

Análisis de los peligros hidrometeorológico y caída de roca en la ciudad de Pucalá y centros poblados de Huaca Rajada y Sipán

Analysis of hydrometeorological and rockfall hazard in the city of Pucalá and CP Huaca Rajada and Sipán

Teófilo Allende Ccahuana¹

Recibido: 20/12/2023 - Aprobado: 01/03/2024 - Publicado: 12/06/2024

RESUMEN

El objetivo de la investigación es desarrollar un análisis de los peligros hidrometeorológicos y por caída de rocas que impactan la ciudad de Pucalá y los centros poblados de Huaca Rajada y Sipán, utilizando técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC). Se identifican las variables de susceptibilidad del territorio y los parámetros de evaluación de los peligros, que incluyen inundación fluvial, anegamiento, flujo de detritos y caída de rocas. Además, se asignan ponderaciones mediante una matriz, considerando el nivel de importancia relativa de cada variable y sus descriptores con respecto a la probabilidad de aumentar los niveles de peligrosidad. Las variables y descriptores se obtienen de fuentes de entidades públicas y privadas, así como de observaciones de campo, donde se validaron variables como litología, morfología y pendiente, que son factores condicionantes de los peligros. Además, se utilizan datos de la estación Sipán para obtener las precipitaciones máximas como factor desencadenante. La peligrosidad se relaciona con escenarios críticos, como el peligro de inundación pluvial (anegamiento), que presenta umbrales de precipitaciones máximas y afecta a la ciudad de Pucalá. Otro escenario crítico es el peligro de inundación fluvial, donde existen sectores expuestos al desborde del río Chancay y en los canales de riego. Por otro lado, los escenarios críticos por peligros de caída de rocas y flujo de detritos se presentan en sectores con condiciones inestables en las laderas de colinas y montañas del cerro Caballo Blanco, afectando la vía local que conecta con otros centros poblados, y en áreas de deposición de materiales aluviales donde se encuentra el centro poblado de Sipán.

Palabras claves: Peligro por inundación pluvial, peligro por inundación fluvial, peligro por flujo de detritos, peligro por caída de rocas.

ABSTRACT

The objective of the research is to develop an analysis of the hydrometeorological and rockfall hazards that impact the city of Pucalá and the populated centers of Huaca Rajada and Sipán, based on multi-criteria evaluation (MCE) techniques, where the variables of the susceptibility of the territory and the evaluation parameters for fluvial flooding, flooding, debris flow and rockfall hazards are identified. In addition, a matrix is used to assign weightings according to the relative importance of each variable and its descriptors with respect to the probability of increasing hazard levels. The variables and descriptors correspond to information obtained from sources of public and private entities and from field observations where the lithology, morphology and slope variables were validated as conditioning factors of the hazards, and with data from the Sipán station, maximum precipitation is obtained as a triggering factor. The hazard is related to a critical scenario for pluvial flooding (flooding) that presents maximum precipitation thresholds and affects the city of Pucalá, and another for fluvial flooding where there are sectors with exposure due to the overflowing of the Chancay River and irrigation canals. Meanwhile, the critical scenarios for rockfall and debris flow hazards occur in sectors where there are unstable conditions on the slopes of hills and mountains of Caballo Blanco hill and affect the local road that connects with other towns, and in sectors of alluvial-torrential material deposition where the town of Sipán is located.

Keywords: Pluvial flooding hazard, river flooding hazard, rock fall, flow hazard.

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Departamento Académico de Ingeniería Geológica. Lima Perú
E-mail: tallendec@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4273-3769>

I. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Pucalá se encuentra en el distrito del mismo nombre, mientras que los centros poblados (CP) de Huaca Rajada y Sipán pertenecen al distrito de Saña, en la provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque. Estos centros poblados tienen una altitud de 108, 104 y 101 metros sobre el nivel del mar, respectivamente, y están ubicados en la región natural de Chala.

Las características principales de la inundación en estas áreas fueron la pendiente moderada, la carencia de un sistema de drenaje eficiente que facilite la evacuación de las aguas durante lluvias intensas y la falta de obras preventivas. Los regímenes de temperatura y precipitación en la zona muestran que la temperatura máxima promedio del aire tiene ligeras fluctuaciones a lo largo del año, oscilando entre 27.4 y 34.2°C. La temperatura mínima del aire presenta un comportamiento similar, con valores promedio fluctuantes entre 14.0 y 24.5°C. Respecto a las lluvias, estas son intensas entre los meses de febrero y marzo, acumulando aproximadamente 53.7mm durante el primer trimestre del año. Los meses más secos son durante el invierno, de junio a agosto, con un promedio anual de 84.5mm de precipitación.

Hasta el fenómeno extraordinario de El Niño de 1997/98, se habían registrado alrededor de 25 episodios de El Niño de distintas magnitudes durante el siglo XX. Las referencias bibliográficas señalan que los eventos de El Niño en 1891 y 1925 fueron comparables en intensidad a los de 1982/83 y 1997/98. En el siglo XXI, según el índice ONI (Oceanic Niño Index) de la NOAA, han ocurrido cuatro episodios de El Niño en el Pacífico central: dos de baja intensidad (años 2004/05 y 2006/07) y dos de moderada intensidad (años 2002/03 y 2009/10). (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2014).

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) señala la presencia frente a la costa norte y centro del Perú de un inusual "ciclón de características tropicales no organizado". Este sistema de baja presión, asociado al calentamiento de la temperatura superficial del mar y a la segunda banda de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), ha provocado lluvias extremas en Tumbes, Piura y Lambayeque, y se espera que en los próximos días contribuya a intensificar las lluvias en La Libertad, Lima y Áncash. Este fenómeno, conocido como ciclón Yaku, es extremadamente raro en la costa peruana y ha causado significativas pérdidas humanas y materiales en el país (Alvitres & Sierra, 2023).

El Perú muestra una gran vulnerabilidad ante las variaciones climáticas drásticas, como los episodios extremos de lluvia y las altas temperaturas asociadas a El Niño. Las pérdidas económicas derivadas de eventos como El Niño 1982/83 (que ascendieron a US\$3,283 millones) y El Niño 1997/98 (con daños estimados en US\$3,500 millones) representaron el 11.6% y el 6.2% del Producto Bruto Interno (PBI) anual de esos años, respectivamente (Wilson, 1984). Entre 2003 y 2023, el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) registró las emergencias en el distrito de Pucalá, documentando los peligros naturales que han causado problemas en la zona urbana y rural, afectando viviendas, población, infraestructura, entre otros.

En los años 2008, 2010, 2017 y 2018, el distrito de Pucalá experimentó hasta 6 episodios de problemas derivados de las precipitaciones pluviales, que resultaron en viviendas colapsadas y familias damnificadas. En el año 2017, el número de personas damnificadas alcanzó las 304. En 2008, el distrito fue afectado por una inundación fluvial, dejando habitantes damnificados según el SINPAD-2023. En 2019, un evento de lluvias intensas motivó medidas de emergencia. En febrero de 2023, las intensas lluvias causaron daños a viviendas en los sectores de Francisco Bolognesi, Los Álamos, La Ladrillera, San Juan y Tupac Amaru, El Progreso, La Invasión (Centro de Operaciones de Emergencia Nacional, 2023). Finalmente, mediante el Decreto Supremo n.º 035-2023-PCM, se declaró el estado de emergencia en varios distritos, incluido Pucalá, en la provincia de Chiclayo, debido a las intensas precipitaciones pluviales.

El estudio identificará las limitaciones y ventajas del territorio para un desarrollo sostenible. Además, contribuirá a la implementación e integración en la gestión municipal, comenzando por el uso óptimo del suelo urbano. También restringirá el uso del suelo en áreas identificadas con un alto y muy alto nivel de peligro frente a inundaciones pluviales.

II. MÉTODOS

2.1 Tipo y diseño metodológico

Se trata de una investigación básica, orientada a ampliar el conocimiento sobre los peligros de origen natural en la ciudad de Pucalá y los Centros Poblados (CP) de Huaca Rajada y Sipán. El alcance de la investigación es descriptivo, ya que se centrará en la jerarquización de los peligros. Además, tiene un alcance explicativo, ya que busca determinar las causas y establecer relaciones entre las variables propuestas. La investigación sigue un diseño no experimental, dado que no implica la manipulación de variables, sino la observación de fenómenos ocurridos.

2.2 Método de la investigación

En el área de estudio, es crucial identificar los sectores susceptibles de enfrentar problemas debido a la ocurrencia de inundaciones, anegamientos, flujo de detritos y caída de rocas. Estos procesos naturales son considerados para analizar la peligrosidad debido a las consecuencias territoriales que generan, tanto para los habitantes de la ciudad de Pucalá y los centros poblados de Huaca Rajada y Sipán, como para las viviendas y las redes de agua y alcantarillado, así como para la interrupción de la comunicación, entre otros aspectos.

El análisis de la peligrosidad, se inicia con la evaluación de la susceptibilidad del territorio y los parámetros relacionados con los procesos naturales. En el primer caso, se analizan factores condicionantes como la litología, morfología, pendiente e hidrología, así como los factores desencadenantes como las precipitaciones máximas. En el segundo caso, se examinan los parámetros de evaluación del proceso, como el caudal máximo.

Las unidades morfológicas y litológicas fueron delimitadas en base a la información del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y de la observación

de imágenes de satélite de Google Earth. Respecto a la pendiente, se tuvo en cuenta el Modelo Digital de Elevación del Terreno descargado del sitio web a escala 1/100000, interpretándolo según la clasificación del Reglamento de Clasificación de Tierras por su capacidad de uso mayor (DS 017-2009-AG). Por otro lado, la información sobre las precipitaciones máximas proviene de datos obtenidos de la Estación Sipán del SENAMHI.

En la aplicación de la Evaluación Multicriterio (EMC), se identifican las variables que influyen en la ocurrencia de los eventos peligrosos vinculados a las inundaciones, anegamientos, flujos de detritos y caída de rocas. Además, se analizan los sectores susceptibles de ser afectados por estos eventos. Se construye una matriz donde se establecen ponderaciones según el nivel de importancia que cada parámetro y sus descriptores presentan en la probabilidad de aumentar los niveles de peligrosidad. Para ello, se utiliza la escala de importancia de Saaty, donde los valores menores a 1 representan el menor nivel de importancia y aquellos mayores a 1 representan el más influyente en la generación y/o amplificación de escenarios de peligrosidad. La asignación de ponderaciones se basa en el conocimiento adquirido a través de la recopilación y análisis de bibliografía específica, así como la observación y trabajo de campo.

En la matriz se asignan las ponderaciones correspondientes según el método de comparación por pares. Este procedimiento forma parte de una de las etapas del método EMC propuesto por Saaty (1980) denominado

Proceso de Jerarquías Analíticas (AHP). En este proceso de ponderación, la comparación y normalización por pares ordenan los criterios de acuerdo con una jerarquía, lo que permite obtener los valores de los niveles de peligrosidad. Finalmente, se construye la estratificación del nivel de peligrosidad donde el rango de los niveles de peligro son los valores de ponderación de los niveles de peligro, y se incluye una descripción que resume los descriptores de los parámetros de evaluación del peligro y los factores condicionantes y desencadenantes del territorio.

2.2.1. Análisis de Susceptibilidad del territorio

2.2.1.1 Análisis de los factores condicionantes

Los factores físicos, entre la que se destaca la litología, morfología y pendiente, son las principales condiciones para la ocurrencia del peligro de inundación pluvial en Pucalá.

A. Identificación de las unidades litológicas y estructuras tectónicas

El entorno del centro poblado Pucalá, está asentado en materiales inconsolidados, formados por el acarreo y la acumulación del río durante el Cuaternario reciente (depósitos fluviales) y el Cuaternario antiguo (depósito aluvial antiguo). En los centros poblados Huaca Rajada y Sipán, se distribuyen depósitos cuaternarios (aluvial, deluvial y aluvio torrencial) y macizos rocosos de naturaleza sedimentaria e ígnea, cuya descripción se presente en la Tabla 1 y se representa en la Figura 1.

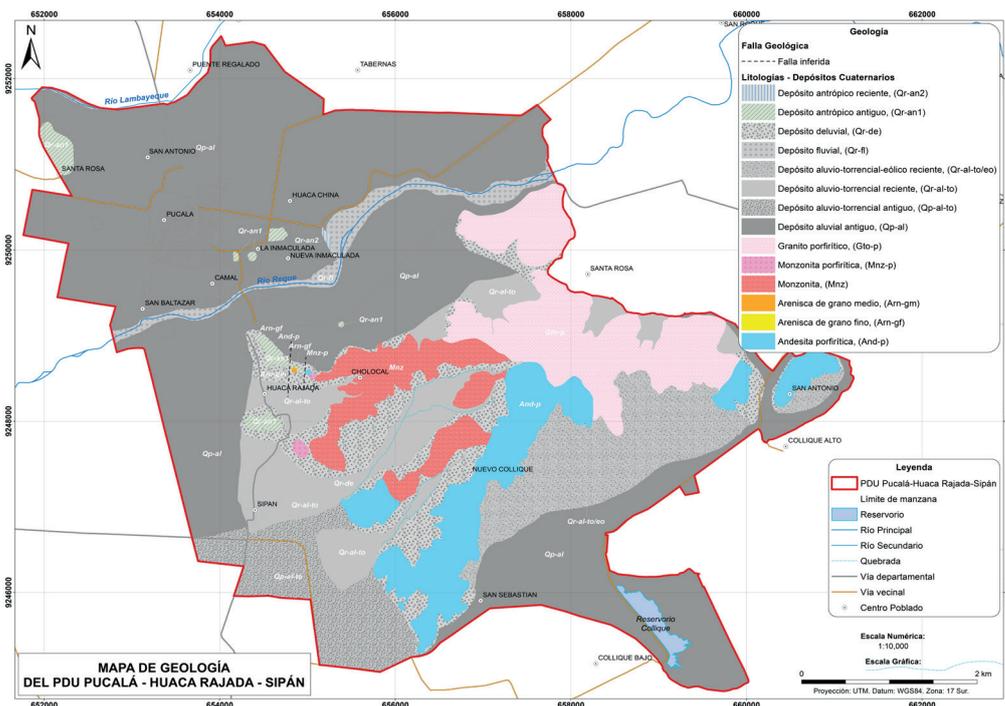
Tabla 1

Aspectos litológicos en Pucalá y los centros poblados de Huaca Rajada y Sipán

Litología	Código	Descripción
Depósito antrópico	Qr-an2 y Qr-an1	Ocupa una extensión de 0.930% del área de intervención, se presenta en el sector Algarroba al sureste del centro poblado de Pucalá y en el sector de Huaca Rajada, está constituido por los restos arqueológicos y restos artesanales. En Huaca Rajada estos restos son explotados en la actividad turística, mientras en Pucalá están abandonados (Qr-an1). El depósito antrópico reciente (Qr-an2) ocupa el 0.053% del área de intervención, comprende el botadero de basura, como el ubicado en la margen derecha del río Reque, conforma un suelo bastante inestable, así como los botaderos de basura localizados en el sector de Sipán
Depósito fluvial	Qr - fl	Se distribuyen en el cauce del río Reque y en el bosque ribereño ocupa una extensión del 2.286%; donde el río ha arrastrado y acumulado grava, arena y limo, estos materiales son variables en su posición, formas y tamaños.
Depósito deluvial	Qr - de	Se distribuyen en la parte baja de las colinas en Huaca Rajada, ocupa una extensión del 6.821% del área de intervención, formado por lento arrastre de materiales debido a la acción de las precipitaciones pluviales. Consisten en limo con clastos angulosos de naturaleza sedimentaria e ígnea, en algunos casos se observan residuos sólidos.
Depósito aluvio torrencial eólico reciente	Qr-al-to/eo	Se distribuyen al sureste del área de influencia en una extensión del 10.729% del área de intervención. Es una acumulación de arena mezclada con limo y grava algo consolidada, con una débil cobertura vegetal.
Depósito aluvio torrencial reciente	Qr - al - to	Se distribuye en los centros poblados de Huaca Rajada y Sipán, en una extensión de 8.706% del área de intervención, ocupan la zona depresionada en la parte baja de las elevaciones, con mayor desarrollo en las torrenteras localizadas al sur del centro poblado de Sipán, formado por la caída de los flujos de materiales como consecuencia de las precipitaciones pluviales extremas.
Depósito aluvial antiguo	Qp-al	Ocupan el 43.965% del área de intervención, donde se localiza Pucalá y áreas agrícolas, son depósitos inconsolidados formados por la acumulación del agua de río y los materiales acarreados por las aguas de regadío. Están constituidos por arcilla y arena arcillosa hasta una profundidad de 1.50 m., en los registros de pozos tubulares el depósito alcanza una profundidad mayor a 20 m., donde se desarrollan niveles de gravas, arenas intercaladas con limo arenosa. De acuerdo con sus propiedades, presentan baja capacidad de filtración, siendo esto una condición física muy importante en el peligro de inundación pluvial.
Depósito aluvio torrencial antiguo	Qp - al - to	Se distribuye al sur del área de influencia en una extensión del 5.765% del área de intervención, donde se localizan las áreas agrícolas, están constituidas de suelo de arcilla, grava, limo y arena, con mejor estabilidad.
Roca ígnea	Gto-p, Mnz-p y And-p	Los afloramientos de rocas ígneas plutónicas como el granito (Gto-p) y la monzonita porfírica (Mnz) ocupan el 8-916% y 4.389% respectivamente, dominan la parte sureste del área de influencia, conformando parte de las prolongaciones del Batolito de la Costa, configurando elevaciones que rodean el centro poblado de Huaca Rajada, constituido de minerales de cuarzo, ortosa y de menor contenido de plagioclasa. La monzonita porfírica está constituida por una roca de textura porfírica donde se observan cristales de cuarzo, ortosa y feldespatos. Otro, la andesita porfírica (And-p), se destaca por la extensión (7.337%), se presentan como afloramientos bastantes irregulares de tonalidades oscuras, por su posición y relaciones de campo puede corresponder a secuencias volcánicas ocurridas antes del emplazamiento del Batolito de la Costa, es una roca de textura afanítica con cristales pequeños de feldespato, cuarzo y algunas horblendas y poco alterado.
Roca sedimentaria	Arn -gm, Arn-gf	En el centro poblado de Huaca Rajada se presentan afloramientos de roca sedimentaria conformando una secuencia intercalada de arenisca de grano medio (Arn-gm) representa el 0.008% del área de intervención y una arenisca de granulometría fina (Arn-gf) con una extensión del 0.002%, estas rocas configuran las elevaciones que rodean dicho centro poblado, se destaca por la coloración clara, se presenta como una secuencia estratificada de areniscas de grano fino y medio, los afloramientos de rocas sedimentarias se encuentran deformados tomando una posición inclinadas de los estratos

Nota: Las litologías identificadas comprenden depósitos inconsolidados y macizos rocosos, destacando por el dominio los primeros, con edades desde el cretáceo hasta cuaternario reciente. (Wilson, 1984).

Figura 1
Mapa litológico de Pucalá y los centros poblados de Huaca jada y Sipán



Nota: En el mapa destacan que los depósitos inconsolidados: depósito antrópico antiguo (Qr-an1), depósito antrópico reciente (Qr-an2), depósito fluvial (Qr-fl), depósito reciente deluvial (Qr - de), depósito aluvio torrencial y eólico reciente (Qr-al-to/eo), depósito aluvial pleistocénico (Qp-al), depósito aluvio torrencial (Qp-al-to), granito (Gto-p), monzonita (Mz-p), andesita porfirítica (And-p). (Wilson, 1984).

B. Identificación de las unidades morfológicas

En el área de estudio se presentan relieves generados por diferentes procesos formadores. En Pucalá se destacan los relieves como cauce de río, playa fluvial, barra fluvial, terraza fluvial, terraza aluvial y terraza aluvial 2 (llanura de inundación) formado por el río. Un relieve colinoso muy bajo formado por la actividad antrópica. En Huaca Rajada, se observan relieves de origen fluvial como: terraza aluvial 2, abanico aluvio torrencial y piedemonte aluvio torrencial, relieve de origen denudacional como: colina baja, puntón de roca sedimentaria y relieve de origen antrópico: como colina baja donde se encuentran los restos arqueológicos de Huaca Rajada. El CP Sipán se ubica en la parte terminal del abanico aluviotorrencial. La descripción y la representación de cada unidad se presentan en la Tabla 2 y la Figura 2.

C. Pendiente

Constituye un factor que define las condiciones físicas de los procesos y los tipos de formas que se encuentran en el terreno. De acuerdo con los rasgos observados en el relieve, se definieron las siguientes cuatro categorías: plano a moderadamente inclinado (0-8), fuertemente inclinado (8-15), moderadamente empinado (15-25) e empinado (25-45), se presentan en la Figura 3 y Tabla 3 .

2.2.1.2 Factores desencadenantes

Las precipitaciones máximas activan diversos peligros climáticos (inundaciones pluviales), hidrometeorológicos

(flujos de detritos e inundaciones fluviales) y de geodinámica externa (caída de roca). La precipitación mensual anómala de 50.8 mm corresponde al máximo registrado en la Estación Meteorológica en 2017. Las máximas precipitaciones en 2018 y 2019 fueron de 5.4 mm (en abril) y 12.9 mm (en febrero), respectivamente. En 2017, 2018 y 2019, se observa un comportamiento destacado de los valores altos sobre todo en enero, febrero y marzo. Este comportamiento alcanzó valores de 44.7 y 50.8 mm en el año 2017, que estuvo asociado al Fenómeno El Niño de intensidad moderada, como se puede apreciar en las figuras 4 y 5.

2.2.2 Análisis de los parámetros de evaluación

2.2.2.1 Parámetros de evaluación del peligro por inundación pluvial

Para este caso se considera el promedio anual de eventos de lluvias intensas por o al menos un evento El Niño, registrado en el Sistema de Información para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD, 2023). En el siguiente gráfico se observan datos de precipitación máxima, mínima, promedio y acumulada mensual durante los años 2017-2019.

A. Precipitaciones anómalas y extremas (fenómeno El Niño)

La presencia de aguas cálidas en la costa peruana es un fenómeno recurrente que dura varios meses. El calentamiento marino-costero se acentúa cada cierto número de años,

siendo una manifestación de los cambios que ocurren en las capas superficiales y subsuperficiales del océano. Esto está vinculado a interacciones complejas con la atmósfera que se producen en el Océano Pacífico ecuatorial, a miles de kilómetros de la costa peruana en el Océano Pacífico. Atribuyeron este calentamiento a la llegada de una corriente marina de aguas cálidas a la que llamaron la corriente de "El Niño". A continuación, se muestra un gráfico de precipitación acumulada mensual respecto a los años 2017-2019, determinando los eventos anómalos que superen el valor de 92.16 mm. como se observa en la Figura 6.

2.2.2.2. Parámetros de evaluación del peligro por inundación fluvial

Representan indicadores caracterizados y describen el peligro natural, por ejemplo, en caso de inundación fluvial se ha tomado como referencia el tiempo de retorno en 20 años, 50 años y 100 años, que significa un caudal del río puede alcanzar la magnitud en los años. Pucalá y el centro poblado Huaca Rajada se localizan en la margen derecha del río Reque e izquierda del río Lambayeque. En el área de intervención existen recursos hídricos naturales y obras principales de distribución.

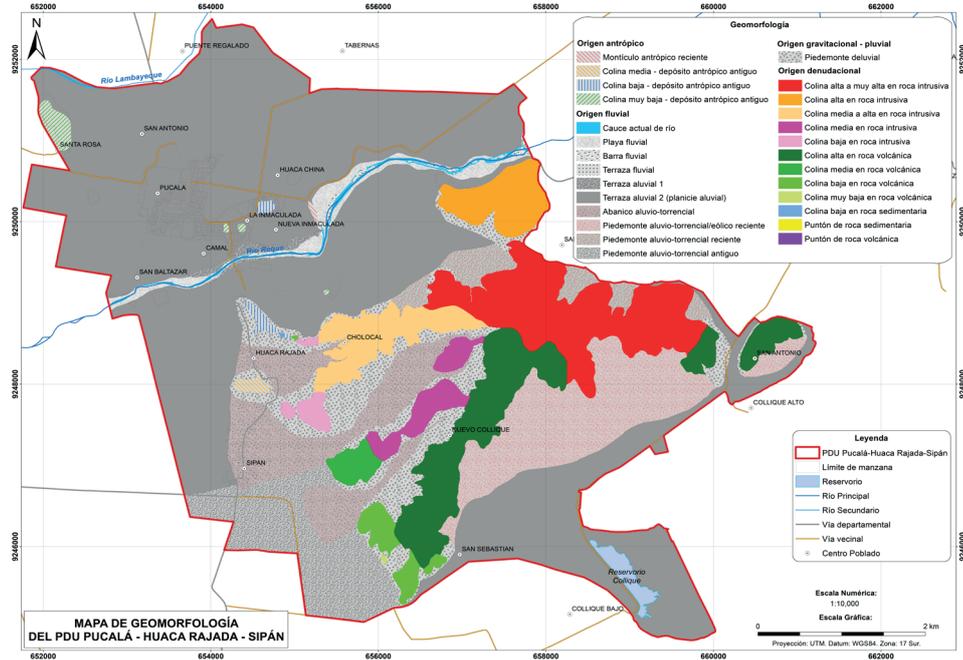
Tabla 2

Aspectos morfológicos en Pucalá y los centros poblados de Huaca Rajada y Sipán

Tipo de relieve	Descripción
Cauce de río	Es una morfología que se localiza en el curso del río Reque con una extensión del 0,6039% del área de intervención, se mantiene sinuosa, de ancho variable de 10 metros hasta los 20 metros aproximadamente, y es una condición física de las inundaciones fluviales.
Playa y barra fluvial	En relieve, se localizan en el cauce del río Reque ocupando una extensión del 1,65% del área de intervención. Estos relieves no son fijos, se forman cuando baja el nivel del río, se disponen en la margen ocupando áreas reducidas y está constituida por arena, representa una condición física importante de los peligros de inundación fluvial.
Terraza fluvial	Es de relieve poco extendido (0.0198%), con una altura de un metro, está constituida por arcilla y cubierta por vegetación natural, una condición física del peligro fluvial.
Terraza aluvial 1	Es un relieve que se destaca por la superficie plana con una extensión del 0.4233%, limitada por taludes con altura de hasta 5 metros, se observa el bosque ribereño y en los cortes del talud, la constitución de materiales finos con arena como resultado de los últimos eventos de deposición del río.
Terraza aluvial 2 (planicie aluvial)	Corresponde a la antigua planicie aluvial, ocupa una extensión de 43.5450%, donde se asientan las principales ciudades y se realiza la actividad agrícola. Se destaca por la extensión del relieve y está constituida de un nivel de arcilla limosa, que se extiende hasta 2 y 3 metros de profundidad, el cual sobreyacen a niveles de grava limosa y arenosa, que se desarrolla hasta una profundidad 6 a 7 metros aproximadamente, al parecer los materiales finos son gruesos y tienden a mantenerse, siendo una condición física importante para el peligro de inundación pluvial.
Piedemonte aluvio torrencial/ eólico reciente	Se presentan generalmente al sureste del área de influencia, conformando una planicie inclinada, con una extensión del 10.7283%, conformando una superficie de sedimentación por la acumulación de los depósitos aluvio torrenciales y cubiertos por arenas, por la humedad del ambiente se encuentra cubierto por una cobertura vegetal rala.
Piedemonte aluvio torrencial antiguo	Está conformada por una superficie moderadamente inclinada, que bordea la parte baja de la colina, con una extensión de 5.7647% del área de intención. Está constituida por los materiales acarreados y depositados por las aguas de lluvia, el plano presenta una extensión reducida. En algunas partes, se observan viviendas en condiciones precarias, como en el centro poblado de Huaca Rajada.
Abanico aluvio torrencial	Tiene una extensión del 6.8394% del área de intervención, donde han ocurrido los flujos lentos de lodo, esto puede ser factor condicionante de fenómenos como los flujos de detritos. Durante las últimas precipitaciones pluviales las aguas han discurrido por estos abanicos ubicados en la parte baja del cerro Caballo Blanco.
Colina alta a muy alta, alta, media a alta, media y baja en roca intrusiva	Se distribuyen al sureste del área de influencia, en una extensión de 13.3982%, según relieves que destacan por la altitud de 200 a 270 msnm, se han desarrollado en afloramientos de roca ígnea plutónica como el granito, en la que conforman colina alta a muy alta y alta. Este cambio de relieve es el resultado de la deformación tectónica y acentuado de un modelado debido al intemperismo. Mientras la Colina media a alta, media y baja, se ha perfilado en afloramientos de roca ígnea plutónica como la monzonita, se destacan por el cambio de altitud que van de 90 a 150 msnm, relieves que se destacan por la forma alargada
Colina alta, media, baja y muy baja en roca volcánica	Ocupa una extensión del 7.336% del área de intervención, formados en afloramientos de roca ígnea volcánica como la andesita, el comportamiento diferenciado del proceso de intemperismo y la acción del viento y agua. Se estima que el relieve presenta altitudes que varían de 100 a 145 msnm, y de forma alargada.
Colina baja en roca sedimentaria	Son relieves que se localizan en el centro poblado de Huaca Rajada de poca extensión (0.0005%) y altura, se han conformado en afloramientos de roca sedimentaria.
Puntón en roca sedimentaria y en roca volcánica	Son pequeños relieves con una extensión del 0.0008%, que sobresalen en las colinas bajas, se han formado por el comportamiento diferenciado de los macizos rocosos ante los procesos de meteorización.
Colina media, baja y muy baja de depósito antrópico antiguo	Se distribuyen en los centros poblados de Pucalá y Huaca Rajada, en este último alcanza mayor extensión donde toma mayor altitud. Se han formado y mantenido por la ocupación de poblaciones antiguas donde desarrollaron viviendas, en algunos casos han sido rescatados como en Huaca Rajada y en otros, ha sido depredados por la población, como en el centro poblado Pucalá como en el sector arqueológico denominado Algarroba.
Montículo antrópico reciente	En una extensión del 0.406% del área de intervención, formado por la acumulación de residuos sólidos, el relieve se modifica permanentemente con la nivelación del terreno, extendiendo la superficie hacia el margen del río Reque.
Planicie depósito antrópico reciente	Son relieves de poca extensión (0.0121%), formados por la acumulación de residuos sólidos y desmontes.

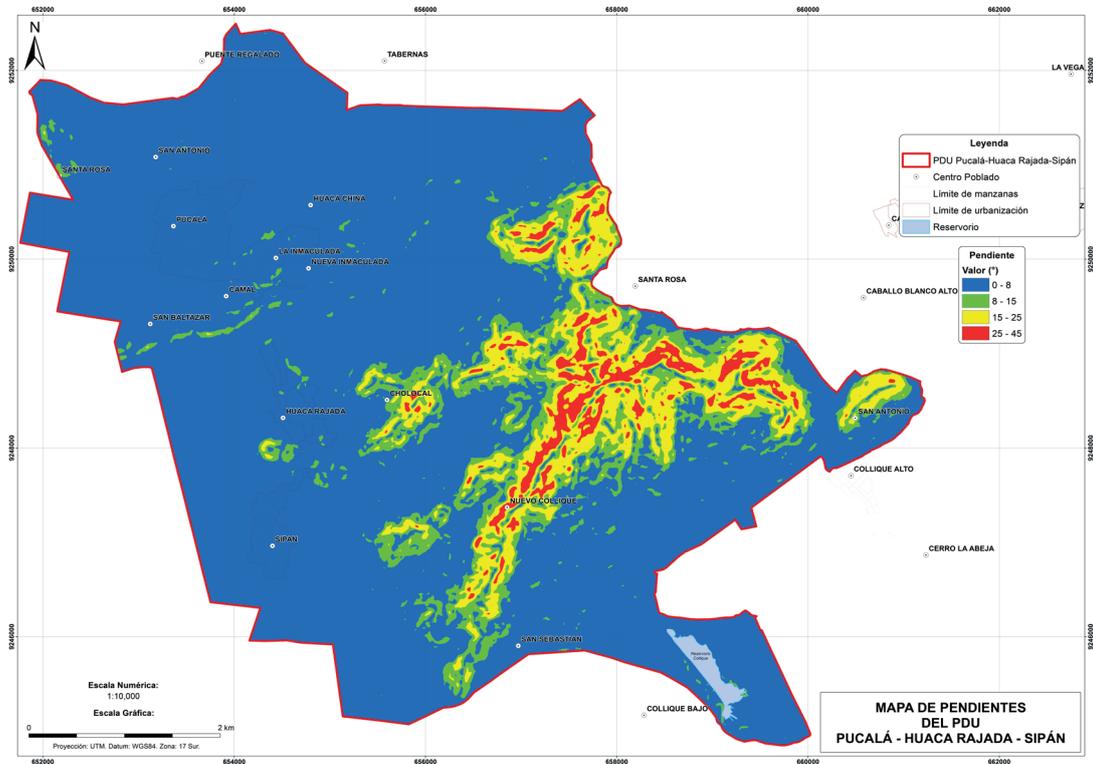
Nota: Las litologías identificadas comprenden depósitos inconsolidados y macizos rocosos, destacando por el dominio los primeros, con edades desde el cretáceo hasta cuaternario reciente. (GEOCATMIN, 2020).

Figura 2
 Mapa de geomorfología de Pucalá y de los centros poblados de Huaca Rajada y Sipán



Nota: En el mapa destacan que los depósitos inconsolidados: depósito antrópico antiguo (Qr-an1), depósito antrópico reciente (Qr-an2), depósito fluvial (Qr-fl), depósito reciente deluvial (Qr - de), depósito aluvio torrencial y eólico reciente (Qr-al-to/eo), depósito aluvial pleistocénico (Qp-al), depósito aluvio torrencial (Qp-al-to), granito (Gto-p), monzonita (Mz-p), andesita porfirítica (And-p). (Wilson, 1984).

Figura 3
 Mapa de pendiente en Pucalá y los centros poblados de Huaca Rajada y Sipán



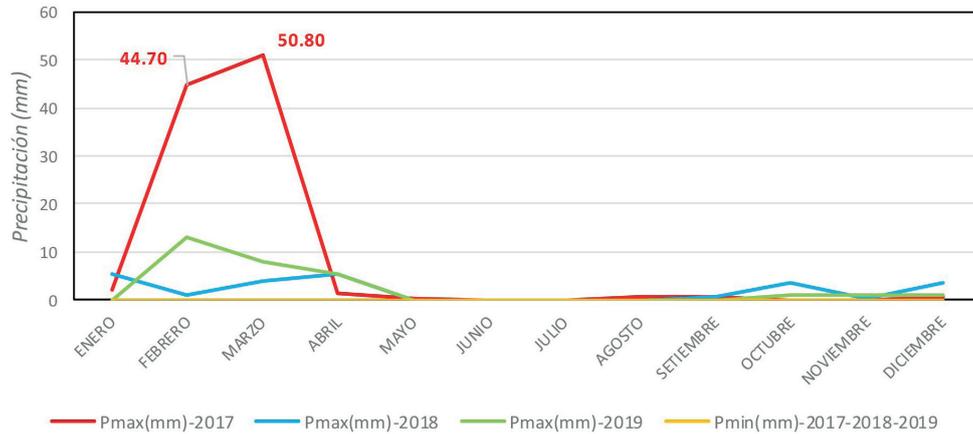
Nota: Pendiente fuertemente inclinado a empinado destaca en el cerro Caballo Blanco

Tabla 3
Pendiente del territorio de Pucalá y los centros poblados de Huaca Rajada y Sipán

Rango	Descripción
0 – 8	En la zona de estudio, describe pendiente de la terraza aluvial antiguo, piedemonte, y colinas relieves que se destacan de plana a moderadamente inclinada (0-8). En la parte noroeste del área, dominan un relieve maduro con pendiente plano (terrazza aluvial antigua), la cual favorece relieves que son inundadas en períodos de precipitaciones extremas, el relieve varía hacia el sureste a moderadamente inclinado (piedemonte aluvio torrenciales), formados por eventuales flujos antiguos y en algunos casos recientes (en el extremo sureste del área).
8 – 15	Relieves con pendiente fuertemente inclinado (8-15) se presentan al sureste del área, representan los límites de las colinas respecto a los piedemontes y la terraza aluvial, donde el agua adquiere cierta capacidad de erosión con sedimentación y aportando sedimentos a los depósitos aluvio torrenciales.
15 – 25	En la parte sureste del área se presenta relieve con pendiente moderadamente empinado (15-25) conformado por colinas medias constituidas por macizos rocosos y donde el agua adquiere capacidad erosiva disminuyendo hasta ser nula la capacidad de sedimentación.
25 – 45	Al sureste del área se presentan relieves con pendiente empinado (25-45) de poca extensión, conformando las colinas altas, constituidos por macizos rocosos de origen ígneo y sedimentario, pero donde las aguas superficiales tienen la mayor capacidad erosiva con dificultades ante la superficie rocosa, así como a la estabilidad de suelo.

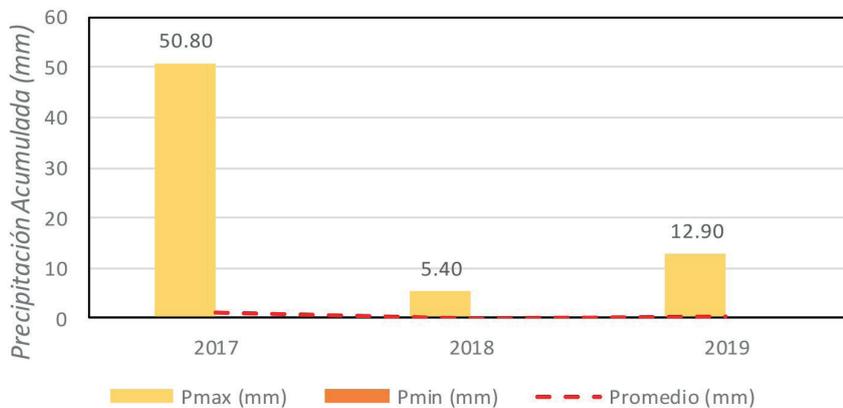
Nota: El relieve con pendiente de 0 -8 se presenta en Pucalá, mientras los relieves con pendiente desde 15 hasta los 45 grado, que conforma el cerro Caballo Blanco, se presenta en los centros poblados de huaca Rajada y Sipán. Adaptado del Reglamento de Clasificación de Tierras por su capacidad de uso mayor (DS 017-2009-AG).

Figura 4
Precipitación máxima y mínima por mes de cada año (2017-219)



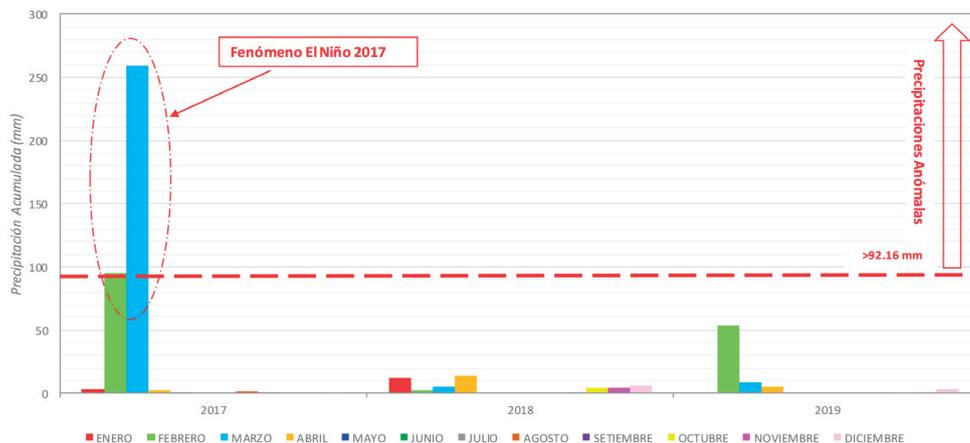
Nota: En los últimos 3 años, las mayores precipitaciones se encuentran entre enero y marzo, pero en 2017 hubo precipitaciones de 3 a 4 veces más de lo normal, asociado al fenómeno El Niño de intensidad moderada. También es común durante todos los meses presentar días sin precipitaciones. (SENAMHI, 2023).

Figura 5
Precipitación anual máxima, mínima y promedio



Nota: En 2017, presenta un máximo valor de 50.8 mm, en marzo. Las máximas precipitaciones en el 2018 y 2019 es 5.4mm (abril) y 12.9mm (febrero). (SENAMHI, 2023).

Figura 6
Precipitaciones anómalas 2017- 2019



Nota: se observan dos regiones divididas por el valor de 92.16 mm, cuando están por debajo de estos valores de precipitación tienen un comportamiento regular, por encima de ese valor son precipitaciones anómalas, como es el caso de los meses de febrero y marzo del 2017, relacionado al evento del fenómeno El Niño de intensidad moderada. (SENAMHI, 2023).

A. Caudales máximos

En el informe de mantenimiento rutinario de la Carretera Panamericana, Tramo II: Km 736+600-Km 886+600, se menciona que los flujos máximos en las cuencas Zaña, Reque y La Leche fueron calculados utilizando métodos estadísticos y el modelo del Hidrograma Triangular. Esto se realizó para las cuencas donde no se disponía de información hidrométrica, y los resultados se detallan en la Tabla 4.

En la página del MINAGRI, se indican que las descargas por eventos extraordinarios producto de las precipitaciones pluviales ocurridas en 1982-83 en el departamento de Lambayeque, tuvo un incremento con respecto al promedio mensual de los 30 años, alcanzando en Chiclayo 30 litros / m² y en Lambayeque 64 litros/m². Los caudales máximos alcanzados por los ríos fueron en la Leche con 400 m³/s y Chancay-Reque con 600m³/s. En 1998, se produjeron las mayores precipitaciones, alcanzaron a 113litros/m² en Chiclayo y 182litros/m² en Ferreñafe. Aumentaron el volumen de agua en los ríos Motupe con 500m³/s y río Chancay-Reque con 1996m³/s. Los valores de caudal para los parámetros de evaluación que se presentan en la tabla 5.

2.2.2.3. Parámetro de evaluación de peligro ante caída de roca

Está representado por las condiciones de inestabilidad de las zonas de laderas, las que están definidas por la pendiente y los fracturamiento de los afloramientos rocosos y los depósitos coluviales, por ejemplo, zonas inestables con rocas fracturadas con intensa erosión y zonas estables con ladera en substrato rocoso no meteorizado. Los descriptores se presentan en la Tabla 6.

2.2.2.4. Parámetro de evaluación de peligro ante flujo de detrito

El análisis del peligro de flujo de detritos es el volumen de material depositado medible en el abanico aluvio torrencial. Tabla 7.

En el centro poblado de Sipán se ha identificado la ocurrencia de flujo de detrito, el volumen de material depositado 936000 m³, donde el movimiento del flujo estimado puede alcanzar el nivel muy alto.

2.3 Análisis multicriterio

En la evaluación del peligro ante inundación pluvial, inundación fluvial, flujo de detritos y caída de roca, se identificaron los indicadores expresados en diferentes unidades, para el tratamiento de datos se aplicaron los procedimientos de evaluación multicriterio y álgebra de mapas. Las variables del medio físico evaluadas son: litología, morfología y pendiente relacionados a factores condicionantes del territorio para la ocurrencia de la inundación pluvial, y la variable del factor desencadenante como las precipitaciones máximas. Asimismo, se construyó una matriz donde se asignaron valores de acuerdo con el nivel de importancia relativa de cada variable y sus descriptores presentan con respecto a la probabilidad de incrementar los niveles de peligrosidad.

La ponderación de las variables y descriptores se obtiene mediante el Proceso de Jerarquización de Saaty, el cual es un método multicriterio criterios cuantitativos (precipitaciones y caudales máximas) y cualitativos (litología, geomorfología). (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, 2018):

A = matriz cuadrada con mismo número de filas y columnas (Matriz de comparación de pares)

A_n = matriz normalizada se obtiene P_n

P_n = vector prioridad que resulta de operar A y A_n , y comprende los valores de ponderación

A_s = Matriz de susceptibilidad del territorio.

$P_n p$ = vector de ponderación de nivel de peligrosidad

AFC = Matriz de factores condicionantes

AFD = Matriz de factor desencadenante

$Ape =$ Matiz de parámetro de evaluación

$NP =$ Nivel de peligrosidad

$As = AFC * Pn + AFD * Pni$

$Pnp = As * Pn + Ape * Pni$

$\sum Pnp = Pn1 + Pn2 + Pn3 + Pn4 + Pn5 = 1$

$NP =$ Muy Alto ($Pn1 < NP \leq Pn2$), Alto ($Pn2 < NP \leq Pn3$), Medio ($Pn3 < NP \leq Pn4$), Bajo ($Pn4 < NP \leq Pn5$)

III. RESULTADOS

3.1. Estratificación del nivel de peligro ante inundación pluvial

Es la jerarquización del nivel de peligro por inundación pluvial en la localidad de Pucalá y los centros poblados de Huaca Rajada y Sipán, donde se identifica el nivel de peligro, la descripción técnica científica de la susceptibilidad y los parámetros de evaluación, y el rango con los valores de la ponderación de la matriz de nivel de peligro, como se presenta en la Tabla 8 y Figura 7.

3.2. Estratificación del nivel del peligro ante inundación fluvial

Para fines de la evaluación de riesgo, las zonas de peligro por inundación fluvial pueden estratificarse en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto, cuya descripción y el rango correspondiente se detallan en la Tabla 9 y se representa en la Figura 8.

3.3. Estratificación del peligro ante flujo de detrito

Las zonas de peligro por flujo de detrito pueden estratificarse en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto, cuya descripción y el rango de niveles de peligro se detallan en la Tabla 10 y en la Figura 9.

3.4. Estratificación del nivel de peligro ante caída de roca

Las zonas de peligro por caída de roca pueden estratificarse en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto, cuya descripción y el rango de niveles de peligro se detallan en la Tabla 11 y Figura 10.

Tabla 4

Descarga de diseño para diferentes períodos de retorno

Estación	Tiempo de retorno					Distribución teórica
	10	25	50	100	200	
Río Zaña	104.02	171.1	241.73	335.43	459.16	Log Pearson III
Río Reque	349.82	610.06	860.62	1161.21	1515.13	Log Pearson III
La Leche	196.09	326.03	437.78	559.36	689.7	Log Pearson III

Nota: Se estima que, para tiempo de retorno de 100 y 200 años, la descarga del río Reque puede alcanzar los 1161.21 y 1515.13 m³, respectivamente. (Concesionaria Vial del Sol, 2013)

Tabla 5

Descriptores de parámetro de evaluación del peligro ante inundación fluvial

Tiempo de retorno	Caudal (m3/seg)	Tiempo de retorno	Caudal (m3/seg)
200	1515.13	25	610.06
100	1161.21	10	349.82
50	860.62		

Nota: A los 10 años con un caudal de 349,82m³/seg se genera la inundación fluvial

Tabla 6

Descriptores del parámetro de evaluación del peligro ante caída de roca

Condiciones de estabilidad	
Zonas inestables: Rocas fracturadas con intensa erosión	Laderas con rocas poco fracturados, con moderada a poca meteorización, parcialmente erosionados
Zonas inestables: Rocas fracturadas	Ladera con substrato rocoso no meteorizado
Zonas de estabilidad marginal, ladera rocosa con erosión intensa	

Nota: La caída de roca se presentan en zonas inestables.

Tabla 7
Descriptor del parámetro de evaluación del peligro ante flujo de detrito

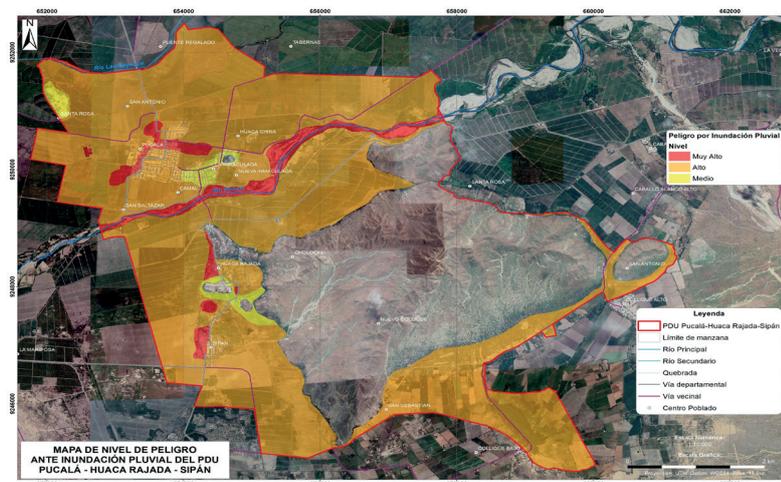
Volumen estimado (m³)	
> 10000	< 0.5
< 500 - 10000	< 0.001
< 0.5 - < 500	

Nota: Los flujos de detritos que han depositado volúmenes >10000mm3 son considerado con un peligro de muy alto nivel (Chacón, 2012).

Tabla 8
Estratificación del nivel de peligro ante inundación pluvial

Nivel	Descripción	Rangos
Peligro Muy Alto	La zona es afectada por la ocurrencia de lluvias extremas con una frecuencia de por lo menos 1 vez al año cada evento de El Niño y/o mayor de 5 eventos al año en promedio, en una precipitación anómala mayor de 50.8mm, en zonas del territorio conformado por relieve con pendiente 0 - 8°, constituido de un depósito aluvial que ha configurado la terraza aluvial	0.142 < P ≤ 0.540
Peligro Alto	La zona es afectada por la ocurrencia de lluvias anómalas, con una frecuencia de por lo menos 2 veces cada evento de El Niño y/o mayor a 5 eventos al año en promedio, con una precipitación anómala mayor de 50.8mm, constituida por depósito aluvial antiguo, depósito aluvio torrencial antiguo, en relieve formando abanico aluvio torrencial, piedemonte aluvio torrencial, terraza aluvial 2 y con una pendiente entre 0 - 8.	0.111 < P ≤ 0.142
Peligro Medio	Zona afectada por lluvias extremas con una frecuencia de 2 a 3 eventos al año en promedio, con una precipitación anómala mayor de 50.8 mm, que afecta territorios constituido por depósito antrópico antiguo, que forma relieves de colina muy baja y con pendiente 8-15.	0.108 < P ≤ 0.111
Peligro Bajo	Zona que puede ser afectada por la ocurrencia de lluvias extremas con una frecuencia de 1 a 2 eventos por año en promedio y 1 evento por año en promedio o menor, con una precipitación anómala mayor de 50.8mm, afecta un territorio constituido por depósitos afloramientos de roca sedimentaria y depósito deluvial que conforma relieves de piedemonte y colinas, con pendiente 15-25.	0.099 < P ≤ 0.108

Figura 7
Mapa de nivel de peligro ante inundación pluvial

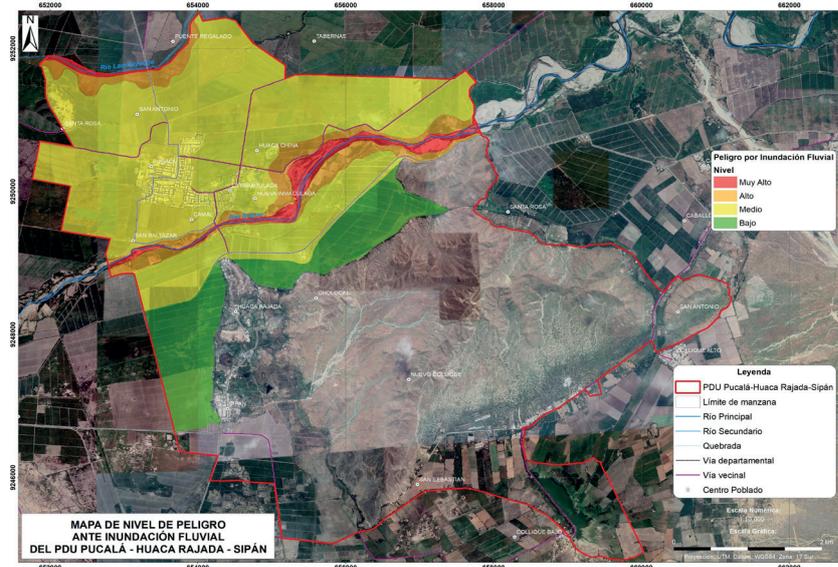


Nota: El peligro ante inundación pluvial afecta la planicie aluvial y los piedemontes y es calificado con un nivel alto

Tabla 9
Estratificación del nivel de peligro ante inundación fluvial

Nivel	Descripción	Rangos
Peligro Muy Alto	La inundación fluvial afecta sectores a 20 metros menor al río Reque, en una superficie con pendiente 0 - 8°, constituido de depósito fluvial, depósito aluvial antiguo en un escenario de precipitaciones anómalas mayor de 50.8mm con un caudal máximo de 356.3 m3/seg.	0,131 < P ≤ 0,577
Peligro Alto	La inundación fluvial afecta sectores entre 20 y 100 metros de distancia al río Reque, en una superficie con pendiente 0 -8°, constituido de depósito aluvial antiguo y depósito antropogénico, en un escenario de precipitaciones anómalas mayor de 50.8mm con un caudal de 356.3 m3/seg.	0,101 < P ≤ 0,131
Peligro Medio	La inundación fluvial se presenta entre 100 y 500 metros de distancia al río Reque, en una superficie con pendiente 0 -8°, constituido de depósito aluvial antiguo, en un escenario de precipitaciones anómalas mayores de 50.8mm con un caudal de 356.3 m3/seg.	0,100 < P ≤ 0,101
Peligro Bajo	La inundación fluvial se presenta entre 500 y 1000 metros de distancia al río Reque, en una superficie constituido depósito deluvial y aluvio torrencial antiguo, en un escenario de precipitaciones anómalas mayores de 50.8mm con un caudal de 356.3 m3/seg.	0,090 < P ≤ 0,100

Figura 8
 Mapa de nivel de peligro ante inundación fluvial

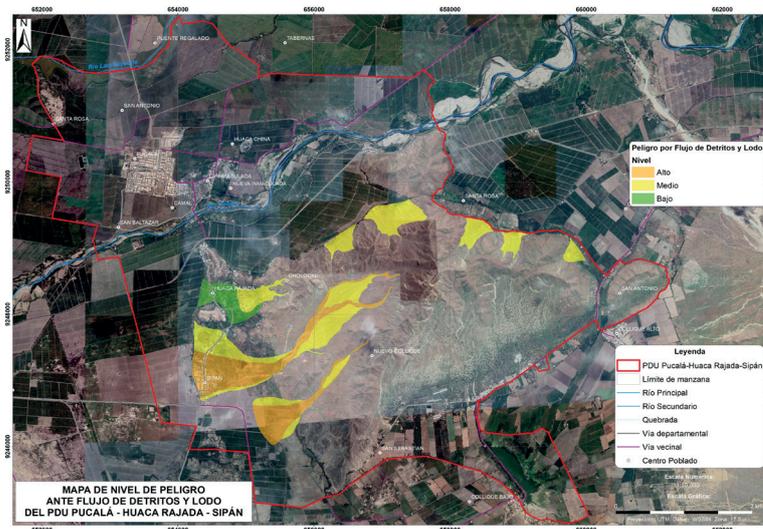


Nota: En el cauce y la planicie inundable del río Reque y en el área de influencia de los canales de regadío, son áreas con muy alto nivel de peligro natural.

Tabla 10
 Estratificación del nivel de peligro ante flujo de detrito

Nivel	Descripción	Rangos
Peligro Muy Alto	Se localiza en una colina constituido de depósito deluvial, con una pendiente 8° -15°, la carga de material se estima en un volumen > 10000 m3, en un periodo de precipitación anómala mayor de 50.8 mm.	0.222 < P ≤ 0.642
Peligro Alto	Se localiza en un piedemonte aluvio torrencial antiguo, con una pendiente de 0° - 8°, con una carga de material que se estima en un volumen <500 -10000 m3, en un periodo de precipitación anómala mayor de 50.8mm.	0.069 < P ≤ 0.222
Peligro Medio	Se localiza en un piedemonte deluvial, una superficie de pendiente de 0° -8°, con una carga de material que se estima en un volumen <0.5 - <500 m3, en un periodo de precipitación anómala mayor de 50.8mm.	0.044 < P ≤ 0.069
Peligro Bajo	Se localiza en un piedemonte aluvio torrencial eólico reciente y en una terraza aluvial (planicie aluvial), en una superficie con pendiente de 0° - 8°, con una carga de material que se estima en un volumen <0.5 y < 0.001 m3, en un periodo de precipitación anómala mayor de 50.8 mm.	0.023 ≤ V ≤ 0.044

Figura 9
 Mapa de nivel de peligro ante flujo de detrito



Nota: El abanico aluvio torrencial es una zona con un alto nivel por flujo de detrito.

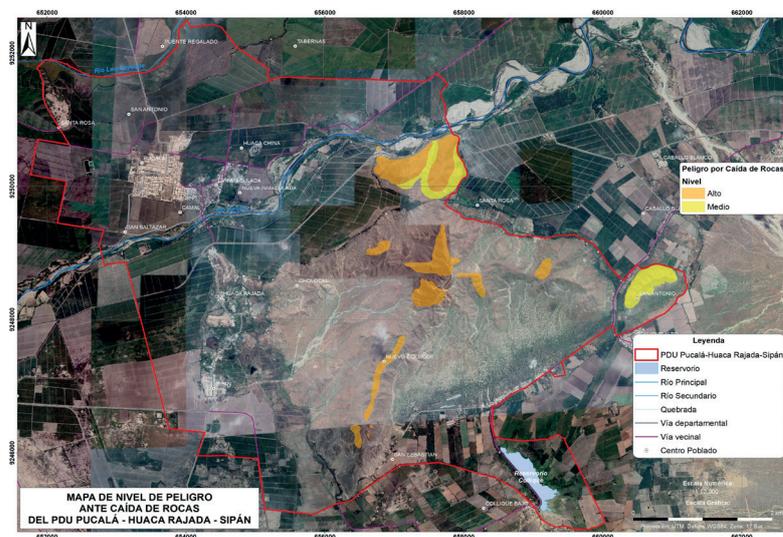
Tabla 11

Estratificación del nivel de peligro ante caída de roca

Nivel	Descripción	Rangos
Peligro Muy Alto	Colina alta a muy alta en roca intrusiva afectada por caída de roca, constituida de monzonita, con pendientes >45°, presenta zonas inestables de roca fracturada con intensa erosión, durante una precipitación anómala de 50.8mm.	0.198 < P ≤ 0.617
Peligro Alto	Colina alta en roca intrusiva afectada por caída de roca, constituida de granito porfírica, con pendiente de 25°-45°, presenta zonas inestables de rocas fracturadas, la afectación puede ocurrir con una precipitación anómala de 50.8 mm	0.097 < P ≤ 0.198
Peligro Medio	Colina alta en roca volcánica que puede estar afectada por caída de roca, constituida de andesita porfírica, con pendiente de 15°- 25°, presenta zonas de estabilidad marginal que comprende ladera en roca con erosión intensa, la afectación puede ocurrir con precipitaciones anómalas de 50.8 mm.	0.059 < P ≤ 0.097
Peligro Bajo	Colina media en roca intrusiva que poder ser afectada por caída de roca, constituida de monzonita porfírica y puntón de roca sedimentaria y arenisca de grano media, presenta zona de ladera con substrato rocoso no meteorizado., la afectación puede ocurrir con precipitaciones anómalas de 50.8 mm.	0.028 ≤ V ≤ 0.059

Figura 10

Mapa de nivel de peligro ante caída de roca



Nota: En las laderas con pendiente >25 consideradas como zonas inestables y con un nivel alto por caída de roca.

IV. DISCUSIÓN

La aplicación de una metodología descriptiva y explicativa ha permitido realizar el análisis y la evaluación de los peligros hidrometeorológicos y la caída de rocas. En la localidad de Pucalá y los centros poblados de Huaca Rajada y Sipán, los peligros naturales han ocasionado pérdidas en áreas agrícolas y daños a viviendas, infraestructura hidráulica y vial. A través del análisis multicriterio y utilizando el Análisis de Proceso Jerárquico (AHP), se ha determinado que los peligros naturales han alcanzado niveles muy alto y alto.

La presente investigación pone de manifiesto la influencia de los factores condicionantes (geología, geomorfología y pendiente) y desencadenantes (máximas precipitaciones) en los peligros naturales, como las inundaciones, flujos de detritos y erosión. Las inundaciones pluviales cubren una mayor superficie (618.9 hectáreas) en el área de estudio, afectando áreas urbanas y agrícolas. Por otro lado, las lluvias intensas activan los procesos de erosión y la caída de rocas en las laderas del cerro Caballo

Blanco, exponiendo la vía LA 746 / Pacherez, así como causando pérdidas en áreas agrícolas debido a los impactos generados por el río Chancay en los taludes de la margen derecha y por problemas de inundación fluvial. También se evidencia la presencia de flujos de detritos en las torrenteras occidentales y septentrionales del cerro mencionado, lo que expone a los pobladores del centro poblado Sipán.

Los resultados de esta investigación sobre el impacto de las lluvias intensas en áreas urbanas y rurales se extienden a otros territorios, como se evidencia en el Informe de Evaluación de Riesgos por Lluvias Intensas en el sector 2 del distrito de Pucalá (CENEPRED, 2018).

V. CONCLUSIONES

En la investigación realizada en la localidad de Pucalá y los centros poblados de Huaca Rajada y Sipán, se han identificado los peligros naturales, siendo los más impactantes los peligros de inundación pluvial y fluvial. Otros peligros, como la caída de rocas y los flujos de

detritos, pueden considerarse como latentes y potenciales, respectivamente.

La distribución de los peligros naturales evaluados está fuertemente influenciada por factores condicionantes como la litología, geomorfología y la pendiente. Así, hacia el oeste, donde predomina un relieve plano ondulado recortado por el río Chancay-Lambayeque, se presentan los peligros por inundación pluvial y fluvial. En tanto, hacia el este, donde los relieves son abruptos y surcados por drenajes naturales, se presentan los peligros por caída de rocas y flujos de detritos. En todos los casos, las precipitaciones máximas actúan como factor desencadenante.

El peligro climático, como la inundación pluvial, ha impactado el territorio en diferentes niveles, donde el nivel alto se destaca por su mayor extensión, mientras que el nivel muy alto y medio se presenta de manera dispersa ocupando reducidas extensiones tanto al norte como al sur del territorio. Se destaca que el nivel muy alto alcanza sectores urbanos de la localidad de Pucalá.

El peligro hidrometeorológico, como la inundación fluvial, se distribuye a lo largo del río Chancay y los canales de regadío, donde los niveles muy alto y alto predominan. Se observa que aguas arriba del puente que conecta Pucalá con los centros poblados Huaca Rajada y Sipán, existen tramos de taludes inestables donde el río ha activado el proceso de erosión lateral. Además, son destacables las antiguas torrenteras que han formado el abanico aluvial, ubicándose en la parte terminal de dicho abanico el centro poblado de Sipán.

El peligro ante la caída de rocas se limita a las laderas del cerro Caballo Blanco, donde se han identificado depósitos coluviales con clastos de diferentes tamaños. Presenta una extensión reducida con un nivel alto, como se evidencia en un tramo de la vía que bordea dicho cerro donde se produce la caída de rocas.

VI. AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a la población de las localidades de Pucalá y de los centros poblados Huaca Rajada y Sipán que han contribuido con el aporte de importante información para la presente investigación.

VII. REFERENCIA

- Alvitres, G. & Sierra, Y. (14 de marzo de 2023). Ciclón Yaku, lluvias extremas e inundaciones impactan a 16 regiones y 483 distritos en Perú. *Mongabay*. <https://es.mongabay.com/2023/03/ciclon-yaku-lluvias-extremas-inundaciones-en-peru/>
- Chacón, J. (2012). Movimientos de ladera: clasificación, descripción y evolución espacial y temporal. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*. 28. 73-89-2012. <https://www.editoresasagai.org.ar/ojs/index.php/rgaia/article/view/33/25>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2018). *Informe de Evaluación del Riesgo por lluvias intensas en el Sector 2, del distrito*

de Pucalá, Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque. https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/7516_informe-de-evaluacion-del-riesgo-por-lluvias-intensas-en-el-sector-2-del-distrito-de-pucala-provincia-de-chiclayo-departamento-de-lambayeque.pdf

Concesionaria Vial del Sol (2013). *Estudio de Mantenimiento Periódico de la Carretera Panamericana. Tramo II: Km 736+600-Km 886+600*. (Informe N°181154-55-INF-003). <https://es.scribd.com/document/475776016/181154-55-INF-003-Rev1-doc>

Centro de Operaciones de Emergencia Nacional. (2023). *Lluvias intensas en el distrito de Pucalá – Lambayeque*. (Informe de Emergencia N°410-9/3/2023/COEN-INDECI/ 22:40 horas). INDECI. <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2023/02/INFORME-DE-EMERGENCIA-N%C2%BA-410-9MAR2023-LLUVIAS-INTENSAS-EN-EL-DISTRITO-DE-PUCAL%C3%81-LAMBAYEQUE-1.pdf>

GEOCATMIN. (2020) *Sistema de información geológico y catastral*. <https://ingemmet-peru.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=2e5aa2a2616642be9f704d5a8ae1e394>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2014). *El fenómeno El Niño en el Perú. Ministerio del Ambiente*. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/874/EI-fen%C3%B3meno-El-ni%C3%B1o-en-el-Per%C3%BA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2023). *Estación convencional de Sipán. Data de precipitación (2017-2023)*. <https://www.senamhi.gob.pe/mapas/mapa-estaciones/mapadepesta1.php?dp=lambayeque>

SINPAD (2023). *Sistema Nacional de Información para la Prevención y Atención de Desastre. 2000-2023*.

Wilson, J. (1984). *Geología de los cuadrángulos de Jayanca (13-d), Incahuasi (13-e), Cutervo (13-f), Chiclayo (14-d), Chongoyape (14-e), Chota (14-f), Celendín (14-g), Pacasmayo (15-d), Chepén (15-e)*. Boletín serie A: Carta Geológica Nacional, 38, 1-104. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/157>

Conflicto de interés

El autor declara no tener conflicto de intereses.