

# UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

**Identificación de zonas críticas vulnerables a peligros de  
movimientos en masa en la cuenca hidrográfica del río Piura,  
mediante Modelamiento Geoespacial**

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de  
Bachiller en Ingeniería Ambiental

Autor:

Abner Mendoza Llacho

Asesor:

Mg. Renny Daniel Díaz Aguilar

**Juliaca, diciembre de 2020**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Ing. Renny Daniel Díaz Aguilar, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: “**IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS VULNERABLES A PELIGROS DE MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PIURA, MEDIANTE MODELAMIENTO GEOESPACIAL**” constituye la memoria que presenta el estudiante Abner Mendoza Llacho para obtener el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 23 días del mes de diciembre del año 2020.



---

Mg. Renny Daniel Díaz Aguilar  
Asesor

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a...<sup>22</sup>..... día(s) del mes de...*diciembre*..... del año 20.<sup>20</sup> siendo las...*11:50*... horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a): *Ing. Alex Danny Ghambi Rodriguez*, el (la) secretario(a): *Msc. Rose Cadeline Gallata Ghura* y los demás miembros: *Dr. Efraim Lujano Laura* y el (la) asesor(a) *Ing. Renny Daniel Diaz Aguilas* con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: *Identificación de zonas críticas vulnerables a peligros múltiples en la cuenca hidrográfica del Río Piura, mediante Modelamiento Espacial* de los (las) candidato (as):  
 a) *Abner Mendoza Llacho* b) .....  
 c) .....

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en:

*Ingeniería Ambiental*  
(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): *Abner Mendoza Llacho*

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<i>Aprobado</i>	<i>18</i>	<i>A-</i>	<i>Muy Bueno</i>	<i>Sobresaliente</i>

Candidato/a (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Candidato/a (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
 Presidente/a

  
 \_\_\_\_\_  
 Secretario/a

\_\_\_\_\_  
 Asesor/a

\_\_\_\_\_  
 Miembro

\_\_\_\_\_  
 Miembro

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (a)

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (b)

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (c)

# Identificación de zonas críticas vulnerables a peligros de movimientos en masa en la cuenca hidrográfica del río Piura, mediante Modelamiento Geoespacial.

Abner Mendoza Llacho<sup>a\*</sup>Renny Daniel Díaz Aguilar<sup>c</sup>

<sup>a</sup>EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Unión

<sup>c</sup>EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Unión (asesor)

---

## Resumen

Diversos estudios ejecutados en la región Piura manifiestan, que esta zona, con frecuencia es altamente vulnerable a movimientos en masa, esto se debe a su geomorfología variada, altas precipitaciones, escasa cobertura vegetal y pendientes mayores a 50°. Por ello el objetivo de la presente investigación fue identificar la vulnerabilidad socioeconómica, la susceptibilidad y riesgo a movimiento en masa en la cuenca hidrográfica del río Piura. Los métodos utilizados fueron el análisis multicriterio basado en la interpretación de parámetros físicos y socioeconómicos con el fin de identificar áreas vulnerables a movimientos en masa y el método de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) que proporciona un esquema para resolver diversos tipos de problemas complejos mediante la toma de decisión de criterios múltiples. Se encontró que el 6.76% de la integración de los factores físicos y socioeconómicos en el modelamiento geoespacial de la cuenca hidrográfica del río Piura cuyos distritos son: Huancabamba, Lalaquiz, Santa Catalina de Mossa, Santo Domingo, Cristo Nos Valga, Rinconada y Miguel Checa conformado por: 387 instituciones educativas, 44 puestos de salud y 345 centros poblados se encuentran en un nivel de riesgo muy alto a movimientos en masa, además el 8.20 % de nivel de vulnerabilidad socioeconómica conformado por 7 distritos es muy alta. Se confirma que en la cuenca hidrográfica del río Piura el nivel de vulnerabilidad socioeconómica y riesgo a movimiento en masa son altas y la susceptibilidad a movimiento en masa es muy alta.

*Palabras clave:* Análisis Multicriterio, Cuenca hidrográfica del río Piura, Movimiento en masa, Modelamiento Geoespacial y Proceso de análisis jerárquico.

## Abstract

Various studies carried out in the Piura region show that this area is often highly vulnerable to mass movements, this is due to its varied geomorphology, high rainfall, scarce vegetation cover and slopes greater than 50°. Therefore, the objective of this research was to identify the socioeconomic vulnerability, susceptibility and risk to mass movement in the hydrographic basin of the Piura River. The methods used were the multicriteria analysis based on the interpretation of physical and socioeconomic parameters in order to identify areas vulnerable to mass movements and the hierarchical analysis process (AHP) method that provides a scheme to solve various types of complex problems through multi-criteria decision making. It was found that 6.76% of the integration of physical and socioeconomic factors in the geospatial modeling of the hydrographic basin of the Piura river whose districts are: Huancabamba, Lalaquiz, Santa Catalina de Mossa, Santo Domingo, Cristo Nos Valga, Rinconada and Miguel Checa made up of: 387 educational institutions, 44 health posts and 345 population centers are at a very high risk level of mass movements, in addition the 8.20% level of socioeconomic vulnerability made up of 7 districts is very high. It is confirmed that in the Piura river basin the level of socioeconomic vulnerability and risk to mass movement are high and the susceptibility to mass movement is very high.

---

\*Autor de correspondencia:  
Km. 19 Carretera Central, Ñaña, Lima  
Tel.: 929788205  
E-mail: abnerm@upeu.edu.pe

## **1. Introducción**

Los movimientos en masa, representan aproximadamente un tercio de todos los peligros mundiales, es uno de los desastres naturales más destructivos (Smith & Ward, 1998; Adhikari et al., 2010). Debido a su carácter devastador genera pérdidas económicas significativas y vidas humanas (Haque et al, 2019). A nivel mundial se registran aproximadamente 1000 muertes por año y unos 4 mil millones de dólares en daños a la propiedad a causa de este fenómeno (Lee & Pradhan, 2006).

El Perú no es ajeno ante esta problemática, debido a que se encuentra localizado en el cinturón de fuego del pacífico que presenta constante actividad sísmica, a esto se suma la cordillera de los andes que presenta una geografía irregular, cuyas características geológicas, geomorfológicas, climatológicas y pendientes irregulares facilitan el desarrollo de movimientos en masa (Komal, et al, 2020). El movimiento en masa más grande suscitado en la historia del Perú fue en el año 1970, en el valle del río Santa, causando daños considerables a infraestructuras y generando la pérdida de 18,000 vidas (Vilches, 2018).

Según los estudios realizados por PREVAED (2019) refieren que los movimientos en masa en el Perú se han incrementado considerablemente debido al cambio climático, cuyo factor detonante son las precipitaciones intensas, y la geomorfología variada, dando lugar a un total de 4282 ocurrencias en estos últimos 13 años, representado el 11.44% del total de fenómenos naturales.

Los estudios de movimientos en masa realizados por el MINAM (2015) dieron como resultado que la región de Piura, ante la probabilidad de movimiento en masa, más de 2,025 centros poblados y 531,712 viviendas quedarían afectados por la ocurrencia de dicho fenómeno, en cuanto a infraestructura de salud y Educación, 193 centros de salud y 1153 instituciones educativas serían afectados por ubicarse en zonas susceptibles a deslizamientos. Así mismo, 1, 400,000 habitantes se encuentran expuestos a la ocurrencia de movimientos en masa (MINAM 2015).

Por ello es de suma prioridad conocer que área de la cuenca hidrográfica del río Piura son vulnerables ante la ocurrencia de movimientos en masa, es por ello que el objetivo de la presente investigación fue identificar la vulnerabilidad socioeconómica, la susceptibilidad y riesgo a movimiento en masa en la cuenca hidrográfica del río Piura.

## **2. Área de estudio**

El ámbito de estudio es la cuenca hidrográfica del río Piura, situada en el departamento de Piura, localizada en la parte nor-occidental del territorio peruano, cubre una superficie de 12,216 Km<sup>2</sup>. Conformados por las provincias de Piura, Morropón, Sechura, Ayabaca y Huancabamba. La elevación varía de 0 a 3600 m.s.n.m. su cauce es de 280 km con una dirección de Sur a Norte, geográficamente se encuentra entre las coordenadas UTM 9351196,25 a 9477038,59 Norte y 493547,49 a 676699,89 Este. La cuenca limita por el Este con la vertiente alta del río Huancabamba, por el Sur con la vertiente alta de los ríos Ñaupe, Santa Rosa y la Quebrada Piedra Blanca, por el Oeste con la vertiente alta del río Chira, por el Sur-Oeste con el océano pacífico y Sur-Este con el desierto de Sechura.

## MAPA DE UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO

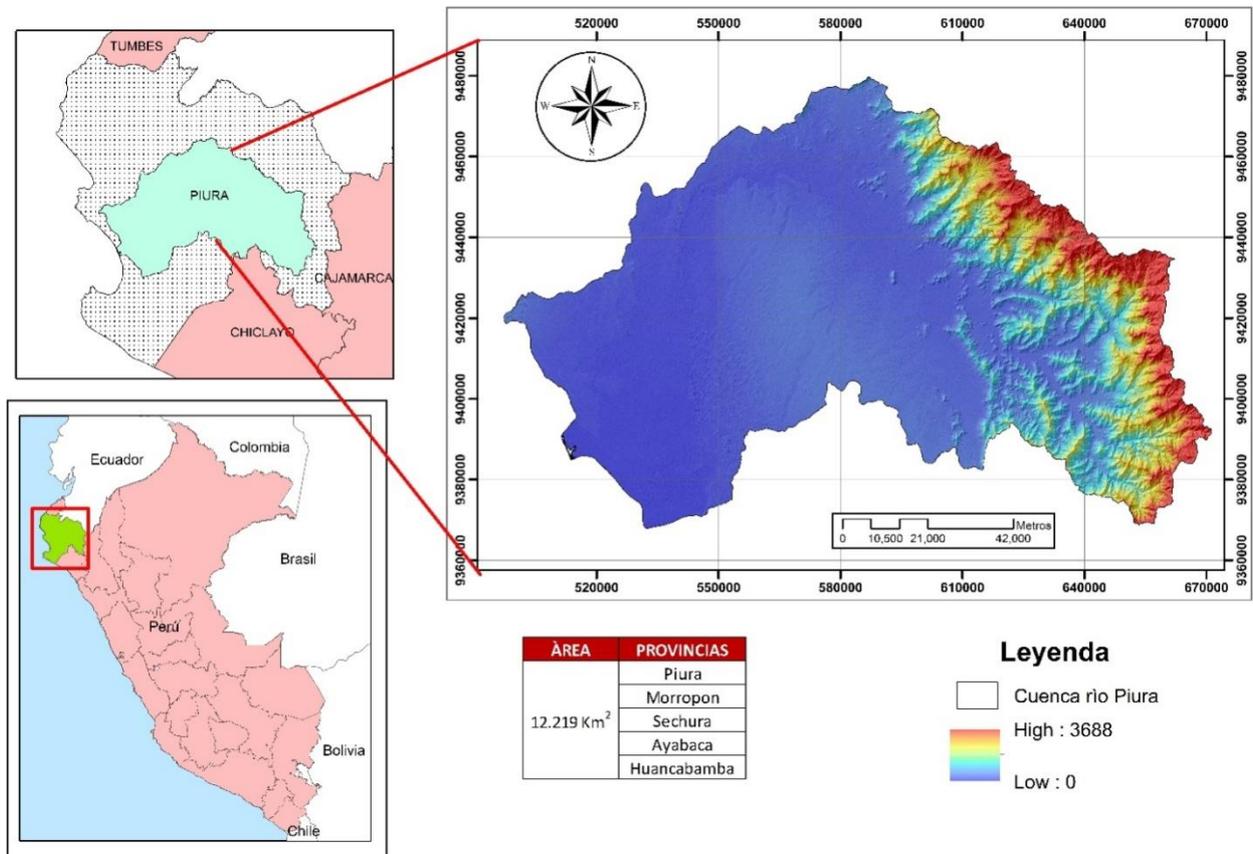


Figura 1. Localización de la cuenca hidrográfica del río Piura

### 3. Materiales y Métodos

El método utilizado fue el análisis multicriterio basado en la interpretación de parámetros morfométricos para identificar las zonas vulnerables en la cuenca hidrográfica del río Piura. Las variables utilizadas para cumplir el objetivo se muestran en la tabla 1. a y 1.b. Así mismo, el trabajo consistió en tres fases. Primero, se recopiló información descriptiva y cartográfica de las variables físicas y socioeconómicas, clasificando los factores físicos en 5 categorías (Muy alto, alto, Medio bajo y Muy bajo) y los factores socioeconómicos en 4 categorías (Muy alto, Alto, Medio y Bajo). Segundo, se determinó la jerarquización de los factores físicos y socioeconómicos a través del proceso de análisis jerárquico (AHP). Por último, se identificó las zonas susceptibles y vulnerables donde se integró las dos variables en el software Arcgis 10.5, La metodología de este trabajo está ilustrada en la fig. 2.

#### 3.1. Identificación de los factores físicos

Para elaborar el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de la cuenca hidrográfica del río Piura se consideraron los factores geomorfológicos, geológicos e hidrológicos. Dichos factores fueron representados en capas de datos en un entorno SIG (Fig. 3).

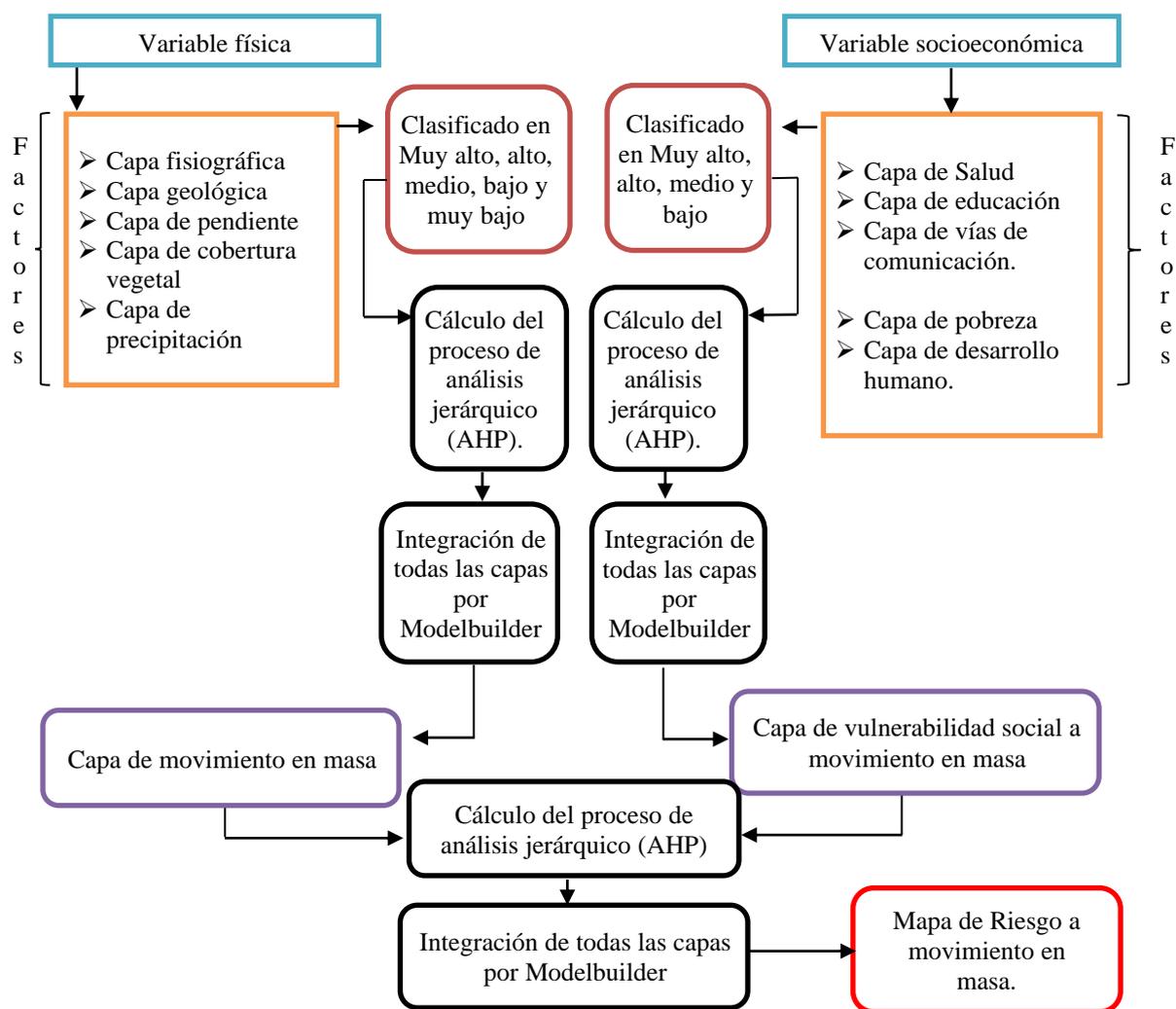


Figura 2. Diagrama de flujo metodológico.

Tabla 1.a.

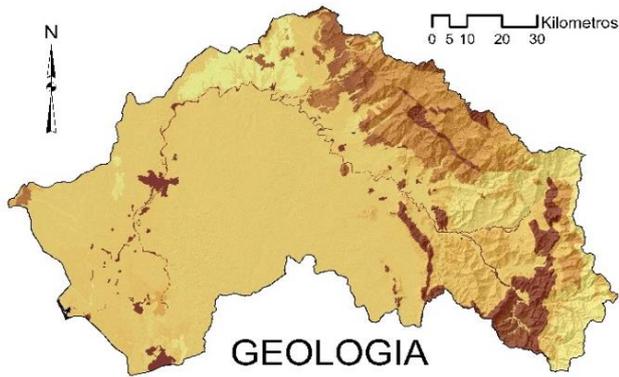
*Factores de la variable física*

N°	Factores físicos	Escala	Fuente
1	Fisiografía	1:1,900,000	<a href="https://geoservidor.minam.gob.pe/zee-aprobadas/piura/fisio">https://geoservidor.minam.gob.pe/zee-aprobadas/piura/fisio</a>
2	Geología	1:1,900,000	<a href="https://geoservidor.minam.gob.pe/zee-aprobadas/piura/geol">https://geoservidor.minam.gob.pe/zee-aprobadas/piura/geol</a>
3	Cobertura Vegetal	1:1,900,000	<a href="https://geoservidor.minam.gob.pe/zee-aprobadas/piura/cob">https://geoservidor.minam.gob.pe/zee-aprobadas/piura/cob</a>
4	Precipitación	1:1,900,000	<a href="https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones">https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones</a>
5	Pendiente	1:1,900,000	<a href="https://vertex.daac.asf.alaska.edu/">https://vertex.daac.asf.alaska.edu/</a>

Tabla 1.b.

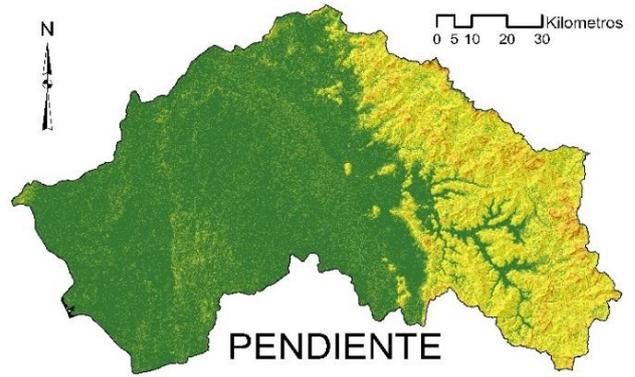
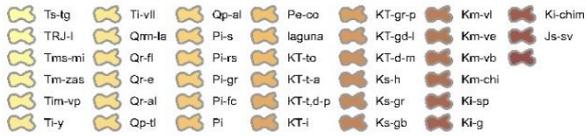
*Factores de la variable socioeconómica*

N°	Factores físicos	Escala	Fuente
1	Salud	1:1,900,000	MINSA de la red Piura
2	Educación	1:1,900,000	Ministerio de educación de la Red Piura.
3	Vías de comunicación	1:1,900,000	Ministerio de transporte y Telecomunicación
4	Pobreza	1:1,900,000	Instituto Nacional de Estadística e Informática
5	Desarrollo Humano	1:1,900,000	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo– 2012



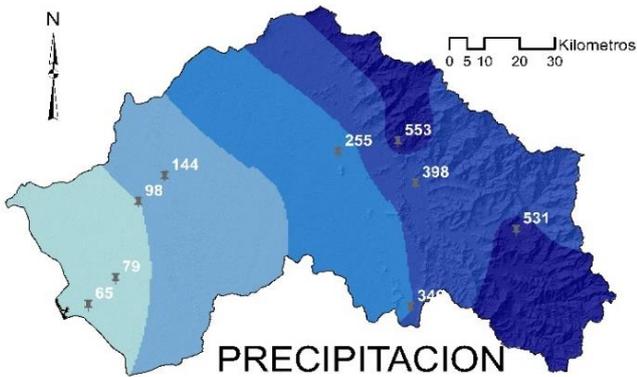
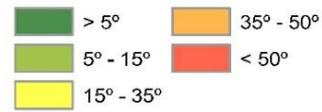
### GEOLOGIA

#### Leyenda



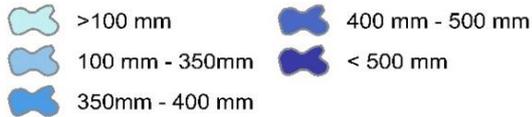
### PENDIENTE

#### Leyenda



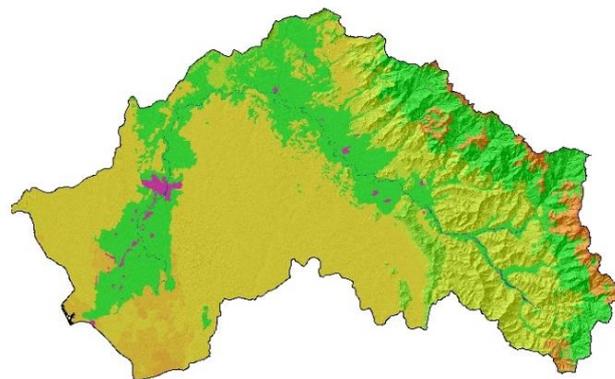
### PRECIPITACION

#### Leyenda



### FISIOGRAFIA

#### Leyenda



### COBERTURA VEGETAL

#### Leyenda

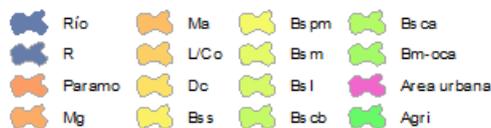


Figura3. Factores de la variable física.

### 3.2. Identificación de los factores socioeconómicos

Para identificar el nivel de vulnerabilidad socioeconómico de la cuenca hidrográfica del río Piura, se consideraron los factores de nivel de pobreza, educación, salud, vías de comunicación y desarrollo humano. Dichos factores fueron representados en capas de datos en un entorno SIG, siendo estos clasificados en 4 categorías (Fig. 4).

### 3.3. Clasificación de valoración y categorización de los factores físicos y socioeconómicos

Para el análisis y evaluación de cada una de los factores Físicos y socioeconómicos se utilizó el criterio de categorización de muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto dándoles un valor de 1 a 5 y sus respectivas convenciones, ver tabla 2.

Tabla 2.

Valoración y categorización para las variables físicas y socioeconómicas.

Variable	Factores	Categoría	Valor	Convención
Físicas	Fisiografía,	Muy bajo	1	
	Geología,	Bajo	2	
	Cobertura Vegetal,	Medio	3	
	Precipitación y	Alto	4	
	Pendiente	Muy alto	5	
Variable	Factores	Categoría	Valor	Convención
Socioeconómicas	Salud, Educación	Bajo	1	
	Vías de comunicación,	Medio	2	
	Pobreza y	Alto	3	
	Desarrollo Humano	Muy Alto	4	

Fuente de CENEPRED, 2015.

### 3.4. Modelo del proceso de análisis jerárquico (AHP)

Diseñado originalmente por Saaty (1980), el AHP proporciona un esquema para resolver diversos tipos de problemas complejos mediante la toma de decisión de criterios múltiples basadas en las prioridades relativas asignadas a cada criterio para lograr un objetivo particular (Etongo et al., 2018; Robert, et al., 2002). El método AHP es flexible y permite al investigador asignar una prioridad (peso relativo) a cada factor mediante la comparación por pares (Kurttila, et al., 2000).

Para la evaluación de los criterios de AHP se siguieron los siguientes pasos propuestos por Saaty y Vargas (2001).

**Paso 1:** Se desarrolló una matriz de comparación por pares, donde el peso relativo asignado entra en la matriz como un elemento ( $a_{ij}$ ) y el recíproco de la entrada ( $1/a_{ji}$ ) va al lado opuesto de la diagonal principal.

$$A = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{pmatrix} \quad A = \{a_{ij}\} \quad \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} na_1 \\ na_2 \\ \vdots \\ nan \end{pmatrix}$$

**Paso 2.** Cálculo del peso normalizado.

Se procede a calcular la media de los coeficientes para calcular el índice de consistencia (IC), para ello, Saaty propuso que el valor propio será  $\lambda_{max}$ , siendo este, el valor principal de la matriz y se puede calcular a partir del promedio de los elementos del vector mediante la siguiente fórmula.

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n a_{ij}/n$$

Donde “ $\sum_{i=1}^n a_{ij}$ ” es la suma de los elementos de la columna de la matriz y “n” es el número de factores.

**Pasó 3.** Cálculo del índice de consistencia.

El IC de una matriz se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Donde “n” es el tamaño de la matriz

**Paso 4.** La coherencia de los juicios se comprobó mediante el cálculo de Relación de consistencia (RC) mediante la siguiente ecuación:

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Donde “RC” es la Relación de Consistencia, “IC” es el Índice de Consistencia y “IA” es el Índice de aleatorio.

Como resultado del modelo AHP, Saaty solo acepta una matriz como coherente si el valor del índice de RC es < 0,10 si el valor de RC es > 0,10 entonces la matriz de juicio es inconsistente, por consiguiente, es necesario examinar y mejorar la comparación por pares.

Los valores de Índice Aleatorio (IA) creada por Coyle (2004) para “n” se muestran en la tabla 3.

Tabla 3.

*Índices de consistencia promedio aleatorios para n factores.*

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IA	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.84	1.56	1.57	1.59

**3.5. Determinación del modelo de proceso de análisis jerárquico para variables físicas**

Tabla 4.

*Matriz de comparación por pares de AHP para la variable física y cálculo del valor síntesis.*

factores	Pendiente	Geología	Fisiografía	Precipitación	Cobertura Vegetal
Pendiente	1	2	2	2	2
Geología	0.5	1	1	2	2
fisiografía	0.5	1	1	2	3
Precipitación	0.5	0.5	0.5	1	3
Cobertura Vegetal	0.5	0.5	0.3	0.3	1
SUMA	3	5	4.8	7.3	11
1/suma	0.3333	0.2000	0.2083	0.1370	0.0909

Tabla 6.

Valor de peso de los criterios y el porcentaje de los factores físicos.

factores	Pend.	Geol.	Fisio.	Preci.	Cob. Vegetal	Vect. priorización	%
Pend.	0.33	0.40	0.42	0.27	0.18	0.32	32.12
Geol.	0.17	0.20	0.21	0.27	0.18	0.21	20.62
Fisiogr.	0.17	0.20	0.21	0.27	0.27	0.22	22.43
Prec.	0.17	0.10	0.10	0.14	0.27	0.16	15.61
Cob. vegetal	0.17	0.10	0.06	0.04	0.09	0.09	9.22

Tabla 7.

Cálculo del índice de consistencia.

factores	Pend.	Geol.	Fisiogr.	Prec.	Cob. Vegetal	Ponderado	$\lambda_{max}$
Pend.	0.321	0.412	0.449	0.312	0.184	1.679	5.227
Geol.	0.161	0.206	0.224	0.312	0.184	1.088	5.276
Fisiogr.	0.161	0.206	0.224	0.312	0.277	1.180	5.260
Prec.	0.161	0.103	0.112	0.156	0.277	0.809	5.180
Cob. vegetal	0.161	0.103	0.067	0.047	0.092	0.470	5.096

Tabla 8.

Cálculo de la Relación de consistencia.

	Promedio $\lambda_{max}$	IC	CA	CR
Formula	$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n a_{ij}/n$	$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$	$n = 5$	$CR = \frac{IC}{CA}$
Ecuación	$\lambda_{max} = \frac{5.227 + 5.276 + 5.260 + 5.180 + 5.096}{5}$	$IC = \frac{5.208 - 5}{5 - 1}$		$CR = \frac{0.052}{1.12}$
Resultado	$\lambda_{max} = 5.208$	0.052	1.12	0.046

Donde "RC" es la Relación de Consistencia, "IC" es el Índice de Consistencia y "IA" es el Índice de aleatorio.

Como el resultado de RC es  $0.046 < 0,10$  podemos mencionar que la matriz de juicio es consistente, por lo tanto, la puntuación asignado a cada factor en AHP es confiable. fig. 5.

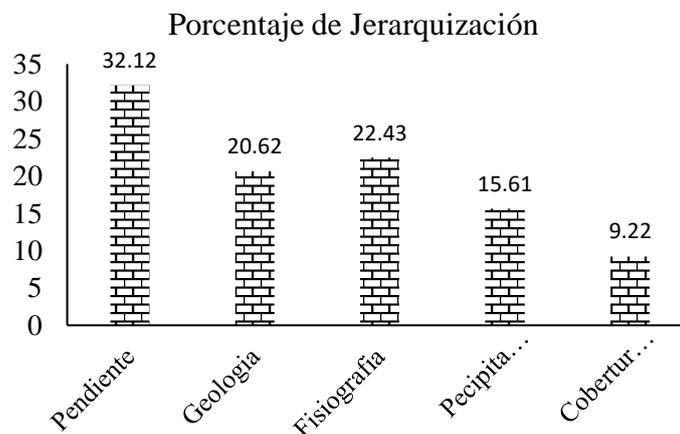
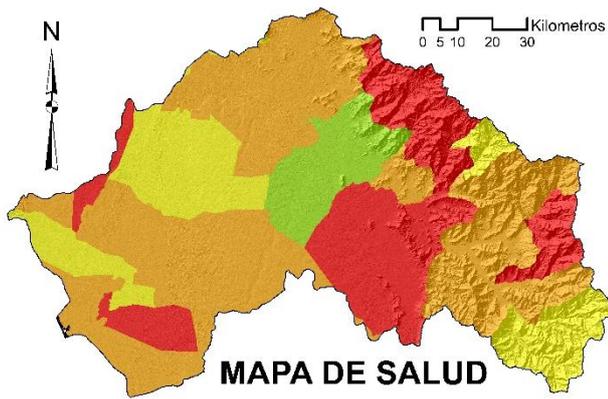


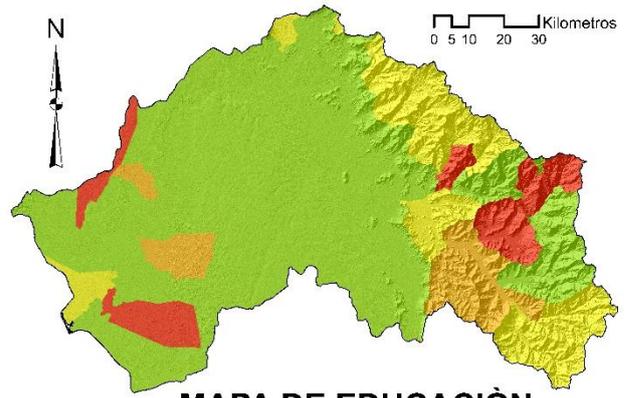
Figura 5. Porcentaje de jerarquización de los factores físicos.



**MAPA DE SALUD**



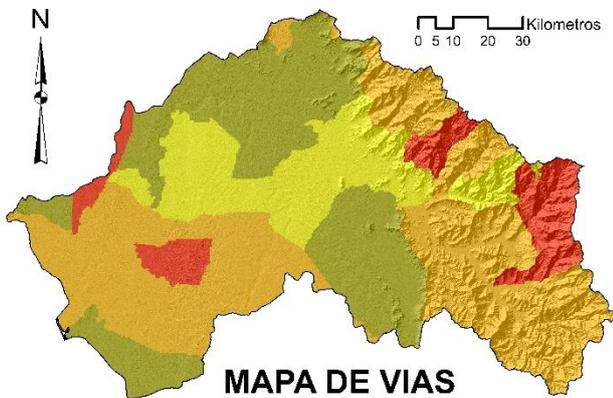
Categoría del P.S.	Calificación
I-1	4
I-2	3
I-3	2
I-4 / II-1	1



**MAPA DE EDUCACIÓN**



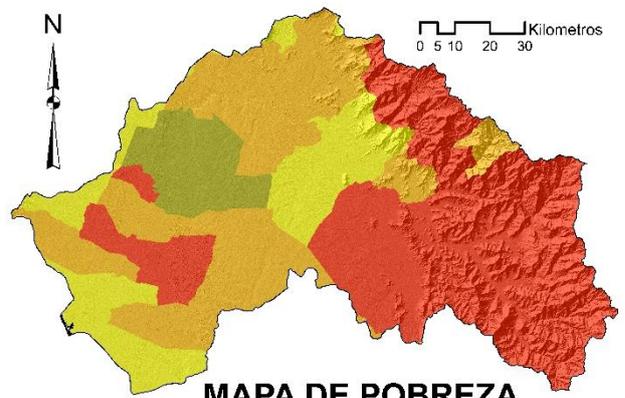
Nivel de I.E.	Calificación
Inic. Prim.	4
Inic. Prim. Sec.	3
Inic. Prim. Sec. Inst.	2
Inic. Prim. Sec. Inst. Uni.	1



**MAPA DE VIAS**



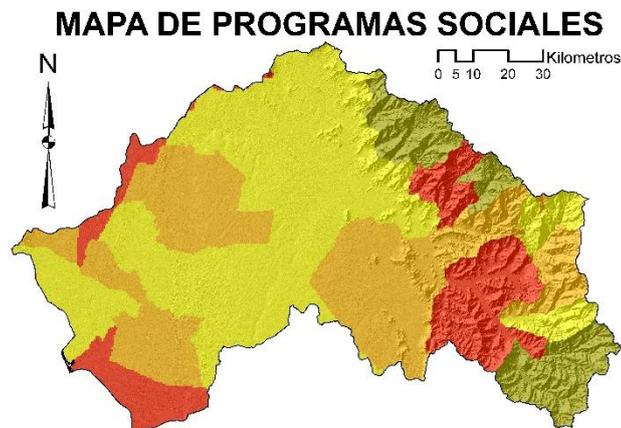
Tipo de superficie	Clasificación
Trocha	4
Sin afirmar	3
Afirmado	2
Asfaltado	1



**MAPA DE POBREZA**



Incidencia de Pobreza	Clasificación
100 - 60 %	4
59.9 - 40 %	3
39.9 - 20 %	2
19.9 - 0 %	1



**MAPA DE PROGRAMAS SOCIALES**



Nº De programas Sociales	clasificación
Un Programa	1
2 programas	2
3 programas	3
4-5 Programas	4

Fig. 4. Factores de la variable socioeconómicas.

## 4. Resultados y Discusión

### 4.1. Resultado de peligro a movimientos de masa en la cuenca del río Piura

En la figura 6 se aprecia el porcentaje y los niveles de predominancia a movimientos en masa de la cuenca hidrológica del río Piura, donde el 44.54 % de la zona de estudio, se encuentra expuesto a un nivel de movimientos en masa bajo, mientras que el 12.88 % del territorio está expuesta a un nivel de peligro alto. Así mismo, se puede observar que el nivel de peligro muy alto tiene una extensión de 665.61 has, que representa el 0.06% del área de estudio, esta área se caracteriza por presentar precipitaciones mayores a 553 mm anual, con pendientes mayores a 50 grados y sus suelos están conformados en su mayoría por rocas sedimentarias con escasa vegetación. El conjunto de dichas características son factores detonantes para la ocurrencia de movimientos en masa y huaycos. Los distritos más propensos a la ocurrencia de movimientos en masa muy altos son: Sapillaca, Frias, Sondorillo, Huarmaca, Santodomingo, Chalaco y Yamango, Dichos distritos se encuentran entre una altitud de 3000 a 3680 m.s.n.m.

En cuanto al nivel de peligro medio, esta se encuentra distribuida en toda la cuenca ocupando una extensión de 444,276.89 ha equivalentes al 40.99%, siendo la zona Nor-Este la más representativa, abarcando un total de 20 distritos.

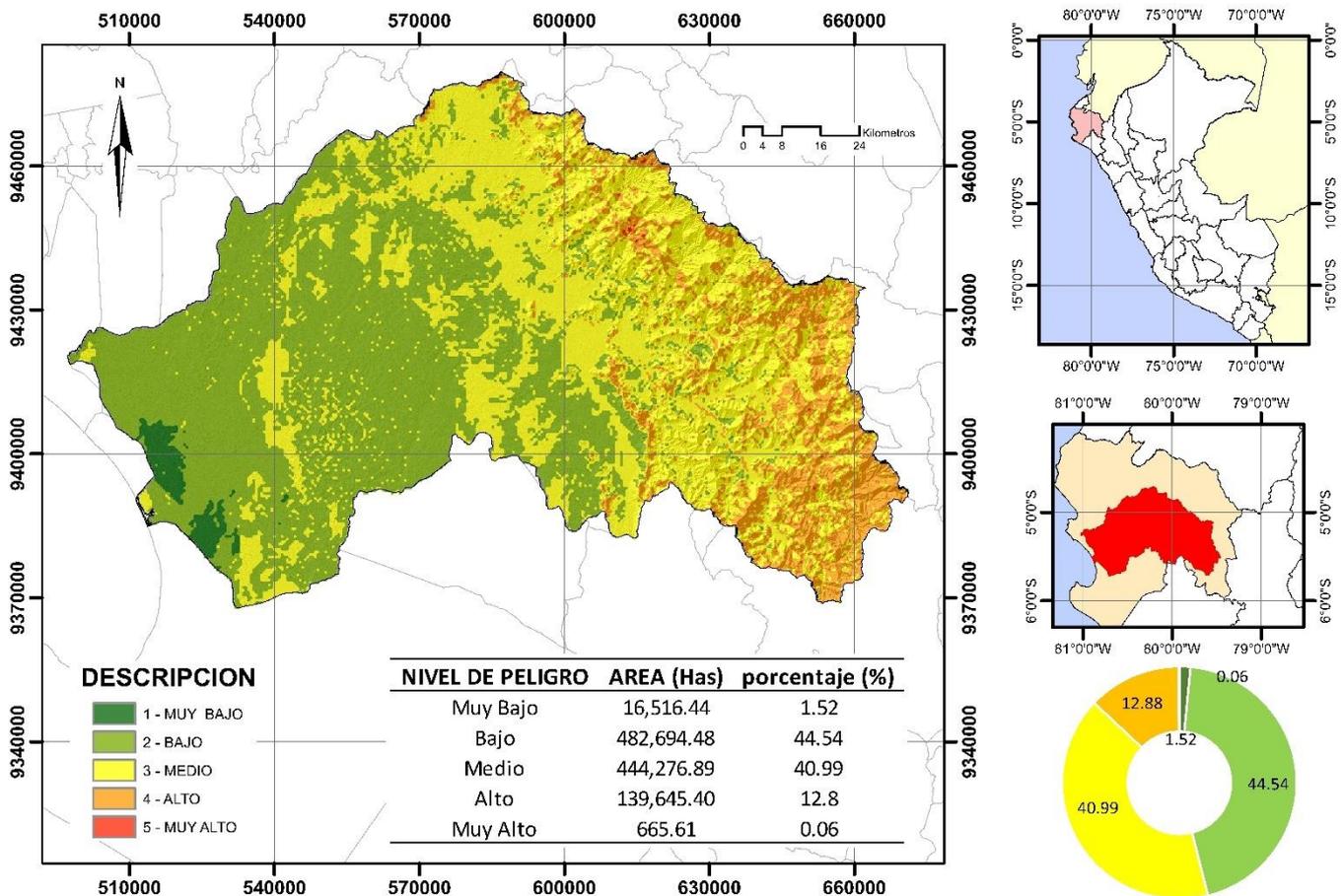


Figura 6. Mapa de Movimientos en Masa de la cuenca hidrográfica del río Piura.

### 4.2. Resultado de vulnerabilidad socioeconómico en la cuenca del río Piura.

El modelo de vulnerabilidad socioeconómica, es el resultado de la ponderación de los sub niveles de infraestructura social y unidades sociales, el cual se muestra en la fig.7, donde se observa que el nivel de

vulnerabilidad muy alto representa el 8.20 %, conformado por los distritos de Huancabamba, Lalaquiz, Santa Catalina de Mossa, Santo Domingo, Cristo Nos Valga, Rinconada y Miguel Checa, que representan un superficie de 89,578.61 has de la cuenca hidrográfica, tales distritos se caracterizan por tener los más altos índices de pobreza, escasos programas sociales, infraestructuras de educación y salud en malas condiciones y vías de acceso en mal estado.

El nivel de vulnerabilidad alta representa el 32.39 % que cubre una superficie de 354,047. 70 has, conformados por 11 distritos, de los cuales 7 se encuentran localizados en la parte sur-este de la cuenca hidrográfica y 4 en la parte baja de la cuenca.

Mientras que los niveles de vulnerabilidad media se presentan en 13 distritos cubriendo un área de 471,426.55 has, representando el 43,13 %.

Los distritos de Chulucanas, Piura, Castilla y la Huaca evidencian un nivel socioeconómico favorable, representando un 14,28 % de nivel de riesgo bajo en relación a los demás distritos mencionados, por ende, su nivel de prevención es alto.

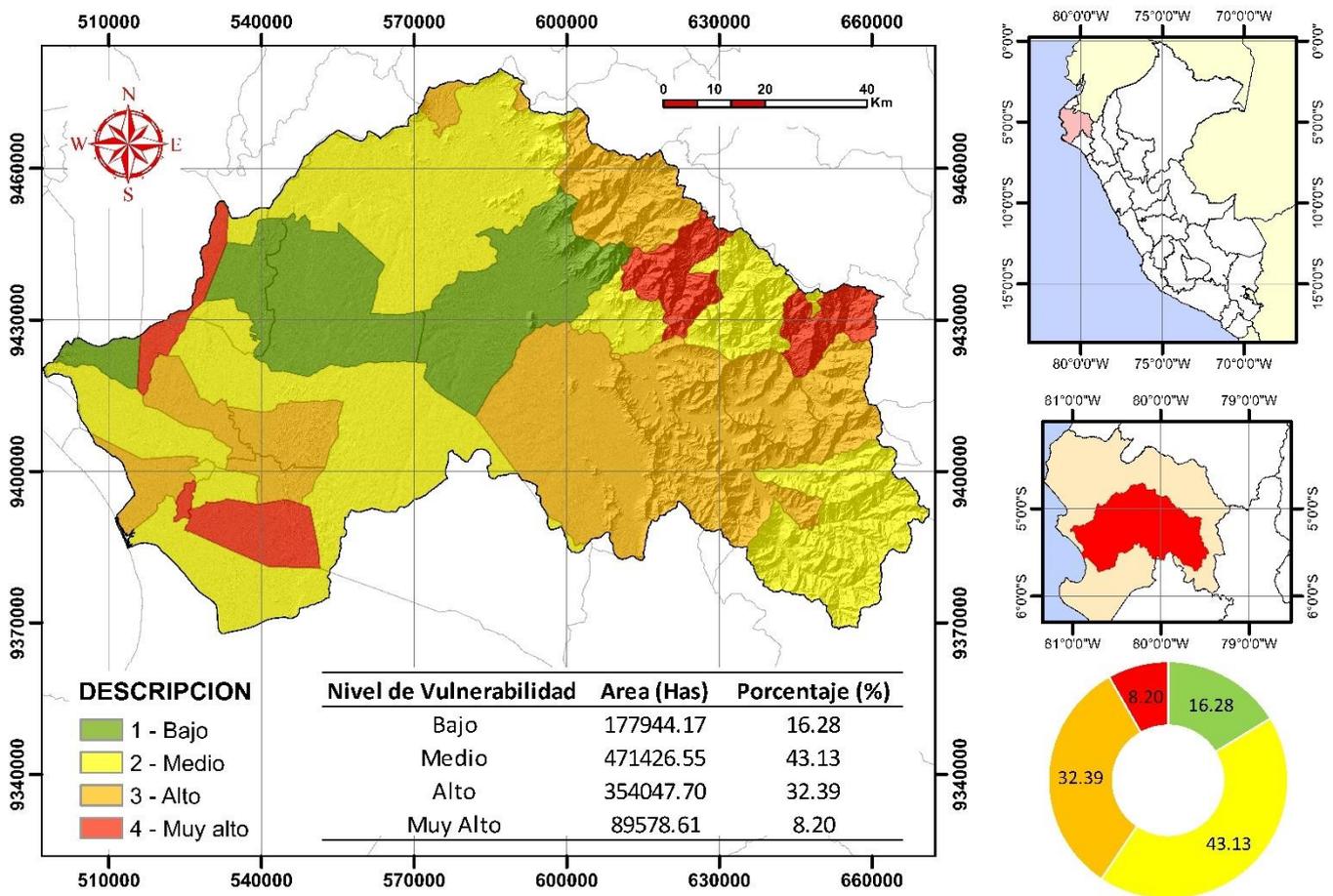


Figura 7. Mapa de Vulnerabilidad Socioeconómica a movimiento en masa de la cuenca Hidrográfica del río Piura.

### 4.3. Resultados de la identificación de áreas expuestas a riesgo significativos

La figura 8 muestra la distribución y el porcentaje de áreas que se encuentran expuestas a distintos niveles de riesgos.

El nivel de riesgo, es el resultado de la ponderación del peligro de movimientos en masa más el nivel de vulnerabilidad socioeconómico, donde el nivel de riesgo muy alto abarca un área de 73,192.70 ha, representando el 6.76 % de la cuenca del río Piura, dichas áreas presentan altos índices de probabilidad de

destrucción de viviendas, carreteras, instituciones educativas y establecimientos de salud, debido a que gran parte de su superficie presenta masa de roca sedimentarias que consisten en depósitos de origen marino, fluvial aluvial, eólico y lacustrino, la presencia de laderas con pendientes mayores a 50° y precipitaciones altas.

El nivel de riesgo alta ocupa el 44,77%, haciendo un total de 485,001.82 ha de toda la cuenca, posee características físicas irregulares con precipitaciones medias, y pendientes entre 45° y 50°, así mismo se caracteriza por tener niveles de pobreza altos e infraestructura de educación y salud críticos; Estas zonas no son aptas para la acentuación de viviendas por ser zonas de riesgo (CENEPRED, 2015).

Por otra parte, el nivel de riesgo bajo solo representa el 0.82 % ocupando un área de 8,838.64 ha, estas zonas son catalogadas como zonas aptas para establecimientos humanos e intereses económicos (CENEPRED, 2015).

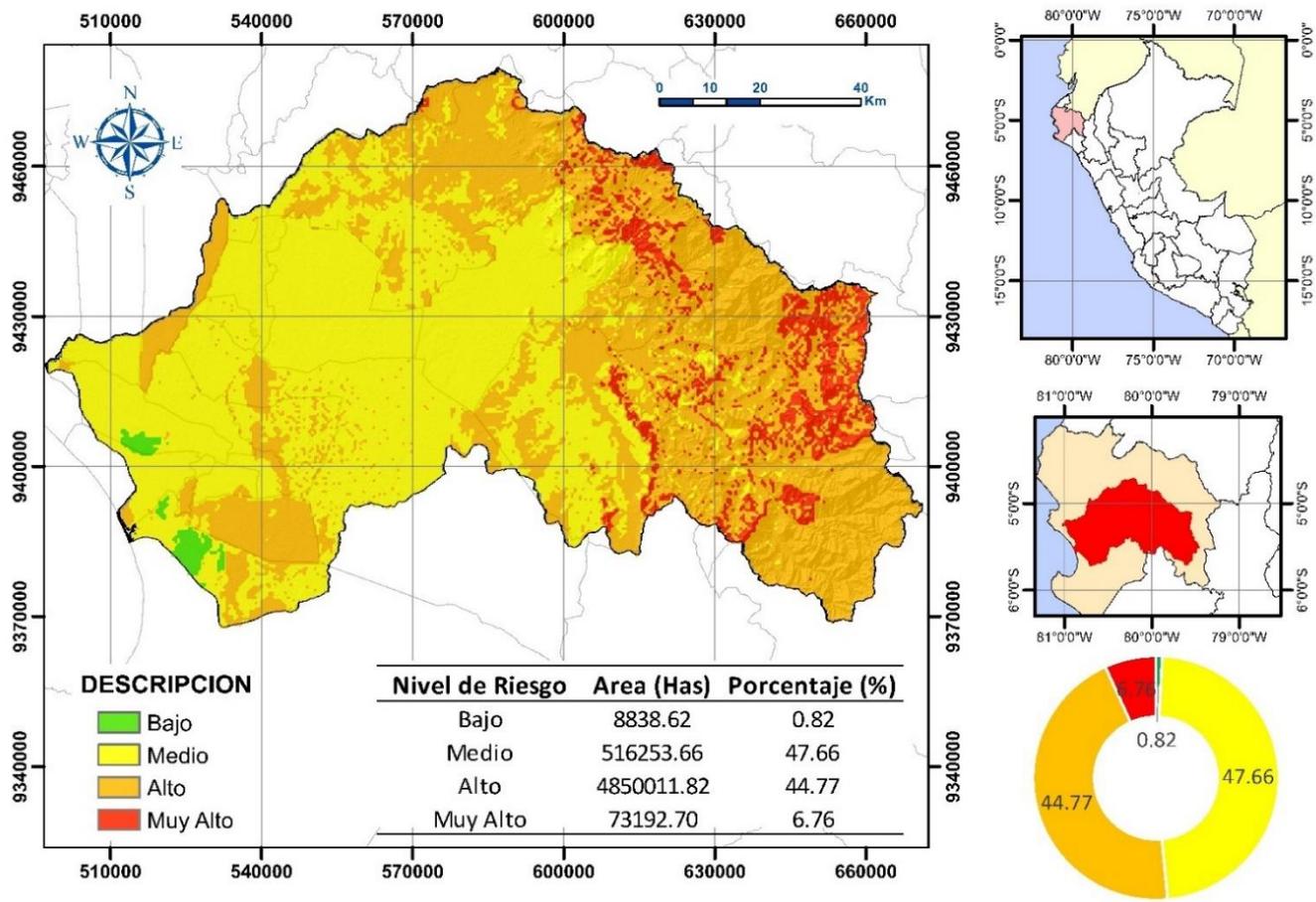


Figura 8. Mapa de identificación de riesgos significativos a movimiento en masa.

Tabla 9.

Infraestructura de salud, educación y centros poblados afectados ante ocurrencia de movimientos en masa.

Riesgo	Vulnerabilidad			%		
	P. Salud	I. Educativas	C. Poblados	P. Salud	I. Educativas	C. Poblados
Muy Alto	44	387	345	19.73	22.13	27.64
Alto	73	728	565	32.74	33.08	45.27
Medio	105	984	335	47.09	44.71	26.84
Bajo	1	2	3	0.45	0.09	0.24

De acuerdo con la tabla 9 y la figura 9 se aprecia que el 19.73% de los establecimientos de salud, el 22.13% de instituciones educativas y el 27.64 % de centros poblados se encuentran expuestos a un nivel de riesgo de movimiento en masa muy alto. Mientras que el 47.09 % de establecimientos de salud, el 44.71% de instituciones educativas y el 26.84 % de centros poblados se encuentran en un nivel de riesgo a movimientos en masa medio.

Solo el 0.45 % de establecimientos de salud, el 0.09 % de instituciones educativas y 0.24 centros poblados se encuentran en un nivel de riesgo a movimientos en masa bajo.

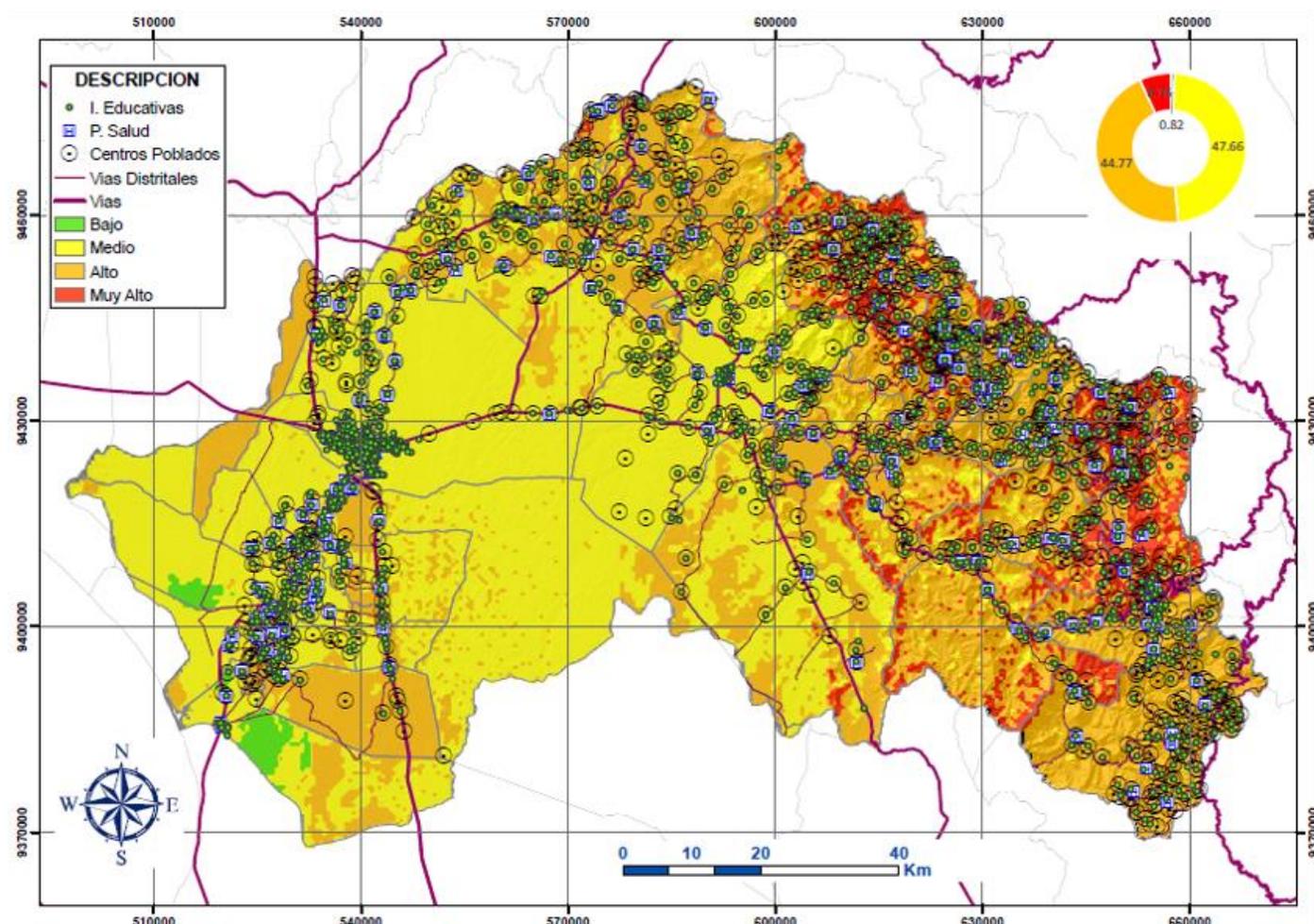


Figura 9. Vías e Infraestructura de salud, educación y centros poblados afectados ante ocurrencia de movimientos en masa.

#### 4.4. Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian que existe un nivel de movimientos en masa muy alto que cubre un área de 665.61 ha, representando el 0.06 % de la cuenca hidrográfica. esto se debe a que la zona presenta altas precipitaciones, pendientes mayores a 50°, suelos conformados por rocas sedimentarias y escasa vegetación. El resultado obtenido coincide con el estudio de Niell (2017) que identificó zonas vulnerables en la cuenca hidrográfica Chira-Piura, donde encontró que la vulnerabilidad muy alta a movimientos en masa representa solo el 11.17 % de la unidad hidrográfica así mismo refiere que son zonas montañosas y empinadas con suelos desnudos y precipitaciones altas. Se hace evidencia que las áreas con características mencionadas son más proclives a presentar deslizamientos de tierra de manera frecuente (Basu & Pal, 2018).

Además, el estudio realizado por MINAM (2015) mostro que los niveles de riesgo ante la ocurrencia de movimientos en masa del departamento de Piura, es muy alto en 1153 instituciones, 193 centros de salud y 2025 centros poblados. En paralelo los resultados obtenidos en la cuenca hidrografía del rio Piura del presente trabajo concuerdan con el nivel de riesgo muy alto en 387 instituciones educativas, 44 puestos de salud y 345 centros poblados.

## 5. Conclusiones

La cuenca hidrográfica del río Piura, presenta zonas de peligros de movimientos en masa, categorizados en cinco niveles, el nivel muy alto representa el 0.06% de la cuenca ocupados por los distritos de Huancabamba, Lalaquiz, Santa Catalina de Mossa, Santo Domingo, Cristo Nos Valga, Rinconada y Miguel Checa; mientras que el nivel alto ocupa el 12.88 % y el nivel bajo ocupa gran parte del territorio con un 44.54 %.

El mapa de vulnerabilidad socioeconómica indica que el 8.20%, conformado por los distritos de Huancabamba, Lalaquiz, Santa Catalina de Mossa, Santo Domingo, Cristo Nos Valga, Rinconada y Miguel Checa, muestran altos índices de pobreza, escasos programas sociales, infraestructuras de educación y salud en malas condiciones y vías de acceso en mal estado, siendo estos vulnerables ante la ocurrencia de movimientos en masa.

El resultado de la evaluación del nivel de riesgo, muestra que el 6.76% del área de estudio, se encuentra en un nivel de riesgo muy alto afectando al 19.73% de puestos de salud, 22.13% de instituciones educativas y al 27.64% de centros poblados. En contraste al nivel de riesgo bajo solo el 0.45% de puestos de salud, el 0.09% de instituciones educativas y el 0.24% de centros poblados no se encuentran afectados.

## Recomendaciones

Se recomienda realizar la evaluación del riesgo por sismo debido a que es un factor detonante para la ocurrencia de movimientos en masa en la cuenca hidrográfica del río Piura.

Se recomienda la integración de más variables y datos de campo para un mejor análisis en cuento a peligros de movimientos en masa para futuras investigaciones.

Se recomienda realizar estudios más exhaustivos para realizar proyectos que conlleven a la valoración de alternativas de protección y control de peligros a movimientos en masa.

## Referencias

- Adhikari,P., Hong, Y., Douglas, k. R., Kirschbaum, D.b., Gourley, j., Adler, R., brakenridge, G.R. (2010). A digitized global flood inventory (1998-2008):compilation and preliminary results. Nat. Hazards 55,405-422. DOI:<https://doi.org/10-177/0309133310384542>.
- Basu, T., Pal, S. (2018). RS-GIS based morphometrical and geological multi-criteriaapproach to the landslide susceptibility mapping in Gish RiverBasin, West Bengal, India. Advances in space research. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.10.033>
- Centro nacional de Estimacion, prevencion y Reduccion del riesgo de desastres (CENEPRED), 2015. Manual para la evaluacion de riesgos originados por fenomenos naturales. 2da edicion.
- Coyle, G., (2004). The Analytic Hierarchy Process (AHP). Practical Strategy: Structured Tools and Techniques. Cretaux, J.-F., Calmant, S., Del.

- Etongo, D., Kanninen, M., Epule, T. E., & Fobissie, K. (2018). Assessing the effectiveness of joint forest management in Southern Burkina Faso: A SWOT-AHP analysis. *Forest Policy and Economics*, 90, 31–38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.01.008>
- Fidel, L., Villacorta, S., Zabala, B., Vilchez, M., Valderrama, P., Nuñez, S., Luque, G., Rosado, M., Medina, L., Vasquez, J., Ochoa, M. (2010) Mapa de susceptibilidad por movimiento en masa del Perú. *Sociedad Geológica del Perú*. Vol. 9, 308 - 311.
- Haque, U., Silva, P. F., Devoli, G., Pilz, J., Zhao, B., Khaloua, A., Wilopo, W., Andersen, P., Lu, P., Lee, J., Yamamoto, T., Keellings, D., Wu, J., Glass, G. E. (2019). The human cost of global warming: Deadly landslides and their triggers (1995-2014). *Science of the Total Environment*, vol 682, 673-684. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.415>
- Komal, C., Mukesh, S., Alexander, K. (2020). Spatial modelling of natural and environmental vulnerability through remote sensing and GIS in Astrakhan, Russia. *The Egyptian journal of remote sensing and Space Sciences*. Vol, 30. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.05.005>
- Lee, S., and Pradhan, B. (2007). Landslide hazard mapping at Selangor Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*. Vol. 4, 33-41. DOI: 10.1007/s10346-006-0047-y
- Ministerio del Ambiente (2015). Mapa de susceptibilidad física del Perú: zonas propensas a inundaciones y deslizamientos en la costa y sierra frente a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos.
- PREVAED. (2019). Programa presupuestal de Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres.
- Niell W., Rivas. (2017). Identificación de zonas vulnerables, aplicando el sistema de información geográfica, unidad hidrográfica Chira-Piura. Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2615>
- Robert, H., Steven, V., Robert, S., Steven A. M., (2002). Applying environmental criteria to supplier assessment: a study in the application of the analytical hierarchy process, *European Journal of Operational Research*, vol. 141, 70–87. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00261-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00261-2)
- Saaty, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill Book Co, New York, p. 287.
- Saaty, T.L., Vargas, L.G., (2001). *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Kluwer, Dordrecht. Sahana, M., Sajjad, M., 2019.
- Smith, K., Ward, R., (1998). *Physical Processes and Human Impacts*. Wiley, Chichester.
- Vilches, M. (2018). Casos históricos de movimientos en masa que causaron grandes daños en el Perú. En *Taller Internacional Fortalecimiento de capacidades para mitigar los impactos de huacicos en Perú*. 15-19. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2590>
- Kurttila, M., Pesonen, K., Kangas, J., & Kajanus, M. (2000). Utilizing the analytic hierarchy process (AHP) in SWOT analysis—a hybrid method and its application to a forest-certification case. *Forest Policy and Economics*, vol 1. 41-52.

