

Riesgo de inundación por acción de la quebrada Machaypungo en la zona urbana de Cochabamba, Chota, Cajamarca

Risk of flooding by the Machaypungo stream in the urban area of Cochabamba, Chota, Cajamarca

Anthony U. Peralta Cardozo^{1*} , Nilson Vásquez Rojas¹ , Luis A. Orbegoso Navarro¹ 

¹ Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Ciudad Universitaria Colpamatara, 06120, Chota, Cajamarca, Perú.

*Autor de correspondencia: [email: tony14peralta@gmail.com]

RESUMEN

El objetivo en este estudio fue determinar el riesgo de inundación fluvial causado por la quebrada Machaypungo en la zona urbana de Cochabamba en Chota, Cajamarca. Se empleó la metodología básica basada en los manuales del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), que incluyó levantamiento topográfico, estudio de mecánica de suelos y entrevistas a los moradores de las viviendas cercanas al cauce de la quebrada. Los datos de precipitaciones máximas se obtuvieron del SENAMHI y se utilizó el software HEC HMS para estimar el caudal máximo de 310,8 m³/s con período de retorno de 140 años. El análisis reveló un alto nivel de peligrosidad de 0,27 y vulnerabilidad de 0,36 en la quebrada, generando riesgo significativo de 0,097. Se propuso medidas de mitigación como la construcción de gaviones a lo largo del tramo crítico, desde la confluencia de las quebradas Lancheonga y Yamaluc hasta 500 metros aguas abajo, con un área de protección de 2,14 ha en el margen izquierdo y 1,12 ha en el derecho.

Palabras clave: Caudal, Gaviones, Mitigación, Peligro, Vulnerabilidad.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the risk of river flooding caused by the Machaypungo stream in the urban area of Cochabamba in Chota, Cajamarca. The basic methodology based on CENEPRED manuals was used, which included topographic survey, soil mechanics study and interviews with residents of homes near the stream bed. Maximum rainfall data were obtained from SENAMHI and the HEC HMS software was used to estimate the maximum flow of 310.8 m³/s with a return period of 140 years. The analysis revealed a high hazard level of 0.27 and vulnerability of 0.36 in the stream, generating a significant risk of 0.097. Mitigation measures were proposed, such as the construction of gabions along the critical section, from the confluence of the Lancheonga and Yamaluc streams to 500 meters downstream, with a protection area of 2.14 ha on the left bank and 1.12 ha on the right.

Keywords: Flow, Gabions, Mitigation, Hazard, Vulnerability.

INTRODUCCIÓN

En América Latina, países como Perú enfrentan desafíos significativos debido a fenómenos naturales como sismos, inundaciones y deslizamientos. La evaluación de estos riesgos junto con la vulnerabilidad social es crucial para formular políticas y estrategias económicas que protejan a las poblaciones vulnerables. Según el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2014), es fundamental reconocer la unicidad de cada región para diseñar intervenciones efectivas, dado que no existen soluciones universales aplicables a todos los escenarios de inundación.

Varias regiones, provincias y distritos del País, cuentan con documentos de gestión en el ámbito de la planificación territorial, pero este, es aún insuficiente y débil en su aplicación. Como consecuencia, se presentan invasiones o asentamientos urbanos en zonas con inminente peligro ante eventos naturales, tal como se observa en la construcción de viviendas muy cercanas a las riberas de los cauces (MINAM, 2015).

En el distrito de Palca - Tarma, el caudal del río Tarma aumenta en invierno (enero a marzo), causando inundaciones en la ciudad de Santo Domingo-Palca (Meza, 2019). Lo mismo ocurre en ciudades como Jaén, donde las altas precipitaciones pluviales incrementan los volúmenes de escurrimiento de la Quebrada Jaén en el área urbana de El Parral, generando inundaciones (Soto, 2017).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2021) indica que los eventos climáticos extremos están en aumento y se prevé que sean más frecuentes y severos en diferentes regiones del mundo como resultado del cambio climático. La capital del distrito de Cochabamba está expuesta a posibles sobrecargas hídricas que ponen en alto riesgo a toda la población. La ciudad de Cochabamba, situada en la margen izquierda del Río Chotano, sobre piedemonte montañoso, está surcada por la Quebrada Machaypungo que recorre en sentido nor-oeste, encontrándose en ambas márgenes de la quebrada asentamientos humanos consolidados en sus servicios básicos y educacionales. Esta quebrada recibe el aporte de aguas de las quebradas Lanchecong y Yamaluc a 1 km del punto de convergencia con el Río Chotano.

Este sistema hidráulico, transporta sedimentos y volúmenes de agua durante la temporada de lluvias con caudales que van sobre los 41 m³/s influyendo la fuerte pendiente del cauce que llega incluso hasta 12% (MDC, 2019), colmatando el cauce y generando inundaciones por desborde en la parte baja.

El 8 de marzo del año 2021, ocurrió el desborde e inundación de pistas, veredas edificaciones, viviendas, afectando también a la institución educativa Anaximandro Vega Manteola (RTV, 2021). Por tanto, esta ciudad está expuesta a inundaciones durante eventos extraordinarios en las temporadas de lluvias; además que, en

ambas márgenes, se asientan viviendas que no respetan la faja marginal por no haberse hecho los estudios correspondientes.

La población actualmente está preocupada y las autoridades locales están empeñadas en brindarles la protección que se requiere para evitar daños materiales y pérdidas de vida. En ese sentido, existe un proyecto encaminado por el gobierno local para atender esta problemática desde el año 2015, y que actualmente se encuentra a nivel de perfil técnico, pero que por motivos inciertos aún no se pone en ejecución. Es oportuno analizar y proponer alguna(s) medida(s) de protección frente a inundación en Cochabamba en el tramo aproximado de 0.5 km, que coadyuven al bienestar de la sociedad.

En ese contexto el objetivo en este estudio fue determinar el riesgo de inundación fluvial causado por la quebrada Machaypungo en la zona urbana de Cochabamba en Chota, Cajamarca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

El estudio se realizó en la ciudad de Cochabamba localizada en las coordenadas UTM WGS84 17S 733843.24 m E, 9283897.79 m S, y a una altitud de 2558 m.s.n.m., la quebrada Machaypungo inicia en la unión de las quebradas Lancheonga y Yamaluc, en el tramo de 500 metros, aguas abajo, cuyo cauce pasa por el sector noroeste de la ciudad de Cochabamba, (Figura 1).



Figura 1. Área de estudio, en la quebrada Machaypungo, de la ciudad de Cochabamba, Chota, Cajamarca

A nivel local, el clima se enmarca por constantes precipitaciones pluviales desde noviembre hasta abril con 116,4 mm y presenta temperatura que varía de 10 °C a 25 °C de acuerdo con la Estación

Meteorológica Cochabamba (SENAMHI, 2022).

Diseño estadístico

La investigación fue de tipo no experimental descriptiva causal simple. Esto implica que

el enfoque del estudio se centra en describir y analizar la relación causal entre las variables, sin manipular o controlar ninguna variable de forma deliberada.

Colecta de datos

Registro y análisis de información mediante entrevista

Para estimar el peligro a las inundaciones se identificó factores condicionantes y desencadenantes, los mismos que se caracterizaron a través del análisis documental y visual de mapas e imágenes satelitales, así como visitas a campo. La vulnerabilidad se determinó mediante la colecta de información por medio de la entrevista compuesta de 17 preguntas preparadas según la norma del CENEPRED, la cual se aplicó a pobladores que viven cerca al cauce de la quebrada. La información en su conjunto fue procesada en formatos de hojas de Microsoft Excel y los resultados fueron presentadas en tablas simples o de doble entrada.

Las fórmulas generales para calcular: peligro, vulnerabilidad y riesgo fueron las siguientes:

$$\text{Peligro} = (F \cdot 0.5) + (S \cdot 0.5) \quad (1)$$

Donde:

F= Fenómeno

0.5= Peso Ponderado

S= Susceptibilidad

$$\text{Vulnerabilidad} = (DS \cdot 0.633) + (DE \cdot 0.106) + (DA \cdot 0.26) \quad (2)$$

Donde:

DS, DE, DA= dimensión social, económica y ambiental

0.633, 0.106, 0.26= Pesos ponderados

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \cdot \text{Vulnerabilidad} \quad (3)$$

Estimación del peligro a la inundación

Para determinar el nivel de peligro a la inundación, en primer lugar, se caracterizó el fenómeno utilizando descriptores que se asemejan a la zona analizada. Estos incluyen anomalías de precipitación pluvial, proximidad a fuentes de agua y la intensidad media de precipitación pluvial por hora. Luego, se evaluó el riesgo basándose en factores de susceptibilidad, como el relieve, tipo de suelo, vegetación y uso del suelo, así como factores desencadenantes como eventos hidrometeorológicos, geología y actividades humanas. Esta metodología permitió estimar de manera integral el nivel de peligro de inundación en la zona de estudio. La estimación de los descriptores de la caracterización del fenómeno de inundación. Se expresan los valores estimados en las Tablas 1, 2 y 3.

Tabla 1. Descriptor de anomalía de la precipitación pluvial utilizado en el análisis de peligrosidad frente a inundaciones, como factor de caracterización de la inundación.

Descriptor	Anomalía de la precipitación pluvial	Peso	0,26
PAP5	Inferior al 10% en comparación con el promedio mensual a lo largo de varios años.	PPAP5	0,035

Tabla 2. Descriptor de proximidad a un río utilizado en el análisis de peligrosidad frente a inundaciones, como factor de caracterización del fenómeno de inundación

Descriptor	Cercanía a una fuente de agua	Peso	0,106
CA1	Menor a 20 m	PCA1	0,503

Tabla 3. Descriptor de magnitud de precipitación pluvial utilizado en el análisis de peligrosidad frente a inundaciones, como factor de caracterización del fenómeno de inundación.

Descriptor	Intensidad media (mm/h)	Peso	0,633
IM2	Muy fuertes: de 30 a 60	PIM2	0,26

Para la estimación de los descriptores de susceptibilidad del peligro a la inundación. Se determinan relacionando los factores condicionantes y desencadenantes, clasificados en factores condicionantes, los cuales son presentados en las Tablas 4, 5, 6 y 7.

Tabla 4. Descriptor de relieve utilizado en el análisis de peligrosidad frente a inundaciones, como factor condicionante de la susceptibilidad frente a inundaciones.

Descriptor	Relieve	Peso	0,145
Y5	Plano y ondulado, con partes montañosas	PY5	0,035

Tabla 5. Descriptor de tipo de suelo utilizado en el análisis de peligrosidad frente a inundaciones, como factor condicionante de la susceptibilidad frente a inundaciones.

Descriptor	Tipo de suelo	Peso	0,515
Y9	Suelos granulares y arcillosos	PY9	0,068

Tabla 6. Descriptor de cobertura vegetal utilizado en el análisis de peligrosidad frente a inundaciones, como factor condicionante de la susceptibilidad frente a inundaciones.

Descriptor	Cobertura vegetal	Peso	0,058
Y15	0 - 5 %	PY15	0,035

Tabla 7. Descriptor de uso actual de suelos utilizado en el análisis de peligrosidad frente a inundaciones, como factor condicionante de la susceptibilidad frente a inundaciones.

Descriptor	Uso actual de suelos	Peso	0,282
Y16	Área urbana	PY16	0,503

En base a los factores desencadenantes presentados en las Tablas 8, 9 y 10 se determinó la susceptibilidad frente a inundaciones fluviales.

Tabla 8. Descriptor hidrometereológico utilizado en el análisis de peligrosidad frente a inundaciones, siendo el desencadenante del fenómeno de inundación.

Descriptor	Hidrometeorológico	Peso	0,106
SH1	Lluvias	PSH1	0,503

Tabla 9. Descriptor de geología utilizado en el análisis de peligrosidad frente a inundaciones, siendo el desencadenante del fenómeno de inundación.

Descriptor	Geológico	Peso	0,106
SG4	Movimientos en masas	PSG4	0,068

Tabla 10. Descriptor inducido por el ser humano utilizado en el análisis de peligrosidad frente a inundaciones, siendo el desencadenante del fenómeno de inundación.

Descriptor	Inducido por el ser humano	Peso	0,633
SG3	Infraestructura	PSG3	0,134

Nivel de vulnerabilidad a inundaciones

Este parámetro se estimó en función al análisis de dimensión social, económica y

ambiental que consta de: exposición social, fragilidad y resiliencia (Tabla 11, 12 y 13)

Tabla 11. Parámetros y descriptores de exposición social frente a inundaciones fluviales.

Exposición	Parámetro	Descriptor
Grupo etario	0,26	0,035
Instituciones educativas expuestas	0,160	0,503
Establecimientos de salud terciario	0,633	0,503
Valor	0,41	

Tabla 12. Parámetros y descriptores de fragilidad social frente a inundaciones fluviales.

Fragilidad	Parámetro	Descriptor
Material de construcción	0,43	0,035
Estado de mantenimiento	0,317	0,134
Antigüedad de la construcción	0,042	0,26
Configuración de elevación	0,078	0,068
Incumplimiento de la normatividad vigente	0,131	0,503
Valor	0,14	

Tabla 13. Parámetros y descriptores de resiliencia social frente a inundaciones fluviales.

Resiliencia	Parámetro	Descriptor
Capacitación en gestión del riesgo	0,285	0,503

Conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres	0,152	0,035
Existencia de normatividad política y local	0,096	0,503
Actitud ante el riesgo	0,421	0,26
Campaña de difusión	0,046	0,503
Valor	0,33	

De esta manera, se llega a los resultados finales sobre la vulnerabilidad en cada dimensión (Tabla 14).

Tabla 14. Vulnerabilidad en la dimensión social, económica y ambiental frente a inundaciones fluviales.

Vulnerabilidad	Exposición	Peso	Fragilidad	Peso	Resiliencia	Peso	Valor
Social	0,41	0,633	0,14	0,106	0,33	0,26	0,36
Económica	0,21	0,633	0,18	0,106	0,28	0,26	0,23
Ambiental	0,41	0,63	0,17	0,11	0,50	0,26	0,41

Determinación del riesgo a inundaciones

Se determinó a partir del producto del factor de peligro y el factor de vulnerabilidad, de acuerdo con la matriz de control (Tabla 15).

Tabla 15. Matriz de control para evaluar el nivel de riesgo a inundaciones fluviales de acuerdo a la relación del peligro y vulnerabilidad según CENEPRED (2014)

PMA	,503	,034	,067	,131	,253
PA	,260	,018	,035	,068	,131
PM	,134	,009	,018	,035	,067
PB	,068	,005	,009	,018	,034
		,068	,134	,260	,503
		VB	VM	VA	VMA

Nota. PMA peligro muy alto, PA peligro alto, PM peligro medio, PB peligro bajo, VB vulnerabilidad baja, VM vulnerabilidad media, VA vulnerabilidad alta, VMA vulnerabilidad muy alta (CENEPRED, 2014).

Parámetros geomorfológicos

a través del software ArcGIS 10.6.1, estimándose los parámetros

Se delimitó la cuenca hidrográfica (Figura 2) geomorfológicos que se indican en la Tabla 16.

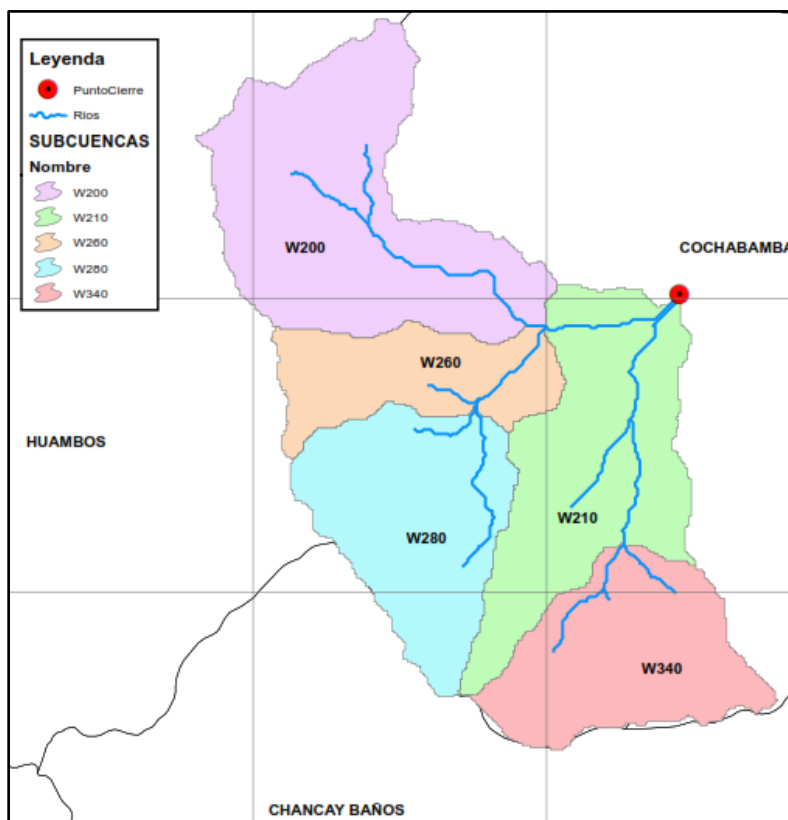


Figura 2. Delimitación de la cuenca en la quebrada Machaypungo en el distrito de Cochabamba, teniendo como punto emisor a la intercepción de las quebradas Yamaluc y Lancheconga.

Tabla 16. Parámetros geomorfológicos de la microcuenca en estudio.

Área (km ²)	39,24
Perímetro (km)	40,68
Longitud Cuenca (km)	10,29
Ancho Cuenca (km)	3,81
Índice de compacidad	1,82
Pendiente %	28,58%
Pendiente Quebrada Machaypungo %	2,45%
Orden ríos	3

Análisis hidrológico e hidráulico de la quebrada Machaypungo

Los registros hidrológicos de precipitaciones pluviales máximas de 24 horas fueron adquiridos del SENAMHI (Estación Cochabamba), abarcando el

período de 52 años, desde 1964 hasta 2019. Posteriormente, se llevó a cabo el análisis para identificar y corregir los datos anómalos, con prueba de bondad de ajuste de Smirnov-Kolmogorov. Los resultados indicaron que la distribución Log Pearson III

proporciona el mejor ajuste a los datos obtenidos (Tabla 17).

Tabla 17. Prueba de bondad de ajuste de Smirnov - Kolmogorov como parte del análisis hidrológico para determinar la distribución que mejor se ajusta a los datos meteorológicos de la Estación Cochabamba 1964 – 2019

n 52	Distribución	Normal	Log-Normal	EV1-Gumbel	Pearson III	LogPearson III
Significancia	0,05	0,1135	0,0680	0,0599	0,0520	0,0514
Δ_{MAX}						
Δ critico	0,1883	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Mejor Ajuste		5	4	3	2	1

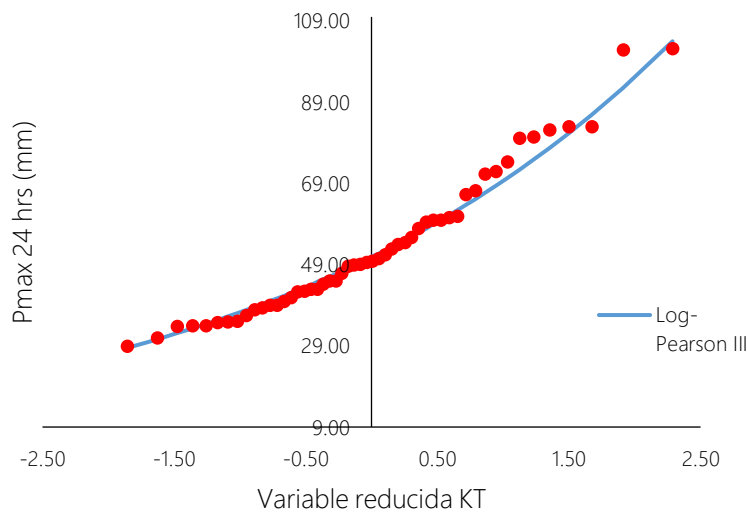


Figura 3. Modelo de distribución Log – Pearson III que mejor se ajusta a los datos de precipitación pluviométrica dados por la Estación Cochabamba, de acuerdo con el estudio hidrológico.

Curvas IDF. Se determinó las precipitaciones máximas para duraciones menores de 24 horas, aplicando la metodología de Dyck and Peschke y llegar a las intensidades

máximas, con estos valores se construyó las curvas IDF (Figura 4) y se presentan en la Tabla 18, 19 y 20.

Tabla 18. Precipitaciones pluviales de diseño para duraciones menores de 24 horas de la Estación Cochabamba.

Duración	Período de retorno (años)
----------	---------------------------

Hr	Min	2	5	10	20	25	50	100	140	300	500
0,17	10	16,27	21,42	25,04	28,66	29,84	33,6	37,52	39,49	44,14	47,41
0,33	20	19,34	25,48	29,78	34,08	35,49	39,96	44,62	46,97	52,49	56,39
0,5	30	21,41	28,2	32,95	37,72	39,28	44,22	49,38	51,98	58,09	62,4
0,67	40	23	30,3	35,41	40,53	42,2	47,52	53,07	55,85	62,43	67,05
0,83	50	24,32	32,04	37,44	42,86	44,63	50,25	56,11	59,06	66,01	70,9
1	60	25,46	33,53	39,19	44,85	46,71	52,59	58,73	61,81	69,09	74,21
1,5	90	28,18	37,11	43,37	49,64	51,69	58,2	64,99	68,4	76,46	82,12
2	120	30,28	39,88	46,6	53,34	55,54	62,54	69,84	73,5	82,16	88,25
4	240	36	47,42	55,42	63,43	66,05	74,38	83,05	87,41	97,7	104,94
6	360	39,85	52,48	61,33	70,2	73,1	82,31	91,91	96,74	108,12	116,14
7	420	41,41	54,54	63,74	72,96	75,97	85,54	95,52	100,54	112,37	120,7
8	480	42,82	56,39	65,9	75,44	78,55	88,45	98,77	103,95	116,19	124,8
10	600	45,27	59,63	69,68	79,76	83,06	93,52	104,43	109,92	122,85	131,96
11	660	46,37	61,07	71,37	81,69	85,06	95,78	106,95	112,57	125,82	135,14
12	720	47,38	62,41	72,93	83,48	86,93	97,88	109,3	115,04	128,58	138,12
24	1440	56,35	74,22	86,73	99,28	103,38	116,4	129,98	136,81	152,91	164,25

Tabla 19. Intensidades de diseño de la precipitación pluvial para duraciones menores a 24 horas

Duración		Período de retorno (años)									
Hr	Min	2	5	10	20	25	50	100	140	300	500
0,17	10	97,6	128,55	150,23	171,96	179,06	201,62	225,14	236,96	264,85	284,49
0,33	20	58,03	76,43	89,33	102,25	106,47	119,88	133,87	140,9	157,48	169,16
0,5	30	42,82	56,39	65,9	75,44	78,55	88,45	98,77	103,95	116,19	124,8
0,67	40	34,51	45,45	53,11	60,8	63,31	71,28	79,6	83,78	93,64	100,58
0,83	50	29,19	38,44	44,93	51,43	53,55	60,3	67,33	70,87	79,21	85,08
1	60	25,46	33,53	39,19	44,85	46,71	52,59	58,73	61,81	69,09	74,21
1,5	90	18,78	24,74	28,91	33,09	34,46	38,8	43,33	45,6	50,97	54,75
2	120	15,14	19,94	23,3	26,67	27,77	31,27	34,92	36,75	41,08	44,12
4	240	9	11,85	13,85	15,86	16,51	18,59	20,76	21,85	24,43	26,24
6	360	6,64	8,75	10,22	11,7	12,18	13,72	15,32	16,12	18,02	19,36
7	420	5,92	7,79	9,11	10,42	10,85	12,22	13,65	14,36	16,05	17,24
8	480	5,35	7,05	8,24	9,43	9,82	11,06	12,35	12,99	14,52	15,6

10	600	4,53	5,96	6,97	7,98	8,31	9,35	10,44	10,99	12,29	13,2
11	660	4,22	5,55	6,49	7,43	7,73	8,71	9,72	10,23	11,44	12,29
12	720	3,95	5,2	6,08	6,96	7,24	8,16	9,11	9,59	10,72	11,51
24	1440	2,35	3,09	3,61	4,14	4,31	4,85	5,42	5,7	6,37	6,84

Tabla 20. Intensidades máximas de la precipitación pluvial para la ciudad de Cochabamba

Duración (t) minutos	Período de retorno (años)						
	10	25	50	100	140	250	500
5	243,62	288,8	328,55	373,72	397,83	443,09	504
10	144,86	171,8	195,36	222,21	236,55	263,46	299,68
20	86,13	102,1	116,16	132,13	140,65	156,65	178,19
30	63,55	75,34	85,7	97,48	103,77	115,58	131,47
40	51,22	60,72	69,07	78,56	83,63	93,15	105,95
50	43,32	51,36	58,43	66,46	70,74	78,79	89,62
60	37,79	44,8	50,96	57,96	61,7	68,72	78,17
70	33,66	39,91	45,39	51,64	54,97	61,22	69,64
80	30,45	36,11	41,07	46,71	49,73	55,39	63
90	27,88	33,05	37,6	42,76	45,52	50,7	57,67
100	25,76	30,54	34,74	39,52	42,07	46,85	53,29
110	23,98	28,43	32,34	36,79	39,16	43,62	49,61
120	22,47	26,64	30,3	34,47	36,69	40,86	46,48

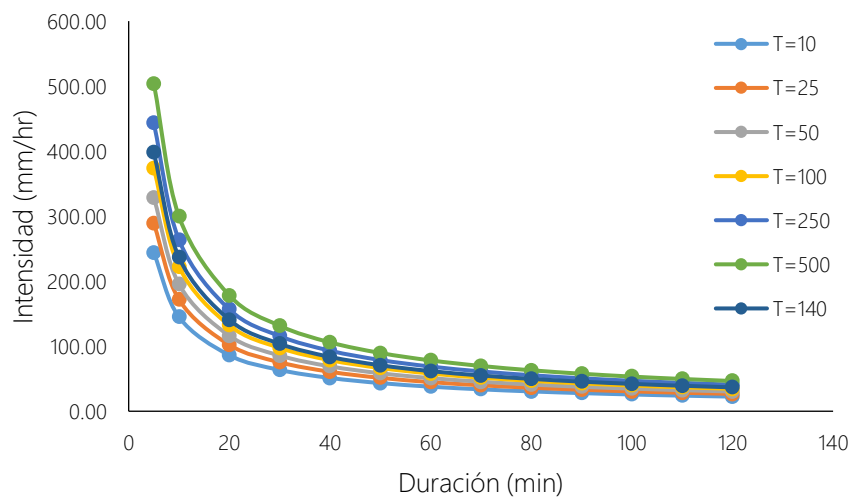


Figura 4. Curvas intensidad duración frecuencia (IDF) de las precipitaciones pluviales para diferentes tiempos de retorno en la ciudad de Cochabamba.

Simulación hidrológica. En esta etapa de trabajo, se utilizó el software HEC HMS 3.5, el que permite simular el fenómeno lluvia – escorrentía, así como estimar el tiempo de

concentración por el método de Kirpich y el Número Curva (CN), con los parámetros geomorfológicos encontrados para la quebrada en mención (Tabla 21).

Tabla 21. Valores de tiempos de concentración y tiempos de retardo, así como el número curva (CN) para simular el fenómeno lluvia – escorrentía.

Nombre	Área (km²)	Lc (km)	Cota mayor (msnm)	Cota menor (msnm)	S (m/m)	TcK (min)	CN	Tc CN (min)	Tc final (min)	Tlag (min)
W200	11,49	6,54	2590,1	1740	0,1301	37	73	48,62	42,81	25,69
W210	9,12	6,89	2580	1664,7	0,1329	38,22	79	42,11	40,17	24,1
W260	4,52	4,70	2500	1740	0,1619	26,37	77	29,82	28,09	16,86
W280	7,39	4,66	2580	1933,3	0,1387	27,83	81	28,34	28,09	16,85
W340	6,71	4,00	2580	2099,7	0,1201	26,14	80	27,79	26,97	16,18

S: Pendiente (m/m). TcK: Tiempo de concentración metodología Kirpich (min). CN: Número curva. Tc CN: Tiempo de concentración metodología número curva (min). Tc final: Tiempo de concentración final (min). Tlag: Tiempo de retardo (min).

Zonas inundables. Adicionando la data anterior y los trabajos topográficos, se procedió a utilizar otra herramienta importante como es el software HEC RAS 5.0.7 y, determinar probables áreas de inundación.

Análisis de datos

Los datos fueron analizados de manera descriptiva sin ningún tipo de inferencia estadística para establecer relaciones causales o hacer predicciones más allá de los datos observados. El análisis se centró en identificar patrones, tendencias y características de los datos recopilados a través de técnicas como la estadística descriptiva, gráficos y tablas en el programa Microsoft Excel 2022 para proporcionar una visión de la situación del riesgo de inundación en la zona estudiada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nivel de peligro de inundación fluvial por desborde de la quebrada Machaypungo en la ciudad de Cochabamba

Considerando la metodología del CENEPRED (2024) se encontró valores de peligrosidad a inundación, con fenómeno de inundación de 0,38 y una susceptibilidad a inundación de 0,165, dando como resultado el nivel de peligrosidad de 0,27, calificado como nivel alto. La ciudad de Cochabamba tiene alta peligrosidad frente a inundaciones fluviales por desborde de la quebrada Machaypungo (Tabla 22), siendo así, existe alta probabilidad de ocurrencia de este fenómeno natural, el cual representa una amenaza para la zona aledaña a la quebrada.

Tabla 22. Nivel de peligrosidad de inundación fluvial de la quebrada Machaypungo, en función al fenómeno y la susceptibilidad del terreno.

Fenómeno		Susceptibilidad		Valor
Valor	Peso	Valor	Peso	
0,380817	0,5	0,1646595	0,5	0,27

El nivel de peligro por inundación en la ciudad de Cochabamba se considera alto debido a la extrema susceptibilidad que presenta ante las inundaciones fluviales. Informes emitidos por INDECI (2021a) e INDECI (2021b) y actualizados por INDECI (2022) respaldan estos resultados, destacando que, durante el mes de marzo, se registra incrementos significativos en la frecuencia de estos eventos meteorológicos. Esta coincidencia temporal sugiere una correlación directa entre la temporada de mayor riesgo y la ocurrencia de inundaciones fluviales en la región. Resultados similares fueron determinados por Olivera & Gonzáles (2023) estudiando los Niveles de riesgo de Inundación Fluvial

en las Microcuencas Lancheconga-Yamaluc y Alcunis, Cochabamba en Chota, Cajamarca.

Nivel de vulnerabilidad a inundación fluvial
La vulnerabilidad en las dimensiones social (0,36), económica (0,23) y ambiental (0,41), da el valor global de vulnerabilidad de 0,36, lo cual indica vulnerabilidad muy alta respecto a la zona crítica de análisis en la ciudad de Cochabamba (Tabla 23). Este resultado refleja que las condiciones sociales, económicas y ambientales de la zona la hacen altamente susceptible a sufrir daños y pérdidas en caso de producirse inundaciones

Tabla 23. Nivel de vulnerabilidad social, económica y ambiental frente a inundaciones fluviales en la ciudad de Cochabamba.

Dimensión social	Peso	Dimensión económica	Peso	Dimensión ambiental	Peso	Valor
0,36	0,633	0,23	0,106	0,41	0,26	0,36

El potencial desborde de la quebrada Machaypungo hace que la vulnerabilidad sea alta en todos los lotes ubicados a menos de 20 metros de distancia. Esta vulnerabilidad se debe a varios factores, entre ellos, la proximidad directa a la fuente de agua superficial y las condiciones precarias de las viviendas en esta zona. Además, la falta de resiliencia contribuye a

aumentar su vulnerabilidad ante eventos de inundación. En caso de producirse el desborde, la infraestructura urbana también sufriría daños considerables, similares a los observados en otros lugares como Zanzan (Masoumi, 2022); en los estanques A y B al sur de Taiwán (Liu et al., 2021) y en Santa Rosa, Huánuco (Manrique, 2021). Estos

ejemplos ilustran los posibles impactos negativos que pueden afectar las estructuras urbanas y las viviendas cercanas a la quebrada Machaypungo en caso de inundación fluvial, resaltando la importancia de implementar medidas de contención y preparación adecuadas para reducir los riesgos y proteger a la comunidad afectada.

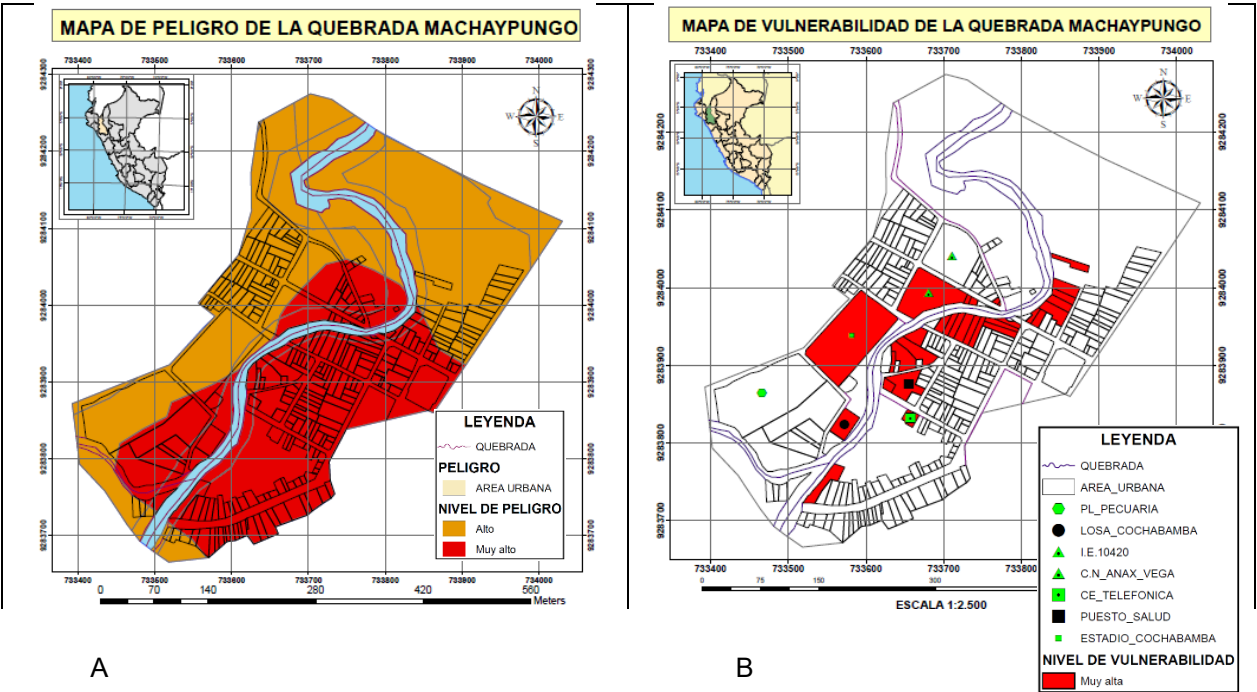
Nivel de riesgo en zona crítica de estudio

Entendiendo que el riesgo es el producto de estos factores, se integró los valores de peligrosidad (0,27) y vulnerabilidad (0,36), obteniendo el nivel de riesgo de 0,097 para

la zona crítica, indicando que es muy alto a sufrir inundación fluvial (Tabla 24). Este resultado evidencia que la combinación de la alta posibilidad del fenómeno y la elevada vulnerabilidad de la zona generan un escenario de riesgo inaceptable que requiere atención prioritaria. Por lo tanto, es necesario proponer alternativas que contribuyan a la protección física de la infraestructura existente, así como proteger la vida y calidad humana de quienes viven en lugares tan cercanos a los cauces del río (Figura 5).

Tabla 24. Nivel de riesgo de inundación fluvial por desborde de la quebrada Machaypungo en la ciudad de Cochabamba.

Peligrosidad	Vulnerabilidad	Riesgo
0,27	0,36	0,097
Alta	Muy alta	Muy alta



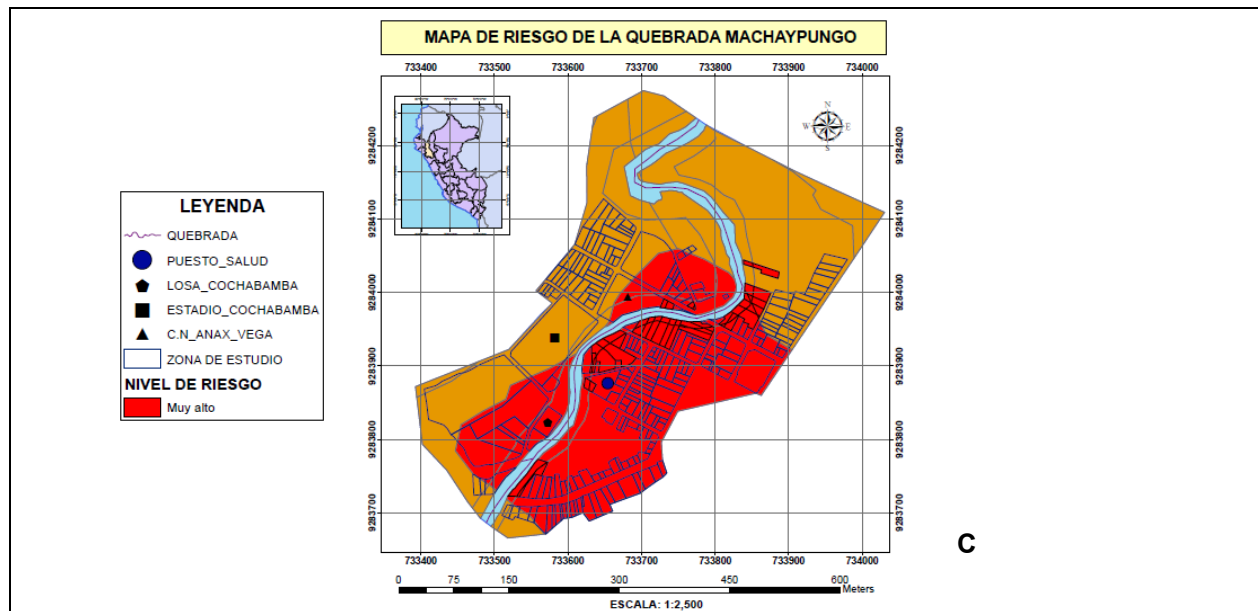


Figura 5. Mapas de A) peligro, B) vulnerabilidad y C) riesgo de inundación de la quebrada Machaypungo en la ciudad de Cochabamba.

Analizando detalladamente la descripción del riesgo, se afirma que la ciudad de Cochabamba está expuesta a riesgo alto ante las inundaciones, lo que hace imperativo la implementación de un plan de gestión de riesgos. Un hito clave que resalta de esta investigación son los mapas detallados de peligrosidad, vulnerabilidad e inundación. Esto coincide con lo determinado por Ha & Kang (2022), quienes destacaron que estos mapas son herramientas fundamentales para el diseño de medidas preventivas frente a las inundaciones urbanas.

Estos mapas proporcionan una visión integral y precisa de las áreas más expuestas y vulnerables ante los riesgos de inundación en la ciudad, por lo cual es esencial priorizar

acciones y asignar recursos para la planificación de estrategias de prevención y mitigación.

Nivel de priorización de riesgo en zona crítica

El Manual del CENEPRED considera que cuando el tipo de riesgo es inaceptable con nivel de priorización II, lo mejor es: la protección, reducción, transferencia del riesgo y compartimiento de pérdidas; sin embargo, por los antecedentes lo mejor sería reducir el riesgo a través de inversiones físicas, como: muros de contención o muros de gaviones para la protección ante probables eventos extremos de precipitaciones en la zona de estudio (Figura 6).



Figura 6. Áreas críticas con riesgo potencial a inundación por desborde la quebrada Machaypungo.

Dada la magnitud del peligro, la vulnerabilidad y el riesgo identificados, se propone el diseño del sistema de gaviones a lo largo de la quebrada Machaypungo como medida de contención y mitigación de los efectos de las inundaciones. Los gaviones, al ser estructuras flexibles y permeables, pueden adaptarse a las como la sección modelo del esquema general de los gaviones. Obteniendo a

condiciones del terreno y brindar protección efectiva contra el desborde de la quebrada, reduciendo así el impacto potencial sobre la población y los bienes expuestos. Para el diseño de gaviones se ha utilizado el software HEC RAS, utilizando datos básicos de la cuenca (Tabla 25), que se indica, así partir de ello, el esquema geométrico y dimensional del gavión (Figura 7).

Tabla 25. Datos Básicos de Diseño Aplicables al Software HEC RAS

Área de la microcuenca	39,24
Pendiente de la microcuenca (%)	28,58
Pendiente de la Quebrada Machaypungo (%)	2,45
Tr (años)	140
Estación Meteorológica	Cochabamba
Modelo de Distribución	Log Pearson III

Caudal de diseño (m³/s)	310,8
Área inundable margen izquierdo (ha)	2,14
Área inundable margen derecho (ha)	1,12

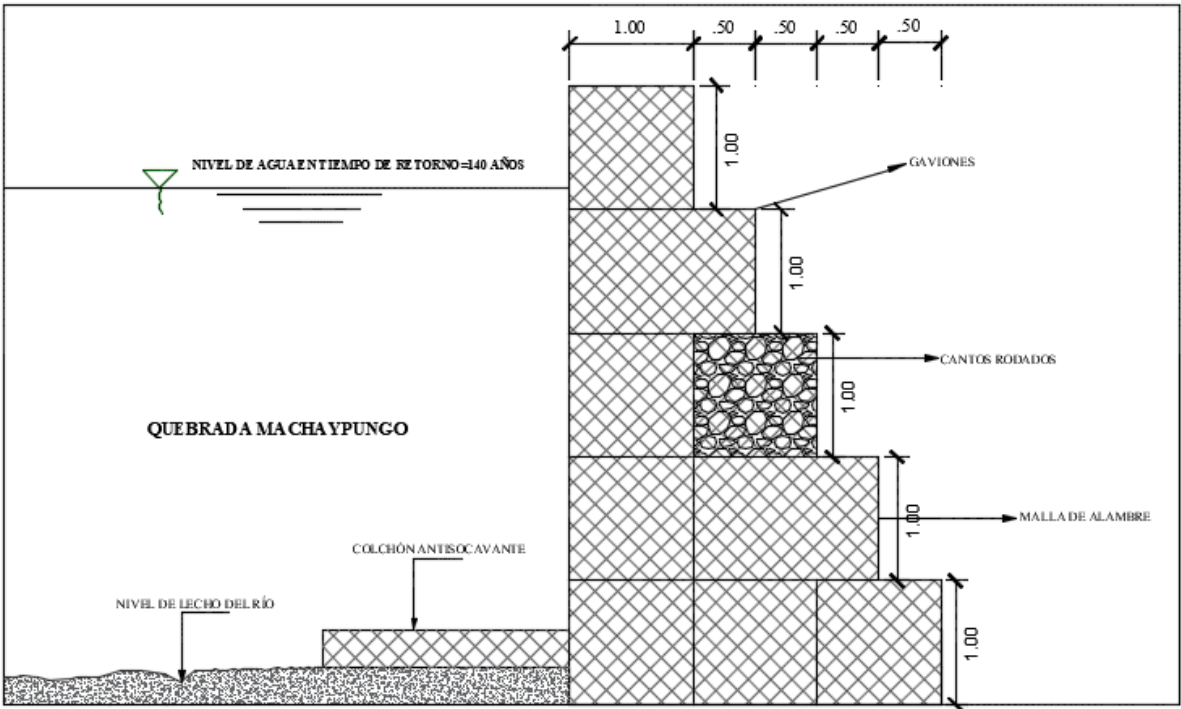


Figura 7. Esquema típico de muros de encausamiento tipo Gaviones propuesto para la Zona Crítica.

La construcción de gaviones en zonas críticas de riesgo a inundaciones fluviales por desbordamiento de la quebrada Machaypungo emerge como medida clave de mitigación, según Olivera & Gonzáles (2023). Los gaviones, que son estructuras de contención hechas de malla metálica rellena de piedras u otros materiales, tienen la capacidad de reducir la velocidad del flujo de agua y controlar la erosión, contribuyendo así a la protección de áreas vulnerables. Según, Alsubih et al. (2023) la construcción de gaviones ha demostrado ser efectiva en la reducción del riesgo de inundaciones en regiones con condiciones similares a las de

Cochabamba. Su capacidad para retener sedimentos y estabilizar los cauces de ríos y quebradas ha sido comprobada en diversas situaciones. Por otro lado, Ghare et al. (2022) señalan que, la implementación de gaviones ha resultado en la disminución significativa de los daños ocasionados por inundaciones en urbes expuestas a riesgos similares. La resistencia de estas estructuras ante la fuerza del agua y su capacidad para mantener la estabilidad de los terrenos cercanos son aspectos destacados en sus investigaciones. Resultados similares a los determinados en este estudio fueron reportados por Olivera

& Gonzáles (2023) quienes al analizar los riesgos de inundación en Cochabamba subrayan la importancia estratégica de construir gaviones en las zonas críticas identificadas. La implementación de estas estructuras no solo reduce el riesgo de inundaciones, sino que también protege la infraestructura urbana y la población que vive en áreas de alto peligro.

CONCLUSIONES

La quebrada Machaypungo exhibe un alto riesgo, peligro y vulnerabilidad a la inundación de 0,097, 0,27 y 0,36, respectivamente.

Existen áreas con potencial significativo de riesgo de inundación fluvial, en un área de 2,14 hectáreas en el margen izquierdo y 1,12 hectáreas en el margen derecho de la quebrada Machaypungo.

Se recomienda colocar gaviones a lo largo de los 500 metros del tramo afectado en ambos márgenes de la quebrada, con dimensiones de hasta 5 metros de altura y 3 metros de base, con la finalidad de mitigar el riesgo de inundación fluvial en la ciudad de Cochabamba.

Financiamiento

Los autores no recibieron financiamiento o patrocinio para ejecutar el trabajo de investigación.

Conflicto de intereses

No existe ningún tipo de interés con los contenidos del artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alsubih, M., Ahmed, M., Alqadhi, S., & Mallick, J. (2023). Gabion water

barrier structures as a sustainable approach to water and land conservation. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(60), 126057-126071.

<https://doi.org/10.1007/s11356-023-31040-3>

Aparicio Mijares, F. J. (1992). Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa, S.A Grupo Noriega Editores. <https://www.hidrosm.com/2020/12/libro-fundamentos-de-hidrologia-de.html>

Autoridad para la Reconstrucción con Cambios (2021). ¿Qué hacemos? Gob.pe. <https://www.gob.pe/7592-autoridad-para-la-reconstruccion-con-cambios-que-hacemos>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (2014). Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión. CENEPRED.

Ghare, G. S., Deshpande, P. K., & Bhondwe, A. A. (2022). Flood Hazard Mitigative Protection Measures Along the Banks of Koyna River Near Patan Based on Spatial Data. In *Recent Advancements in Civil Engineering: Select Proceedings of ACE 2020* (pp. 867-878). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4396-5_74

Ha, J., & Kang, J. E. (2022). Assessment of flood-risk areas using random forest techniques: Busan Metropolitan City. *Natural Hazards*, 111(3), 2407-2429.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-021-05142-5>

- INDECI. (2021a, 8 de marzo). Reporte complementario N° 1286 – 10/03/2021/COEN – INDECI/14:30 horas (Reporte N° 1). Precipitaciones pluviales en el distrito de Cochabamba – Cajamarca. Centro de Operaciones de Emergencia Nacional COEN.
- INDECI. (2021b, 16 de marzo). Reporte complementario N° 1400 – 16/03/2021/ COEN – INDECI/ 00:45 horas (Reporte N° 3). Precipitaciones pluviales en el distrito de Cochabamba – Cajamarca. Centro de Operaciones de Emergencia Nacional COEN. <https://n9.cl/l31fj>
- INDECI. (2022, 18 de marzo). Lluvias intensas en el departamento de Cajamarca. Informe de emergencia N° 310 – 18/03/2022/ COEN – INDECI/ 01:30 horas (Informe N° 4). Centro de Operaciones de Emergencia Nacional COEN. <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2022/03/INFORME-DE-EMERGENCIA-N%C2%BA-310-18MAR2022-LLUVIAS-INTENSAS-EN-EL-DEPARTAMENTO-DE-CAJAMARCA-4.pdf>
- Liu, W. C., Hsieh, T. H., & Liu, H. M. (2021). Flood risk assessment in urban areas of southern Taiwan. *Sustainability*, 13(6), 3180. <https://doi.org/10.3390/su13063180>
- Manrique, M.L. (2021). Determinación de los niveles y zonas de riesgos por inundación en el caserío Santa Rosa de Shapajilla. [Tesis de maestría en ciencias en agroecología mención en gestión ambiental, Universidad Nacional Agraria de La Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1948>
- Masoumi, Z. (2022). Flood susceptibility assessment for ungauged sites in urban areas using spatial modeling. *Journal of Flood Risk Management*, 15(1), e12767. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12767>
- Mejía Marcacuzco, J. A. (2006). Hidrología Aplicada. Universidad Nacional Agraria la Molina. <https://www.hidrosm.com/2020/08/libro-hidrologia-aplicada-abel-mejia.html>
- Molero Melgarejo, E. (2013). Manual Básico de HEC-GeoRAS 10. Universidad de Granada. <https://www.udocz.com/pe/apuntes/45183/manual-basico-de-hec-georas-10>
- Monsalve Saénz, G. (1999). Hidrología en la ingeniería. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. <https://www.hidrosm.com/2021/01/libro-hidrologia-en-la-ingenieria.html>
- Olivera, C & Gonzáles, B. (2023). Niveles de riesgo de Inundación Fluvial Generadas por las Microcuencas Lancheonga-Yamaluc y Alconis, Cochabamba, Chota, 2022. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
- Presidencia del Consejo de Ministros (2022). Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. PCM, <http://www.gob.pe/institucion/indeci/informes-publicaciones/3466692-plan-nacional-de-gestion-de->

gestion-del-riesgo-de-desastres-
planagerd-2022-20303466692-
plan-nacional-de-gestion-de-
gestion-del-riesgo-de-desastres-
planagerd-2022-2030

Reglamento Nacional de Gestión de
Infraestructura Vial. (2008). Manual
de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.
RNGIV

UNDRR (2023), Gestión Integral del Riesgo
de Desastres en las Américas y el
Caribe: ideas para una nueva
agenda regional de base científica y
tecnológica. Oficina de las Naciones
Unidas para la Reducción del Riesgo de
Desastres (UNDRR).

Vente Chow. Maidment, D. y Mays L. (1994).
Hidrología aplicada. Editorial Nomos
S.A.

Villón Bejar, M. (2002). Hidrología. Editorial
Villón.

Contribución de autoría

1. Anthony U. Peralta Cardozo: Concepción y elaboración del manuscrito.
2. Nilson Vásquez Rojas: Análisis de datos y elaboración del manuscrito.
3. Luis A. Orbegoso Navarro: Concepción y elaboración del manuscrito.

Recibido: 26-02-2024 Aceptado: 02-07-2024 Publicado: 31-07-2024