pizarro, R., Abarza, A., Farías, C., y Jordán, C. (2003). Construcción de Curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) en zonas semiáridas de Chile Central. Obtenido de: <https://www.fao.org/4/XII/0397-B3.htm>

Ramos, T., y Rodríguez, R. (2019). *Distribución de Gumbel: Antecedentes y aplicación*. Obtenido de: https://miscelaneamatematica.org/download/tbl_articulos.pdf2.8f3b5fceb28337a2.363930372e706466.pdf

Sánchez, J. (2013a). *Distribuciones Estadísticas*. Obtenido de Universidad Salamanca, España: https://hidrologia.usal.es/temas/calculos_esta.pdf

- Sánchez, J. (2013b). *Valores extremos de distribución de Gumbel*. Obtenido de Universidad Salamanca, España: https://hidrologia.usal.es/temas/calculos_esta.pdf
- Sánchez, J. (2018). *Valores extremos de distribución de Gumbel*. Obtenido de Universidad Salamanca, España: https://hidrologia.usal.es/Complementos/estadistica/distr_esta.pdf
- Sánchez, J. (2022). *Hidrología Superficial y Subterránea: Calculo de precipitación Neta mediante el método del SCS*. Obtenido de Universidad de Salamanca, España: https://hidrologia.usal.es/practicas/Pneta_SCS/Pneta_SCS_fundam.pdf
- SECRETARIA DEL AGUA (2018). *Aquacoope*. Obtenido de www.aquacoope.org: <https://www.aquacoope.org/ecuador/dh-manabi/quienes-somos>
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN DE TIERRAS RURALES E INFRAESTRUCTURA TECNOLÓGICA [SIGTIERRAS]. (2016). Obtenido de: <http://www.sigtierras.gob.ec/geoportal/>
- 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>
- Tenesaca, M., Reyes, J., Vallejo, D., y Chavarría, J. (2024). *Modelación Hidrológica e Hidráulica para la Identificación de Zonas de Inundación en la Quebrada Las Abras, Riobamba*.

- Obtenido de Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación, volumen 7: <https://doi.org/10.46296/ig.v7i14.0220>
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE [USDA] (1986). *Urban Hydrology for Smallwatersheds*. Obtenido de: <https://tamug-ir.tdl.org/handle/1969.3/24438>
- Varela, A., y Ron, S. (2022). *Geografía y Clima del Ecuador*. Obtenido de Pontifica Universidad Católica del Ecuador: <https://bioweb.bio/fungiweb/GeografiaClima/>
- Vélez, J., y Gutiérrez, A. (2010). *Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis Manizales*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49622372006.pdf>
- Vilchis, I., Bá, K., Franco, R., y Díaz, C. (2015). *Modelación hidrológica con base en estimaciones de precipitación con sensores hidrometeorológicos*. Obtenido de Revista Scielo, Tecnología y ciencias del agua, volumen 6: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000400003
- Villegas, P. (2013). *Análisis Morfométrico de una cuenca*. Obtenido de Agua y SIG: <https://aguaysig.com/analisis-morfometrico-de-una-cuenca/>
- Villela, S. y Mattos, A. (1975). *Hidrología aplicada*. Obtenido de McGraw-Hill do Brasil, Sao Paulo, 245 p.
- Xinqiang, N., Qigui, Y., y Zhiyu, Z. (2016). *Plan Hidráulico Regional de Demarcación Hidrográfica Manabí*. Obtenido de Changjiang Institute of Survey Planning Design and

Research [CISPDR]:

<https://suia.ambiente.gob.ec/files/MEMORIA%20DH%20MANAB%C3%8D.pdf>

Zhicay, J. (2020). *Caracterización morfológica 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 24

Hietograma para periodo retorno 2 años.

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación Parcial (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
8	143.47	19.13	19.13	143.47	0.88	6.56
16	93.59	24.96	5.83	43.70	0.91	6.83
24	72.89	29.16	4.20	31.50	0.95	7.14
32	61.05	32.56	3.40	25.51	1.00	7.48
40	53.20	35.47	2.91	21.82	1.05	7.86
48	47.55	38.04	2.57	19.27	1.11	8.31
56	43.24	40.35	2.32	17.38	1.18	8.82
64	39.82	42.48	2.12	15.91	1.26	9.43
72	37.03	44.44	1.96	14.72	1.36	10.16
80	34.70	46.27	1.83	13.75	1.48	11.07
88	32.72	47.99	1.72	12.92	1.63	12.22
96	31.02	49.62	1.63	12.22	1.83	13.75
104	29.52	51.17	1.55	11.61	2.12	15.91
112	28.20	52.65	1.48	11.07	2.57	19.27
120	27.03	54.06	1.41	10.59	3.40	25.51
128	25.98	55.41	1.36	10.16	5.83	43.70
136	25.02	56.72	1.30	9.78	19.13	143.47
144	24.16	57.98	1.26	9.43	4.20	31.50
152	23.36	59.19	1.22	9.11	2.91	21.82
160	22.64	60.37	1.18	8.82	2.32	17.38
168	21.97	61.51	1.14	8.55	1.96	14.72
176	21.35	62.61	1.11	8.31	1.72	12.92
184	20.77	63.69	1.08	8.08	1.55	11.61
192	20.23	64.74	1.05	7.86	1.41	10.59
200	19.73	65.76	1.02	7.66	1.30	9.78
208	19.26	66.76	1.00	7.48	1.22	9.11
216	18.81	67.73	0.97	7.30	1.14	8.55
224	18.40	68.68	0.95	7.14	1.08	8.08
232	18.00	69.61	0.93	6.98	1.02	7.66
240	17.63	70.53	0.91	6.83	0.97	7.30
248	17.28	71.42	0.89	6.70	0.93	6.98
256	16.94	72.29	0.88	6.56	0.89	6.70
264	16.63	73.15	0.86	6.44	0.86	6.44
272	16.32	73.99	0.84	6.32	0.84	6.32
280	16.03	74.82	0.83	6.21	0.83	6.21

Tabla 25*Hietograma para periodo retorno 5 años.*

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación Parcial (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
8	127.43	16.99	16.99	127.43	0.78	5.83
16	83.12	22.17	5.18	38.82	0.81	6.07
24	64.74	25.90	3.73	27.98	0.85	6.34
32	54.22	28.92	3.02	22.66	0.89	6.64
40	47.25	31.50	2.58	19.38	0.93	6.98
48	42.23	33.78	2.28	17.12	0.98	7.38
56	38.40	35.84	2.06	15.44	1.04	7.84
64	35.37	37.73	1.88	14.13	1.12	8.38
72	32.89	39.47	1.74	13.08	1.20	9.03
80	30.82	41.10	1.63	12.21	1.31	9.83
88	29.07	42.63	1.53	11.48	1.45	10.85
96	27.55	44.08	1.45	10.85	1.63	12.21
104	26.22	45.45	1.37	10.31	1.88	14.13
112	25.05	46.76	1.31	9.83	2.28	17.12
120	24.01	48.01	1.25	9.41	3.02	22.66
128	23.07	49.22	1.20	9.03	5.18	38.82
136	22.22	50.38	1.16	8.69	16.99	127.43
144	21.46	51.49	1.12	8.38	3.73	27.98
152	20.75	52.57	1.08	8.09	2.58	19.38
160	20.11	53.62	1.04	7.84	2.06	15.44
168	19.51	54.63	1.01	7.60	1.74	13.08
176	18.96	55.61	0.98	7.38	1.53	11.48
184	18.45	56.57	0.96	7.17	1.37	10.31
192	17.97	57.50	0.93	6.98	1.25	9.41
200	17.52	58.41	0.91	6.81	1.16	8.69
208	17.10	59.29	0.89	6.64	1.08	8.09
216	16.71	60.16	0.86	6.49	1.01	7.60
224	16.34	61.00	0.85	6.34	0.96	7.17
232	15.99	61.83	0.83	6.20	0.91	6.81
240	15.66	62.64	0.81	6.07	0.86	6.49
248	15.35	63.43	0.79	5.95	0.83	6.20
256	15.05	64.21	0.78	5.83	0.79	5.95
264	14.77	64.97	0.76	5.72	0.76	5.72
272	14.50	65.72	0.75	5.61	0.75	5.61
280	14.24	66.46	0.73	5.51	0.73	5.51

Tabla 26*Hietograma para periodo retorno 15 años.*

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación Parcial (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
8	127.43	16.99	16.99	127.43	0.78	5.83
16	83.12	22.17	5.18	38.82	0.81	6.07
24	64.74	25.90	3.73	27.98	0.85	6.34
32	54.22	28.92	3.02	22.66	0.89	6.64
40	47.25	31.50	2.58	19.38	0.93	6.98
48	42.23	33.78	2.28	17.12	0.98	7.38
56	38.40	35.84	2.06	15.44	1.04	7.84
64	35.37	37.73	1.88	14.13	1.12	8.38
72	32.89	39.47	1.74	13.08	1.20	9.03
80	30.82	41.10	1.63	12.21	1.31	9.83
88	29.07	42.63	1.53	11.48	1.45	10.85
96	27.55	44.08	1.45	10.85	1.63	12.21
104	26.22	45.45	1.37	10.31	1.88	14.13
112	25.05	46.76	1.31	9.83	2.28	17.12
120	24.01	48.01	1.25	9.41	3.02	22.66
128	23.07	49.22	1.20	9.03	5.18	38.82
136	22.22	50.38	1.16	8.69	16.99	127.43
144	21.46	51.49	1.12	8.38	3.73	27.98
152	20.75	52.57	1.08	8.09	2.58	19.38
160	20.11	53.62	1.04	7.84	2.06	15.44
168	19.51	54.63	1.01	7.60	1.74	13.08
176	18.96	55.61	0.98	7.38	1.53	11.48
184	18.45	56.57	0.96	7.17	1.37	10.31
192	17.97	57.50	0.93	6.98	1.25	9.41
200	17.52	58.41	0.91	6.81	1.16	8.69
208	17.10	59.29	0.89	6.64	1.08	8.09
216	16.71	60.16	0.86	6.49	1.01	7.60
224	16.34	61.00	0.85	6.34	0.96	7.17
232	15.99	61.83	0.83	6.20	0.91	6.81
240	15.66	62.64	0.81	6.07	0.86	6.49
248	15.35	63.43	0.79	5.95	0.83	6.20
256	15.05	64.21	0.78	5.83	0.79	5.95
264	14.77	64.97	0.76	5.72	0.76	5.72
272	14.50	65.72	0.75	5.61	0.75	5.61
280	14.24	66.46	0.73	5.51	0.73	5.51

Tabla 27*Hietograma para periodo retorno 25 años.*

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación Parcial (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
8	19.13	19.13	143.47	0.88	6.56	19.13
16	24.96	5.83	43.70	0.91	6.83	24.96
24	29.16	4.20	31.50	0.95	7.14	29.16
32	32.56	3.40	25.51	1.00	7.48	32.56
40	35.47	2.91	21.82	1.05	7.86	35.47
48	38.04	2.57	19.27	1.11	8.31	38.04
56	40.35	2.32	17.38	1.18	8.82	40.35
64	42.48	2.12	15.91	1.26	9.43	42.48
72	44.44	1.96	14.72	1.36	10.16	44.44
80	46.27	1.83	13.75	1.48	11.07	46.27
88	47.99	1.72	12.92	1.63	12.22	47.99
96	49.62	1.63	12.22	1.83	13.75	49.62
104	51.17	1.55	11.61	2.12	15.91	51.17
112	52.65	1.48	11.07	2.57	19.27	52.65
120	54.06	1.41	10.59	3.40	25.51	54.06
128	55.41	1.36	10.16	5.83	43.70	55.41
136	56.72	1.30	9.78	19.13	143.47	56.72
144	57.98	1.26	9.43	4.20	31.50	57.98
152	59.19	1.22	9.11	2.91	21.82	59.19
160	60.37	1.18	8.82	2.32	17.38	60.37
168	61.51	1.14	8.55	1.96	14.72	61.51
176	62.61	1.11	8.31	1.72	12.92	62.61
184	63.69	1.08	8.08	1.55	11.61	63.69
192	64.74	1.05	7.86	1.41	10.59	64.74
200	65.76	1.02	7.66	1.30	9.78	65.76
208	66.76	1.00	7.48	1.22	9.11	66.76
216	67.73	0.97	7.30	1.14	8.55	67.73
224	68.68	0.95	7.14	1.08	8.08	68.68
232	69.61	0.93	6.98	1.02	7.66	69.61
240	70.53	0.91	6.83	0.97	7.30	70.53
248	71.42	0.89	6.70	0.93	6.98	71.42
256	72.29	0.88	6.56	0.89	6.70	72.29
264	73.15	0.86	6.44	0.86	6.44	73.15
272	73.99	0.84	6.32	0.84	6.32	73.99
280	74.82	0.83	6.21	0.83	6.21	74.82

Tabla 28*Hietograma para periodo retorno 50 años.*

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación Parcial (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
8	22.47	22.47	168.51	1.03	7.71	22.47
16	29.31	6.84	51.33	1.07	8.03	29.31
24	34.25	4.93	37.00	1.12	8.38	34.25
32	38.24	4.00	29.97	1.17	8.78	38.24
40	41.66	3.42	25.63	1.23	9.24	41.66
48	44.68	3.02	22.63	1.30	9.76	44.68
56	47.40	2.72	20.41	1.38	10.36	47.40
64	49.89	2.49	18.68	1.48	11.08	49.89
72	52.20	2.31	17.29	1.59	11.94	52.20
80	54.35	2.15	16.15	1.73	13.00	54.35
88	56.37	2.02	15.18	1.91	14.35	56.37
96	58.29	1.91	14.35	2.15	16.15	58.29
104	60.10	1.82	13.63	2.49	18.68	60.10
112	61.84	1.73	13.00	3.02	22.63	61.84
120	63.49	1.66	12.44	4.00	29.97	63.49
128	65.09	1.59	11.94	6.84	51.33	65.09
136	66.62	1.53	11.49	22.47	168.51	66.62
144	68.09	1.48	11.08	4.93	37.00	68.09
152	69.52	1.43	10.70	3.42	25.63	69.52
160	70.90	1.38	10.36	2.72	20.41	70.90
168	72.24	1.34	10.05	2.31	17.29	72.24
176	73.54	1.30	9.76	2.02	15.18	73.54
184	74.81	1.26	9.49	1.82	13.63	74.81
192	76.04	1.23	9.24	1.66	12.44	76.04
200	77.24	1.20	9.00	1.53	11.49	77.24
208	78.41	1.17	8.78	1.43	10.70	78.41
216	79.55	1.14	8.58	1.34	10.05	79.55
224	80.67	1.12	8.38	1.26	9.49	80.67
232	81.77	1.09	8.20	1.20	9.00	81.77
240	82.84	1.07	8.03	1.14	8.58	82.84
248	83.88	1.05	7.86	1.09	8.20	83.88
256	84.91	1.03	7.71	1.05	7.86	84.91
264	85.92	1.01	7.56	1.01	7.56	85.92
272	86.91	0.99	7.42	0.99	7.42	86.91
280	87.88	0.97	7.29	0.97	7.29	87.88

Tabla 29*Hietograma para periodo retorno 100 años.*

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación Parcial (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
8	197.93	26.39	26.39	197.93	1.21	9.05
16	129.11	34.43	8.04	60.29	1.26	9.43
24	100.56	40.22	5.79	43.46	1.31	9.85
32	84.22	44.92	4.69	35.20	1.38	10.31
40	73.40	48.93	4.01	30.11	1.45	10.85
48	65.59	52.48	3.54	26.59	1.53	11.46
56	59.65	55.67	3.20	23.98	1.62	12.17
64	54.94	58.60	2.93	21.95	1.73	13.01
72	51.09	61.31	2.71	20.31	1.87	14.02
80	47.88	63.84	2.53	18.96	2.04	15.27
88	45.14	66.21	2.38	17.83	2.25	16.86
96	42.79	68.46	2.25	16.86	2.53	18.96
104	40.73	70.59	2.13	16.01	2.93	21.95
112	38.91	72.63	2.04	15.27	3.54	26.59
120	37.29	74.58	1.95	14.61	4.69	35.20
128	35.83	76.45	1.87	14.02	8.04	60.29
136	34.52	78.25	1.80	13.49	26.39	197.93
144	33.33	79.98	1.73	13.01	5.79	43.46
152	32.23	81.66	1.68	12.57	4.01	30.11
160	31.23	83.28	1.62	12.17	3.20	23.98
168	30.30	84.85	1.57	11.80	2.71	20.31
176	29.45	86.38	1.53	11.46	2.38	17.83
184	28.65	87.87	1.49	11.14	2.13	16.01
192	27.91	89.31	1.45	10.85	1.95	14.61
200	27.22	90.72	1.41	10.57	1.80	13.49
208	26.57	92.10	1.38	10.31	1.68	12.57
216	25.96	93.44	1.34	10.07	1.57	11.80
224	25.38	94.75	1.31	9.85	1.49	11.14
232	24.84	96.04	1.28	9.63	1.41	10.57
240	24.32	97.29	1.26	9.43	1.34	10.07
248	23.84	98.53	1.23	9.24	1.28	9.63
256	23.38	99.73	1.21	9.05	1.23	9.24
264	22.94	100.92	1.18	8.88	1.18	8.88
272	22.52	102.08	1.16	8.72	1.16	8.72
280	22.12	103.22	1.14	8.56	1.14	8.56

Tabla 30

Cuadro de áreas entre curvas de nivel de Curva Hipsométrica.

N°	COTA (msnm)			Área (km ²)					Ci*Ai
	Mínima	Máxima	Promedio "Ci"	Área Parcial (km ²) "Ai"	Área Acumulada (km ²)	Área que queda sobre la superficie (km ²)	Porcentaje de área entre C.N.	Porcentaje de área sobre C.N.	
1	5.000	78.708	41.9	75.749	75.75	1372.08	5.52%	100.0	3170.39
2	78.708	149.522	114.1	119.242	194.99	1296.33	8.69%	94.5	13607.24
3	149.522	199.354	174.4	229.071	424.06	1177.09	16.70%	85.8	39958.67
4	199.354	243.940	221.6	293.323	717.38	948.02	21.38%	69.1	65014.13
5	243.940	288.527	266.2	241.193	958.58	654.70	17.58%	47.7	64213.61
6	288.527	335.736	312.1	159.473	1118.05	413.50	11.62%	30.1	49776.62
7	335.736	385.568	360.7	107.626	1225.68	254.03	7.84%	18.5	38815.64
8	385.568	440.645	413.1	78.350	1304.03	146.40	5.71%	10.7	32367.04
9	440.646	508.836	474.7	46.747	1350.77	68.05	3.41%	5.0	22192.76
10	508.837	668.823	588.8	21.306	1372.08	21.31	1.55%	1.6	12545.61
				1372.0802			100%		341661.71

Figura 15

Representación de hietograma y caudal para un Tr = 2 años.

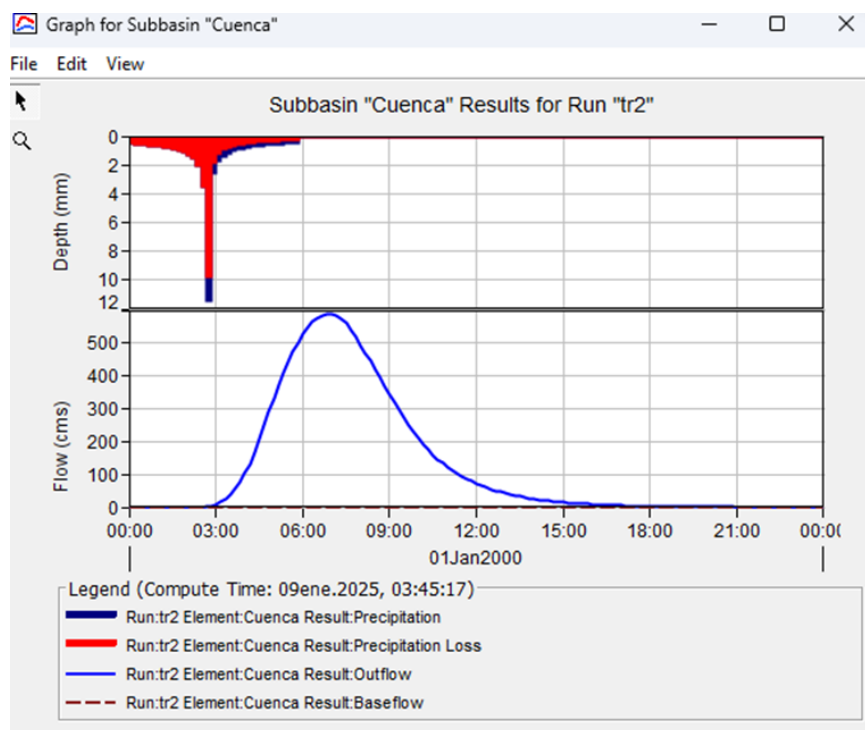
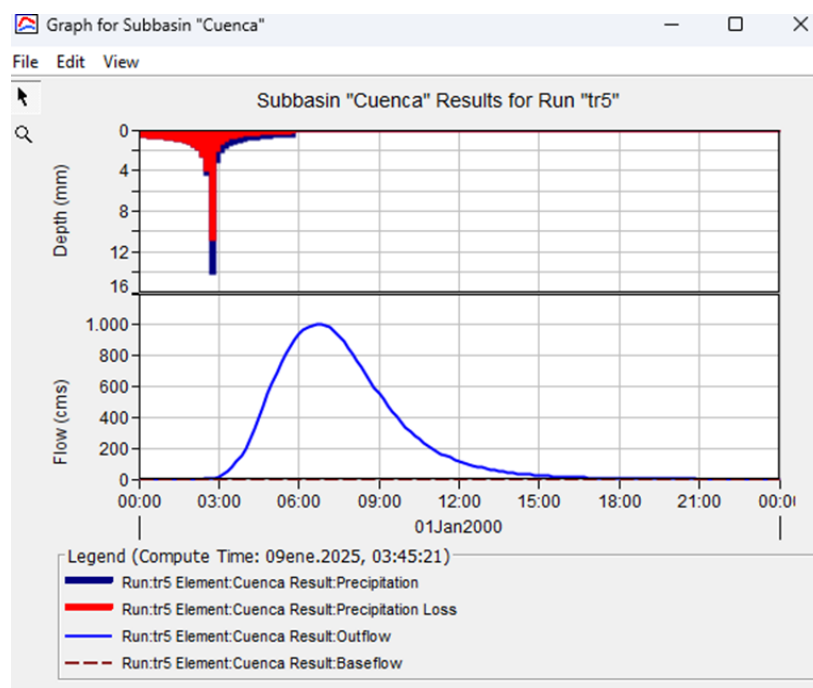


Figura 16

Representación de hietograma y caudal para un $Tr = 5$ años

**Figura 17**

Representación de hietograma y caudal para un $Tr = 15$ años

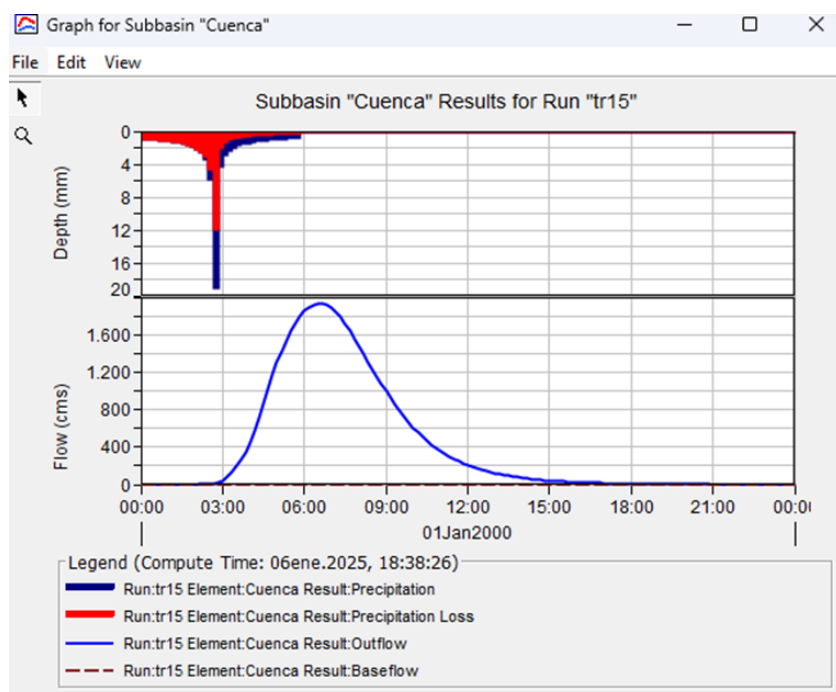
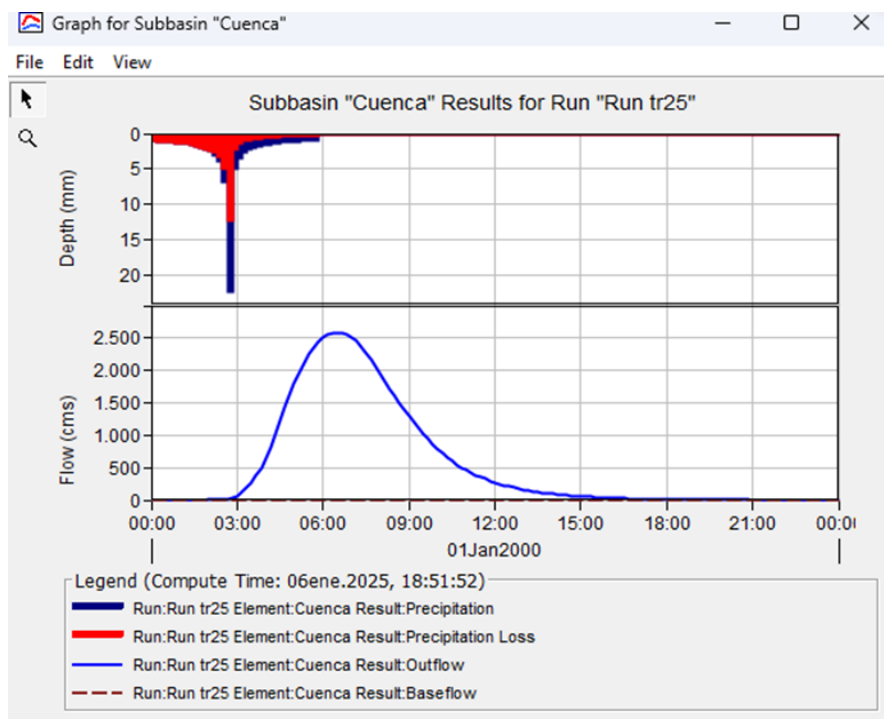


Figura 18

Representación de hietograma y caudal para un $Tr = 25$ años

**Figura 19**

Representación de hietograma y caudal para un $Tr = 50$ años

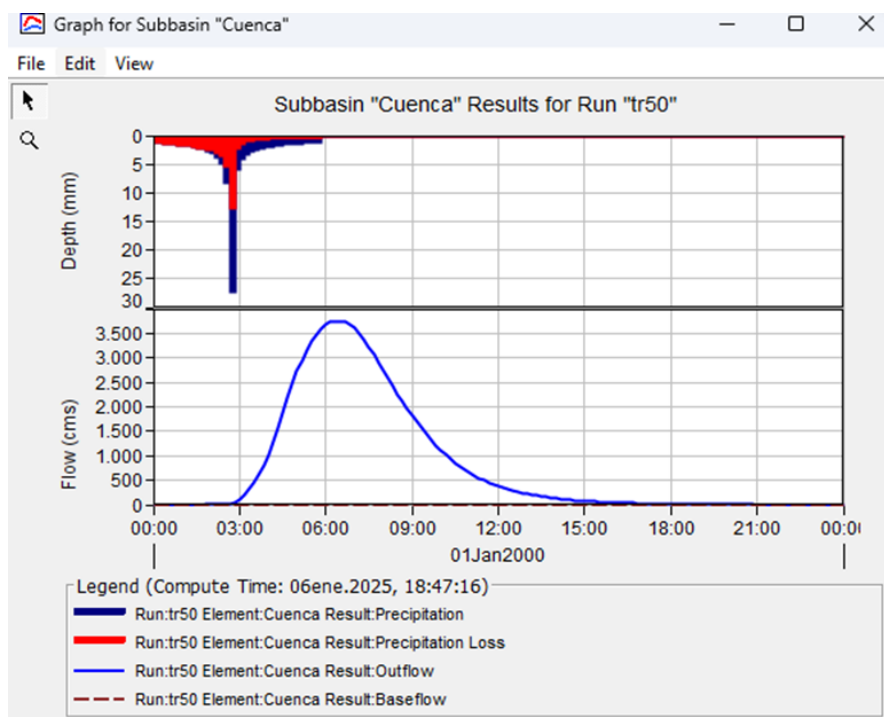


Figura 20

Representación de hietograma y caudal para un $Tr = 100$ años

