

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v7i14.0220>

MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE INUNDACIÓN EN LA QUEBRADA LAS ABRAS, RIOBAMBA

HYDROLOGICAL AND HYDRAULIC MODELING FOR THE IDENTIFICATION OF FLOOD ZONES IN LAS ABRAS CREEK, RIOBAMBA

Tenesaca-Saca Margoth Elizabeth ¹; Reyes-Zambrano Jimmy Leandro ²;
Vallejo-Vizhuete Dennys Paúl ³; Chavarria-Párraga Jesús Enrique ⁴

¹ Maestría Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Manabí. Portoviejo, Ecuador. Correo: mtenesaca5456@pucesm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-9012-4639>.

² Maestría Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Manabí. Portoviejo, Ecuador. Correo: jlreyesz@pucesm.edu.ec. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0962-519X>.

³ Maestría Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Manabí. Portoviejo, Ecuador. Correo: dvallejo3360@pucesm.edu.ec. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4895-5603>.

⁴ Maestría Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Manabí. Portoviejo, Ecuador. Correo: jechavarria@pucesm.edu.ec. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8868-394X>.

Resumen

En esta investigación cuantitativa se modelaron las características hidrológicas e hidráulicas de la quebrada Las Abras, ubicada en la ciudad de Riobamba, con el objetivo de determinar su nivel de riesgo de inundación. El estudio, de naturaleza exploratoria, se llevó a cabo entre enero y marzo del presente año, utilizando datos de precipitaciones máximas para generar la lluvia de diseño. Posteriormente, se realizó el modelado hidrológico con el software HEC-HMS y el análisis hidráulico con HEC-RAS. Los resultados indican que la quebrada abarca un área de 50,40 km², un perímetro de 44,55 km y un Número de Curva (CN) de 61,09. El curso principal tiene una longitud de 26,40 km y una pendiente promedio de 0,03 m/m, lo que da lugar a un caudal máximo de 5,40 m³/s para un periodo de retorno de 50 años. Las simulaciones de eventos de inundación mostraron velocidades de flujo de hasta 3,00 m/s y profundidades de agua (calados) de hasta 2,29 m en algunas áreas. En conclusión, la zona presenta un alto riesgo de inundación, principalmente debido a la acumulación de aguas pluviales en sectores específicos, exacerbada por sus características topográficas y el limitado tiempo de respuesta para la evacuación.

Palabras clave: Simulación, lluvias, inundación.

Abstract

In this quantitative study, the hydrological and hydraulic characteristics of the Las Abras stream in the city of Riobamba were modeled to assess its flood risk. This exploratory study was conducted from January to March of this year, using maximum rainfall data to generate the design storm. Hydrological modeling was performed using HEC-HMS software, and hydraulic analysis was carried out with HEC-RAS software. The findings indicate that the stream covers an area of 50.40 km², with a perimeter of 44.55 km and a Curve Number (CN) of 61.09. The main watercourse has a length of 26.40 km and an average slope of 0.03 m/m, resulting in a peak discharge of 5.40 m³/s for a 50-year return period. The flood simulations revealed flow velocities of up to 3.00 m/s and water depths (flood levels) reaching up to 2.29 m in certain areas. In conclusion, the area is at high risk of flooding, primarily due to the accumulation of rainwater in specific sectors, exacerbated by the region's topographical characteristics and the limited response time for evacuation.

Keywords: Simulation, rainfall, flooding.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 15 de abril de 2024.

Fecha de aceptación: 25 de junio de 2024.

Fecha de publicación: 10 de julio de 2024.



1. Introducción

El cambio climático representa uno de los desafíos más críticos del siglo XXI, con efectos devastadores que se manifiestan en diversas regiones del mundo, incluyendo Ecuador, donde se han intensificado las inundaciones recurrentes. Estos eventos, provocados por factores como el desbordamiento de ríos y precipitaciones extremas, impactan negativamente la biodiversidad, la infraestructura, la agricultura y la salud pública (Naciones Unidas, 2017). A nivel global, las inundaciones constituyen más del 50% de los desastres naturales, exponiendo a millones de personas cada año (Kalyanapu et al., 2009).

En Ecuador, el riesgo de inundación está estrechamente vinculado a la gestión territorial y las características geográficas, afectando tanto a la región costera como a la montañosa (Burgos et al., 2019). La ciudad de Riobamba, ubicada en la región central, no es ajena a estos eventos, especialmente en la quebrada Las Abras, la cual ha sido alterada por el desvío de su cauce para la expansión urbana y la acumulación de escombros (Moreno, 2023).

El crecimiento poblacional y la falta de planificación adecuada han exacerbado los impactos de las inundaciones en áreas vulnerables, especialmente en zonas cercanas a llanuras aluviales (Mena et al., 2021). Ante esta problemática, resulta fundamental implementar técnicas avanzadas de modelación hidrológica e hidráulica para comprender los riesgos de inundación. Herramientas como HEC-HMS y HEC-RAS son ampliamente aceptadas por su capacidad para simular eventos extremos y su utilidad en la gestión de recursos hídricos (Jácome, 2022).

El presente estudio se enfoca en modelar las zonas de inundación de la quebrada Las Abras mediante la recolección de datos hidrológicos y meteorológicos, utilizando HEC-HMS para la simulación hidrológica y HEC-RAS para la modelación hidráulica, considerando variaciones climáticas y eventos extremos.

2. Materiales y métodos

Se llevó a cabo una investigación de tipo exploratoria con el propósito de conocer y analizar la problemática presente en una quebrada de la

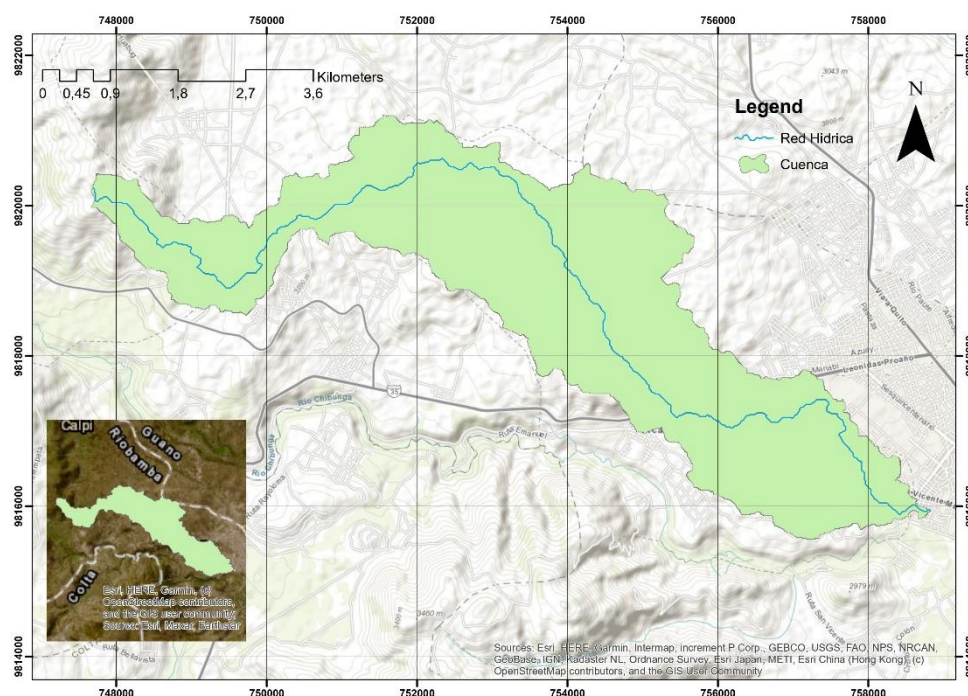
sierra ecuatoriana. Para ello, se utilizaron datos mixtos recopilados en campo, los cuales permitieron responder a la pregunta de investigación mediante un enfoque cualitativo, apoyado en una metodología aplicada que facilitó la determinación de sus características específicas (Borjas, 2016).

Localización

La quebrada Las Abras, ubicada en la provincia de Chimborazo, sirve

como límite natural entre los cantones Riobamba y Guano. Esta quebrada pertenece a la cuenca 2876 del río Pastaza y tiene asignado el código Pfafstetter de Nivel 6: 499684, correspondiente a la Demarcación Hidrográfica de Pastaza. Su división política se encuentra dentro de la parroquia Matriz del cantón Guano (Servicio Nacional de Contratación Pública [SERCOP], 2022).

Figura 1. Localización de la quebrada Cundwana, Riobamba - Chimborazo.



Diseño de la Investigación

Se generó la lluvia de diseño utilizando curvas IDF con un período de retorno de 50 años, considerando el tiempo de concentración y de

retardo (Castillo y Jiménez, 2016). Mediante el software HEC-HMS y el modelo Muskingum-Cunge, se simuló el tránsito de avenidas en la quebrada, evaluando la interacción entre almacenamiento, flujo y

propagación (Zambrano y Córdova, 2020). Además, el software HEC-RAS permitió evaluar la velocidad y profundidad del flujo en eventos de inundación, representados en mapas temáticos que destacan la vulnerabilidad del área (Topaxi y Acero, 2021; Vega y Vivanco, 2018).

Condiciones Climatológicas

La ciudad de Riobamba tiene un clima seco de junio a septiembre y húmedo de febrero a mayo y de octubre a diciembre, influenciado por vientos de la cordillera que provocan una sensación térmica fría (Pérez et al., 2020). Para la lluvia de diseño, se analizaron las precipitaciones máximas en 24 horas, basándose en los datos de la estación Agrometeorológica FRN ESPOCH, que cubren el periodo 2000-2021 (ver tabla 1).

Tabla 1. Precipitaciones máximas en 24 horas desde el año 2000 al 2021

Año	Máxima Precipitación 24 h (mm)
2000	52,70
2001	44,80
2002	33,80
2003	32,00
2004	42,70
2005	27,90
2006	26,40

2007	33,30
2008	24,80
2009	13,90
2010	24,20
2011	29,60
2012	16,90
2013	59,60
2014	29,50
2015	23,30
2016	41,00
2017	49,30
2018	22,20
2019	28,50
2020	32,30
2021	25,60

Referencia: ESPOCH, 2024.

Lluvias de Diseño

Una lluvia de diseño es una representación de las precipitaciones creada para simular condiciones extremas de lluvia en un área específica, con el objetivo de analizar inundaciones o escorrentías (Guerrero y Mora, 2018). En este estudio, la lluvia de diseño se genera siguiendo la propuesta metodológica de Méndez y Reinoso (2024), complementada con el aporte de otros autores, como se detalla a continuación.

Distribución de Probabilidades pluviométricas mediante Gumbel

La distribución de probabilidad Gumbel, propuesta por el hidrólogo

Robert Gumbel en la década de 1950, es una herramienta empleada para modelar eventos extremos, como precipitación intensa o caudales máximos, utilizando una distribución de probabilidad de tipo I (Pinzón y Suárez, 2011). Para su aplicación en este estudio, se utilizaron las fórmulas propuestas por Jaramillo y Apolo (2015), las cuales se describen 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 (ver tabla 3).

Tabla 3. Tabla para considerar variables σ_y y μ_y según el número de datos.

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

Fuente: Sánchez, 2013.

**Precipitaciones Diarias Máximas
Probables para Distintas
Frecuencias**

Probabilidad de Ocurrencia.

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

Fórmula 5. Probabilidad de
ocurrencia.

Donde:**F (xt)** = Probabilidad de ocurrencia.**T_r** = 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 Intensidad Duración Frecuencia (IDF)

Las curvas IDF son herramientas utilizadas en ingeniería hidrológica y de drenaje para determinar la relación entre la intensidad, duración y frecuencia de las precipitaciones en una zona específica. Estas gráficas muestran cómo la intensidad de la lluvia (mm/h) varía según su duración (horas) y su frecuencia o período de retorno (años). Para obtener la ecuación de intensidad a partir de las curvas IDF se emplea la fórmula propuesta por Aparicio en el año 1977 (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).

Los logaritmos se emplean conforme se evidencia en la fórmula 10 con el fin de derivar un modelo de regresión múltiple.

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

Fórmula 10. Modelo de regresión múltiple.

Modelo Hidráulico

Para la delimitación de la cuenca hidrográfica se considera el software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System), el cual permite modelar procesos hidrológicos y analizar datos de escorrentía de lluvia, considerando un umbral hasta el punto de aforo de 20 km², donde se evalúan los parámetros como el área, perímetro, longitud del cauce principal, pendiente del cauce principal y de la quebrada (Castro 2023; López et al, 2012).

Morfometría de la Quebrada

Área.

Es la extensión de superficie dentro de los límites de la cuenca hidrográfica de la quebrada;

pudiéndose medir en metros cuadrados (m²), kilómetros cuadrados (km²), hectáreas (ha) o acres (ac), según la escala de medición (Duque et al., 2019).

Perímetro.

Es la longitud de la línea que precisa el contorno o borde de la quebrada; pudiéndose medir en metros (m) o kilómetros (km), según la escala de medición (Duque et al., 2019).

Longitud del Cauce Principal.

Es la distancia a lo largo del curso de agua principal en la quebrada, definida desde su inicio en la zona más elevada hasta donde se encuentra con otro curso de agua; pudiéndose medir en metros (m) o kilómetros (km) (Duque et al., 2019).

Pendiente Media del Cauce.

Es la medida promedio de inclinación del lecho de la corriente a lo largo de su longitud, su unidad de medida es porcentual (%), aunque puede expresarse en m/m (Duque et al., 2019).

Pendiente Media de la Quebrada.

Es la inclinación promedio en toda su área, su estimación permite comprender el movimiento del agua en la quebrada, en el estudio se

usaron valores vectoriales en formato shape y datos Raster en formato TIFF, analizados en ArcGIS, su unidad de medida es porcentual (%), aunque puede ser en metros sobre metros (m/m) (Castro, 2023).

Modelo Muskingum Cunge

Para caracterizar el flujo de una avenida, se empleó el modelo Muskingum-Cunge, el cual examina la interacción entre el almacenamiento, el flujo y la propagación temporal a lo largo de un canal (Cunge, 1969).

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

Fórmula 11. Modelo Muskingum Cunge.

Donde:

Δx = Longitud del tramo del cauce principal.

c = Celeridad.

S_0 = Pendiente media del cauce.

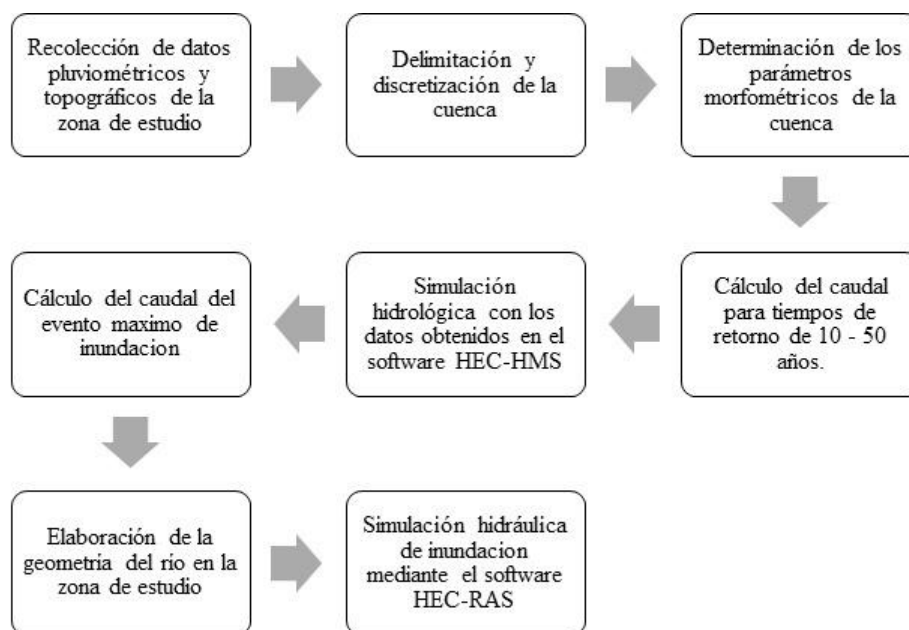
Q = Caudal.

B = Anchura del cauce.

Esquema de Trabajo

Para ello se sigue el esquema de trabajo que se detalla en la figura 2.

Figura 2. Esquema del diseño de modelamiento hidráulico.



Fuente: Elaboración propia del autor.

3. Resultados y discusión

Lluvia de Diseño

Precipitación Diaria Máxima Probable

Para su obtención se analizaron los datos de lluvias máximos en 24 horas levantados desde la estación ESPOCH cercana a la zona de

investigación durante el año 2000 al 2022. Los datos fueron analizados estadísticamente considerando una media igual a 32,47 mm, desviación estándar igual a 11,55 mm, y factores de ajustes de Gumbel α de 9,01 mm y μ de 27,28 mm, examinados para periodos de retornos de 2 a 500 años.

Tabla 4. Precipitaciones máximas probables diarias para diferentes frecuencias.

Periodo de retorno (Años)	Precipitación (mm)	Probabilidad de ocurrencia F (XT)	Corrección de intervalo fijo XT (mm)
2	30,57	0,5000	34,85
5	40,78	0,8000	46,49
10	47,54	0,9000	54,19
20	54,02	0,9500	61,59
50	62,41	0,9800	71,15
100	68,70	0,9900	78,32
500	83,24	0,9980	94,89

Intensidades de Lluvia

Se analizó la duración de la lluvia y su frecuencia estimada para

diferentes periodos de retorno, tal como se detalla en la tabla 5, con el fin de calcular la intensidad de la lluvia diaria.

Tabla 5. Intensidad de lluvia diaria.

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr)						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años	500 años
24,00	1440	1,7135	2,2857	2,6645	3,0279	3,4983	3,8508	4,6654
12,00	720	2,9129	3,8857	4,5297	5,1475	5,9472	6,5464	7,9312
6,00	360	5,5517	7,4056	8,6331	9,8106	11,3346	12,4767	15,1159
2,00	120	13,4289	17,9134	20,8826	23,7306	27,4172	30,1798	36,5636
1,00	60	24,2628	32,3653	37,7299	42,8758	49,5365	54,5278	66,0619
0,75	45	28,8307	38,4587	44,8332	50,9478	58,8626	64,7936	78,4992
0,50	30	37,8500	50,4899	58,8587	66,8862	77,2769	85,0634	103,0566
0,25	15	52,9900	70,6859	82,4021	93,6406	108,1877	119,0887	144,2792
0,08	5	81,7560	109,0583	127,1347	144,4741	166,9182	183,7369	222,6022

Representación de Curvas Intensidad - Duración - Período de Retorno

Se estableció una conexión entre la duración de lluvia, el tiempo que duraba y la posibilidad de que ocurriera en un momento específico, como se detalla en la tabla 6.

Tabla 6. Regresión potencial.

Periodo de Retorno (años)	Término constante de regresión (d)	Coficiente de regresión [n]
2	371,4424	-0,7169
5	495,4849	-0,7169
10	577,6118	-0,7169
20	656,3900	-0,7169
50	758,3602	-0,7169
100	834,7725	-0,7169
500	1011,3498	-0,7169
Promedio	839,5426	-0,7169

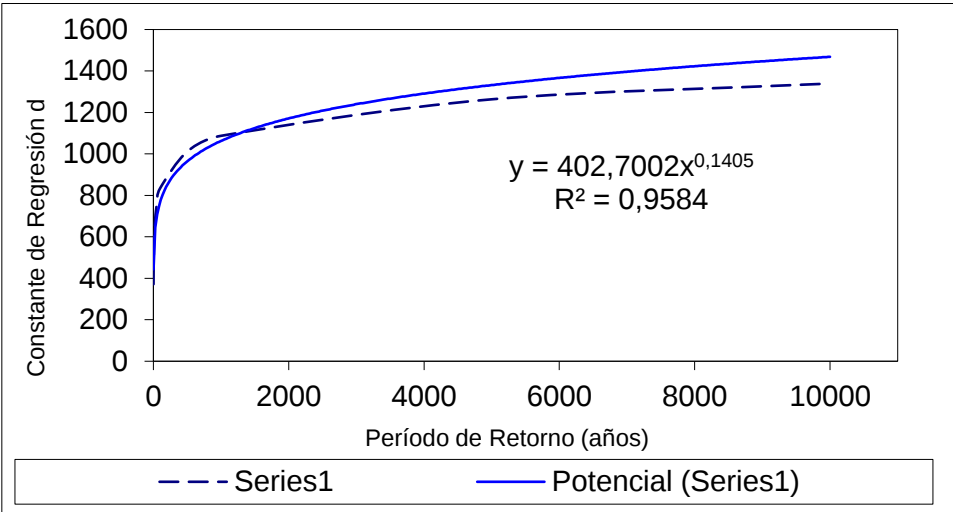
En relación de la regresión potencial, se realizó un segundo análisis de regresión de potencia que relacionaba el periodo de retorno (T)

con el valor constante de la regresión (d), con el propósito de obtener un nuevo factor antes de elaborar las curvas IDF.

Tabla 7. Segunda regresión potencial.

N.º	x	y	Ln x	Ln y	Ln x*Ln y	(Ln x)²
1	2	371,4424	0,6931	5,9174	4,1016	0,4805
2	5	495,4849	1,6094	6,2055	9,9874	2,5903
3	10	577,6118	2,3026	6,3589	14,6419	5,3019
4	20	656,3900	2,9957	6,4868	19,4326	8,9744
5	50	758,3602	3,9120	6,6312	25,9412	15,3039
6	100	834,7725	4,6052	6,7272	30,9797	21,2076
7	500	1011,3498	6,2146	6,9190	42,9991	38,6214
8	16687	8395,4256	46,9680	66,5789	323,5186	297,5700
Ln (K) =	5,9982	K =	402,7002	m =	0,1405	

Figura 3. Curva de regresión potencial.



Con la segunda regresión potencial, se consiguió obtener un valor constante (k) de 402,7002, así como un coeficiente (m) de 0,1405 y un coeficiente (n) de 0,71689. Estos valores se emplearon en la fórmula de intensidad de precipitación para generar las curvas IDF.

Curvas IDF (Intensidad Duración Frecuencia)

Los resultados de la segunda regresión se utilizaron para crear las curvas IDF y desarrollar la ecuación de intensidad "I" para la región en estudio. A continuación, se muestra esta ecuación, donde "T" indica el

periodo de retorno y "t" es el tiempo de precipitación.

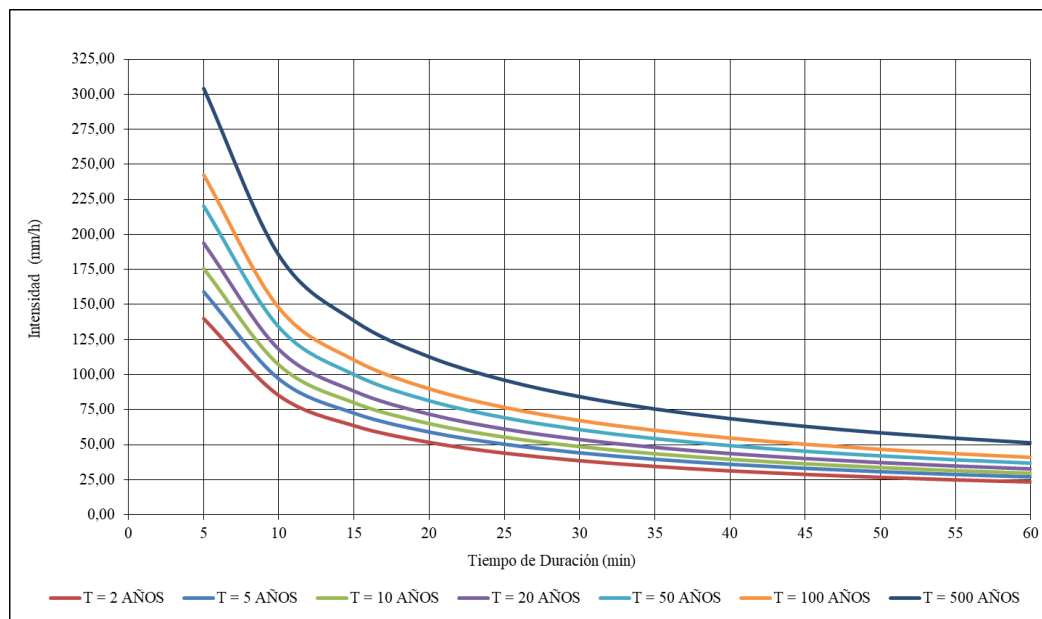
$$I = \frac{402,7002 * T^{0,140456}}{t^{0,71689}}$$

Se estimaron las intensidades para cada periodo de tiempo establecido, según se aprecia en la tabla 10, siendo el sustento para generar las curvas IDF de la figura 4.

Tabla 8. 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	140,02	85,19	63,70	51,83	44,17	38,76	34,70	31,53	28,98	26,87	25,10	23,58
5	159,25	96,89	72,45	58,95	50,23	44,08	39,47	35,86	32,96	30,56	28,54	26,82
10	175,53	106,79	79,86	64,97	55,37	48,59	43,50	39,53	36,33	33,69	31,46	29,56
20	193,48	117,71	88,02	71,62	61,03	53,55	47,95	43,57	40,04	37,13	34,68	32,58
50	220,05	133,88	100,11	81,45	69,41	60,91	54,54	49,56	45,55	42,23	39,44	37,06
100	242,55	147,57	110,35	89,78	76,51	67,14	60,11	54,63	50,20	46,55	43,48	40,85
500	304,08	185,00	138,34	112,56	95,92	84,17	75,36	68,48	62,94	58,36	54,50	51,21

Figura 4. Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).

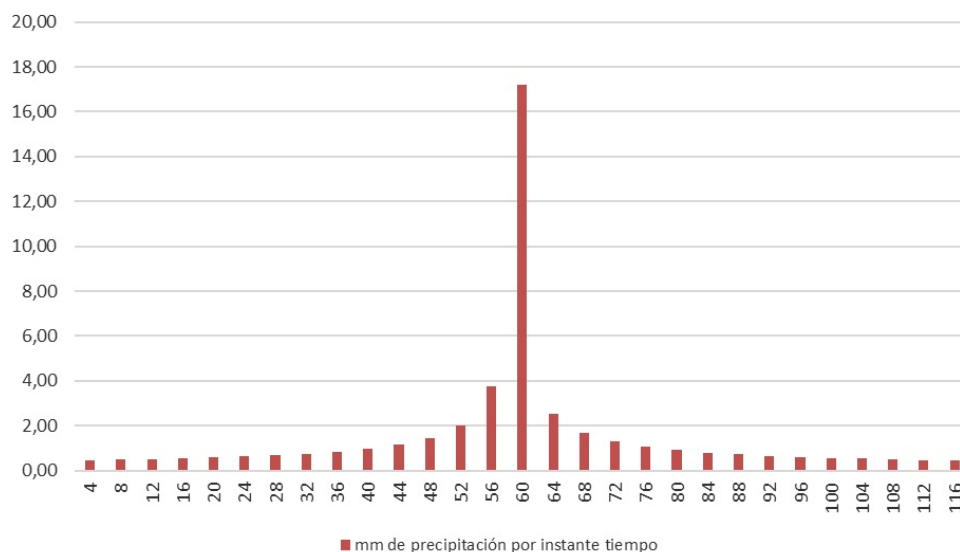


Hietograma de Diseño

Se empleó la técnica de bloques alternos para generar el hietograma de precipitación, siguiendo un período de retorno de 50 años y

evaluando intervalos de 4 minutos (figura 5).

Figura 5. Distribución de intensidad de precipitación $Tr = 50$ años.

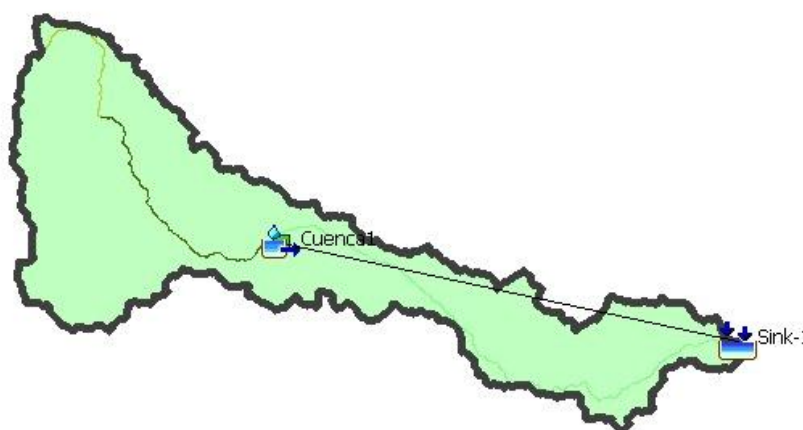


Simulación Hidrológica de la Quebrada.

Se realizó la simulación considerando la lluvia de diseño para calcular las propiedades hidrológicas en la quebrada las Abras,

identificando un área de 50,40 km², un perímetro de 44,55 Km, un Número de Curva (CN) de 61,09. Y al analizar el curso de agua principal, se registró una longitud de 26,40 km con una pendiente de 0,03 m/m.

Figura 6. Quebrada Las Abras definida en el software HEC-HMS.



Se calculó un tiempo de concentración de 182,50 minutos utilizando el método de Kirpich, seguido de un tiempo de retardo de 63,88 minutos. Considerando la

morfometría de la quebrada para un periodo de ocurrencia de 50 años se generó la simulación hidrológica en el software HEC-HMS, teniendo un caudal máximo de 5,40 m³/seg para

la quebrada (en la sección de anexos se puede revisar el hidrograma unitario).

Los resultados concuerdan con la parametrización propuesta por Bernal et al. (2015), quienes consideran la quebrada como muy alargada por su factor de forma ($R_f=0.22$), comparado con el presente estudio ($R_f=0.07$); en

relación al coeficiente de compacidad ($k_c=2.40$), indican que es característico de una cuenca alargada, en la presente investigación se obtuvo un valor algo menor ($k_c=1.76$); en cuanto a la pendiente media del cauce se reporta un valor de 0.032 m/m, mientras que en mi estudio un valor de 0.030 m/m.

Tabla 9. Número de Curva y Caudales máximos para la quebradas Las Abras.

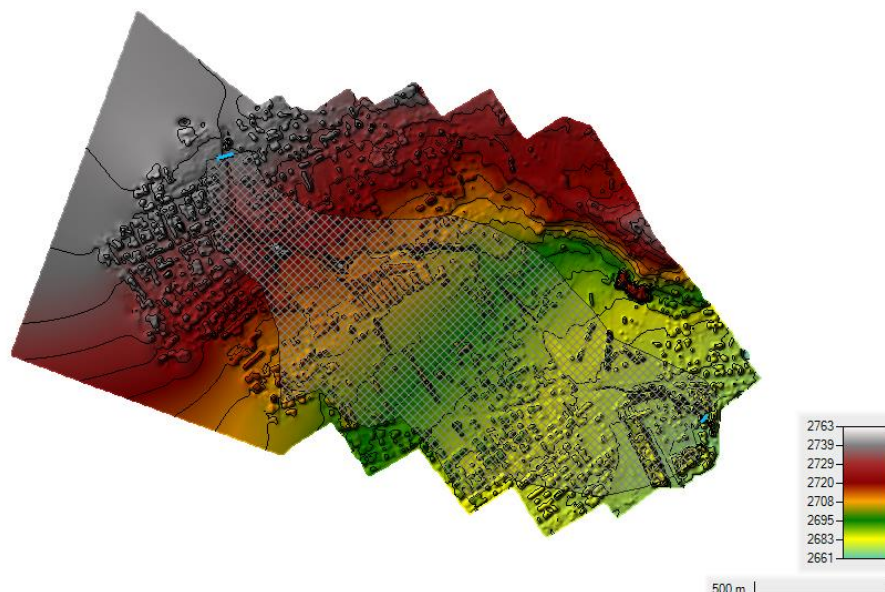
Periodo de Retorno (años)	Número de Curva (CN)	Caudal (m ³ /s)
50	61.09	5,40

Modelación Hidráulica

A través de la simulación hidráulica, se identificaron las zonas de inundación en la quebrada Las Abras, estos datos se utilizaron para la modelación bidimensional en

HEC-RAS, empleando valores de entrada extraídos de la figura 18 en la sección de anexos; en el análisis consideró factores como la velocidad y la profundidad del agua, detallados en las figuras 7 a 12.

Figura 7. Construcción del modelo de elevación en la quebrada Las Abras utilizando HEC-RAS.



Velocidades Hidráulicas

Se registraron velocidades de flujo mínimas de 0,02 m/s y máximas de 3,00 m/s, permitiendo una

comprensión clara de la variabilidad del agua a lo largo de la quebrada mediante los potenciales riesgos por arrastres de personas u objetos.

Figura 8. Velocidades máximas y mínimas suscitadas.

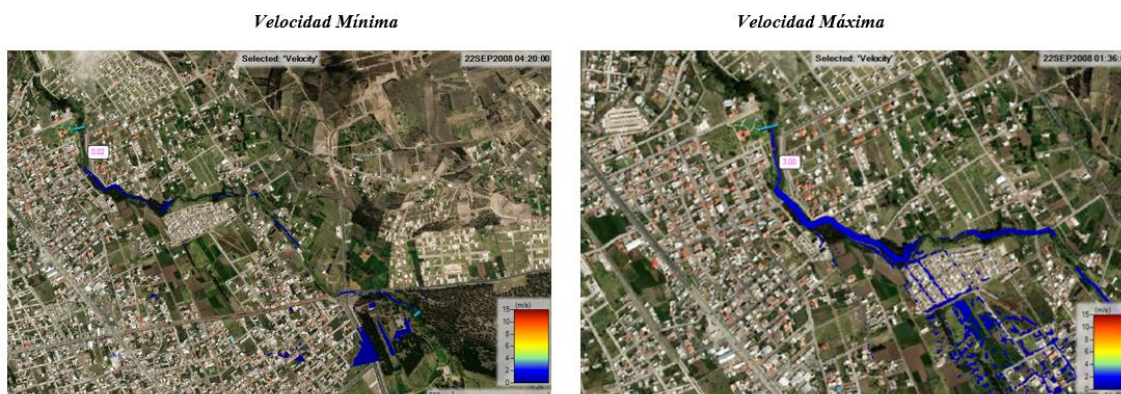
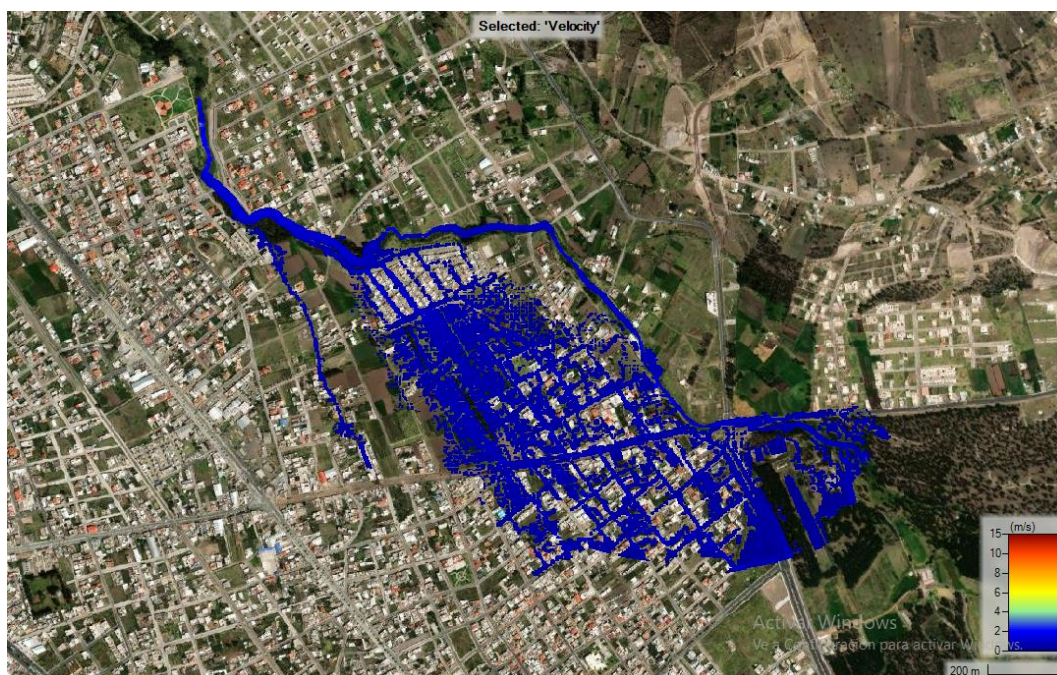


Figura 9. Variación de velocidades en la quebrada Las Abras.



Mediante la simulación de posibles eventos de inundaciones en la quebrada Las Abras, podría representar riesgos potenciales de arrastre de personas u objetos, según el límite de 1 m/s señalado por

Témez (1992); y se registraron niveles de agua que alcanzaron calados de hasta 2,29 m en áreas específicas, lo que señaló un aumento significativo del nivel del agua en relación al umbral de

inundación de 0,80 m establecido por Ahmed (2008).

Profundidades Hidráulicas

La profundidad hidráulica mínima registrada fue de 0,09 m, y la

máxima fue de 2,29 m, indicando un nivel significativamente elevado de agua. Estos datos son cruciales para comprender los riesgos potenciales y tomar medidas preventivas en áreas vulnerables.

Figura 10. Profundidades máximas y mínimas suscitadas.

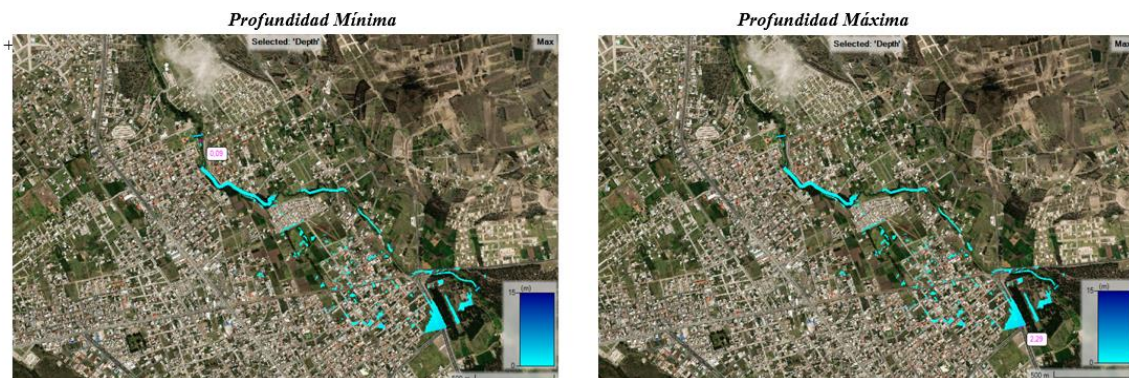


Figura 11. Variación de alturas en la quebrada Las Abras

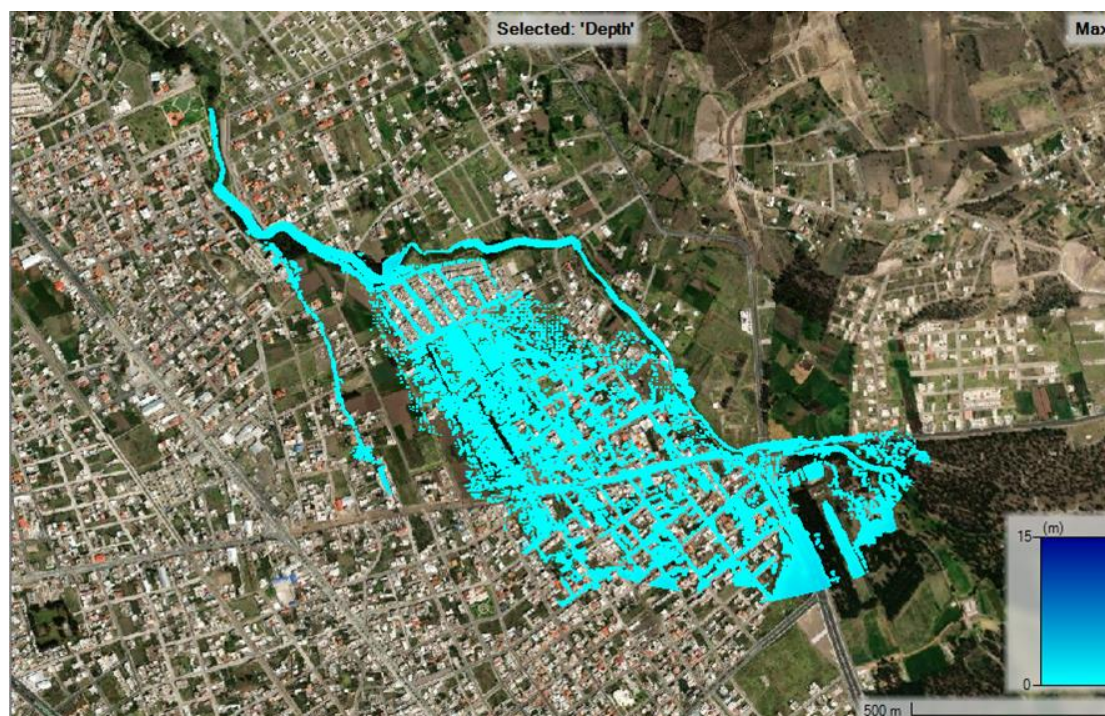


Tabla 10. Resumen de simulación hidráulica en HEC-RAS.

Parámetros	Mínima	Máxima
Velocidades (m/s)	0,02	3,00
Profundidades (m)	0,09	2,29

Al comparar los resultados de la simulación con el mapa de inundación histórico, se evidenciaron claras coincidencias con las inundaciones registradas en la zona de estudio. Los tirantes de agua, que varían entre 0,09 m y 2,29 m en las áreas urbanas, revelan un alto riesgo de inundación, sugiriendo que la infraestructura existente podría no ser adecuada para resistir estos eventos sin sufrir daños. Estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar medidas de mitigación y realizar una planificación más detallada para reducir los impactos de futuras inundaciones.

En cuanto a las velocidades del flujo, estas superan el umbral de seguridad de 1 m/s, lo que supone un riesgo considerable para la población y los objetos en las áreas afectadas. Este comportamiento es consistente con estudios previos, que han registrado velocidades máximas de hasta 3,00 m/s, lo que confirma la validez de los modelos hidráulicos utilizados en la simulación de flujos en quebradas similares.

Sin embargo, se detectaron diferencias en los niveles de agua al

compararlos con otras investigaciones. Por ejemplo, estudios previos estimaron profundidades de hasta 2,29 m para un período de retorno similar, lo cual podría explicarse por diferencias en los datos topográficos o la resolución de los modelos digitales de elevación (DEM) empleados. Estas variaciones destacan la importancia de considerar diferentes escenarios y la necesidad de contar con datos topográficos de alta precisión para obtener proyecciones más realistas.

4. Conclusiones

Las características hidrológicas de la quebrada Cunduana, con un caudal máximo estimado de 5,40 m³/s para un período de retorno de 50 años, subrayan la importancia de su consideración en la planificación y gestión de riesgos en la zona de estudio. Este valor no solo refleja el potencial de la quebrada para generar flujos significativos durante eventos extremos, sino que también es un indicador crucial para la formulación de estrategias de mitigación y la implementación de infraestructuras adecuadas para

reducir el impacto de posibles inundaciones.

Los resultados de las simulaciones de inundaciones en el tramo aguas abajo de la quebrada Cunduana revelan niveles de agua que podrían alcanzar hasta 0,343 m, y velocidades de flujo de hasta 3,64 m/s. Estas condiciones extremas representan un riesgo considerable, no solo por el potencial de causar daños a la infraestructura existente, sino también por el peligro que suponen para la seguridad de las personas, ya que tales velocidades pueden provocar el arrastre de personas, vehículos y otros objetos.

La magnitud de estos riesgos destaca la necesidad urgente de implementar medidas de prevención y mitigación en la zona. Estas medidas podrían incluir la construcción de obras de protección hidráulica, como diques o canales de desvío, así como la instalación de sistemas de alerta temprana que permitan a la población local responder de manera efectiva ante la amenaza de una inundación. Además, es fundamental desarrollar programas de concienciación comunitaria y simulacros periódicos para fortalecer la capacidad de

respuesta de la población ante estos eventos.

Bibliografía

- Ahmed, K. (2008). Aplicación del modelo HEC-RAS para el análisis del flujo no permanente con superficie libre. Obtenido de Escuela Politécnica Nacional, Ecuador:
[https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/846/1/CD-1758\(2008-11-05-10-47-46\).pdf](https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/846/1/CD-1758(2008-11-05-10-47-46).pdf)
- Bernal, C., Salcedo, G., Cedeño, J., y Montalvo, C. (2015). Evaluación hidrogeológica de la cuenca hidrográfica Las Abras, provincia de Chimborazo, Ecuador. Obtenido de Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales DIALNET, volumen 9:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8278010>
- Borjas, M. (2016). Metodología de la Investigación científica para Ingenieros. Obtenido de Studylib:
<https://studylib.es/doc/8929463/metodologia-de-investigacion-cientifica-para-ingenieros>
- Burgos, B., Carjaya, S., y Mero, D. (2019). Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la parroquia Santa Ana de

- Vuelta Larga, provincia de Manabí, Ecuador. Obtenido de Investigaciones Geográficas UNAM: <https://www.biopasos.com/biblioteca/Analisis-vulnerabilidad-inundaciones-ecuador.pdf>
- Castillo, C., y Jiménez, E. (2016). Modelos de flujos secundarios de lodo en las quebradas Seca y las Flores, volcán Imbabura - ciudad de Ibarra. Obtenido de Escuela Politécnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19688/1/CD-9094.pdf>
- 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
- Cunge, J. (1969). On the subject of A flood propagation computation method. Obtenido de Journal of Hydraulic Research: <https://doi.org/10.1080/00221686909500264>
- Duque, P., Patiño, D., y López, X. (2019). Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC-HMS para la Simulación Hidrológica de una Microcuenca Andina Tropical. Obtenido de Revista Scielo, Información tecnológica, volumen 30: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600351>
- Escuela Superior Politécnica de Chimborazo [ESPOCH]ES. (2024). Estación Agrometeorológica. Obtenido de Boletín meteorológico mensual completo: <https://historicoweb.esPOCH.edu.ec/index.php/component/k2/item/650.html>
- Guerrero, F., y Mora, D. (2018). Evaluación y análisis de la intensidad de lluvia de diseño influenciada por oscilaciones decadales de precipitación mediante la determinación de una metodología de cálculo para la cuenca del río Paute. Obtenido de Universidad de Cuenca, Ecuador: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31528/3/TesisGuerreroCoronel.pdf>
- Jácome, M. (2022). Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones de la quebrada Cunduana mediante el uso de modelos hidrológicos e hidráulicos. Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba - Ecuador . Obtenido de: http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/9069/1/8.Tesis_J%C3%A1come_Mirian.pdf

- Jaramillo, S., y Apolo, W. (2015). Afectaciones por explotación pétrea en el cauce del río Pita, sectores playas de Ojiva, cantón Babahoyo, provincia de los Ríos. Propuesta de soluciones. Obtenido de Escuela Superior Politécnica del Litoral: [https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26902/1/UPS-CT011149.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/90940/D-https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26902/1/UPS-CT011149.pdf)
- Kalyanapu, A., Burian, S., y McPherson, T..(2009). Effect of land use- based surface roughness on hydrologic model output. Obtenido de Journal of Spatial Hydrology, 51-97: <https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1078&context=josh>
- Mena, M., Scheffczyk, K., Urutia, M., Huerta, B., y Walz, Y. (2021). Evaluación del riesgo de inundación en Ecuador. Obtenido de Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, Ecuador: https://collections.unu.edu/eserv/UNU:8434/VALE_Flood_Risk_Assesment_Report_Ecuador_SPA_FINAL_META.pdf
- Méndez, E., y Reinoso, M. (2024). Diseño de embaulamiento de quebrada Víctor Mendieta en la parroquia Solano del cantón Déleg en la provincia de Cañar. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26902/1/UPS-CT011149.pdf>
- Moreno, L. (2023). Municipio de Riobamba recupera 5 quebradas como medidas preventivas ante el Fenómeno El Niño. Obtenido de Ecuador INFORMATE: <https://ecuadorinformate.com/2023/12/18/municipio-de-riobamba-recupera-5-quebradas-como-medidas-preventivas-ante-el-fenomeno-el-nino/>
- NACIONES UNIDAS. (2017). El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad de América Latina. Obtenido de CEPAL: https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/sintesis_pp_cc_cc_y_sus_efectos_en_la_biodiversidad.pdf
- Pérez, N., Mullo, H., y Marcatoma, J. (2020). Análisis del cambio climático en un ecosistema alto Andino, Riobamba - Ecuador. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador: http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14574/1/per_n23_v1_01.pdf
- Pinzón, J., y Suarez, J. (2011). Determinación de crecientes extremas en la cuenca de alta montaña del río Guadalupe y la quebrada Piedras Blancas mediante la aplicación del método Gradex. Obtenido de

- Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia:
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7427/tesis518.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 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/3/XII/0397-B3.htm>
- Sánchez, J. (2013). Cálculos estadísticos en Hidrología. Obtenido de Universidad de Salamanca, España: https://hidrologia.usal.es/temas/calculos_esta.pdf
- Servicio Nacional de Contratación Pública [SERCOP]. (2022). Resolución No. 880-2021-EDHP. Obtenido de Expediente Administrativo No. 880-2021-EDHP, 7.
- Témez, J. (1978). Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Obtenido de https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/0610400.pdf
- Témez, J. (1992). Control del desarrollo urbano en las zonas inundables. Control del desarrollo urbano en las zonas inundables. Obtenido de Monografías del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 10, pp 105–115. Madrid.
- Topaxi, J., y Acero, A. (2021). Análisis de Inundación por Rotura de Presa Utilizando el Modelo HEC-RAS 2D: Caso de Estudio de la Presa Mulacorral, Provincia de Tungurahua, Ecuador. Obtenido de Revista Politécnica, volumen 48, páginas 51-64: <https://doi.org/10.33333/rp.vol48n1.05>
- Vega, M., y Vivanco, L. (2018). Generación de mapas temáticos de zonas de riesgo en ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador a través de herramientas de geo procesamiento como elemento innovador para la ordenación urbanística. Obtenido de Universidad de Cuenca, Ecuador: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30711>
- Zambrano, X., y Córdova, C. (2020). Estudio Hidrológico - Hidráulico, de un tramo de la quebrada "El Chorro" en el sector de Ucubamba. Obtenido de Universidad del Azuay, Ecuador, pág. 20: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10259/1/15888.pdf>