

COMPORTAMIENTO DE FACTORES DE
**ESCORRENTÍA
SUPERFICIAL**
Y SUS EFECTOS VULNERABLES

ISBN: 978-9942-679-84-0



Paulo Vásquez - Garay Torres
Heidi Vásquez - Garay Torres
Manuel Iván Maita Pérez
Victor Paredes Atoche
Maurino Silvestre Cahuana Hidalgo

COMPORTAMIENTO DE FACTORES DE
**ESCORRENTÍA
SUPERFICIAL**
Y SUS EFECTOS VULNERABLES

COMPORTAMIENTO DE FACTORES DE
**ESCORRENTÍA
SUPERFICIAL**
Y SUS EFECTOS VULNERABLES

Autores

Paulo Vásquez - Garay Torres

Heidi Vásquez - Garay Torres

Manuel Iván Maita Pérez

Victor Paredes Atoche

Maurino Silvestre Cahuana Hidalgo

Comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación íntegra o parcialmente por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquiera otro, sin la autorización previa por escrito al Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador (CIDE).

Copyright © 2025

Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador

Tel.: + (593) 04 2037524

<http://www.cidecuador.org>

ISBN: 978-9942-679-84-0

<https://doi.org/10.33996/cide.ecuador.CFES679840>

Dirección editorial: Lic. Pedro Misacc Naranjo, Msc.

Coordinación técnica: Lic. María J. Delgado

Diseño gráfico: Lic. José Fuentes Arzabe

Diagramación: Lic. Alba Gil

Fecha de publicación: noviembre, 2025



Guayaquil - Ecuador

La presente obra fue evaluada por pares académicos experimentados en el área.

Catalogación en la Fuente

Comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables / Paulo Vásquez - Garay Torres, Heidi Vásquez - Garay Torres, Manuel Iván Maita Pérez, Victor Paredes Atoche, Maurino Silvestre Cahuana Hidalgo. - Ecuador: Editorial CIDE, 2025.

142 p.: incluye tablas, figuras; 21 x 29,7 cm.

ISBN: 978-9942-679-84-0

1. Escorrentía superficial

Contenido

Prólogo	8
Introducción.....	10

Capítulo 1 **Fundamentos teóricos y determinantes del** **comportamiento hidrológico**

1.1 Introducción al comportamiento hidrológico en entornos urbanos	15
1.2 Estudio del comportamiento hidrológico	19
1.3 Configuración de la escorrentía superficial como variable independiente	21
1.4 Factores que influyen en la escorrentía	22
1.5 Escorrentía en contextos urbanos	23

Capítulo 2 **Impactos de la escorrentía superficial en** **comunidades vulnerables**

2.1 La vulnerabilidad como variable dependiente	27
2.2 Componentes de la vulnerabilidad	28
2.3 Tipologías de vulnerabilidad	30
2.4 Balance hidrológico: fundamentos, variables y aplicaciones	31

2.4.1 Precipitación: fuente primaria del sistema	34
2.5 Métodos de cálculo de la precipitación media	34
2.6 Análisis estadístico de datos hidrológicos	42
2.7 Evapotranspiración: pérdida por evaporación y transpiración	44
2.8 Tipo y uso de suelo: textura, infiltración y vulnerabilidad hídrica	45
2.9 Escorrentía directa y precipitación efectiva	46
2.9.1 Coeficiente de escorrentía	47
2.9.2 Factores que influyen en el coeficiente de escorrentía	47
2.10 Vulnerabilidad hidrológica en Huancayo	49
2.11 Transformación de la lluvia en escurrimiento: fundamentos, desafíos y métodos empíricos	53

Capítulo 3

Análisis integral de vulnerabilidad ante inundaciones. Caso provincia de Huancayo

3.1 Relación técnica entre variables	71
3.2 Conceptualización de variables hidrológicas	72
3.3 Cómo hacer operacional el uso de variables en problemas de escorrentieras	73
3.4 Enfoque metodológico	78
3.5 El procesamiento de la información hidrológica	82
3.6 Técnicas y herramientas de análisis de datos	101
3.7 Análisis de vulnerabilidad hidrológica	102
3.8 Evaluación de la vulnerabilidad urbana frente a inundaciones	106
3.9 Discusión de resultados de la evaluación hidrológica y vulnerabilidad urbana en Huancayo	113
3.10 Incremento de escorrentía superficial: análisis hidrológico	116

Capítulo 4

Reflexiones finales

Reflexiones finales	122
Referencias	126
Glosario	133
Semblanza de los autores	141

Prólogo

El libro “Comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables” surge como respuesta a una problemática que, lejos de ser exclusiva de Huancayo, refleja una realidad compartida por numerosas ciudades latinoamericanas: el crecimiento urbano acelerado y desordenado, la transformación de suelos naturales en áreas urbanizadas y la consecuente alteración del ciclo hidrológico.

La escorrentía superficial y sus efectos vulnerables constituyen un binomio que sintetiza la interacción entre procesos físicos y dinámicas sociales. Por un lado, el agua que no logra infiltrarse en el suelo y se desplaza sobre la superficie terrestre se convierte en un factor de riesgo cuando las condiciones de uso del suelo y la infraestructura urbana no han sido planificadas adecuadamente. Por otro lado, las comunidades que habitan en laderas y zonas de expansión urbana enfrentan vulnerabilidades que trascienden lo material, involucrando aspectos sociales, culturales e institucionales.

Este libro ofrece un recorrido ordenado y coherente a través de cuatro capítulos. El primero presenta los fundamentos teóricos y determinantes del comportamiento hidrológico, situando la escorrentía superficial como variable independiente. El segundo analiza los

impactos de la escorrentía en comunidades vulnerables, conceptualizando la vulnerabilidad como variable dependiente y explorando sus componentes y tipologías. El tercero desarrolla un análisis integral de la vulnerabilidad ante inundaciones en la provincia de Huancayo, operacionalizando las variables mediante técnicas y herramientas de análisis de datos, y discutiendo los resultados obtenidos. Finalmente, el cuarto capítulo plantea reflexiones estratégicas que invitan a pensar la gestión del agua y del territorio desde una perspectiva integral, resiliente y sostenible.

La relevancia de este estudio radica en que no se limita a describir fenómenos hidrológicos, sino que los vincula con realidades sociales y territoriales concretas. Al hacerlo, aporta insumos valiosos para la planificación urbana, la gestión del riesgo y la construcción de comunidades más preparadas frente a los desafíos hídricos contemporáneos.

Sin duda, la dinámica de la escorrentía superficial y sus efectos vulnerables constituye un paso imprescindible para transformar la relación entre sociedad y naturaleza, orientando a los territorios hacia un futuro más seguro, resiliente y sostenible.

Introducción

El libro titulado Comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables constituye un esfuerzo orientado a evaluar la relación entre la escorrentía superficial y los efectos vulnerables que esta genera en sectores priorizados de la provincia de Huancayo.

La ocupación informal y, en algunos casos, formal de laderas en zonas como la Urbanización Alto La Merced, Asociación de Vivienda Los Libertadores, Cooperativa Santa Isabel, Asociación de Vivienda Soto Valle, Barrio San José y Etapas Nueva Esperanza, ha transformado aceleradamente el uso del suelo natural hacia usos urbanos donde el crecimiento desordenado ha alterado los cauces originales de la red hidrográfica y modificado el ciclo hidrológico generando impactos significativos en las poblaciones locales, especialmente durante las temporadas de lluvia, cuando se intensifican fenómenos de erosión e inundaciones.

El contenido del libro se organiza en cuatro capítulos, desarrollados de manera secuencial para abordar el fenómeno de la

escorrentía superficial y sus efectos vulnerables desde una perspectiva teórica, técnica y aplicada:

Capítulo 1. Fundamentos teóricos y determinantes del comportamiento hidrológico, presenta el marco conceptual del comportamiento hidrológico en entornos urbanos, explicando la configuración de la escorrentía superficial como variable independiente y los factores que influyen en su dinámica.

Capítulo 2. Impactos de la escorrentía superficial en comunidades vulnerables, analiza la vulnerabilidad como variable dependiente, sus componentes y tipologías, así como la relación con el balance hidrológico, la precipitación, la evapotranspiración y el uso del suelo. Se incluyen métodos de cálculo y análisis estadístico que permiten comprender la transformación de la lluvia en escurrimiento y sus efectos en Huancayo.

Capítulo 3. Análisis integral de vulnerabilidad ante inundaciones. Caso provincia de Huancayo, desarrolla la relación técnica entre las variables hidrológicas y su operacionalización mediante herramientas de análisis de datos. Se evalúa la vulnerabilidad urbana frente a inundaciones, discutiendo resultados que evidencian el incremento de la escorrentía superficial y sus implicancias en la seguridad hídrica y territorial.

Capítulo 4. Reflexiones finales, sintetiza los hallazgos de la investigación y plantea consideraciones estratégicas para la gestión del riesgo y la planificación urbana, resaltando la importancia de integrar conocimiento técnico, participación social y gestión institucional para construir territorios más resilientes y sostenibles.

Finalmente se puede decir que este libro, fundamentado en el trabajo de Vásquez Garay-Torres (2020), ofrece una visión integral de la relación entre la escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en Huancayo, aportando insumos estratégicos para la gestión territorial y la resiliencia comunitaria frente a los desafíos hídricos.



1

Fundamentos teóricos y determinantes
del comportamiento hidrológico



Capítulo 1

Fundamentos teóricos y determinantes del comportamiento hidrológico

El comportamiento hidrológico en entornos urbanos constituye un campo de estudio complejo y multidimensional, en el que confluyen procesos físicos, ambientales y sociales. La creciente urbanización transforma de manera significativa la dinámica natural del agua, alterando la infiltración, la evapotranspiración y, especialmente, la generación de escorrentía superficial. Comprender estos fundamentos teóricos resulta indispensable para evaluar los impactos que la urbanización ejerce sobre el ciclo hidrológico y, en consecuencia, sobre la sostenibilidad de los sistemas urbanos.

El estudio del comportamiento hidrológico permite identificar patrones y relaciones entre las variables que regulan el

movimiento del agua, destacando la escorrentía superficial como una variable independiente de gran relevancia. Su configuración está determinada por factores como la intensidad y distribución de la precipitación, las características del suelo, la cobertura vegetal, la morfología del terreno y las intervenciones antrópicas, entre ellas la impermeabilización de superficies y el diseño de infraestructuras.

En contextos urbanos, la escorrentía adquiere un carácter particular: su magnitud y velocidad se incrementan debido a la reducción de áreas permeables y al aumento de superficies artificiales. Este fenómeno genera desafíos asociados al manejo de aguas pluviales, la prevención de inundaciones y la gestión de riesgos ambientales.

Por ello, el análisis de los determinantes del comportamiento hidrológico en ciudades no solo aporta un marco teórico sólido, sino que también constituye una base práctica para la planificación urbana, la formulación de políticas públicas y el diseño de estrategias de adaptación frente a los efectos del cambio climático.

1.1 Introducción al comportamiento hidrológico en entornos urbanos

El comportamiento hidrológico de las cuencas urbanas ha adquirido una relevancia crítica en el contexto de los desastres naturales,

particularmente en lo que respecta a la escorrentía superficial. Este fenómeno, definido como el flujo de agua que se desliza sobre la superficie terrestre cuando el suelo ha alcanzado su capacidad de infiltración, se ha intensificado en las últimas décadas como consecuencia directa de las precipitaciones torrenciales (García Ramírez et al., 2023; Sánchez Palomino, 2015), y de la actividad antrópica vista desde la urbanización acelerada y poco planificada (Saavedra Rivas, 2017; García del Villar, 2020), además del cambio climático (Pineda Capacho et al., 2022; Vela Conde, 2018).

A nivel global, se ha observado un incremento acelerado de este fenómeno, desencadenando impactos de gran magnitud, en zonas que a medida que pasa el tiempo se hacen más vulnerables. Ejemplos como las inundaciones en Yakarta, Indonesia, donde se reportaron 43 víctimas mortales y más de 31,000 evacuados, evidencian la gravedad de este proceso hidrológico frente a otros eventos como deslizamientos o terremotos (El País, 2020). En Alemania, las lluvias extremas de julio de 2021 provocaron el desbordamiento de ríos como el Ahr y el Erft, dejando más de 180 muertos y miles de millones de euros en pérdidas (MDZ, 2021; DW, 2023).

En cuanto a América Latina, la escorrentía superficial ha sido igualmente protagonista de catástrofes. En Colombia, el desborde de los ríos Mocoa, Mulato y Sancoyaco en 2017 arrasó con 17 barrios de la ciudad de Mocoa, dejando un saldo devastador de más de 300 muertos

y cientos de desaparecidos (El Espectador, 2017; Martín Calvo et al., 2020). En Perú, el Fenómeno El Niño provocó entre enero y marzo del mismo año la afectación de 1.9 millones de personas, con daños severos en ciudades como Piura, Lambayeque y La Libertad. Las lluvias intensas activaron quebradas, desbordaron ríos y colapsaron infraestructuras críticas, generando un escenario de vulnerabilidad extrema (Oficina de las Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios [OCHA], 2017; Oficina de las Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios [FAO], 2017).

Estos eventos no son aislados. En la provincia peruana de Huancayo, el crecimiento urbano desordenado ha intensificado los efectos de la escorrentía superficial. La expansión horizontal hacia zonas Norte y Este ha propiciado la ocupación de laderas, cauces naturales y áreas de protección hídrica, transformando el paisaje natural en superficies impermeables. Esta alteración del uso del suelo ha reducido la infiltración y acelerado la respuesta hidrológica, generando volúmenes de escorrentía más elevados y caudales punta más agresivos, con consecuencias como erosión, anegamientos e inundaciones (Vásquez, 2020; Meneses Rivera, 2023).

En enero de 2019, precipitaciones intensas provocaron la inundación de viviendas en sectores como la Cooperativa Santa Isabel y la Urbanización Alto La Merced, donde el nivel del agua alcanzó hasta 60 cm. La falta de planificación urbana y la ocupación informal de zonas

de riesgo han exacerbado la vulnerabilidad de la población frente a eventos hidrometeorológicos extremos (Correo, 2025; Studylib, 2019).

Este tipo de investigaciones y libros técnicos cursan su justificación de estudios hidrológicos en contextos urbanos, en los siguientes literales:

a) Relevancia científica y técnica

Estudiar la escorrentía superficial en entornos urbanos es de vital importancia para comprender los procesos hidrológicos que subyacen a los desastres naturales. La urbanización modifica radicalmente el ciclo hidrológico, alterando la evapotranspiración, la infiltración y el escurrimiento. Adquirir conocimiento detallado sobre estos procesos permite desarrollar modelos hidrológicos predictivos, diseñar sistemas de drenaje urbano más eficientes e implementar estrategias de mitigación basadas en evidencia científica (Cubides & Santos, 2018; García del Villar, 2020).

b) Posibilita beneficios sociales y ambientales

Desde una perspectiva social, el conocimiento sobre la escorrentía superficial permite identificar zonas de alta vulnerabilidad, proteger a las comunidades más expuestas y reducir pérdidas humanas y materiales. Ambientalmente, adquirir este tipo de competencia

contribuye a controlar la contaminación hídrica por arrastre de sedimentos y residuos, preservar la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos, y promover prácticas sostenibles de urbanización (Bernal-Basurcoa et al., 2021; Vásquez, 2020).

c) Como política pública, institucional y estratégica

Para los gobiernos locales y regionales, contar con información precisa sobre la escorrentía superficial es vital para planificar obras de infraestructura resiliente, regular el uso del suelo en zonas de riesgo, formular políticas públicas de adaptación al cambio climático y acceder a financiamiento internacional para proyectos de resiliencia urbana (Abarca et al., 2023; FAO, 2017).

1.2 Estudio del comportamiento hidrológico

El estudio del comportamiento hidrológico en zonas urbanas requiere la aplicación de métodos científicos que integren datos meteorológicos, topográficos, geoespaciales y socioeconómicos. Entre los enfoques más utilizados se encuentran:

- Modelos hidrológicos distribuidos, como SWMM, HEC-HMS o MIKE SHE, que permiten simular el comportamiento de las cuencas urbanas ante distintos escenarios de lluvia (Rossman, 2015; Feldman, 2000).

- Análisis geoespacial con SIG, para identificar zonas de escurrimiento, pendientes críticas y áreas impermeables.
- Estudios de caudal punta y volumen máximo, que permiten dimensionar obras de drenaje y evaluar el riesgo de inundación.
- Evaluación multicriterio de vulnerabilidad, que integra factores físicos, sociales y económicos para priorizar intervenciones.

Los análisis recientes sobre la escorrentía superficial en ámbitos urbanos y rurales evidencian que este fenómeno no puede comprenderse únicamente como un proceso físico de acumulación y desplazamiento de agua. En este sentido, se configura como una manifestación visible de decisiones territoriales, sociales y políticas que han desatendido tanto la dinámica de los ecosistemas como la integralidad del paisaje.

Por otra parte, la impermeabilización del suelo, el crecimiento urbano sin planificación, la canalización de cauces y la fragmentación de hábitats constituyen expresiones de un modelo de desarrollo que privilegia la infraestructura sobre la resiliencia. Cabe destacar que, bajo esta lógica, la escorrentía se convierte en una metáfora líquida de la desconexión existente entre la planificación y la naturaleza.

1.3 Configuración de la escorrentía superficial como variable independiente

Cahuana y Yugar (2009) definen la escorrentía superficial como:

el flujo de agua que circula sobre la superficie del terreno, producto de la precipitación que no logra infiltrarse en el suelo”. Este fenómeno corresponde al “flujo sobre el terreno que proviene de la precipitación no infiltrada (precipitación en exceso, hp) y que escurre sobre la superficie del suelo y posteriormente por los cauces. (p. 128)

Por su parte, Villón (2002) complementa esta definición al señalar que dicho escurrimiento tiene un efecto inmediato durante y después de la tormenta, al ser generado por la precipitación en exceso (p. 136).

Desde el enfoque de la ingeniería hidráulica, la escorrentía superficial constituye un recurso significativo para el aprovechamiento del agua. Una gestión adecuada de este flujo permite destinarlo a actividades agrícolas, al suministro de agua potable, al almacenamiento en embalses y a la producción de energía hidroeléctrica. Asimismo, resulta fundamental en la planificación y construcción de infraestructuras hidráulicas tales como puentes, alcantarillas, vertederos y sistemas de drenaje tanto urbanos como rurales.

1.4 Factores que influyen en la escorrentía

La escorrentía superficial está determinada por dos grandes grupos de factores que interactúan entre sí y condicionan su magnitud e impacto. Por un lado, los factores meteorológicos incluyen la intensidad, el tipo, la forma y la duración de la precipitación, así como la dirección y velocidad de desplazamiento de la tormenta y la distribución espacial de la lluvia sobre la cuenca. Por otro lado, los factores fisiográficos abarcan características como la superficie, la forma, la elevación y la pendiente de la cuenca, además del tipo y uso del suelo y de la humedad inicial del terreno.

En este sentido, diversos autores coinciden en que la combinación de estas variables explica la variabilidad de la escorrentía y su efecto en los sistemas hídricos, lo que resulta fundamental para la planificación y gestión de recursos hidráulicos (Cahuana y Yugar, 2009; Villón, 2002).

Chow et al. (1994), basándose en Horton (1933), explican que la escorrentía ocurre cuando la intensidad de la lluvia (i) supera la capacidad de infiltración del suelo (f). En tal caso, la tasa de escorrentía puede estimarse como $(i - f)$, y el flujo se presenta en forma de láminas superficiales medibles en fracciones de pulgadas (p.131).

1.5 Escorrentía en contextos urbanos

El crecimiento urbano desordenado intensifica la escorrentía superficial, ya que la expansión de construcciones, pavimentación y asfaltado reduce la capacidad de infiltración del suelo, incrementando así la impermeabilización de las cuencas. Como consecuencia, se generan caudales con picos más altos que los observados en condiciones naturales, lo que plantea la necesidad de sistemas de drenaje pluvial eficientes para mitigar los riesgos asociados.

En este sentido, la escorrentía superficial no solo refleja agua que corre sin rumbo, sino también territorios que requieren ser reimaginados. De hecho, cada canal, cada estero y cada calle inundada constituye una línea en la cartografía de decisiones pasadas, pero al mismo tiempo una invitación a redibujar el futuro.

Conclusión de capítulo

El estudio de los fundamentos teóricos y determinantes del comportamiento hidrológico en entornos urbanos evidencia la complejidad de las interacciones entre procesos naturales y transformaciones antrópicas. La escorrentía superficial, concebida como variable independiente, se convierte en un indicador clave para comprender cómo factores como la precipitación, la morfología del terreno, la cobertura del suelo y las dinámicas urbanas configuran escenarios de riesgo y oportunidad.

En contextos urbanos, la intensificación de la escorrentía no solo refleja la pérdida de permeabilidad del suelo, sino también la necesidad de repensar la planificación y el diseño de las ciudades desde una perspectiva integral. Reconocer los determinantes que influyen en el comportamiento hidrológico permite avanzar hacia modelos de gestión más sostenibles, capaces de equilibrar el desarrollo urbano con la resiliencia ambiental y social.

Por tanto, la escorrentía no es únicamente un fenómeno físico, sino un componente estratégico en la construcción de territorios más seguros, adaptativos y conscientes de su relación con el agua.



2

Impactos de la escorrentía superficial
en comunidades vulnerables



Capítulo 2

Impactos de la escorrentía superficial en comunidades vulnerables

El análisis de los impactos de la escorrentía superficial en comunidades vulnerables constituye un campo de estudio esencial dentro de la gestión de riesgos hidrológicos y sociales. La escorrentía, entendida como proceso físico derivado de la interacción entre la precipitación y las características del territorio, no solo afecta la dinámica ambiental, sino que también incide directamente en la seguridad, el bienestar y la resiliencia de las poblaciones expuestas.

En este sentido, la vulnerabilidad se concibe como una variable dependiente que refleja si las comunidades están o no preparadas para enfrentar, resistir y recuperarse de los efectos adversos de los fenómenos hidrológicos.

La comprensión de la vulnerabilidad requiere desagregar sus componentes que abarcan dimensiones sociales, económicas,

ambientales e institucionales. Estos elementos, al interactuar, configuran tipologías diversas que permiten clasificar y caracterizar los niveles de exposición y fragilidad de las comunidades; reconocerlas es fundamental para diseñar estrategias de mitigación y adaptación que respondan a las particularidades de cada contexto.

Paralelamente, el balance hidrológico se erige como una herramienta metodológica indispensable para explicar la relación entre las variables que determinan la disponibilidad y el movimiento del agua en un sistema. Sus fundamentos permiten evaluar cómo la precipitación condiciona la generación de escorrentía y, en consecuencia, la magnitud de los impactos sobre las poblaciones vulnerables. El estudio detallado de estas variables y sus aplicaciones ofrece un marco integral para comprender la complejidad de los riesgos asociados y orientar políticas públicas, proyectos de desarrollo y acciones comunitarias hacia la reducción de la vulnerabilidad.

2.1 La vulnerabilidad como variable dependiente

La vulnerabilidad se entiende como la susceptibilidad que presentan una población, una infraestructura o una actividad socioeconómica frente a la acción de una amenaza. De acuerdo con Cenepred (2013), esta condición integra aspectos como la exposición, la fragilidad y la resiliencia de los elementos evaluados. De este modo, el análisis de dichos factores posibilita la elaboración de mapas de

riesgo que sirven como herramientas fundamentales para orientar la planificación territorial (p. 125).

En este sentido, el Instituto Nacional de Defensa Civil (2006) amplía esta visión al definir la vulnerabilidad como “el grado de debilidad o exposición de un conjunto de elementos ante peligros naturales o antrópicos, considerando factores como infraestructura, vivienda, actividades productivas, sistemas de alerta y desarrollo institucional” (p.18).

Es pertinente destacar que el análisis de la vulnerabilidad constituye una herramienta esencial para integrar la gestión del riesgo en los procesos de ordenamiento territorial. Por lo tanto, este análisis favorece el crecimiento de las poblaciones en áreas apropiadas que ofrecen condiciones de seguridad frente a amenazas naturales y antrópicas. A su vez, permite identificar y formular proyectos orientados a la reducción del riesgo de desastres en distintas zonas urbanizadas que presentan altos niveles de vulnerabilidad.

2.2 Componentes de la vulnerabilidad

Los componentes de la vulnerabilidad pueden agruparse en tres dimensiones principales:

- En primer lugar, la exposición se refiere a la ubicación de las personas y sus medios de vida en zonas de impacto, lo cual suele ser consecuencia de procesos como la urbanización no planificada, la migración desordenada y la ausencia de una adecuada gestión territorial.
- En segundo lugar, la fragilidad está vinculada con las condiciones físicas precarias de las construcciones, el empleo de materiales inadecuados y la falta de aplicación de normativas técnicas que garanticen seguridad estructural.
- Finalmente, la resiliencia se relaciona con la capacidad de adaptación y recuperación de la población frente al impacto de un peligro.

En este sentido, Lozano (2008) señala que la vulnerabilidad surge cuando la población y sus medios de vida carecen de suficiente resistencia y capacidad de asimilación frente a eventos adversos, debido a su localización y condiciones estructurales (p. 18).

Este planteamiento evidencia que la vulnerabilidad no es únicamente el resultado de factores externos, sino también de condiciones internas que limitan la capacidad de respuesta de las comunidades.

Por ello, el análisis de la exposición, la fragilidad y la resiliencia debe entenderse como un proceso integral que permite identificar no solo los riesgos existentes, sino también las oportunidades de fortalecer la capacidad adaptativa y reducir los impactos futuros.

2.3 Tipologías de vulnerabilidad

La vulnerabilidad puede clasificarse en diversas tipologías que permiten comprender mejor sus manifestaciones y efectos:

- 1) La vulnerabilidad física se relaciona con la infraestructura y el equipamiento expuestos a daños debido a su debilidad estructural.
- 2) La vulnerabilidad socioeconómica se vincula con condiciones de pobreza y limitado acceso a la educación, factores que restringen la capacidad de respuesta y protección de la población.
- 3) La vulnerabilidad territorial se asocia al uso inadecuado del suelo y de los recursos naturales, lo cual contribuye a la degradación del entorno y al incremento de los riesgos.
- 4) Finalmente, la vulnerabilidad institucional se refiere a las deficiencias en la planificación, la gestión y la toma de decisiones por parte de entidades públicas y privadas, lo que limita la eficacia de las acciones orientadas a la reducción de riesgos y a la respuesta frente a eventos naturales.

En este sentido, Lozano (2008) destaca que la vulnerabilidad surge cuando la población y sus medios de vida carecen de suficiente resistencia y capacidad de asimilación frente a eventos adversos, debido a su localización y condiciones estructurales (p. 18). De manera complementaria, Cenepred (2013) señala que la vulnerabilidad implica la exposición, la fragilidad y la resiliencia de los elementos evaluados, lo que permite construir mapas de riesgo útiles para la planificación territorial (p. 125).

El reconocimiento de estas tipologías evidencia que la vulnerabilidad no es un fenómeno homogéneo, sino un proceso multidimensional que integra factores físicos, sociales, territoriales e institucionales. Así, comprender la interacción entre estas dimensiones resulta esencial para diseñar estrategias de gestión del riesgo que sean integrales y sostenibles. Así pues, el análisis de la vulnerabilidad no solo permite identificar las debilidades de un sistema, sino también orientar políticas públicas y proyectos de desarrollo que fortalezcan la resiliencia comunitaria y reduzcan los impactos futuros de amenazas naturales y antrópicas (Lozano, 2008; Cenepred, 2013).

2.4 Balance hidrológico: fundamentos, variables y aplicaciones

Duque-Sarango et al. (2019) expresa que “El balance hídrico constituye una herramienta clave para comprender la dinámica de las cuencas, ya que permite cuantificar las entradas, salidas y

almacenamientos de agua, lo cual resulta esencial para la gestión sostenible de los recursos hídricos” (p. 56).

Esta dinámica se expresa mediante una ecuación que integra las principales variables hidrológicas:

$$P = ETR + E_s + I \dots E_c, I$$

Donde:

P= Precipitación (mm)

ETR = Evapotranspiración real (mm)

I = Infiltración

*E*_s = Escorrentía

La evapotranspiración potencial (ETP) puede calcularse mediante diversos métodos, sin embargo, para el desarrollo de la investigación se utilizó el método de Thornthwaite la misma que viene dada por la siguiente ecuación:

$$i = \left(\frac{T}{\varsigma}\right)^{1.514} \dots\dots Ec. 2$$

Donde:

i = Índice de calor mensual

T = Temperatura °C

12

$$I = \sum_{1}^{12} i$$

Donde:

I = Índice de calor anual

$$ETP_t = 16 \left(10 * \frac{T}{I} \right)^a \dots\dots\dots Ec. 3$$

$$a = 675 * 10^{-9} * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 1792 * 10^{-5} * I + 0,49239 \dots\dots\dots Ec. 4$$

Donde

ETP_t = Evapotranspiración potencial media (mm/mes)

$$ETP = ETP_t \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{d}{30} \right) \dots\dots\dots Ec. 5$$

Donde.

N = Número máximo de horas de sol, depende de la latitud y del mes.

d = Número de días del mes.

2.4.1 Precipitación: fuente primaria del sistema

La precipitación es el componente de entrada más significativo en el balance hídrico. Según Vásquez et al. (2016), se trata de toda forma de agua que se deposita sobre la superficie terrestre como resultado de la condensación del vapor atmosférico, medida en milímetros de lluvia (p. 178). Esta lámina de agua representa el volumen disponible para procesos de infiltración, escorrentía y almacenamiento.

2.5 Métodos de cálculo de la precipitación media

Para estimar la precipitación media sobre una zona, Aparicio (1992) como se citó en Vásquez (2020), propone tres métodos ampliamente utilizados:

- Polígono de Thiessen.
- Método aritmético simple.
- Método de las Isoyetas.

Cada uno responde a diferentes condiciones de distribución espacial de las estaciones pluviométricas y permite construir una representación más precisa del comportamiento pluviométrico en la cuenca.

Polígono de Thiessen

$$h_p = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i h_{pi} \quad \dots \dots \text{Ec. 6}$$

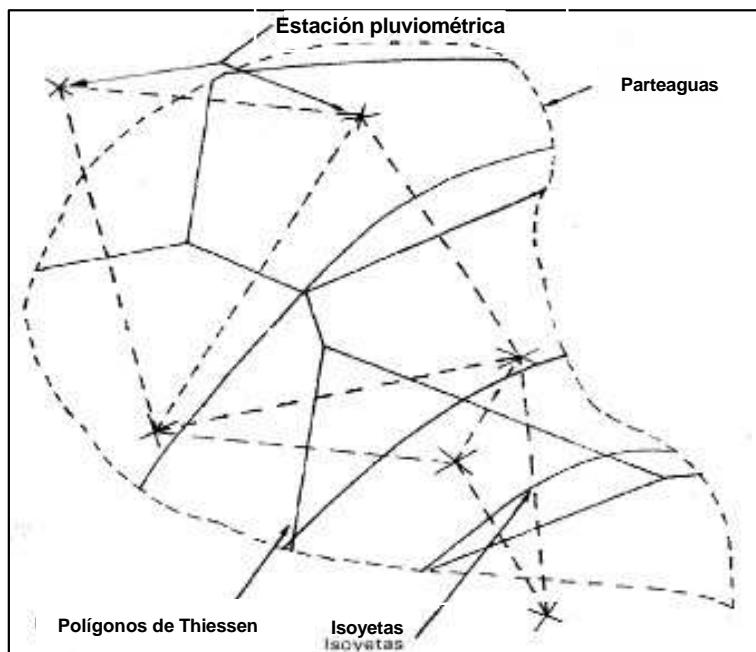
Donde:

A_i : es el área de influencia de la estación i

A_T : es el área total de la cuenca.

Figura 1

Polígono de Thiessen.



Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de

Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p. 43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Método de regresión lineal simple

Villón (2002) como se citó en Vásquez (2021) afirma que:

La completación de datos, es el proceso por el cual, se llenan “huecos” que existen en un registro de datos. La completación y extensión de la información hidrometeorológica faltante se efectúa para tener en lo posible series completas, más confiable y de un periodo uniforme. (p. 45)

Ecuación de regresión lineal

$$y_t = a + bx_t \quad \dots \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

y_t = variable hidrológica dependiente

x_t = variable hidrológica independiente

a y b = parámetros de la ecuación

Estimar los parámetros:

Los estimadores de a , b y r se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$b = \frac{N_1 \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{N_1 \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad \dots \quad \text{Ec. 8}$$

$$a = \bar{y}_1 - b \bar{x}_1 \quad \dots \quad \text{Ec. 9}$$

$$\bar{y}_1 = \frac{\sum y_1}{N_1}$$

$$\bar{x_1} = \frac{\sum x_1}{N_1}$$

$$r = \frac{N_1 \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{(N_1 \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)(N_1 \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}} \dots Ec. 10$$

$$S_{1(y)} = \sqrt{\frac{1}{N_1 - 1} \left(\sum_{i=0}^{N_1} (y_i - \bar{y}_1)^2 \right)}$$

$$S_{1(x)} = \sqrt{\frac{1}{N_1 - 1} \left(\sum_{i=0}^{N_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right)}$$

Donde:

\bar{y}_1, \bar{x}_1 : Son los estimados de las medias de los periodos comunes, de tamaño N_1 de las variables y_i y x_i

$S_{1(y)}, S_{1(x)}$: Son los estimados no sesgados de las desviaciones estándar de y_i y x_i de los periodos comunes del tamaño N_1 .

r : Es el coeficiente de correlación.

Ecuación de completación o extensión: Sustituyendo valores en la ecuación (7), resulta:

$$y_t = \bar{y}_1 + r \frac{S_{1(y)}}{S_{1(x)}} (x_t - \bar{x}_1) \dots Ec. 11$$

Criterios de confiabilidad

La ecuación (11), sólo se podrá usar si hay una correlación significativa entre variables y_t y x_t , es decir, si el coeficiente de correlación r de la ecuación (10), es estadísticamente significativo con un cierto nivel de confiabilidad, utilizando el estadístico t , para este proceso se procede de la siguiente forma:

- Cálculo del estadístico t_c , según:

Donde:

t_c = valor del estadístico t calculado

N_I = tamaño del registro común de las series

r = coeficiente de correlación

- Cálculo de t_t

El valor crítico de t , se obtiene de las tablas t Student (t_f), con 95% de probabilidad, o con un nivel de significación del 5%, es decir:

$$\frac{\alpha}{2} = 0.025$$

$$G.L. = N_1 - 2$$

- Comparación del t_c con el t_t

Si $|t_c| \leq t_t \rightarrow r$ no es significativo, por lo tanto, no hay correlación significativa

Si $|t_c| > t_t \rightarrow \square$ es significativo, por lo que sí existe correlación significativa entre variables y_t y x_t , y se puede hacer uso de la ecuación (10), para la completación y extensión”.

Análisis doble masa

Villón (2002) señala que este análisis se emplea para garantizar la confiabilidad de la información y evaluar la consistencia frente a posibles errores que pueden surgir durante su obtención. Cabe destacar que su propósito no es corregir los datos a partir de la recta de doble masa, sino verificar la calidad y coherencia de los registros.

Análisis de Saltos

1. Consistencia de la media

Cálculo de la media y desviación estándar

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad S_{1(x)} = \left[\frac{1}{n_1-1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j \quad S_{2(x)} = \left[\frac{1}{n_2-1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

x_i = valor del periodo

x_j = valor del periodo

\bar{x}_1, \bar{x}_2 = media del periodo 1 y 2

$S_{1(x)}, S_{2(x)}$ = desviación estándar del periodo 1 y 2

n = tamaño de la muestra

$$n = n_2 + n_1$$

Cálculo del t calculado (t_c)

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_{\bar{d}}} \dots \dots \dots \text{Ec. 13}$$

$$S_{\bar{d}} = S_p \left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \text{Ec. 14}$$

$$S_p = \left(\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2} \right)^{\frac{1}{2}} \dots Ec. 15$$

Donde:

$S_{\bar{d}}$ = desviación de las diferencias de promedios

S_p = desviación estándar ponderada

Cálculo del t tabular (tt)

Se utilizó la tabla t de Student para la obtención del valor de t .

Con un nivel de significación del 5% y una probabilidad del 95%.

Comparación del t_c con el t_t :

Si $|t_c| \leq t_t(95\%) \rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ (estadísticamente), no se realiza la corrección.

Si $|t_c| > t_t(95\%) \rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ (estadísticamente), como las medias son diferentes se procederá a corregir la información.

2. Consistencia de la desviación estándar

Cálculo de varianzas

$$S_{1(x)}^2 = \frac{1}{n_1-1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \dots \dots \text{Ec. 16}$$

$$S_{2(x)}^2 = \frac{1}{n_2-1} \sum_{i=1}^{n_2} (x_i - \bar{x}_2)^2 \dots \dots \text{Ec. 17}$$

Cálculo de F calculado (Fc) según

$$F_c = \frac{S_{1(x)}^2}{S_{2(x)}^2}, \quad \text{si} \quad S_{1(x)}^2 > S_{2(x)}^2$$

....Ec. 18

$$F_c = \frac{S_{2(x)}^2}{S_{1(x)}^2}, \quad \text{si} \quad S_{2(x)}^2 > S_{1(x)}^2$$

Cálculo de F tabular

Se utilizó la tabla F, con una probabilidad del 95%, con un nivel de significación del 5% y grados de libertad:

$$G.L.N. = n_1 - 1, \quad \text{si} \quad S_{1(x)}^2 > S_{2(x)}^2$$

$$G.L.D. = n_2 - 1$$

$$G.L.N. = n_2 - 1, \quad \text{si} \quad S_{2(x)}^2 > S_{1(x)}^2$$

$$G.L.D. = n_1 - 1$$

Donde:

G.L.N = grados de libertad del numerador

G.L.D = grados de libertad del denominador

Comparación del F_c con el F_t :

Si $F_c \leq F_t(95\%) \rightarrow S_{1(x)}^2 = S_{2(x)}^2$ (estadísticamente), no se realiza la corrección.

Si $|t_c| > t_t(95\%) \rightarrow S_{1(x)}^2 \neq S_{2(x)}^2$ (estadísticamente), como las medias son diferentes se procederá a corregir la información.

2.6 Análisis estadístico de datos hidrológicos

- **Modelos de distribución:** en la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; siendo utilizado para el desarrollo del trabajo de investigación las siguientes funciones (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008)

a) Distribución normal

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{s}\right)^2} \dots Ec. 19$$

Donde:

$f(x)$ = función densidad normal de la variable x

x = variable independiente

μ = parámetro de localización, igual a la media aritmética de x .

S = parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x .

b) Distribución Gumbel

$$f_x = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \dots Ec. 20$$

$$\alpha = \frac{1,2825}{\sigma}$$

$$\beta = \mu - 0,45\sigma \dots Ec. 21$$

Donde:

α : Parámetro de concentración.

β : Parámetro de localización.

c) Pruebas de bondad y ajuste: las pruebas de bondad de ajuste son pruebas de hipótesis que se usan para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida.

d) Prueba Chi cuadrado χ^2 : Esta prueba fue propuesta por Karl Pearson en 1900, se aplica para verificar bondad de las distribuciones normales y log normales.

$$D = \sum_{i=1}^k \frac{(\theta_i - \varepsilon_i)^2}{\varepsilon_i} \quad \dots \dots \text{Ec. 22}$$

Donde:

θ_i = Es el número observado de eventos en el intervalo i y ε_i es el número esperado de eventos en el mismo intervalo.

ε_i = se calcula como:

$$\varepsilon_i = n|F(S_i) - F(I_i)| \quad i = 1, 2, \dots, k \quad \dots \dots \text{Ec. 23}$$

Calidad de los datos pluviométricos

En cuanto a la calidad de los datos pluviométricos Chereque (1989) enfatiza que el análisis estadístico de la información pluviométrica exige contar con datos completos, consistentes y suficientemente extensos (pp. 19-20). Cuando se presentan registros faltantes, se recurre a la correlación con estaciones índice próximas y de altitud semejante, aplicando métodos como la regresión lineal simple (Villón, 2002), con el fin de asegurar series homogéneas y confiables.

2.7 Evapotranspiración: pérdida por evaporación y transpiración

La evapotranspiración se define como la pérdida de agua hacia la atmósfera, resultado de la evaporación directa del suelo y de la transpiración de la vegetación. Para su estimación se utiliza la evapotranspiración potencial (ETP), la cual puede calcularse mediante el método de Thornthwaite. Este procedimiento incorpora variables

como la temperatura media mensual, el índice de calor anual, el número de horas de sol y la cantidad de días de cada mes. En el ámbito agrícola, este componente adquiere especial relevancia, ya que determina la disponibilidad hídrica para los cultivos y condiciona la eficiencia en el uso del recurso agua.

2.8 Tipo y uso de suelo: textura, infiltración y vulnerabilidad hídrica

La relación entre la textura del suelo y los procesos de erosión hídrica ha sido ampliamente documentada. Cervantes (1999) señala que la textura, entendida como la proporción relativa de partículas de arena, limo y arcilla, influye directamente en la capacidad de infiltración del agua y, por ende, en la generación de escorrentía superficial. Esta interacción no es meramente física: revela patrones de vulnerabilidad territorial que deben ser considerados en la planificación ambiental y el uso del suelo.

La textura del suelo constituye un factor determinante en su comportamiento frente al agua, así como en su vocación productiva, su resiliencia ecológica y su nivel de riesgo ambiental. En este contexto, el uso del suelo debe estar en concordancia con sus propiedades físicas, evitando prácticas que intensifiquen los procesos de erosión o comprometan la seguridad hídrica.

- a. Suelos limosos: se recomienda evitar la urbanización intensiva sin sistemas de drenaje adecuados y fomentar procesos de revegetación que fortalezcan la cobertura vegetal.
- b. Suelos arcillosos: resulta esencial implementar terrazas, cultivos de cobertura y drenajes controlados para mejorar la infiltración y reducir la escorrentía.
- c. Suelos arenosos: es aconsejable aplicar técnicas de retención de humedad, como el uso de mulching, además de promover cultivos adaptados a estas condiciones.

De manera complementaria a la influencia de la textura del suelo en los procesos de erosión y seguridad hídrica, la pendiente del terreno también constituye un factor decisivo, pues condiciona tanto la velocidad como el volumen de la escorrentía. Gutiérrez (1997) señala que la inclinación y la longitud de la pendiente determinan la potencia erosiva del agua en movimiento (p. 17). En este sentido, las cuencas con pendientes pronunciadas y extensas tienden a generar escorrentías más rápidas y caudalosas, lo que incrementa significativamente el riesgo de erosión y sedimentación.

2.9 Escorrentía directa y precipitación efectiva

La precipitación efectiva (PePe), también denominada exceso de precipitación, corresponde al volumen de agua que no logra infiltrarse ni permanecer retenido en la superficie, transformándose en escorrentía

directa. De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008), dicha escorrentía se explica bajo el supuesto de flujo superficial hortoniano, y su adecuada cuantificación resulta esencial para el diseño de obras de drenaje y para la planificación de medidas de control de avenidas (p. 34).

2.9.1 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía (C) se define como la relación entre la escorrentía superficial (Es) y la precipitación total (P). Según Martínez (2006), constituye un indicador de la proporción de lluvia que se transforma en escorrentía, resultando especialmente útil para caracterizar el comportamiento hidrológico de una cuenca y evaluar su grado de impermeabilización.

2.9.2 Factores que influyen en el coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía (C) es un parámetro hidrológico fundamental que expresa la proporción del agua precipitada que se transforma en escorrentía superficial, en relación con el total de la precipitación recibida. Este coeficiente está condicionado por una multiplicidad de factores físicos, biológicos y temporales, cuya

interacción determina la dinámica del flujo superficial en un determinado territorio.

Entre los factores más relevantes se encuentran:

- Características de la precipitación: el tipo (lluvia, nieve, granizo), la cantidad total, la intensidad, la duración y la distribución temporal del evento pluviométrico inciden directamente en la generación de escorrentía.
- Condiciones iniciales del suelo: la humedad antecedente del perfil edáfico modula la capacidad de infiltración y, por ende, la proporción de agua que se convierte en escorrentía.
- Propiedades del terreno: aspectos como la granulometría, la textura, la estructura, el contenido de materia orgánica, el grado de compactación, la pendiente, el microrelieve y la rugosidad superficial influyen en la velocidad de infiltración y en la acumulación superficial del agua.
- Cobertura vegetal: la presencia, tipo y densidad de vegetación actúan como reguladores del flujo hídrico, a través de procesos de intercepción, retención y evapotranspiración.
- Intercepción y almacenamiento superficial: elementos como hojarasca, estructuras urbanas o agrícolas, y depresiones naturales pueden modificar significativamente el volumen escurrido.

- Escala temporal de análisis: el valor de C puede variar según el intervalo de tiempo considerado (minutos, horas, duración del evento, días, meses o años), dado que los procesos hidrológicos responden de manera diferenciada a distintas escalas temporales.
- En términos cuantitativos, el coeficiente de escorrentía se expresa como un valor adimensional comprendido entre 0 y 1, es decir, $0 \leq C \leq 10$. Un valor cercano a cero indica una alta capacidad de infiltración y retención del agua en el sistema, mientras que un valor próximo a uno refleja una predominancia de escorrentía superficial, típica de superficies impermeables o altamente compactadas.

2.10 Vulnerabilidad hidrológica en Huancayo

El Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI] (2007), como se citó en Vásquez (2020), advierte que el crecimiento urbano de Huancayo se ha expandido principalmente hacia las zonas Este y Norte, evidenciándose una ocupación acelerada, tanto de las laderas de los cerros en sectores como la Urbanización La Merced, la Cooperativa Santa Isabel, la Asociación de Vivienda Soto Valle, el Barrio San José y las etapas de Nueva Esperanza, abarcando áreas de Huancayo y Chilca.

Este proceso ha conllevado la apropiación progresiva de espacios originalmente destinados a la conservación ecológica, los cuales, debido a su fragilidad ambiental, no deberían ser objeto de urbanización.

La ausencia de una adecuada planificación y control urbano ha favorecido el uso intensivo de estos territorios, generando escenarios de riesgo creciente que comprometen no solo a las zonas periféricas, sino también la seguridad estructural del núcleo urbano consolidado. En el corto y mediano plazo, esta dinámica amenaza la sostenibilidad territorial y limita la posibilidad de preservar áreas estratégicas para las generaciones futuras. El desarrollo urbano de Huancayo, caracterizado por una débil gobernanza territorial, se manifiesta en patrones de expansión desordenados, carentes de una red vial coherente que articule y oriente el crecimiento de manera funcional.

Avellan (2014) advierte que el proceso de urbanización altera de forma significativa el ciclo hidrológico natural. La sustitución de la vegetación nativa —que cumple funciones esenciales como la interceptación de lluvias y la promoción de la evapotranspiración— junto con la nivelación del terreno, disminuye la capacidad del suelo para almacenar agua. Esta transformación genera una ruptura del equilibrio hídrico, afectando tanto la escorrentía superficial como la recarga de acuíferos, lo que incrementa la vulnerabilidad frente a eventos pluviales extremos.

En concordancia, Vidal y Romero (2010) señalan que la urbanización de las cuencas implica el reemplazo de usos agrícolas y coberturas vegetales por superficies impermeables, tales como calles y terrenos baldíos. Este cambio en la cobertura del suelo reduce los índices de infiltración y favorece el aumento de la escorrentía superficial y subterránea. Como consecuencia, se intensifican los procesos de erosión y transporte de sedimentos, incrementando la probabilidad de inundaciones y anegamientos de mayor magnitud, especialmente en áreas con infraestructura precaria o sin sistemas de drenaje adecuados.

Ahora bien, la vulnerabilidad puede entenderse como el nivel de exposición o fragilidad que presentan determinados elementos frente a la acción de un fenómeno natural o antrópico de cierta magnitud. Se refiere a la facilidad con la que infraestructuras, viviendas, actividades productivas, sistemas sociales o institucionales pueden resultar afectados, ocasionando daños humanos y materiales. Este grado de susceptibilidad se expresa en términos probabilísticos, mediante un porcentaje que oscila entre 0 y 100 (INDECI, 2006, p. 18).

Para el análisis de la vulnerabilidad se cuenta con diversos tipos como son: física, económica, social, científica y tecnológica, educativa, cultural e ideológica, política e institucional, ambiental y ecológica (INDECI, 2006).

Inundaciones pluviales: caracterización y causas

El Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2013) define las inundaciones pluviales como fenómenos provocados por la acumulación de agua de lluvia en áreas específicas, sin que necesariamente se produzca el desbordamiento de ríos o quebradas.

Estas inundaciones pueden originarse por lluvias intensas en cortos períodos o por precipitaciones moderadas pero persistentes sobre suelos con baja capacidad de absorción. En ambos casos, la saturación del terreno y la falta de infraestructura de drenaje adecuada contribuyen a la formación de focos críticos de riesgo.

Estimación del riesgo: enfoque técnico

La estimación del riesgo según el Instituto Nacional de Defensa Civil (2006) consiste en una serie de procedimientos sistemáticos que permiten identificar amenazas naturales o tecnológicas en un área determinada. Este proceso incluye la evaluación de las condiciones de vulnerabilidad, entendidas como las características físicas, sociales y económicas que hacen a una población susceptible a sufrir daños con el objetivo de calcular el riesgo esperado, es decir, la probabilidad de que ocurran pérdidas humanas o materiales ante un evento adverso.

2.11 Transformación de la lluvia en escurrimiento: fundamentos, desafíos y métodos empíricos

La transformación de la lluvia en escurrimiento constituye uno de los procesos fundamentales en la dinámica de las cuencas hidrográficas. Según Breña y Jacobo (2006), este fenómeno genera gastos hidráulicos que deben ser considerados al revisar o diseñar las estructuras hidráulicas ubicadas en las áreas de aportación de las cuencas. En otras palabras, el escurrimiento superficial derivado de la precipitación influye directamente en la planificación, dimensionamiento y mantenimiento de obras como canales, alcantarillas, presas y sistemas de drenaje.

Limitaciones en la información hidrológica

En un número significativo de cuencas, especialmente en regiones sujetas a procesos acelerados de transformación territorial, no se dispone de información confiable o actualizada. Esto se debe, en gran medida, a modificaciones en el sistema de drenaje provocadas por:

- Deforestación
- Urbanización
- Cambio en el uso del suelo
- Otras alteraciones antrópicas o naturales

Estas transformaciones hacen que los datos históricos pierdan vigencia, dificultando la estimación precisa del escurrimiento y comprometiendo la seguridad y eficiencia de las infraestructuras hidráulicas.

Modelos lluvia-escurrimiento: una respuesta metodológica

Ante la escasez de datos directos, se han desarrollado diversos modelos lluvia-escurrimiento, que permiten estimar el volumen y comportamiento del escurrimiento a partir de la precipitación registrada. Estos modelos constituyen herramientas clave en la ingeniería hidráulica, la gestión de riesgos y la planificación urbana y rural.

Métodos Empíricos

Los métodos empíricos se basan en fórmulas simplificadas que relacionan variables hidrológicas mediante coeficientes derivados de la observación y la experiencia. Aunque no capturan toda la complejidad del ciclo hidrológico, son útiles en contextos donde se requiere rapidez, simplicidad y aplicabilidad práctica.

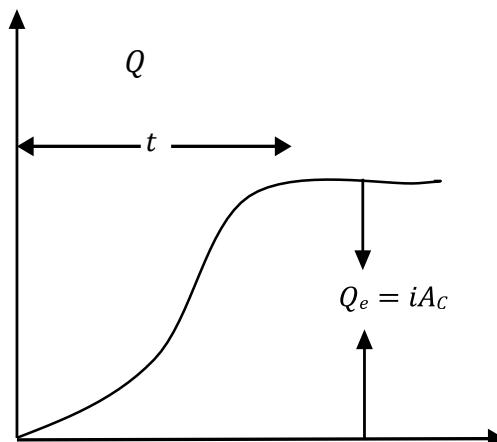
Método racional

Aparicio (1992) señala que el método racional considera tres elementos esenciales:

- Área de la cuenca (A).
- Intensidad de la precipitación (I).
- Coeficiente de escurrimiento (C), que refleja las características del terreno y su capacidad de infiltración.

Figura 2.

Gasto de la cuenca



Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escurrimiento superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

La fórmula básica es:

$$Q = C \cdot I \cdot A \dots \text{Ec. 25}$$

Donde:

- Q = gasto máximo (m^3/s)
- C = coeficiente de escurrimiento (adimensional)

- I = intensidad de la lluvia (mm/h)
 - A = área de la cuenca (km^2)

Este modelo es ampliamente utilizado en el diseño de drenajes urbanos, debido a su simplicidad y efectividad en zonas con superficies impermeables y tiempos de concentración cortos.

El tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio se denomina *tiempo de concentración*, y equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca. El tiempo de concentración mediante la fórmula de Kirpich.

$$t_c = 0,000325 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \dots \dots \text{Ec. 26}$$

Donde: S es la pendiente del cauce principal, L se expresa en m y t_c resulta en h.

$$Q_p = C_i A_c \dots \text{Ec. 27}$$

Donde: Q_p es el gasto máximo posible que puede producirse con una lluvia de intensidad i en una cuenca de área A_c y coeficiente de escurrimiento C .

Aplicación contextual en América Latina

En la mayoría de los países, donde las cuencas están sujetas a presiones socioambientales y los datos hidrológicos son fragmentarios, el uso de modelos empíricos como el método racional puede ser potenciado mediante:

Calibración local de coeficientes

- Calibración local de coeficientes.
- Integración con sistemas de información geográfica (SIG).
- Participación comunitaria en la validación de parámetros.
- Diseño de matrices de diagnóstico adaptadas a realidades territoriales.

Hidrograma Sintético del Soil Conservation Service

Chereque (1989) “nos muestra las diversas fórmulas a emplearse en el desarrollo del hidrograma sintético del Soil Conservation Service” (p. 147).

$$Q_p = \frac{0,208*A}{T_p} \quad \dots Ec. 28$$

Donde:

Q_p = Caudal de la punta (m³/s)

A = Superficie de la cuenca (km²)

TP= Tiempo de la punta (horas)

$$TP=0.5*d+0.6*tc$$

tc = Tiempo de concentración (horas)

d = Duración de la precipitación neta (horas)

$$Tb=2.67*Tp$$

Donde:

Tb = Tiempo base (horas)

Donde:

Q_{Pu} = Caudal punta unitario ($\text{m}^3/\text{seg/mm}$)

Pe = Precipitación efectiva

Tormentas de diseño

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008) menciona que:

una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Usualmente la tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, y los caudales resultantes a través de éste se calculan utilizando procedimientos de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales. (p. 26)

Sin embargo, en la actualidad, la tormenta de diseño se interpreta como un escenario flexible y probabilístico, que debe revisarse con información reciente y proyecciones del clima. Gracias a ello, las infraestructuras no solo se diseñan para condiciones pasadas, sino que también se preparan para un futuro más incierto y con fenómenos más intensos.

Elementos fundamentales del análisis de tormentas

Durante el análisis de las tormentas hay que considerar:

La intensidad, es la cantidad de agua caída por unidad de tiempo. De acuerdo a esto la intensidad se expresa así:

Dónde: = intensidad máxima, en mm/hora

P = precipitación en altura de agua, en mm

t = tiempo en horas

La duración, corresponde al tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de la tormenta.

La frecuencia, es el número de veces que se repite una tormenta, de características de intensidad y duración definidas por un período de tiempo más o menos largo, tomado generalmente en años.

Periodo de retorno, intervalo de tiempo promedio, dentro del cual un evento de magnitud x, puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio:

Curvas intensidad-duración-frecuencia

Las curvas intensidad-duración-frecuencia tienen el modelo siguiente:

Donde I es la intensidad de lluvia de diseño (mm/h), K , m , n son factores característicos de las zonas de estudio, T periodo de retorno y t el tiempo de duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min) (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

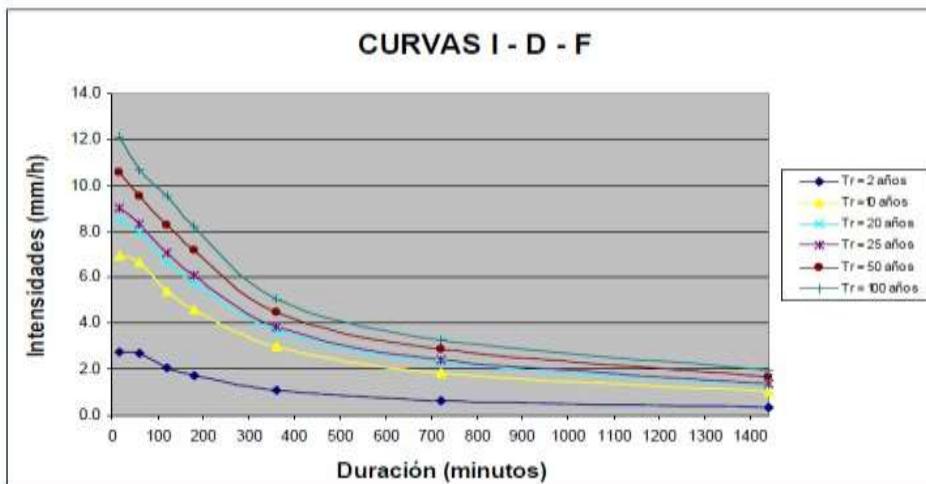
Curvas intensidad-duración-frecuencia

Las curvas intensidad-duración-frecuencia tienen el modelo siguiente:

Donde I es la intensidad de lluvia de diseño (mm/h), K , m , n son factores característicos de las zonas de estudio, T periodo de retorno y t el tiempo de duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min)(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

Figura 3.

Curvas intensidad-duración-frecuencia para lluvia máxima



Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

En Perú, debido a la escasa cantidad de información pluviográfica con que se cuenta, difícilmente pueden elaborarse estas curvas. Ordinariamente solo se cuenta con lluvias máximas en 24 horas, por lo que el valor de la intensidad de la precipitación pluvial máxima generalmente se estima a partir de la precipitación máxima en 24 horas, multiplicado por un coeficiente de duración” (p. 28-30).

Tabla 2.*Coeficiente de duración lluvias entre 48 horas y una hora.*

Duración de la precipitación (hr)	Coeficiente
1	0.25
2	0.31
3	0.38
4	0.44
5	0.50
6	0.56
8	0.64
10	0.73
12	0.79
14	0.83
16	0.87
18	0.90
20	0.93
22	0.97
24	1.00
48	1.32

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Riesgo de inundaciones

Indeci (2007) como se citó en Vásquez (2021) señala que el crecimiento urbano horizontal se concentra principalmente hacia las zonas Este y Norte de la ciudad. En estas áreas se observa la ocupación, tanto formal como informal, de las laderas de los cerros correspondientes a la Urbanización La Merced, la Cooperativa Santa

Isabel, la Asociación de Vivienda Soto Valle, el Barrio San José y las etapas de Nueva Esperanza, ubicadas en Huancayo y Chilca.

Resulta preocupante la expansión sobre amplias zonas de protección ecológica que deberían mantenerse libres de uso urbano, pero que están siendo ocupadas de manera intensiva y progresiva sin planificación ni control. Esta situación genera escenarios de riesgo cada vez mayores, que no solo afectan a los sectores periféricos, sino que también comprometen la seguridad física del centro urbano consolidado e intermedio, al menos en el corto y mediano plazo, dificultando la preservación de áreas para las generaciones futuras.

En este sentido, el desarrollo urbano de Huancayo se caracteriza por un bajo nivel de regulación, lo que lo convierte en un proceso informal y desordenado, sin un sistema vial articulador que guíe las tendencias de crecimiento y estructuración de la ciudad (p. 59).

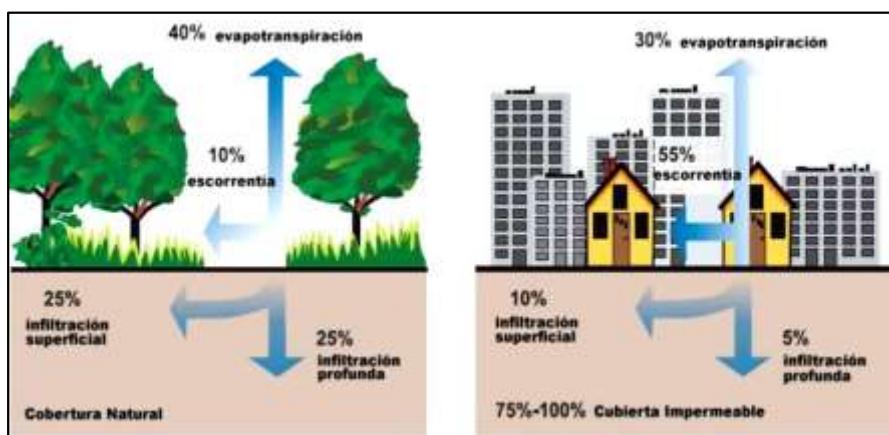
Asimismo, al reducirse la infiltración y sustituir la cobertura vegetal por superficies impermeables, se altera de manera significativa el equilibrio hídrico natural. Como señalan Avellan (2014) y Vidal y Romero (2010), estos cambios incrementan la escorrentía superficial y subterránea, disminuyen la recarga de acuíferos y potencian procesos de erosión y transporte de sedimentos.

En consecuencia, se generan escenarios de mayor riesgo de inundaciones y anegamientos, lo que evidencia la necesidad de una

planificación urbana integral que considere la gestión del agua como eje central para garantizar la sostenibilidad ambiental y la seguridad de las poblaciones.

Figura 4

Impacto de la urbanización en la escorrentía superficial.



Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Inundaciones pluviales y estimación del riesgo

Las inundaciones pluviales constituyen uno de los fenómenos hidrometeorológicos más frecuentes en áreas urbanas y periurbanas, cuya ocurrencia no depende necesariamente del desbordamiento de cauces fluviales. De acuerdo con Cenepred (2013), este tipo de inundación se produce por la acumulación de agua de lluvia en un

espacio geográfico determinado, resultado de precipitaciones intensas en un corto intervalo de tiempo o de lluvias moderadas pero persistentes sobre suelos con baja permeabilidad (p. 71). Dichas condiciones generan acumulaciones críticas de agua que, al no ser absorbidas ni drenadas adecuadamente, incrementan la exposición de las poblaciones a escenarios de riesgo.

Bajo esta perspectiva, la estimación del riesgo se convierte en una herramienta metodológica indispensable para la gestión territorial y la reducción de desastres. El Manual Básico para la Estimación de Riesgos (2006) define este proceso como “el conjunto de acciones y procedimientos orientados a identificar peligros naturales y tecnológicos, analizar las condiciones de vulnerabilidad y calcular el riesgo esperado en términos de probabilidad de daños, pérdidas de vidas humanas e impactos en la infraestructura” (p. 11).

La articulación de ambos enfoques permite comprender que las inundaciones pluviales no solo son consecuencia de factores hidrológicos y climáticos, sino también de la falta de planificación urbana y de la ocupación de áreas con baja capacidad de drenaje. Por ello, la estimación del riesgo debe integrar tanto la caracterización de las amenazas como el análisis de las condiciones sociales, económicas y ambientales que potencian la vulnerabilidad.

De esta manera, se establece un marco técnico que facilita la toma de decisiones y la implementación de medidas preventivas, orientadas a garantizar la seguridad de las comunidades y la sostenibilidad de los territorios.

Tabla 3

Matriz de peligro y vulnerabilidad..

Peligro Muy Alto	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Alto	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Medio	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto
Peligro Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
	Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Alta	Vulnerabilidad Muy Alta

LEYENDA:

- Riesgo Bajo (< de 25%)
- Riesgo Medio (26% al 50%)
- Riesgo Alto (51% al 75%)
- Riesgo Muy Alto (76% al 100%)

Fuente: INDECI (2006).Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Tabla 4.*Matriz de estrato, descripción y valor de las zonas de peligro.*

Estrato/nivel	Descripción o características	Valor
PB (Peligro bajo)	Terrenos planos o con poca pendiente, roca y suelo < de 25% compacto y seco, con alta capacidad portante. Terrenos altos no inundables, alejados de barrancos o cerros deleznables. No amenazados por peligros, como actividad volcánica, maremotos, etc. Distancia mayor a 500 m, desde el lugar del peligro tecnológico.	
PM (Peligro Medio)	Suelo de calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas. Inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad. De 300 a 500 m. desde el lugar del peligro tecnológico.	2 De 26% a 50%
PA (Peligro Alto)	Sectores donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas. Sectores que son inundados a baja velocidad y permanecen bajo agua por varios días. Ocurrencia parcial de la licuación y suelos expansivos. De 150 a 300 m, desde el lugar del peligro tecnológico	3 De 51% a 75%
PMA (Peligro Muy Alto)	Sectores amenazados por alud-avalanchas y flujos repentinos de piedra y lodo ("lloclla"). Áreas amenazadas por flujos piroclásticos o lava. Fondos de quebradas que nacen de la cumbre de volcanes activos y sus zonas de deposición afectables por flujos de lodo. Sectores amenazados por deslizamientos o inundaciones a gran velocidad, con gran fuerza hidrodinámica y poder erosivo. Sectores amenazados por otros peligros: maremoto, helada, etc. Suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colapsables en grandes proporciones. Menor de 150 m. desde el lugar del peligro tecnológico	4 De 76% a 100%

Fuente: INDECI (2006)

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Se puede expresar entonces, que el análisis de los impactos de la escorrentía superficial en comunidades vulnerables permite comprender que este fenómeno hidrológico no se limita a un proceso físico, sino que se convierte en un factor determinante en la configuración de escenarios de riesgo social, económico y ambiental. La vulnerabilidad, entendida como variable dependiente, se ve influida por múltiples componentes y tipologías que reflejan la fragilidad de las poblaciones frente a eventos extremos.

Asimismo, la incorporación del balance hidrológico como herramienta de estudio evidencia que la precipitación, fuente primaria del sistema, condiciona la magnitud de la escorrentía y, en consecuencia, la exposición de las comunidades. Cuando este proceso se desarrolla en territorios con baja capacidad de planificación y control, los efectos se intensifican, generando riesgos crecientes que comprometen la seguridad y el bienestar colectivo.

En este sentido, la reflexión final apunta a la necesidad de integrar el conocimiento técnico con la gestión social y territorial. Solo mediante una planificación adecuada, el fortalecimiento institucional y la preservación de áreas ecológicas será posible reducir la vulnerabilidad y garantizar la resiliencia de las comunidades frente a los impactos de la escorrentía superficial.



3

**Análisis integral de vulnerabilidad ante inundaciones.
Caso provincia de Huancayo**

Capítulo

3

Análisis integral de vulnerabilidad ante inundaciones. Caso provincia de Huancayo

El análisis integral de la vulnerabilidad ante inundaciones en la provincia de Huancayo constituye un eje fundamental para comprender la interacción entre procesos hidrológicos y dinámicas territoriales. En escenarios de alta exposición pluvial, la escorrentía superficial emerge como un factor crítico que intensifica los riesgos, especialmente en áreas caracterizadas por pendientes pronunciadas, suelos con baja capacidad de infiltración y patrones de urbanización no planificada.

La literatura especializada ha demostrado que existe una relación directa entre el comportamiento de la escorrentía y la magnitud de los impactos hidrológicos, lo que se traduce en un incremento de la vulnerabilidad de las comunidades locales (De Jesús et al., 2011; Henríquez et al., 2006; Lobato, 2015; Moscoso, 2007; Quillatupa & Cárdenas, 2006; Vidal y Romero, 2010). En este sentido, el presente

capítulo busca integrar enfoques técnicos e investigativos para identificar los factores que configuran la vulnerabilidad en Huancayo, aportando un marco analítico que permita orientar la gestión del riesgo y la planificación territorial hacia escenarios más resilientes y sostenibles.

3.1 Relación técnica entre variables

El análisis de la relación técnica entre variables es esencial para comprender cómo la escorrentía superficial incide en la vulnerabilidad de los sistemas urbanos y naturales frente a eventos pluviales extremos. La escorrentía, definida como el flujo de agua que se desplaza sobre la superficie terrestre tras la precipitación, depende de factores como la intensidad y duración de las lluvias, el grado de impermeabilización del suelo, la pendiente topográfica y la capacidad de infiltración(Öztürk et al., 2024).

Diversos estudios han demostrado que la escorrentía superficial se vincula directamente con el incremento de volúmenes máximos de agua, el aumento del caudal punta (Q_p) y la intensificación del riesgo de inundación. Estos parámetros hidrológicos no solo describen procesos físicos, sino que también reflejan la interacción entre infraestructura, territorio y población, configurando escenarios de vulnerabilidad socioambiental(El-Bagoury & Gad, 2024).

Por ejemplo, en cuencas urbanas han evidenciado que la impermeabilización del suelo incrementa significativamente los volúmenes de escorrentía y los caudales punta, generando sobrecarga en sistemas de drenaje y aumentando la probabilidad de desbordes (Pantoja et al. (2024). Asimismo, estudios de modelación hidrológica e hidráulica han confirmado que los cambios en el uso del suelo y la urbanización acelerada intensifican la exposición de infraestructuras críticas a inundaciones (Hernández et al., 2023).

En este sentido, la escorrentía superficial no puede considerarse un fenómeno aislado, sino un componente que amplifica la vulnerabilidad de los sistemas frente a inundaciones. Su estudio resulta indispensable para la planificación urbana, el diseño de obras hidráulicas y la formulación de políticas públicas orientadas a la gestión integral del riesgo hídrico y la adaptación al cambio climático (Vilca-Campana et al., 2025).

3.2 Conceptualización de variables hidrológicas

Escorrentía superficial (Variable independiente)

La escorrentía superficial se entiende como el flujo de agua generado por la precipitación que no logra infiltrarse en el suelo y se desplaza sobre la superficie terrestre. Este fenómeno constituye un componente esencial del ciclo hidrológico, pues refleja la interacción entre las características físicas del terreno y la intensidad de las lluvias.

Según Villón (2002), este tipo de escurrimiento se activa de manera inmediata durante una tormenta y puede prolongarse brevemente después de su finalización. La fracción de lluvia que origina este proceso se denomina precipitación en exceso, y su magnitud depende de factores como la permeabilidad del suelo, la cobertura vegetal y la morfología de la cuenca.

Efectos vulnerables (Variable dependiente)

La vulnerabilidad hidrológica se define como el grado de susceptibilidad de un sistema físico, social o económico frente a eventos de origen natural o antrópico. De acuerdo con Indeci (2006), esta condición se manifiesta en la facilidad con que elementos como viviendas, infraestructura, actividades productivas o sistemas de alerta pueden sufrir daños ante una amenaza hídrica. La vulnerabilidad, por tanto, no solo depende de la intensidad del fenómeno, sino también de las características socioeconómicas y de la capacidad institucional para prevenir, mitigar y responder a los impactos.

3.3 Cómo hacer operacional el uso de variables en problemas de escorrentías

Escorrentía superficial

Para evaluar técnicamente la escorrentía superficial se consideran parámetros que permiten cuantificar y modelar su

comportamiento:

- Precipitación acumulada registrada en estaciones meteorológicas.
- Textura, permeabilidad y uso del suelo.
- Pendiente media de la cuenca y su morfología.
- Métodos de análisis como regresión lineal simple, doble masa y estadística hidrológica.
- Cartografía temática que clasifique suelos y usos del territorio.

Estos elementos permiten establecer relaciones entre la precipitación y la respuesta hidrológica de la cuenca, facilitando la construcción de modelos predictivos y escenarios de riesgo.

Efectos vulnerables

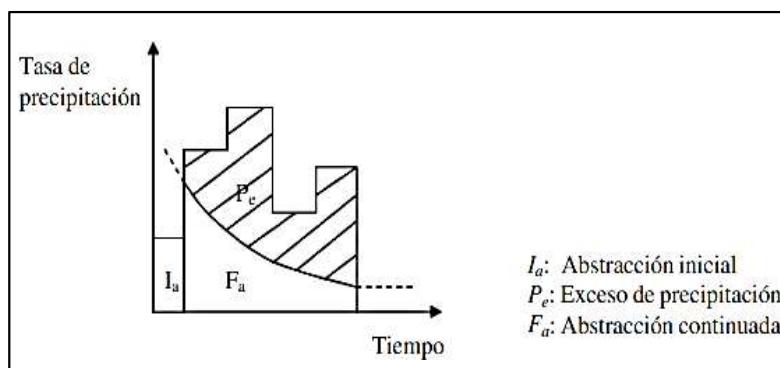
La medición de la vulnerabilidad hidrológica se realiza mediante indicadores que reflejan la exposición y la capacidad de respuesta de los sistemas:

- Coeficiente de escorrentía.
- Intensidad máxima de lluvia registrada.
- Número de curva de escorrentía (CN).
- Tiempo de concentración y duración del escurrimiento directo.
- Estratificación del riesgo en categorías: bajo, medio, alto y muy alto.

Para ello se emplean herramientas como el método racional, el modelo SCS para abstracciones, el hidrograma sintético SCS y fichas técnicas de análisis de peligros. Estas metodologías permiten integrar la información hidrológica con la evaluación de vulnerabilidad, generando insumos clave para la planificación territorial y la gestión del riesgo.

Figura 4.

Variables en el método de abstracciones del SCS.



Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

La hipótesis del método del SCS consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales, es decir,

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Del principio de continuidad

$$P = P_e + I_a + F_a \quad \dots \dots \quad (26)$$

Combinando las dos ecuaciones anteriores y resolviendo para P_e se encuentra

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

La cual es la ecuación básica para el cálculo de la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta utilizando el método SCS. Al estudiar los resultados obtenidos para muchas cuencas experimentales pequeñas se desarrolló una relación empírica,

$$I_a = 0.25$$

Tabla 5

Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a = 0.2s$).

DESCRIPCION DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada1: sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena	45	66	77	83
	25	55	70	77

DESCRIPCION DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Área comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial				
Tamaño promedio del lote				
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras				
Pavimentadas con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Fuente: Chow et al. (1994)

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Los números de curva tabulados por el Soil Conservation Service con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra, se definen en cuatro grupos de suelos:

- Grupo A: arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- Grupo B: suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa

- Grupo C: margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- Grupo D: suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos” (pp. 150- 154).

3.4 Enfoque metodológico

El análisis se sustenta en el método científico, entendido como un conjunto ordenado de procedimientos que permiten abordar problemas complejos desde una base empírica y teórica. Según Maya (2014), este método exige rigurosidad en cada etapa, desde la formulación de hipótesis hasta la validación de resultados. Es un tipo de investigación que se enmarca dentro del enfoque aplicado, orientado a resolver problemas concretos mediante el uso de conocimientos técnicos. Bejar (2008) destaca que este tipo de investigación busca resultados inmediatos y soluciones contextualizadas, especialmente útiles en escenarios de planificación territorial y gestión de riesgos hidrológicos.

Esta investigación se desarrolló desde el nivel descriptivo correlacional, el cual permite caracterizar las variables involucradas y, posteriormente, establecer relaciones entre ellas. En primera instancia, se procedió a la descripción sistemática de las variables de interés,

considerando sus atributos, comportamientos y distribución en el espacio geográfico analizado. Posteriormente, se aplicaron técnicas de medición y cuantificación que posibilitaron el análisis estadístico de la vinculación existente entre dichas variables. Este enfoque metodológico resulta pertinente cuando se busca identificar patrones de asociación sin intervenir directamente en las condiciones naturales del fenómeno observado, lo cual es especialmente relevante en estudios de riesgo territorial y planificación urbana.

El diseño de la investigación desde lo metodológico adoptó un modelo no experimental transeccional correlacional, también conocido como diseño *ex post facto*. Este diseño se caracteriza por la ausencia de manipulación deliberada de las variables, ya que se limita a observar los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural. En este caso, se realizó una recolección de datos en un único momento temporal (corte transversal), lo que permitió analizar la relación entre variables previamente definidas.

La estructura del diseño puede representarse de la siguiente manera:

- O_1 : Variable independiente
- O_2 : Variable dependiente
- M : Muestra seleccionada
- r : Coeficiente de correlación entre variables

Este tipo de diseño es especialmente útil en estudios territoriales donde las condiciones de riesgo y vulnerabilidad no pueden ser modificadas experimentalmente, pero sí pueden ser analizadas en función de sus interacciones y efectos.

La muestra del fenómeno en estudio estuvo conformada por diez áreas críticas de riesgo ubicadas en la provincia de Huancayo, seleccionadas por su relevancia en términos de exposición a amenazas naturales y antrópicas. Estas áreas comprenden zonas ribereñas, laderas periféricas y sectores urbanos consolidados, que presentan condiciones particulares de vulnerabilidad. Las áreas consideradas fueron:

- Río Shullcas (ambas márgenes)
- Río Florido (ambas márgenes)
- Río Chilca (y sus márgenes)
- Río Ali (ambas márgenes)
- Periférico: laderas de Huancayo
- Periférico: laderas de Chilca
- Canal CIMIRM (Huancayo y Chilca)
- Canal CIMIRM (El Tambo)
- Azapampa
- Centro consolidado de Huancayo

La selección se realizó mediante un muestreo por conglomerados, considerando grupos poblacionales asentados en zonas

de alto riesgo dentro de las márgenes de los ríos Florido y Ali, así como en las laderas periféricas de Huancayo y Chilca. Los sectores definidos para la recolección de datos fueron:

- Sector 01: Urbanización Alto La Merced y Asociación de Vivienda Los Libertadores (distrito de Huancayo).
- Sector 02: Asociación de Vivienda Los Libertadores, Cooperativa Santa Isabel, Asociación de Vivienda Soto Valle (distrito de Huancayo).
- Sector 03: Barrio San José y Asociación de Vivienda Nueva Esperanza (distrito de Chilca).

De acuerdo con Hernández et al. (2014), “la muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población” (p. 173). En este sentido, la muestra seleccionada cumple con los criterios de representatividad, pertinencia y delimitación espacial necesarios para garantizar la validez del estudio.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se emplearon instrumentos previamente validados por las instituciones competentes, los cuales forman parte de documentos de gestión reconocidos por entidades

públicas y privadas. Estos instrumentos han sido utilizados en diversos estudios técnicos y diagnósticos territoriales, lo que garantiza su confiabilidad y pertinencia metodológica. Dado su carácter oficial y su uso consolidado en procesos de planificación y evaluación, no se requirió una validación adicional para su aplicación en el presente estudio.

Las técnicas empleadas incluyeron:

- Observación directa en campo.
- Aplicación de encuestas estructuradas.
- Revisión documental de planes de gestión de riesgo.
- Georreferenciación de puntos críticos mediante sistemas de información geográfica (SIG).

La triangulación metodológica permitió fortalecer la consistencia de los datos obtenidos y garantizar una aproximación integral al fenómeno estudiado.

3.5 El procesamiento de la información hidrológica

En el centro de la planificación territorial, la gestión ambiental y la seguridad hídrica, el procesamiento de la información hidrológica se configura como un vínculo esencial entre la observación del entorno y la toma de decisiones fundamentadas. Asimismo, este proceso

trasciende la mera recolección de datos sobre precipitaciones, caudales o humedad del suelo; pues implica la transformación de señales dispersas en conocimiento estructurado, capaz de interactuar con modelos predictivos, orientar políticas públicas y responder a las realidades locales.

Por otra parte, en el contexto latinoamericano, marcado por una alta variabilidad climática, presión sobre los ecosistemas y desigualdades en el acceso a la información, el tratamiento riguroso y contextualizado de los datos hidrológicos adquiere una relevancia estratégica. En consecuencia, procesar esta información equivale a construir las bases para una gestión del agua más equitativa, resiliente y adaptada a las particularidades de cada territorio, donde la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta se entrelazan con factores sociales, técnicos e institucionales.

Finalmente, este apartado aborda las etapas, herramientas y criterios que intervienen en el procesamiento hidrológico, desde la captura inicial hasta su integración en sistemas de análisis y diagnóstico. Más que ello, se trata de una práctica epistemológica que traduce la dinámica del agua en narrativas comprensibles, operables y transformadoras, capaces de incidir en la planificación territorial y en la construcción de escenarios sostenibles frente a los desafíos hídricos contemporáneos.

a. Recopilación de datos hidrológicos

En las zonas de estudio se identificaron diversas estaciones meteorológicas que proporcionan registros históricos de precipitación. Para este estudio, se solicitó información oficial al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), sede Lima, obteniéndose series de datos de precipitación correspondientes a cuatro estaciones meteorológicas:

- Estación Huayao: registros desde 1950 hasta 2018.
- Estación Santa Ana: registros desde 1992 hasta 2018.
- Estación Viques: registros desde 1998 hasta 2018.
- Estación Shullcas: registros desde 2007 hasta 2018, con presencia de datos faltantes.

Estas estaciones representan una cobertura espacial significativa para el análisis hidrológico de la cuenca en estudio, permitiendo evaluar la variabilidad temporal de las precipitaciones.

Tabla 6.

Estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio

Estación	Ubicación	Tipo	Coordenadas		
			Latitud	Longitud	Altura msnm
Huayao	Huachac	Convencional-Meteorológica	12°2'18" S	75°20'17" W	3360

Coordenadas					
Estación	Ubicación	Tipo	Latitud	Longitud	Altura msnm
Viques	Viques	Convencional-Meteorológica	12°9'47" S	75°14'7" W	3186
Santa Ana	El Tambo	Convencional-Meteorológica	12°0'15" S	75°13'15" W	3295
Ingenio	Santa Rosa de Ocopa	Convencional-Meteorológica	12°52'51" S	75°17'16" W	3390
Puente Breña	El Tambo	Convencional-Hidrológico	12°2'53" S	75°14'31" W	3220
Acopalca	Huancayo	Convencional-Meteorológica	11°55'38.82" S	75°6'58.5" W	3839
Shullcas	Huancayo	Convencional-Hidrológico	12°0'00" S	75°10'0" W	3750

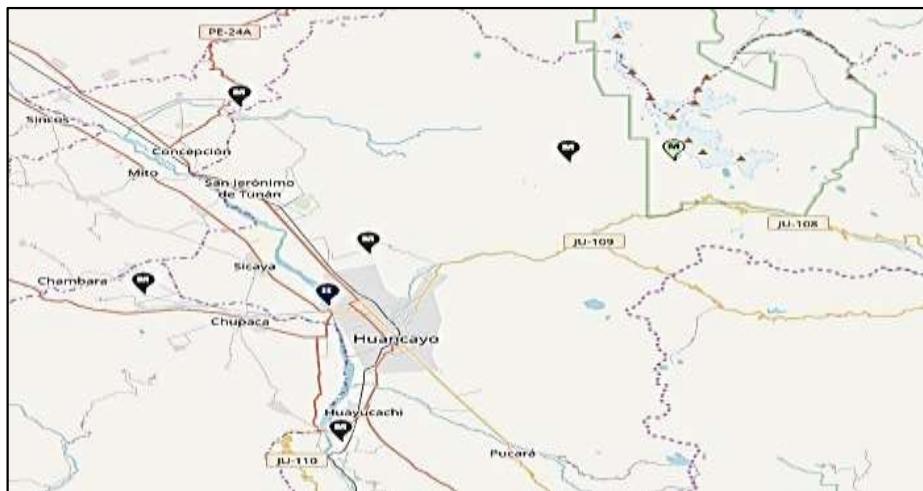
Fuente: SENAMHI/DRD

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Como puede verificarse se cuenta con 07 estaciones meteorológicas distribuidas estratégicamente dentro de la Provincia de Huancayo, cuya distribución espacial se muestra a continuación:

Figura 5.

Estaciones meteorológicas distribuidas. Fuente: Senamhi



Nota. Adaptado de Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Se solicitó datos de precipitaciones de las diversas estaciones meteorológicas al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú-SENAMHI, sede Lima, otorgando los datos de precipitación de 04 estaciones meteorológicas.

Tabla 7*Precipitación mensual (mm)-Estación Huayao.*

AÑO	PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)												TOTAL ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1980	59.9	87.5	185.4	33.0	17.8	0.0	8.3	8.1	16.7	121.3	51.3	76.4	665.7
1981	119.6	239.7	104.6	55.8	7.8	2.8	16.5	41.5	65.7	106.4	72.2	137.0	969.6
1982	118.0	112.9	65.5	64.1	0.0	10.4	6.8	24.0	43.0	133.6	77.8	86.9	743.0
1983	124.8	55.4	120.6	36.1	24.4	13.8	0.6	11.0	40.1	60.0	52.7	35.1	574.6
1984	170.9	219.4	141.9	36.7	24.3	11.2	3.4	1.6	43.7	87.7	162.3	58.6	961.7
1985	78.4	161.5	80.5	55.6	19.1	5.6	9.6	10.1	89.7	76.1	89.1	136.9	812.2
1986	157.0	223.8	157.6	126.7	11.3	0.0	6.4	20.7	40.9	32.8	35.6	77.8	890.6
1987	156.0	146.7	68.1	72.6	14.2	15.3	11.7	6.0	39.9	33.8	41.3	118.1	723.7
1988	209.4	128.8	87.7	53.6	25.5	1.0	0.0	8.6	27.0	68.7	29.8	161.5	801.6
1989	96.5	188.8	145.0	88.8	16.7	15.0	0.3	17.2	13.5	122.7	45.1	40.6	790.2
1990	119.0	135.4	100.2	41.0	19.9	62.9	9.9	21.5	60.9	74.8	132.9	95.2	873.6
1991	70.9	54.2	162.9	81.8	34.2	16.6	1.3	0.0	57.2	57.2	65.1	38.5	639.9
1992	77.4	102.2	82.1	23.1	7.8	17.0	4.1	11.6	26.7	51.6	34.6	60.4	498.6
1993	139.7	144.5	107.1	102.8	18.5	1.0	3.6	24.9	0.0	65.7	109.0	133.5	850.3
1994	117.7	197.9	128.0	90.7	31.0	1.5	1.3	16.9	16.5	58.6	61.7	111.6	833.4
1995	68.9	131.3	125.3	19.6	26.8	2.6	9.2	16.3	36.5	76.0	56.0	98.3	666.8
1996	121.3	113.8	105.2	37.7	4.6	1.3	0.0	16.3	22.7	58.7	32.2	86.0	599.8
1997	103.9	137.9	70.6	37.5	2.9	0.3	1.3	18.2	46.6	34.4	74.9	125.5	654.0
1998	153.4	125.9	61.3	81.6	1.8	3.9	0.0	35.0	33.9	93.5	56.6	79.3	726.2
1999	113.3	148.7	75.5	59.7	6.6	22.6	8.1	7.9	62.8	51.2	82.6	76.8	715.8
2000	106.9	141.7	111.6	16.1	16.3	3.8	10.0	36.4	17.6	68.8	31.7	114.8	675.7
2001	166.0	92.3	161.0	26.1	15.8	1.5	18.6	5.9	62.7	104.9	57.7	115.8	828.3
2002	95.6	149.2	115.8	28.4	12.3	4.4	31.0	11.7	66.2	71.7	93.9	133.3	813.5
2003	127.7	111.6	133.6	99.6	26.0	2.6	1.5	22.3	31.2	37.7	65.7	116.3	775.8
2004	52.1	159.6	51.1	35.9	16.6	9.0	15.0	7.3	44.6	49.5	95.9	81.4	618.0
2005	52.1	73.4	74.3	26.6	14.0	0.6	6.3	5.8	19.3	116.7	61.1	72.1	522.3
2006	158.3	73.4	80.9	19.4	2.3	5.0	31.9	7.9	52.3	50.1	51.2	86.6	619.3
2007	97.4	36.3	145.1	55.6	13.0	0.0	2.6	2.2	15.9	64.4	50.6	80.3	563.4
2008	105.1	62.3	50.7	24.5	3.8	11.8	6.4	18.9	40.1	70.1	32.3	67.9	493.9
2009	92.5	90.2	131.0	62.9	16.4	9.7	7.4	32.1	26.4	40.1	114.6	111.7	735.0
2010	173.6	86.3	108.3	41.3	1.1	6.4	4.8	1.0	6.7	48.8	25.4	169.3	673.0
2011	157.3	231.8	111.8	72.9	19.3	0.0	3.6	1.9	68.6	48.7	71.3	124.9	912.1
2012	77.6	145.3	76.8	87.7	19.3	14.3	0.4	0.0	32.0	31.8	73.6	132.9	691.7
2013	149.2	147.6	58.7	45.5	8.5	8.8	1.8	30.2	54.4	33.8	41.9	79.6	660.0

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)													TOTAL ANUAL
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
2014	148.2	78.9	139.8	42.2	72.4	11.5	12.6	1.4	60.8	35.8	66.7	115.7	786.0
2015	101.1	171.2	80.3	101.6	8.0	24.0	9.8	8.0	52.7	52.2	90.3	125.2	824.4
2016	37.8	142.3	72.5	59.9	6.7	1.2	0.0	8.7	62.0	107.5	39.5	68.1	606.2
2017	191.4	158.2	89.0	63.5	29.9	7.3	3.8	5.4	51.9	53.1	49.5	82.4	785.4
2018	166.7	79.9	163	42.2	3.7	4.1	4.5	28.5	59.0	80.1	44.0	56.3	732.0

Fuente: SENAMHI/DRD

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Donde la estación de Huayao registra datos de precipitación desde el año 1950 al 2018; la estación Santa Ana registra datos desde el año 1992 a 2018, la estación Viques registra información desde el año 1998 a 2018 y la estación Shullcas sólo registra datos del 2007 al 2018 y con datos faltantes.

Tabla 8

Precipitación mensual (mm)-Estación Santa Ana.

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)													TOTAL ANUAL
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1992	15.0	88.8	50.2	16.8	3.4	11.5	2.9	17.6	15.7	33.4	67.0	36.6	358.9
1993	112.0	106.4	109.1	88.5	23.4	1.8	3.4	13.0	14.5	19.6	63.2	66.2	621.1
1994	100.4	76.8	62.8	36.8	16.6	6.0	0.0	5.7	5.3	44.8	63.9	94.8	513.9
1995	77.6	78.7	108.2	19.8	7.4	1.5	6.4	8.7	17.8	86.7	76.8	120.1	609.7
1996	113.7	90.5	107.2	71.4	3.8	1.0	0.0	3.3	39.1	40.7	50.3	96.4	617.4
1997	120.9	146.3	60.9	30.3	3.3	2.1	2.4	20.2	32.4	46.0	74.2	155.8	694.8
1998	182.3	181.9	56.3	71.1	7.6	7.0	0.0	7.6	27.7	94.4	89.9	88.1	813.9

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)

AÑO

	TOTAL												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1999	83.6	159.8	81.5	31.6	6.2	20.4	11.1	3.6	60.5	67.4	102.0	83.4	711.1
2000	103.6	138.2	89.3	39.6	15.0	1.8	7.3	21.4	5.5	60.1	43.0	82.2	607.0
2001	108.9	117.5	178.6	31.5	9.9	0.8	8.4	4.1	40.2	78.3	71.3	120.7	770.2
2002	67.2	112.3	127.4	36.5	12.1	1.5	24.3	21.9	62.2	84.8	132.7	115.9	798.8
2003	95.5	121.2	166.9	64.3	30.9	0.0	0.5	21.0	25.4	25.7	83.8	166.4	801.6
2004	71.3	136.4	78.3	29.5	13.3	11.0	9.9	11.7	35.4	37.7	95.9	126.9	657.3
2005	50.8	120.8	87.5	26.8	5.2	12.0	2.6	0.4	13.1	129.8	60.0	134.7	643.7
2006	178.3	91.0	91.7	28.5	1.4	6.4	5.1	12.1	41.4	56.4	73.2	143.1	728.6
2007	104.0	75.5	150.7	37.2	13.7	0.0	6.3	13.6	20.8	56.9	59.8	74.5	613.0
2008	116.0	94.5	46.3	24.7	11.0	11.1	0.0	6.2	45.7	117.4	48.9	97.5	619.3
2009	94.7	102.8	120.9	84.2	11.0	1.8	7.6	23.3	39.1	48.4	129.1	133.2	796.1
2010	142.9	151.0	84.1	26.9	0.7	3.1	19.4	6.9	7.0	68.7	49.8	122.4	682.9
2011	205.7	271.0	139.2	79.1	11.5	0.0	9.8	3.8	79.9	73.4	55.7	140.7	1069.8
2012	108.4	133.6	75.8	126.7	29.5	28.0	0.0	2.0	37.1	58.0	61.8	184.5	845.4
2013	160.0	128.2	85.9	49.6	11.1	5.0	3.7	32.0	38.7	58.3	38.0	131.0	741.5
2014	161.0	99.5	179.7	64.1	32.1	0.3	4.2	32.1	83.4	34.3	103.1	100.7	894.5
2015	111.6	118.0	95.6	56.0	23.1	27.1	5.3						436.7
2016				53.6	16.3	0.0	1.4	4.8	29.3	72.5	92.6	72.7	343.2
2017	160.5	143.4	109.4	90.9	14.3	0.8	0.0	3.8	56.0	68.9	63.9	83.8	795.7
2018	164.6	143.7	148.6	23.3	0.0	5.1	6.4	17.1	54.1	115.9	37.0	54.4	770.2

Fuente: SENAMHI/DRD

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Tabla 9*Precipitación mensual (mm)-Estación Viques.*

AÑO	PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)												TOTAL ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1998	123.3	123.2	23.8	22.5	0.0	2.7	0.0	10.4	5.6	112.3	69.0	34.9	527.7
1999	89.4	167.0	59.2	29.7	0.0	3.4	5.8	0.0	36.1	22.9	50.7	46.8	511.0
2000	82.3	99.0	89.3	18.3	13.0	2.8	5.8	35.1	36.1	68.4	34.2	84.3	568.6
2001	163.7	103.8	143.1	29.3	23.0	0.0	23.6	8.8	53.5	116.9	47.0	104.6	817.3
2002	121.4	127.9	81.3	19.6	0.0	1.1	20.8	0.0	41.6	72.4	98.2	51.2	635.5
2003	75.4	166.3	129.3	43.0	14.2	0.0	0.0	7.4	30.4	26.0	79.9	90.8	662.7
2004	22.0	135.3	67.1	40.5	25.8	23.5	11.1	14.2	29.6	33.0	52.3	97.3	551.7
2005	54.1	76.2	61.8	21.2	11.9	0.0	0.0	17.5	32.4	108.0	51.1	80.6	514.8
2006	131.7	81.0	87.8	34.8	0.0	4.4	0.0	27.7	21.6	51.8	39.9	110.3	591.0
2007	84.1	42.1	108.1	25.1	0.0	0.0	9.2	0.0	23.4	31.2	37.2	35.0	395.4
2008	123.8	109.2	69.1	0.0	2.1	9.6	0.0	0.0	38.0	78.4	52.8	104.8	587.8
2009	87.8	57.5	118.9	39.9	22.1	0.0	5.8	21.4	9.9	59.0	83.1	171.8	677.2
2010	150.0	89.5	103.5	38.0	0.0	22.1	38.0	6.8	15.4	33.1	59.2	188.6	744.2
2011	202.6	300.1	180.7	96.7	17.3	0.0	8.4	11.0	69.4	53.4	56.0	128.6	1124.2
2012	115.5	153.4	92.1	122.1	21.0	19.7	5.6	6.2	55.7	42.9	42.2	144.3	820.7
2013	105.4	152.4	77.8	9.0	18.3	15.2	5.8	23.5	45.1	50.5	22.4	130.1	655.5
2014	173.4	134.5	160.8	55.6	31.3	16.3	2.0	3.1	63.3	66.6	73.1	116.5	896.5
2015	105.4	116.7	75.1	30.9	16.3	26.1	7.2	13.5	46.1	56.7	60.4	92.2	646.6
2016	114.7	150.3	25.7	33.2	22.8	0.0	0.0	0.0	26.9	59.3	50.1	74.2	557.2
2017		137.6	82.9	38.8	9.6	0.0	0.0	3.0	52.5	37.6	41.7	65.4	469.1
2018	157.6	99.9	179.0	30.6	9.5	3.6	4.1	12.6	18.0	92.5	66.1	67.8	741.3

Fuente: SENAMHI/DRD

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Tabla 10*Precipitación mensual (mm)-Estación Shullcas.**Precipitación mensual (mm)-Estación Shullcas.***PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL
2007	89.3	112.7	123.4	55.8	26.4	0.0	25.6	15.2	37.5	91.7	93.6	92.4	763.6
2008	212.0	131.5	53.8	39.8	15.5	8.2	0.0	8.0	33.9	116.4	68.7	117.0	804.8
2009	96.5	169.2	137.7	45.7	26.3	23.0	9.1	34.7	48.0	62.7	99.6	168.5	921.0
2010	232.9	194.6	110.1	31.6	10.5	0.5	5.0	5.8	12.2	70.4	39.3	234.4	947.3
2011	243.3	248.3	184.3	74.7	21.7	1.0	6.7	3.1	70.3	59.7	68.1	159.9	1141.1
2012	100.9	202.3	141.2	97.4			23.0	22.0	66.2	65.1	72.7	207.9	998.7
2013	165.1	165.0	114.9								69.4	164.4	678.8
2014	184.7	108.9	175.0	45.1	31.3	1.2	6.3	10.9	71.6	51.5	72.9	142.7	902.1
2015	203.7	112.9	90.1	91.5	56.8	9.7	10.2						574.9
2016	117.6	172.2	59.7	51.9	32.4	2.1	1.8	11.5	24.7	98.1	83.8	79.0	734.8
2017	176.7	100.4	144.7	72.0	25.8	2.7	4.2	10.6	79.8	55.0	70.5	108.4	850.8
2018	183.1	116.7	167.7	35.3	14.8	8.1	9.5	27.2	48.9	94.4	39.5		745.2

Fuente: SENAMHI/DRD

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Tabla 11*Precipitación máxima en 24 horas (mm)-Estación Huayao.*

AÑO	PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)												Max. Anual
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1980	16.5	31.2	30.7	9.4	12.7	0.0	5.1	0.0	2.5	34.0	7.6	14.0	34.0
1981	22.0	39.0	32.3	9.9	6.5	2.1	2.5	9.5	22.6	29.2	32.0	16.0	39.0
1982	15.5	23.4	13.7	13.0	0.0	5.0	3.0	10.4	10.4	26.7	13.5	26.7	26.7
1983	20.3	13.7	29.7	10.7	15.5	4.1	0.3	0.0	0.0	0.0	14.0	14.2	29.7

PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)

AÑO

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Max.	
													Anual	
1984	21.8	38.1	32.3	9.9	8.9	3.0	2.5	0.8	22.6	29.2	32.0	10.9	38.1	
1985	16.5	21.3	13.5	18.3	7.4	1.3	3.8	4.8	37.3	17.5	15.7	21.1	37.3	
1986	24.4	33.8	22.1	18.1	5.4	0.0	3.8	13.0	13.9	9.1	6.9	14.3	33.8	
1987	31.5	24.2	22.7	39.4	4.8	10.2	6.3	4.4	15.7	10.1	7.4	23.4	39.4	
1988	41.7	28.2	14.2	18.6	11.7	1.0	0.0	8.6	10.4	12.2	9.1	20.6	41.7	
1989	11.4	39.8	15.2	25.4	11.9	3.8	0.3	6.4	4.8	37.9	10.5	7.8	39.8	
1990	16.2	36.1	38.9	16.0	7.6	15.3	4.6	5.4	11.7	15.0	29.4	15.2	38.9	
1991	17.3	15.7	37.3	21.6	9.7	5.6	1.0	0.0	19.3	19.0	11.2	10.2	37.3	
1992	16.0	22.4	15.0	8.6	5.3	4.3	2.5	4.3	10.9	12.2	7.6	11.9	22.4	
1993	20.9	21.8	34.5	15.3	6.9	0.5	2.3	10.6	0.0	15.3	16.0	33.5	34.5	
1994	17.3	39.4	25.1	28.7	11.2	1.5	0.8	14.0	2.8	21.1	13.0	24.2	39.4	
1995	13.8	28.0	16.5	6.8	19.9	2.0	4.8	9.7	12.7	20.8	15.0	22.8	28.0	
1996	26.2	16.0	11.7	21.1	3.3	0.8	0.0	5.6	5.9	16.0	9.4	12.5	26.2	
1997	13.0	22.6	12.7	12.7	1.3	0.3	1.0	7.1	14.0	7.7	12.2	29.5	29.5	
1998	18.8	21.3	8.9	25.7	1.8	2.1	0.0	14.5	23.1	19.3	11.2	8.7	25.7	
1999	18.8	27.7	14.5	12.9	3.3	15.8	5.8	3.0	12.7	16.5	21.6	11.2	27.7	
2000	14.5	17.7	24.2	7.1	4.1	1.3	5.1	8.4	7.8	17.1	8.9	19.6	24.2	
2001	24.9	16.5	17.5	12.2	5.8	1.5	7.2	1.5	17.2	20.3	13.8	29.2	29.2	
2002	25.1	30.3	23.9	5.8	2.5	2.5	8.9	9.1	21.9	18.3	22.8	25.4	30.3	
2003	14.7	26.4	25.7	21.8	7.6	2.3	1.0	11.9	6.7	7.4	19.3	16.8	26.4	
2004	9.9	37.6	15.5	8.6	5.5	4.9	5.5	2.8	9.7	6.9	21.1	12.2	37.6	
2005	22.4	13.3	16.6	12.1	6.9	0.4	3.1	2.3	7.6	26.2	20.2	13.9	26.2	
2006	26.2	14.9	15.5	4.8	1.2	3.5	31.9	3.3	12.9	13.3	9.7	19.0	31.9	
2007	32.4	6.5	16.0	17.3	9.0	0.0	0.8	1.3	5.8	17.7	18.4	19.6	32.4	
2008	17.9	12.4	12.6	13.3	2.8	9.1	4.8	11.7	11.5	18.3	10.1	17.6	18.3	
2009	23.3	16.7	32.3	40.7	6.2	6.1	3.2	25.6	13.5	6.4	14.5	34.9	40.7	
2010	25.8	24.0	25.4	27.1	0.8	3.4	4.8	0.8	3.3	13.5	4.0	72.4	72.4	
2011	21.2	36.5	27.0	20.5	13.8	0.0	1.9	1.3	16.3	18.1	17.0	20.6	36.5	
2012	16.3	23.4	13.8	17.4	10.3	7.3	0.4	0.0	6.6	9.6	22.4	22.8	23.4	
2013	22.3	22.4	8.2	18.2	2.7	5.9	1.2	18.8	35.7	6.5	12.1	13.5	35.7	
2014	35.2	21.1	23.5	10.8	45.5	8.5	4.9	0.6	24.8	13.8	22.5	23.1	45.5	
2015	10.2	42.7	19.1	27.5	4.0	12.8	5.9	5.6	18.1	13.8	18.8	15.9	42.7	

PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)													Max.
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
2016	5.0	21.3	15.4	11.2	3.4	0.6	0.0	5.0	23.8	34.1	14.1	18.2	34.1
2017	20.8	33.7	25.5	9.8	5.8	3.1	3.8	4.1	17.1	24.9	15.8	11.1	33.7
2018	31.8	11.1	22.1	8.1	1.8	3.1	3.0	10.2	25.4	16.8	18.0	22.6	31.8

Fuente: SENAMHI/DRD

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Tabla 12

Precipitación máxima en 24 horas (mm)-Estación Santa Ana.

PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)													Max. Anual
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1992	6.4	14.4	7.4	8.5	3.4	7.4	2.0	6.0	6.6	16.8	14.1	9.3	16.8
1993	10.8	17.8	14.4	23.6	15.8	1.8	2.0	10.6	9.6	5.0	11.4	10.0	23.6
1994	25.0	10.8	17.0	9.6	9.0	6.0	0.0	4.2	3.3	8.6	8.7	9.8	25.0
1995	14.0	12.8	12.5	6.0	5.4	1.5	3.0	5.7	4.3	22.5	18.5	36.6	36.6
1996	32.5	8.3	18.6	33.3	3.8	1.0	0.0	1.0	12.6	15.4	15.3	14.1	33.3
1997	18.0	22.9	9.0	11.1	2.2	2.1	2.4	5.6	11.4	16.5	16.2	30.3	30.3
1998	35.5	31.5	8.8	21.2	6.8	5.7	0.0	3.2	12.8	18.2	13.0	12.6	35.5
1999	11.5	22.9	11.6	7.2	1.6	10.9	7.8	2.8	12.2	25.8	20.4	21.4	25.8
2000	19.2	22.1	19.0	14.5	5.8	1.8	6.0	7.7	2.6	11.1	10.1	18.0	22.1
2001	14.9	19.9	20.5	14.9	4.7	0.8	3.2	2.5	13.0	26.4	13.0	29.9	29.9
2002	11.2	17.2	21.3	7.5	4.7	0.7	10.4	7.6	16.7	16.7	23.4	20.8	23.4
2003	15.0	19.3	29.0	24.0	11.8	0.0	0.5	9.4	12.1	11.2	25.2	23.0	29.0
2004	20.0	33.5	14.7	9.3	3.7	6.5	6.7	3.2	17.5	13.4	20.9	21.3	33.5
2005	12.3	20.8	18.8	14.6	1.9	11.9	2.0	0.4	4.4	24.3	17.3	33.9	33.9
2006	25.5	14.0	13.2	6.7	0.7	3.6	5.1	4.9	14.5	10.0	22.2	33.2	33.2
2007	18.7	9.4	32.2	11.5	5.4	0.0	2.5	8.2	6.2	13.7	15.9	17.0	32.2
2008	25.0	8.4	8.8	18.5	3.8	7.9	0.0	3.4	11.2	39.0	17.5	16.4	39.0
2009	14.5	14.4	19.4	31.1	7.8	0.9	3.3	18.8	16.4	7.7	27.5	22.3	31.1
2010	22.0	36.4	25.0	15.0	0.4	1.7	19.2	4.5	2.4	17.5	12.7	29.1	36.4

PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)													Max. Anual
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
2011	30.0	34.0	36.5	19.0	2.7	0.0	5.2	1.5	17.0	15.2	18.0	23.3	36.5
2012	15.3	23.9	10.7	15.8	14.5	10.9	0.0	1.5	15.1	8.6	10.0	23.8	23.9
2013	25.5	12.6	10.3	15.9	6.0	1.6	2.9	20.4	11.6	9.6	10.5	19.1	25.5
2014	28.7	16.5	33.0	13.7	13.0	0.3	1.8	13.0	40.8	12.0	32.7	14.4	40.8
2015	12.9	19.8	17.0	11.6	10.5	7.0	5.3						19.8
2016					17.5	5.6	0.0	0.8	2.4	18.0	10.0	18.1	23.1
2017	17.5	22.5	26.4	31.3	4.0	0.6	0.0	1.7	31.5	18.7	29.4	16.0	31.5
2018	28.5	48.0	27.4	5.4	0.0	2.3	2.2	5.2	16.6	18.0	21.0	21.0	48.0

Fuente: SENAMHI/DRD

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Tabla 13

Precipitación máxima en 24 horas (mm)-Estación Viques.

PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)													Max. Anual
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1998	19.4	28.1	8.6	9.5	0.0	2.7	0.0	3.8	4.5	18.2	18.6	12.7	28.1
1999	11.3	34.5	15.5	9.2	0.0	3.4	4.9	0.0	14.6	8.2	14.2	14.0	34.5
2000	14.3	14.5	15.0	8.1	3.5	2.8	3.8	14.3	14.9	10.2	17.4	24.7	24.7
2001	26.1	21.3	24.7	8.2	8.4	0.0	8.0	3.7	18.7	17.5	12.2	27.6	27.6
2002	16.8	20.1	13.7	6.5	0.0	1.1	4.1	0.0	13.8	25.9	23.0	16.1	25.9
2003	23.0	17.3	16.7	11.8	6.7	0.0	0.0	7.4	15.3	6.7	20.9	15.8	23.0
2004	10.2	34.6	20.7	9.8	13.7	10.8	6.8	8.8	13.1	5.9	10.1	17.4	34.6
2005	9.3	21.1	13.1	21.2	11.9	0.0	0.0	17.5	14.6	21.7	9.6	18.3	21.7
2006	17.9	22.0	23.6	8.5	0.0	4.4	0.0	15.1	8.3	22.1	11.3	18.5	23.6
2007	17.9	9.7	13.7	7.6	0.0	0.0	5.8	0.0	18.8	8.7	19.3	15.5	19.3
2008	14.0	25.1	13.6	0.0	2.1	4.6	0.0	0.0	14.6	9.3	15.1	20.2	25.1
2009	11.7	14.2	23.4	11.6	8.5	0.0	5.8	19.1	8.6	18.2	17.2	21.4	23.4
2010	25.4	11.6	24.8	20.5	0.0	13.5	20.5	4.2	7.8	8.8	16.5	37.9	37.9
2011	32.6	37.1	23.0	36.4	8.9	0.0	6.0	7.5	12.1	12.7	14.2	32.6	37.1
2012	24.3	30.1	19.4	18.9	9.1	9.8	3.7	3.5	16.4	7.1	9.7	25.7	30.1
2013	18.7	31.2	13.1	4.2	8.6	8.6	5.8	15.5	17.0	11.2	11.2	29.2	31.2

PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Max. Anual
2014	20.9	36.9	28.5	11.3	8.7	8.2	1.7	3.1	19.8	11.4	21.4	19.0	36.9
2015	14.3	19.3	23.7	11.3	4.9	9.3	6.1	9.9	19.7	16.4	14.6	9.5	23.7
2016	63.7	23.0	9.2	6.9	16.3	0.0	0.0	0.0	8.5	13.6	11.6	9.8	63.7
2017	26.4	13.5	11.8	3.7	0.0	0.0	2.7	10.2	13.0	7.8	10.7	26.4	
2018	18.6	14.5	21.4	8.2	7.8	3.0	2.7	3.9	9.4	24.2	21.0	14.6	24.2

Fuente: SENAMHI/DRD

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Tabla 14

Precipitación mensual (mm)-Estación Shullcas.

PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Max. Anual	
2007	18.5	19.2	14.2	9.2	11.3	0.0	12.1	8.4	17.2	17.5	13.7	14.5	19.2	
2008	16.3	16.0	9.8	9.8	7.6	8.2	0.0	6.6	6.8	17.3	19.4	29.1	29.1	
2009	18.4	27.3	32.8	17.4	20.1	18.4	3.8	18.5	17.5	28.6	16.7	17.3	32.8	
2010	32.1	27.0	14.5	7.4	10.5	0.5	5.0	2.4	3.6	12.4	9.6	25.0	32.1	
2011	21.2	18.1	32.0	18.6	9.2	1.0	5.6	1.2	15.6	16.0	15.6	16.2	32.0	
2012	18.8	33.2	14.1	14.7			23.0	22.0	21.1	17.0	9.8	24.1	33.2	
2013	21.9	16.6	12.4							27.4	17.5		27.4	
2014	23.2	14.9	33.0	10.4	7.2	1.2	3.0	3.0	15.5	14.4	19.0	20.8	33.0	
2015	25.2	24.6	14.3	12.6	8.7	4.1	6.0						25.2	
2016	14.7	21.8	15.0	14.7	8.1	1.5	1.4	7.9	15.8	24.2	18.0	17.6	24.2	
2017	16.2	18.0	24.6	16.4	8.8	2.0	4.2	6.4	13.0	24.0	20.5	20.0	24.6	
2018	24.6	13.4	21.3	8.0	4.8	4.7	3.2	7.3	13.5	17.0	12.0		24.6	

Fuente: SENAMHI/DRD

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

b. Procesamiento de datos hidrológicos

Dado que las series temporales de las estaciones no presentan un mismo periodo de cobertura, se aplicaron procedimientos de homogeneización y completación de datos con el objetivo de construir series más consistentes y comparables. La estación Huayao, al contar con la serie más extensa y continua, fue seleccionada como estación base para el análisis y procesamiento de los datos pluviométricos.

Figura 6.

Distribución espacial de las estaciones meteorológicas utilizadas.



Fuente: Google Earth

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Se analizaron tanto las precipitaciones totales mensuales como las precipitaciones máximas mensuales, con el propósito de generar insumos cuantitativos que permitan alcanzar los objetivos del estudio.

Estimación de datos faltantes

La estimación de datos ausentes se realizó mediante el método de regresión lineal. Esta técnica permitió inferir valores faltantes a partir de la correlación entre estaciones con registros simultáneos.

c. Análisis de consistencia de la información hidrológica

Antes de utilizar los datos en los modelos de análisis, se efectuó un proceso de verificación de consistencia interna, con el fin de garantizar la confiabilidad de las series temporales.

- Análisis visual gráfico: se graficaron las precipitaciones totales y máximas mensuales, representando el tiempo (años) en el eje de abscisas y la precipitación (mm) en el eje de ordenadas, para identificar tendencias, anomalías o rupturas en la serie.
- Análisis de doble masa: se aplicó esta técnica para evaluar la homogeneidad de las series.

d. Análisis estadístico de la información hidrológica

1. Precipitaciones totales mensuales

- Modelo de distribución: se utilizó la distribución normal, adecuada para variables de tipo medio (mensuales, estacionales o anuales), con un nivel de significancia de 0.05.
- Prueba de bondad de ajuste: se aplicó la prueba Chi-cuadrado (χ^2) para verificar la adecuación del modelo a los datos observados.

2. Precipitaciones máximas en 24 horas

- Modelo de distribución: se empleó la distribución de Gumbel, comúnmente utilizada para el análisis de eventos extremos hidrometeorológicos.

e. Cálculo de la escorrentía

La estimación de la escorrentía mensual en cada sector de estudio se realizó mediante un balance hídrico. Este procedimiento permitió cuantificar el volumen de agua superficial generado a partir de las precipitaciones.

f. Cálculo de la vulnerabilidad

La evaluación de la vulnerabilidad se desarrolló considerando factores físicos, sociales y económicos que inciden en la susceptibilidad de los sectores analizados frente a eventos hidrometeorológicos.

g. Cálculo de la precipitación media

Se aplicó el método de los polígonos de Thiessen para estimar la precipitación media en la zona de estudio. Para ello, se utilizó la carta nacional georreferenciada, identificando la ubicación de las estaciones meteorológicas y delimitando el área de influencia de cada una.

h. Precipitaciones máximas probables según períodos de retorno

Una vez validadas las series de datos, se procedió a calcular las precipitaciones máximas probables para distintos períodos de retorno, utilizando como estaciones de referencia a Santa Ana y Huayao, por presentar una correlación significativa. Se emplearon coeficientes de duración de lluvias (Tabla 2) y la distribución de Gumbel para estimar los valores extremos.

i. Curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF)

Se calcularon las curvas IDF para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, en intervalos de duración de 1 a 24 horas. A través de regresiones se determinaron las constantes m , n y K , que permitieron construir la fórmula de intensidad. Posteriormente, se elaboraron las curvas IDF, graficando la frecuencia (años) en el eje de ordenadas y el tiempo (minutos) en el eje de abscisas.

j. Determinación del coeficiente de escorrentía

Método racional

Se consideraron las características de superficie, pendiente y tipo de suelo de cada sector, utilizando los coeficientes establecidos en la norma OS.060 de drenaje pluvial urbano, así como mapas de uso y clasificación de suelos del INDECI y herramientas como Google Earth Pro. Se calcularon coeficientes para los años 2005 y 2018 con fines comparativos.

Método del número de curva (CN)

Se aplicó la Tabla 3 de números de curva del Soil Conservation Service (SCS) para condiciones de humedad antecedente II,

considerando usos agrícolas, suburbanos y urbanos. El análisis se centró en los tres sectores definidos para el año 2018.

k. Determinación de volúmenes de escorrentía o caudal máximo

El cálculo del caudal máximo se realizó mediante el método racional.

l. Determinación del caudal pico

Se utilizó el método del Soil Conservation Service (SCS) para estimar el caudal punta, aplicando el hidrograma sintético correspondiente.

m. Evaluación del riesgo de inundaciones

La estimación del riesgo se basó en el Manual Básico para la Estimación del Riesgo del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Se consideraron los niveles de amenaza, vulnerabilidad y exposición para cada sector.

3.6 Técnicas y herramientas de análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de los parámetros hidrológicos se emplearon los siguientes programas y plataformas:

- Microsoft Excel 2013: para el tratamiento estadístico y gráfico de datos.
- AutoCAD Civil 3D 2015: para la modelación topográfica y diseño de superficies.
- Google Earth Pro: para la identificación geoespacial de sectores de estudio.
- SINPAD: plataforma del INDECI para el registro y consulta de emergencias y peligros.
- SIGRID: sistema geoespacial del CENEPRED para la gestión del riesgo a nivel nacional.

3.7 Análisis de vulnerabilidad hidrológica

Sector 01: Urbanización Alto La Merced y Asociación de Vivienda Los Libertadores

El Sector 01 abarca la zona correspondiente a la urbanización Alto La Merced, cuyo proceso de consolidación habitacional se inició en el año 2009, así como parte del área perteneciente a la Asociación de Vivienda Los Libertadores. Este sector se encuentra emplazado en la base de una quebrada de carácter intermitente, cuyo cauce natural ha sido significativamente modificado por intervenciones antrópicas. Durante la temporada de lluvias, dicha quebrada se activa, canalizando aguas de escorrentía superficial provenientes de precipitaciones intensas.

La quebrada presenta una longitud total de 1.450 metros, de los cuales únicamente 210 metros han sido intervenidos mediante la construcción de un canal de concreto con dimensiones de 2 metros de ancho por 1,70 metros de alto. Sin embargo, en su tramo final, dicho canal se reduce abruptamente a una sección de 0,80 metros de ancho por 1 m. de alto, generando un estrangulamiento hidráulico que limita severamente la capacidad de conducción del flujo. Esta reducción estructural no responde a criterios de diseño hidrológico adecuados, lo que impide el transporte eficiente del caudal excedente generado entre los meses de septiembre y abril. Como consecuencia, se producen eventos recurrentes de inundación que afectan directamente a las viviendas colindantes, debido al rebose del canal y la acumulación de agua en superficie.

El área de estudio comprende una superficie de 47,41 hectáreas, caracterizada por una pendiente promedio de 33,38%, lo que favorece la generación de escorrentía rápida. El tiempo de concentración estimado para el sector es de 8,09 minutos, lo que indica una respuesta hidrológica acelerada ante eventos de precipitación. En cuanto a las condiciones edáficas, el suelo predominante corresponde a una clasificación ML-CL (limo arcilloso de baja plasticidad), con una capacidad portante inferior a 2 kg/cm², según el mapa de capacidad portante elaborado por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) en el año 2011. Esta condición limita la estabilidad estructural de edificaciones y aumenta la susceptibilidad a procesos de erosión y asentamientos diferenciales.

Evaluación del balance hídrico

La Tabla 15 presenta el balance hídrico correspondiente al Sector 01, evidenciando que el excedente de precipitación se concentra entre los meses de septiembre y abril. Durante este periodo, se generan volúmenes de escorrentía que oscilan entre 0,68 litros por segundo en septiembre y alcanzan hasta 18,09 litros por segundo en febrero, reflejando una marcada variabilidad estacional.

Tabla 15.

Balance Hídrico del Sector 01.

(mm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
P	155.30	150.45	123.77	54.23	24.37	7.15	8.21	17.21	46.99	78.49	74.25	139.38
ETP	59.76	51.56	51.99	47.66	46.62	35.37	37.90	41.09	43.28	52.93	54.43	56.72
P-ETP	95.54	98.89	71.78	6.57	-22.25	-28.22	-29.69	-23.88	3.71	25.56	19.82	82.66
RAU	92.66	92.66	92.66	92.66	70.41	42.19	12.50	0.00	3.71	29.27	49.09	92.66
VRU	0.00	0.00	0.00	0.00	-22.25	-28.22	-29.69	-12.50	0.00	0.00	0.00	0.00
EXC	95.54	98.89	71.78	6.57	0.00	0.00	0.00	0.00	3.71	25.56	19.82	82.66
DEF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.38	0.00	0.00	0.00	0.00
ETR	59.76	51.56	51.99	47.66	46.62	35.37	37.90	29.71	43.28	52.93	54.43	56.72
VE L/S	17.47	18.09	13.13	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	4.68	3.62	15.12

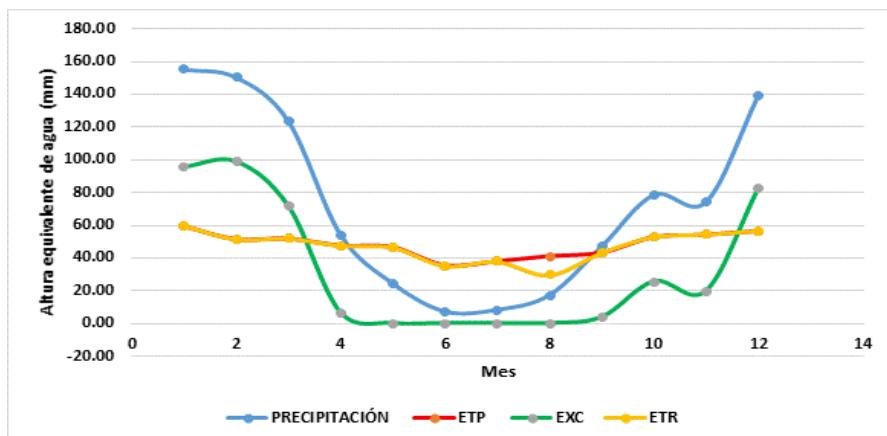
Fuente: Elaboración propia.

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

La Figura 7 nos muestra la evolución temporal de la precipitación, evapotranspiración potencial, la evapotranspiración real y los excedentes de precipitación, que en nuestro caso sería la escorrentía que se estaría generando en el sector 01 a lo largo de un año hidrológico

Figura 7

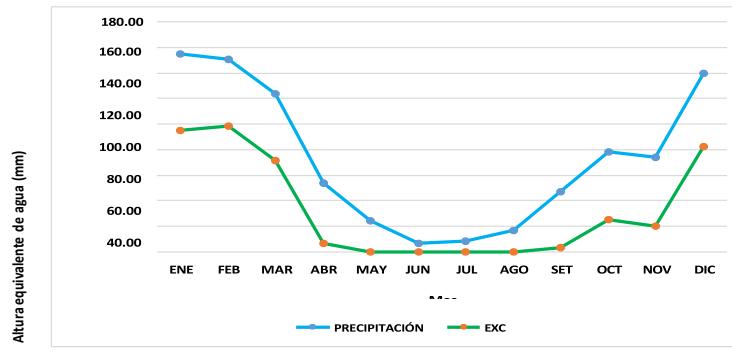
Balance Hídrico-Sector 01.



Fuente: Elaboración propia.Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Figura 8.

Precipitación Vs Escorrentía-Sector 01.



Fuente: Elaboración propia.

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

La Figura 8 ilustra la evolución temporal de los principales componentes del ciclo hidrológico: precipitación, evapotranspiración potencial, evapotranspiración real y excedente de precipitación. Este último se traduce directamente en escorrentía superficial, cuya magnitud y frecuencia constituyen un factor crítico en la evaluación de riesgos hidrometeorológicos para el sector.

3.8 Evaluación de la vulnerabilidad urbana frente a inundaciones

En este apartado se evalúa la vulnerabilidad física, económica y social de tres sectores urbanos expuestos al peligro de inundaciones por activación de quebradas intermitentes. La evaluación se basa en criterios constructivos, socioeconómicos, organizativos y ambientales, con el

objetivo de identificar los factores que incrementan el riesgo y proponer líneas base para la planificación territorial y la gestión del riesgo de desastres.

Vulnerabilidad física

Sector 01: Alto La Merced y Los Libertadores

Figura 9

Delimitación del sector 01



Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

- **Exposición:** 9 manzanas vulnerables, 112 viviendas expuestas.

Figura 10

Manzanas en exposición a inundaciones Sector 01.



Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

- Materiales constructivos:
 - 58,93% ladrillo/bloque sin dirección técnica.
 - 34,82% adobe sin refuerzo.
 - 3,57% tapia sin refuerzo.
 - 2,68% materiales precarios (triplay, calamina, esteras).

- Condiciones del terreno: pendiente media de 33,38%, escasa cobertura vegetal.
- Normativa: presencia de instrumentos legales (RNE, plan de uso de suelos), pero incumplimiento sistemático.
- Índice de vulnerabilidad física: 3,11 → Vulnerabilidad alta.

Sector 02: Santa Isabel, Soto Valle y Los Libertadores

- Exposición: 26 manzanas vulnerables, 374 viviendas expuestas.
- Materiales constructivos:
 - 74,87% ladrillo/bloque sin dirección técnica.
 - 17,65% adobe sin refuerzo.
 - 6,68% tapia sin refuerzo.
 - 0,53% piedra y barro.
 - 0,27% materiales precarios.
- Condiciones del terreno: pendiente de 22,89%, 56,34% sin cobertura vegetal.
- Normativa: zonas catalogadas como de protección ambiental, pero en proceso de lotización informal.
- Índice de vulnerabilidad física: 2,91 → Vulnerabilidad media.

Sector 03: San José y Nueva Esperanza

- Exposición: 16 sectores vulnerables, 181 viviendas expuestas.
- Materiales constructivos:

- 23,76% ladrillo/bloque sin dirección técnica.
- 31,49% adobe sin refuerzo.
- 44,75% tapia sin refuerzo.
- Condiciones del terreno: pendiente de 18,18%, erosión acelerada, escasa cobertura vegetal.
- Normativa: suelo urbano en riesgo sujeto a reglamentación especial, sin fiscalización efectiva.
- Índice de vulnerabilidad física: 3,30 → Vulnerabilidad alta.

Vulnerabilidad económica

Indicadores utilizados:

- Material del piso de la vivienda.
- Nivel de ingreso según necesidades básicas insatisfechas (NBI).

Tabla 16

Resultados por sector.

Sector	Piso de tierra (%)	NBI (%)	Índice de vulnerabilidad económica	Nivel
01	42.86	83.93	3.20	Alta
02	24.06	15.00	3.02	Alta
03	60.77	45.00	3.52	Alta

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Vulnerabilidad social

Indicadores utilizados:

- Nivel de organización comunitaria.
- Participación ciudadana.
- Relación con autoridades locales.
- Integración institucional.

Tabla 17

Resultados por sector.

Sector	Índice de vulnerabilidad social	Observaciones
01	3.17	Baja participación y débil articulación institucional.
02	3.35	Capacitaciones esporádicas, falta de sensibilización masiva.
03	3.55	Desconfianza institucional, ausencia de acciones correctivas.

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Tabla 18*Vulnerabilidad general*

Sector	Índice de vulnerabilidad general	Nivel
01	3.16	Alta
02	3.09	Alta
03	3.46	Alta

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43.<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Balance hídrico y riesgo hidrológico

- **Sector 02:** Escorrentía máxima de 108.35 l/s en febrero.
- **Sector 03:** Escorrentía máxima de 27.47 l/s en febrero.
- **Tendencia:** A mayor precipitación, mayor escorrentía. La relación es directa y crítica para la planificación de drenajes y obras de mitigación.

Se concluye:

- La vulnerabilidad física está fuertemente condicionada por la informalidad constructiva y la ocupación de zonas de riesgo sin fiscalización.
- La vulnerabilidad económica refleja una precariedad estructural que limita la capacidad de recuperación post-desastre.
- La vulnerabilidad social evidencia una débil cultura de prevención y escasa articulación institucional.

- El análisis hidrológico confirma la necesidad de obras de drenaje, reforestación y control de erosión en zonas críticas.

3.9 Discusión de resultados de la evaluación hidrológica y vulnerabilidad urbana en Huancayo

Caracterización de la vulnerabilidad en sectores urbanos

La vulnerabilidad, entendida como la predisposición de un territorio y su población a sufrir daños ante eventos adversos, no puede ser abordada desde una sola dimensión. Se propone una lectura integral de la vulnerabilidad en los sectores 01, 02 y 03, articulando variables físicas, económicas, sociales, técnicas, educativas e ideológicas. Los resultados revelan un panorama crítico que exige intervenciones más allá de lo estructural, incorporando también lo simbólico, lo formativo y lo comunitario.

En el Sector 01, el índice ponderado de 3,16 señala una vulnerabilidad total alta, mientras que el Sector 02 presenta una vulnerabilidad física media, pero elevada en los aspectos económicos y sociales (índice total de 3,09). El Sector 03, por su parte, alcanza un índice de 3,46 evidenciando una vulnerabilidad alta en todas las dimensiones evaluadas. Estos hallazgos se alinean con estudios como el de De Jesús et al. (2011), que documentan vulnerabilidades similares en la cuenca baja del río Gaira, donde la urbanización desordenada y la

escasa capacitación comunitaria configuran una vulnerabilidad promedio del 69,5%.

Más allá de lo físico y lo económico, el análisis complementario revela vulnerabilidades específicas que profundizan el diagnóstico: técnica (3,37), educativa (3,23), ideológica (1,75) y social (1,98). Las dos primeras alcanzan niveles de vulnerabilidad muy alta, lo que sugiere que el conocimiento técnico y la formación educativa son pilares frágiles en el tejido comunitario. Así pues, las dimensiones ideológica y social, aunque con valores medios, indican tensiones culturales y relaciones que pueden obstaculizar procesos de resiliencia.

En este sentido, la vulnerabilidad puede concebirse como un sistema de capas interdependientes, en el que la infraestructura material se articula con los saberes locales, las creencias y las prácticas cotidianas. Evaluar con el propósito de transformar implica reconocer que las soluciones no se encuentran únicamente en la dimensión física o constructiva, sino también en el fortalecimiento del diálogo social, la promoción de procesos educativos y la generación de un sentido colectivo que sustente la resiliencia comunitaria.

Evaluación multidimensional de la vulnerabilidad

La evaluación de los sectores 01, 02 y 03 revela niveles críticos de vulnerabilidad en las dimensiones física, económica y social:

- Sector 01: vulnerabilidad total alta con un índice ponderado de 3.16.
- Sector 02: vulnerabilidad física media, pero alta en las dimensiones económica y social, con un índice total de 3.09.
- Sector 03: vulnerabilidad alta en todas las dimensiones, alcanzando un índice de 3.46.

Estos resultados se alinean con estudios previos que documentan vulnerabilidades similares en la cuenca baja del río Gaira, donde factores como la urbanización desordenada y la falta de capacitación comunitaria inciden en una vulnerabilidad promedio del 69,5% (De Jesús et al., 2011),

Vulnerabilidades técnicas, educativas e ideológicas

El análisis complementario de vulnerabilidades específicas arroja los siguientes valores:

- Técnica: promedio de 3,37 (84,26%) – Vulnerabilidad Muy Alta.
- Educativa: promedio de 3,23 (80,90%) – Vulnerabilidad Muy Alta.
- Ideológica y social: promedios de 1,75 y 1,98 respectivamente – Vulnerabilidad Media.

Estos indicadores reflejan la necesidad de intervenciones integrales que consideren no solo la infraestructura, sino también los aspectos formativos y culturales de las comunidades.

3.10 Incremento de escorrentía superficial: análisis hidrológico

Validación estadística de precipitación

Se utilizaron datos de cuatro estaciones meteorológicas (Huayao, Santa Ana, Shullcas y Viques) para calcular la precipitación promedio mediante el método de Thiessen. La estación Huayao sirvió como base para la extensión de datos faltantes (1980–2018), validando la consistencia mediante análisis de doble masa y pruebas t de Student con un 95% de confianza.

Distribución de precipitaciones máximas

Las precipitaciones máximas en 24 horas fueron modeladas con la distribución de Gumbel (1992–2018), permitiendo estimar intensidades para períodos de retorno de 2 a 500 años. Este enfoque, respaldado por Villón (2002), es adecuado para eventos extremos.

Coeficientes de escorrentía y urbanización

Comparando los años 2005 y 2018, se observa un incremento significativo en los coeficientes de escorrentía:

- Sector 01: +0,61%, asociado a pérdida de cobertura vegetal.
- Sector 02: +11,76%, vinculado a urbanización acelerada.
- Sector 03: +13,99%, por expansión residencial en laderas.

Estos hallazgos coinciden con estudios como el de Vidal & Romero (2010), que documentan aumentos de hasta 72% en CE en zonas urbanizadas de Concepción, Chile.

Volúmenes de escorrentía y capacidad de infraestructura

Se calcularon volúmenes de escorrentía para un periodo de retorno de 25 años:

Tabla 18

Volúmenes de escorrentía.

Sector	Tiempo de concentración (min)	Caudal (m ³ /s)	Volumen (m ³)	Observaciones
01	8,09	3,00	1,455.66	Canal estrangulado provoca rebose.
02	14,18	11,87	9,482.57	Descarga insuficiente en Santa Isabel.

Sector	Tiempo de concentración (min)	Caudal (m ³ /s)	Volumen (m ³)	Observaciones
03	7,29	4,99	2,041.85	Reunión de quebradas intermitentes.

Nota. Adaptado de H. Vásquez Garay-Torres. Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes], 2021, p.43. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591>

Aumento del caudal pico: simulación hidrográfica

Aplicación del hidrograma sintético SCS

Se utilizó el método de abstracciones y el hidrograma SCS para estimar caudales pico. Los parámetros considerados incluyeron tipo de suelo, CN, infiltración potencial, abstracción inicial, tiempo base y tiempo pico.

Resultados por sector

- **Sector 01:** caudal pico de 3,05 m³/s (2 años) hasta 18,32 m³/s (500 años).
- **Sector 02:** De 10,36 m³/s a 60,42 m³/s.
- **Sector 03:** De 5,26 m³/s a 31,20 m³/s.

Estos incrementos reflejan una tendencia preocupante, especialmente en zonas con infraestructura insuficiente. Tucci (2007) advierte que la urbanización puede multiplicar hasta por siete los

caudales máximos, generando impactos como pérdida de bienes, contaminación y sedimentación.

Abstracción inicial y comparación regional

Los valores de abstracción inicial fueron:

- Sector 01: 13.21 mm
- Sector 02: 12.87 mm
- Sector 03: 13.05 mm

Estos valores son significativamente menores al reportado por Quillatupa & Cárdenas (2006) en la microcuenca Yanango (33.95 mm), lo que indica una rápida generación de escorrentía superficial en Huancayo.

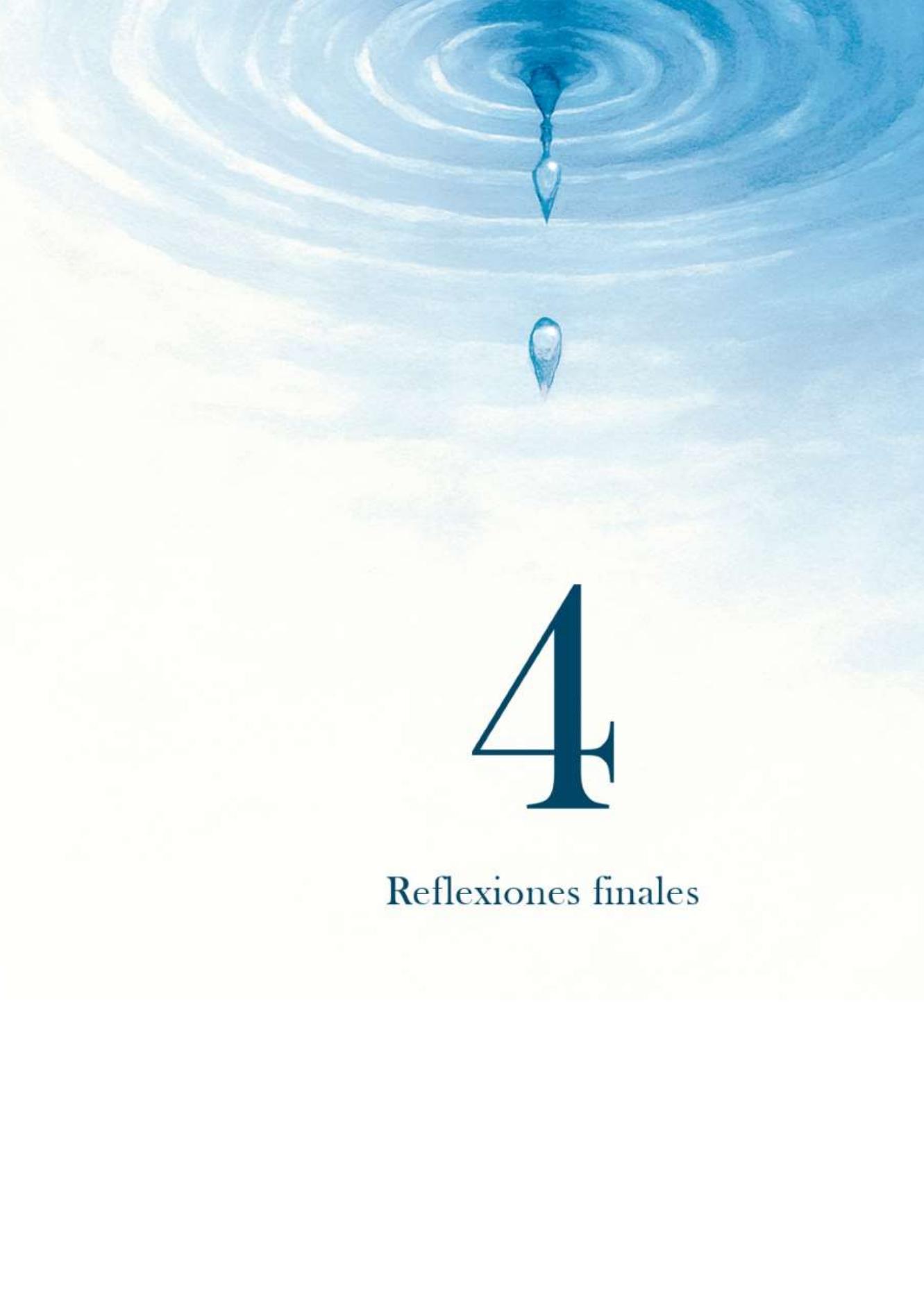
Riesgo de inundaciones: exposición y planificación territorial

Riesgo alto por ubicación y urbanización

Los tres sectores presentan riesgo ALTO debido a su proximidad a cauces naturales y a la modificación antrópica del terreno. El plan de uso del suelo los clasifica como:

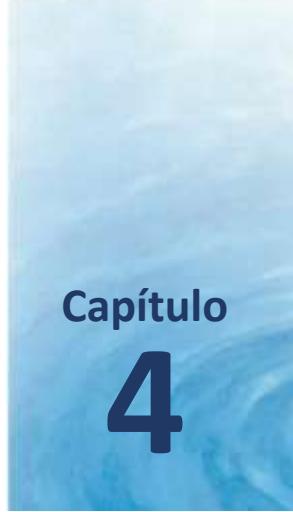
- **Sector 01 y 03:** suelo urbano ocupado en riesgo sujeto a reglamentación especial.
- **Sector 02:** zona de protección ambiental de agentes hídricos.

Sin embargo, se siguen desarrollando urbanizaciones en zonas de alta pendiente, como en Los Libertadores, incrementando el riesgo de escorrentía y afectación a viviendas precarias.



4

Reflexiones finales



Capítulo 4

Reflexiones finales

La escorrentía superficial, como fenómeno hidrológico, no solo representa un desafío técnico en la planificación urbana, sino también una variable crítica en la evaluación de vulnerabilidades y riesgos en territorios expuestos a eventos climáticos extremos. En el caso de la provincia de Huancayo, los sectores 01, 02 y 03 han sido priorizados por su alta sensibilidad frente a las lluvias intensas y por la evidencia acumulada de impactos físicos, económicos y sociales.

Las conclusiones expuestas a continuación derivan del examen minucioso de información hidrológica, simulaciones de caudales y análisis de vulnerabilidad territorial. Este proceso posibilita identificar vínculos directos entre la dinámica de la escorrentía y los grados de

exposición y riesgo que afectan a las comunidades ubicadas en las proximidades de cauces intermitentes.

El incremento progresivo de volúmenes máximos y caudales pico en distintos períodos de retorno revela una tendencia preocupante que exige medidas de mitigación estructurales y normativas. Asimismo, los índices de vulnerabilidad total alta en los tres sectores refuerzan la necesidad de una intervención multisectorial que articule infraestructura, ordenamiento territorial y educación comunitaria.

Este conjunto de conclusiones no pretende ser un cierre, sino una apertura hacia la acción. Son insumos técnicos que deben alimentar decisiones estratégicas, planes de inversión pública y políticas de gestión del riesgo, siempre con una mirada integral que reconozca la complejidad del territorio y la urgencia de proteger a sus habitantes.

1. Existe una correlación directa entre escorrentía superficial y vulnerabilidad urbana, con índices altos en los tres sectores.
2. Se confirma el incremento de volúmenes máximos de escorrentía entre 2005 y 2018, especialmente en sectores 02 y 03.
3. Los caudales pico aumentan significativamente con los períodos de retorno, evidenciando una tendencia crítica.

4. La escorrentía superficial está directamente relacionada con el riesgo de inundaciones, siendo los tres sectores altamente expuestos.

Recomendaciones técnicas y de gestión territorial

La gestión adecuada de los sistemas de drenaje urbano no solo responde a una necesidad técnica, sino a un compromiso ético con la seguridad, la salud pública y la sostenibilidad territorial. En el caso de los sectores 01, 02 y 03 del ámbito urbano de Huancayo y Chilca, las recurrentes inundaciones durante la temporada de lluvias evidencian una problemática estructural que requiere atención urgente y coordinada por parte de las instituciones públicas competentes.

Las recomendaciones que se presentan a continuación se fundamentan en observaciones técnicas, diagnósticos de campo y propuestas de mitigación previamente elaboradas. Su objetivo es orientar la toma de decisiones hacia intervenciones específicas que disminuyan el riesgo hídrico, fortalezcan la infraestructura de drenaje y fomenten una planificación urbana más responsable.

Estas acciones no deben concebirse como medidas aisladas, sino como componentes de una estrategia integral que articule la ingeniería, la normativa y la gobernanza territorial. Del mismo modo, se enfatiza la necesidad de aplicar criterios de sostenibilidad y prevención, en especial

en zonas de pendiente y en áreas donde la expansión urbana limita la capacidad natural de absorción del suelo.

En cuanto a las recomendaciones específicas para cada sector se detallan con el fin de orientar su ejecución por el Gobierno Regional de Junín, la Municipalidad Provincial de Huancayo y la Municipalidad Distrital de Chilca.

1. Mejoramiento de infraestructura: urgente intervención en los sistemas de drenaje de los tres sectores.
2. Sector 01: ampliación del canal de drenaje y construcción de desarenadores en zonas altas.
3. Sector 02: fortalecimiento del canal de conducción y control de expansión urbana.
4. Sector 03: implementación de un sistema integral de tratamiento de aguas pluviales y prohibición de nuevas construcciones en zonas de riesgo.

Referencias

- Abarca Fernández, R. C. A., Arapa Mendoza, N. Á., Ccori Sulla, B. A., Mamani Apaza, A. P., & Suclla Cuadros, L. M. (2023). El impacto ambiental de la expansión urbana en Perú: Un análisis jurídico y ambiental. *Revista Agustina de Educación*, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <https://revistas.unsa.edu.pe/index.php/rae/article/download/328/414/796>
- Aparicio, F. J. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Limusa.
- Bernal-Basurcoa, C., Zubelzua, S., & Esteve, P. (2021). *Impacto social del sistema de drenaje sostenible (SUDS): Revisión sistemática de la literatura y retos de la investigación*. Universidad Politécnica de Madrid. <https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/6194693b-014f-4f83-bed0-51edd10a87a0/content>
- Breña, A. & Jacobo, M. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. Rectoría General de la Universidad Autónoma Metropolitana.
- Cahuana, A. & Yugar, W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología*.
- Cenepred. (2013). *Metodología para la elaboración de mapas de vulnerabilidad y riesgo*. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2013). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales*.

- Cervantes, R. (1999). *Disminución de la escorrentía superficial debido a a variaciones en el uso de suelo.*
- Chereque, M. W. (1989). *Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil.* Pontifica Universidad Católica del Perú.
- Chow et al. (1994). *Hidrología aplicada.* McGraw-Hill Interamericana
- Correo. (2025, 21 de enero). *Unas 30 viviendas en Huancayo inundadas tras intensa lluvia: “Todos los años es lo mismo”.* Diario Correo. <https://diariocorreo.pe/edicion/huancayo/unas-30-viviendas-en-huancayo-inundadas-tras-intensa-lluvia-todos-los-anos-es-lo-mismo-noticia/>
- Cubides, E. D., & Santos, G. E. (2018). Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración. *Entre Ciencia e Ingeniería, 12*(24). <https://doi.org/10.31908/19098367.3813>
- De Jesús et al. (2011). *Ánálisis de la vulnerabilidad y el riesgo a inundaciones en la cuenca baja del río Gaira, en el Distrito de Santa Marta.*
- DW. (2023, 7 de julio). *El valle del Ahr, dos años después de las inundaciones.* Deutsche Welle. <https://www.dw.com/es/el-valle-del-ahr-dos-a%C3%B1os-despu%C3%A9s-de-las-inundaciones/a-66162186>
- El-Bagoury, H. y Gad, A. (2024). Modelado hidrológico integrado para el análisis de cuencas hidrográficas, predicción de inundaciones y mitigación utilizando datos meteorológicos y morfométricos, SCS-CN, HEC-HMS/RAS y QGIS. *Water, 16* (2), 356. <https://doi.org/10.3390/w16020356>
- El Espectador. (2017, 1 de abril). *Avalancha en Mocoa, una de las peores tragedias de 2017.* El Espectador. <https://www.elespectador.com/colombia/mas-regiones/avalancha-en-mocoa-una-de-las-peores-tragedias-de-2017-article-730617/>

El País. (2020, 2 de enero). *Al menos 43 muertos y 31.000 evacuados por inundaciones en Indonesia*. El País. https://elpais.com/internacional/2020/01/02/actualidad/1577966367_736674.html

Espinoza, H. (1989). *Balance hídrico y necesidades de agua para los cultivos más importantes en la cuenca del río Ciénega*. PNUD, FAO.Bolivia12.

Feldman, A. D. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual*. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/>

García Ramírez, P., Alatorre Cejudo, L. C., & Bravo Peña, L. C. (2023). Modelos de escorrentía superficial en la última década: Una revisión bibliográfica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, 7(1). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5001

García del Villar, C. (2020). *Escorrentía urbana: Sistemas de recogida y drenaje*. [Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo Digital UPM. https://oa.upm.es/57970/1/TFG_20_Garcia_del_Villar_Cristina.pdf

Hernández Atencia, Y., Peña Rojas, L. E., & Muñoz Ramos, J. (2023). Evaluación de la vulnerabilidad física ante inundaciones bajo escenarios de cambio del uso del suelo. *Revista EIEI*, 12(3), 45–62. <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/download/2149/1813/5815>

Henríquez, Azócar & Aguayo. (2006). *Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile*.

Instituto Nacional de Defensa Civil (2011). *Mapa de peligros, plan de usos de suelo ante desastres y medidas de mitigación*. Huancayo.

Instituto Nacional de Defensa Civil (2006). *Manual básico para la estimación del riesgo*.

- Juncosa, R. (2018). *Hidrología I. Ciclo hidrológico*. Universidad de la Coruña. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, canales y puertos.
- Lobato, R. (2015). *Escorrentía de una cuenca mediante la aplicación de un simulador de lluvia. caso: río chanta, la encañada-cajamarca, 2015, Cajamarca*.
- Lozano Quijada, O. (2008). *Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos en edificaciones urbanas*. Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES). <https://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/olga-lozano.pdf>
- Martín Calvo, J. F., Castañeda Gómez, J. A., Díaz Cuesta, Y. E., & Escobar Mahecha, D. (2020). Análisis del desastre ocurrido en Mocoa (Colombia). *Ambiente y Desarrollo*, 24(47). Pontificia Universidad Javeriana. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd24-47.adom>
- Martínez, A. (2006). *Método de los coeficientes de escorrentía*. Escuela Universitaria en Universidad de Valladolid.
- Maya, E. (2014). *Métodos y técnicas de investigación*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- MDZ. (2021, 24 de septiembre). *Alemania: las inundaciones dejaron 180 muertos y miles de vidas heridas*. MDZ Online. <https://www.mdzol.com/mundo/2021/9/24/alemania-las-inundaciones-dejaron-180-muertos-miles-de-vidas-heridas-189229.html>
- Meneses Rivera, J. F. (2023). *Calidad de vida urbana en los sectores aledaños a la cuenca baja del río Shullcas en la ciudad de Huancayo – 2022*. [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13766/8/IV_FIN_106_TE_Meneses_Rivera_2023.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Manual de hidrología hidráulica y drenaje.*

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2015). *Plan de desarrollo urbano de huancayo, 2015-2025, Huancayo.*

Mondal, A., Garg, R.D. (2025). Dinámica global de las inundaciones urbanas y evaluación de la vulnerabilidad futura: un estudio exhaustivo de tendencias, predicciones y mitigación. *Nat Hazards* 121, 11187–11207. <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07288-y>

Moscoso, C. (2007). *Cambios en los usos y coberturas de suelo y sus efectos sobre la escorrentía urbana Valparaíso y Viña del Mar, periodo 1980- 2005.*

Oficina de las Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios (OCHA). (2017, abril). *Costa Norte del Perú 2017 Flash Appeal.* OCHA. <https://www.unocha.org/publications/report/peru/costa-norte-del-2017-flash-appeal-abril>

Oficina de las Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios (FAO). (2017). *Plan Integral de Reconstrucción con Cambios.* FAOLEX. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per173655anx.pdf>

Öztürk, S., Yılmaz, K., Dinçer, A.E. y Kalpakçı, V. (2024). Efecto de la urbanización en la escorrentía superficial y el rendimiento de las cubiertas verdes y el pavimento permeable para mitigar las inundaciones urbanas. *Nat Hazards*, 120, 12375–12399 . <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06688-w>

Pantoja Cárdenas, J. S., & Zambrano Nájera, J. (2024). Evaluación de pavimentos permeables como técnica para mitigar picos de escorrentía superficial. *TecnoLógicas*, 27(61), e3165. <https://doi.org/10.22430/22565337.3165>

- Pineda Capacho, P. A., Martínez Bárcenas, A., Aguilera Rico, H. A., & Orozco Medina, I. (2022). Evaluación del impacto de la urbanización y el cambio climático sobre la recarga de aguas subterráneas y el balance hidrológico en la subcuenca del río Turbio, Guanajuato. *Acta Universitaria*, 32. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3485>
- Predes. (2008). *Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos en edificaciones urbanas*. Centro de Estudios y Prevención de Desastres.
- Quillatupa & Cárdenas. (2006). *Relación precipitación, infiltración y escorrentía para la época de lluvia en la microcuenca Yanango Chanchamayo, Huancayo*.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2016). *Norma OS.060 drenaje pluvial urbano*. Megabyte s.a.c
- Rossman, L. A. (2015). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>
- Saavedra Rivas, H. F. (2017). *Evaluación del impacto del crecimiento urbano en la escorrentía superficial y en el sistema de drenaje del municipio de Palmira: Caso de estudio Zanjón Zamorano*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstreams/8a78ccb1-a080-4cb3-b371-5c969fd0dfe7/download>
- Sánchez Palomino, E. (2015). *Modelación precipitación–escorrentía en cuencas urbanas: Caso de estudio Distrito de Carmen Alto*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/b875ab4c-da7b-41b3-b68f-02854752cc2a>
- Studylib. (2019). *Numerosas viviendas quedaron inundadas en Cooperativa Santa Isabel y Los Libertadores de Huancayo*.

<https://studylib.es/doc/6226408/numerosas-viviendas-quedaron-inundadas>

Tucci, C. E. (2007). *Gestión de inundaciones urbanas*. Porto alegre

Vásquez Garay-Torres, H. (2020). *Evaluación del comportamiento de factores de escorrentía superficial y sus efectos vulnerables en sectores priorizados de la provincia de Huancayo*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Los Andes]. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2591?locale-attribute=en>

Vásquez, A. & otros. (2016). *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas*. (1ra ed.) UNAL.

Vela Conde, C. J. (2018). *Guía técnica para el estudio y cálculo hidrológico de la escorrentía*. [Trabajo de grado, Universidad José Antonio Páez]. <https://www.riujap.ujap.edu.ve/bitstreams/01e0fcb7-1da1-4868-94d6-ecafdad63d70/download>

Vidal, C. & Romero, H. (2010). *Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos biobio y andalién sobre los riesgos de inundación y anegamiento de la ciudad de concepción*.

Vilca-Campana, K., Carrasco-Valencia, L., Iruri-Ramos, C., Cárdenas-Pillco, B., Escudero, A. y Chanove-Manrique, A. (2025). Mejora de la resiliencia urbana a las inundaciones: Evaluación de la mitigación del riesgo de inundaciones urbanas mediante un modelo geoespacial en la sección urbana de un corredor fluvial. *Water*, 17 (7), 1047. <https://doi.org/10.3390/w17071047>

Villón, M. (2002). *Hidrología*.(2da ed.) Villón.

Villón, M. (2002). *Hidrología Estadística*. (2da ed.) Villón.

Villón, M. (2007). *Hidráulica de canales*. (2da ed.) Villón.

Hidrología y Escorrentía

Escorrentía superficial (o directa)

Agua proveniente de la precipitación que no logra infiltrarse en el suelo y fluye sobre la superficie terrestre. Su efecto sobre el escurrimiento total es inmediato, manifestándose durante la tormenta y poco después de su finalización (Villón, 2002). Este tipo de escorrentía es clave en el análisis de avenidas e inundaciones.

Coeficiente de escorrentía

Relación adimensional entre el volumen de escorrentía superficial generado por una lluvia y el volumen total de precipitación caída. Este coeficiente depende de factores como el tipo de suelo, la pendiente, el uso del suelo y la intensidad de la lluvia (Martínez, 2006).

Número de curva de escorrentía (CN)

Índice empírico desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) que permite estimar la escorrentía potencial en función del tipo de suelo, uso del terreno, condición hidrológica y humedad antecedente. Es ampliamente utilizado en modelos hidrológicos simplificados (Chow et al., 1994).

Intensidad de precipitación

Cantidad de agua caída por unidad de tiempo durante un evento de lluvia, expresada comúnmente en milímetros por hora (mm/h). Es un parámetro fundamental para el diseño de obras hidráulicas y el análisis de eventos extremos (Vásquez et al., 2016).

Máximas avenidas

Evento hidrológico caracterizado por un caudal excepcionalmente alto de escorrentía superficial que excede la capacidad de conducción de los cauces naturales o artificiales, provocando inundaciones en áreas adyacentes (Vásquez et al., 2016).

Tiempo de concentración

Tiempo requerido para que una gota de agua recorra el trayecto desde el punto más alejado de una cuenca hasta su salida. Una vez transcurrido este tiempo, se considera que toda la cuenca contribuye al caudal en el punto de salida (Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje, 2008).

Periodo de retorno

Intervalo estadístico promedio entre dos eventos hidrológicos de igual o mayor magnitud. Se expresa en años y se utiliza para estimar la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos como lluvias intensas o avenidas (Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje, 2008).

Riesgos Hidrometeorológicos

Inundaciones

Acumulación excesiva de agua en una zona determinada, que puede o no estar asociada al desbordamiento de cauces fluviales. Su origen suele estar vinculado a lluvias intensas y prolongadas sobre suelos con baja capacidad de infiltración (CENEPRED, 2013).

Riesgo

Resultado de la interacción entre la amenaza (peligro) y la vulnerabilidad de un sistema o población. Representa la probabilidad de que un evento adverso cause daños significativos (PREDES, 2008).

Peligro

Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o antrópico en un espacio determinado, con una intensidad, duración y frecuencia definidas. El peligro puede ser hidrometeorológico, geológico, tecnológico, entre otros (CENEPRED, 2013).

Vulnerabilidades

Vulnerabilidad física

Condición estructural de las edificaciones y su capacidad para resistir eventos adversos. Depende de los materiales utilizados, el diseño constructivo y el mantenimiento de las infraestructuras (INDECI, 2006).

Vulnerabilidad económica

Grado de acceso a recursos económicos de una población, lo cual influye directamente en su capacidad de preparación, respuesta y recuperación ante desastres (INDECI, 2006).

Vulnerabilidad social

Capacidad limitada de una comunidad para adaptarse a cambios extremos en su entorno físico, ya sean repentinos o graduales. Incluye factores como educación, organización comunitaria, acceso a servicios básicos y redes de apoyo (CENEPRED, 2013).

Hidrología y Modelación Hidrológica

Precipitación efectiva

Porción de la precipitación total que contribuye directamente a la escorrentía superficial. Se obtiene restando las pérdidas iniciales (intercepción, infiltración, evaporación) de la precipitación total. Es un insumo clave en modelos de escorrentía.

Infiltración

Proceso mediante el cual el agua de lluvia penetra en el suelo a través de su superficie. Su tasa depende de la textura del suelo, la cobertura vegetal y la humedad antecedente. Una baja infiltración favorece la generación de escorrentía.

Capacidad de campo

Cantidad máxima de agua que un suelo puede retener después de haber sido saturado y haber drenado libremente. Es un indicador de la capacidad de almacenamiento hídrico del suelo.

Hidrograma

Representación gráfica del caudal en función del tiempo en un punto específico de una cuenca. Permite analizar la respuesta hidrológica ante eventos de lluvia y estimar parámetros como el caudal pico y el tiempo de concentración.

Cuenca hidrográfica

Unidad territorial delimitada por divisorias topográficas, dentro de la cual toda el agua fluye hacia un punto común de salida. Es la unidad básica para el análisis hidrológico y la planificación del recurso hídrico.

Gestión del Riesgo y Ordenamiento Territorial

Amenaza hidrometeorológica

Fenómeno natural de origen atmosférico (lluvias intensas, tormentas, huracanes) que puede generar impactos negativos sobre la población, la infraestructura o el ambiente. Su análisis incluye frecuencia, intensidad y extensión espacial.

Exposición

Presencia de personas, bienes, servicios o ecosistemas en zonas susceptibles a ser afectadas por amenazas. A mayor exposición, mayor potencial de daño.

Capacidad de respuesta

Conjunto de recursos, conocimientos y estrategias disponibles en una comunidad o institución para enfrentar y recuperarse de un evento adverso. Incluye sistemas de alerta temprana, planes de emergencia y redes de apoyo.

Resiliencia

Capacidad de una comunidad, sistema o territorio para resistir, adaptarse y recuperarse frente a eventos extremos, minimizando sus impactos y aprendiendo de la experiencia.

Ordenamiento territorial

Proceso político-técnico-administrativo orientado a la organización del uso del espacio geográfico, considerando criterios ambientales, sociales, económicos y de riesgo. Busca reducir la vulnerabilidad y promover un desarrollo sostenible.

Estadística y Análisis de Riesgo

Frecuencia de excedencia

Probabilidad de que un evento (como una lluvia o caudal) supere un valor determinado en un año dado. Es el complemento del periodo de retorno y se expresa como un porcentaje.

Curva IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia)

Relación empírica que vincula la intensidad de la lluvia con su duración y su frecuencia de ocurrencia. Es fundamental para el diseño de obras hidráulicas y drenajes urbanos.

Análisis de frecuencia

Método estadístico que permite estimar la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos a partir de registros históricos. Se utiliza para definir períodos de retorno y evaluar riesgos.

Semblanza de autores

Paulo Vásquez - Garay Torres

<https://orcid.org/0000-0001-7220-8642>

Ingeniero Agrónomo. Magister Scientiae en Desarrollo Rural Sostenible. Magister Scientiae en Sistema de riego y Manejo integrado de cuencas. Doctor en Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible. Especialista en Agua. Especialista en Huella Hídrica. Especialista en Gestión de Riesgos de Desastres y Ambientales. Especialista en Gestión sostenible de recursos hídricos a nivel de Unidad Hidrográfica. Especialista en Gestión de conflictos sociales hídricos a nivel de Cuenca. Especialista en sistemas de riego tecnificado. Docente postgrado UNCP. Docente de las asignaturas de Riegos, drenajes, principios de irrigación, hidráulica, topografía agrícola de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, filial Oxapampa.

Heidi Vásquez - Garay Torres

Ingeniera en Industrias Alimentarias-UNCP. Ingeniera Civil-UPLA. Magister en Planificación y Proyectos de Inversión de la facultad de Economía de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Especialista en formulación y evaluación de perfiles técnicos bajo el marco del INVIERTE.PE y expedientes técnicos de diversas especialidades como edificaciones, irrigaciones, sistema de riego tecnificado, saneamiento, etc. Amplio conocimiento en la gestión de programas sociales y formulación de planes de desarrollo. 21 años de experiencia profesional en entidades públicas y privadas.

Manuel Iván Maita Pérez

<https://orcid.org/0000-0003-4829-707X>

Ingeniero Civil-UPLA. Magister en Educación con mención en Docencia en Educación Superior. 22 años de experiencia en instituciones públicas y privadas en la Elaboración, Evaluación y Construcción de proyectos Estructurales de Ingeniería, proyectos de sistema de riego tecnificado, expedientes técnicos, peritajes y otros, haciendo uso de las metodologías, buenas prácticas y patrones de diseño. Delegado para la evaluación de proyectos estructurales de Edificación y habilitaciones urbanas en la comisión técnica calificadora para licencias de obra de distintas municipalidades distritales y provinciales de la región Junín. Docente Universitario de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Peruana Los Andes, impartiendo cursos en las disciplinas de Concreto Armado y Cimentaciones.

Victor Paredes Atoche

<https://orcid.org/0000-0001-8001-1655>

Ingeniero Agrícola, Ingeniero Civil, maestro en Antropología Jurídica, doctor en Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible; estudios de maestría en Ingeniería Agrícola y Recursos Hídricos. Con más de 30 años experiencia profesional en educación superior; investigación; elaboración, supervisión y evaluación de proyectos relacionados al sector agrario y desempeño de cargos técnicos.

Maurino Silvestre Cahuana Hidalgo

Ingeniero Agrícola, Egresado de la Universidad Nacional Agraria “La Molina”. Es Docente en la Facultad de Agronomía de la UNCP, y Consultor en el área de Riego y Afines.

