



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS GEOLÓGICOS EN EL
CENTRO POBLADO LA REAL, DISTRITO DE APLAO,
PROVINCIA DE CASTILLA – AREQUIPA.**

TESIS

PRESENTADA POR:

JORGE ÁNGELO CHAVEZ LOAYZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi esposa Vanessa, quien cada día me alienta a lograr más objetivos en mi vida; a mis hermanos Katia y Alonso; a mi adorada madre Zulema y a mi amado padre Rodolfo que desde la eternidad sé que está orgulloso de mí.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ing. Leonel Palomino Ascencio, por los consejos y apoyo brindado para la elaboración del presente trabajo.

A mi universidad, por haberme forjado en sus aulas a ser una persona de bien.

A mis docentes de mi querida escuela profesional Ingeniería Geológica a los cuales estoy muy agradecido por las enseñanzas brindadas.

A mí amada familia y amigos por el aliento a conseguir mis anhelos.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.	19
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	20
1.2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
1.3.HIPÓTESIS.	21
1.4.OBJETIVOS.	21
1.4.1.OBJETIVO GENERAL.....	21
1.4.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.ANTECEDENTES	23
2.2.MARCO TEÓRICO	32
2.2.1.MOVIMIENTOS EN MASA	32
2.2.2.FACTORES QUE INCIDEN EN LOS MOVIMIENTOS DE MASA	33
2.2.3.TIPOS DE MOVIMIENTOS DE MASA	33
2.2.4.PELIGRO ORIGINADO POR FENÓMENO NATURAL	41
2.2.5.CLASIFICACIÓN DE LOS PELIGROS POR FENÓMENOS DE ORIGEN NATURAL	41
2.2.6.ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD	42
2.2.7.RIESGO	43
2.3.MARCO LEGAL.....	44



2.4.MARCO GEOMORFOLOGICO	45
2.4.1.GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	45
2.4.2.GEOMORFOLOGÍA LOCAL	49
2.5.MARCO GEOLÓGICO	51
2.5.1.UNIDADES GEOLÓGICAS REGIONALES.....	51
2.5.2.UNIDADES GEOLÓGICAS LOCALES.....	59
2.6.MARCO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL.....	63
2.6.1.FALLAMIENTO	63
2.6.2.PLEGAMIENTOS	64
2.6.3.RASGOS ESTRUCTURALES MENORES	64
2.7.PROCESOS GEODINÁMICOS EXTERNOS	65
2.7.1.DESLIZAMIENTO	65
2.7.2.CAÍDA DE ROCAS	65
2.7.3.EROSIÓN DE LADERAS.....	65
2.8.HIDROLOGÍA	66
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1.MATERIALES	67
3.2.METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	68
3.2.1.TIPO DE INVESTIGACIÓN	68
3.2.2.DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	68
3.2.3.VARIABLE E INDICADORES	69
3.2.4.MÉTODOS APLICADOS	70
CAPÍTULO IV	
CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	
4.1.UBICACIÓN Y ACCESO.....	76
4.2.CLIMA Y METEOROLOGÍA	78
4.2.1.VEGETACIÓN	78
4.2.2.TEMPERATURA	78
CAPÍTULO V	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1.ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN	81
5.1.1.UMBRALES Y PRECIPITACIONES ABSOLUTAS.....	83
5.2.ANÁLISIS DE PELIGROS POR FLUJO DE DETRITOS	84



5.2.1.SUSCEPTIBILIDAD.....	86
5.2.2.PARAMETROS DE EVALUACIÓN	94
5.2.3.ANÁLISIS DEL PELIGRO.....	95
5.3.ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS.....	97
5.3.1.ANÁLISIS DE LA DIMENSIÓN SOCIAL	98
5.3.2.ANÁLISIS DE LA DIMENSIÓN ECONÓMICA	110
5.3.3.ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD	125
5.4.CALCULO DEL RIESGO	128
VI. CONCLUSIONES	131
VII. RECOMENDACIONES	132
VIII. REFERENCIAS	133
ANEXOS	137

Área : Geotecnia

Tema: Evaluación de los Riesgos Geológicos en el Centro Poblado “La Real” distrito de Aplao, Provincia de Castilla – Arequipa.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 de enero de 2021.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de caída de rocas (CENEPRED).....	36
Figura 2: Esquema de volcamiento (CENEPRED).....	37
Figura 3: Esquema de deslizamiento traslacional (CENEPRED).....	38
Figura 4: Esquema de deslizamiento rotacional (CENEPRED).....	40
Figura 5: Esquema de flujo de detritos (CENEPRED).....	41
Figura 6: Flujograma de clasificación de peligros (CENEPRED).....	42
Figura 7: Flujograma de peligros generados por fenómenos de origen natural (CENEPRED).....	42
Figura 8: Esquema de intersección del peligro y la vulnerabilidad generando el riesgo (CENEPRED).....	43
Figura 9: Vista a la morfología de montañas colina estructural en roca sedimentaria de las formaciones Moquegua, Sotillo y Labra (Fuente propio).....	50
Figura 10: Terraza Aluvial donde se encuentra el centro poblado “La Real” (Fuente propio).....	51
Figura 11: Vista a la Fm. Labra con arenisca intercalada con limoarcillitas (Fuente Propio).....	60
Figura 12: Vista a la Fm. Sotillo conformada por areniscas, lutitas y limolitas pardo rojizas (Fuente Propio).....	61
Figura 13: Vista a la Fm. Moquegua en el flanco oeste del valle, parte superior de la Fm. Sotillo.....	62
Figura 14: Vista a depósitos de antiguos aluviones (Fuente propio).....	62
Figura 15: Ubicación de la zona de estudio (Fuente propia).....	77
Figura 16: Terraza Aluvial donde se encuentra el centro poblado “La Real” (Fuente propio).....	84
Figura 17: Flujograma de peligro (CENEPRED).....	85
Figura 18: Se aprecia la quebrada que es suprayacente del Centro Poblado “La Real” (1) avalancha de detritos y (2) flujos de detritos antiguos (Fuente propio).	86
Figura 19: Flujograma de vulnerabilidad (CENEPRED).....	98
Figura 20: Vista al Centro Poblado “La Real” (Fuente propio).....	98



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de movimientos en masa.	34
Tabla 2: Índice aleatorio.	74
Tabla 3: Método de comparación de pares o método Saaty.	74
Tabla 4: Coordenadas de ubicación de la zona de estudio.	76
Tabla 5: Acceso a la zona de estudio.	76
Tabla 6: Ubicación de la estación meteorológica de Aplao.	78
Tabla 7: Temperaturas máximas y mínimas.	79
Tabla 8: Precipitaciones máximas de la estación meteorológica Aplao.	79
Tabla 9: Humedad relativa de la estación meteorológica Aplao.	80
Tabla 10: Precipitación histórica de la estación Aplao periodo 2000-2019.	82
Tabla 11: Caracterización de extremos de precipitación.	83
Tabla 12: Umbrales calculados para la estación Aplao.	83
Tabla 13: Factores condicionantes y desencadenantes.	86
Tabla 14: Matriz de comparación de pares del parámetro precipitación.	87
Tabla 15: Matriz de normalización del parámetro precipitación.	87
Tabla 16: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro precipitación.	87
Tabla 17: Matriz de comparación de pares del parámetro pendiente.	88
Tabla 18: Matriz de normalización del parámetro pendiente.	88
Tabla 19: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro pendiente.	88
Tabla 20: Matriz de comparación de pares del parámetro geomorfología.	88
Tabla 21: Matriz de comparación de pares del parámetro litología.	89
Tabla 22: Matriz de normalización del parámetro litología.	89
Tabla 23: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro litología.	89
Tabla 24: Peso ponderado del parámetro precipitación.	90
Tabla 25: Descriptor del parámetro precipitación.	90
Tabla 26: Matriz de comparación de pares del factor condicionante.	91
Tabla 27: Matriz de normalización del factor condicionante.	91
Tabla 28: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del factor condicionante.	91



Tabla 29: Peso ponderado del parámetro pendiente.	92
Tabla 30: Peso ponderado del parámetro geomorfología.	92
Tabla 31: Peso ponderado del parámetro litología.	92
Tabla 32: Cálculo del factor condicionante.	93
Tabla 33: Cálculo del nivel de susceptibilidad.	93
Tabla 34: Nivel de susceptibilidad.	94
Tabla 35: Matriz de comparación de pares del parámetro tiempo de retorno del fenómeno natural.	94
Tabla 36: Matriz de normalización del parámetro tiempo de retorno del fenómeno natural.	95
Tabla 37: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro tiempo de retorno del fenómeno natural.....	95
Tabla 38: Calculo del nivel de peligro.....	95
Tabla 39: Nivel del peligro.	96
Tabla 40: Estratificación del nivel de peligro.....	96
Tabla 41: Matriz de comparación de pares del parámetro número de personas por viviendas.....	99
Tabla 42: Matriz de normalización del parámetro número de personas por viviendas.	100
Tabla 43: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro número de personas por viviendas.	100
Tabla 44: Evaluación del parámetro exposición social.	100
Tabla 45: Peso ponderado del parámetro número de personas por viviendas.	100
Tabla 46: Matriz de comparación de pares del parámetro grupo etario.	101
Tabla 47: Matriz de normalización del parámetro grupo etario.	101
Tabla 48: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro grupo etario.....	101
Tabla 49: Matriz de comparación de pares del parámetro tipo de discapacidad.	102
Tabla 50: Matriz de normalización del parámetro tipo de discapacidad.	102
Tabla 51: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro tipo de discapacidad.	102
Tabla 52: Evaluación de los parámetros fragilidad social.	102
Tabla 53: Peso ponderado del parámetro grupo etario.	103
Tabla 54: Peso ponderado del parámetro tipo de discapacidad.	103



Tabla 55: Cálculo del nivel de fragilidad social.....	103
Tabla 56: Matriz de comparación de pares del parámetro seguro de salud.....	104
Tabla 57: Matriz de normalización del parámetro seguro de salud.....	104
Tabla 58: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro seguro de salud.....	104
Tabla 59: Matriz de comparación de pares del parámetro programa social.....	105
Tabla 60: Matriz de normalización del parámetro programa social.....	105
Tabla 61: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro programa social.....	105
Tabla 62: Matriz de comparación de pares del parámetro conocimiento en GRD.....	106
Tabla 63: Matriz de normalización del parámetro conocimiento en GRD.....	106
Tabla 64: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro conocimiento en GRD.....	106
Tabla 65: Matriz de comparación de pares de la evaluación de los parámetros de resiliencias social.....	107
Tabla 66: Matriz de normalización de los parámetros de resiliencia social.....	107
Tabla 67: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido de los parámetros de resiliencia social.....	107
Tabla 68: Peso ponderado del parámetro seguro de salud.....	107
Tabla 69: Peso ponderado del parámetro programa social.....	108
Tabla 70: Peso ponderado del conocimiento en GRD.....	108
Tabla 71: Cálculo del nivel de resiliencia.....	108
Tabla 72: Matriz de comparación de pares de la vulnerabilidad social.....	109
Tabla 73: Matriz de normalización de la vulnerabilidad social.....	109
Tabla 74: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido de la vulnerabilidad social.....	109
Tabla 75: Calculo del nivel de la vulnerabilidad social.....	110
Tabla 76: Matriz de comparación de pares del parámetro cercanía de la vivienda a la zona de peligro.....	111
Tabla 77: Matriz de normalización del parámetro de cercanía de la vivienda a la zona de peligro.....	111
Tabla 78: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro de cercanía de la vivienda a la zona de peligro.....	111
Tabla 79: Evaluación del parámetro de exposición económica.....	112



Tabla 80: Peso ponderado del parámetro cercanía de la vivienda a la zona de peligro.	112
Tabla 81: Matriz de comparación de pares del parámetro estado de conservación de la vivienda.	112
Tabla 82: Matriz de normalización del parámetro estado de conservación de la vivienda.	113
Tabla 83: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro estado de conservación de la vivienda.	113
Tabla 84: Matriz de comparación de pares del parámetro material de las paredes de la vivienda.	113
Tabla 85: Matriz de normalización del parámetro material de las paredes de la vivienda.	114
Tabla 86: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro material de las paredes de la vivienda.	114
Tabla 87: Matriz de comparación de pares del parámetro material del techo de la vivienda.	114
Tabla 88: Matriz de normalización del parámetro material del techo de la vivienda..	114
Tabla 89: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro material del techo de la vivienda.	115
Tabla 90: Matriz de comparación de pares del parámetro servicio de agua potable..	115
Tabla 91: Matriz de normalización del parámetro servicio de agua potable.	115
Tabla 92: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro servicio de agua potable.	115
Tabla 93: Matriz de comparación de pares de la evaluación de los parámetros de fragilidad económica.	116
Tabla 94: Matriz de normalización de la evaluación de los parámetros de fragilidad económica.	116
Tabla 95: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido de la evaluación de los parámetros de fragilidad económica.	116
Tabla 96: Peso ponderado del parámetro estado de conservación.	117
Tabla 97: Peso ponderado del parámetro material de las paredes de la vivienda.....	117
Tabla 98: Peso ponderado del parámetro material del techo de la vivienda.	117
Tabla 99: Peso ponderado del parámetro del servicio de agua potable.	118
Tabla 100: Calculo del nivel de fragilidad.	118



Tabla 101: Matriz de comparación de pares del parámetro ingresos económicos.	118
Tabla 102: Matriz de normalización del parámetro ingresos económicos.	119
Tabla 103: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro ingresos económicos.....	119
Tabla 104: Matriz de comparación de pares del parámetro ocupación.	119
Tabla 105: Matriz de normalización del parámetro ocupación.	119
Tabla 106: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro ocupación.....	120
Tabla 107: Matriz de comparación de pares del parámetro actividad laboral.	120
Tabla 108: Matriz de normalización del parámetro actividad laboral.	120
Tabla 109: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro actividad laboral.	120
Tabla 110: Matriz de comparación de pares del parámetro tenencia de la vivienda..	121
Tabla 111: Matriz de normalización del parámetro tenencia de la vivienda.	121
Tabla 112: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro tenencia de la vivienda.	121
Tabla 113: Matriz de comparación de pares de la evaluación de los parámetros resiliencia económica.	122
Tabla 114: Matriz de normalización de la evaluación de los parámetros resiliencia económica.	122
Tabla 115: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido de la evaluación de los parámetros resiliencia económica.	122
Tabla 116: Peso ponderado del parámetro ingresos.	122
Tabla 117: Peso ponderado del parámetro ocupación.	123
Tabla 118: Peso ponderado del parámetro actividad laboral.	123
Tabla 119: Peso ponderado del parámetro tenencia de la vivienda.	123
Tabla 120: Calculo del nivel de resiliencia.....	124
Tabla 121: Matriz de comparación de pares de la vulnerabilidad económica.....	124
Tabla 122: Matriz de normalización de la vulnerabilidad económica.....	124
Tabla 123: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido de la vulnerabilidad económica.....	125
Tabla 124: Calculo del nivel de la vulnerabilidad económica.....	125
Tabla 125: Calculo del nivel de la vulnerabilidad total.....	125
Tabla 126: Nivel de vulnerabilidad.	126



Tabla 127: Estratificación del nivel de vulnerabilidad.	126
Tabla 128: Nivel de riesgo.	128
Tabla 129: Estratificación del nivel de riesgo.	128
Tabla 130: Matriz de riesgo.	130



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

PLANAGERD	Plan Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres
SINAGERD	Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres
GRD	Gestión de Riesgos de Desastres
EVAR	Evaluación de Riesgos
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SIGRID	Sistema de Información para la Gestión de Riesgo de Desastres
INGEMMET	Instituto Nacional Geólogo Minero y Metalúrgico del Perú
CENEPRED	Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres
INDECI	Instituto Nacional de Defensa Civil
SIG	Sistema de Información Geográfica
GPS	Global Positioning System
DEM	Digital Elevation Model
UTM	Universal Transversal de Marcator
R	Riesgo
P	Peligro
V	Vulnerabilidad
WGS	World Geodetic System
RMA	Riesgo Muy Alto
RA	Riesgo Alto
RM	Riesgo Medio
RB	Riesgo Bajo
PMA	Peligro Muy Alto



PA	Peligro Alto
PM	Peligro Medio
PB	Peligro Bajo
VMA	Vulnerabilidad Muy Alta
VA	Vulnerabilidad Alta
VM	Vulnerabilidad Media
VB	Vulnerabilidad Baja
Fm	Formación
Km	Kilómetros
MA	Millones de Años
Max	Máximo
Min	Mínimo
mm	Milímetros
PM	Procedimiento Multicriterio
PAJ	Procedimiento de Análisis Jerárquico
RC	Relación de Consistencia
IA	Índice Aleatorio
IC	Índice de Consistencia
N	Norte
NE	Noreste
NW	Noroeste
SE	Sureste
Medidas PR y RR	Medidas de Prevención del Riesgo y Reducción del Riesgo
Nm-mo	Neógeno Miocena - Formación Moquegua



Js-la

Jurásico – Formación Labra

P-so

Paleoceno – Formación Sotillo

Qh-al

Depósitos Recientes - Aluviales



RESUMEN

La presente investigación está orientada a la evaluación de los riesgos geológicos en el Centro Poblado “La Real”, distrito de Aplao, Provincia de Castilla del departamento de Arequipa, enfocado principalmente al proceso de Movimientos en Masa del tipo Flujo de Detritos, fenómeno natural que en estos últimos años ha causado estragos en dicha población a consecuencia de las lluvias excepcionales que se generan en los meses de enero, febrero y marzo. El presente estudio se encuentra en el flanco sur – occidental de la cordillera de los andes, el C.P. La Real se emplaza en una terraza aluvial, conformada por bloques, arenas limosas y arcilla, tiene una población aproximada de 846 habitantes (INEI, 2017). El objetivo de la presente es evaluar los factores condicionantes: Pendiente, Geomorfología y Litología, así como el factor desencadenante en este caso la Precipitación pluvial, los cuales ocasionan un nivel de susceptibilidad que al interactuar con la frecuencia del tiempo de retorno del fenómeno natural genera un grado de peligro. La metodología utilizada es el modelo matemático de Procedimiento de Análisis Jerárquico desarrollado por Thomas L. Saaty (1980), siendo procesadas por un sistema de información geográfica (GIS) obteniendo como resultado mapas temáticos de nivel de PELIGRO Alto y Muy Alto; nivel de VULNERABILIDAD Medio, Alto y Muy Alto; de la interacción de ambos parámetros se obtuvo nivel de RIESGO Alto.

Palabras Claves: Factores Condicionantes, Factores Desencadenantes, Flujo de Detritos, Movimientos de Masa y Riesgos Geológicos.



ABSTRACT

This research is aimed at the identification of geological risks in the “La Real” Population Center, district of Aplao, Province of Castilla in the department of Arequipa, focused mainly on Debris Flow, which is a process of mass movements, Natural phenomenon that in recent years has wreaked havoc on the population as a result of the exceptional rains that are generated in the months of January, February and March. The present study is located on the south-western flank of the Andes mountain range, the C.P. La Real is located on an alluvial terrace, made up of blocks, silty sands and clay, the population amounts to 846 inhabitants (INEI, 2017). The objective of this document is to evaluate the conditioning factors: Slope, Geomorphology and Lithology, as well as the triggering factor in this case Precipitation, which cause a level of susceptibility that, when interacting with the frequency of the return time of the natural phenomenon, generates a degree of danger. The methodology used is the mathematical model of the Hierarchical Analysis Procedure developed by Thomas L. Saaty (1980), being processed by a geographic information system (GIS) obtaining as a result thematic maps of a High and Very High DANGER level; a Medium, High and Very High level of VULNERABILITY; From the interaction of both parameters, a High RISK level was obtained.

Keywords: Conditioning Factors, Triggering Factors, Debris Flow, Mass Movements and Geological Risks.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Colca-Majes-Camaná, se caracteriza por su actividad agrícola, ganadera, turística y minera, no obstante por las características geomorfológicas, litológica-estructural por los procesos geodinámicos interno y externo, esta propenso a fenómenos naturales, los cuales causan un potencial peligro y vulnerabilidad en la población, ocasionados generalmente por la expansión urbana desordenada, falta de conocimiento en gestión de riesgos de desastres (GRD) o por la desidia de las autoridades en la gestión prospectiva, correctiva y reactiva en atención a la ley N° 29664. Los últimos años por la precipitación pluvial que se da en los meses de enero a marzo, ha generado movimiento de masa, principalmente por flujo de detritos estableciendo un nivel de fragilidad social, económica y ambiental. El Centro Poblado La Real, no es ajeno a este tipo de fenómenos naturales por las características geológicas que posee, en tal sentido se requiere evaluar el peligro, vulnerabilidad y riesgo, para así poder realizar mapas temáticos con la finalidad de ser utilizados en una adecuada toma de decisiones.

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

El estudio que pretendo realizar me permite evaluar los riesgos geológicos existentes por movimientos en masa, principalmente por flujo de detritos, puesto que en estos últimos años en el distrito de Aplao, provincia de Castilla – Arequipa, se suscitó huaicos, causando perjuicios en la población. Actualmente el Centro Poblado “La Real” está expuesto a este tipo de fenómenos naturales ya que presenta las condiciones que propician estos eventos. La evaluación de los factores condicionantes (geomorfología, litología y pendiente del terreno) y los factores desencadenantes (precipitación pluvial), es determinante para el análisis de susceptibilidad al que está realmente expuesta la



población ante este hecho inusual. El “Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales” desarrollado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres en concordancia con la ley N° 29664 que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) plantean medidas de control y mitigación de los riesgos de desastres, estableciendo una identificación de las zonas expuestas y así poder prevenir consecuencias negativas.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En estos últimos años en diferentes lugares del mundo se generaron fenómenos naturales como son: terremotos, tsunamis, inundaciones, movimientos de masa, huracanes, entre otros; los cuales al interactuar con el desarrollo de la población causaron pérdidas humanas, consecuencias en el hábitat animal, daños a las infraestructuras públicas y privadas, estos sucesos generaron que miles de personas perdieran su hogar, ocasionando un desequilibrio económico; ante lo insólito de estos eventos que se propician generalmente por la interacción de los factores naturales con las actividades antropogénicas. Los Gobiernos Nacionales, Regionales y Locales, deberán realizar una gestión prospectiva, correctiva y reactiva; elaborando procesos de estimación, prevención, reducción del riesgo, reconstrucción, preparación y respuesta de rehabilitación para poder sobrellevar este tipo de catástrofes. El 07 de febrero del 2019, en el distrito de Aplao, provincia de Castilla – Arequipa, específicamente en los sectores de Aplao, Casquina y Caspani se produjeron huaicos causando daños materiales y consecuencias fatales en la población, ya que sus viviendas se encuentran en zonas de cauce de quebradas las cuales se activan en los meses de enero a marzo, por el incremento de la precipitación pluvial atípica. El Centro Poblado “La Real” está circunscrita en el distrito de Aplao, siendo también vulnerable a estos fenómenos naturales, la cual por una mala planificación urbanística y desconocimiento de los peligros que se pudieran suscitar



ante el periodo de lluvias inusuales y las condiciones geológicas del lugar generan un determinado nivel de peligro y vulnerabilidad por movimientos de masa, principalmente del tipo flujo de detritos.

1.2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el riesgo geológico al que está expuesto el Centro Poblado “La Real” distrito de Aplao, provincia de Castilla – Arequipa, por movimientos en masa que se generan en los meses de enero a marzo?

1.3. HIPÓTESIS.

El riesgo geológico en el Centro Poblado “La Real”, distrito de Aplao, Provincia de Castilla – Arequipa, es de nivel Alto, en los meses de enero a marzo por lluvias intensas atípicas, produciéndose fenómenos naturales principalmente por movimientos en masa del tipo flujo de detritos, el cual ocasiona un grado de peligro y vulnerabilidad en la población.

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1. OBJETIVO GENERAL.

Identificar el riesgo geológico latente por movimientos de masa en los meses de enero a marzo el cual ocasionaría vulnerabilidad en el Centro Poblado “La Real” distrito de Aplao, provincia de Castilla – Arequipa.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar los factores condicionantes (pendiente, geomorfología y litología), que propiciarán los movimientos de masa por flujo de detritos en el Centro Poblado “La Real” distrito de Aplao, provincia de Castilla – Arequipa.
- Analizar los factores desencadenantes (precipitación pluvial), que producirían riesgos geológicos de movimientos de masa por flujo de detritos en el Centro Poblado “La Real”, distrito de Aplao, provincia de Castilla – Arequipa.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Los fenómenos naturales son procesos permanentes de movimientos y transformaciones que sufre la naturaleza, llegando a influir o impactar en la vida humana logrando convertirse en largo o corto plazo en un peligro, generando una determinada susceptibilidad en la población, por esta razón se crea el sistema nacional de gestión de riesgo de desastres (SINAGERD), como un sistema funcional, creado por la Ley N° 29664, como un sistema interinstitucional, sinérgico, descentralizado, transversal y participativo, con la finalidad de identificar y reducir los riesgos asociados a peligros o minimizar sus efectos, así como evitar la generación de nuevos riesgos, preparación y atención ante situaciones de desastres mediante el establecimiento de principios, lineamientos de política, componentes, procesos e instrumentos de la gestión del riesgo de desastres. Obligando a los gobiernos regionales y gobiernos locales a incorporar en sus procesos de planificación, de ordenamiento territorial, de gestión ambiental y de inversión pública, la gestión del riesgo de desastres, en concordancia con la política y el plan de gestión del riesgo de desastres PLANAGERD 2014 – 2021.

El CENEPRED, considera que la evaluación de riesgos (EVAR) es un procedimiento técnico, el cual permite calcular y controlar los riesgos, previa identificación de los peligros y análisis de las vulnerabilidades recomendando medidas de prevención y/o reducción así como valoración del riesgo de desastres, siendo importante por las siguientes razones:

- Ayuda a identificar actividades y acciones para prevenir la generación de nuevos riesgos o reducir los riesgos existentes, los cuales son incorporados en los planes de prevención y reducción del riesgo de desastres.



- Nos permite adoptar medidas estructurales y no estructurales de prevención y reducción del riesgo de desastres, las cuales sustentan la formulación de los proyectos de inversión pública a cargo de los sectores, gobiernos regionales y gobiernos locales.
- Nos permite incorporar la gestión de riesgo de desastres en la inversión pública y privada en los tres niveles de gobierno, permitiendo de esta manera que los proyectos de inversión sean sostenibles en el tiempo.
- Sus resultados son el insumo básico y principal para la gestión ambiental, la planificación, el ordenamiento y acondicionamiento territorial (plan de desarrollo urbano, zonificación ecológica, económica, entre otros).
- Contribuye a la toma de decisiones de las autoridades, para proporcionar condiciones de vida adecuadas a la población en riesgo.
- Permitir racionalizar el potencial humano y los recursos financieros, en la prevención y reducción del riesgo de desastre.

2.1. ANTECEDENTES

Elmes, M. (2006) de la Universidad de Chile. Sustentó la tesis denominada: “Análisis y evaluación de riesgos por movimientos en masa, inundación y sismicidad en el Piedmont de la Comuna de Puente Alto”. Siendo el objetivo desarrollar un estudio de riesgos en que se presente un análisis de peligros de movimientos en masa, inundación y sismicidad, y el grado de vulnerabilidad socioeconómica y tecnológica. Empleando la teoría de los conjuntos difusos y técnicas de evaluación multicriterio implementando dentro de un sistema de información geográfica, identificando las variables físico – ambientales más importantes como la geomorfología, vegetación, clima, hidrología, geología y suelos, condicionado por tres factores: la fragilidad del medio, el evento detonante y la energía del fenómeno. Se determinó que la mayor amenaza son las inundaciones que se presentan en los sectores bajos del Piedemont, los peligros o



amenazas por movimientos de masa se encuentran en un grado de probabilidad e intensidad en las vertientes de las subcuencas, el peligro de sismicidad afecta preferentemente en la zona distal del cono de deyección el durazno y las vertientes de las subcuencas del área.

Lara, M. (2007) de la universidad de Chile. Sustentó la tesis denominada: “Metodología para la evaluación y zonificación de peligro de remociones en masa con aplicación en quebrada San Ramón, Santiago oriente, región metropolitana”. El propósito de la investigación es desarrollar una metodología para evaluar el peligro de remociones en masa ante diversos escenarios climáticos y sísmicos, orientada específicamente a los fenómenos catalogados como deslizamientos en roca y en suelo, flujos y caída de rocas. La metodología consta de dos fases principales: la primera consiste de la evaluación de la susceptibilidad de la zona de estudio, mediante métodos de ponderación de factores condicionantes, la segunda fase comprende la evaluación del peligro de remociones en masa, basada en análisis cuantitativos probabilísticos y cualitativos de estabilidad de laderas y análisis de alcance de las remociones en masa. Como resultado se muestran que en general el peligro geológico se asocia fundamentalmente a deslizamientos de bloques y caídas de rocas en las laderas aledañas a las quebradas afluentes a la quebrada San Ramón; deslizamiento superficiales de suelo y flujo de detritos generados en las cabeceras de la hoya hidrográfica.

Guaman, G. (2012) de la Universidad San Francisco de Quito, Ecuador. Sustentó la tesis denominada: “Aplicación de SIG para el manejo de riesgos naturales en el área urbano de la ciudad de Loja”. El propósito de la investigación es inventariar en la urbe las zonas con afección de fenómenos de inestabilidad de terrenos, cuya información servirá para priorizar las posteriores intervenciones particulares en cada zona y aportar información a los planes de ordenamiento territorial del municipio de Loja. Con la



información recabada se continua con el proceso de generación del mapa de susceptibilidad a movimientos utilizando un método estadístico básico llamado “Índice de amenaza”, el método está basado en el cruce de un mapa de deslizamiento con varios mapas de parámetros, hay dos métodos principales para la evaluación de la susceptibilidad estadísticas de deslizamiento: multivariable y bivariado este último fue utilizado en la investigación. Como resultado se tiene que el 53.40% del área en 2573.6 hectáreas corresponde a zonas urbanizables, el 28.15% de 1356.63 hectáreas a zonas urbanizables con restricciones, el 18.46% de 889.7 hectáreas corresponde a terrenos no urbanizables.

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres – CENEPRED (2014), Perú. Elaboró el “Manual para la evaluación de riesgos originado por fenómenos naturales 02 versión”. El objetivo de este Manual es orientar los procedimientos para la evaluación de riesgos que permitan establecer medidas de prevención y reducción del riesgo de desastres y favorezcan la adecuada toma de decisiones por parte de las autoridades competentes de la gestión del riesgo, siendo un instrumento técnico orientado a la gran diversidad de profesionales que tiene relación directa o interés en el estudio y/o aplicación de los procedimientos metodológicos de evaluación de riesgo originados por fenómeno de origen natural en un ámbito geográfico determinado. Utilizando el método multicriterio (proceso de análisis jerárquico) para la ponderación de los parámetros de evaluación del fenómeno de origen natural y de la vulnerabilidad, permitiendo incorporar información cuantitativa y cualitativa, determinado los elementos expuestos en las dimensiones social, ambiental y económica.

Manrique, N. (2015) del instituto geológico, minero y metalúrgico, Perú. Realizó un informe técnico, denominado: “Evaluación de los peligros geológicos en el sector de



Yura, región y provincia Arequipa, distrito Yura”. Siendo el objetivo determinar los posibles peligros volcánicos que pudieran afectar el predio 454,653.10 m², ubicado en el distrito Yura. Realizando la recopilación de toda información cartográfica y geológica existente del área de estudio, para posteriormente realizar inspección de campo reconociendo depósitos volcánicos relacionados a eventos geológicos pasados. Se determinó que el predio en estudio puede ser utilizado como vivienda, pero siempre es necesario tener preparado planes de contingencia ante posible riesgo geológicos ante un evento volcánico, que pudiera generar peligros por: caída piroclástica, flujo piroclástico, lahares o flujo de lodo (huayco) y desbordes.

Barraza, E. (2016) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos de Lima, Perú. Sustentó la tesis denominada: “Estimación de riesgo de desastres en proyectos de inversión pública de los pueblos localizados en la cuenca del río Otari, distrito de Pichari, provincia la Convención región Cusco”. El propósito de la investigación fue identificar la estimación de riesgo de desastres que mitighen aquellos que se notan en los pueblos, así como el establecimiento descontrolado de hogares en zonas de peligro generados por los fenómenos de geodinámica interna y externa. Se empleó el método matemático desarrollado por Thomas L. Saaty (1980) en ella se utiliza una serie de matrices que permiten determinar los niveles, establecidos por INDECI de peligro y vulnerabilidad para luego hallar el riesgo. Se determinó que la cuenca del río Otari presenta un peligro de nivel medio y una vulnerabilidad de nivel alto, dando como resultado un riesgo de nivel alto de tal forma se hace necesario y obligatorio las medias preventivas.

Sosa, N. (2016) de la Universidad Nacional del Altiplano, Perú. Sustentó la tesis denominada: “Análisis de susceptibilidad a los peligros geológicos por movimientos en masa – poblados de Pampamarca y Acobamba, región Huánuco”. El propósito de la investigación es evaluar la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa



en los poblados de Pampamarca y Acobamba el cual abarca una extensión de 48,75 Km² las unidades litológicas comprenden los depósitos inconsolidados y unidades del substrato rocoso, las unidades geomorfológicas comprenden la vertiente o pie de monte aluvio torrencial (proluvial), colinas y montañas en rocas metamórficas, terrazas fluviales, vertientes o pie de monte coluvio deluvial y vertiente coluvial de detritos, identificando 67 peligros, el mapa de susceptibilidad está basado por el método del análisis estadístico bivariante. Como resultado se obtuvo el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa de las áreas de Pampamarca y Acomarca, estableciendo que el 33.11% del territorio comprendido en la zona estudiada presenta muy baja susceptibilidad, el 25.8 % baja susceptibilidad, el 4.22% moderada susceptibilidad, el 21.73% alta susceptibilidad y 15.06 % presenta muy alta susceptibilidad.

Cabana, N. (2017) de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Perú. Sustentó la tesis denominada: “Reconocimiento geológico y evaluación de riesgos de la zona Toroy – Lluta”. El propósito de la investigación fue realizar el reconocimiento geológico y evaluación de riesgos de la zona en mención para un mejor entendimiento de los fenómenos que están ocurriendo en el área de estudio, la cual está ubicada en el flanco occidental de la cordillera occidental de los andes del sur del Perú, a una distancia de 25 km al sureste del distrito de Huanca, abarcando el poblado de Lluta, el caserío de Toroy y sus alrededores. Para el estudio se empleó el reconocimiento geológico de la geomorfología y litología de la zona. Se determinó que existe riesgos geológicos como: deslizamiento, desprendimiento y fenómenos de erosión lateral del río comprometiendo áreas susceptibles a inundación, así como los fenómenos de geodinámica interna están a la vez afectando a toda esta zona con la presencia de sismo, erupción del volcán sabancaya que emite cenizas llegando a afectar con el tiempo a la población, ganado y terrenos agrícolas.



Castro, M. (2017) de la Universidad Nacional del Altiplano, Perú. Sustentó la tesis denominada: “Evaluación de riesgos geológicos de la zona urbana, distrito de Ollachea – Carabaya”. El propósito de la investigación es determinar el nivel de riesgo geológico de la zona urbana de Ollachea, estableciendo los criterios adecuados para poder prevenir a la población de posibles desastres naturales. En el área de estudio se presenta relieves con fuerte desniveles en las cimas y en el fondo del valle, laderas y tramos encañonados debido principalmente a procesos de erosión. Para determinar los resultados obtenidos se planteó una serie de medidas de control de amenazas o peligros geológicos, teniendo en cuenta una prevención adecuada puede reducir notablemente los daños que producen estos eventos aun nivel tolerable. Como resultado se obtuvo una zona de vulnerabilidad media a alta por estar en un valle glaciar y también comprendido en hoya amazónica.

Franco, A. (2018) del CENEPRED, Perú. Elaboró el informe técnico denominado: “Informe de evaluación del riesgo por flujos de detritos en el área de influencia del sector a norte del distrito de Yungay, provincia de Yungay, departamento de Ancash”. El propósito de la presente es analizar el impacto potencial del sector A norte del distrito de Yungay, en caso de presentarse un “Niño Costero” de intensidad similar a lo acontecido en el año 2017. Realizando la determinación del peligro, en el cual se identifica su área de influencia en función a sus factores condicionantes y desencadenantes para la definición de sus niveles, representándose en el mapa de peligro, así como comprender el análisis de la vulnerabilidad en sus dos dimensiones, el social y el económico. Se determinó que ante un peligro por flujos de detritos el nivel es Muy Alto, así mismo el nivel de la vulnerabilidad es Alta y el nivel de riesgo es Muy Alto.

Solorzano, M. (2018) del CENEPRED, Perú. Elaboró el informe técnico denominado: “Informe de evaluación de riesgos por flujo de detritos en el Centro Poblado



Alan García, distrito de Olmos, provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque”. El propósito de la presente es analizar el impacto potencial del área de influencia de flujo de detritos en el centro poblado Alan García, en caso de presentarse un “Niño Costero” de intensidad similar a lo acontecido en el verano del 2017. Realizando la determinación del peligro, en el cual se identifica su área de influencia en función a sus factores condicionantes y desencadenantes para la definición de sus niveles, representándose en el mapa de peligro, así como comprender el análisis de la vulnerabilidad en sus dos dimensiones, el social y el económico. Se determinó que el Centro Poblado Alan García se encuentra en una zona Media y Alto riesgo ante flujo de detritos, se identificó el nivel de peligro Alto y el nivel de vulnerabilidad Media y Alta.

Bellido, C. (2018) de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Perú. Sustentó la tesis denominada: “Evaluación de peligros geológicos en el distrito de Tiabaya”. El propósito de la investigación es la evaluación de los peligros geológicos, referidas al flujo de detritos que se presentan en el distrito. La geomorfología del área de estudio es dinámica, por efectos de eventos naturales y de acción antrópica. En el área de estudio se analizó durante temporadas de precipitación excepcionales (enero a marzo) los factores condicionantes analizados has sido; la geomorfología, litología y pendiente del terreno y el factor desencadenante considerada es la precipitación dichas variables fueron analizadas con la metodología Saaty (1980) y geoprocesadas en un sistema de información geográfica (GIS). De los resultados se obtuvo el mapa de peligros donde se resaltaron seis zonas de mayor atención: virgen de las peñas, urb. Cerro verde, el huayco, santa teresa, san pedro y laderas del batolito.

Zamalloa, M. y Medina, L. (2019) de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Perú. Sustentaron la tesis denominada. “Estudio de riesgo geológico por movimientos en masa, para la construcción del puesto de salud de Huayllati, del distrito



de Huayllati, provincia de Grau, región Apurímac”. El propósito de la investigación es determinar una evaluación geotécnica, así como obtener un mapa de movimiento de peligro en masa para la construcción del puesto de salud de Huayllati el cual constara de un solo piso. El área de estudio es de 1.5 Ha aprox., una altitud de 3535 m.s.n.m., geomorfológicamente se encuentra entre laderas y terrazas coluviales. En la zona de estudio se analizaron las propiedades mecánicas y de resistencia del suelo, asimismo se realizó el proceso de análisis jerárquico (AHP) para obtener un mapa de riesgos. Como resultado el lugar de estudio está en una zona de riesgo medio y se emplaza en una unidad geomorfológicamente conocida como un cono aluvial.

Núñez, S., Vela, J., Soncco, Y. y Taype, E. (2019) del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Perú. Realizaron un informe técnico, Geología Ambiental y Riesgo Geológico denominado: “Evaluación de peligros geológicos en los sectores de Aplao, Casquina y Caspani”. Siendo el objetivo determinar las condicionantes geológicas y geodinámicas y del entorno geográfico de la zona (naturales o antrópicas), que originaron los huaicos que afectaron los sectores de Aplao, Caspani y Casquina. Realizando sobrevuelos en dron obteniendo imágenes de la zona afectada, así como la información para desarrollar un DEM de información con alta resolución con la cual se desarrollaron simulaciones o escenarios de huaicos para las zonas de evaluación. Se determinó que las quebradas que cruzan las localidades de Aplao, Casquina y Caspani, en su cuenca media y baja no tienen un desfogue definido, porque las viviendas han invadido el cauce natural de las quebradas las cuales podrían reactivarse durante la época de lluvias excepcionales, determinando una elevada susceptibilidad a movimientos en masa.

Caceres, H. (2019) de la Municipalidad Provincial de Castilla, Perú. Elaboró el informe técnico denominado: “Informe de la evaluación de riesgos por flujo de detritos originado por lluvias intensas en el Centro Poblado de Aplao, Anexo de Casquina y



Caspani, distrito de Aplao, provincia de Castilla, departamento de Arequipa”. El propósito de la presente es analizar el impacto potencial en el ámbito de los anexos Casquina, Caspani y Centro Poblado de Aplao, del distrito de Aplao, en caso de presentarse nuevamente un evento de desastre por flujo de detritos, originados por lluvias intensas. Realizando la determinación del peligro, en el cual se identifica su área de influencia en función a sus factores condicionantes y desencadenantes para la definición de sus niveles, representándose en el mapa de peligro, así como comprender el análisis de la vulnerabilidad en sus dos dimensiones, el social y el económico. Se determinó que los anexos Casquina, Caspani y Centro Poblado de Aplao, se encuentran asentadas sobre antiguos depósitos de huaicos, las quebradas que los surcan se activan en épocas de lluvias excepcionales, identificando que los niveles de riesgo en Casquina son Medio y Alto; Caspani presenta niveles Medio, Alto y Muy Alto; y Aplao niveles de riesgo Bajo, Medio, Alto y Muy Alto.

Luna, R. (2019) de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. Sustentó la tesis denominada: “Evaluación de riesgos ante precipitaciones intensas y modelamiento hidrológico de la quebrada Huarangal, límite entre los distritos de Paucarpata – Mariano Melgar, provincia de Arequipa, región Arequipa”. El propósito de la investigación es elaborar una evaluación de riesgos ante lluvias intensas, para lo cual se realizó un estudio de riesgos por flujo de detritos con erosión superficial por escorrentía pluvial. En el área de estudio se analizaron los sectores de los distritos Paucarpata y Mariano Melgar la ocurrencia de lluvias intensas en los periodos de precipitaciones de enero - marzo generalmente, pueden generar flujos de lodo (huaycos) en la quebrada Huarangal además de la erosión superficial pluvial principalmente zonas de relleno. Como resultado se obtuvo que los riesgos por flujo de detritos llegan a presentar niveles Altos en los predios adyacentes a la Quebrada con presencia de Peligro Muy Alto.



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. MOVIMIENTOS EN MASA

Por movimientos de masa se entiende el desplazamiento del terreno que constituye una ladera o un talud, hacia el exterior del mismo y en sentido descendente, las laderas o taludes pueden ser naturales o bien conformados de manera artificial al efectuar excavaciones en el terreno o incluso terraplenes. Los movimientos de masa son procesos en los que se movilizan materiales por la acción de la gravedad y pueden ser peligrosos o incluso desastrosos cuando afectan a la vida y propiedades del hombre. Son fuente de inquietud para los ingenieros geotécnicos e ingenieros geólogos (Bromhead, 1986). Mientras que la geomecánica, y disciplinas conexas, proporcionan un entendimiento de los deslizamientos desde una perspectiva interna, la geomorfología aporta además una perspectiva externa (Crozier, 1986), los deslizamientos constituyen un riesgo cuando amenazan a la vida de las personas y sus propiedades. Este riesgo se ha incrementado en este último siglo por el crecimiento de la población y por el aumento del área necesaria para obtener los recursos imprescindibles, que en ocasiones fuerzan a la gente a explotar zonas con riesgo potencial (Crozier 1986). A esto se añade la emigración hacia grandes urbes y la realización de numerosas obras de ingeniería civil, que modifican el paisaje e introducen inestabilidad en las laderas, generando deslizamientos que pueden producir muertos y heridos, pérdidas materiales y daños ambientales. El peligro que presentan los deslizamientos en zonas tropicales es muy importante, debido a la presencia de regolitos más o menos potentes y a las elevadas precipitaciones existentes en estas regiones. Estas circunstancias facilitan la movilización superficial o profunda de la capa alterada, que se produce sobre todo con lluvias de tormenta. Por ello se hacen necesarios la realización de cartografías geomorfológicas detalladas sondeos de reconocimiento del terreno. Según los cálculos



de Ayala – Carcedo (1994) los movimientos de masa en el mundo, con más de 100 víctimas mortales, han sido del orden de 300,000 personas desde el año 1000.

2.2.2. FACTORES QUE INCIDEN EN LOS MOVIMIENTOS DE MASA

En el estudio de los movimientos de masa es de primordial importancia el reconocimiento de los factores que condicionan la estabilidad de laderas y aquellos otros que los desencadenan (Ayala et al., 1978; Gonzales de Vallejo et al., 2002; Phillips, 2005). La inestabilidad se determina no solo por el margen de estabilidad de una ladera, sino también por las fuerzas desestabilizadoras externas que afectan a la misma (Crozier, 1986). Los movimientos de masa están íntimamente ligados al ciclo geológico. La epirogenesis, meteorización, erosión, etc. son procesos de ladera de larga duración que preparan las condiciones para que se desencadenen los movimientos en masa. Los deslizamientos pueden deberse a varias causas, incluyendo las geológicas, morfológicas, físicas y antrópicas (Alexander, 1992; Cruden y Varnes, 1996), aunque solo una suele ser la desencadenante (Varnes, 1958). En algunos casos, pueden producirse deslizamientos sin que exista una causa evidente desencadenante, sino que se originan por varios factores que se combinan, como la meteorización que paulatinamente produce una disminución de la resistencia al cizallamiento de la ladera (Wieezorek, 1996).

2.2.3. TIPOS DE MOVIMIENTOS DE MASA

Los diferentes tipos de movimientos de masa implican tal cantidad de procesos y factores que ofrecen ilimitadas posibilidades de clasificación (Hansen, 1984). Pueden diferenciarse en función del tipo cinemático del movimiento, tipo de material movilizado, según su estado de actividad velocidad de movimiento y etapa de desarrollo, entre otros (Cruden y Varnes, 1996). La proliferación de clasificaciones ha dado lugar a una copiosa terminología científica. Una clasificación que es adecuada

para una región puede tener ambigüedades cuando se intentan utilizar en otra. La clasificación de Terzaghi (1943) está basada en las propiedades físicas de las rocas afectadas, Sharpe (1938) clasifica los movimientos de masa en función del material movilizado, tipo y velocidad de movimientos. Varnes (1958), con criterios similares a los sharpe, propuso una clasificación que mejoró considerablemente más tarde.

Tabla 1: Tipos de movimientos en masa.

TIPO	SUBTIPO
Caídas	Caídas de roca (detritos o suelo)
Volcamiento	Volcamiento de roca (bloque)
	Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso
Deslizamiento de roca o suelo	Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña
	Deslizamiento rotacional
Propagación lateral	Propagación lateral lenta
	Propagación lateral por licuación (rápida)
Flujo	Flujo de detritos
	Crecida de detritos
	Flujo de lodo
	Flujo de tierra
	Flujo de turba
	Avalancha de detritos
	Avalancha de rocas
Deslizamiento por flujo o deslizamiento por	



	licuación (de arena, limo, detritos, roca fracturada)
Reptación	Reptación de suelos
	Solifluxion, gelifluxion (en permafrost)

Fuente: CENEPRED

2.2.3.1 CAÍDA

Se define como una masa generalmente de roca que se desprende de un talud abrupto, mediante una superficie de corte normalmente pequeña (Ayala et al., 1986b). Los materiales descienden por caída libre si la ladera es subvertical y cuando el ángulo es menor las partículas saltan. En las laderas con inclinaciones menores a 45° las partículas se movilizan rodando (Cruden y Varnes, 1996). Los bloques desprendidos, al impactar con la ladera, suelen romperse en fragmentos más pequeños. Por otra parte, los desprendimientos suelen subdividirse en caídas de rocas, detritos y suelos, si bien la mecánica de los procesos es muy similar. La forma de la superficie inicial de rotura puede ser planar en cuña, escalonada o vertical (Flageollet y weber, 1996). Las causas son muy variadas y una de las más importantes se debe a la formación de hielo en las diaclasas, cuyo aumento de volumen del 9% pueden conducir al ensanchamiento de las mismas. Los sucesivos ciclos de hielo y deshielo producen la fragmentación de la roca. Las lluvias intensas también suelen constituir un importante factor desencadenante. Otro factor muy frecuente lo constituye la socavación de la ladera producida por erosión fluvial y marina. También las sacudidas sísmicas pueden ser un factor desencadenante.

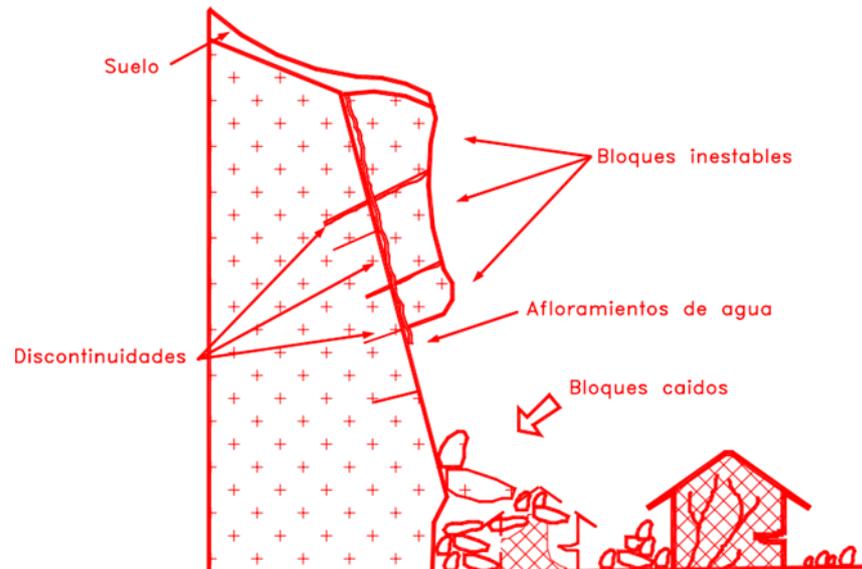


Figura 1: Esquema de caída de rocas (CENEPRED).

2.2.3.2 VOLCAMIENTOS

Un vuelco consiste en una rotación hacia afuera de la ladera de una masa de roca o suelo, en torno a un punto o eje por debajo del centro de gravedad de la masa desplazada (Cruden y Varnes, 1996). Los vuelcos son rotura que se desarrollan sobre materiales con estructuras verticales, formadas por planos de discontinuidad de la roca. El despegue de las columnas puede realizarse sobre una o varias superficies y la descompresión suele ser un requisito esencial. Un vuelco puede movilizar hasta mil millones de metros cúbicos (Dikau et al., 1996b). Se distingue varios tipos de vuelcos (Goodman y Bray, 1976; Cruden y Varnes, 1996); el vuelco por flexión se encuentra frecuentemente en pizarras, filitas y esquistos. El vuelco de bloques presenta columnas con diaclasas muy espaciadas y son típicos de calizas y areniscas masivas y rocas volcánicas columnares. En el vuelco en chevron en cambio de buzamiento se realiza a lo largo de una superficie de rotura. Finalmente, los vuelcos de bloques flexionados se caracterizan por flexiones falsamente continuas de largas columnas afectadas por movimientos a lo largo de numerosas diaclasas. Los factores que influyen en los vuelcos son los ciclos de hielo y deshielo, meteorización salina en areniscas y

disolución en calizas. Estos procesos de meteorización debilitan la roca, profundizan las grietas y facilitan la socavación basal. Por otra parte, los vuelcos de rocas se producen en grandes escarpes, mientras que los vuelcos en detritos se encuentran en pequeños escarpes (Dikau et al., 1996b; Dikau, 2004).



Figura 2: Esquema de volcamiento (CENEPRED).

2.2.3.3 DESLIZAMIENTO

Un deslizamiento es un movimiento de ladera de una masa de suelo o roca que tiene lugar fundamentalmente sobre superficies de rotura estrechas zonas de intensa deformación por cizallamiento (Cruden y Varnes, 1996). Con frecuencia, las primeras señales de movimiento del terreno son grietas superficiales y a lo largo de ellas se suele desencadenar el deslizamiento. Por lo tanto, se trata de un movimiento progresivo, en el que la masa desplazada puede deslizarse más allá de la superficie original de rotura sobre la superficie del terreno original, que constituye entonces una superficie de separación (Varnes, 1978). Los deslizamientos pueden ser diferenciados en función del grado de actividad; activos (con movimientos actual), durmientes o latentes (sin movimientos en el último año, pero que pueden reactivarse) y relictos o estabilizado (sin capacidad de reactivación).

2.2.3.4 DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL

En los deslizamientos traslacionales la masa progresa hacia fuera y abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y la componente rotacional es mínima (Varnes, 1978). La masa deslizada se desplaza sobre la superficie del terreno. El deslizamiento se produce a favor de planos de discontinuidad de las rocas (estratificación, pizarrosidad, fallas, diaclasas) y en depósitos con variaciones claras en la resistencia al cizallamiento (Dikau et al 1996a). Los deslizamientos traslacionales se pueden originar en rocas, detritos y suelos.

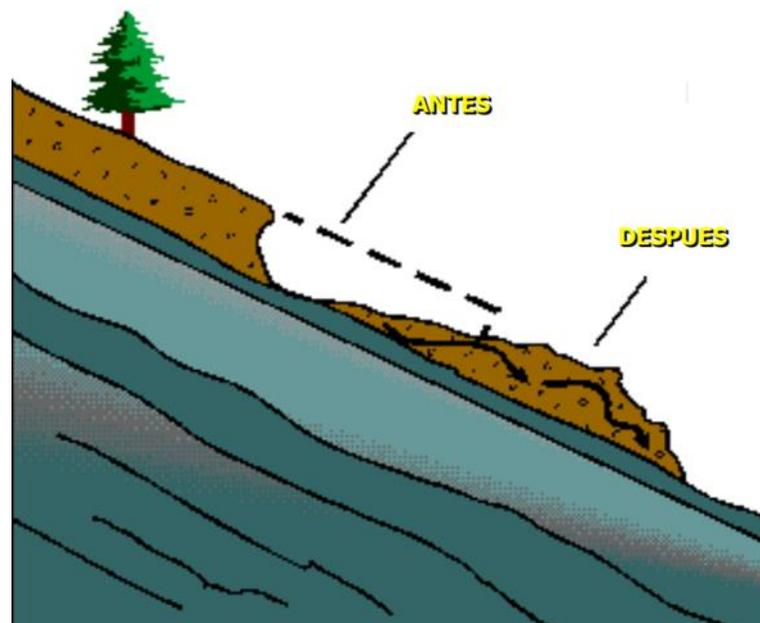


Figura 3: Esquema de deslizamiento traslacional (CENEPRED).

2.2.3.5 DESLIZAMIENTO ROTACIONAL

Son movimientos más o menos rotacionales, alrededor de un eje que es paralelo a las curvas de nivel de la ladera, y que implica un desplazamiento de cizalla (deslizamiento) a lo largo de una superficie cóncava, que es visible o puede reconocerse sin dificultad (Varnes, 1978). La superficie de cizalla puede tener forma circular o de cuchara. Los deslizamientos rotacionales pueden producirse en rocas, detritos y suelos. Presentan un pequeño grado de deformación interna en el material desplazado, que lo



distingue de los flujos (Buma y van Asch, 1996a). Después de iniciarse la rotura, la masa deslizada comienza a rotar y puede desintegrarse en varios bloques a partir de las grietas transversales desarrolladas. En el área de cabecera los bloques basculan contra la pendiente, en los que se pueden situar lagunas, que posteriormente se colmatan y evolucionan a zonas pantanosas con turba. Se pueden reconocer estrías en la superficie de deslizamiento y las grietas expuestas son concéntricas en planta y cóncavas hacia la dirección de movimiento. En los escarpes, la impermeabilidad del material puede dar lugar a regueros y barrancos (gullies). En la zona frontal de los deslizamientos de detritos o suelos, pueden desarrollarse lóbulos y sistemas de grietas de tensión radiales. Los deslizamientos rotacionales se originan en un amplio tipo de materiales con propiedades geotécnicas muy diferentes. En general, los deslizamientos rotacionales producen superficies onduladas (hummocky) y anomalías en la red de drenaje. Según Varnes (1958), los deslizamientos rotacionales de roca se mueven a velocidades desde unos pocos centímetros al año a varios metros por mes, mientras que los que afectan a suelos pueden alcanzar velocidades de hasta 3 m/seg. En cuanto a su tamaño, varían desde algunos metros a grandes complejos de varias hectáreas.

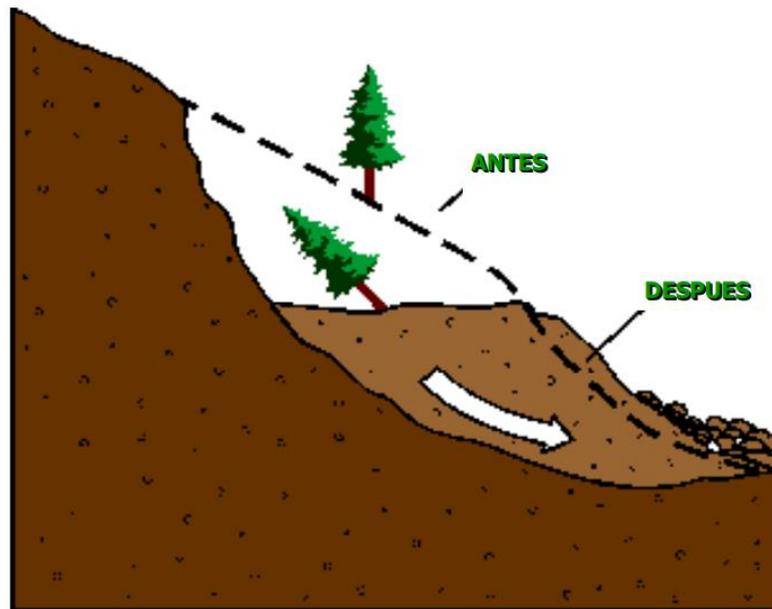


Figura 4: Esquema de deslizamiento rotacional (CENEPRED).

2.2.3.6 FLUJO

Los constituyen un tipo de movimientos en masa fluidificada por el agua o aire. El flujo implica una mayor deformación interna que un deslizamiento. Los movimientos tiene lugar sobre un gran número de pequeñas superficies de cizalla o porque el contenido en agua en la masa es tan alto, que llega a comportarse como fluido (Bromhead, 1986). Los flujos pueden subdividirse en varios tipos en función del material al que afectan: flujos de detritos (debris flows), flujos de tierras (soil flows) y flujos de roca (rock flows) (Dikau et al., 1996a; Dikau, 2004). Los debris flows movilizan fragmentos de roca, bloques y cantos en una matriz arenosa con escaso contenido en arcilla. Los flujos de tierra se desarrollan en arenas, limos y arcillas saturados en agua o licuefactados, que adquieren un comportamiento fluido (mudflow, flujo de barro), aunque también solo en arenas (grain flows). La reología del material y las morfologías resultantes de los flujos de tierras y detritos son similares, existiendo una transición gradual entre ambos extremos. Así, para que un flujo se considere mudflow, el material movilizado debe contener más del 50% de partículas finas.

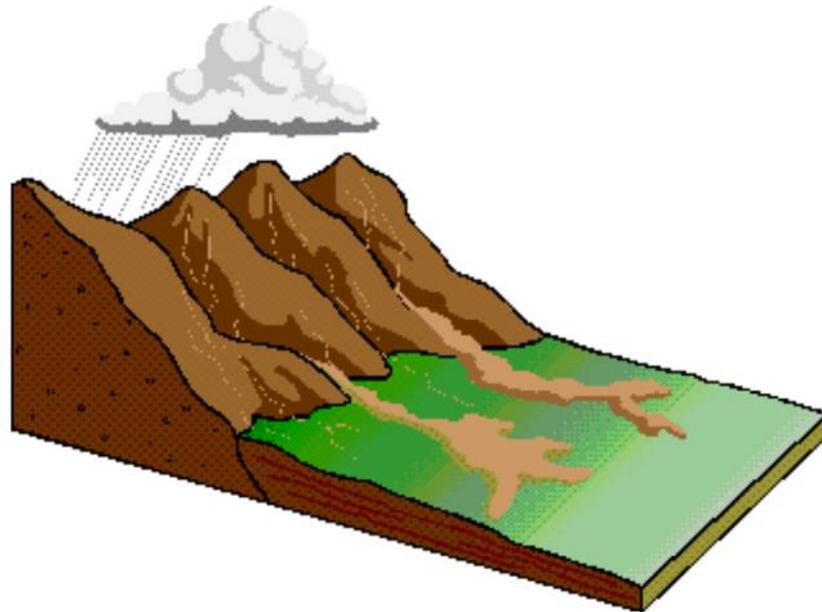


Figura 5: Esquema de flujo de detritos (CENEPRED).

2.2.4. PELIGRO ORIGINADO POR FENÓMENO NATURAL

El peligro es la posibilidad de que un fenómeno natural, potencialmente dañino se presente en un lugar específico, los fenómenos naturales causantes de peligros pueden ser monitoreados a través de sus características como: la intensidad, el periodo de duración y la frecuencia; si no hay un medio o componente expuesto como viviendas, áreas de cultivo, metrópolis, vías o áreas naturales; el peligro es irrelevante.

2.2.5. CLASIFICACIÓN DE LOS PELIGROS POR FENÓMENOS DE ORIGEN NATURAL

El peligro, según su origen, puede ser de dos clases; los generados por fenómenos de origen natural; y los incluidos por la acción humana. (CENEPRED, 2014).

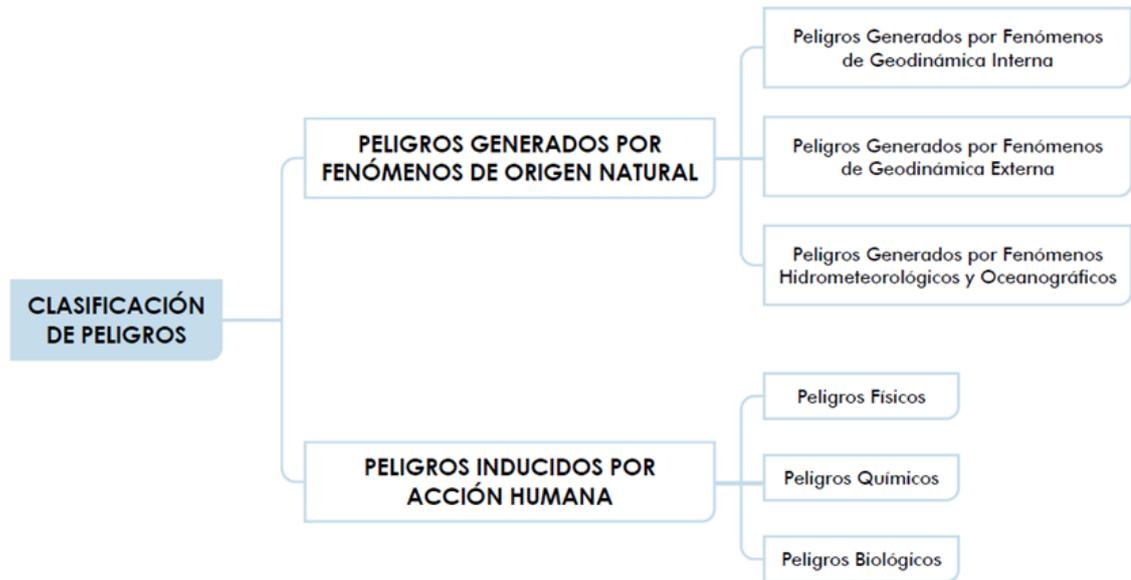


Figura 6: Flujograma de clasificación de peligros (CENEPRED).

Dentro de los peligros de origen natural, se pueden ordenar en tres grupos:

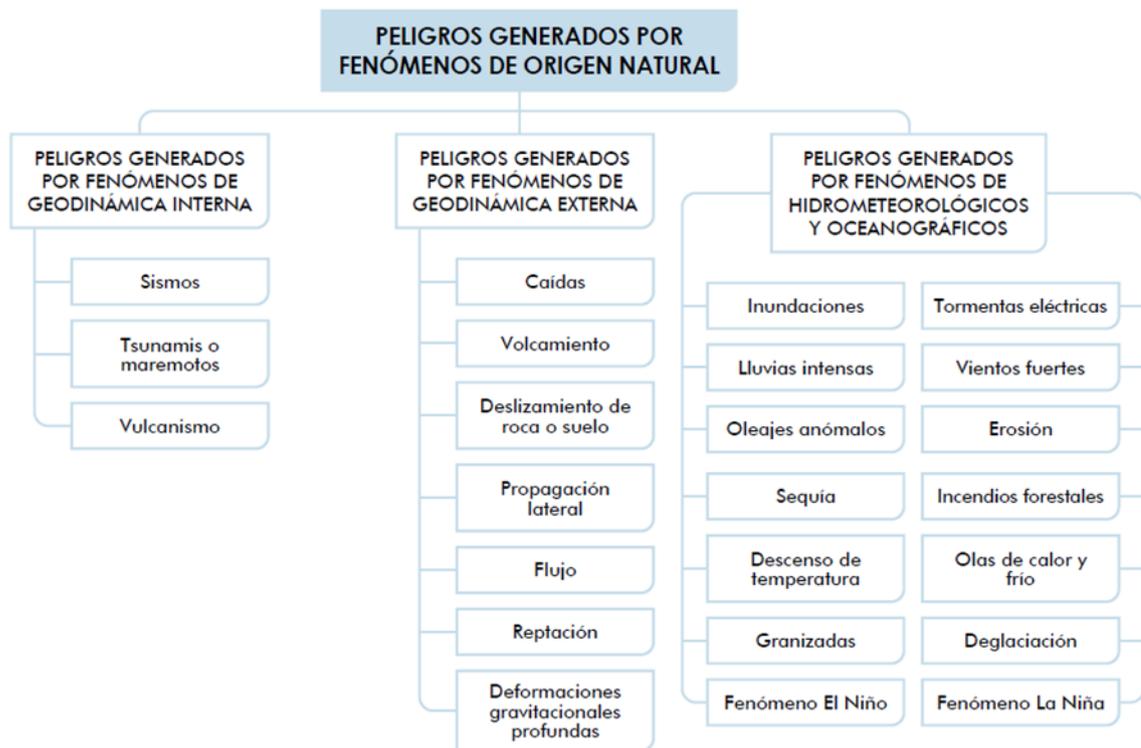


Figura 7: Flujograma de peligros generados por fenómenos de origen natural (CENEPRED).

2.2.6. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

Según la ley N° 29664 (SINAGERD), define a la vulnerabilidad como la susceptibilidad de la población, la estructura o las actividades socioeconómicas, de

sufrir daños por acción de un peligro o amenaza. Para la evaluación de vulnerabilidad de la zona de estudio, se considerara el análisis de las dimensiones: económica, social y ambiental.

2.2.7. RIESGO

Una vez identificados y analizados los peligros a los que está expuesta el ámbito geográfico de estudio mediante la evaluación de la intensidad, la magnitud, la frecuencia o periodo de recurrencia, y el nivel de susceptibilidad ante los fenómenos de origen natural, y realizado el respectivo análisis de los componentes que inciden en la vulnerabilidad explicada por la exposición, fragilidad y resiliencia, la identificación de los elementos potencialmente vulnerables, el tipo y nivel de daños que puedan presentar, se procede a la conjunción de estos para calcular el nivel de riesgo de área de estudio. (CENEPRED, 2014).

El riesgo es el resultado de relacionar el peligro con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y las consecuencias en un área determinada. (Carreño et. Al. 2005).

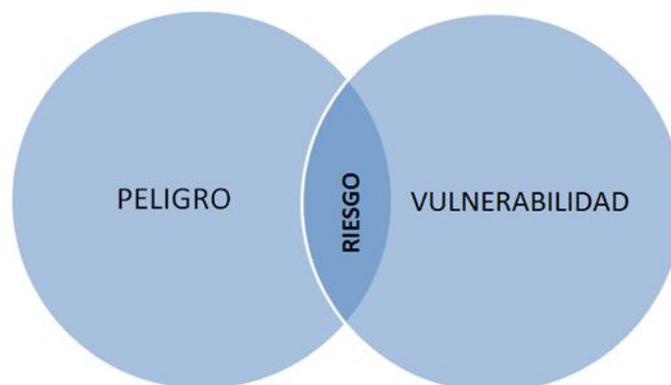


Figura 8: Esquema de intersección del peligro y la vulnerabilidad generando el riesgo (CENEPRED).



2.3. MARCO LEGAL

- ley N° 30779, ley que dispone el fortalecimiento del sistema nacional de gestión del riesgo de desastres (SINAGERD), establece las sanciones para alcaldes y gobernadores regionales que incumplan sus funciones según estipula la Ley N° 29664, de fecha 04 de junio del 2018.
- Ley N° 30645, que modifica la ley N° 29869, reasentamiento poblacional para zonas de muy alto riesgo no mitigable, de fecha 15 de agosto del 2017.
- Ley N° 27867, ley orgánica de gobiernos regionales, de fecha 08 de noviembre del 2012.
- Ley N° 29664, ley de creación del sistema nacional de gestión del riesgo de desastres (SINAGERD); y su reglamento por D.S. N° 048-2011-PCM, de fecha 18 de febrero del 2011.
- Política de Estado N° 32 - Acuerdo Nacional - Gestión del Riesgo Desastres, emitido el 17 de diciembre del 2010.
- D.S. N° 034-2014/PCM, Aprueba el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – PLANAGERD 2014-2021, orientada hacia procesos de GRD en la ley N° 29664.
- D.S. N° 111-2012-PCM, aprueba la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, como Política Nacional de obligatorio cumplimiento.
- D.S. N° 054-2011-PCM, Aprueba el plan estratégico de desarrollo nacional denominado PLAN BICENTENARIO: El Perú hacia el 2021.
- R.M. N° 222-2013-PCM, Aprueba lineamientos técnicos del proceso de prevención del riesgo de desastres.
- R.M. N° 220-2013-PCM, Aprueba los lineamientos técnicos del proceso de reducción del riesgo de desastres.



- R.M. N° 334-2012-PCM, Aprueba lineamientos técnicos del proceso de estimación del riesgo de desastres.
- R.J. N° 058-2013-CENEPRED/J, Aprueba el manual y la directiva para la evaluación de riesgo originados por fenómenos naturales.
- R.J. N° 072-2013-CENEPRED/J, Aprueba la guía metodológica para la elaboración del plan de prevención y reducción de riesgo.

2.4. MARCO GEOMORFOLOGICO

Se encuentra en el sector sur-occidental de relieve llano, forma parte de la planicie costanera y sector nororiental de topografía accidentada que constituye parte del flanco andino occidental; presenta unidades geomorfológicas variadas: laderas con pendientes abruptas, quebradas escarpadas, conos aluviales y cárcavas.

2.4.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

La geomorfología es accidentada y corresponde a la denominada cordillera occidental de los andes, que recorre paralela al litoral y determina desniveles de hasta 6000 metros a una distancia menor a los 160 km. Este valle interandino longitudinalmente tuvo su formación relacionada a procesos de fallamientos ocurridos en las etapas finales del levantamiento andino.

El río Colca conforma un cañón, que es uno de los de mayor recorrido en la vertiente occidental de los andes peruanos; sus nacientes se encuentran en el cerro Yanasalla, a 4886 m.s.n.m., al noreste del departamento de Arequipa, en el límite con el departamento de Puno, la cordillera de los andes determina diferentes unidades geomorfológicas, las cuales de oeste a este, son descritas a continuación:

2.4.1.1 RIBERA LITORAL

Esta unidad comprende la ribera marina, con una orientación SE-NO. La cuenca tiene una longitud de 12 km y un ancho de playa de hasta 70 metros. Al SE de Camaná,



se localiza un sector de acantilados entre 80 y 100 metros de altura, labrado en la formación camaná. Se localizan también geoformas de barras litorales, a escasos metros de la playa, en las cercanías de la desembocadura del río, compuestas de material grueso (arenas y gravas) y dispuestas transversalmente al cauce, originada en la interface río-mar, obstruyendo el cauce, sobre elevando el nivel de base y obstaculizando el drenaje de posibles avenidas. También encontramos pequeñas lagunas producto de la infiltración de las aguas de regadío y de la napa freática superficial.

2.4.1.2 CORDILLERA DE LA COSTA

Conjunto montañosos constituido por rocas metamórficas (gneis) e intrusivas, que se extiende con una orientación general NO a SE, muy cercano a al litoral; en algunos tramos, con elevación hasta los 1000 m.s.n.m., y un ancho que varía entre 15 y 21 km. Las laderas orientales son de suave pendiente, mientras que las occidentales son largas y escarpadas, en forma redondeada. En esta unidad, se localiza la zona de lomas, donde el moldeado es a manera de espolones alargados y algo aplanados.

2.4.1.3 PENILLANURA COSTANERA

Al norte de la cordillera de la costa, se extiende un relieve llano y suavemente ondulados, casi horizontales o levemente inclinados hacia el oeste, los cuales se les conoce como “pampas”. En el cuadrángulo de la yesera, tiene un ancho de 50 km, una elevación promedio entre 1000 y 1800 m.s.n.m., con algunas prominencias como el cerro Cono Cono, con 2400 m.s.n.m. se localiza también un sector, en el cuadrángulo de Chuquibamba, con cotas de hasta 4000 m.s.n.m. las evidencias de campo confirman que es la misma unidad levantada por fallamiento. La pampa de majes es parte de esta unidad, que está conformada por las Pampas Espíritu Santo, Pacayura, Gran Pampa del Aliso, del viento, Colorada y otras; todas ellas disectadas por quebradas secas, anchas, de fondos planos y poco profundos. El río majes corta la monotonía del paisaje al



formar un valle relativamente ancho, con vegetación y con desnivel de casi 850 metros. En esta unidad, la acción eólica se manifiesta en algunos sectores formando dunas con dirección SW-NE y mantos de arena no muy desarrollados.

2.4.1.4 CORDILLERA OCCIDENTAL

Esta unidad es el resultado de procesos de plegamientos y levantamientos ocurridos en el mesozoico y cenozoico, así como de la denudación originada por agentes geológicos, como los ríos, glaciares y vientos. Alcanza una cota de 4500 m.s.n.m., y comprende los siguientes rasgos geomorfológicos:

- **FRENTE OCCIDENTAL:** Esta unidad tiene una dirección NO-SE adyacente a la pampa costanera, dando un cambio notable en el perfil fisiográfico. Está constituida por rocas intrusivas; al SE del río Majes, se expone un basamento cristalino. Morfológicamente, se caracteriza por una “barrera” que se remonta bruscamente a alturas superiores a 3000 m.s.n.m.; casi la totalidad de su drenaje se halla en etapa juvenil.
- **ZONA DE VOLCANES DEL BARROSO:** Está constituida por centros volcánicos del grupo barroso, más o menos destruidos, los que constituyen altas cumbres modificadas por circo glaciares que bajan en forma radial. La topografía que presenta es más o menos agreste, encontrándose así planicies que son producto de derrames volcánicos. De estos volcanes los más importantes son Antapuna (al norte de Huancarama), cerró Sani, Chuquihua, volcanes Mauras y Cajchaya, el volcán Coropuna y otros. La morfogénesis de este elemento está relacionada con una actividad volcánica relativamente joven: de 2 millones de años aproximadamente (Salas, 2003).
- **VOLCANES DE ANDAHUA:** Esta zona está conformada por una depresión alargada con dirección N30°O. Su morfología es peculiar dado que en dicha depresión



se encuentran conos volcánicos recientes alineados. Esta depresión tiene origen tectónico, debido a una tensión regional durante el cuaternario reciente, lo que provocó un fallamiento gravitacional y de separación de bloques limitados por fallas preexistentes, aparentemente sin movimiento, conduciendo a un activo vulcanismo, que a su vez fue la última manifestación del magmatismo andino.

2.4.1.5 CAÑÓN Y VALLES

Los paisajes montañosos se presentan entre los 3000 m.s.n.m., y 5000 m.s.n.m., con pendientes pronunciadas, en las que la erosión (principalmente fluvial) ha provocado la formación de fosos profundos.

Hasta la localidad de Cabanaconde el valle es amplio, con superficies de pendientes suaves, donde se han asentado varios poblados. Aguas abajo se produce el encañonamiento del río Colca, con fuertes pendientes que bordean los 60° de inclinación, que en algunos casos forman acantilados verticales de cientos de metros de desnivel como los observados en Tapay, Cosñirgua, San Juan de Chuccho o Malata. En esta unidad destacan:

El cañón del río Colca, una depresión labrada por dicho río en una longitud de 64 km, desde la localidad de Pinchocollo hasta la desembocadura de la quebrada Andamayo. Luego de su paso por la antigua población de Maca, la pendiente del río aumenta notablemente, dando lugar al denominado Cañón del Colca, el mismo que alcanza su mayor profundidad cerca del famoso mirador de Cruz del Cóndor. Es uno de los cañones, más profundos del mundo, con 3670 metros de profundidad. El cañón del río Colca corta rocas precámbricas (gneis), mesozoicas (areniscas, lutitas, calizas), cubiertas por rocas volcánicas y volcano-sedimentarias, tales como lavas dacíticas, tobas, brechas, andesitas, etc. En algunas zonas se distinguen valles estrechos como es el caso del valle del río Molloco antes de desembocar en el Colca. Los valles están



formados por la acción erosiva del agua, mientras que en las partes altas son de origen glacial, como en el río Sonco.

2.4.1.6 PLANICIE ALTA (PUNA)

Caracterizada por poseer una topografía ligeramente ondulada a casi llana, con elevaciones que varían entre los 4500 y 4900 m.s.n.m., en la que destacan cerros y volcanes que sobrepasan los 5000 m.s.n.m., como el Ampato, Sabancaya, Mismi, entre otros; se caracteriza también por presentar lagunas y bofedales. Esta unidad fue erosionada durante el Pleistoceno; sus formas en toda el área presentan rasgos típicos de glaciares de valle.

Hay elevaciones que se encuentran por encima de los 5000 m.s.n.m., con presencia de nieve; en algunos casos comprende conos volcánicos. En la cuenca se localizan zonas glaciadas del Coropuna, Camiri-Chila, Ticsa-Aniscopampa-Juñopunta, Sabancaya, Amapato, Huicayo, Bomboya, Riura Conde y Ninaspata-Surihuiri-Cullucunca-Ccaccansa-Jatumpila. La mayoría de estos nevados está en franco retroceso glacial, sujeto a las condiciones climatológicas; el nevado Sabancaya presenta ausencia total de nieve por su actividad volcánica reciente.

2.4.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

En el área de estudio, se pueden apreciar 02 unidades geomorfológicas las cuales se describen a continuación:

2.4.2.1 SUBUNIDAD DE MONTAÑA COLINA ESTRUCTURAL EN ROCAS SEDIMENTARIAS

En la zona de estudio se identificó la unidad morfológica de montaña-colina estructural desarrollada en rocas sedimentarias; litológicamente se emplaza en rocas sedimentarias de las unidades litológicas: Formación Moquegua, Formación Sotillo y Formación Labra, presentando laderas con pendiente moderadas a pronunciadas.

En esta subunidad geomorfológica la orogénesis es parte de un proceso por actividad tectónica y modelada por procesos exógenos de degradaciones determinados por la lluvia de escorrentía, la cual está asociada a fenómenos naturales de movimientos en masa, principalmente por flujo de detritos.



Figura 9: Morfología de montañas colina estructural en roca sedimentaria de las formaciones Moquegua, Sotillo y Labra (Fuente propio).

2.4.2.2 SUBUNIDAD TERRAZA ALUVIAL

En el área de estudio dicha subunidad son parte de llanura de inundación que están por encima del nivel máximo del cauce del río majes, como resultado de la incisión del mismo, comúnmente llamado deposito aluvial o relleno aluvial, la llanura es relativamente plana, con pendiente que va de 0° a 8° constituidas por aluviones que consecutivamente a través de un determinado tiempo desarrollaron su morfología, emplazándose entre el río y los márgenes del valle.



Figura 10: Terraza Aluvial donde se encuentra el centro poblado “La Real” (Fuente propio).

2.5. MARCO GEOLÓGICO

2.5.1. UNIDADES GEOLÓGICAS REGIONALES

La formación geológica regional esta descrita en el “Estudio Geodinámico y Evaluación de Peligros del Valle de Majes. UNSA – INDECI, 2001”, así como el “Boletín N° 20” (Cuadrángulo de Aplao - INGEMMET).

2.5.1.1 COMPLEJO BASAL DE LA COSTA

Bellido (1960) aplicó esta denominación a rocas metamórficas compuestas por gneis y esquistos, asociados con dioritas y granitos antiguos, que afloran en gran parte de la Cordillera de la Costa del Sur del País. En la hoja de Aplao, las rocas del Complejo basal afloran en los flancos del valle de Majes, entre las localidades de Punta Colorada y la Hda. Sarcas, y a partir de la Hda. Torán hacia el sureste, prologándose a la hoja vecina de La Yesera. Otros afloramientos de las mismas rocas se presentan en la esquina suroccidental del cuadrángulo, formado colinas y cerros bajos que se pierden gradualmente bajo los aluviales de la llanura costanera.

- **GNEIS:** Salvo unos afloramientos de diorita gnéisica, el gneis constituye casi la totalidad de las rocas del Complejo basal dentro de la Hoja de Aplao. El gneis se



presenta como una roca compacta, ligeramente intemperizada, de color gris verdoso que varía a gris rojizo. Por lo general, muestra una estructura bandeada bastante definida, en el fondo y laderas de las quebradas, especialmente en el valle de Majes, donde las bandas tienen espesores de 0.5 a 1 cm y excepcionalmente hasta 100 cm.; en otras localidades como en Loma Larga y Quebrada Molles, el bandeamiento es menos pronunciado o ausente. Las bandas claras consisten de feldespato y cuarzo, y las oscuras de biotita y hornblenda.

- **DIORITA GNÉISICA:** En el Morro Sihuas se ha observado una diorita de color gris parduzco, de textura granular, de grano medio y fractura desigual, que muestra una cierta alineación de sus elementos. Entre sus componentes macroscópicos se distinguen plagioclasas cuarzo y ferromagnesianos. Observa al microscopio la roca presenta textura granular xenomorfa gnéisica y la siguiente composición mineralógica: cuarzo en granos alotriomorfos aplastados, con fuerte extinción ondulante, cuyos bordes, en el contacto con la plagioclasas, están corroídos; plagioclasas fuertemente caolinizadas y calcitizadas de formas más o menos lenticulares; biotita muy cloritizada que contiene magnetita. Además, se presentan algunos cristales de granate, los porcentajes de los componentes son: cuarzo 35%, biotita 27%, plagioclasa 35% y granate 3%. La roca ha sido clasificada como diorita cuarcífera de textura gnéisica.

2.5.1.2 FORMACIÓN TORÁN

El nombre de formación Torán se designa a una secuencia de rocas sedimentarias que afloran en ambas laderas del valle de Majes. La formación consiste de areniscas bruno-rojizas, areniscas y lutitas gris verdosas y conglomerados de base, que descansan en discordancia sobre el gneis del complejo basal, y están cubiertas en discordancia angular por el miembro superior de la formación Moquegua.



2.5.1.3 GRUPO AMBO

En la parte de la mitad Norte del Cuadrángulo, en los cerros Matacaballos y Lubrinillas, aflora una secuencia de más de 800 m., de lutitas grises y grises rosáceas, limosas bien laminadas que contienen materias carbonosas, que hacia la base alternan con algunos estratos delgados de cuarcitas y areniscas gris verdosas, calizas brunas, lutitas y limolitas esquistas oscuras, cubiertas en discordancia angular por la formación Moquegua. El rumbo medio de la secuencia es $N32^{\circ}W$ y la inclinación 35° SW, pero las capas inferiores llegan hasta 63° , debido probablemente a las instrucciones. Tanto el cerro Matacaballos como Lubrinillas constituyen remanentes de erosión, mayormente circundados por aluviones.

2.5.1.4 GRUPO YURA

Jenks (1948) describe por primera vez la formación Yura en la hoja de Arequipa; posteriormente, debido a que es posible distinguir unidades mapeables dentro de su secuencia, varios geólogos le han asignado la categoría de grupo, y como tal es considerado en este informe. En el área de la hoja Aplao los afloramientos de este grupo se presentan en las laderas del Valle de Majes, aguas arriba de Corire, así como en la confluencia de las quebradas de Sicera y Huascán y en la región de Lluta. A causa de la solidez y resistencia de las rocas que conforman este grupo, sus afloramientos constituyen farallones en los cortes producidos por los ríos, que contrastan con los taludes tendidos que forman las rocas de la formación Moquegua, como podemos observar muy bien en el trayecto de Corire a Huancarqui. En las vecindades de Lluta, los horizontes cuarcíticos dan lugar a pendientes de buzamiento. La litología del grupo Yura consiste principalmente de cuarcitas blanco-grisáceas, blanco-amarillentas, grises y rosadas, con intercalaciones de lutitas grises y gris oscuras y areniscas blanco-grisáceas hacia la base. En el valle de Majes, cerca de la parte media de la secuencia



aflorantes, se intercalan calizas gris oscura. Entre las haciendas La Real y la Barranca; sills lenticulares de composición intermedia perturban la secuencia normal, a tal grado que vistos a la distancia, dan la impresión de ser verdaderas discordancias. En la margen oriental del valle, entre las haciendas Casa Grande y Rancho Alegre, las cuarcitas y lutitas tienen un rumbo $M60^{\circ}E$ con buzamientos de $30 - 38^{\circ}$ al NW. Más al norte, las exposiciones son muy pequeñas y finalmente, aguas arriba de Huancarqui, se hallan muy perturbadas por su cercanía a un intrusivo. Un pequeño remanente de erosión, constituido por cuarcitas y lutitas de este grupo, se expone en la confluencia de las quebradas de Huacan y Sicera. Las lutitas de este grupo en especial las que encierran fauna, sugieren una sedimentación en un mar tranquilo, cercano al litoral. Las calizas de Querulpa, de origen marino, a juzgar por sus intercalaciones de lutitas carbonosas, deben haberse formado bajo condiciones reductoras; mientras que las cuarcitas, en particular las que tienen laminación cruzada, probablemente son de origen continental (eólico).

2.5.1.5 FORMACIÓN MURCO

Hacia el ángulo noreste de la hoja y a pocos kilómetros al sur de la localidad de Lluta, existen dos pequeños afloramientos alargados en dirección este-oeste, constituidos por arcillas y areniscas predominantemente rojas y en parte abigarradas, con intercalaciones de conglomerados grises, similares lo descrito por Jenk como formación Murco en la hoja de Arequipa, la localidad típica, el pueblo de Murco, se halla relativamente cerca de Lluta. En la hoja de Aplao, la formación Murco alcanza unos 80 m., de espesor, su contacto con las cuarcitas del grupo Yura es transicional y soporta con aparente concordancia a las calizas Arcurquina. La formación se halla conformando los flancos de un sinclinal y de un anticlinal adyacente; esta última estructura ha sido cortada en su flanco Sur por el batolito de la Caldera.



2.5.1.6 CALIZAS ARCURQUINA

En el área de Lluta afloran calizas gris claras con estratificación delgada, nódulos de chert de 10 a 15 metros de grosor, que reporta sobre las areniscas de la formación Murco; sin embargo, las relaciones entre ambas unidades no son claras, debido al plegamiento, pero regionalmente han sido informadas como yacentes en concordancia aparente. El límite superior es desconocido por haber sido denudado, hallándose solamente cubierta en parte por materiales clásticos cuaternarios.

2.5.1.7 FORMACIÓN MOQUEGUA

G.I. Adams (1906) describió la formación Moquegua y posteriormente, G. Steinmann (1930) la dividió en dos miembros. En el área del presente trabajo, la formación Moquegua está ampliamente distribuida, habiéndose identificado como tal, porque sus afloramientos aparte de que son muy similares, se presentan casi en forma continua desde su localidad típica.

- **MOQUEGUA INFERIOR:** Este miembro se presenta principalmente en ambas laderas del valle de Majes, desde la latitud de Corire hasta el batolito por el norte aflorando también en otros lugares. En el cuadrángulo estudiado, las capas del Moquegua inferior, descansan en discordancia angular sobre los grupos Ambo, Yura y la superficie erosionada del batolito, soportando a su vez con débil discordancia al Moquegua Superior. Las capas se inclinan ligeramente al SW, salvo en aquellos sitios donde se han producido inclinaciones más fuertes por el reajuste de fallas preexistentes, o por la compactación de los sedimentos sobre una topografía similarmente inclinada. La litología consiste de areniscas arcósicas, arcillas rojas y conglomerados. Las primeras son de grano medio, hasta conglomerádico, presentándose a veces, en bancos de 50 a 150 cm. Las arcillas se intercalan también con láminas de yeso. Los conglomerados son abundantes y mayormente incoherentes.



- **MOQUEGUA SUPERIOR:** Las rocas de este miembro, juntamente con los aluviones cuaternarios, ocupan una gran parte del área del cuadrángulo de Aplao, sus mejores exposiciones se hallan en el valle de Majes donde, más o menos, desde la hacienda Pedregal hacia el Norte, yacen con suave discordancia erosional sobre el miembro Moquegua inferior. Además reposan directamente sobre el Complejo basal, la formación Torán y el batolito. Este miembro es fácilmente distinguido por sus tonalidades claras que contrastan con las rojizas del Moquegua inferior, por lo general sus capas tienen posición horizontal y en algunos casos muestran una ligera inclinación al suroeste. La litología consiste principalmente de areniscas blanco grisáceas, de grano medio a fino, hasta conglomerádicas, con algunas capas de arcilla y conglomerados de cantos chicos.

2.5.1.8 CONGLOMERADO ALUVIAL PLEISTOCÉNICO

Una gran parte de la pampas costaneras del cuadrángulo de Aplao está constituida por un conglomerado ligeramente consolidado, formado por elementos de composición y tamaño muy variados, el cual yace en discordancia sobre las rocas de la formación Moquegua, y esa e parte cubierto por depósitos eólicos aluviales más reciente. El conglomerado es mayormente macizo y en otros casos con estratificación en bancos gruesos, de posición subhorizontal o suavemente inclinados al suroeste. Una sección bien expuesta de este conglomerado se encuentra en el flanco occidental del valle del Sihuas, en el corte de la carretera Panamericana, con un grosor superior a los 150 m., y compuesto por conglomerados de diferentes textura y diagenizados; cuyos elementos mayormente bien redondeados corresponden a gneis, granito, granodiorita, riolita, traquita, andesita y cuarcita, con intercalaciones lenticulares de arcillas grises y cenizas blanquecinas. A lo largo del valle del Sihuas, se observa que el tamaño de los clásticos disminuye a medida que incrementa la distancia al flanco andino occidental.



Dicha disminución en el tamaño de los elementos ha dado lugar en determinadas áreas, como la de Santa Rita de Sihuas, a una textura apropiada para trabajos agrícolas.

2.5.1.9 TUFOS VOLCÁNICOS CUATERNARIOS

En los flancos del valle de Sihuas, entre las localidades de Tambillo y Pitay, existen restos de depósitos volcánicos consistentes de tufos blancos y rosados, que descansan sobre el miembro de la formación Moquegua. En la ladera Oeste del valle, entre Santa Isabel de Sihuas y Sondor, al pie de la carretera una de las exposiciones consiste de tufo rosado en la base, marrón clara en el medio y blanco en el tope, mayormente de naturaleza riolítica. El tufo es el más compacto de los tres, su grano es de medio a fino, pero también contiene clásticos hasta medio centímetro; la masa granular mayormente es de ortosa a la que acompaña pequeñas proporciones de cuarzo en granos de 0.5 a 2 mm y laminillas de biotita de 0.25 a 1 mm. El tufo marrón claro es de grano fino blando y más poroso que el rosado, con elementos correspondientes a cristales de sanidina de aspecto pulverulento y laminillas de biotita, cuyo tamaño llega hasta 2 cm, en el primer caso y 2 mm en el segundo. El tufo es muy poroso y deleznable de grano muy fino y presenta una pequeña proporción de biotita en laminillas de 0.25 a 1 mm.

2.5.1.10 DEPÓSITOS CLÁSTICOS RECIENTES

Entre este tipo de depósitos, los más importantes dentro del área, son los siguientes:

- **TERRAZAS FLUVIALES:** En ambas márgenes de los ríos Sihuas y Majes existen terrazas fluviales de pequeña extensión. La terraza fluvial más importante dentro del cuadrángulo, está situada en la esquina noroeste, en la margen occidental del río Majes, entre la localidad de la Barranca y la hacienda Quiscay, y es conocida como “pampa de los Castillos”. Su espesor es de unos 100 m y está constituida por un alto



porcentaje de rodados ígneos, cuyo 20% más o menos, tienen dimensiones que varían entre uno y cinco metros; el resto lo integran cantos, guijarros, gravas y arenas. Dichas texturas evidencian que parte del depósito ha sido formado por procesos de aluvionamiento. En el valle de Sihuas, las terrazas están principalmente distribuidas entre la localidad de Tambillo y la hacienda Las Higueritas, con caracteres muy similares a las anteriores.

- **ALUVIONES:** Los aluviones más extensos en la hoja de Aplao están localizados en los lechos de las quebradas Santa Rosa, Sicera, Huacán, Molles y parcialmente en los valles de Majes y Sihuas. El tamaño de los elementos constituyentes varía desde bloques de más de un metro hasta el de las partículas de arcillas. Los de mayor tamaño se presentan en las cabeceras de las líneas de drenaje y al pie del flanco andino, como se comprueba en las quebradas Huacán cerca de cuyas nacientes se encuentran rodados de más de 0.80 m. la composición también es variada (gneis, granito, cuarcita, lavas, etc); pero en las quebradas de corto desarrollo, como es la de Cochate, al Sur de Aplao, los elementos provienen en su mayoría de las rocas que forman los flancos respectivos.

- **COLUVIOS:** Los depósitos coluviales tienen una moderada extensión en la localidad de Sondor ubicada en el valle de Sihuas, donde se han formado por desprendimiento de los elementos del conglomerado que cubre a la formación Moquegua.

- **DEPÓSITOS EÓLICOS:** En el cuadrángulo de Aplao, las acumulaciones eólicas consisten de mantos de arena, dunas aisladas, cadenas de dunas y ceniceros o depósitos de ceniza volcánica. Las cadenas de dunas ocupan un área más o menos extensa en la esquina sudeste del cuadrángulo, al norte de la irrigación de Santa Rita de Sihuas, también se les encuentra en el borde occidental del valle de Sihuas, aguas



debajo de Tambillo. Dunas aisladas existen en diversos lugares de las pampas costaneras, con una altura que no excede de los 3 m. habiéndose estimado en unos 25 m, su avance normal por año. Los depósitos de ceniza volcánica retransportada son frecuentes en los alrededores del morro de Sihuas, tienen pequeña extensión y escaso grosor, estando algunas veces cubiertos por una delgada capa de arena eólica.

2.5.2. UNIDADES GEOLÓGICAS LOCALES

En la zona de estudio se distingue cuatro unidades geológicas, siendo estas las siguientes:

2.5.2.1 FORMACIÓN LABRA (Js-la)

Los afloramientos de esta formación están compuestos por areniscas intercaladas con limoarcillitas, con coloraciones gris oscuras a negras. Estas areniscas cuarzosas son de grano fino a grueso, de color blanco a gris. En el cuadrángulo de Orcopampa, se expone al oeste de la localidad de Chachas y en los alrededores de Chilcaymarca, siendo su contacto inferior concordante a la formación Cachios. El contacto superior con la formación gramadal está dado por un cambio litológico bien marcado. Su espesor aproximado es de 1200 m por su posición estratigráfica, y por infrayace a la formación Gramadal se le asignan una edad Oxfordiano-Kimmeridgiano inferior (Beavides, 1962).
Fuente (INGEMMET, BOLETIN 25, SERIE B).



Figura 11: Vista a la Fm. Labra con arenisca intercalada con limoarcillitas (Fuente Propio).

2.5.2.2 FORMACIÓN SOTILLO (P-so)

Esta formación litológicamente está constituida por areniscas, lutitas y limolitas pardo rojizas, con niveles volcanoclasticos; presenta laminación interna paralela, predominando las lodolitas en los niveles superiores, así como las capas de yeso. Sus relaciones de contacto son variadas. En algunos casos, como en el flanco occidental del batolito, suprayace discordante a rocas intrusivas e infrayace en igual relación a la formación Millo (Jenks, 1948). El espesor que aflora en la cuenca es de 300 m aproximadamente; a esta formación se le asigna una edad del paleoceno medio a superior. Fuente (INGEMMET, BOLETIN 25, SERIE B).



Figura 12: Vista a la Fm. Sotillo conformada por areniscas, lutitas y limolitas pardo rojizas (Fuente Propio).

2.5.2.3 FORMACIÓN MOQUEGUA (Nm-mo)

Esta formación fue descrita por Marocco (1985). Aflora en ambos márgenes del valle de Majes y Camaná; entre la hacienda El Castillo y El arrozal. Consiste en areniscas pobremente consolidadas, conglomerados, areniscas arcillosas, areniscas conglomeráticas, lodolitas y lutitas compactas, con venillas de yeso. La Formación Moquegua se halla bien expuesta en ambos márgenes del valle Majes, abarcando el cuadrángulo de la Yesera en el cerro Zuñamarca (al sur de Aplao). El piso de esta formación se encuentra en discordancia angular sobre el Grupo Yura. En el flanco derecho de la quebrada La Yesera, se presenta un paquete de conglomerados de color gris brunáceo, con clastos de 5 a 20 cm de diámetro en una matriz arenosas. En el área de la cuenca, el espesor de esta formación es de 500 m (Marocco, 1985). Según Soler (1991), las tosa de Santa Rosa fueron datadas con edades de 13,8 +/- 0,3 Ma; en base a ello se asigna la edad Mioceno medio. Fuente (INGEMMET, BOLETIN 25, SERIE B).



Figura 13: Vista a la Fm. Moquegua en el flanco oeste del valle, parte superior de la Fm. Sotillo.

2.5.2.4 DEPOSITO ALUVIAL HOLOCÉNICO (Qh-al)

Está conformado por unidad aluvial – proluvial, producto de depósito del río Majes con aporte de sedimentos intermitentes depósitos de antiguos aluviones, el tamaño de los elementos constituyentes varía desde bloques de más de un metro hasta partículas de arcilla, provenientes de las rocas que forman los flancos respectivos.

Fuente (INGEMMET, BOLETIN 25, SERIE B).



Figura 14: Vista a depósitos de antiguos aluviones (Fuente propio).



2.6. MARCO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL

En la hoja de Aplao las estructuras más importantes corresponden a fallamientos y plegamientos.

2.6.1. FALLAMIENTO

Las fallas que se registran en el cuadrángulo de Aplao corresponden a esfuerzos compresivos y tensionales, con rumbos muy variados que no permiten agruparlas en sistemas; tampoco se les ha observado en rocas más jóvenes que la formación Moquegua. En el terreno estas fallas quedan en evidencia especialmente en los flancos de los valles y quebradas, al poner en contacto brusco ya anormal a unidades o niveles diferentes. A continuación describimos las fallas más importantes del área.

- **FALLA LOMA LARGA:** Se ha inferido esta falla en base a una escarpa casi vertical que presenta el macizo de Loma Larga constituido por rocas del Complejo basal. La estructura corre con rumbo N50°E por más de 13 km, dando lugar a un desnivel topográfico superior a los cincuenta metros, de tal manera que se manifiesta como un rasgo notorio tanto en el terreno como en las fotografías aéreas, ya que forma un farallón que contrasta con la llanura costanera que se extiende hacia el Norte. A ambos lados de la escarpa, existe afloramientos del Complejo basal, y aparentemente el bloque que ha descendido es el lado NW. Por el extremo Sur pasa el cuadrángulo de Mollendo, mientras que hacia el Norte desaparece bajo los aluviones cuaternarios.

- **FALLA PUNTA COLORADA:** Esta falla se reconoce con algo más de un kilómetro en la ladera derecha del valle de Majes; se manifiesta porque pone en contacto casi vertical y con rumbo N-S, a las areniscas grises del miembro superior de la formación Moquegua con las rocas del miembro inferior de la misma; así como a la formación Torán con el Complejo basal. El lado que ha descendido es el del Oeste, las



areniscas rojas, situadas al lado Este constituyen un promontorio notable que ha merecido el calificativo de “Punta Colorada”, por los habitantes del valle.

- **FALLA HUANCARQUI:** Es una falla inversa, muy conspicua, que se desarrolla en la margen izquierda del valle de Majes, frente a Aplao y la Norte de Huancarqui, donde sedimentos del grupo Yura han sido empujados según un plano de rumbo $N30^{\circ}W$ e inclinación de 78° al NE, sobre otras capas del mismo grupo. Los estratos del miembro inferior de la formación Moquegua, que yacen encima, han sido curvados sin llegar a ser rotos; en cambio las capas del miembro superior de la misma formación solo exhiben un ligero ondulamiento sobre la taza de la fractura.

2.6.2. PLEGAMIENTOS

El plegamiento más notable dentro del cuadrángulo se presenta en el grupo Yura en el área de Lluta, donde se observa varios anticlinales y sinclinales con ejes que se orientan casi E-W, y se prolonga dentro de las hojas vecinas. El ancho de la faja plegada del grupo Yura es de más de 5 km., estando truncada hacia el Sur por las rocas del batolito y del Complejo basal. Fuera del sector de Lluta, el grupo Yura solo presenta plegamientos suaves, al igual que el grupo ambo, mientras que la formación Moquegua exhibe algunas ondulaciones de carácter local.

2.6.3. RASGOS ESTRUCTURALES MENORES

Entre las haciendas Santa Elena y Querulpa, ocurren dos fallas tensionales que causan un pequeño desplazamiento vertical de los estratos el grupo Yura, ambas tienen rumbo NE-SW con buzamiento al SE y están separadas entre sí por algunos kilómetros. Al norte de la hacienda Pedregal, se expone una falla inversa de orientación NE-SW e inclinación de 40° al NW, que afecta a las capas del grupo Yura, en tanto que los estratos de la formación Moquegua, solo estas flexionados. También en el grupo Ambo y algunas veces en el gneis, se observan juntas casi verticales orientadas de Norte a



Sur. Las capas de la formación Moquegua, entre los cerros Mataballos y La Yesera, manifiestan una flexura por más de 10 km, que las hace inclinar entre 35° y 40° hacia el sur, siendo probable que en profundidad está relacionada con una falla que correría paralelamente al flanco andino occidental.

2.7. PROCESOS GEODINÁMICOS EXTERNOS

Son los procesos que intervienen en el ámbito externo del planeta generando un cambio constante en su modelamiento, en una línea de tiempo determinada por los agentes atmosféricos exógenos.

En el valle de majes los procesos ocurren predominantemente en los flancos, a consecuencia de las lluvias, humedad, gravedad, etc., generando deslizamiento, caída de rocas y erosión de laderas.

2.7.1. DESLIZAMIENTO

En las laderas de las márgenes del valle de majes, se produce constantemente deslizamiento de suelos, generados a una altitud que va desde los 1000 a 1200 metros, producto de factores geodinámicos internos y externos, no considerados un potencial peligro para la población en vista que se encuentran alejados de las zonas urbanas.

2.7.2. CAÍDA DE ROCAS

Es un fenómeno natural que ocurre con frecuencia, en las márgenes del valle de majes por acción de la gravedad, humedad, lluvias y movimientos sísmicos.

2.7.3. EROSIÓN DE LADERAS

Se generan principalmente por la morfología del valle y por el escurrimiento de aguas de escorrentía, las cuales erosionan el terreno, generando canales los cuales con el paso del tiempo se profundizan, formando surcos.



2.8. HIDROLOGÍA

El río Majes pertenece a la cuenca Camaná-Majes, forma parte de las provincias Arequipa, Camaná, Castilla, Caylloma, Condesuyos y la Unión en el departamento de Arequipa, y la provincia de Espinar en el departamento de Cusco. Geográficamente, la cuenca limita por el norte, son las cuencas de los ríos Apurímac y Ocoña; por el sur, con la cuenca del río Quilca y el Océano Pacífico; por el este, con las cuencas de los ríos Tambo y Apurímac; y por el Oeste con la cuenca del río Ocoña, se encuentra enmarcada entre las coordenadas geográficas $70^{\circ} 53'$ - $73^{\circ} 06'$ de longitud oeste y entre los paralelos $14^{\circ} 56'$ - $16^{\circ} 43'$ de latitud sur, con altitudes que varían entre el nivel del mar y los 6,300 m.s.n.m. el río Majes, rompe la monotonía del paisaje al abrir el ancho Valle de Majes provistos de vegetación; corriendo, el primero de 850 metros bajo el nivel del llano hasta 160 metros. Las descargas diarias, varían entre 24,000 y 420,000 litros por segundo, son suficientes para irrigar más de cuatro mil hectáreas en el valle. Los subsistemas más importantes y más grandes se ubican en la margen derecha del río Colca y corresponden a los ríos Capiza, Molloco y Ayo. En el caso del río Capiza se tiene el aporte de las nieves perpetuas del nevado Coropuna, el área de influencia es considerable e importante. El sector Majes intermedio comprende el Valle de Majes, y las sub cuencas de los ríos Capiza y Huario. El Valle de Majes, se inicia en las confluencias de los ríos Colca con el Capiza, hasta el lugar Palo Parado, límite de la provincia de Castilla con la provincia de Camaná y abarcan los distritos de Aplao, Huancarqui y Uraca. La unidad hidrográfica del río Capiza, abarca los distritos de Viraco, Machahuay, Pampacolca, Tipan y la Unión; y la sub cuenca del Huario, enmarca los distritos de Chuquibamba e Iray.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

En el presente estudio de la Evaluación Riesgos Geológicos en el Centro Poblado de “La Real” Distrito de Aplao, Provincia de Castilla – Arequipa, se emplearon los siguientes materiales y equipos:

Materiales:

- Geología del Cuadrángulo de Aplao, hoja 33r.
- Planos de reconocimiento del terreno.
- Manual del CENEPRED.
- Libreta de campo.

Equipos:

- GPS marca Garmin.
- Brújula marca Brunton.
- Flexómetro de 5 metros.
- Wincha de 50 metros.
- Lupa de Geólogo.
- Lápiz de dureza.
- Martillo de geólogo.
- Cámara digital marca SONY.
- Laptop marca Toshiba.



3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo se determinó que el tipo de investigación es el correlacional, porque tiene como propósito la investigación del grado de relación entre dos o más variables, este tipo de investigación se caracteriza porque en la línea del tiempo, los dos eventos se producen al mismo tiempo, ninguno antes ni después (Charaja, 2009).

3.2.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la presente investigación es no experimental, basada fundamentalmente en la observación de los fenómenos naturales, para después analizar sus efectos; se dividió en tres etapas:

3.2.2.1 FASE DE GABINETE I

En este proceso se realizó la interpretación a priori de la zona de estudio, con la finalidad de poder tener más información de los peligros geológicos existentes, para lo cual se realizó lo siguiente:

- Información bibliográfica existente: topográfica, geológica, geomorfológica hidrometeorológica y registro de evaluación de peligros geológicos en el distrito.
- Digitalización de mapas temáticos base.
- Digitalización de mapas preliminares y comprobación en campo.
- Revisión del Manual para la “Evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales”, 2da versión, publicado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).



3.2.2.2 FASE DE CAMPO

En este proceso se realizó consecutivos desplazamientos a la zona de estudio con la finalidad de poder tener datos fidedignos, para la interpretación y cálculo de la presente investigación, siendo estos:

- Reconocimiento de la zona de estudio: geología, geomorfología y pendiente del terreno.
- Tomas fotográficas de los vestigios relacionados con la vulnerabilidad.
- Reconocimiento de la quebrada en la zona de estudio.
- Realización de toma de datos con GPS y brújula.
- Muestreo aleatorio de unidades de interés.
- Reconocimiento de los peligros geológicos en área de estudio.

3.2.2.3 FASE DE GABINETE II

Después de realizadas los procesos descritos en párrafos anteriores, toda la información obtenida se consolida, para la elaboración de la presentación final de la investigación.

- Procesamiento de información obtenida en fase de gabinete y campo.
- Elaboración de mapas temáticos finales.
- Elaboración de cuadros de peligros, vulnerabilidad y riesgo.
- Preparación de cuadros, figuras y panel fotográfico.
- Redacción y presentación del informe final.

3.2.3. VARIABLE E INDICADORES

VARIABLE INDEPENDIENTE

- Características geológicas.
- Pendiente de la zona de estudio.
- Características geomorfológicas.



- Factores atmosféricos – Precipitación.

VARIABLE DEPENDIENTE

- Mapa de Riesgo.
- Mapa de Peligro.
- Mapa de Vulnerabilidad.

INDICADORES

- Exposición.
- Fragilidad.
- Resiliencia.

3.2.4. MÉTODOS APLICADOS

3.2.4.1 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (PAJ)

El procedimiento de análisis Jerárquico (PAJ) es un procedimiento matemático que ayuda a ponderar o dar valores de importancia a los componentes (elementos) de problemas complejos, para simplificar la toma de decisiones basado en criterios técnicos, científicos o juicios personales. El punto central del PAJ es el proceso de asignar ponderación a los parámetros y descriptores relacionados con una decisión y la calificación final de las diferentes alternativas respecto de los criterios seleccionados. La matriz que se forma es una matriz cuadrada es decir el mismo número de filas y columnas.

Notación matemática: $A=A_{ij}$

Ventajas del PAJ

- Presenta un sustento matemático.
- Permite desglosar y analizar un problema por partes.
- Permite medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común.

- Incluir la participación de equipos multidisciplinares y generar un consenso.
- Permite verificar el índice de consistencia (IC) y hacer las correcciones, si fuere el caso.
- Generar una síntesis y dar la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad.
- Ser de fácil uso y permitir que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.

3.2.4.1.1. CALCULO DE PESOS PONDERADOS

Se construye la matriz de comparaciones pareadas, el que mostraría la comparación entre criterios, sub criterios y/o descriptores según el caso de interés.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Suma vertical de los elementos de cada columna. Así se obtiene los valores

$$v_1, v_2, \dots, v_n = \sum_{i=1}^n a_i$$

Construcción de la matriz de comparaciones normalizada. El cual se obtiene de dividir cada elemento de matriz entre la suma obtenida, para conseguir:

$$A_{NORMALIZADA} = \begin{bmatrix} 1/v_1 & a_{12}/v_2 & \dots & a_{1n}/v_n \\ a_{21}/v_1 & 1/v_2 & \dots & a_{2n}/v_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}/v_1 & a_{n2}/v_2 & \dots & 1/v_n \end{bmatrix}$$

Se calcula el vector prioridad, el cual nos mostrara los pesos ponderados de cada criterio a partir de una matriz normalizada, para ello calculamos el vector columna.

$$P = \begin{bmatrix} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{1j} \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{2j} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{nj} \end{bmatrix}$$

Y se obtiene el vector prioridad de los criterios

$$P = \begin{bmatrix} P_{c11} \\ P_{c12} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ P_{c1n} \end{bmatrix}$$

La suma de los elementos del vector prioridad debe ser igual a 1

$$\sum_{i=1}^n p_{c1i} = p_{c11} + p_{c12} + \dots + p_{c1n} = 1$$

3.2.4.1.2. CALCULO DE LA RELACIÓN DE CONSISTENCIA (RC)

Para la verificación de la posible existencia de consistencia entre los juicios expresados.

Multiplicar cada valor de la primera columna de la matriz de comparación pareada por la prioridad relativa del primer elemento que se considera y así sucesivamente.

Sumar los valores sobre las filas para obtener un vector de valores, denominado vector suma ponderada (VSP).



$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} p_{c11} \\ p_{c12} \\ \dots \\ p_{c1n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} VSP_{11} \\ VSP_{12} \\ \dots \\ VSP_{1n} \end{bmatrix}$$

Dividir los elementos del vector suma ponderada entre el correspondiente valor prioridad para cada uno de los criterios.

$$VSP_{11}/p_{c11} = \lambda_1$$

$$VSP_{12}/p_{c12} = \lambda_2$$

...

...

...

$$VSP_{1n}/p_{c1n} = \lambda_n$$

Determina la lambda máxima λ_{max}

$$\lambda_{max} = (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)/n$$

Calcular el índice de consistencia (IC)

$$IC = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)$$

Calcular la relación de consistencia (RC); para verificar si las decisiones fueron adecuadas.

$$RC = IC/IA$$

Dónde:

IA: índice aleatorio de una matriz de comparaciones pareadas, generada de forma aleatoria.

Los valores del índice aleatoria para los diferentes “n”, obtenidos mediante la simulación de 100,000 matrices (Aguaron y Moreno-Jiménez, 2001), son.

Tabla 2: Índice aleatorio.

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.5 25	0.8 82	1.1 15	1.2 52	1.3 41	1.4 04	1.4 52	1.4 84	1.5 13	1.5 35	1.5 55	1.5 7	1.5 83	1.5 95

Fuente: Saaty. 1991.

NOTA: Si la matriz es de $n=3$, su RC debe ser menor a 0.04, para matrices de $n=4$ la RC debe ser menor a 0.08 y para matrices mayores a $n>4$ deben ser menores a 0.10.

Tabla 3: Método de comparación de pares o método Saaty.

ESCALA NÚMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACION
9	Absolutamente o muchísimo más importante que...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo
7	Mucho más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante o preferido que el segundo.
5	Más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro, el primero es ligeramente más importante o preferido que el segundo.
1	Igual o diferente a...	Al comparar un elemento con otro, hay indiferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo.
1/5	Menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera menos importante o preferido que el segundo.



		preferido que el segundo.
1/7	Mucho menor importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro, e primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/9	Absolutamente o muchísimo.	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores.	

Fuente: Saaty. 1991.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

4.1. UBICACIÓN Y ACCESO.

La zona de estudio se encuentra ubicada, en el Centro Poblado “La Real”, distrito de Aplao, Provincia de Castilla de la región Arequipa, se ubica en el flanco sur – occidental de la cordillera de los andes, se emplaza en el margen derecho del río Majes, a una altitud aproximada de 620 ms.n.m., en el piso del valle y laderas adyacentes de piedemonte del río Majes.

Tabla 4: Coordenadas de ubicación de la zona de estudio.

UBICACIÓN DEL PROYECTO	COORDENADAS UTM		COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COTA APROX.	SISTEMA DE POSICIÓN
	X	Y	LATITUD	LONGITUD		
Se encuentra ubicada en el Centro Poblado “La Real”.	768076	8215752	16° 7'25.33"S	72°29'36.79"O	620 m.s.n.m.	UTM zona 18S WGS 1984

FUENTE: Elaboración Propia.

Para acceder a la zona de estudio se debe tomar la carretera panamericana sur de Arequipa hasta El Pedregal (distrito de majes), haciendo un recorrido de 100.5 km, con un tiempo aproximado de 2 horas, continuando hacia el norte hasta el desvío Corire - Aplao.

Tabla 5: Acceso a la zona de estudio.

PRINCIPALES VÍAS DE ACCESO AL CENTRO POBLADO LA REAL			
ORIGEN	DESTINO	DISTANCIA	VÍA
Arequipa	Corire	158 km	Carretera asfaltada
Corire	La Real	17 km	Carretera asfaltada
Arequipa	Aplao	180 km	Carretera asfaltada
Aplao	La Real	5 km	Carretera asfaltada

FUENTE: Elaboración Propia.

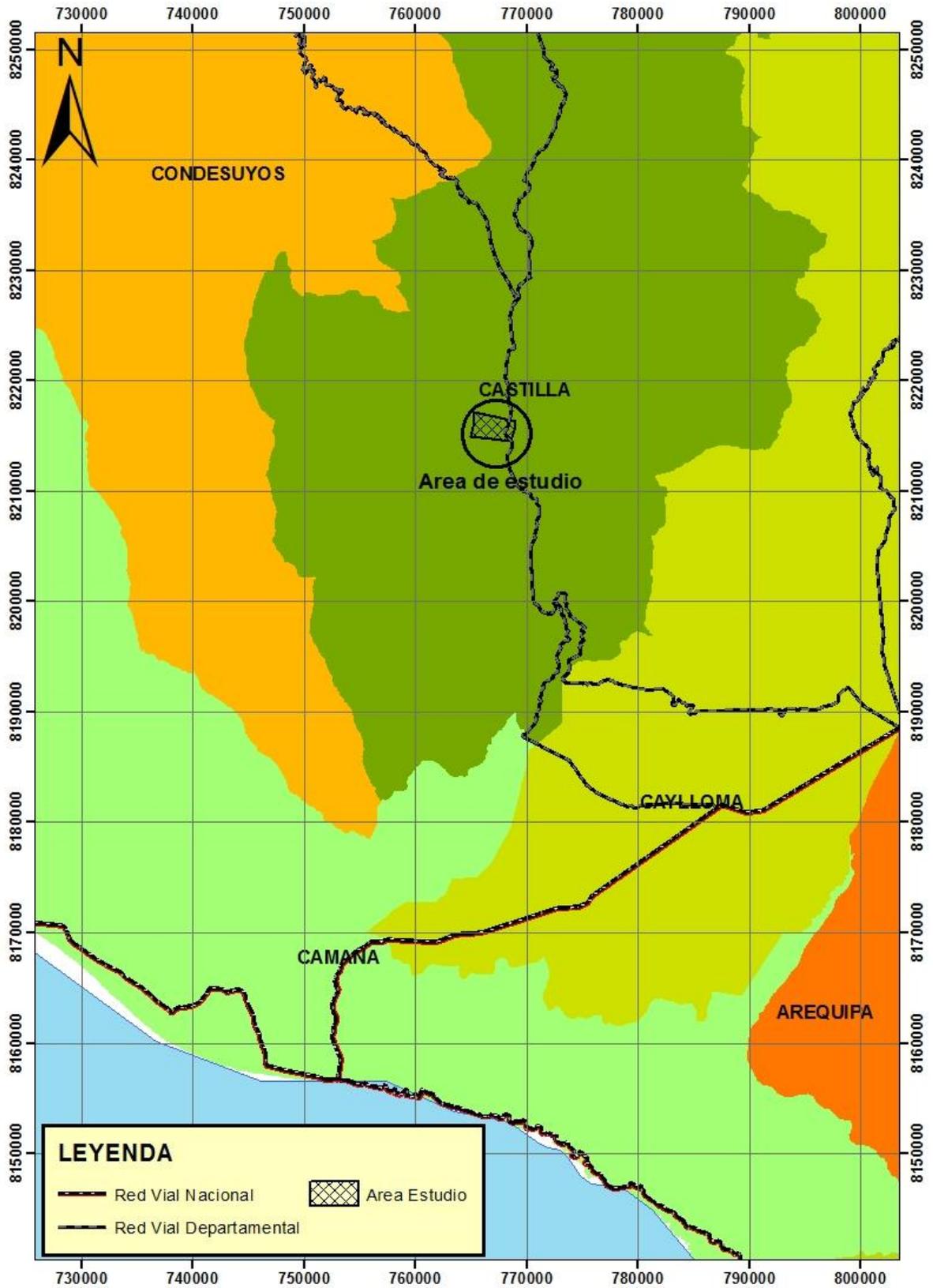


Figura 15: Ubicación del área de estudio (Fuente propia).

4.2. CLIMA Y METEOROLOGÍA

Ingemmet, Boletín N° 25 (2011), el clima desértico donde las precipitaciones pluviales son escasas e irregulares, con promedios anuales entre 2 y 12 mm, humedad relativa media entre 60% y 90% y una temperatura oscilante entre 15.7 °C (julio y agosto) a 23 °C (enero a marzo).

En la presente investigación, se utilizara los datos de la estación meteorológica de Aplao, ya que la zona de estudio se encuentra circunscrita en dicho distrito, tomando una data histórica del 2000 al 2019 para la precipitación y del 2017 al 2019 para humedad relativa, temperatura máxima y mínima.

Tabla 6: Ubicación de la estación meteorológica de Aplao.

UBICACIÓN	ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (msnm)
Distrito de Aplao	Aplao	16°4'22.36" S	72°29'32.13" W	618

FUENTE: Elaboración Propia.

4.2.1. VEGETACIÓN

INGEMMET, Boletín N° 25 (2011), se caracteriza por presentar sauce, molle, caña brava, pájaro bobo, huarango, chilco, chihua, vegetación arbustiva, cactáceas: candelabro, tara.

4.2.2. TEMPERATURA

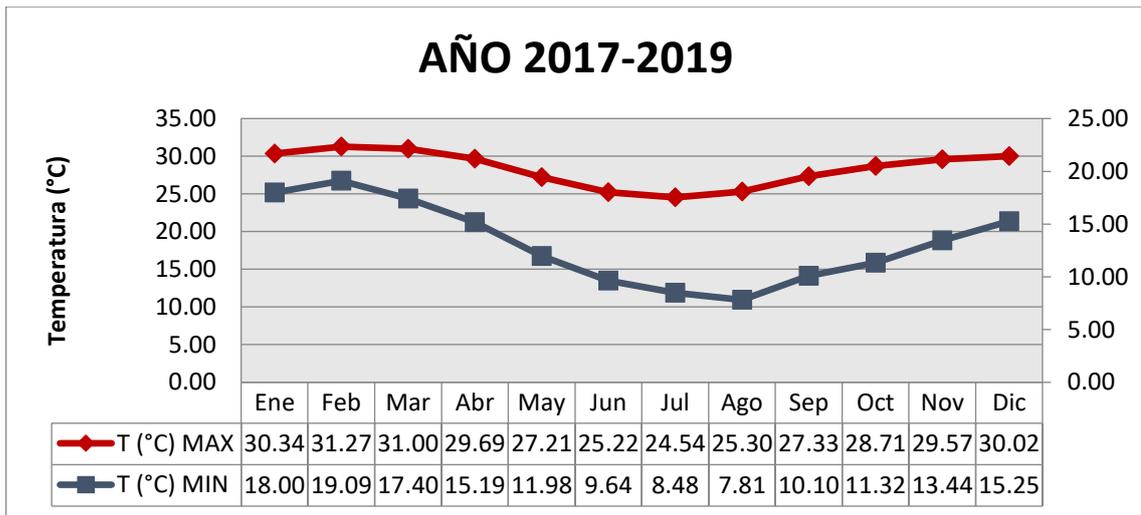
4.2.2.1 TEMPERATURA MÁXIMA

Según datos de la estación meteorológica de Aplao, las máximas temperaturas se registran en el periodo de verano, el valor máximo promedio es el mes de febrero con 31.27 °C, mientras en menor valor se registra el mes de julio con 24.54 °C.

4.2.2.2 TEMPERATURA MÍNIMA

Según datos de la estación meteorológica de Aplao, las temperaturas mínimas se registran en el periodo de invierno, siendo el valor máximo promedio el mes de febrero con 19.09 °C y el menor valor el mes de agosto con 7.81 °C.

Tabla 7: Temperaturas máximas y mínimas.

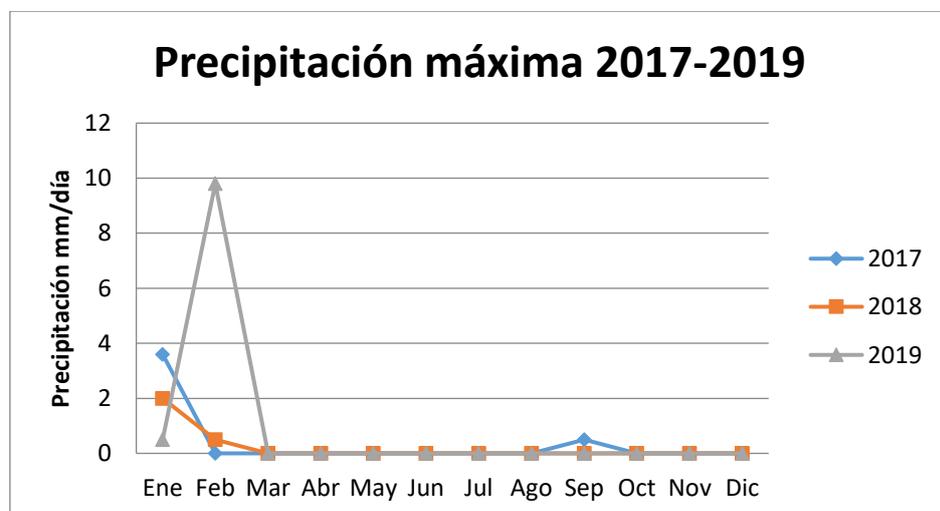


FUENTE: Senamhi.

4.2.2.3 PRECIPITACIÓN

Según datos de la estación meteorológica de Aplao del año 2017 al 2019, se produjeron mayores índices de precipitación en los meses de enero a marzo.

Tabla 8: Precipitaciones máximas de la estación meteorológica Aplao.

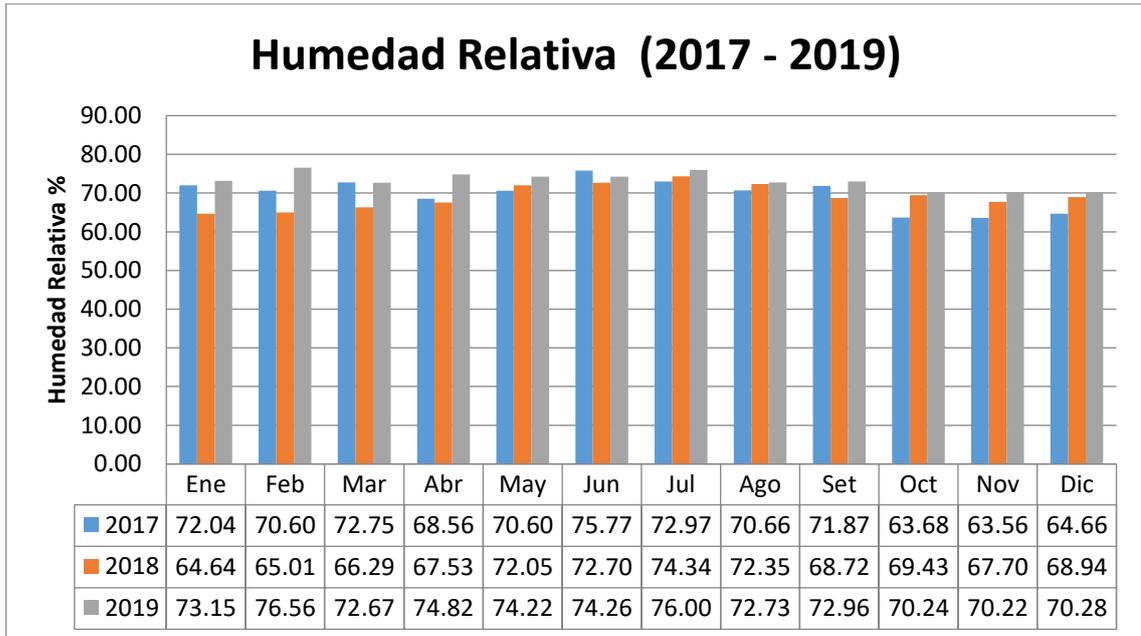


FUENTE: Senamhi.

4.2.2.4 HUMEDAD RELATIVA

Según datos de la estación meteorológica de Aplao, el porcentaje (%) de humedad relativa se presenta con valores máximos en el periodo de invierno, y valores mínimos en el periodo de primavera.

Tabla 9: Humedad relativa de la estación meteorológica Aplao.



FUENTE: Senamhi.



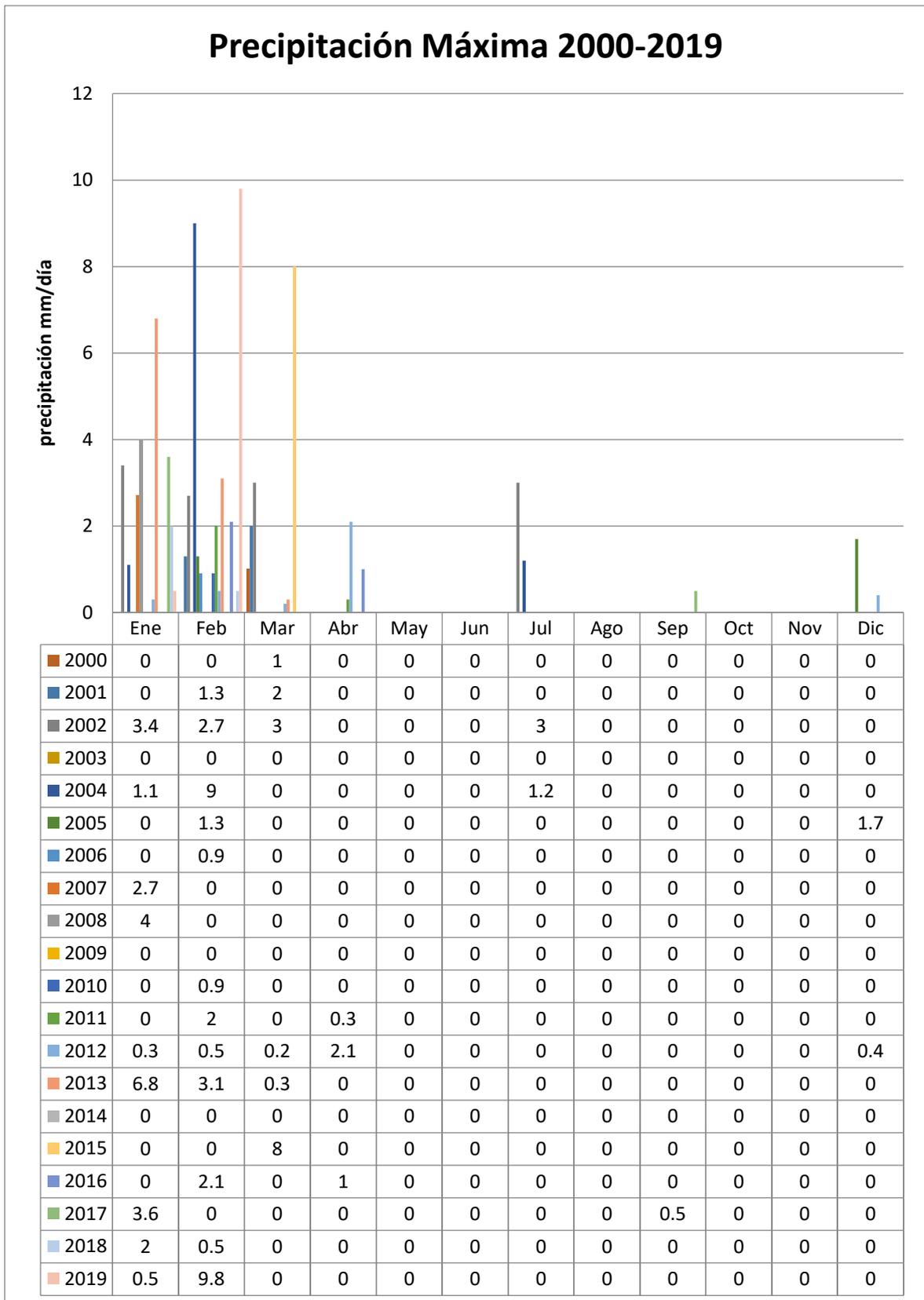
CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN

El análisis de las precipitaciones es de vital importancia en la predicción de amenazas naturales, ya que es uno de los principales factores desencadenantes de los peligros generados por geodinámicas externas y oceanográficas e hidrometeorológicas. En la tabla 10, se observa los registros históricos de la estación meteorológica de Aplao de los años 2000 al 2019, determinándose que la mayor intensidad de precipitación pluvial ocurren en los meses de enero a marzo, las lluvias inusuales generan la activación de quebradas en diferentes sectores del distrito de Aplao, ocasionando un potencial peligro a los pobladores que habitan cauces de quebradas, así mismo en los años donde hubo eventos anómalos de valores altos fueron registrados en el año 2004 con 9 mm/día, 2015 con 8mm/día y 2019 con 9.8 mm/día, este último causó estragos en los sectores de Casquina, Caspani y Aplao; sin embargo el mayor valor históricamente se dio en el año 1984 con un valor de 13 mm/día.

Tabla 10: Precipitación histórica de la estación Aplao periodo 2000-2019.



FUENTE: Senamhi

5.1.1. UMBRALES Y PRECIPITACIONES ABSOLUTAS

El SENAMHI calculo los umbrales de precipitación de los registros históricos de las estaciones meteorológicas a nivel nacional, utilizando la Nota Técnica 001-SENAMHI-DGM-2014, considerando el periodo base 1964-2014 (Alfaro et al., 2014).

Tabla 11: Caracterización de extremos de precipitación.

UMBRALES DE PRECIPITACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LLUVIAS EXTREMAS
$RR/día > 99p$	Extremadamente lluvioso
$95p < RR/día \leq 99p$	Muy lluvioso
$90p < RR/día \leq 95p$	Lluvioso
$75p < RR/día \leq 90p$	Moderadamente lluvioso

FUENTE: Senamhi.

Tabla 12: Umbrales calculados para la estación Aplao.

UMBRALES DE PRECIPITACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LLUVIAS EXTREMAS
$RR/día > 13 \text{ mm}$	Extremadamente lluvioso
$6.4 \text{ mm} < RR/día \leq 13 \text{ mm}$	Muy lluvioso

$4.7 \text{ mm} < \text{RR/día} \leq 6.4 \text{ mm}$	Lluvioso
$2.1 \text{ mm} < \text{RR/día} \leq 4.7 \text{ mm}$	Moderadamente lluvioso

FUENTE: Senamhi.

5.2. ANÁLISIS DE PELIGROS POR FLUJO DE DETRITOS

Para determinar el nivel de peligrosidad por el fenómeno por flujo de detritos en el Centro Poblado “La Real”, perteneciente al distrito de Aplao, provincia de Castilla – Arequipa, se realizó la siguiente metodología:



Figura 16: Terraza Aluvial donde se encuentra el centro poblado “La Real”
(Fuente propio).

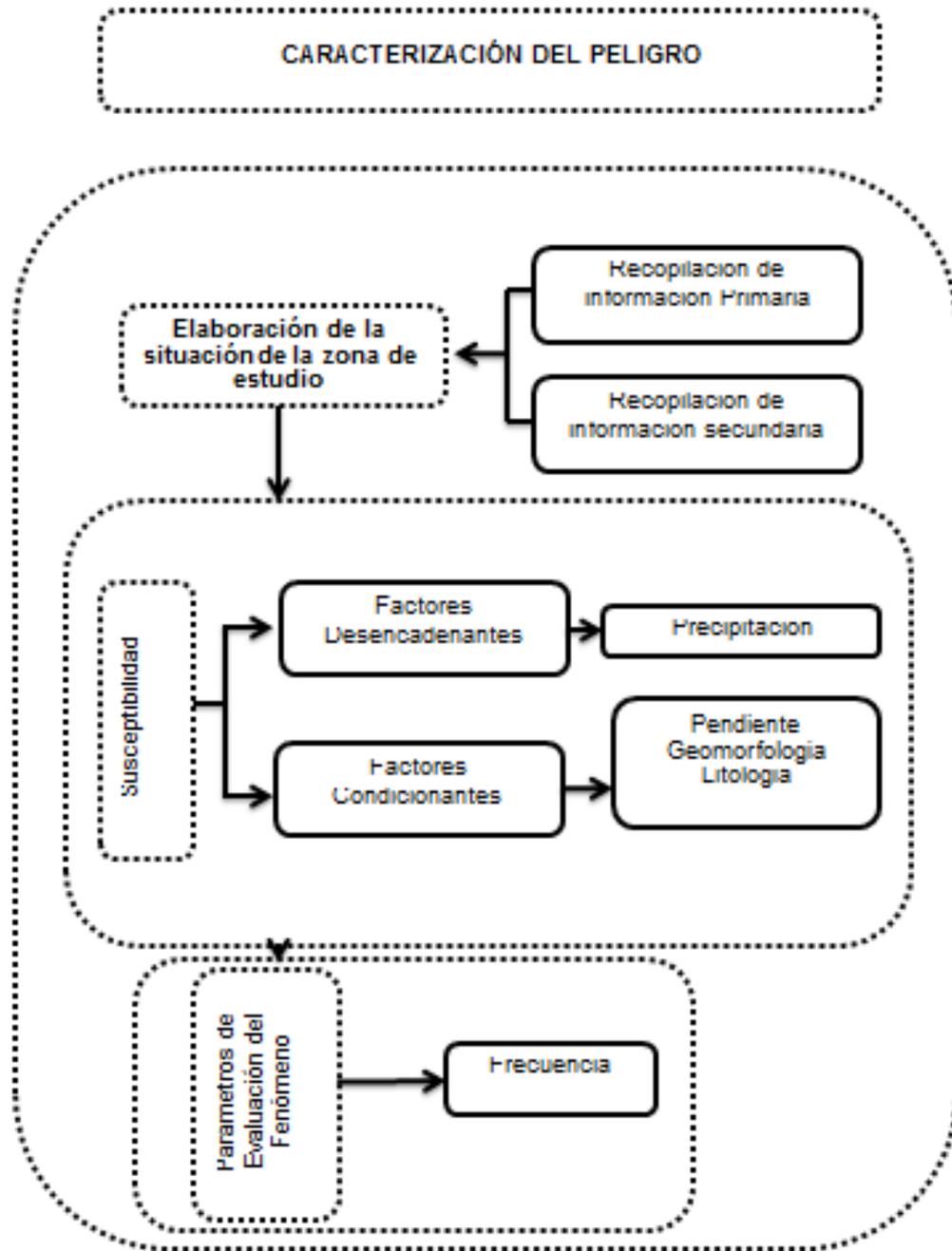


Figura 17: Flujo de peligro (CENEPRED).



Figura 18: Se aprecia la quebrada que es suprayacente del Centro Poblado “La Real” (1) avalancha de detritos y (2) flujos de detritos antiguos (Fuente propio).

5.2.1. SUSCEPTIBILIDAD

Se recopiló información de las entidades técnico científicas (INGEMMET, CENEPRED, INEI, SENAMHI y ANA), registros históricos, topografía, cartográficos, climatológico, geomorfológicos, geológico correspondiente al área de estudio, para la respectivo análisis de susceptibilidad. Evaluando los factores condicionantes y factores desencadenantes.

Tabla 13: Factores condicionantes y desencadenantes.

FACTORES DESENCADENANTES	FACTORES CONDICIONANTES		
PRECIPITACIÓN	PENDIENTE	GEOMORFOLOGIA	LITOLÓGIA

FUENTE: Elaboración propia.

5.2.1.1 FACTORES DESENCADENANTES

Para la obtención de los pesos ponderados se utilizó el proceso de análisis jerárquico, obteniendo los datos siguientes:

Parámetro: Precipitación

Tabla 14: Matriz de comparación de pares del parámetro precipitación.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Extremadamente Lluvioso Mayor a 99p	Muy Lluvioso entre 95p a 99p	Lluvioso entre 90p a 95p	Moderadamente Lluvioso entre 75p a 90p	Ligeramente Lluvioso Menor a 70p
Extremadamente Lluvioso Mayor a 99p	1	2	3	5	7
Muy Lluvioso entre 95p a 99p	1/2	1	3	4	5
Lluvioso entre 90p a 95p	1/3	1/3	1	2	3
Moderadamente Lluvioso entre 75p a 90p	1/5	1/4	1/2	1	2
Ligeramente Lluvioso Menor a 70p	1/7	1/5	1/3	0.5	1
Suma	2.18	3.78	7.83	12.50	18.00
1/Suma	0.46	0.26	0.13	0.08	0.06

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 15: Matriz de normalización del parámetro precipitación.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Extremadamente Lluvioso Mayor a 99p	Muy Lluvioso entre 95p a 99p	Lluvioso entre 90p a 95p	Moderadamente Lluvioso entre 75p a 90p	Ligeramente Lluvioso Menor a 70p	PONDERACIÓN
Extremadamente Lluvioso Mayor a 99p	0.460	0.529	0.383	0.400	0.389	0.432
Muy Lluvioso entre 95p a 99p	0.230	0.264	0.383	0.320	0.278	0.295
Lluvioso entre 90p a 95p	0.153	0.088	0.128	0.160	0.167	0.139
Moderadamente Lluvioso entre 75p a 90p	0.092	0.066	0.064	0.080	0.111	0.083
Ligeramente Lluvioso Menor a 70p	0.066	0.053	0.043	0.040	0.056	0.051

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 16: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro precipitación.

Índice de consistencia	IC	0.061
Relación de consistencia	RC	0.051

FUENTE: Elaboración propia.

5.2.1.2 FACTORES CONDICIONANTES

Para la obtención de los pesos ponderados se utilizó el proceso de análisis jerárquico, obteniendo los siguientes datos:

Parámetro: Pendiente

Tabla 17: Matriz de comparación de pares del parámetro pendiente.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	>35°	16° - 35°	8° - 16°	4° - 8°	0° - 4°
>35°	1	2	5	6	9
16° - 35°	1/2	1	3	4	5
8° - 16°	1/5	1/3	1	1	2
4° - 8°	1/6	1/4	1	1	1
0° - 4°	1/9	1/5	1/2	1	1
suma	1.98	3.78	10.50	13.00	18.00
1/suma	0.51	0.26	0.10	0.08	0.06

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 18: Matriz de normalización del parámetro pendiente.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	>35°	16° - 35°	8° - 16°	4° - 8°	0° - 4°	PONDERACIÓN
>35°	0.506	0.529	0.476	0.462	0.500	0.494
16° - 35°	0.253	0.264	0.286	0.308	0.278	0.278
8° - 16°	0.101	0.088	0.095	0.077	0.111	0.095
4° - 8°	0.084	0.066	0.095	0.077	0.056	0.076
0° - 4°	0.056	0.053	0.048	0.077	0.056	0.058

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 19: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro pendiente.

Índice de consistencia	IC	0.011
Relación de consistencia	RC	0.009

FUENTE: Elaboración propia.

Parámetro: Geomorfología

Tabla 20: Matriz de comparación de pares del parámetro geomorfología.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	PARÁMETRO
SUBUNIDAD DE MONTAÑA COLINA ESTRUCTURAL EN ROCAS SEDIMENTARIAS	0.500
TERRAZA ALUVIAL	0.500

FUENTE: Elaboración propia.

Parámetro: Litología

Tabla 21: Matriz de comparación de pares del parámetro litología.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	FORMACIÓN SOTILLO	FORMACIÓN LABRA	DEPOSITO ALUVIAL	FORMACIÓN MOQUEGUA
FORMACIÓN SOTILLO	1	2	3	7
FORMACIÓN LABRA	0.5	1	2	4
DEPOSITO ALUVIAL	1/3	1/2	1	2
FORMACIÓN MOQUEGUA	1/7	1/4	1/2	1
suma	1.98	3.75	6.50	14.00
1/suma	0.51	0.27	0.15	0.07

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 22: Matriz de normalización del parámetro litología.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	FORMACIÓN SOTILLO	FORMACIÓN LABRA	DEPOSITO ALUVIAL	FORMACIÓN MOQUEGUA	PONDERACIÓN
FORMACIÓN SOTILLO	0.506	0.533	0.462	0.500	0.500
FORMACIÓN LABRA	0.253	0.267	0.308	0.286	0.278
DEPOSITO ALUVIAL	0.169	0.133	0.154	0.143	0.150
FORMACIÓN MOQUEGUA	0.072	0.067	0.077	0.071	0.072

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 23: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro litología.

Índice de consistencia	IC	0.004
Relación de consistencia	RC	0.004

FUENTE: Elaboración propia.

5.2.1.3 ANÁLISIS DE LOS PARAMETROS DE LOS FACTORES DESENCADENANTES Y CONDICIONANTES

5.2.1.3.1. EVALUACIÓN DEL FACTOR DESENCADENANTE

Tabla 24: Peso ponderado del parámetro precipitación.

PARAMETROS	PRECIPITACIÓN ACUMULADA DÍARIA		PESO PONDERADO = 1	
DESCRIPTORES	RR > 13.0 mm	EXTREMADAMENTE LLUVIOSO	PPAD1	0.432
	6.4 mm < RR ≤ 13.0 mm	MUY LLUVIOSO	PPAD2	0.295
	4.7 mm < RR ≤ 6,4 mm	LLUVIOSO	PPAD3	0.139
	2,1 mm < RR ≤ 4,7 mm	MODERADAMENTE LLUVIOSO	PPAD4	0.083
	RR ≤ 2,1 mm	LIGERAMENTE LLUVIOSO	PPAD5	0.051

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 25: Descriptor del parámetro precipitación.

MATRIZ DE NORMALIZACIÓN	PRECIPITACIÓN	
PARÁMETRO	PARÁMETRO	DESCRIPTOR
1	0.432	1.00
2	0.295	1.00
3	0.139	1.00
4	0.083	1.00
5	0.051	1.00

FUENTE: Elaboración propia.

5.2.1.3.2. EVALUACIÓN DEL FACTOR CONDICIONANTE

Tabla 26: Matriz de comparación de pares del factor condicionante.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	PENDIENTE	GEOMORFOLOGÍA	LITOLOGÍA
PENDIENTE	1	2	5
GEOMORFOLOGÍA	1/2	1	3
LITOLOGÍA	1/5	1/3	1
SUMA	1.70	3.33	9.00
1/SUMA	0.59	0.30	0.11

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 27: Matriz de normalización del factor condicionante.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	PENDIENTE	GEOMORFOLOGÍA	LITOLOGÍA	PONDERACIÓN
PENDIENTE	0.588	0.600	0.556	0.581
GEOMORFOLOGÍA	0.294	0.300	0.333	0.309
LITOLOGÍA	0.118	0.100	0.111	0.110

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 28: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del factor condicionante.

Índice de consistencia	IC	0.002
Relación de consistencia	RC	0.004

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 29: Peso ponderado del parámetro pendiente.

PARAMETROS	RANGOS DE PENDIENTES		PESO PONDERADO = 0.581	
DESCRIPTORES	> 35°	Muy inclinado	PP1	0.494
	16° - 35°	Inclinado	PP2	0.278
	8° - 16°	Moderadamente inclinado	PP3	0.095
	4° - 8°	Suave	PP4	0.076
	0° - 4°	Muy suave	PP5	0.058

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 30: Peso ponderado del parámetro geomorfología.

PARAMETROS	UNIDADES GEOMORFOLOGICAS	PESO PONDERADO = 0.309	
DESCRIPTORES	SUBUNIDAD DE MONTAÑA COLINA ESTRUCTURAL EN ROCAS SEDIMENTARIAS	PGM1	0.500
	TERRAZA ALUVIAL	PGM2	0.500

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 31: Peso ponderado del parámetro litología.

PARAMETROS	UNIDADES LITOLÓGICAS		PESO PONDERADO = 0.110	
DESCRIPTORES	P-so	FORMACIÓN SOTILLO	PL1	0.500
	Js-la	FORMACIÓN LABRA	PL2	0.278
	Qh-al	DEPOSITO ALUVIAL	PL3	0.150
	Nm-mo	FORMACIÓN MOQUEGUA	PL4	0.072

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 32: Cálculo del factor condicionante.

FACTOR CONDICIONANTE							
MATRIZ DE NORMALIZACIÓN	PENDIENTE		GEOMORFOLOGÍA		LITOLOGÍA		
PARÁMETRO	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALOR RANGO
1	0.494	0.581	0.50	0.309	0.500	0.110	0.497
2	0.278	0.581	0.50	0.309	0.278	0.110	0.347
3	0.095	0.581			0.150	0.110	0.072
4	0.076	0.581			0.072	0.110	0.052
5	0.058	0.581					0.034

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 33: Cálculo del nivel de susceptibilidad.

NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD					
MATRIZ DE NORMALIZACIÓN	FACTOR CONDICIONANTE		FACTOR DESENCADENANTE		
PARÁMETRO	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALOR RANGOS
1	0.497	0.80	0.295	0.20	0.457
2	0.347	0.80	0.295	0.20	0.337
3	0.072	0.80	0.295	0.20	0.117
4	0.052	0.80	0.295	0.20	0.101
5	0.034	0.80	0.295	0.20	0.086

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 34: Nivel de susceptibilidad.

RANGO DE SUSCEPTIBILIDAD	
PARÁMETRO	SUSCEPTIBILIDAD
1	0.457
2	0.337
3	0.117
4	0.101
5	0.086

FUENTE: Elaboración propia.

5.2.2. PARAMETROS DE EVALUACIÓN

Para el presente estudio, se tomó como parámetro de evaluación la “frecuencia”, en este caso el TIEMPO DE RETORNO DEL FENÓMENO NATURAL, se utilizó el proceso de análisis jerárquico, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 35: Matriz de comparación de pares del parámetro tiempo de retorno del fenómeno natural.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	5 AÑOS	10 AÑOS	25 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS
5 AÑOS	1	2	3	5	7
10 AÑOS	1/2	1	3	4	5
25 AÑOS	1/3	1/3	1	2	3
50 AÑOS	1/5	1/4	1/2	1	2
100 AÑOS	1/7	1/5	1/3	1/2	1
SUMA	2.176	3.783	7.833	12.500	18.000
1/SUMA	0.460	0.264	0.128	0.080	0.056

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 36: Matriz de normalización del parámetro tiempo de retorno del fenómeno natural.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	5 AÑOS	10 AÑOS	25 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS	PONDERACIÓN
5 AÑOS	0.460	0.529	0.383	0.400	0.389	0.432
10 AÑOS	0.230	0.264	0.383	0.320	0.278	0.295
25 AÑOS	0.153	0.088	0.128	0.160	0.167	0.139
50 AÑOS	0.092	0.066	0.064	0.080	0.111	0.083
100 AÑOS	0.066	0.053	0.043	0.040	0.056	0.051

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 37: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro tiempo de retorno del fenómeno natural.

Índice de consistencia	IC	0.025
Relación de consistencia	RC	0.021

FUENTE: Elaboración propia.

5.2.3. ANÁLISIS DEL PELIGRO

El peligro se obtiene al interactuar el parámetro susceptibilidad con los parámetros de evaluación (frecuencia), en este caso que el TIEMPO DE RETORNO DEL FENÓMENO NATURAL cada 5 años, obteniéndose lo siguiente:

Tabla 38: Calculo del nivel de peligro.

NIVEL DE PELIGRO					VALOR DE RANGOS
PARÁMETRO	DESCRIPTOR	SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPTOR	TIEMPO DE RETORNO	
1	0.90	0.457	0.10	0.432	0.455
2	0.90	0.337	0.10	0.432	0.347
3	0.90	0.117	0.10	0.432	0.149
4	0.90	0.101	0.10	0.432	0.134
5	0.90	0.086	0.10	0.432	0.121

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 39: Nivel del peligro.

RANGO DE PELIGRO		
RANGO	SUPERIOR	INFERIOR
MA	0.455	0.347
A	0.347	0.149
M	0.149	0.134
B	0.134	0.121

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 40: Estratificación del nivel de peligro.

Nivel de Peligro	Descripción	Rango
Peligro Muy Alto	Precipitación superior al percentil 95, pendiente mayor a 35°, predomina la unidad geomorfológica: Montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria (RMCE-rs), geológicamente está conformada por la Formación Sotillo y Formación Labra, con tiempo de retorno del fenómeno natural cada 5 años.	$0.347 \leq P < 0.455$
Peligro Alto	Precipitación superior al percentil 95, pendiente entre 16° - 35°, predomina la unidad geomorfológica: montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria (RMCE-rs), geológicamente está conformada por la	$0.149 \leq P < 0.347$

	Formación Moquegua y Depósitos Aluviales, con tiempo de retorno del fenómeno natural cada 5 años.	
Peligro Medio	Precipitación superior al percentil 95, pendiente entre 8° - 16°, predomina la unidad geomorfológica: montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria (RMCE-rs), geológicamente está conformada por la Formación Labra, con tiempo de retorno del fenómeno natural cada 5 años.	$0.134 \leq P < 0.149$
Peligro Bajo	Precipitación superior al percentil 95, pendiente menor a 8°, predomina la unidad geomorfológica: terraza aluvial, geológicamente está conformada por Depósitos aluviales, con tiempo de retorno del fenómeno natural cada 5 años.	$0.121 \leq P < 0.134$

FUENTE: Elaboración propia.

5.3. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS

Para el estudio de vulnerabilidad del Centro Poblado “La Real”, distrito de Aplao, provincia de Castilla – Arequipa, se evaluó los elementos expuestos, ante un fenómeno natural por flujo de detritos, desarrollándose lo siguiente:

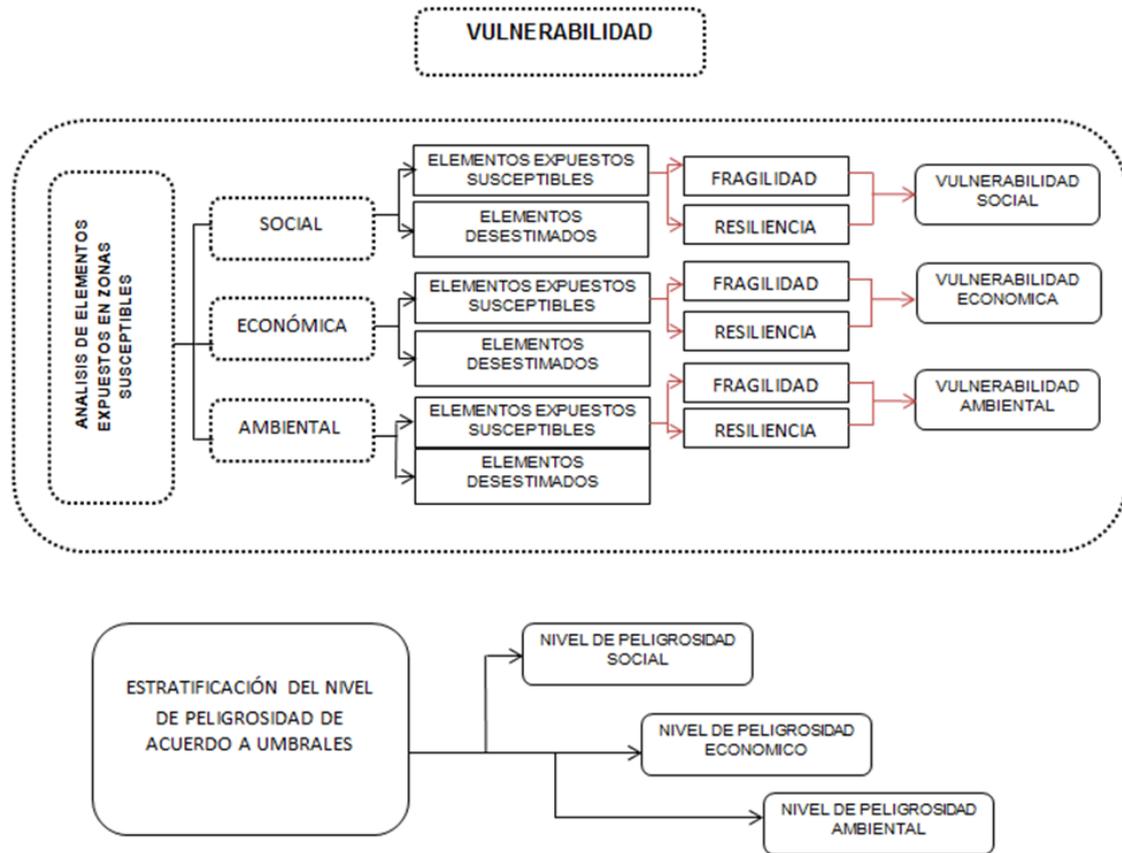


Figura 19: Flujograma de vulnerabilidad (CENEPRED).



Figura 20: Vista al Centro Poblado “La Real” (Fuente propio).

5.3.1. ANÁLISIS DE LA DIMENSIÓN SOCIAL

Para la dimensión social se establece para su análisis la fragilidad social y la resiliencia social:



Exposición social:

Se consideran los siguientes aspectos:

- Número de personas por vivienda.

Fragilidad social:

Se consideran los siguientes aspectos:

- Grupo etario.
- Discapacidad.

Resiliencia Social:

Se consideran los siguientes aspectos:

- Seguro de salud.
- Programa social.
- Conocimiento en gestión de riesgos de desastres.

5.3.1.1 PONDERACIÓN DE LOS PARAMETROS EN LA EXPOSICIÓN SOCIAL

Parámetro: Número de personas por viviendas

Tabla 41: Matriz de comparación de pares del parámetro número de personas por viviendas.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	>6	3 a 6	1 a 3	Persona sola	Deshabitado
>6	1	2	3	4	5
3 a 6	1/2	1	2	4	5
1 a 3	1/3	1/2	1	2	4
Persona sola	1/4	1/4	1/2	1	3
Deshabitado	1/5	1/5	1/4	1/3	1
SUMA	2.283	3.950	6.750	11.333	18.000
1/SUMA	0.438	0.253	0.148	0.088	0.056

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 42: Matriz de normalización del parámetro número de personas por viviendas.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	> 6	3 a 6	1 a 3	Persona sola	Deshabitado	PONDERACIÓN
> 6	0.438	0.506	0.444	0.353	0.278	0.404
3 a 6	0.219	0.253	0.296	0.353	0.278	0.280
1 a 3	0.146	0.127	0.148	0.176	0.222	0.164
Persona sola	0.109	0.063	0.074	0.088	0.167	0.100
Deshabitado	0.088	0.051	0.037	0.029	0.056	0.052

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 43: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro número de personas por viviendas.

Índice de consistencia	IC	0.052
Relación de consistencia	RC	0.044

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 44: Evaluación del parámetro exposición social.

EXPOSICIÓN SOCIAL	VECTOR PRIORIZACIÓN
NÚMERO DE PERSONAS POR VIVIENDA	1.00
SUMA	1.00

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 45: Peso ponderado del parámetro número de personas por viviendas.

PARÁMETRO	NÚMERO DE PERSONAS POR VIVIENDAS		PESO PONDERADO = 1	
DESCRIPTORES	> 6	Común	PNPV1	0.404
	3 a 6	Común	PNPV2	0.280
	1 a 3	Común	PNPV3	0.164
	Persona sola	Común	PNPV4	0.100
	Deshabitado	Común	PNPV5	0.052

FUENTE: Elaboración propia.

5.3.1.2 PONDERACIÓN DE LOS PARAMETROS DE FRAGILIDAD SOCIAL

Parámetro: Grupo etario

Tabla 46: Matriz de comparación de pares del parámetro grupo etario.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Menores a 5 años y mayores a 65	Entre 5 y 10 años	Entre 10 y 15 años	Entre 15 y 30 años	Entre 30 y 65 años
Menores a 5 años y mayores a 65	1	2	3	5	7
Entre 5 y 10 años	1/2	1	3	5	7
Entre 10 y 15 años	1/3	1/3	1	3	4
Entre 15 y 30 años	1/5	1/5	1/3	1	2
Entre 30 y 65 años	1/7	1/7	1/4	1/2	1
SUMA	2.18	3.68	7.58	14.50	21.00
1/SUMA	0.46	0.27	0.13	0.07	0.05

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 47: Matriz de normalización del parámetro grupo etario.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Menores a 5 años y mayores a 65	Entre 5 y 10 años	Entre 10 y 15 años	Entre 15 y 30 años	Entre 30 y 65 años	PONDERACIÓN
Menores a 5 años y mayores a 65	0.460	0.544	0.396	0.345	0.333	0.415
Entre 5 y 10 años	0.230	0.272	0.396	0.345	0.333	0.315
Entre 10 y 15 años	0.153	0.091	0.132	0.207	0.190	0.155
Entre 15 y 30 años	0.092	0.054	0.044	0.069	0.095	0.071
Entre 30 y 65 años	0.066	0.039	0.033	0.034	0.048	0.044

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 48: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro grupo etario.

Índice de consistencia	IC	0.046
Relación de consistencia	RC	0.039

FUENTE: Elaboración propia.

Parámetro: Tipo de discapacidad

Tabla 49: Matriz de comparación de pares del parámetro tipo de discapacidad.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Mental o intelectual	Visual	Para usar brazos y piernas	Para oír y/o hablar	No tiene
Mental o intelectual	1	3	5	7	9
Visual	1/3	1	2	3	5
Para usar brazos y piernas	1/5	1/2	1	2	3
Para oír y/o hablar	1/7	1/3	1/2	1	3
No tiene	1/9	1/5	1/3	1/3	1
SUMA	1.79	5.03	8.83	13.33	21.00
1/SUMA	0.56	0.20	0.11	0.08	0.05

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 50: Matriz de normalización del parámetro tipo de discapacidad.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Mental o intelectual	Visual	Para usar brazos y piernas	Para oír y/o hablar	No tiene	PONDERACIÓN
Mental o intelectual	0.560	0.596	0.566	0.525	0.429	0.535
Visual	0.187	0.199	0.226	0.225	0.238	0.215
Para usar brazos y piernas	0.112	0.099	0.113	0.150	0.143	0.123
Para oír y/o hablar	0.080	0.066	0.057	0.075	0.143	0.084
No tiene	0.062	0.040	0.038	0.025	0.048	0.042

Tabla 51: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro tipo de discapacidad.

Índice de consistencia	IC	0.035
Relación de consistencia	RC	0.030

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 52: Evaluación de los parámetros fragilidad social.

FRAGILIDAD SOCIAL	VECTOR PRIORIZACIÓN
GRUPO ETAREO	0.80
TIPO DE DISCAPACIDAD	0.20
SUMA	1.00

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 53: Peso ponderado del parámetro grupo etario.

PARÁMETROS	GRUPO ETARIO		PESO PONDERADO = 0.8	
DESCRIPTORES	Menores a 5 años y mayores a 65	Común	PGE1	0.415
	Entre 5 y 10 años	Común	PGE2	0.315
	Entre 10 y 15 años	Común	PGE3	0.155
	Entre 15 y 30 años	Común	PGE4	0.071
	Entre 30 y 65 años	Común	PGE5	0.044

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 54: Peso ponderado del parámetro tipo de discapacidad.

PARÁMETROS	TIPO DE DISCAPACIDAD		PESO PONDERADO = 0.2	
DESCRIPTORES	Mental o intelectual	Común	PTD1	0.535
	Visual	Común	PTD2	0.215
	Para usar brazos y piernas	Común	PTD3	0.123
	Para oír y/o hablar	Común	PTD4	0.084
	No tiene	Común	PTD5	0.042

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 55: Cálculo del nivel de fragilidad social.

ANÁLISIS DE FRAGILIDAD				
GRUPO ETARIO		TIPO DE DISCAPACIDAD		NIVEL DE FRAGILIDAD
PARÁMETRO	VALOR	PARÁMETRO	VALOR	VALOR
0.415	0.800	0.535	0.200	0.439
0.315	0.800	0.215	0.200	0.295
0.155	0.800	0.123	0.200	0.149
0.071	0.800	0.084	0.200	0.074
0.044	0.800	0.042	0.200	0.044

FUENTE: Elaboración propia.

5.3.1.3 PONDERACIÓN DE LOS PARAMETROS DE RESILIENCIA SOCIAL

Parámetro: Seguro de Salud

Tabla 56: Matriz de comparación de pares del parámetro seguro de salud.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	NO TIENE	SIS	ESSALUD	PRIVADO
NO TIENE	1	2	3	5
SIS	1/2	1	2	5
ESSALUD	1/3	1/2	1	3
PRIVADO	1/5	1/5	1/3	1
SUMA	2.03	3.70	6.33	14.00
1/SUMA	0.49	0.27	0.16	0.07

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 57: Matriz de normalización del parámetro seguro de salud.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	NO TIENE	SIS	ESSALUD	PRIVADO	PONDERACIÓN
NO TIENE	0.492	0.541	0.474	0.357	0.466
SIS	0.246	0.270	0.316	0.357	0.297
ESSALUD	0.164	0.135	0.158	0.214	0.168
PRIVADO	0.098	0.054	0.053	0.071	0.069

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 58: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro seguro de salud.

Índice de consistencia	IC	0.026
Relación de consistencia	RC	0.026

FUENTE: Elaboración propia.

Parámetro: Programa Social

Tabla 59: Matriz de comparación de pares del parámetro programa social.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Qali warma y/o Cuna más	Juntos y/o pensión 65	Vaso de leche y/o comedor popular	Techo propio y/o mi vivienda	Ninguno
Qali warma y/o Cuna más	1	2	3	4	5
Juntos y/o pensión 65	1/2	1	3	4	5
Vaso de leche y/o comedor popular	1/3	1/3	1	3	5
Techo propio y/o mi vivienda	1/4	1/4	1/3	1	3
Ninguno	1/5	1/5	1/5	1/3	1
SUMA	2.28	3.78	7.53	12.33	19.00
1/SUMA	0.44	0.26	0.13	0.08	0.05

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 60: Matriz de normalización del parámetro programa social.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Qali warma y/o Cuna más	Juntos y/o pensión 65	Vaso de leche y/o comedor popular	Techo propio y/o mi vivienda	Ninguno	PONDERACIÓN
Qali warma y/o Cuna más	0.438	0.529	0.398	0.324	0.263	0.390
Juntos y/o pensión 65	0.219	0.264	0.398	0.324	0.263	0.294
Vaso de leche y/o comedor popular	0.146	0.088	0.133	0.243	0.263	0.175
Techo propio y/o mi vivienda	0.109	0.066	0.044	0.081	0.158	0.092
Ninguno	0.088	0.053	0.027	0.027	0.053	0.049

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 61: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro programa social.

Índice de consistencia	IC	0.097
Relación de consistencia	RC	0.082

FUENTE: Elaboración propia.

Parámetro: Conocimiento en GRD

Tabla 62: Matriz de comparación de pares del parámetro conocimiento en GRD.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	El 100% no conoce la GRD	El 75% no conoce la GRD	El 50% no conoce la GRD	El 50% a 75% conoce GRD	El 100% conoce la GRD
El 100% no conoce la GRD	1	2	3	5	7
El 75% no conoce la GRD	1/2	1	2	4	5
El 50% no conoce la GRD	1/3	1/2	1	3	4
El 50% a 75% conoce GRD	1/5	1/4	1/3	1	2
El 100% conoce la GRD	1/7	1/5	1/4	1/2	1
SUMA	2.18	3.95	6.58	13.50	19.00
1/SUMA	0.46	0.25	0.15	0.07	0.05

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 63: Matriz de normalización del parámetro conocimiento en GRD.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	El 100% no conoce la GRD	El 75% no conoce la GRD	El 50% no conoce la GRD	El 50% a 75% conoce GRD	El 100% conoce la GRD	PONDERACIÓN
El 100% no conoce la GRD	0.460	0.506	0.456	0.370	0.368	0.432
El 75% no conoce la GRD	0.230	0.253	0.304	0.296	0.263	0.269
El 50% no conoce la GRD	0.153	0.127	0.152	0.222	0.211	0.173
El 50% a 75% conoce GRD	0.092	0.063	0.051	0.074	0.105	0.077
El 100% conoce la GRD	0.066	0.051	0.038	0.037	0.053	0.049

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 64: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro conocimiento en GRD.

Índice de consistencia	IC	0.027
Relación de consistencia	RC	0.023

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 65: Matriz de comparación de pares de la evaluación de los parámetros de resiliencias social.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Seguro de salud	Programa social	Conocimiento en GRD
Seguro de salud	1	3	4
Programa social	1/3	1	2
Conocimiento en GRD	1/4	1/2	1
SUMA	1.58	4.50	7.00
1/SUMA	0.63	0.22	0.14

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 66: Matriz de normalización de los parámetros de resiliencia social.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Seguro de salud	Programa social	Conocimiento en GRD	PONDERACIÓN
Seguro de salud	0.632	0.667	0.571	0.623
Programa social	0.211	0.222	0.286	0.239
Conocimiento en GRD	0.158	0.111	0.143	0.137

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 67: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido de los parámetros de resiliencia social.

Índice de consistencia	IC	0.013
Relación de consistencia	RC	0.019

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 68: Peso ponderado del parámetro seguro de salud.

PARÁMETROS	SEGURO DE SALUD		PESO PONDERADO = 0.623	
DESCRIPTORES	NO TIENE	Muy común	PSS1	0.466
	SIS	Común	PSS2	0.297
	ESSALUD	Común	PSS3	0.168
	PRIVADO	Poco común	PSS4	0.069

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 69: Peso ponderado del parámetro programa social.

PARÁMETROS	PROGRAMA SOCIAL		PESO PONDERADO = 0.239	
DESCRIPTORES	Qali warma y/o Cuna mas	Poco común	PPS1	0.390
	Juntos y/o pensión 65	Común	PPS2	0.294
	Vaso de leche y/o comedor popular	Común	PPS3	0.175
	Techo propio y/o mi vivienda	Común	PPS4	0.092
	Ninguno	Muy común	PPS5	0.049

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 70: Peso ponderado del conocimiento en GRD.

PARÁMETROS	CONOCIMIENTO EN GRD		PESO PONDERADO = 0.137	
DESCRIPTORES	El 100% no conoce la GRD	Muy común	PCGRD1	0.432
	El 75% no conoce la GRD	Muy común	PCGRD2	0.269
	El 50% no conoce la GRD	Común	PCGRD3	0.173
	El 50% a 75% conoce la GRD	Común	PCGRD4	0.077
	El 100% conoce la GRD	Poco común	PCGRD5	0.049

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 71: Cálculo del nivel de resiliencia.

ANÁLISIS DE RESILIENCIA						
SEGURO DE SALUD		PROGRAMA SOCIAL		CONOCIMIENTO EN GRD		NIVEL DE RESILIENCIA
PARAMETRO	VALOR	PARAMETRO	VALOR	PARAMETRO	VALOR	VALOR
0.466	0.623	0.390	0.239	0.432	0.137	0.443
0.297	0.623	0.294	0.239	0.269	0.137	0.292
0.168	0.623	0.175	0.239	0.173	0.137	0.170
0.069	0.623	0.092	0.239	0.077	0.137	0.076
		0.049	0.239	0.049	0.137	0.018

FUENTE: Elaboración propia.

5.3.1.4 ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL

Tabla 72: Matriz de comparación de pares de la vulnerabilidad social.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Exposición Social	Fragilidad Social	Resiliencia Social
Exposición Social	1	2	5
Fragilidad Social	1/2	1	3
Resiliencia Social	1/5	1/3	1
SUMA	1.700	3.333	9.000
1/SUMA	0.588	0.300	0.111

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 73: Matriz de normalización de la vulnerabilidad social.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Exposición Social	Fragilidad Social	Resiliencia Social	PONDERACIÓN
Exposición Social	0.588	0.600	0.556	0.581
Fragilidad Social	0.294	0.300	0.333	0.309
Resiliencia Social	0.118	0.100	0.111	0.110

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 74: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido de la vulnerabilidad social.

Índice de consistencia	IC	0.002
Relación de consistencia	RC	0.004

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 75: Calculo del nivel de la vulnerabilidad social.

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD						
EXPOSICIÓN SOCIAL		FRAGILIDAD SOCIAL		RESILIENCIA SOCIAL		NIVEL DE VULNERABILIDAD
PARAMETRO	VALOR	PARAMETRO	VALOR	PARAMETRO	VALOR	VALOR
0.404	0.581	0.439	0.309	0.443	0.110	0.419
0.280	0.581	0.295	0.309	0.292	0.110	0.286
0.164	0.581	0.149	0.309	0.170	0.110	0.160
0.100	0.581	0.074	0.309	0.076	0.110	0.089
0.052	0.581	0.044	0.309	0.018	0.110	0.046

FUENTE: Elaboración propia.

5.3.2. ANÁLISIS DE LA DIMENSIÓN ECONÓMICA

Para la Dimensión Económica se establece para su análisis la Fragilidad Económica y la Resiliencia Económica:

Exposición Económica:

Se consideran los siguientes aspectos:

- Cercanía de la vivienda a la zona de peligro.

Fragilidad Económica:

Se consideran los siguientes aspectos:

- Estado de conservación de la vivienda.
- Material de las paredes de la vivienda.
- Material del techo de la vivienda.
- Servicio de agua potable.

Resiliencia Económica:

Se consideran los siguientes aspectos:

- Ingresos económicos.
- Ocupación.
- Actividad laboral.

- Tenencia de la vivienda.

5.3.2.1 PONDERACIÓN DE LOS PARAMETROS EN LA EXPOSICIÓN ECONÓMICA

Parámetro: Cercanía de la vivienda a la zona de peligro

Tabla 76: Matriz de comparación de pares del parámetro cercanía de la vivienda a la zona de peligro.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Menor a 30 m. de la zona de peligro	Entre 30 a 50 m. de la zona de peligro	Entre 50 a 100 m. de la zona de peligro	Entre 100 a 200 m. de la zona de peligro	Mayor a 200 m. de la zona de peligro
Menor a 30 m. de la zona de peligro	1	2	3	4	5
Entre 30 a 50 m. de la zona de peligro	1/2	1	2	4	5
Entre 50 a 100 m. de la zona de peligro	1/3	1/2	1	3	5
Entre 100 a 200 m. de la zona de peligro	1/4	1/4	1/3	1	2
Mayor a 200 m. de la zona de peligro	1/5	1/5	1/5	1/2	1
SUMA	2.283	3.950	6.533	12.500	18.000
1/SUMA	0.438	0.253	0.153	0.080	0.056

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 77: Matriz de normalización del parámetro de cercanía de la vivienda a la zona de peligro.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Menor a 30 m. de la zona de peligro	Entre 30 a 50 m. de la zona de peligro	Entre 50 a 100 m. de la zona de peligro	Entre 100 a 200 m. de la zona de peligro	Mayor a 200 m. de la zona de peligro	PONDERACIÓN
Menor a 30 m. de la zona de peligro	0.438	0.506	0.459	0.320	0.278	0.400
Entre 30 a 50 m. de la zona de peligro	0.219	0.253	0.306	0.320	0.278	0.275
Entre 50 a 100 m. de la zona de peligro	0.146	0.127	0.153	0.240	0.278	0.189
Entre 100 a 200 m. de la zona de peligro	0.109	0.063	0.051	0.080	0.111	0.083
Mayor a 200 m. de la zona de peligro	0.088	0.051	0.031	0.040	0.056	0.053

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 78: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro de cercanía de la vivienda a la zona de peligro.

Índice de consistencia	IC	0.056
Relación de consistencia	RC	0.047

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 79: Evaluación del parámetro de exposición económica.

EXPOSICIÓN SOCIAL	VECTOR PRIORIZACIÓN
CERCANIA DE LA VIVIENDA A LA ZONA DE PELIGRO	1.00
SUMA	1.00

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 80: Peso ponderado del parámetro cercanía de la vivienda a la zona de peligro.

PARÁMETROS	CERCANIA DE LA VIVIENDA A LA ZONA DE PELIGRO		PESO PONDERADO = 1	
DESCRIPTORES	Menor a 30 m. de la zona de peligro	Común	PCVZP1	0.400
	Entre 30 a 50 m. de la zona de peligro	Común	PCVZP2	0.275
	Entre 50 a 100 m. de la zona de peligro	Común	PCVZP3	0.189
	Entre 100 a 200 m. de la zona de peligro	Común	PCVZP4	0.083
	Mayor a 200 m. de la zona de peligro	Común	PCVZP5	0.053

FUENTE: Elaboración propia.

5.3.2.2 PONDERACIÓN DE LOS PARAMETROS DE FRAGILIDAD ECONÓMICA

Parámetro: Estado de conservación de la vivienda

Tabla 81: Matriz de comparación de pares del parámetro estado de conservación de la vivienda.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Deteriorado	En proceso de deterioro	Con refacciones	Regular estado	Buen estado
Deteriorado	1	2	3	5	7
En proceso de deterioro	1/2	1	2	3	5
Con refacciones	1/3	1/2	1	2	3
Regular estado	1/5	1/3	1/2	1	1
Buen estado	1/7	1/5	1/3	1	1
SUMA	2.18	4.03	6.83	12.00	17.00
1/SUMA	0.46	0.25	0.15	0.08	0.06

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 82: Matriz de normalización del parámetro estado de conservación de la vivienda.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Deteriorado	En proceso de deterioro	Con refacciones	Regular estado	Buen estado	PONDERACIÓN
Deteriorado	0.460	0.496	0.439	0.417	0.412	0.445
En proceso de deterioro	0.230	0.248	0.293	0.250	0.294	0.263
Con refacciones	0.153	0.124	0.146	0.167	0.176	0.153
Regular estado	0.092	0.083	0.073	0.083	0.059	0.078
Buen estado	0.066	0.050	0.049	0.083	0.059	0.061

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 83: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro estado de conservación de la vivienda.

Índice de consistencia	IC	0.013
Relación de consistencia	RC	0.011

FUENTE: Elaboración propia.

Parámetro: Material de las paredes de la vivienda

Tabla 84: Matriz de comparación de pares del parámetro material de las paredes de la vivienda.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Quincha (caña con barro)	Adobe	Material noble
Quincha (caña con barro)	1	2	5
Adobe	1/2	1	3
Material noble	1/5	1/3	1
SUMA	1.70	3.33	9.00
1/SUMA	0.59	0.30	0.11

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 85: Matriz de normalización del parámetro material de las paredes de la vivienda.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Quincha (caña con barro)	Adobe	Material noble	PONDERACIÓN
Quincha (caña con barro)	0.588	0.600	0.556	0.581
Adobe	0.294	0.300	0.333	0.309
Material noble	0.118	0.100	0.111	0.110

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 86: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro material de las paredes de la vivienda.

Índice de consistencia	IC	0.002
Relación de consistencia	RC	0.004

FUENTE: Elaboración propia.

Parámetro: Material del techo de la vivienda

Tabla 87: Matriz de comparación de pares del parámetro material del techo de la vivienda.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Estera con madera	Caña con barro	Concreto aligerado
Estera con madera	1	2	4
Caña con barro	1/2	1	3
Concreto aligerado	1/4	1/3	1
SUMA	1.75	3.33	8.00
1/SUMA	0.57	0.30	0.13

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 88: Matriz de normalización del parámetro material del techo de la vivienda

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Estera con madera	Caña con barro	Concreto aligerado	PONDERACIÓN
Estera con madera	0.571	0.600	0.500	0.557
Caña con barro	0.286	0.300	0.375	0.320
Concreto aligerado	0.143	0.100	0.125	0.123

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 89: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro material del techo de la vivienda.

Índice de consistencia	IC	0.002
Relación de consistencia	RC	0.004

FUENTE: Elaboración propia.

Parámetro: Servicio de agua potable

Tabla 90: Matriz de comparación de pares del parámetro servicio de agua potable.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	No tiene	Río, acequia, manantial	Camión cisterna	Pilón de uso público	Red pública de agua
No tiene	1	2	3	4	5
Río, acequia, manantial	1/2	1	2	3	5
Camión cisterna	1/3	1/2	1	2	3
Pilón de uso público	1/4	1/3	1/2	1	1
Red pública de agua	1/5	1/5	1/3	1	1
SUMA	2.28	4.03	6.83	11.00	15.00
1/SUMA	0.44	0.25	0.15	0.09	0.07

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 91: Matriz de normalización del parámetro servicio de agua potable.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	No tiene	Río, acequia, manantial	Camión cisterna	Pilón de uso público	Red pública de agua	PONDERACIÓN
No tiene	0.438	0.496	0.439	0.364	0.333	0.414
Río, acequia, manantial	0.219	0.248	0.293	0.273	0.333	0.273
Camión cisterna	0.146	0.124	0.146	0.182	0.200	0.160
Pilón de uso público	0.109	0.083	0.073	0.091	0.067	0.085
Red pública de agua	0.088	0.050	0.049	0.091	0.067	0.069

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 92: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro servicio de agua potable.

Índice de consistencia	IC	0.025
Relación de consistencia	RC	0.021

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 93: Matriz de comparación de pares de la evaluación de los parámetros de fragilidad económica.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Estado de conservación	Material de las paredes de la vivienda	Material del techo de la vivienda	Servicio de Agua potable
Estado de conservación	1	2	3	5
Material de las paredes de la vivienda	1/2	1	3	4
Material del techo de la vivienda	1/3	1/3	1	2
Servicio de Agua potable	1/5	1/4	1/2	1
SUMA	2.03	3.58	7.50	12.00
1/SUMA	0.49	0.28	0.13	0.08

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 94: Matriz de normalización de la evaluación de los parámetros de fragilidad económica.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Estado de conservación	Material de las paredes de la vivienda	Material del techo de la vivienda	Servicio de Agua potable	PONDERACIÓN
Estado de conservación	0.492	0.558	0.400	0.417	0.467
Material de las paredes de la vivienda	0.246	0.279	0.400	0.333	0.315
Material del techo de la vivienda	0.164	0.093	0.133	0.167	0.139
Servicio de Agua potable	0.098	0.070	0.067	0.083	0.080

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 95: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido de la evaluación de los parámetros de fragilidad económica.

Índice de consistencia	IC	0.025
Relación de consistencia	RC	0.025

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 96: Peso ponderado del parámetro estado de conservación.

PARÁMETROS	ESTADO DE CONSERVACIÓN		PESO PONDERADO = 0.467	
DESCRIPTORES	Deteriorado	Común	PEC1	0.445
	En proceso de deterioro	Común	PEC2	0.263
	Con refacciones	Común	PEC3	0.153
	Regular estado	Común	PEC4	0.078
	Buen estado	Común	PEC5	0.061

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 97: Peso ponderado del parámetro material de las paredes de la vivienda.

PARÁMETROS	MATERIAL DE LAS PAREDES DE LA VIVIENDA		PESO PONDERADO = 0.315	
DESCRIPTORES	Quincha (caña con barro)	Común	PMPV1	0.581
	Adobe	Común	PMPV2	0.309
	Material noble	Común	PMPV3	0.110

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 98: Peso ponderado del parámetro material del techo de la vivienda.

PARÁMETROS	MATERIAL DEL TECHO DE LA VIVIENDA		PESO PONDERADO = 0.139	
DESCRIPTORES	Estera con madera	Común	PMTV1	0.557
	Caña con barro	Común	PMTV2	0.320
	Concreto aligerado	Común	PMTV3	0.123

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 99: Peso ponderado del parámetro del servicio de agua potable.

PARÁMETROS	SERVICIO DE AGUA POTABLE		PESO PONDERADO = 0.080	
DESCRIPTORES	No tiene	Poco común	PSAP1	0.414
	Río, acequia, manantial	Poco común	PSAP2	0.273
	Camión cisterna	Poco común	PSAP3	0.160
	Pilón de uso público	Poco común	PSAP4	0.085
	Red pública de agua	Común	PSAP5	0.069

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 100: Calculo del nivel de fragilidad.

ANÁLISIS DE FRAGILIDAD								
ESTADO DE CONSERVACIÓN		MATERIAL DE LAS PAREDES DE LA VIVIENDA		MATERIAL DEL TECHO DE LA VIVIENDA		SERVICIO DE AGUA POTABLE		NIVEL DE FRAGILIDAD
PARAMETRO	VALOR	PARAMETRO	VALOR	PARAMETRO	VALOR	PARAMETRO	VALOR	VALOR
0.445	0.467	0.581	0.315	0.557	0.139	0.414	0.080	0.501
0.263	0.467	0.309	0.315	0.320	0.139	0.273	0.080	0.286
0.153	0.467	0.110	0.315	0.123	0.139	0.160	0.080	0.136
0.078	0.467					0.085	0.080	0.043
0.061	0.467					0.069	0.080	0.034

FUENTE: Elaboración propia.

5.3.2.3 PONDERACIÓN DE LOS PARAMETROS DE RESILIENCIA ECONÓMICA

Parámetro: Ingresos Económicos

Tabla 101: Matriz de comparación de pares del parámetro ingresos económicos.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Ingreso menor a 500 soles	Ingreso entre 500 y 1000 soles	Ingreso entre 1000 y 1500 soles	Ingreso entre 1500 y 3000 soles	Ingreso superior a 3000 soles
Ingreso menor a 500 soles	1	2	3	5	7
Ingreso entre 500 y 1000 soles	1/2	1	2	3	5
Ingreso entre 1000 y 1500 soles	1/3	1/2	1	3	5
Ingreso entre 1500 y 3000 soles	1/5	1/3	1/3	1	3
Ingreso superior a 3000 soles	1/7	1/5	1/5	1/3	1
SUMA	2.18	4.03	6.53	12.33	21.00
1/SUMA	0.46	0.25	0.15	0.08	0.05

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 102: Matriz de normalización del parámetro ingresos económicos.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Ingreso menor a 500 soles	Ingreso entre 500 y 1000 soles	Ingreso entre 1000 y 1500 soles	Ingreso entre 1500 y 3000 soles	Ingreso superior a 3000 soles	PONDERACIÓN
Ingreso menor a 500 soles	0.460	0.496	0.459	0.405	0.333	0.431
Ingreso entre 500 y 1000 soles	0.230	0.248	0.306	0.243	0.238	0.253
Ingreso entre 1000 y 1500 soles	0.153	0.124	0.153	0.243	0.238	0.182
Ingreso entre 1500 y 3000 soles	0.092	0.083	0.051	0.081	0.143	0.090
Ingreso superior a 3000 soles	0.066	0.050	0.031	0.027	0.048	0.044

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 103: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro ingresos económicos.

Índice de consistencia	IC	0.046
Relación de consistencia	RC	0.039

FUENTE: Elaboración propia.

Parámetro: Ocupación

Tabla 104: Matriz de comparación de pares del parámetro ocupación.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Jornalero	Trabajador familiar no remunerado	Empleado estatal o privado	trabajador independiente	Empleador
Jornalero	1	2	3	5	9
Trabajador familiar no remunerado	1/2	1	3	5	7
Empleado estatal o privado	1/3	1/3	1	3	5
trabajador independiente	1/5	1/5	1/3	1	3
Empleador	1/9	1/7	1/5	1/3	1
SUMA	2.14	3.68	7.53	14.33	25.00
1/SUMA	0.47	0.27	0.13	0.07	0.04

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 105: Matriz de normalización del parámetro ocupación.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Jornalero	Trabajador familiar no remunerado	Empleado estatal o privado	trabajador independiente	Empleador	PONDERACIÓN
Jornalero	0.466	0.544	0.398	0.349	0.360	0.423
Trabajador familiar no remunerado	0.233	0.272	0.398	0.349	0.280	0.306
Empleado estatal o privado	0.155	0.091	0.133	0.209	0.200	0.158
trabajador independiente	0.093	0.054	0.044	0.070	0.120	0.076
Empleador	0.052	0.039	0.027	0.023	0.040	0.036

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 106: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro ocupación.

Índice de consistencia	IC	0.055
Relación de consistencia	RC	0.046

FUENTE: Elaboración propia.

Parámetro: Actividad Laboral

Tabla 107: Matriz de comparación de pares del parámetro actividad laboral.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Agricultura y ganadería	Hospedajes y restaurantes	Comercio	Empresa de servicios	otros
Agricultura y ganadería	1	3	4	5	7
Hospedajes y restaurantes	1/3	1	2	3	4
Comercio	1/4	1/2	1	2	3
Empresa de servicios	1/5	1/3	1/2	1	2
otros	1/7	1/4	1/3	1/2	1
SUMA	1.93	5.08	7.83	11.50	17.00
1/SUMA	0.52	0.20	0.13	0.09	0.06

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 108: Matriz de normalización del parámetro actividad laboral.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Agricultura y ganadería	Hospedajes y restaurantes	Comercio	Empresa de servicios	otros	PONDERACIÓN
Agricultura y ganadería	0.519	0.590	0.511	0.435	0.412	0.493
Hospedajes y restaurantes	0.173	0.197	0.255	0.261	0.235	0.224
Comercio	0.130	0.098	0.128	0.174	0.176	0.141
Empresa de servicios	0.104	0.066	0.064	0.087	0.118	0.088
otros	0.074	0.049	0.043	0.043	0.059	0.054

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 109: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro actividad laboral.

Índice de consistencia	IC	0.029
Relación de consistencia	RC	0.024

FUENTE: Elaboración propia.

Parámetro: Tenencia de la vivienda

Tabla 110: Matriz de comparación de pares del parámetro tenencia de la vivienda.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Al Cuidado	En posesión	Alquilada	Propia
Al Cuidado	1	3	5	7
En posesión	1/3	1	3	5
Alquilada	1/5	1/3	1	3
Propia	1/7	1/5	1/3	1
SUMA	1.68	4.53	9.33	16.00
1/SUMA	0.60	0.22	0.11	0.06

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 111: Matriz de normalización del parámetro tenencia de la vivienda.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Al Cuidado	En posesión	Alquilada	Propia	PONDERACIÓN
Al Cuidado	0.597	0.662	0.536	0.438	0.558
En posesión	0.199	0.221	0.321	0.313	0.263
Alquilada	0.119	0.074	0.107	0.188	0.122
Propia	0.085	0.044	0.036	0.063	0.057

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 112: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del parámetro tenencia de la vivienda.

Índice de consistencia	IC	0.059
Relación de consistencia	RC	0.059

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 113: Matriz de comparación de pares de la evaluación de los parámetros resiliencia económica.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Ingresos	Ocupación	Actividad laboral	Tenencia de la vivienda
Ingresos	1	3	4	5
Ocupación	1/3	1	2	3
Actividad laboral	1/4	1/2	1	2
Tenencia de la vivienda	1/5	1/3	1/2	1
SUMA	1.78	4.83	7.50	11.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.13	0.09

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 114: Matriz de normalización de la evaluación de los parámetros resiliencia económica.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Ingresos	Ocupación	Actividad laboral	Tenencia de la vivienda	PONDERACIÓN
Ingresos	0.561	0.621	0.533	0.455	0.542
Ocupación	0.187	0.207	0.267	0.273	0.233
Actividad laboral	0.140	0.103	0.133	0.182	0.140
Tenencia de la vivienda	0.112	0.069	0.067	0.091	0.085

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 115: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido de la evaluación de los parámetros resiliencia económica.

Índice de consistencia	IC	0.025
Relación de consistencia	RC	0.025

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 116: Peso ponderado del parámetro ingresos.

PARÁMETROS	INGRESOS		PESO PONDERADO = 0.542	
DESCRIPTORES	Ingreso menor a 500 soles	Muy común	PI1	0.431
	Ingreso entre 500 y 1000 soles	Común	PI2	0.253
	Ingreso entre 1000 y 1500 soles	Común	PI3	0.182
	Ingreso entre 1500 y 3000 soles	Común	PI4	0.09
	Ingreso superior a 3000 soles	Poco común	PI5	0.044

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 117: Peso ponderado del parámetro ocupación.

PARÁMETROS	OCUPACIÓN		PESO PONDERADO = 0.233	
DESCRIPTORES	Jornalero	Muy común	PO1	0.423
	Trabajador familiar no remunerado	Común	PO2	0.306
	Empleado estatal o privado	Común	PO3	0.158
	trabajador independiente	Común	PO4	0.076
	Empleador	Poco común	PO5	0.036

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 118: Peso ponderado del parámetro actividad laboral.

PARÁMETROS	ACTIVIDAD LABORAL		PESO PONDERADO = 0.140	
DESCRIPTORES	Agricultura y ganadería	Muy común	PAL1	0.493
	Hospedajes y restaurantes	Común	PAL2	0.224
	Comercio	Común	PAL3	0.141
	Empresa de servicios	Común	PAL4	0.088
	otros	Común	PAL5	0.054

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 119: Peso ponderado del parámetro tenencia de la vivienda.

PARÁMETROS	TENENCIA DE LA VIVIENDA		PESO PONDERADO = 0.085	
DESCRIPTORES	Al Cuidado	Común	PTV1	0.558
	En posesión	Común	PTV2	0.263
	Alquilada	Común	PTV3	0.122
	Propia	Común	PTV4	0.057

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 120: Calculo del nivel de resiliencia.

ANÁLISIS DE RESILIENCIA								
INGRESOS		OCUPACIÓN		ACTIVIDAD LABORAL		TENENCIA DE LA VIVIENDA		NIVEL DE RESILIENCIA
PARAMETRO	VALOR	PARAMETRO	VALOR	PARAMETRO	VALOR	PARAMETRO	VALOR	VALOR
0.431	0.542	0.423	0.233	0.493	0.140	0.558	0.085	0.449
0.253	0.542	0.306	0.233	0.224	0.140	0.263	0.085	0.262
0.182	0.542	0.158	0.233	0.141	0.140	0.122	0.085	0.166
0.09	0.542	0.076	0.233	0.088	0.140	0.057	0.085	0.084
0.044	0.542	0.036	0.233	0.054	0.140			0.040

FUENTE: Elaboración propia.

5.3.2.4 ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD ECONÓMICA

Tabla 121: Matriz de comparación de pares de la vulnerabilidad económica.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Exposición Económica	Fragilidad Económica	Resiliencia Económica
Exposición Económica	1	2	4
Fragilidad Económica	1/2	1	3
Resiliencia Económica	1/4	1/3	1
SUMA	1.750	3.333	8.000
1/SUMA	0.571	0.300	0.125

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 122: Matriz de normalización de la vulnerabilidad económica.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Exposición Económica	Fragilidad Económica	Resiliencia Económica	PONDERACIÓN
Exposición Económica	0.571	0.600	0.500	0.557
Fragilidad Económica	0.286	0.300	0.375	0.320
Resiliencia Económica	0.143	0.100	0.125	0.123

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 123: Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido de la vulnerabilidad económica.

Índice de consistencia	IC	0.002
Relación de consistencia	RC	0.004

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 124: Calculo del nivel de la vulnerabilidad económica.

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD						
EXPOSICIÓN ECONÓMICA		FRAGILIDAD ECONÓMICA		RESILIENCIA ECONÓMICA		NIVEL DE VULNERABILIDAD
PARAMETRO	VALOR	PARAMETRO	VALOR	PARAMETRO	VALOR	VALOR
0.400	0.557	0.501	0.320	0.449	0.123	0.438
0.275	0.557	0.286	0.320	0.262	0.123	0.277
0.189	0.557	0.136	0.320	0.166	0.123	0.169
0.083	0.557	0.043	0.320	0.084	0.123	0.070
0.053	0.557	0.034	0.320	0.040	0.123	0.045

FUENTE: Elaboración propia.

5.3.3. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

Para el cálculo de vulnerabilidad total se debe realizar el cálculo de los siguientes aspectos:

- Vulnerabilidad social
- Vulnerabilidad económica

Obteniéndose el rango de vulnerabilidad

Tabla 125: Calculo del nivel de la vulnerabilidad total.

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD				
VULNERABILIDAD SOCIAL		VULNERABILIDAD ECONOMICA		NIVEL DE VULNERABILIDAD
PARAMETRO	VALOR	PARAMETRO	VALOR	VALOR
0.419	0.700	0.438	0.300	0.425
0.286	0.700	0.277	0.300	0.283
0.160	0.700	0.169	0.300	0.163
0.089	0.700	0.070	0.300	0.083
0.046	0.700	0.045	0.300	0.046

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 126: Nivel de vulnerabilidad.

RANGO DE VULNERABILIDAD		
RANGO	SUPERIOR	INFERIOR
VMA	0.425	0.283
VA	0.283	0.163
VM	0.163	0.083
VB	0.083	0.046

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 127: Estratificación del nivel de vulnerabilidad.

Nivel de Vulnerabilidad	Descripción	Rango
Vulnerabilidad Muy Alta	Grupo etario menores de 5 y mayores de 65 años, con discapacidad mental o intelectual y visual; no tiene seguro de salud; sin conocimiento en gestión de riesgos de desastres; viviendas construidas con muros de quincha (caña con barro), techo con estera con madera y deterioradas; con ingresos económicos menores a 500 soles mensuales; no tiene servicio de agua potable.	$0.283 \leq V < 0.425$
Vulnerabilidad	Grupo etario entre 5 a 10 años; con discapacidad para usar brazos y piernas; cuenta con seguro SIS; con poco conocimiento en gestión de riesgos de desastres;	$0.163 \leq V < 0.283$



Alta	viviendas construidas con muros de adobe, techo con caña y barro en proceso de deterioro; con ingresos económicos entre 500 a 1500 soles mensuales; abastecimiento de agua potable del rio, acequia o manantial.	
Vulnerabilidad Media	Grupo etario entre 10 a 15 años; con discapacidad para oír y/o hablar; cuenta con seguro ESSALUD; con mediano conocimiento en gestión de riesgos de desastres; viviendas construidas con muro de adobe, techo con caña y barro, con refacciones en regular estado de conservación, con ingresos económicos entre 1500 a 3000 soles mensuales; cuenta pilón de uso público o camión cisterna.	$0.083 \leq V < 0.163$
Vulnerabilidad Baja	Grupo etario entre 15 a 65 años; no tiene discapacidad; cuenta con seguro privado; sabe que es gestión de riesgos de desastres; viviendas construidas con muros de material noble, techo con concreto aligerado y en buen estado de conservación, con ingresos económicos mayores a 3000 soles mensuales; cuenta con servicio de red pública de agua potable.	$0.046 \leq V < 0.083$

FUENTE: Elaboración propia

5.4. CALCULO DEL RIESGO

Se muestra el siguiente cuadro del niveles de riesgo que es la intersección del peligro y vulnerabilidad por flujo de detritos del Centro Poblado “La Real” del distrito de Aplao, provincia de Castilla – Arequipa.

Tabla 128: Nivel de riesgo.

NIVEL DE RIESGO	RANGO
RIESGO MUY ALTO	$0.098 \leq R < 0.193$
RIESGO ALTO	$0.024 \leq R < 0.098$
RIESGO MEDIO	$0.011 \leq R < 0.024$
RIESGO BAJO	$0.006 \leq R < 0.011$

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 129: Estratificación del nivel de riesgo.

Nivel de Riesgo	Descripción	Rango
Riesgo Muy Alto	<p>Precipitación superior al percentil 95, pendiente mayor a 35°, predomina la unidad geomorfológica: Montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria (RMCE-rs), geológicamente está conformada por la Formación Sotillo y Formación Labra, con tiempo de retorno del fenómeno natural cada 5 años.</p> <p>Grupo etario menores de 5 y mayores de 65 años, con discapacidad mental o intelectual y visual; no tiene seguro de salud; sin conocimiento en gestión de riesgos de desastres; viviendas construidas con muros de quincha (caña con barro),</p>	$0.098 \leq R < 0.193$



	techo con estera con madera y deterioradas; con ingresos económicos menores a 500 soles mensuales; no tiene servicio de agua potable.	
Riesgo Alto	<p>Precipitación superior al percentil 95, pendiente entre 16° - 35°, predomina la unidad geomorfológica: montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria (RMCE-rs), geológicamente está conformada por la Formación Moquegua y Depósitos Aluviales, con tiempo de retorno del fenómeno natural cada 5 años.</p> <p>Grupo etario entre 5 a 10 años; con discapacidad para usar brazos y piernas; cuenta con seguro SIS; con poco conocimiento en gestión de riesgos de desastres; viviendas construidas con muros de adobe, techo con caña y barro en proceso de deterioro; con ingresos económicos entre 500 a 1500 soles mensuales; abastecimiento de agua potable del rio, acequia o manantial.</p>	$0.024 \leq R < 0.098$
Riesgo Medio	<p>Precipitación superior al percentil 95, pendiente entre 8° - 16°, predomina la unidad geomorfológica: montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria (RMCE-rs), geológicamente está conformada por la Formación Labra, con tiempo de retorno del fenómeno natural cada 5 años.</p> <p>Grupo etario entre 10 a 15 años; con discapacidad para oír y/o hablar; cuenta con seguro ESSALUD; con mediano</p>	$0.011 \leq R < 0.024$

	conocimiento en gestión de riesgos de desastres; viviendas construidas con muro de adobe, techo con caña y barro, con refacciones en regular estado de conservación, con ingresos económicos entre 1500 a 3000 soles mensuales; cuenta pilón de uso público o camión cisterna.	
Riesgo Bajo	<p>Precipitación superior al percentil 95, pendiente menor a 8°, predomina la unidad geomorfológica: terraza aluvial, geológicamente está conformada por Depósitos aluviales, con tiempo de retorno del fenómeno natural cada 5 años.</p> <p>Grupo etario entre 15 a 65 años; no tiene discapacidad; cuenta con seguro privado; sabe que es gestión de riesgos de desastres; viviendas construidas con muros de material noble, techo con concreto aligerado y en buen estado de conservación, con ingresos económicos mayores a 3000 soles mensuales; cuenta con servicio de red pública de agua potable.</p>	$0.006 \leq R < 0.011$

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 130: Matriz de riesgo.

PELIGRO	MUY ALTO	0.455	0.038	0.074	0.129	0.193
	ALTO	0.347	0.029	0.057	0.098	0.147
	MEDIO	0.149	0.012	0.024	0.042	0.063
	BAJO	0.134	0.011	0.022	0.038	0.057
			0.083	0.163	0.283	0.425
			BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
			VULNERABILIDAD			

FUENTE: Elaboración propia



VI. CONCLUSIONES

El riesgo geológico identificado en el Centro Poblado La Real, distrito de Aplao, provincia de Castilla – Arequipa, está considerado de nivel Alto.

Al efectuar la evaluación de los factores condicionantes, se determinó un nivel de susceptibilidad, relacionándola con el parámetro tiempo de retorno del fenómeno natural, generando un nivel de peligro Alto y Muy Alto; así mismo se obtuvo la vulnerabilidad con un nivel Medio, Alto y Muy Alto.

Se analizó el factor desencadenante en este caso la precipitación pluvial de los últimos 20 años, utilizando para un supuesto escenario de riesgos los “Umbrales de Precipitaciones Absolutas del SENAMHI”, principalmente el percentil 95 ($6.4 \text{ mm} < RR \leq 13.0 \text{ mm}$), considerado como un nivel de lluvias excepcionales.



VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda una identificación de peligros y vulnerabilidad generados por fenómeno natural por geodinámica interna, principalmente por sismos.

Se recomienda la identificación de peligros y vulnerabilidad generados por fenómeno natural hidrometeorológicos: por inundaciones, lluvias intensas, vientos fuertes, etc.

Se recomienda brindar charlas educativas a los pobladores sobre gestión de riesgo de desastres y así fomentar un nivel de cultura sobre los fenómenos naturales.

Se recomienda crear brigadas de emergencia, para respuesta rápida en coordinación con autoridades locales, personal de Salud, Fuerzas Armadas y PNP.

Se recomienda que los gobiernos locales deberán realizar una sinergia con organismos científicos y técnicos responsables de la meteorología, geología y geofísica, con la finalidad de prevenir las amenazas presentes y futuras ante un peligro e identificación del riesgo, realizando una gestión prospectiva, correctiva y reactiva.



VIII. REFERENCIAS

- Alfaro , L. (2014). Estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos metereológicos. SENAMHI. Lima: SENAMHI- DGM – 2014.
- Barraza, E. (2016). Estimación de riesgo de desastres en proyectos de inversión pública de los pueblos localizados en la cuenca del rio Otari, distrito de Pichari, provincia la Convención región Cusco. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Bellido, C. (2018). Evaluación de peligros geológicos en el distrito de Tiabaya. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín , Arequipa.
- Cabana, N. (2017). Reconocimiento geológico y evaluación de riesgos de la zona Toroy – Lluta. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín , Arequipa.
- Caceres, H. (2019). Informe de la evaluación de riesgos por flujo de detritos originado por lluvias intensas en el Centro Poblado de Aplao, Anexo de Casquina y Caspani, distrito de Aplao, provincia de Castilla, departamento de Arequipa. Informe Técnico, Municipalidad Provincial de Castilla, Arequipa.
- Castro, M. (2017). "Evaluación de riesgos geológicos en la zona urbana, distrito de Ollachea - Carabaya". Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Centro de Estimación, P. y. (2014). Guía metodológica para la formulación de planes de prevención y reducción de desastres a nivel cuenca. Informe Técnico, CENEPRED, Dirección de Gestión de Procesos, Lima.



- Centro de Estimación, p. y. (2014). Guía para elaborar el informe final de riesgos. Informe Técnico, CENEPRED, Lima.
- Centro Nacional de Estimación, P. y. (2014). Manual para la evaluación de riesgos originado por fenómenos naturales 02 versión. CENEPRED, Dirección de Gestión de Procesos, 2014. Lima: Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2015 - 04717.
- Desastres, C. N. (2014). Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales 02 versión. Informe Técnico, CENEPRED, Dirección de Gestión de Procesos, 2014, Lima.
- Desastres, C. N. (2016). Guía metodológica para elaborar el plan de prevención y reducción de riesgo de desastres en los tres niveles de gobierno. Informe Técnico, CENEPRED, Dirección de Gestión de Procesos, Lima.
- Elmes, M. (2006). Análisis y evaluación de riesgos por movimientos en masa, inundación y sismicidad en el Piedmont de la Comuna de Puente A. Tesis de pregrado, Universidad de Chile, Chile.
- Franco, A. (2018). Informe de evaluación del riesgo por flujos de detritos en el área de influencia del sector a norte del distrito de Yungay, provincia de Yungay, departamento de Ancash. Informe Técnico, CENEPRED, Lima.
- Guizado, J. (1968). Geología del cuadrangulo de Aplao. INGEMMET, SERVICIO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. Lima: DIRECCIÓN GENERAL DE MINERÍA.
- Gutiérrez, M. (2007). Geomorfología (Vol. 01). Madrid, Madrid, España: PEARSON EDUCATION.
- INDECI, & UNSA. (2001). Estudio Geodinámico y Evaluación de Peligros del Valle de Majes. Informe Técnico, INDECI, Arequipa.



- Informatica, I. N. (2013). Directorio nacional de municipalidades provinciales, distritales y de centros poblados. Informe Técnico, INEI, Lima.
- Instituto Geológico, M. y. (1994). Estudio geodinámico de la cuenca del río Camaná - Majes. Boletín N° 14, INGEMMET, Dirección de Geotécnia, Lima.
- Instituto Geológico, M. y. (2007). Movimientos en masa en la región andina. Guía para la evaluación de amenazas, INGEMMET, Lima.
- Instituto Geológico, M. y. (2011). Geoquímica Ambiental de la cuenca del río Camaná - Majes - Colca. Boletín N° 25, INGEMMET, Geología Económica, Lima.
- Intituo Geológico, M. y. (2014). Zonas críticas por peligros geológicos en la región Arequipa. Informe Técnico, INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, Arequipa.
- Luna, R. (2019). Evaluación de riesgos ante precipitaciones intensas y modelamiento hidrológico de la quebrada Huarangal, límite entre los distritos de Paucarpata – Mariano Melgar, provincia de Arequipa, región Arequipa. Tesis de pregrado, Uiversidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Manrique, N. (2015). evaluación de los peligros geológicos en el sector de Yura, región y provincia Arequipa, distrito Yura. Informe tecnico, INGEMMET, Lima.
- Nuñez , S., Vela , J., Soncco, Y., & Taype, E. (2019). Evaluación de peligros geológicos en los sectores de Aplao, Casquina y Caspani. Informe Técnico, INGEMMET, Lima.
- Perú, S. N. (2014). Umbrales y precipitaciones absolutas. Informe técnico, SENAMHI, Lima.



- SINAGERD. (2011). Ley del sistema Nacional de gestión del riesgo de desastres. PCM. Lima: Diario Oficial El Peruano.
- Solorzano, M. (2018). Informe de evaluación de riesgos por flujo de detritos en el Centro Poblado Alan García, distrito de Olmos, provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque. Informe técnico, CENEPRED, Lima.
- Sosa, N. (2016). Análisis de susceptibilidad a los peligros geológicos por movimientos en masa - poblados de Pampamarca y Acobamba, región Huánuco. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Suarez, L., & Regueiro, M. (1997). Guía ciudadana de los riesgos geológicos. Ilustre Colegio de Geólogos de España, Ilustre Colegio de Geólogos de España. Madrid: Versión Española.
- Zamalloa, M., & Medina, L. (2019). Estudio de riesgo geológico por movimientos en masa, para la construcción del puesto de salud de Huayllati, del distrito de Huayllati, provincia de Grau, región Apurímac. Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Antonio Abad, Cusco.



ANEXOS

- A. MAPA DE UBICACIÓN.
- B. MAPA GEOLÓGICO REGIONAL.
- C. MAPA GEOLÓGICO LOCAL.
- D. MAPA GEOMORFOLOGICO REGIONAL.
- E. MAPA GEOMORFOLOGICO LOCAL.
- F. MAPA DE PENDIENTES.
- G. MAPA DE PELIGROS POR FLUJO DE DETRITOS.
- H. MAPA DE VULNERABILIDAD.
- I. MAPA DE RIESGOS.