



# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

## ESCUELA DE POSGRADO

### DOCTORADO EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE



#### TESIS

---

### “EL GEODINAMISMO Y LOS RIESGOS AMBIENTALES EN ECOSISTEMAS DEL VALLE DE MAJES, SECTOR APLAO – AREQUIPA 2019”

---

Línea de investigación: Ambiente sostenible – biodiversidad y desarrollo

Presentado por:

Mgt. Fredy Víctor Bustamante Prado  
[orcid.org/0000-0001-6291-7541](https://orcid.org/0000-0001-6291-7541)

Para optar al Grado de Doctor en  
Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

Asesora:

Dra. Arminda Margarita Gibaja Oviedo  
[orcid.org/0000-0001-7362-8315](https://orcid.org/0000-0001-7362-8315)

CUSCO – PERÚ

2023



Metadatos

Datos del autor	
Nombres y apellidos	Fredy Víctor Bustamante Prado
Número de documento de identidad	29457667.
URL de Orcid	<a href="https://orcid.org/0000-0001-6291-7541">https://orcid.org/0000-0001-6291-7541</a>
Datos del asesor	
Nombres y apellidos	Arminda Margarita Gibaja Oriedo
Número de documento de identidad	23832927
URL de Orcid	<a href="https://orcid.org/0000-0001-7362-8315">https://orcid.org/0000-0001-7362-8315</a>
Datos del jurado	
Presidente del jurado (jurado 1)	
Nombres y apellidos	Victor Chacon Sanchez
Número de documento de identidad	23807993.
Jurado 2	
Nombres y apellidos	Yeni Gutierrez Acuña
Número de documento de identidad	40299545
Jurado 3	
Nombres y apellidos	Shailí Julie Cavero Pacheco.
Número de documento de identidad	23979449.
Jurado 4	
Nombres y apellidos	Felio Calderón La Torre.
Número de documento de identidad	25310696
Datos de la investigación	
Línea de investigación	Ambiente Sostenible - Biodiversidad y Desarrollo.



EL GEODINAMISMO Y LOS  
RIESGOS AMBIENTALES EN  
ECOSISTEMAS DEL VALLE DE  
MAJES, SECTOR APLAO –  
AREQUIPA 2019

*por* Fredy Victor Bustamante Prado

---

Fecha de entrega: 23-oct-2023 10:35p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2205452343

Nombre del archivo: ECOSISTEMAS\_DEL\_VALLE\_DE\_MAJES\_SECTOR\_APLAO\_AREQUIPA\_2019.docx (19.47M)

Total de palabras: 25796

Total de caracteres: 139214

Dra. Arminda Margarita Gibaja Oviedo  
Asesora



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**

**ESCUELA DE POST GRADO**

**DOCTORADO EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO  
SOSTENIBLE**



**"EL GEODINAMISMO Y LOS RIESGOS AMBIENTALES EN  
ECOSISTEMAS DEL VALLE DE MAJES, SECTOR APLAO –  
AREQUIPA 2019"**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO  
DE DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y  
DESARROLLO SOSTENIBLE.**

Presentado por:

Magister. Fredy Víctor Bustamante Prado

ASESORA: Dra. Arminda Margarita Gibaja Oviedo

CUSCO – PERÚ

2023



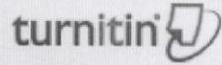
EL GEODINAMISMO Y LOS RIESGOS AMBIENTALES EN  
ECOSISTEMAS DEL VALLE DE MAJES, SECTOR APLAO -  
AREQUIPA 2019

INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>16%</b>	<b>16%</b>	<b>6%</b>	<b>5%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	repositorio.ingemmet.gob.pe Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>2</b>	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>3</b>	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	hdl.handle.net Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	sigrid.cenepred.gob.pe Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<b>1%</b>



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Fredy Víctor Bustamante Prado  
Título del ejercicio: EL GEODINAMISMO Y LOS RIESGOS AMBIENTALES EN ECOSI...  
Título de la entrega: EL GEODINAMISMO Y LOS RIESGOS AMBIENTALES EN ECOSI...  
Nombre del archivo: ECOSISTEMAS\_DEL\_VALLE\_DE\_MAJES,\_SECTOR\_APLAO,\_AREQ...  
Tamaño del archivo: 19.47M  
Total páginas: 137  
Total de palabras: 25,796  
Total de caracteres: 139,214  
Fecha de entrega: 23-oct.-2023 10:35p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entre... 2205452343



Derechos de autor 2023 Turnitin. Todos los derechos reservados.



## DEDICATORIA

Con la bendición de Dios dedico este trabajo:

A mi esposa Tula por su apoyo invaluable en el desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación.

A mis hijas Fiorella y Ljubica como una valiosa motivación para su desarrollo personal y profesional.

A mis padres Víctor y Sara que están en el cielo, por sus inolvidables enseñanzas que me dieron, las llevo en mi mente y corazón.

Fredy Victor



## AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a los Docentes del Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Universidad Andina de Cusco, por la forma idónea y profesional con que impartieron sus conocimientos y experiencias y que constituyen una fuente plausible en mi superación personal y profesional.

Mi especial agradecimiento a la Doctora Arminda Margarita Gibaja Oviedo, por su asesoramiento y aportes en la realización del presente trabajo.

De igual modo mi agradecimiento a todos y cada uno de los amigos que colaboraron con sus ideas y sugerencias para la realización del presente trabajo.  
¡Infinitas Gracias!

El autor.



## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	vii
AGRADECIMIENTO .....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
RESUMO .....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	xix
CAPITULO I.....	1
INTRODUCCION .....	1
1.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2. Formulación del Problema.....	4
1.2.1. Problema General .....	4
1.2.2. Problemas Específicos .....	4
1.3. Justificación .....	4
1.3.1. Conveniencia .....	5
1.3.2. Relevancia Social.....	5
1.3.3. Implicancias Prácticas .....	5
1.3.4. Valor Teórico.....	5
1.3.5. Utilidad Metodológica .....	6
1.4. Objetivos .....	6
1.4.1. Objetivo General .....	6
1.4.2. Objetivos Específicos .....	6
1.5. Delimitación de Estudio .....	7
1.5.1 Delimitación espacial.....	7
1.5.2. Delimitación Temporal.....	7
CAPÍTULO II.....	8
MARCO TEÓRICO .....	8
2.1. Antecedentes de Estudios .....	8
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	8



2.1.2.	Antecedentes Nacionales .....	11
2.1.3.	Antecedentes Locales .....	13
2.2.	Bases Históricas .....	15
2.2.1.	Sector Aplao: Área Geográfica .....	15
2.2.2.	Marco Geológico .....	17
2.2.3	Susceptibilidad Geodinámica .....	23
2.2.4	Relieve (pendientes) de la Zona de Estudio .....	24
2.2.5	Sismicidad.....	25
2.3.	Bases teóricas .....	28
2.3.1.	Geodinamismo (Geodinámica) .....	28
2.3.2.	Riesgos Ambientales.....	30
2.4.	Variables .....	33
2.4.1.	Identificación de Variables.....	33
2.4.2.	Operacionalización de Variables. ....	33
2.5.	Definición de términos básicos .....	35
CAPÍTULO III .....		37
MÉTODO .....		37
3.1.	Tipo de investigación.....	37
3.2.	Alcance de la investigación.....	37
3.3.	Diseño de investigación.....	37
3.4.	Población.....	38
3.5.	Muestra. ....	38
3.6.	Unidad de análisis. ....	38
3.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	39
3.8.	Validez y confiabilidad de Instrumentos .....	39
3.9.	Plan de análisis de datos. ....	40
3.10.	Aspectos éticos.....	40
CAPÍTULO IV.....		42
RESULTADOS.....		42
4.1.	Aspectos geodinámicos sector Aplao .....	42
4.1.1.	Características del sector investigado .....	42
4.2.	Resultados respecto a los objetivos.....	66
4.2.1.	Procesos de geodinamismo que se presentan en el Valle de Majes, sector Aplao. ....	66



4.2.2. Riesgos ambientales sobre los ecosistemas relacionados con los procesos geodinámicos en el Valle de Majes, sector Aplao.....	74
4.2.3. Impactos ambientales previsible a partir de los procesos geodinámicos en ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao. ....	85
4.2.4. Propuesta de medidas preventivas y de mitigación de los riesgos ambientales en los ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao. ....	93
4.2.5 Estrategias relacionadas con el control físico (medidas estructurales).....	96
4.2.6. Estrategia sostenible.....	97
4.2.7. Responsable para su ejecución. ....	97
CAPITULO V.....	98
DISCUSIÓN.....	98
5.1. Descripción de los hallazgos más relevantes y significativos.....	98
5.1.1. Respecto a los factores causales. ....	98
5.1.2. De los impactos identificados. ....	99
5.1.3. De los riesgos ambientales.....	99
5.1.4. Respecto a la comparación de impactos identificados y riesgos ambientales. ....	100
5.2. Limitaciones del estudio .....	100
5.3. Comparación Crítica con la Literatura Existente .....	101
5.4. Implicancias del Estudio .....	102
CONCLUSIONES .....	103
SUGERENCIAS.....	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	107
ANEXOS.....	110
Anexo 1: Matriz de Consistencia. ....	111
Anexo 2: Matriz de instrumentos .....	114
Anexo 3. Instrumentos de recolección de datos .....	115
Anexo 4: Base de datos .....	121
Anexo 5: Baremo para la estimación de gravedad de las consecuencias: ....	121
Anexo 6: Mapa de riesgo potencial por peligros geológicos. ....	122



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Sectores del distrito de Aplao .....	15
Tabla 2 Edades de las formaciones geológicas y rocas intrusivas – Sector Aplao.....	22
Tabla 3 Operacionalización de variables .....	33
Tabla 4 Unidad de análisis .....	38
Tabla 5 Técnicas e instrumentos .....	39
Tabla 6 Geodinamismo externo por deslizamientos, derrumbes y desprendimiento de rocas en el sector Aplao.....	67
Tabla 7 Geodinamismo externo por flujo de detritos en el sector Aplao. ....	68
Tabla 8 Geodinamismo externo por erosión fluvial en el sector Aplao.....	71
Tabla 9 Geodinamismo externo por inundaciones en el sector Aplao.....	72
Tabla 10 Formulación de escenarios de riesgo.....	75
Tabla 11 Estimación de la probabilidad .....	76
Tabla 12 Estimación de la probabilidad de los escenarios identificados .....	76
Tabla 13 Baremo para la estimación de gravedad de las consecuencias.....	77
Tabla 14 Estimaciones de la gravedad en el entorno natural .....	77
Tabla 15 Estimaciones de la gravedad en el entorno humano .....	79
Tabla 16 Estimaciones de la gravedad en el entorno socioeconómico .....	81
Tabla 17 Evaluación del Riesgo Ambiental según entorno natural.....	83
Tabla 18 Evaluación del Riesgo Ambiental según entorno humano.....	83
Tabla 19 Evaluación del Riesgo Ambiental según entorno socio económico.....	83
Tabla 20 Evaluación del Riesgo Ambiental según nivel de riesgo.....	84
Tabla 21 Consolidado del riesgo ambiental.....	84
Tabla 22 Acciones impactantes tomadas en cuenta .....	86
Tabla 23 Parámetros ambientales tomados en cuenta. ....	87
Tabla 24 Identificación de impactos ambientales - Matriz De Leopold Adaptada .....	88
Tabla 25 Clasificación tipológica de los impactos ambientales (potenciales) producidos por la acción de los principales peligros geodinámicos.....	92
Tabla 26 Estrategias preventivas para analizar y controlar los riesgos .....	94
Tabla 27 Estrategias de mitigación o corrección de efectos .....	95
Tabla 28 Estrategias para controlar los procesos geodinámicos.....	96



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de zona de estudio.....	16
Figura 2 Unidades geomorfológicas locales.....	20
Figura3 Mapa geológico de la zona de estudio.....	23
Figura 4 Susceptibilidad geodinámica de la zona de estudio.....	24
Figura 5 Relieve (pendientes) de la zona de estudio.....	25
Figura 6 Sismos de foco superficial ocurridos desde 1471 hasta 1999 con $m_b \geq 4.0$ ..	26
Figura 7 Sismos con foco intermedio ocurridos desde 1471 hasta 1999 con una $m_b \geq 4.0$ y una profundidad de $60 < h \leq 300$ km. ....	27
Figura 8 Mapa geodinámico del sector Aplao. ....	42
Figura 9 Vista panorámica de la quebrada San Ignacio. ....	43
Figura 10 Vista panorámica de la quebrada Santa Ana.....	44
Figura 11 Fotografía de la quebrada Cochate.....	45
Figura12 Vista de la quebrada Caspani 1.....	46
Figura13 Vista de la quebrada Caspani 2.....	47
Figura14 Imagen de la quebrada Aplao.....	48
Figura15 Fotografía de la quebrada Casquina.....	49
Figura16 Vista panorámica de la quebrada Cosos. ....	50
Figura 17 Imagen satelital del derrumbe zona Aplao – Huancarqui. ....	55
Figura 18 Fotografía del derrumbe zona Aplao – Huancarqui.....	56
Figura 19 Imagen satelital de la zona de caída de rocas (El Recodo). ....	57
Figura 20 Caída de rocas en la zona El Recodo.....	58
Figura 21 Imagen satelital de la zona susceptible a derrumbe y/o deslizamiento.....	59
Figura 22 Vista de la zona susceptible a derrumbe y/o deslizamiento. ....	60
Figura 23 Imagen satelital de la zona inundable entre quebrada Caspani 2 y Aplao. 61	
Figura 24 Vista de una sección de la zona inundable. ....	62
Figura 25 Imagen satelital de la erosión fluvial en la margen izquierda del río Majes entre Aplao y Cosos. ....	64
Figura26 Imagen satelital de erosión fluvial en la zona de Caspani 2 - Cochate.....	65
Figura 27 Vista de la erosión fluvial en la zona de Cochate. ....	66
Figura 28 Factores causales de procesos geodinámicos externos en el sector Aplao.72	
Figura 29 Nivel de riesgo sobre el entorno natural del Valle de Majes - sector Aplao . 78	
Figura 30 Nivel de riesgo sobre el entorno humano del Valle de Majes - sector Aplao80	
Figura 31 Nivel de riesgo sobre el entorno socioeconómico del Valle de Majes - sector Aplao.....	82
Figura 32 Nivel de riesgo ambiental en entornos del Valle de Majes – Sector Aplao.. 85	



Figura 33 Identificación de impactos ambientales ocasionados por procesos naturales  
en el Sector Aplao ..... 89



## LISTA DE ABREVIATURAS

CENEPRED	:	Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.
CISMID	:	Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.
FONDES	:	Fondo para Intervenciones ante la Ocurrencia de Desastres Naturales.
INDECI	:	Instituto de Defensa Civil.
INGEMMET	:	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
MINAM	:	Ministerio del Ambiente.
PPR N° 068	:	Programa Presupuestal del Estado: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencia por Desastres.
PREDES	:	Centro de Estudio y Prevención de Desastres.
SENAMHI	:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
UTM	:	Sistema de Coordenadas Universal, Transversal de Mercator.



## RESUMEN

La presente investigación, tiene como objetivo de estudio evaluar el riesgo ambiental al que están expuestos los ecosistemas natural, humano y productivo, por el desencadenamiento de peligros geológicos de los procesos del geodinamismo externo e interno que se presentan en el sector Aplao (valle de Majes). El tipo de investigación es cuantitativo-propositivo, el alcance del estudio es descriptivo y el diseño de la investigación es no experimental. Al analizar los resultados, éstos nos muestran que en el área de estudio la ocurrencia de flujos de detritos, derrumbes, deslizamientos y sismos impactan en el sistema medio ambiental de la zona en forma inmediata y negativa sobre todo en la calidad de vida, calidad y cantidad de agua superficial, infraestructura de riego, residencia y pérdida de vida y en las vías de transporte. El riesgo ambiental ocasionado por los procesos del geodinamismo es de medio a alto en los entornos natural, humano y socioeconómico. El riesgo medio tiene un valor de 12 según la escala usada y es el que presenta el factor: daño a la vivienda y pérdida de vida, mientras que el riesgo alto tiene un valor de 20 y es el que presentan los factores: pérdida de calidad y cantidad de agua, y baja en la calidad de vida.

**Palabras clave:** Geodinamismo, peligros geológicos, impacto ambiental, riesgo ambiental.



## ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the environmental risk to which natural, human and productive ecosystems are exposed, due to the triggering of geological hazards of the processes of external and internal geodynamism that occur in the Aplao sector (Majes Valley). The type of research is quantitative-propositional, the scope of the study is descriptive and the research design is non-experimental. When analyzing the results, they show us that in the study area the occurrence of debris flows, landslides, landslides and earthquakes impact the environmental system of the area immediately and negatively, especially in the quality of life, quality and quantity of surface water, irrigation infrastructure, residence and loss of life and transport routes. The environmental risk caused by geodynamic processes is medium to high in the natural, human and socioeconomic environments. The medium risk has a value of 12 according to the scale used and is the one that presents the factor: damage to housing and loss of life, while the high risk has a value of 20 and is the one presented by the factors: loss of quality and quantity of water, and low quality of life.

**Keywords:** Geodynamics, geological hazards, environmental impact, environmental risk.



## RESUMO

O objetivo desta pesquisa é avaliar o risco ambiental ao qual os ecossistemas naturais, humanos e produtivos estão expostos, devido ao desencadeamento de riscos geológicos dos processos de geodinamismo externo e interno que ocorrem no setor Aplao (Vale das Majes). O tipo de pesquisa é quantitativo-proposicional, o escopo do estudo é descritivo e o desenho da pesquisa é não experimental. Ao analisar os resultados, eles nos mostram que na área de estudo a ocorrência de fluxos de detritos, deslizamentos, deslizamentos e terremotos impactam o sistema ambiental da área imediata e negativamente, especialmente na qualidade de vida, qualidade e quantidade de água superficial, infraestrutura de irrigação, residência e perda de vidas e rotas de transporte. O risco ambiental causado por processos geodinâmicos é de médio a alto nos ambientes natural, humano e socioeconômico. O risco médio tem valor 12 de acordo com a escala utilizada e é o que apresenta o fator: dano à moradia e perda de vida, enquanto o risco alto tem valor 20 e é o apresentado pelos fatores: perda da qualidade e quantidade da água e baixa qualidade de vida.

**Palavras-chave:** Geodinâmica, riscos geológicos, impacto ambiental, risco ambiental.



## INTRODUCCIÓN

En el sector Aplao – valle de Majes, se presentan diversos procesos del geodinamismo externo (flujos de detritos, derrumbes, deslizamientos, caídas de rocas, erosión fluvial e inundación fluvial) e interno (sismos), que amenazan en forma permanente la seguridad de los entornos natural, humano y socioeconómico o productivo de este ubérrimo valle.

El estudio de los peligros geodinámicos, consiste en describir los factores que causan cada uno de ellos, así como la determinación de las zonas críticas donde se manifiestan estos peligros, considerando su ubicación, particularidades geodinámicas y efectos que se tendrían de ocurrir los mismos.

En este sentido es importante estimar el riesgo ambiental de los diversos parámetros ambientales generado por el desencadenamiento real o posible de los fenómenos naturales que puedan darse en la zona, igualmente se identificó el impacto que estos fenómenos pueden producir en los factores ambientales considerados del sector Aplao.

Además, por la naturaleza propia de la investigación, ésta se llevó a cabo in situ (o trabajo de campo), etapa que complementó el trabajo documental o de gabinete.

El presente estudio, está organizado en cinco capítulos los cuales contienen la estructura de la investigación realizada.

En el primer capítulo, se plantea el problema general y problemas específicos de la investigación, la justificación del estudio, objetivos y delimitación espacial y temporal.

En el segundo capítulo, se desarrolló los antecedentes internacionales, nacionales y locales referidos a la investigación, las bases históricas del sector Aplao entre las que se tiene el marco geológico que comprende las unidades geomorfológicas existentes en la zona y las unidades litoestratigráficas y rocas intrusivas que afloran en el área de trabajo. De igual modo, se presentan las bases teóricas referidas a geodinamismo, riesgo e impacto ambiental, las variables de estudio y se definen términos básicos referentes a la investigación.



El tercer capítulo, comprende el tipo, alcance y diseño del trabajo, la población de análisis, técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad de instrumentos.

El cuarto capítulo, abarca los aspectos geodinámicos del sector Aplao, zonas críticas debido a los flujos de detritos, derrumbes, deslizamientos, desprendimientos de rocas, erosión fluvial e inundación fluvial. Se desarrolló también la estimación de riesgo ambiental para los entornos natural, humano y socio económico. Se identificó y describió los impactos ambientales y los parámetros que originan más interrelaciones o impactos, por acción de los procesos del geodinamismo externo e interno. Se presenta de igual forma la propuesta de medidas preventivas y de mitigación de los riesgos ambientales en los ecosistemas del sector Aplao.

En el capítulo cinco, se desarrolla los factores condicionantes y desencadenantes de los diversos fenómenos que se dan o pueden darse en el sector Aplao, identificación de componentes ambientales más impactados, la estimación de riesgos ambientales, comparación crítica con la literatura existente a nivel local y limitaciones e implicaciones del estudio.

Al final del capítulo, se formulan las conclusiones relacionadas con los objetivos de la investigación y resultados obtenidos en la misma. De igual modo se plantean las sugerencias más adecuadas.

Terminamos el informe, presentando la bibliografía y los anexos respectivos. Es necesario reconocer que el trabajo realizado, no constituye una investigación final al respecto, pues se propone una continuación de la misma, teniendo en cuenta una mayor detalle y amplitud, sobre todo en la zonificación del riesgo y vulnerabilidad ambiental de las quebradas San Ignacio, Santa Ana, Caspani 1, Caspani 2, Casquina y Aplao.



## CAPITULO I

### INTRODUCCION

#### 1.1. Planteamiento del Problema

Los procesos del geodinamismo en la tierra (externo e interno) que son parte del ciclo geológico, en su constante dinámica dan lugar a peligros geológicos de geodinámica externa como los deslizamientos, derrumbes, flujos de detritos, caída de rocas entre otros y peligros geológicos de geodinámica interna como los sismos y erupciones volcánicas, cuyo desencadenamiento genera diferentes niveles de riesgo en los ecosistemas natural, humano y productivo.

El territorio peruano por su compleja geología y procesos geodinámicos muy activos, es un escenario de variados peligros naturales potencialmente destructivos para la vida y la propiedad. Al respecto INGEMMET (2006) zonificó el país en franjas de riesgo geológico, donde ha registrado más de 35,000 peligros geológicos y más de 2,000 áreas críticas en todo el país. Los deslizamientos, derrumbes, caídas de rocas y los flujos de detritos son los más frecuentes en los flancos de las cordilleras, valles interandinos y algunos valles costeros. Estos peligros son desencadenados por fuertes precipitaciones y sismos con riesgo alto de afectación a centros poblados, terrenos de cultivo, carreteras y obras de infraestructura.

En la zona sur del país INGEMMET (2006) reportó más de 600 áreas críticas por peligros geológicos, distribuidos en las diferentes regiones que políticamente conforman esta zona. De todas las regiones del sur del Perú, la región Arequipa, cuenta con el mayor número de zonas críticas (165), siendo la tercera región en el país con este tipo de zonas de alto riesgo, debido entre otros factores a la presencia de volcanes, gran actividad sísmica, ocupación y uso no adecuado de terrenos para vivienda localizados en lechos de quebrada como es el caso del sector Aplao.

En el valle de Majes los peligros geológicos resultantes de los procesos geodinámicos se verifican con gran incidencia y ocurrencia en este espacio geográfico, desde tiempos geológicos antiguos, al respecto Zavala et al (2013) identificaron vestigios de un mega deslizamiento en el sector de Punta Colorada de una posible edad Pliocuaternaria.



De los pocos estudios sobre peligros geológicos ocasionados por procesos geodinámicos en el valle de Majes, el trabajo de Bedía (2018), determina el riesgo de desastres para el sector de Punta Colorada, considerando en la evaluación del mismo la probabilidad de ocurrencia y el nivel de impacto catastrófico.

El sector Aplao, como parte del valle de Majes (territorio conformado por los distritos de Corire, Aplao y Huancarqui), por sus características litológicas, geomorfológicas, climáticas y estructurales presenta condiciones para la ocurrencia sobre todo de fenómenos geológicos de geodinámica externa, con potenciales niveles de riesgo para los diversos ecosistemas del área de estudio. Por ejemplo, en la margen derecha del río Majes entre los poblados de La Real y Aplao se presentan quebradas como San Ignacio, Santa Ana, Cochate, Caspani 1, Caspani 2, Aplao y Casquina que tienen en sus causas gran cantidad de sedimentos de diverso tamaño, materiales que en el caso de activación de cualquiera de estas quebradas aumentarían el poder destructivo de los flujos de detritos. En el sector Aplao también se tiene modificaciones naturales en la trayectoria del río y estrechamientos del cauce hechos por los pobladores para ganar terrenos de la llanura de inundación del río para utilizarlos como tierras de cultivo, lo que ha originado lugares que favorecen la erosión e inundación fluvial. Este último peligro de gran riesgo ambiental para los ecosistemas agrícolas, según el SENAMHI se origina cuando el río aumenta su caudal por encima de los 400 m<sup>3</sup>/seg.

En el valle de Majes, sector Aplao los peligros debidos a los procesos de la geodinámica externa y el consiguiente riesgo de afectación a los ecosistemas de este sector se dan sobre todo en la época de verano (entre enero a marzo) por el aumento de caudal del río Majes por las continuas lluvias en la cabecera de cuenca, o las precipitaciones extraordinarias en el sector Aplao. Por antecedentes históricos se determina que el valle de Majes y el sector Aplao son zonas con múltiples peligros de geodinámica externa e interna. La ocurrencia de algunos de estos peligros es de gran riesgo para los ecosistemas de este valle. Los conglomerados humanos de riesgo ante la ocurrencia de flujos de detritos, son las poblaciones asentadas en las márgenes y desembocaduras de las ocho (08) quebradas consideradas en el estudio (San Ignacio, Santa Ana, Cochate, Caspani 1, Caspani 2, Aplao,



Casquina y Cosos). De igual modo los flujos de detritos representan riesgo para la infraestructura vial Corire – Aplao, canales de riego y terrenos de cultivo. Los derrumbes y caídas de rocas para la infraestructura vial, canales de riego y terrenos de cultivo. El riesgo de inundación y erosión fluvial se presenta en terrenos agrícolas y márgenes del río Majes – sector Aplao.

Según el reporte de emergencia de huaycos de INDECI del 07-02-2019, debido a la precipitación pluvial extraordinaria de 9.8mm (Senamhi – Aplao) y a consecuencia de la misma se produjeron flujos de detritos en las quebradas de Aplao, Casquina y Caspani 1 que afectó a 204 familias, causó daños materiales a 108 viviendas principalmente de ladrillo, adobe y madera, afectó a 1.230 km de vías nacionales (tramos dañados por huaycos en anexos de Caspani 1, Casquina y centro poblado de Aplao), 620m de defensa ribereña (en diferentes tramos) y 410m de canales de riego (en diferentes tramos), afectó 4 bocatomas, destruyó 534m de tuberías de la red de agua potable, 300m de tuberías de la red de desagüe y el colapso total de la red de energía eléctrica (24 postes de baja tensión y 3 postes de media tensión), afectó 1.57 has de cultivo y 09 familias dedicadas a la agricultura y comercio. Según informe EVAR N° 001-MPC del año 2019, sobre la vulnerabilidad de los predios afectados por este evento de precipitación extraordinaria y considerando las dimensiones social y económica en cuanto a fragilidad y resiliencia de las poblaciones afectadas, se determinó que en Aplao por ejemplo, 163 predios presentaron un nivel de vulnerabilidad alto, 159 predios un nivel de vulnerabilidad medio y 692 predios un nivel de vulnerabilidad bajo, por lo que se corrobora que la zona del sector Aplao presenta peligros geológicos que representan un riesgo latente para los ecosistemas de la zona de estudio.

Las investigaciones que se realizaron en el valle de Majes y en el sector Aplao muestran que estas zonas presentan peligros de geodinámica externa e interna, activos desde tiempos geológicos antiguos con los consiguientes riesgos e impactos ambientales que amenazan a los diversos ecosistemas, por lo que es necesario además proponer medidas atenuadoras para prevenir o reducir los efectos de los peligros geológicos resultantes de los procesos del geodinamismo que se tiene en el sector Aplao (valle de Majes). En este contexto se formulan las siguientes interrogantes:



## 1.2. Formulación del Problema

### 1.2.1. Problema General

¿Cuáles son los riesgos ambientales de los procesos de geodinamismo en ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao – Arequipa - 2019?

### 1.2.2. Problemas Específicos

- a. ¿Cuáles son los procesos geodinámicos que se presentan en el valle de Majes, sector Aplao?
- b. ¿Cuáles son los riesgos ambientales sobre los ecosistemas relacionados con los procesos geodinámicos en el valle de Majes, sector Aplao?
- c. ¿Cuáles son los impactos ambientales previsibles a partir de los procesos geodinámicos en ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao?
- d. ¿Qué medidas preventivas se pueden diseñar para la mitigación o control de los riesgos ambientales en los ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao?

## 1.3. Justificación

La justificación de la investigación está centrada en identificar los procesos del geodinamismo externo del sector Aplao (valle de Majes).

Por evidencias geológicas el valle de Majes es geodinámicamente activo desde tiempos geológicos pasados (Plioceno), y los peligros geológicos como deslizamientos, inundaciones, derrumbes y huaycos se manifiestan con gran recurrencia sobre todo en el verano (entre enero y mayo), cuando el río Majes incrementa su caudal, ocasiona el desencadenamiento de inundaciones, huaycos, deslizamientos y derrumbes que afectan tierras de cultivo, carreteras, puentes, canales, poblaciones, etc.

Así mismo, la investigación contribuirá a determinar los efectos negativos de los riesgos ambientales en los ecosistemas generados por los procesos de geodinamismo externo, así como los aspectos ambientales en los ecosistemas naturales, productivos y urbanos derivados de la



ocurrencia de los peligros geológicos que se dan en este valle geodinámicamente activo.

El presente estudio es importante porque permite conocer de mejor manera el efecto de los fenómenos geológicos que se tienen en el sector de estudio, en base a lo cual se propondrá una estrategia de planificación para diseñar las medidas de atenuación correspondientes y reducir los riesgos e impactos ambientales.

#### **1.3.1. Conveniencia**

Es necesario y conveniente proteger los ecosistemas (naturales, productivos y urbanos) donde se tiene los recursos naturales que dan el sustento y la satisfacción de las necesidades humanas.

#### **1.3.2. Relevancia Social**

Socialmente, la relevancia se basa en que los grupos humanos viven en sociedad y son responsables de cumplir los propósitos para prevenir los riesgos e impactos ambientales en el medio ambiente, puesto que también son afectados por estos procesos, en este caso es relevante considerar a un valle tan importante para la economía de Arequipa y el sur del país, como lo es el valle de Majes.

#### **1.3.3. Implicancias Prácticas**

El conocimiento de los procesos del geodinamismo permitirá identificar los impactos ambientales y consecuentemente diseñar acciones para mitigar los riesgos ambientales, en este caso en los ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao.

#### **1.3.4. Valor Teórico**

Las acciones preventivas y reducción de los efectos de los impactos ambientales están directamente relacionados a los procesos que los originan y a su vez los relacionados con el ciclo geológico, que van a impactar en los ciclos biogeoquímicos, en el ciclo universal del agua, afectando los recursos naturales existentes en los ecosistemas; todo esto constituirá un marco teórico muy importante para diseñar acciones



adecuadas y conservar la estructura y funcionamiento de los ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao.

### **1.3.5. Utilidad Metodológica**

La investigación permitirá fijar un protocolo de trabajo para la relación entre:

- Los procesos del geodinamismo.
- La identificación de los impactos ambientales previsibles a partir de ellos.
- Identificación y evaluación de los riesgos ambientales.
- El diseño de medidas preventivas, mitigación y control de los riesgos ambientales.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Evaluar los riesgos ambientales de los procesos de geodinamismo en ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao – Arequipa 2019.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- a. Describir los procesos de geodinamismo que se presentan en el valle de Majes, sector Aplao.
- b. Identificar los riesgos ambientales sobre los ecosistemas relacionados con los procesos geodinámicos en el valle de Majes, sector Aplao.
- c. Determinar los impactos ambientales previsibles a partir de los procesos geodinámicos en ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao.
- d. Proponer medidas preventivas y de mitigación de los riesgos ambientales en los ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao.



## **1.5. Delimitación de Estudio**

### **1.5.1 Delimitación espacial**

Comprende el valle de Majes, sector Aplao (La Real – Aplao – Quebrada de Cosos) y los ecosistemas naturales, productivos y urbanos ubicados en esta área geográfica.

### **1.5.2. Delimitación Temporal**

El estudio consignó información sobre los procesos geodinámicos, riesgos ambientales del valle de Majes, sector Aplao, dicha información corresponde al periodo 2019. Asimismo, el trabajo se efectuó durante el 2022.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de Estudios

Al efectuarse la revisión de fuentes de información sobre los riesgos ambientales que pueden ser ocasionados por el geodinamismo, se pudo constatar la existencia de antecedentes, orientados bajo una perspectiva descriptiva de las causas que originan los fenómenos de geodinámica externa, tipos de peligros geológicos y efectos parciales de los mismos, pero, sin considerar los riesgos ambientales que los peligros de geodinámica externa pueden ocasionar en ecosistemas naturales, humanos y productivos.

Dada las condiciones geológicas y geográficas del área de estudio no se encuentran trabajos similares con el propuesto en la presente investigación; sin embargo, con fines de ilustración se consignó estudios geodinámicos realizados a nivel internacional, nacional y local.

##### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

- **Cuanalo y Gallardo (2016) desarrollaron el trabajo: Fenómenos de remoción en masa. Acciones para reducir la vulnerabilidad y el riesgo.** Según los autores el objetivo fue determinar las características que definen el riesgo, la amenaza y vulnerabilidad que pueden ocurrir en un área determinada.

Indican que en la Sierra Madre Oriental (México) se presentan diferentes peligros como desprendimientos rocosos, flujos de detritos, deslizamientos, movimientos complejos, etc., que han afectado viviendas, carreteras, puentes, terrenos de cultivos, etc.

Establecen las causas de la remoción en masa que se producen en el lugar, causas que están relacionadas a las lluvias de diferentes intensidades, terremotos, actividad volcánica, origen tecnológico y diversas actividades humanas.



Un acápite importante de su trabajo corresponde a las medidas propuestas para reducir el riesgo, las mismas que tienen como objetivos minimizar la vulnerabilidad, mejorar la seguridad física de las personas, sus bienes y capacidad de respuesta cuando ocurre un peligro geológico.

Las medidas propuestas son estructurales y no estructurales. Como medidas no estructurales destacan la educación, capacitación de la comunidad y acciones de respuesta para la mitigación de los efectos ante cualquier contingencia originada por procesos geológicos. De igual modo consideran que las medidas estructurales y no estructurales eficientemente implementadas pueden servir para actuar sobre uno de los factores de riesgo que es la vulnerabilidad.

Del estudio se determinó que los fenómenos geológicos causan en la sierra madre oriental en México desastres y daños en viviendas, infraestructura y sectores agrícola, ganadero, forestal, etc., es algo similar a lo que ocurre en el valle de Majes, sector Aplao por lo que el autor plantea la importancia de considerar medidas correctivas, prospectivas y/o restrictivas de reducción de la vulnerabilidad de las comunidades asentadas en zonas de laderas inestables. Estas recomendaciones probablemente se implementarán en la zona de estudio como parte de la evaluación del riesgo geológico ocasionado por los fenómenos de la geodinámica terrestre sobre los ecosistemas naturales, humanos y productivos.

- **Avila, L. (2016) Desarrolló el trabajo: Evaluación de la susceptibilidad de riesgos geológicos debidos a procesos de remoción en masa en el área pedemontana de la quebrada y dique Los Sauces (La Rioja, Argentina)**, señala que el área de trabajo es una zona vulnerable, frente a los procesos morfodinámicos. Además, indica que la vulnerabilidad aumenta por acciones antropogénicas de diversa índole que fomentan áreas de riesgo que pueden desencadenar en desastres naturales.

Los movimientos en masa que se dan en las laderas están relacionados con la litología, la meteorización y la erosión del sustrato rocoso, lluvias estacionales y acciones antrópicas como obras civiles y urbanísticas.



Entre los peligros geológicos que se dan se tiene deslizamientos, derrumbes y desprendimientos.

En el estudio se determina los factores que controlan los movimientos de masa que se dan en las laderas, que son los factores detonantes como las lluvias, la erosión de las escorrentías y acciones antrópicas. Como factores condicionantes se tiene a la litología y pendientes.

De igual modo en el trabajo es importante la evaluación de la susceptibilidad de la zona a la remoción en masa y el tipo de riesgo geológico, evaluación que considera a los factores de ocurrencia identificados en el área de estudio.

Se encuentra cierta relación con la investigación propuesta para la zona de estudio Majes, en lo que se refiere al tipo de factores causales de los movimientos en masa, que tienen que ver con la inestabilidad de laderas, generando zonas susceptibles de riesgo geológico, que puede afectar vidas humanas, viviendas e infraestructura vial.

- **Jiménez, L. (2018) realizó el Estudio del peligro geológico por procesos de remoción en masa en la cuenca de Motozintla, Chiapas, México,** con el objetivo de identificar y caracterizar las zonas con peligros de remoción en masa, por la acción de factores detonantes y condicionantes que se tienen en esta cuenca.

El estudio está centrado en el poblado de Motozintla del estado de Chiapas, una de las regiones geológicas más vulnerables del país porque en esta región se conjugan los factores condicionantes con los desencadenantes, que generan un riesgo latente para la población y sus bienes que pueden terminar en un desastre. El autor recalca que el estudio servirá para comprender cual es la dinámica de los procesos de remoción en masa en esta localidad y sobre todo determinar cómo están relacionados los factores condicionantes del terreno con los factores detonantes para inferir el comportamiento del terreno ante eventos geológicos que puedan impactar la zona.



Como resultados de la investigación determinó que los factores condicionantes con los peligros de remoción de masa están asociados con la geología del lugar, la pendiente, tipo de suelo y condiciones climatológicas. Los factores detonantes de estos procesos en el área de estudio son las precipitaciones, los sismos y actividades antrópicas como la deforestación.

El aporte de este estudio a la presente investigación, está referido a la importancia de la conjunción de controles estructurales y litológicos en el desencadenamiento de derrumbes y deslizamientos, como es el caso del derrumbe del cerro Huancarqui, donde se conjugan en este peligro geológico el fracturamiento de las rocas con el tipo de formación que se tiene en este sitio, caracterizado por rocas no tan compactas y que sumado al relieve empinado del lugar ocasionan este peligro geológico.

En este trabajo no se evaluó el riesgo que representan estos peligros al entorno donde se presentan los mismos. En nuestra investigación se evaluó el riesgo en base a la Guía de evaluación de riesgos ambientales del Ministerio del Ambiente y además se proponen medidas de prevención y mitigación.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

- **Luza et al. (2015), realizaron el estudio: Caracterización Geodinámica de la ciudad de Abancay para la prevención de Desastres-INGEMMET-Lima-Perú.**

Los autores de este trabajo indican que la ciudad de Abancay tiene una susceptibilidad geodinámica moderada a muy alta a los movimientos en masa. De su estudio deducen que los factores que influyen en la inestabilidad geodinámica son la fuerte meteorización, elevadas pendientes, la geomorfología de la ciudad, las precipitaciones pluviales, la vegetación que condiciona la estabilidad de los substratos rocosos y originan suelos residuales inestables.

Determinaron que la mayor ocurrencia de peligros geológicos son la caída de rocas, deslizamientos y flujos de detritos. Los factores



condicionantes de estos peligros fueron determinados mediante la evaluación de la hidrogeología, la susceptibilidad a los movimientos en masa y condiciones geomecánicas del substrato rocoso.

Este trabajo contribuye en la investigación realizada, porque resalta la importancia de los factores condicionantes en la ocurrencia de procesos de tipo geológico que se presentan en la ciudad de Abancay y que son de alto riesgo, al igual que la zona de estudio donde son muy importantes los factores causales de los diferentes tipos de peligros que aumentan la vulnerabilidad del sector Aplao, especialmente las poblaciones ubicadas en los cauces de las quebradas como Santa Ana, San Ignacio, etc.

- **Soncco, Y. y Manrique, N. (2018) realizaron el estudio Peligro por deslizamiento en el sector Matarani región Tacna, provincia Candarave, distrito Quilahuani**, con el objetivo principal de entender los factores que desencadenaron el deslizamiento ocurrido en el sector Matarani que produjo el colapso de aproximadamente 4.35 has de terrenos de cultivo y obras de infraestructura.

Determinaron que el referido sector es una zona de geodinámica muy activa, considerada a su vez como crítica para peligros geológicos como deslizamientos, derrumbes y caída de rocas como es el caso del sector Aplao (cerro Huancarqui).

En su estudio identifican como factores condicionantes a la litología (calidad de roca), morfología y pendiente del terreno con características algo similares a las que se tiene en el cerro Huancarqui, sector Aplao (valle de Majes). Entre las conclusiones indican que por ser zona de alto peligro frente a procesos de movimientos en masa es necesario realizar un estudio de estimación de riesgo, dado los daños causados por la reactivación del deslizamiento en el sector de Matarani.

En nuestro trabajo se evalúa el riesgo ambiental al que están expuestos los diversos ecosistemas del sector Aplao.



### 2.1.3. Antecedentes Locales

- **Kosaka et al. (2001)**, realizaron el trabajo: **Estudio Geodinámico y Evaluación de peligros del Valle de Majes (Aplao, Huancarqui, Cosos, La Real y Corire)**, en este estudio los autores indican que en el valle de Majes (Arequipa) pueden ocurrir fenómenos naturales. Los peligros geológicos que se tiene son inundaciones, deslizamientos, derrumbes y flujos de barro (activación de quebradas). En lo referente a inundaciones se tiene que la “llanura aluvial” del rio majes es geológicamente “activa” y que las avenidas con inundaciones se han registrado en diferentes periodos comprendidos de 1952 – 1955, 1973 – 1977, 1984 - 1985 y 1993 – 1994. Estas inundaciones se producen en el verano, debido a incrementos en el caudal del rio Majes.

En lo concerniente a deslizamientos y derrumbes señalan que varias localidades pueden ser afectadas por estos peligros geológicos como en los sectores de Caspani, Querulpa Chico donde la ocurrencia de derrumbes podría afectar tramos importantes de la carretera asfaltada Corire – Aplao, así como algunas viviendas y terrenos de cultivo.

En su estudio presenta una relación histórica de sismos que han ocurrido en la región Arequipa, afectando el valle de Majes, así como han realizado una microzonificación sísmica en Aplao, Corire, Cosos, La Real y Huancarqui para determinar la estabilidad de los suelos y relacionarlos con los daños producidos a causa del sismo del 23 de junio del 2001.

Este estudio contribuye en la presente investigación porque da a conocer la “actividad geodinámica” de la llanura aluvial del rio Majes relacionada con la ocurrencia de inundaciones que pueden causar riesgos ambientales significativos, moderados o leves en terrenos de cultivo, viviendas e infraestructura vial. De igual modo aporta en la presente investigación, porque determina los peligros geológicos que se dan en el valle de Majes, sus factores y lugares o zonas peligrosas a estos fenómenos del geodinamismo.

Se considera este estudio, a pesar de la antigüedad del mismo por ser un trabajo que ha servido de referencia para las pocas investigaciones sobre



geodinámica y evaluación de peligros que se han desarrollado en el valle de Majes.

- **Bedía (2018), en su trabajo de tesis Desarrollo Sostenible: Desastres Naturales en el Valle de Majes, Sector Punta Colorada – Arequipa 2018**, en su investigación indica la importancia de las causas, factores y efectos de las catástrofes naturales que pueden darse en el área descrita. Estos estudios previos sirven para garantizar la implementación económica y social del desarrollo sostenible en el sector de Punta Colorada.

Aplicó la metodología basada en la construcción de un mapa de riesgos con el que evalúa la probabilidad, el impacto y nivel de riesgo vinculado a los diversos tipos de desastres naturales que pueden darse.

El autor determinó, que los sismos son altamente riesgosos, por la alta probabilidad de que ocurran, un grado catastrófico de impacto por los graves efectos en la seguridad de la población, viviendas y diversos tipos de infraestructura.

Este estudio contribuye, porque al determinar el grado de riesgo del área a los fenómenos de Geodinámica interna (sismos), corrobora la relación de estos fenómenos con los factores desencadenantes a los peligros de Geodinámica externa que se dan en el valle de Majes; así como con la susceptibilidad ambiental alta a muy alta que se presenta en el valle debido al geodinamismo interno y externo.

- **Núñez et al. (2019) realizan el estudio Evaluación de Peligros Geológicos en los sectores de Aplao, Casquina y Caspani. Región Arequipa, Provincia Castilla, Distrito Aplao**, en este trabajo identificaron las condicionantes geológicas, geodinámicas y geográficas relacionadas con los flujos de detritos ocurridos en Aplao, Caspani y Casquina. De la evaluación realizada inmediatamente después de la ocurrencia de huaycos en esta zona, determinaron que estas localidades se encuentran sobre antiguos depósitos de huaycos, evidencias de antiguos movimientos en masa; los cuales pueden reactivarse en época de lluvias excepcionales como la del 07 de febrero del 2019. De igual modo señalan que la planificación urbanística en el distrito de Aplao no es



adecuada, por permitirse la ocupación del cauce de las quebradas por viviendas que podrían generar desastres futuros en el distrito. Una conclusión importante de la evaluación es la susceptibilidad alta a los fenómenos de remoción en masa en el sector de estudio, siendo posible que se presenten nuevos eventos de huaycos generados por lluvias extraordinarias.

El aporte de esta evaluación de peligros geológicos en esta parte del valle de Majes corrobora una susceptibilidad alta en los problemas geodinámicos de remoción en masa que se puedan dar por las precipitaciones excepcionales considerados estas como factores desencadenantes de procesos geodinámicos externos.

## 2.2. Bases Históricas

### 2.2.1. Sector Aplao: Área Geográfica

La investigación abarca un área de 28.35 Km<sup>2</sup> que pertenece al distrito de Aplao, la misma que tiene las siguientes coordenadas UTM:

**Tabla 1**

*Sectores del distrito de Aplao*

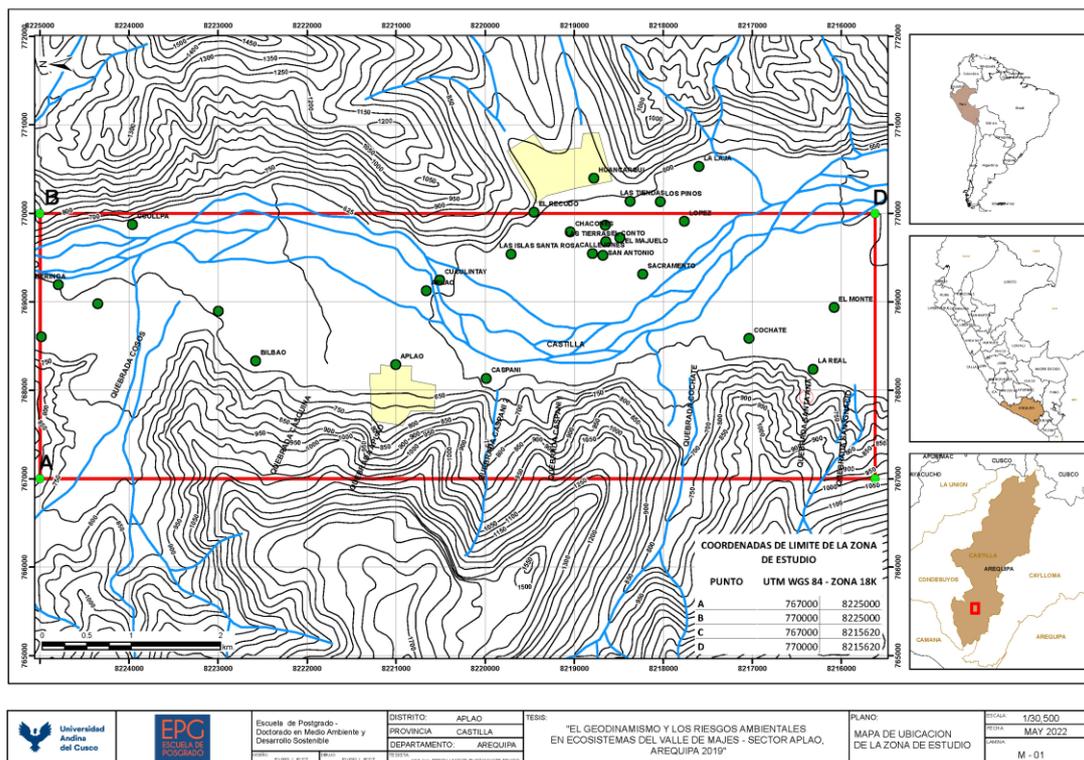
Vértice de segmento	Este	Norte
A	767,000	8'225,000
B	770,000	8'225,000
C	767,000	8'215,620
D	770,000	8'215,620

*Nota.* Información concerniente a los cuatro vértices que conforman el Distrito de Aplao. Fuente: Elaboración propia.

Aplao, pertenece a la provincia de Castilla, región Arequipa, ubicado en el suroeste de nuestro país, situado sobre los 631 m.s.n.m. y a 178.4 km de Arequipa, tomando la carretera Panamericana en dirección a Lima (Kosaka et al, 2001).

Figura 1

Ubicación de zona de estudio



Nota. Geografía del Distrito de Aplao y relieve de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia

- **Clima:** La temperatura media anual de Aplao es 20.1°C. Los meses más calurosos comprende de noviembre a marzo con temperaturas por encima de los 26°C y de junio a septiembre son meses fríos con temperatura media de 12.9°C. Los promedios anuales de las precipitaciones son de 1.74 y 12 mm. La humedad relativa tiene un promedio anual de 73.8% (Kosaka et al., 2001).
- **Vegetación:** La zona de estudio es árida y la vegetación que se tiene en el piso del valle corresponde a cultivos de arroz, vid, maíz morado, caña de azúcar y otros productos de pan llevar. Como vegetación rivereña se tiene: sauce, molle, caña brava, chillca, frutales como la palta, pacay, mango, etc. (Kosaka et al., 2001).
- **Hidrografía:** El río principal de este fértil valle es el río Majes, que se origina de la unión de los ríos Andamayo y Colca. Por la zona de estudio en promedio tiene una pendiente de 3% aproximadamente. En sus



márgenes presenta terrazas fluviales que son aprovechadas para los diversos sembríos que se tiene en el valle (Kosaka et al., 2001).

Los caudales medio mensuales varían entre  $36.8\text{m}^3/\text{seg}$  y  $174.5\text{m}^3/\text{seg}$ .

Según la estación de aforo de Huatiapa (Aplao) el río Majes el 17 de febrero del 2012 registró un fuerte incremento de caudal que llegó a los  $939.9\text{m}^3/\text{seg}$ , algo parecido ocurrió el 1° de marzo del 2020 con un caudal de  $815\text{m}^3/\text{seg}$  que produjo inundaciones en terrenos agrícolas del valle (SENAMHI, 2011).

De un recuento histórico de caudales máximos anuales que sobrepasan los  $1000\text{m}^3/\text{seg}$  se tiene a los años 1949 con  $1012.8\text{m}^3/\text{seg}$ , 1955 con  $2400\text{m}^3/\text{seg}$ , 1959 con  $1400\text{m}^3/\text{seg}$ , 1973 con  $1040\text{m}^3/\text{seg}$ , 1978 con  $1600\text{m}^3/\text{seg}$ , 1981 con  $1000\text{m}^3/\text{seg}$  y 1984 con  $1025\text{m}^3/\text{seg}$  (SENAMHI, 2011).

- **Actividades económicas:** Las actividades que se desarrollan en Aplao son la agricultura, ganadería y el comercio (Kosaka et al., 2001).

## 2.2.2. Marco Geológico

### 2.2.2.1 Geomorfología local – Sector Aplao

Las diferentes unidades morfológicas que se tiene en este sector, son parte del Mapa geomorfológico del Perú – región Arequipa (INGEMMET, 2007). De acuerdo a este mapa en el área de estudio se tiene las siguientes geoformas:

- **Montañas y colinas estructurales en rocas sedimentarias (RMCE – rs).**

Esta unidad es la de mayor extensión en el sector Aplao y se presenta en las márgenes derecha e izquierda del valle de Majes. En las partes bajas, colindante con el fondo del valle se presentan colinas de relieves algo redondeados y laderas o vertientes suaves a abruptas con inclinaciones entre  $25^\circ$  a  $45^\circ$ . Esta morfología de colinas cambia a geoformas más agrestes formando las montañas que presentan perfiles aguzados. Las partes bajas se encuentra entre los 600 a 650 m.s.n.m y las partes más altas entre 1700 a 1750 m.s.n.m.



Esta unidad se desarrolla sobre rocas sedimentarias de la formación Labra (areniscas cuarcíticas grises con limo arcillitas gris oscuras) y de la formación Hualhuani (Areniscas cuarcíticas blancas con estratificación cruzada). Debido a la solidez de estas rocas las quebradas de Santa Ana, San Ignacio, Cochate, Caspani 1 y 2, Aplao y Casquina ubicadas en esta unidad presentan laderas a manera de farallones con pendientes entre 35 a 70°.

Se presenta también en la margen izquierda del valle y colinda con el límite Este del área de trabajo. Está formada por rocas sedimentarias de la formación Moquegua (conglomerados, areniscas y limolitas gruesas).

- **Montaña en roca intrusiva (RM – ri):**

Esta unidad está formada por una ladera bastante escarpada sobre el afloramiento de roca intrusiva del tipo granodiorítico, con una fuerte inclinación de 45° a 50°. La base de esta ladera granodiorítica está siendo erosionada por el río Majes. Esta ladera se presenta en la margen izquierda del valle y corresponde al límite Noreste del área de trabajo.

- **Montaña estructural en roca sedimentaria (RME – rs)**

Se presenta sobre rocas sedimentarias de la formación Sotillo (limolitas, limoarcillitas y arenas limosas) y de la formación Hualhuani (areniscas cuarcíticas blancas). La montaña estructural desarrollada sobre la formación Sotillo tiene una orientación NE – SW, se presenta a manera de una geoforma de perfil suave a redondeado debido a que las rocas que la forman son blandas. Sus altitudes van de los 900 m.s.n.m. a 1200 m.s.n.m. y sus vertientes tienen inclinaciones entre 30° a 35°. Este segmento está fuera de la zona de estudio.

La montaña estructural desarrollada sobre las rocas de la formación Hualhuani por la dureza de las rocas que forman corresponde a una ladera tipo farallón de pendiente de 40 a 50° de inclinación. La parte baja de esta unidad esta erosionada por el río Majes y se ubica en el límite Noreste del área de trabajo.

- **Colina en roca sedimentaria (RC – rs)**

Se desarrolla sobre rocas sedimentarias de la formación Sotillo (limolitas, limoarcillitas y areniscas rojizas) tienen una orientación de SE a NW, con



perfiles suaves algo redondeados, presenta altitudes entre los 700 m.s.n.m. en la base a los 1000 m.s.n.m. en la cima de la unidad.

- **Colina y lomada en roca intrusiva (RCL – ri)**

Unidad desarrollada en roca intrusiva (granodioritas). Se orienta también en dirección SE a NW, con una altura aproximada en su cima a 900 m.s.n.m. La ladera de esta unidad tiene inclinación de 35° a 37° (moderada algo abrupta).

- **Vertiente o piedemonte aluvio torrencial (P – al)**

Esta unidad corresponde a la quebrada de Cosos, que se activa en época de lluvias. En el lecho de la quebrada se observa gran cantidad de material formado por fragmentos rocosos de diversos tamaños arrastrados por las corrientes de agua estacionales o por los huaycos que ocurren cuando se producen lluvias excepcionales. Los depósitos aluvio – torrenciales forman en su desembocadura en el río Majes un enorme cono de deyección.

- **Abanico de piedemonte (Ab)**

Comprende la quebrada de Cochate, que se distingue por la llanura formada en su desembocadura en el río Majes por los conos de aluviones. Esta unidad se ubica al pie de las montañas estructurales desarrolladas en rocas sedimentarias.

Presenta variedad de fragmentos rocosos en composición y tamaño; así como una gran cantidad de materiales aluviales finos, arenas y gravas, depositados por los flujos de agua estacionales y huaycos que han sucedido en el pasado. Esta quebrada en su tramo de la desembocadura tiene una orientación W – E.

- **Llanura o planicie inundable (PL – i)**

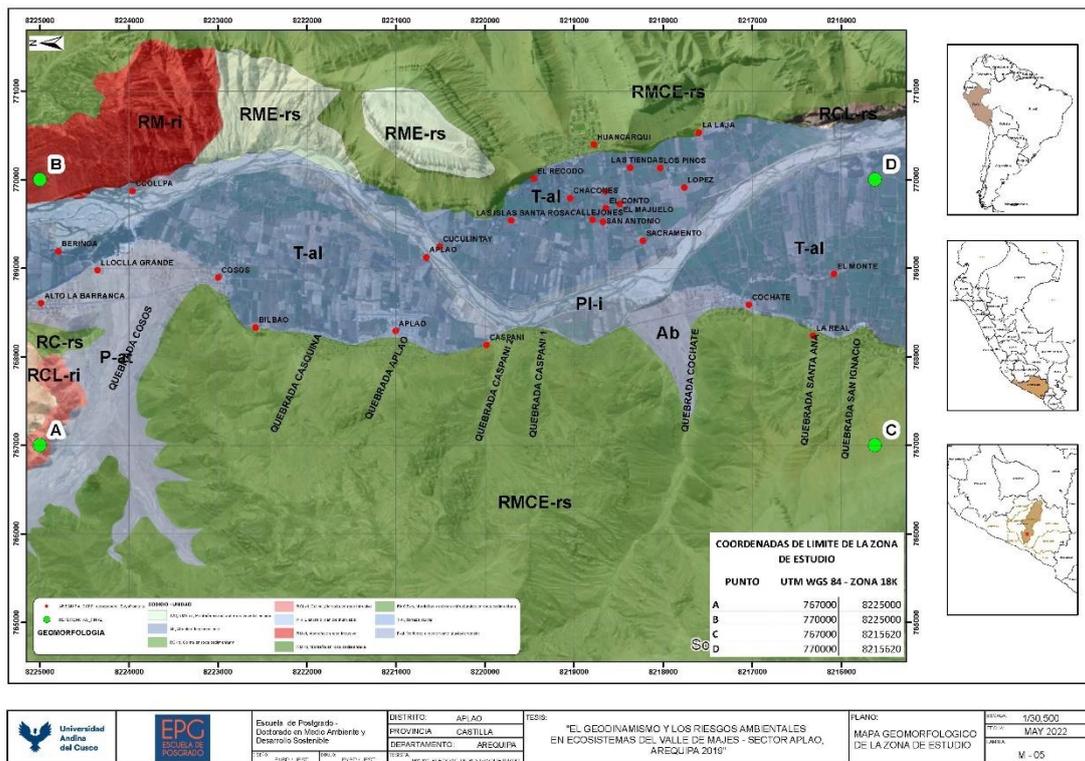
Se ubica en la margen derecha del valle de Majes, es una unidad formada por material aluvial, es un terreno plano susceptible a ser inundada por la crecida del río Majes en época de lluvias, cuando éste presenta caudales mayores a los 400m/seg. Esta unidad es aprovechada como terrenos de cultivo. Tiene una orientación N – S.

- **Terraza aluvial (T – al)**

Unidad que se encuentra en el fondo del valle del río Majes. Está formada por sedimentos (arenas, limos y gravas) depositados por el río Majes en los terrenos adyacentes al cauce de este río. Se utilizan como terrenos agrícolas.

**Figura 2**

*Unidades geomorfológicas locales*



Nota. Mapa geomorfológico de la zona de estudio. Fuente: Región Arequipa (INGEMMET – 2007)

### 2.2.2.2 Geología local

#### Grupo Yura: (Jurásico superior – Cretácico – inferior)

- **Formación Labra:**

Esta formación perteneciente al grupo Yura, litológicamente presenta areniscas cuarzosas finas a gruesas de coloración blanco a gris que se intercalan con limo arcillitas de coloración gris a negra (Guizado, 1968).

- **Formación Hualhuani:**

Según Guizado (1968), esta formación litológicamente está constituida por areniscas cuarzosas de coloración blanco a rosado, de grano fino a



grueso, que se intercalan con delgadas capas de limo arcillitas marrones a negras.

- **Formación Sotillo: (Paleógeno)**

Está conformada de limolitas, limo arcillitas y areniscas limosas de coloración que van del gris rojizo a marrón rojizo. Las rocas de esta formación están cortadas por venas de yeso de anchos variables. Estas rocas afloraron en la margen izquierda del valle (C° Recodo) entre Aplao y Huancarqui (Guizado, 1968).

- **Formación Moquegua: (Mioceno – Plioceno)**

En la zona de estudio (C° Huancarqui), se tiene rocas de la formación Moquegua superior que yacen sobre rocas de la formación Sotillo (Guizado, 1968).

Está formada por areniscas tobáceas de color blanco algo grisáceas de grano fino a medio, conglomerados de cantos pequeños y limolitas de colores grises (Guizado, 1968).

- **Depósitos clásticos holocénicos:**

- **Terrazas fluviales:**

Existen terrazas fluviales de pequeña extensión en ambas márgenes del valle de Majes. Están constituidos por sedimentos de diversos tamaños que van desde bloque rodados hasta arenas. Son producto de la depositación fluvial y sobre ellas se desarrollan actividades agrícolas (Guizado J., 1968).

- **Aluviones:**

En el sector de Aplao se tiene depósitos que son una mezcla de depósitos aluviales con depósitos proluviales, depositados por el río Majes y los flujos de detritos antiguos (Guizado J., 1968).

- **Depósitos coluviales:**

Localizados al pie de las laderas, como producto de la acción del intemperismo y que se acumulan por efecto de la gravedad. Están constituidos por acumulaciones detríticas de diferentes tamaños y litologías variadas (Guizado J., 1968).



- **Rocas intrusivas (Granodiorita):**

Este intrusivo de una edad cretácica superior, aflora en la ribera izquierda del río Majes y al Noreste del poblado de Aplao. Roca de coloración gris algo rosácea, grano medio y compacta. Tiene textura equigranular y como componentes mineralógicos se observan andesita, oligoclasa, labradorita y cuarzo (Guizado, 1968).

**Tabla 2**

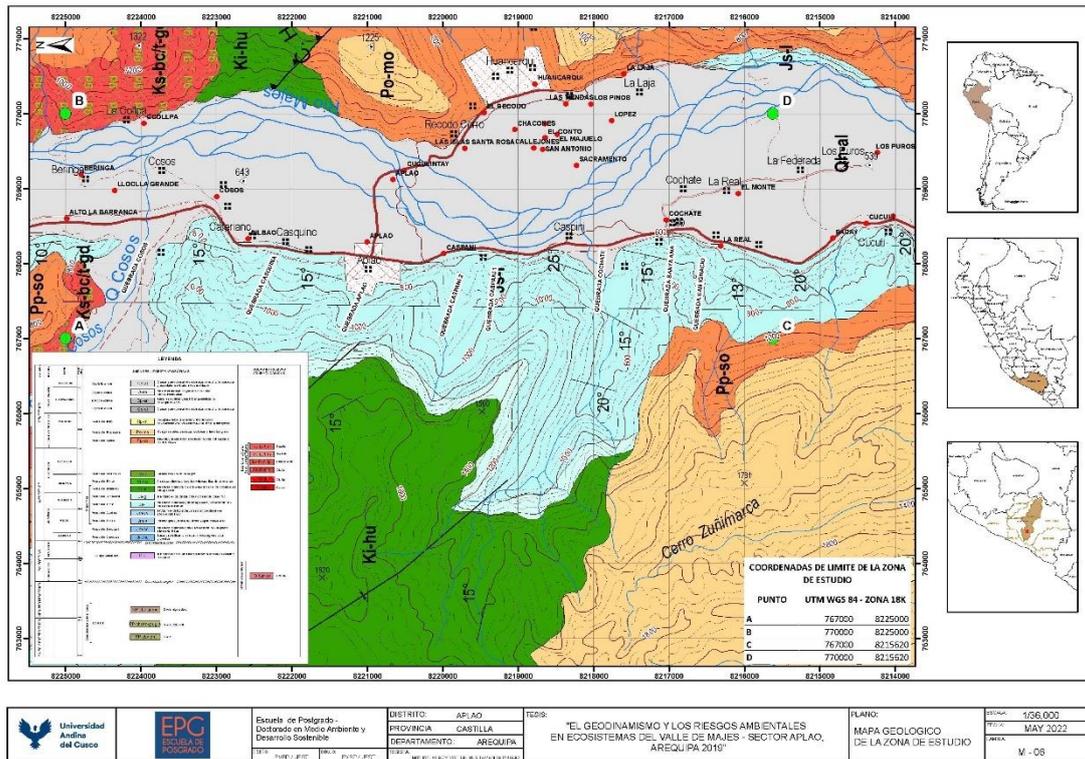
*Edades de las formaciones geológicas y rocas intrusivas – Sector Aplao*

Sistema	Serie	Unidades litoestratigráficas	Rocas intrusivas
Cuaternario	Holoceno	Depósitos clásticos holocénicos	
Neógeno	Plioceno	Formación Moquegua	
	Mioceno		
Paleógeno	Oligoceno	Formación Sotillo	
	Eoceno		
Cretácico	Superior		Granodiorita
	Inferior	Grupo Yura	
Jurásico	Superior		

*Nota.* Presencia de formaciones geológicas en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia con base en Núñez et al. (2019)

Figura3

Mapa geológico de la zona de estudio



Nota. Reconocimiento de la zona de estudio. Fuente: Nuñez et al. (2019)

### 2.2.2.3 Geología estructural:

La falla Huancarqui (falla inversa) es la estructura más resaltante en el sector Aplao. Esta falla sobrepone las rocas de la formación Moquegua (Mioceno - Plioceno) a las rocas del grupo Yura (Jurásico superior – Cretácico inferior).

### 2.2.3 Susceptibilidad Geodinámica

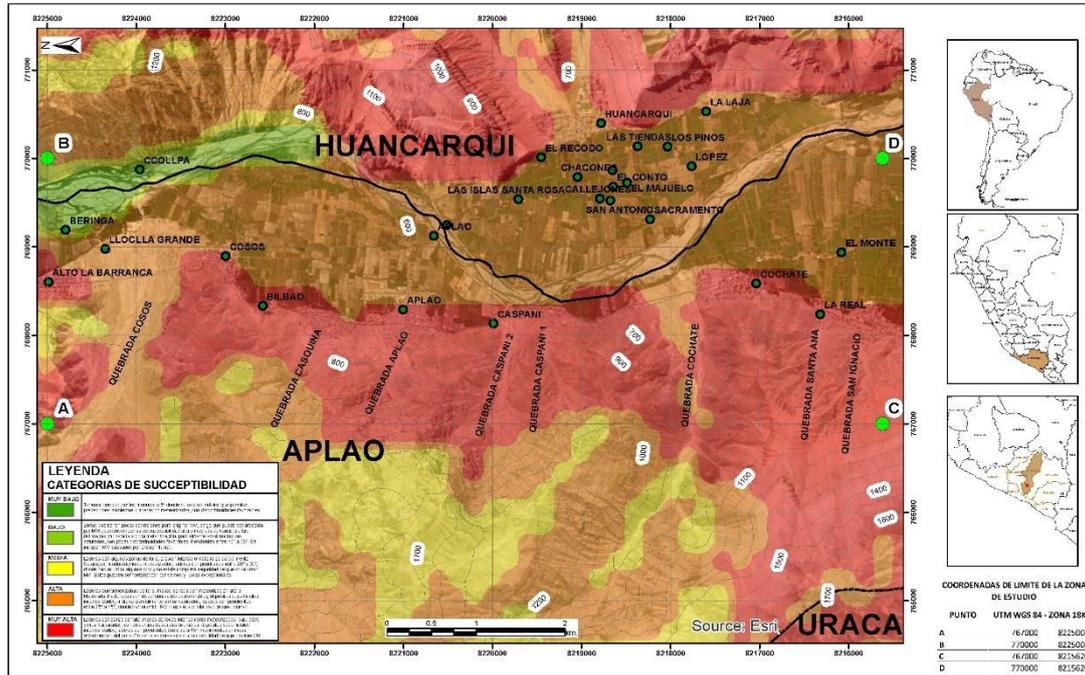
La zona de estudio, por sus características climáticas, geológicas, litológicas, morfológicas y estructurales presenta una susceptibilidad alta y muy alta a la remoción en masa (Zavala et al., 2013).

Un condicionante importante en el fracturamiento y desintegración mecánica de las rocas (intemperismo físico) es la temperatura (20.1°C de promedio anual). El producto de este meteorismo físico genera grandes acumulaciones de fragmentos angulosos de rocas de tamaños variados que se acumulan al pie de las laderas y fondos de los causes de las

quebradas y constituyen el material detrítico arrastrados por los flujos de detritos (Zavala et al., 2013).

Figura 4

Susceptibilidad geodinámica de la zona de estudio



		Escuela de Postgrado - Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible	DISTRITO: APLAO	TIC2015:	FLANO:	ESCALA:
			PROVINCIA: CASTILLA	"EL GEODINAMISMO Y LOS RIESGOS AMBIENTALES EN ECOSISTEMAS DEL VALLE DE MAJES - SECTOR APLAO, AREQUIPA 2019"	MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	1/30,000
			DEPARTAMENTO: AREQUIPA			MAY 2022
						M - 03

Nota. Reconocimiento de la susceptibilidad de la zona de estudio. Fuente: Zavala et al. (2013)

### 2.2.4 Relieve (pendientes) de la Zona de Estudio

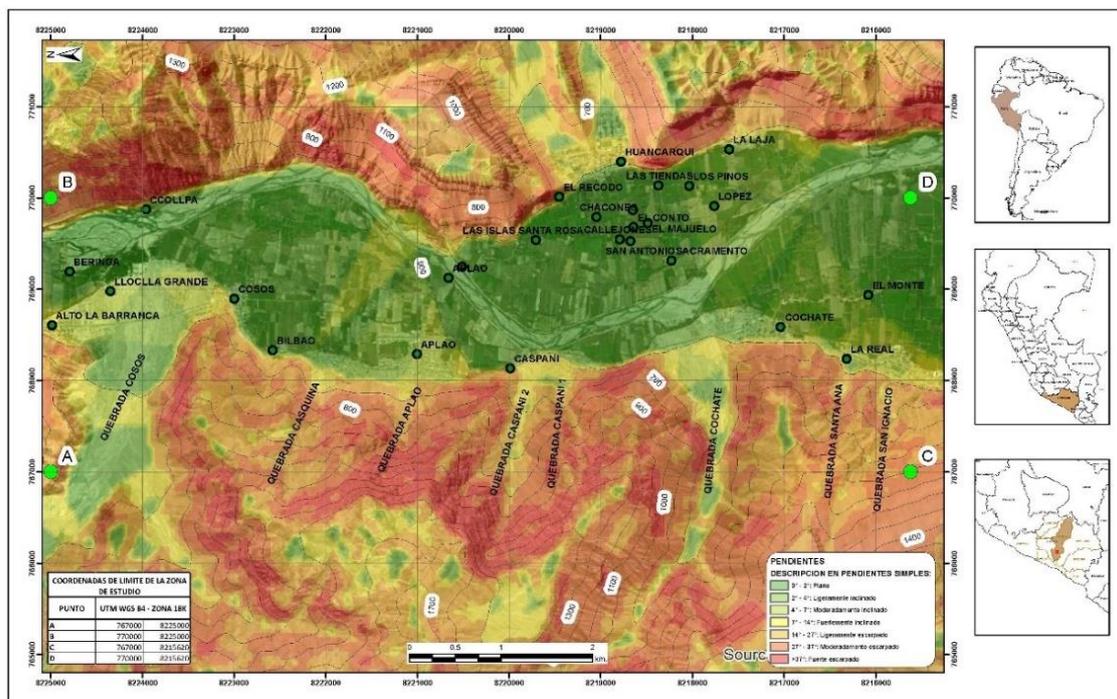
El valle de Majes, presenta un fondo bastante amplio donde el río presenta en tramos de su recorrido un curso meandriforme, laderas de relieve acentuado, condicionado por la litología existente, los procesos de meteorización física y erosión.

En el sector Aplao, la margen derecha del valle donde afloran rocas de la Formación Labra formada por areniscas, areniscas cuarcíticas y cuarcitas de colores grises intercalados con bancos de lutitas y limolitas, por ser rocas de gran consistencia (sobre todo las areniscas cuarcíticas y cuarcitas) se tiene relieves en general abruptos con pendientes clasificados como relieves ligeramente escarpados (pendientes de 14° - 27°), moderadamente escarpados (27° - 37°) y fuertemente escarpados (pendientes mayores a 37°).

En la margen izquierda donde afloran rocas de la Formación Sotillo (limolitas, limoarcillitas con venas de yeso y areniscas gruesas), Formación Hualhuani (areniscas cuarcíticas blancas) y rocas intrusivas (granodioritas), el relieve también es abrupto con pendientes clasificados como ligeramente escarpados ( $14^\circ - 27^\circ$ ), moderadamente escarpadas ( $27^\circ - 37^\circ$ ) y fuertemente escarpadas (mayores a  $37^\circ$ ). En esta margen del sector Aplao las laderas que llegan al fondo del valle tienen pendientes fuertes (entre  $60^\circ - 70^\circ$ ) debido a la erosión del río.

**Figura 5**

*Relieve (pendientes) de la zona de estudio*



		Escuela de Postgrado - Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible	DISTRITO: APLAO PROVINCIA: CASTILLA DEPARTAMENTO: AREQUIPA	TÍTULO: "EL GEOCLIMISMO Y LOS RIESGOS AMBIENTALES EN ECOSISTEMAS DEL VALLE DE MAJES - SECTOR APLAO, AREQUIPA 2019"	PLANO: MAPA DE PENDIENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO	ESCALA: 1/50,000 FECHA: MAY 2022 AUTORA: M.-04
		M.E. EN INGENIERÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE				

*Nota.* Reconocimiento de las pendientes presentes en la zona de estudio. Fuente: INGEMMET (2007)

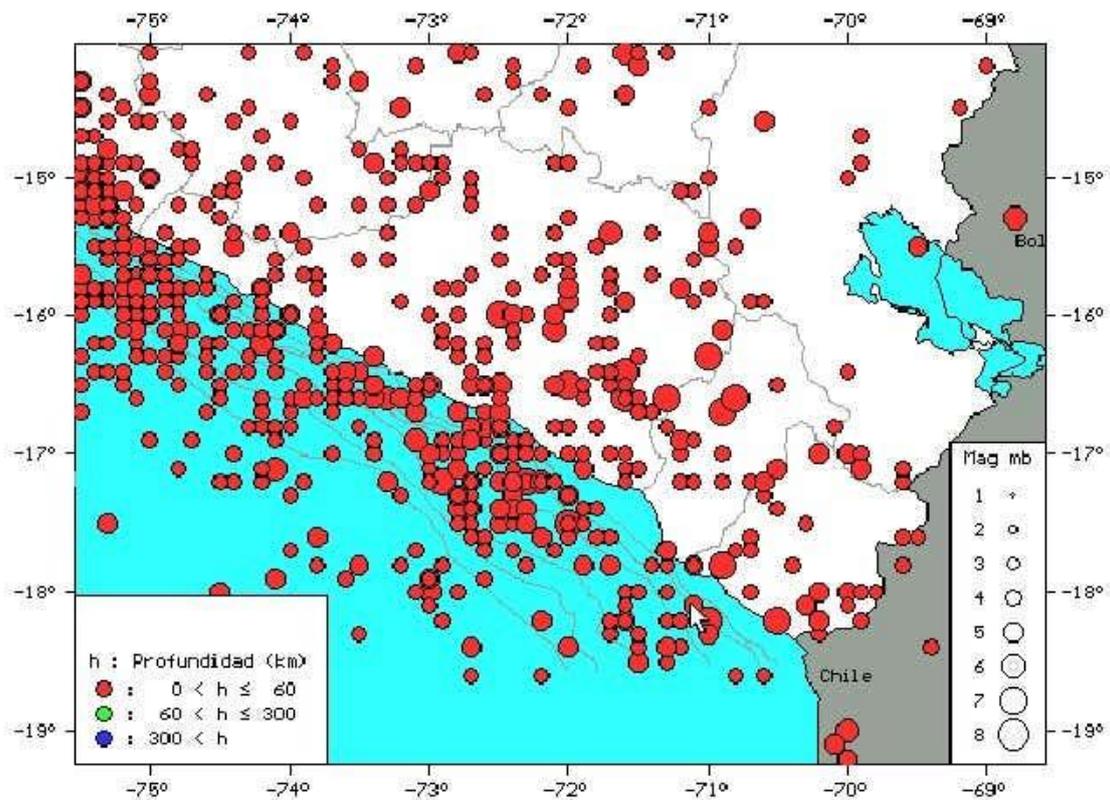
### 2.2.5 Sismicidad

La actividad sísmica en nuestro país está relacionada a la subducción de la placa de Nazca (corteza oceánica) y la placa sudamericana (corteza continental).

La figura 6, muestra los epicentros de sismos superficiales con una profundidad focal de  $h \leq 60$  Km, que son los más destructivos. Estos sismos se presentan entre la zona de fosa oceánica y la costa.

### Figura 6

Sismos de foco superficial ocurridos desde 1471 hasta 1999 con  $m_b \geq 4.0$ .

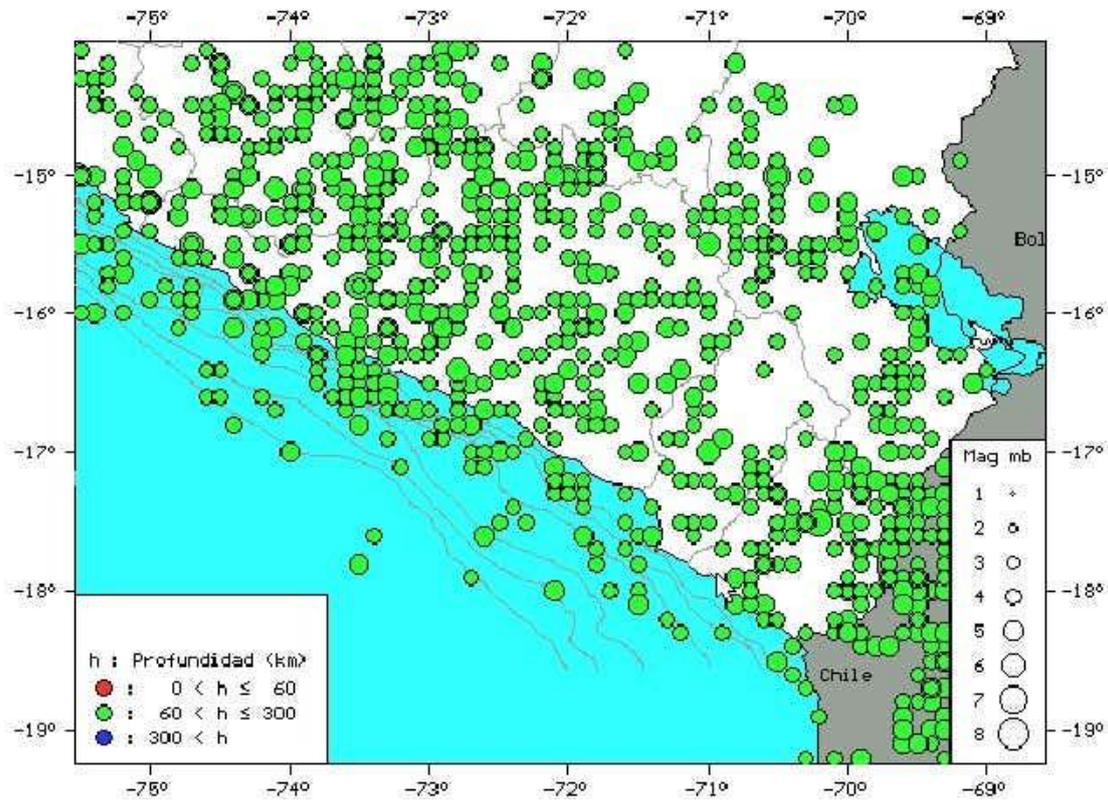


Nota. Cantidad de sismos superficiales ocurridos en la zona de estudio durante 1471 hasta 1999.  
Fuente: Olarte y López (2001).

La figura 7 muestra los epicentros de sismos de profundidad focal intermedio entre  $60 < h \leq 300$  Km. Estos sismos se presentan al interior del continente.

**Figura 7**

Sismos con foco intermedio ocurridos desde 1471 hasta 1999 con una  $m_b \geq 4.0$  y una profundidad de  $60 < h \leq 300$  km.



*Nota.* Cantidad de sismos de foco intermedio ocurridos en la zona de estudio desde 1471 hasta 1999. Fuente: Olarte y López (2001).

La gran concentración de epicentros de sismos superficiales e intermedios que se observa en territorio de la región Arequipa, indica que la misma tiene una gran actividad sísmica, y repercute en el sector Aplao, siendo esta actividad un factor desencadenante de peligros geológicos como deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas.

Según Tavera (2014), en base a un recuento histórico de sismos de intensidades máximas ocurridos en el país entre 1960 a 2014, indica que toda la costa del Perú, es de gran riesgo sísmico llegando a presentar intensidades de sismos entre X – XI (MM). De igual modo, en el interior del país el mayor riesgo se presenta en forma puntual en diferentes regiones del país como por ejemplo Arequipa (Valle de Chivay) ubicado cerca del valle de Majes.



- **Sismicidad histórica:** Del recuento histórico de sismos acontecidos en la región occidental del sur del Perú (Kosaka, R. et al., 2001), consideramos los eventos sísmicos que han tenido repercusión en el valle de Majes.
- Sismo del 10 de julio de 1821, con una magnitud de 7,9.
- Sismo del 24 de agosto de 1942, de 8,4 de magnitud.
- Sismo del 15 de enero de 1958, de 6,3 de magnitud, produjo graves daños en las viviendas de la ciudad de Arequipa.
- Sismo del 13 de enero de 1960, de 6,2 de magnitud y severos daños en la ciudad de Arequipa.
- Sismo del 16 de febrero de 1979 de 6,2 de magnitud. Ocasionó grandes daños en los diversos poblados del valle de Majes.
- Sismo del 23 de junio del 2001, con magnitud de 8,2. Ocasionó daños moderados a las viviendas y servicios de los poblados del valle de Majes como Aplao, Corire, etc., así como deslizamientos y derrumbes en la carretera Corire – Aplao.

## 2.3. Bases teóricas

### 2.3.1. Geodinamismo (Geodinámica)

Según Rivera (2017) la geodinámica es una disciplina de las ciencias geológicas, que estudia las transformaciones físicas y químicas que experimentan la corteza y el manto más superficial de la tierra en su estructura y morfología. Esta dinámica propia del planeta o geodinámica ocurre por acción de fuerzas externas (geodinámica externa) y fuerzas internas (geodinámica interna).

El proceso geodinámico que tiene el planeta tierra comprende

#### 2.3.1.1. Proceso geodinámico externo.

Tiene lugar en la superficie de la corteza de la tierra, esencialmente por acción de la radiación solar que trae consigo variaciones de temperatura que se manifiestan principalmente en la destrucción del relieve terrestre, mediante la acción de los diferentes mecanismos que erosionan, transportan y depositan los materiales terrestres (Rivera, 2017).

#### A. Deslizamientos



Descenso masivo, rápido o lento de materiales de pequeñas a grandes masas de rocas, suelos, rellenos artificiales que se producen a lo largo de una superficie o plano de deslizamiento y facilitada por la gravedad (CENEPRED, 2014).

**B. Derrumbes**

Es una caída repentina de roca o suelo o ambos por pérdida de la resistencia al esfuerzo cortante. El material se mueve como una masa cohesionada con mínima de formación interna (Highland & Bobrowsky, 2008).

**C. Caída de rocas / desprendimiento de rocas**

Son caídas violentas de fragmentos rocosos de diversos tamaños por pérdida de cohesión que se suceden en taludes empinados de afloramientos de rocas muy fracturadas debido a factores detonantes como intensas lluvias, erosión de suelos y rocas, sismos, etc. (Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), 2011).

**D. Flujo de detritos**

Son corrientes de lodo de ocurrencia eventual de flujos rápidos de aguas turbias que arrastran bloques de rocas de diversos tamaños, suelos y maleza desplazándose a lo largo de un cauce definido con desbordes laterales. En su parte terminal forman un cono o abanico (Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), 2011).

**E. Erosión fluvial**

Es el desgaste continuo que producen las fuerzas hidráulicas que actúan sobre sus márgenes y en el fondo de su cauce. La erosión fluvial depende del caudal del río, condición ligada a las fuertes lluvias (Instituto Geofísico del Perú, 2015).

**F. Inundaciones fluviales**

Ocurren cuando se sobrepasa el volumen máximo de transporte del río produciéndose desbordes laterales del mismo e inundación de los terrenos circundantes (CENEPRED, 2014).



### **2.3.2.1. Proceso geodinámico interno.**

Tiene lugar en la parte interna de la corteza y manto terrestre. Este proceso es el resultado de las fuerzas diastróficas que actúan sobre las rocas de la corteza terrestre, mediante la deformación, plegamiento, fracturamiento y desplazamiento de las mismas. El efecto más notorio es la formación de montañas y se manifiesta a través del vulcanismo y la ocurrencia de sismos (Rivera H., 2017).

#### **A. Sismo:**

Proceso que consiste en la liberación repentina de energía debido a las deformaciones y desplazamiento de las rocas. La energía liberada produce vibraciones en la superficie de la tierra o se transforma en calor por efecto de la fricción de las rocas en el plano de fallas (CENEPRED, 2014).

### **2.3.2. Riesgos Ambientales**

Probabilidad que un conglomerado social y sus medios, una unidad natural y sus componentes sean dañados debido a los impactos de un fenómeno natural o por actividades humanas. El riesgo es función de dos factores dependientes entre sí que son el peligro y la vulnerabilidad de la unidad social o la unidad natural (Conesa, 1997).

Los factores de riesgo son el resultado de las formas de desarrollo que un colectivo humano aplica en el territorio que ocupa.

El riesgo ambiental es cambiante, debido a las variaciones de sus componentes (peligro y vulnerabilidad) en el tiempo y espacio.

Es posible reducir el riesgo para lo cual la sociedad no debe activar peligros nuevos, no debe crear condiciones nuevas de vulnerabilidad, o por una adecuada gestión reducir las vulnerabilidades ya existentes.

La herramienta o instrumento importante que tiene la sociedad para una gestión del riesgo, es el procedimiento técnico de la evaluación del riesgo y caracterización previa de los peligros y análisis de la vulnerabilidad.



### **2.3.2.1. Identificación de peligros ambientales**

Según el Ministerio de Ambiente (2010), es necesario para la identificación de peligros que podrían originar riesgos, definir los objetivos y alcances del trabajo, en base a lo cual se debe preparar el material necesario y también poder utilizar instrumentos de apoyo que faciliten esta labor.

#### **A. Determinación de escenarios**

Para esto se debe contar con un Registro de Actividades de la zona e información de acciones que se tendrán en la misma, para lo cual se debe identificar los instrumentos de gestión ambiental relacionados (Ministerio de Ambiente, 2010).

#### **B. Lista de verificación de cumplimiento**

Es una lista de preguntas, que permite verificar el cumplimiento de un procedimiento o reglamento predeterminado. Para identificar los riesgos ambientales se deben conocer a detalle los peligros que pueden ocasionar riesgos a nivel local y regional (Ministerio de Ambiente, 2010).

#### **C. Análisis de Escenarios Identificación y definición de causas y peligros**

Con el análisis de la información existente o de la recabada en campo se puede identificar las causas de los potenciales peligros que pueden afectar los entornos naturales, humanos y económicos, y a la vez estructurar la lista de escenarios donde se realizará la evaluación de riesgos ambientales (Ministerio de Ambiente, 2010).

### **2.3.2.2. Impacto Ambiental**

Según Conesa (1997), es una alteración del ambiente o sus componentes originada por una acción humana. Esta alteración puede ser positiva o negativa.

Los impactos ambientales son producidos por fenómenos naturales debidos a los procesos geológicos del geodinamismo como deslizamientos, sismos, vulcanismos, etc.



Mediante esta estimación que es una herramienta de análisis preventivo, se identifican, predicen y valoran los impactos positivos y negativos generados por las acciones humanas.

Los impactos varían en naturaleza, magnitud, espacio físico, momento de impacto, duración, reversibilidad/irreversibilidad y probabilidad.

#### a. Tipos de Impacto Ambiental

Se tiene distintos tipos de impacto según el efecto o consecuencia en el medio ambiente, así tenemos:

- **Positivos:** Mejoran significativamente el medio ambiente.
- **Negativos:** Reducen significativamente la calidad del medio ambiente.
- **Directos:** Afectan un factor ambiental en forma inmediata.
- **Indirectos:** Inducen otros efectos sobre el ambiente como por ejemplo inundaciones, procesos erosivos, etc.
- **Permanentes:** Cuando la alteración es de tiempo indefinido.
- **Temporales:** Cuando la alteración dura un tiempo que puede determinarse con cierta precisión.
- **Reversibles:** Aquellos impactos cuyos efectos pueden ser asimilados por el medio ambiente en el tiempo.
- **Irreversibles:** Impactos que no pueden ser revertidos por el ambiente en forma natural o por acción humana.
- **Acumulativos:** Aquellos que al prolongarse en el tiempo aumentan progresivamente su gravedad.
- **Sinérgicos:** Aquellos impactos distintos que al actuar simultáneamente sobre el medio ambiente o un factor tienen mayor incidencia ambiental.

#### b. Causas del Impacto Ambiental

De acuerdo a Conesa (1997), el impacto ambiental que se da en el ambiente en general o en alguno de sus componentes en particular se debe a causas antrópicas y naturales.

Los impactos de origen natural son originados por fenómenos como terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos, inundaciones, etc.



Los impactos de origen antrópicos tienen como causas:

- Extracción de recursos naturales.
- Disposición de residuos sólidos.
- Conflictos bélicos.
- Residuos radiactivos.
- Crecimiento urbano.

**c. Consecuencias**

- Deterioro de la calidad ambiental de ecosistemas naturales urbanos y productivos.
- Se reduce la calidad de vida en las personas.
- Pérdida de biodiversidad, algunas pérdidas son irre recuperables.

**2.4. Variables**

**2.4.1. Identificación de Variables**

Las variables implicadas en el presente estudio son:

- A. Geodinamismo
- B. Riesgos ambientales

**2.4.2. Operacionalización de Variables.**

**Tabla 3**

*Operacionalización de variables*

Variab les	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensio nes	Indicadores	Escala de medición
<b>Geodinamismo (Geodinámica)</b>	Estudio de las fuerzas que afectan la tierra. Estas fuerzas pueden ser internas o externas. Comprende la geodinámica externa que estudia los procesos originados en la	Los procesos geodinámicos externos modelan el relieve terrestre a través de los diferentes fenómenos de la geodinámica superficial.	Geodinámica externa	Caída de rocas	Metros (m)
				Derrumbes	Grados de inclinación (°)
				Deslizamiento de roca o suelo	Largo x ancho x altura
				Flujo de detritos	Cauce de quebrada (km) Talud (°)



Variab les	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensio nes	Indicadores	Escala de medición
	superficie de la corteza, modificando la misma y la geodinámica interna, que estudia los fenómenos producidos al interior de la tierra (Rivera, H. - 2017)	Los procesos geodinámicos internos se les considera como generadoras de relieves y rocas. (Rivera, H. 2017)		Erosión fluvial	Longitud erosionada (km)
				Inundación fluvial	> 400m <sup>3</sup> /s
			Geodinámica interna	Sismos	Intensidad Escala de I a XII
<b>Riesgos Ambientales.</b>	Estima la posibilidad de pérdidas y daños esperados (en los seres humanos y sus bienes) debido a un peligro natural o tecnológico. (Instituto Nacional de Defensa Civil - 2006)	Los factores en riesgo pueden ser ambientales se identifican, analizan y evalúan mediante la matriz estandarizada por el Ministerio del Ambiente y se aplican para los entornos naturales, humanos y socioeconómicos, permitiendo el reconocimiento de impactos ambientales.	Entorno natural	Pérdida de calidad de suelo Pérdida de calidad y cantidad de agua Pérdida de Biodiversidad	<b>Cantidad</b> 4 Muy alta 3 Alta 2 Poca 1 Muy poca <b>Peligrosidad</b> 4 Muy peligrosa 3 Peligrosa 2 Poco peligrosa 1 No peligrosa <b>Extensión</b> 4 Muy extenso 3 Extenso 2 Poco extenso 1 Puntual <b>Calidad del medio</b> 4 Muy Elevada 3 Elevada 2 Media 1 Baja <b>Gravedad</b> 5 Crítico 4 Grave 3 Moderado 2 Leve 1 No Relevante
			Entorno humano	Modificación de la calidad agrícola Daño de vivienda, pérdida de vida	
			Entorno socioeconómico	Daño sobre infraestructura de riego Daño sobre vías de transporte Baja en la calidad de vida	



Variab les	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensio nes	Indicadores	Escala de medición
			Impactos Ambiental es	Parámetros ambientales Procesos geodinámico s	Número de interacciones

## 2.5. Definición de términos básicos

### a. Caída de rocas

Son desprendimientos de caída libre de bloques de rocas, suelos semiconsolidados en laderas de fuerte pendiente. (Rivera, H. – 2017)

### b. Derrumbe

Caída intempestiva y rápida de roca o material sin consolidar que se presentan en los acantilados o taludes empinados (Rojas & Paredes, 2008).

### c. Deslizamientos

Movimientos de masas de rocas y suelos que se deslizan según superficies de rotura recta o curvada (Rivera, 2017).

### d. Erosión fluvial

Según INDECI (2006), es la denudación de las riberas y fondo del cauce de un río producido por acción hidráulica del mismo.

### e. Flujo de detritos

Son flujos locales extremadamente rápidos, que transcurren confinados a lo largo de causes de pendiente pronunciada y que transportan una gran cantidad de detrito y lodo. Están vinculados a lluvias intensas de corta duración (Rivera, 2017).

### f. Geodinámica

Estudio de las fuerzas que afectan la tierra. Estas fuerzas pueden ser internas o externas. Comprende la geodinámica externa que estudia los procesos originados en la superficie de la corteza, modificando la misma y la geodinámica interna, que estudia los fenómenos originados en el interior de la tierra (Rivera, 2017).



**g. Inundación fluvial**

Desborde o rebase del agua de los ríos sobre los terrenos adyacentes a sus márgenes que se dan en las épocas de elevadas precipitaciones (INDECI, 2006).

**h. Mitigación**

Reducción o neutralización de los efectos de un desastre o impacto.

**i. Peligro**

Según INDECI (2006) es la posibilidad que se manifieste una amenaza natural o provocada por el hombre que potencialmente puede afectar una población, la infraestructura y/o ambiente. Los peligros naturales relacionados con la investigación son: De origen interno: sismos, tsunamis, actividad volcánica. De origen externo: deslizamientos, flujo de detritos (huaycos), derrumbes, erosión fluvial, erosión de laderas, aludes.

**j. Riesgo**

Estima la posibilidad de pérdidas y daños esperados (en los seres humanos y sus bienes) debido a un peligro natural o tecnológico. (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2011).

**k. Susceptibilidad**

Es la tendencia de una zona a ser afectada por la peligrosidad de un fenómeno.

**l. Vulnerabilidad**

Según la Ley N° 29664 (2011), es la propensión que tiene una determinada población y sus bienes materiales de ser dañada por acción de una amenaza.



## CAPÍTULO III

### MÉTODO

#### 3.1. Tipo de investigación.

##### **Cuantitativa, Propositiva**

El enfoque de investigación es de carácter cuantitativo con un pensamiento positivista. Se ha medido variables cuantitativas y cualitativas, se analizaron estadísticamente las escalas de medición de los procesos geodinámicos, además mediante la observación se recopiló información de la magnitud de los procesos geodinámicos y riesgos en ecosistemas del valle de Majes. (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

De carácter propositiva, porque a partir de los resultados se formuló la posible solución al problema (Medianero 2022).

#### 3.2. Alcance de la investigación.

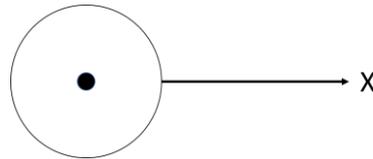
##### **Descriptiva.**

En función a los objetivos, la investigación fue netamente descriptiva; al respecto Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) reconocen que estos estudios otorgan una descripción de las propiedades, características y procesos de los fenómenos estudiados. En este sentido, con la presente investigación, se reportó información sobre los riesgos ambientales que pueden generarse por procesos de geodinamismo y afectar a la población y sus bienes, así como a otros componentes vivos y no vivos de los ecosistemas del valle de Majes del sector Aplao.

#### 3.3. Diseño de investigación.

##### **No experimental y transversal**

Durante el estudio, no se manipuló variable alguna, se observaron tal como se presentan los fenómenos en su ambiente para su posterior análisis (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018); por este motivo, se efectuó el análisis de los riesgos ambientales generados por procesos de geodinamismo sin la alteración de algún aspecto o característica. Es transversal porque la toma de datos se da en un periodo preestablecido.



DONDE:

 : Zona definida por el investigador

X : Riesgos ambientales generador por procesos de geodinamismo.

### 3.4. Población.

Constituidas por los ecosistemas (naturales, productivos y urbanos) y los peligros geológicos: flujo de detritos, derrumbes, caída de rocas, erosión fluvial, inundación fluvial, deslizamientos y sismos, que al desencadenarse pueden afectar los ecosistemas mencionados del valle de Majes.

Para el estudio se han identificado zonas para el análisis dentro del valle de Majes conformado por los distritos de Aplao – Corire y Huancarqui.

### 3.5. Muestra.

Muestra de carácter No Probabilística por conveniencia en base a criterios geodinámicos y se seleccionó diferentes zonas del sector Aplao.

### 3.6. Unidad de análisis.

Son zonas (ver figura 8) del distrito de Aplao (centros poblados La Real, Aplao y Cosos): Los centros poblados beneficiados son:

**Tabla 4**

*Unidad de análisis*

DISTRITO	CENTROS POBLADOS	POBLACIÓN BENEFICIADA
APLAO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cosos</li> <li>- La Real</li> <li>- Aplao (capital deL distrito)</li> </ul>	<p>8,713 hab. Aproximadamente (INEI 2017)</p>



### 3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

**Tabla 5**

*Técnicas e instrumentos*

Técnicas	Instrumentos	Variable a medir
- Observación	▪ Ficha de observación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geodinamismo</li> <li>▪ Riesgos ambientales</li> </ul>
- Observación	▪ Matriz de Leopold	▪ Impacto ambiental

### 3.8. Validez y confiabilidad de Instrumentos

Cabe resaltar que se diseñaron dos fichas de observación. El primero permitió indagar en los procesos geodinámicos que sucedieron en el Valle de Majes. Los procesos geológicos se agruparon por áreas críticas de ocurrencia utilizando la ficha de observación desarrollada para la descripción de peligros utilizada por Zavala (2008) para INGEMMET.

Y el segundo permitió obtener información sobre los riesgos ambientales y sus dimensiones entorno natural, entorno humano y entorno socio-económico, teniendo en cuenta cinco criterios; cantidad, peligrosidad, extensión, calidad del medio y gravedad. Que básicamente se realizó en función al procedimiento propuesto por la Guía de evaluación de riesgos ambientales del Ministerio de Ambiente (2010).

El instrumento utilizado en la identificación de los impactos ambientales potenciales es la matriz de causa – efecto de Leopold, adaptada a las condiciones de trabajo y con una estructura tomada de la propuesta de Dellavedova (2016).



Los instrumentos mencionados en este sentido fueron utilizados en diferentes estudios y están validados, por lo tanto, ya no fueron validados por expertos.

### 3.9. Plan de análisis de datos.

- Estadística descriptiva (frecuencia, porcentaje, medias)

Procedimiento:

- Preparación de instrumentos.
- Utilización de los instrumentos.
- Sistematización de datos mediante tablas.
- Análisis cuantitativo de los datos.
- Informe preliminar.
- Consolidación de los datos.
- Datos de la observación
  - Observación de los fenómenos en un lapso de tiempo preciso.
  - Observación focalizada, según los procesos geodinámicos.
  - Datos analizados y redactados en la investigación, considerando los resultados estadísticos.

### 3.10. Aspectos éticos.

La investigación presentada se basa en los principios éticos: veracidad, responsabilidad y búsqueda del bienestar.

**Veracidad:** La información de la investigación es el producto del trabajo de campo y de las fuentes bibliográficas seleccionadas. En el trabajo de campo se recopiló los datos necesarios mediante la observación y descripción de las amenazas geológicas (peligros que se presentan en el sector Aplao). Se utilizó para este propósito la ficha de observación cuyo modelo ha sido tomado de INGEMMET. Los modelos de evaluación, las fuentes y citas bibliográficas usadas se presentan debidamente documentados.

Por lo tanto, en esta investigación se descartó la falsificación, manipulación en invención de datos.



**Responsabilidad:** Se realiza un manejo responsable y adecuado de la información que contiene esta investigación.

**Búsqueda del bienestar:** La investigación presentada pretende contribuir con el bienestar de los pobladores y la protección de sus bienes para lograr el desarrollo sostenible de sus actividades, ante la amenaza latente de desencadenarse cualquiera de los fenómenos geológicos identificados en el sector Aplao.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

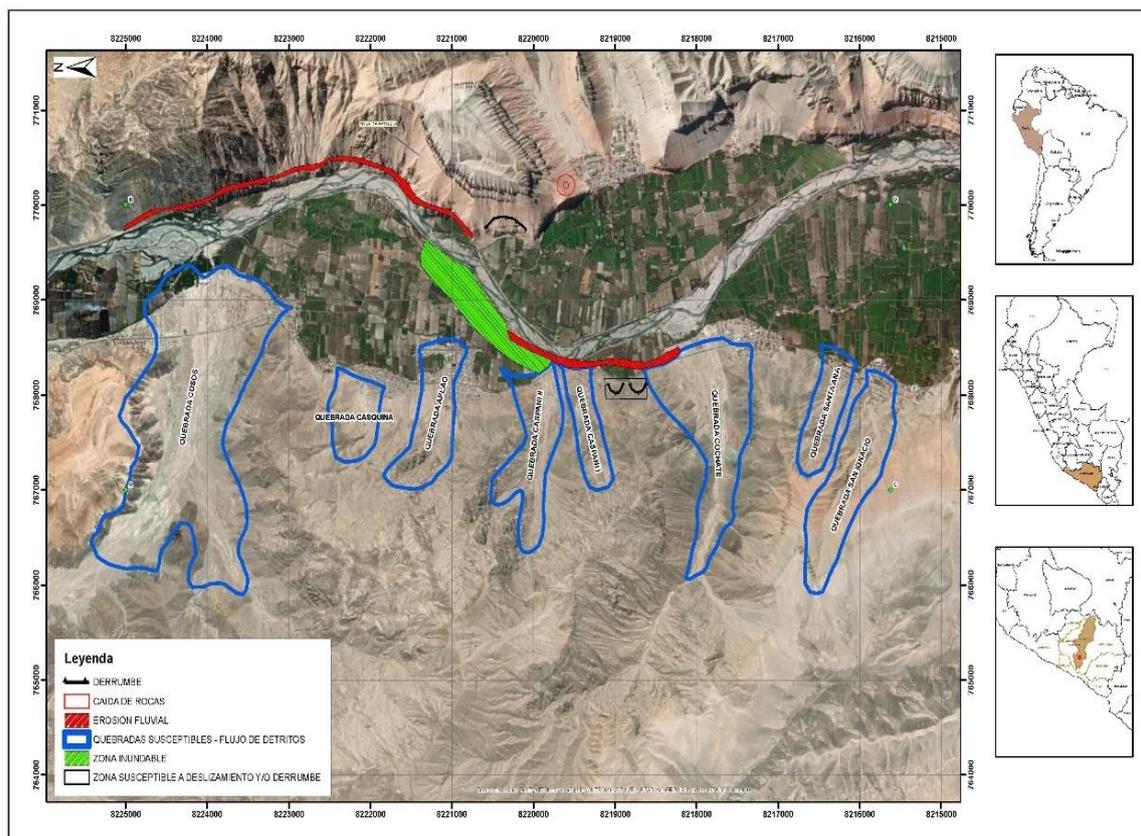
#### 4.1. Aspectos geodinámicos sector Aplao

##### 4.1.1. Características del sector investigado

El sector Aplao presenta varios tipos de riesgo o peligros geológicos, que son el resultado de las condiciones geológicas, geomorfológicas y climáticas que se dan en este sector. El desencadenamiento de los mismos puede afectar los ecosistemas naturales, humanos, así como la infraestructura desarrollada para diversas actividades humanas.

**Figura 8**

*Mapa geodinámico del sector Aplao.*



		Escuela de Postgrado - Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible	DISTRITO: APLAO PROVINCIA: CASTILLA DEPARTAMENTO: AREQUIPA	TESIS: "EL GEODINAMISMO Y LOS RIESGOS AMBIENTALES EN ECOSISTEMAS DEL VALLE DE HUANES - SECTOR APLAO, AREQUIPA 2019"	PLANO: MAPA GEODINAMICO DE LA ZONA DE ESTUDIO	ESCALA: 1/35.000
		FECHA: 2022	FECHA: MAY 2022			AREA: M - 07

*Nota.* Reconocimiento de las zonas con características geodinámicas. Fuente: Elaboración propia.

Los peligros geodinámicos que se tiene y se puede originar son:

a. **Flujos de detritos:**

- **Lugares susceptibles de ocurrencia:** quebradas de
  - San Ignacio:

**Figura 9**

*Vista panorámica de la quebrada San Ignacio.*



*Nota.* Presencia de fuerte desnivel entre el fondo de la quebrada y cabecera, con remanentes de material arcilloso compactado de pequeños flujos de lodo. Fotografía obtenida en el 2019.  
Fuente: Fototeca del investigador.

- Santa Ana:

**Figura 10**

*Vista panorámica de la quebrada Santa Ana.*



*Nota.* La imagen muestra la población asentada en el cauce de la quebrada y movimientos en masa en ladera. Fotografía obtenida en el 2019. Fuente: Fototeca del investigador



- Cochate:

**Figura 11**

*Fotografía de la quebrada Cochate.*



*Nota.* La imagen muestra la amplitud de la quebrada y depósitos de flujos de detritos anteriores.  
Fotografía obtenida en el 2019. Fuente: Fototeca del investigador

- Caspani 1:

**Figura12**

*Vista de la quebrada Caspani 1.*



*Nota.* La imagen muestra caídas de rocas en las laderas de la quebrada, infraestructura existente (reservorio en el cauce de la quebrada). Fotografía obtenida en el 2019. Fuente: Fototeca del investigador.



- Caspani 2:

### Figura13

*Vista de la quebrada Caspani 2.*



*Nota.* La imagen muestra espesor considerable de depósitos proluviales en la parte media de la quebrada. Fotografía obtenida en el 2019. Fuente: Fototeca del investigador.

- Aplao:

**Figura14**

*Imagen de la quebrada Aplao.*



*Nota.* La imagen muestra la cabecera de la quebrada bastante abrupta y viviendas precarias en el cauce de la quebrada y depósitos de detritos del “huayco” del 2019. Fotografía obtenida en el 2019. Fuente: Fototeca del investigador.

- Casquina

### Figura15

*Fotografía de la quebrada Casquina.*



*Nota.* En la imagen se observa caída de grandes bloques de rocas en el lecho principal de la quebrada y en la parte inferior la canalización de la quebrada (no concluida), como medida preventiva ante la ocurrencia de huaycos. Fotografía obtenida en el 2019. Fuente: Fototeca del investigador.



- Cosos.

### Figura16

*Vista panorámica de la quebrada Cosos.*



*Nota.* Por medio de la imagen se observa la amplitud de la quebrada y los depósitos aluvio-torrenciales en el cauce. Fotografía obtenida en el 2019. Fuente: Fototeca del investigador.

- **Características geomorfológicas**

Las quebradas indicadas, a excepción de Cochate y Cosos, se ubican en la unidad morfológica montañas y colinas estructurales en rocas sedimentarias.

La quebrada Cochate por la gran cantidad de sedimentos que tiene en su cauce forma la unidad abanico de pie de monte.

La quebrada Cosos forma la unidad morfológica vertiente o pie de monte aluvio -torrencial con gran cantidad de sedimentos de variados tamaños.



- **Longitudes de las quebradas**

San Ignacio	2500 metros aproximadamente.
Santa Ana	1300 metros aproximadamente.
Cochate	2050 metros aproximadamente en el área de trabajo. Su origen o cabecera está fuera del sector de trabajo.
Caspani 1	1300 metros aproximadamente.
Caspani 2	Cauce principal 3000 metros aprox. Cauce afluente 780 metros aprox.
Aplao	2300 metros aprox.
Casquina	1700 metros aprox.
Cosos	2840 metros aprox., en el área de trabajo. Su origen está fuera del sector de trabajo.

- **Pendientes del cauce de las quebradas**

San Ignacio	Parte alta o cabecera 30°, parte media 20° y parte baja 10 – 13°.
Santa Ana	Parte alta o cabecera 40 - 45°, salto de quebrada de 85°, parte media 30 a 40° y parte baja 10 – 13°.
Cochate	Zona de estudio: parte baja 10°.
Caspani 1	Parte alta o cabecera 50° - 60°, parte media 25° y parte baja 15 – 20°.
Caspani 2	Parte alta o cabecera 60°, parte media 20° y parte baja 12° – 15°.
Aplao	Cabecera de quebrada o parte alta 45°, salto de cauce 50° - 60°, parte media 22° a 42° y parte baja de 05° a 10°.
Casquina	Parte alta 50°. En este segmento de la quebrada se tiene tres saltos de quebrada que tienen una inclinación de 88°, parte media 22° a 25° y parte baja 10° - 13°.



Cosos                      Zona de estudio parte baja de la quebrada 03°  
a 05°.

- **Diferencia de nivel entre cabecera y desembocadura de quebradas.**

<b><u>Qbda</u></b>	<b><u>Cota de cabecera</u></b>	<b><u>Cota de desembocadura</u></b>	<b><u>Desnivel (m)</u></b>
	<b><u>(m.s.n.m)</u></b>	<b><u>(m.s.n.m)</u></b>	
San Ignacio	1500	550	950
Santa Ana	1050	550	500
Cochate	850(área de trabajo)	600	250
Caspani 1	1100	600	550
Caspani 2	1500 (cauce principal)	600	900
	1450 (cauce afluente)	600	850
Aplao	1550	600	950
Casquina	1400	650	750
Cosos	750 (cota más alta	650	100
	en el área de trabajo)		

- **Áreas próximas de las microcuencas (quebradas).**

<b><u>Qbda</u></b>	<b><u>Area microcuenca (Ha)</u></b>	<b><u>Perímetro (Km)</u></b>
San Ignacio	123.275	5.058
Santa Ana	55.208	3.100
Cochate	426.453	8.872
Caspani 1	69.936	3.363
Caspani 2	191.466	6.008
Casquina	39.892	2.579
Cosos	674.499	11.574

- **Inclinación de las laderas.**

San Ignacio                      Entre 20° - 40°



Santa Ana	Entre 20° - 42°
Cochate	Entre 25° - 56° (en área de trabajo).
Caspani 1	Entre 30° - 40°
Caspani 2	Entre 30° - 50°
Aplao	Entre 15° - 48°
Casquina	Entre 25° - 45°
Cosos	Entre 32° - 34° (en área de trabajo)

- **Clasificación de las laderas de quebradas críticas según su inclinación.**

- Ligeramente escarpadas a moderadamente escarpadas:
  - San Ignacio (20° - 40°)
  - Santa Ana (20° - 42°)
- Ligeramente escarpadas a fuertemente escarpadas:
  - Aplao (15° - 48°)
  - Casquina (25° - 45°)
- Moderadamente escarpadas a fuertemente escarpadas:
  - Caspani 1 (30° - 40°)
  - Caspani 2 (30° - 50°)
  - Cochate (25° - 56°) en área de trabajo.
- Moderadamente escarpada:
  - Cosos (32° - 34°) en área de trabajo.

- **Quebradas más riesgosas en caso de precipitación excepcional:**

Para lo cual se considera algunas características relacionadas a las áreas de microcuencas, desnivel entre cabecera de quebrada y desembocadura, longitud menor y mayor pendiente de cauce en la parte alta o cabera de quebrada. Así se tiene:



- Las quebradas de mayor área de microcuenca son: Caspani 2 (191.466 has), San Ignacio (123.275 has) y Caspani 1 (69.936 has).
- Las quebradas de mayor desnivel entre su cabecera y desembocadura son: Aplao (950 metros), San Ignacio (950 metros), Caspani 2 (900 metros) y Casquina (750 metros).
- Las quebradas de menor longitud son: San Ana (1300 metros), Caspani 1 (1300 metros) y Casquina (1700 mt).
- Las quebradas con elevada pendiente de su cauce en la parte alta o cabecera son: Caspani 2 (60°), Caspani 1 (50° - 60°) y Casquina (50°).
- Las quebradas moderadamente escarpadas a fuertemente escarpadas son:
  - Caspani 1 (30° - 40°)
  - Caspani 2 (30° - 50°)
  - Cochate (25° - 56°) en área de trabajo.

Las quebradas que más cumplen con estos requisitos o características, y por tanto las que mayor riesgo tendrán en caso de producirse una precipitación excepcional en la zona como la del 07 de febrero del 2019 de 9.8 mm (Estación Meteorológica Aplao – SENAMHI), son: Caspani 2 (03), Caspani 1 (04), Casquina (03) y San Ignacio (02).

En esta clasificación no se considera a las quebradas de Cochate y Cosos por estar su cabecera u origen fuera del área de trabajo.

**b. Derrumbes:**

Coordenadas UTM:

Zona : 18 L  
X : 8220514  
Y : 769679  
Altura : 655 m.s.n.m.



Se ubica en el cerro Huancarqui, límite Este del área de trabajo a 800 m aproximadamente de Aplao. La zona del derrumbe tiene una longitud de 300 metros aprox., afecta a rocas de la formación Sotillo (limolitas, limoarcillitas con venillas de yeso y areniscas limosas de color gris rojizo), que a su vez son rocas no muy consistentes.

Geomorfológicamente, este derrumbe se ubica en la unidad de montañas y colinas estructurales en rocas sedimentarias.

Los derrumbes que se han dado anteriormente en esta zona, han dado lugar a un talud de 45 – 50° lo que da cierta estabilidad a los materiales rocosos. De suceder un sismo o excepcionalmente producirse una precipitación extraordinaria se puede reactivar los derrumbes de esta zona.

### Figura 17

*Imagen satelital del derrumbe zona Aplao – Huancarqui.*



*Nota.* La imagen satelital muestra un derrumbe en la zona Aplao. Fotografía obtenida en el 2019.  
Fuente: Fototeca del investigador.



### Figura 18

*Fotografía del derrumbe zona Aplao – Huancarqui*



*Nota.* La imagen muestra la parte superior del derrumbe y la gran cantidad de material desplazado. Fotografía obtenida en el 2019. Fuente: Fototeca del investigador.

#### c. Caídas de rocas:

Coordenadas UTM:

Zona : 18 L

X : 8220030

Y : 769652

Altura : 640 m.s.n.m.

Este peligro se presenta en el Km 2,6 de la vía Aplao – Huancarqui (cerro El Recodo). La zona de peligro tiene una extensión entre 100 a 150 metros aproximadamente. Se debe al fuerte fracturamiento y agrietamientos de

las rocas de la formación Sotillo, así como a los taludes abruptos que presentan las rocas comprendidas entre  $68^\circ$  a  $70^\circ$ . Morfológicamente se ubica en la unidad montañas y colinas estructurales en rocas sedimentarias.

La ocurrencia de un sismo de intensidades alta (mayor a grado VIII en escala de Mercalli) puede desencadenar las caídas de rocas y afectar la vía en mención, terrenos de cultivos y hasta aplastar vehículos o personas que transitan por el lugar).

### Figura 19

*Imagen satelital de la zona de caída de rocas (El Recodo).*



*Nota.* La imagen satelital muestra la caída de rocas ocurrida en el sector El Recodo. Fotografía obtenida en el 2019. Fuente: Fototeca del investigador.

**Figura 20**

*Caída de rocas en la zona El Recodo.*



*Nota.* La imagen satelital muestra la caída de rocas ocurrida en el sector El Recodo. Fotografía obtenida en el 2019. Fuente: Fototeca del investigador.

**d. Zona susceptible de deslizamiento y/o derrumbe):**

Punto 1:

Coordenadas UTM:

Zona : 18 L  
X : 8218440  
Y : 768338  
Altura : 600 m.s.n.m.

Punto 2:

Coordenadas UTM:

Zona : 18 L  
X : 8218706  
Y : 768222  
Altura : 607

Se ubica entre los kilómetros 60.5 a 61 de la vía Corire – Aplao. Tiene una longitud aproximada de 500 metros. Esta zona se ubica en la unidad morfológica Montañas y Colinas estructurales en rocas sedimentarias caracterizado por un relieve abrupto. Las rocas que afloran en esta zona son las areniscas cuarcíticas grises con intercalaciones de lutitas y limos

de la formación Labra que tiene un rumbo de  $N80^{\circ}W$  y un buzamiento o inclinación de  $25^{\circ}SW$ .

Las rocas estructuralmente están fracturadas, el mismo que se acentúa por las fuertes variaciones climáticas del día a la noche, y debido a este intenso fracturamiento se tiene en esta zona pendientes de  $63^{\circ} - 70^{\circ}$  en la parte más alta del talud y de  $40^{\circ} - 50^{\circ}$  en la parte media del mismo (adyacente a la vía que conduce a Aplao). La altura del talud susceptible de movimiento en masa es de 200 metros aproximadamente.

En el talud se observa planos de diaclasamiento o fracturas de las rocas que se inclinan a favor de la pendiente de la ladera lo que aumenta el peligro de derrumbe o deslizamiento, ante la ocurrencia de un sismo de regular intensidad.

### Figura 21

*Imagen satelital de la zona susceptible a derrumbe y/o deslizamiento.*



*Nota.* La imagen satelital muestra las zonas que son susceptibles a los derrumbes y/o deslizamientos. Fotografía obtenida en el 2019. Fuente: Fototeca del investigador.

**Figura 22**

*Vista de la zona susceptible a derrumbe y/o deslizamiento.*



*Nota.* La imagen muestra la fuerte pendiente de la ladera y el intenso fracturamiento de las rocas de la Formación Labra. Fotografía obtenida en el 2019. Fuente: Fototeca del investigador.

**e. Inundación fluvial:**

Zona inundable entre Caspani 2 y Puente Aplao

Punto 1: (Caspani 2)

Punto 2: (Puente Aplao)

Coordenadas UTM:

Coordenadas UTM:

Zona : 18 L

Zona : 18 L

X : 8219839

X : 8220814

Y : 768327

Y : 769338

Altura : 600 m.s.n.m.

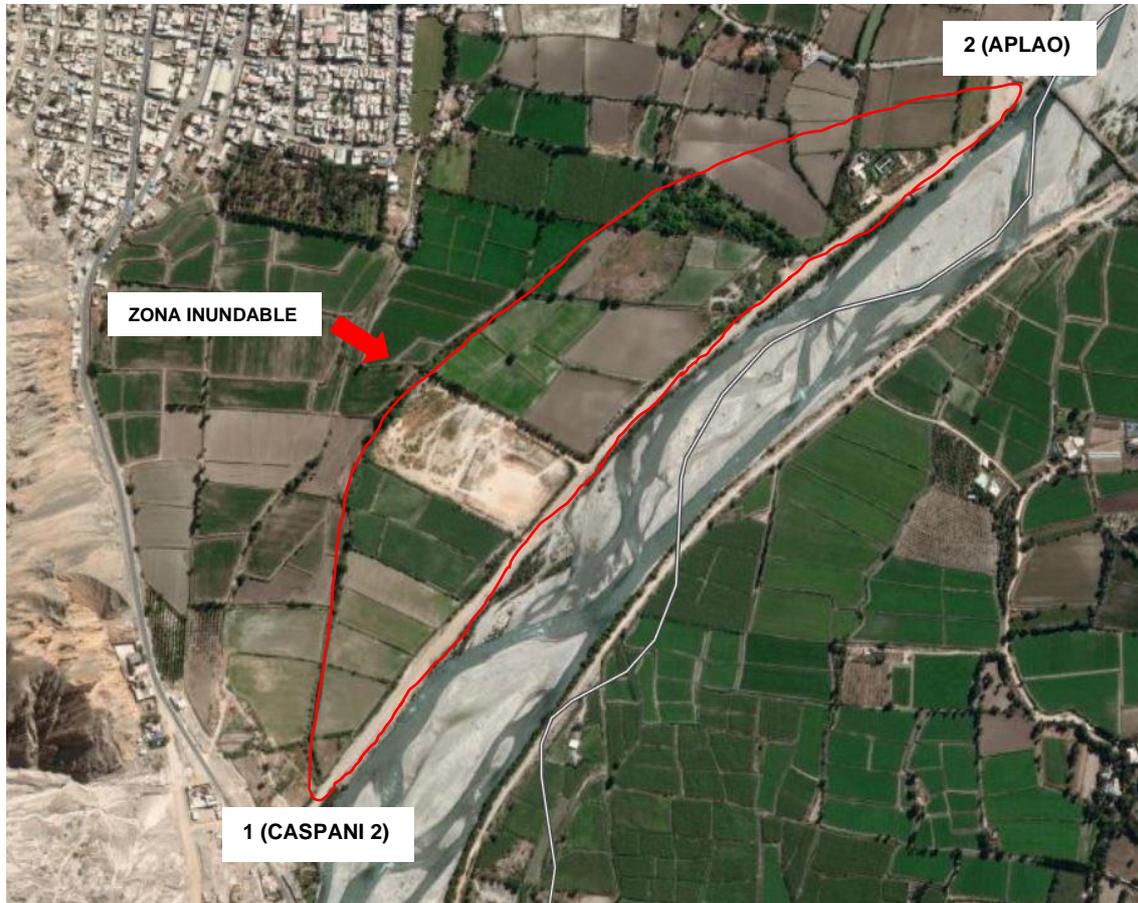
Altura : 609

Se tiene una zona susceptible de inundación fluvial entre Caspani 2 y Aplao con una longitud aproximada de 1.8 Km. La ocurrencia de este peligro es debido al aumento del caudal del río Majes en época de lluvias cuando éste es mayor a los 400m<sup>3</sup>/seg (causa hidrológica), la expansión

de terrenos agrícolas en la llanura de inundación del río (causa antrópica). Se tiene defensas ribereñas que no son adecuadamente mantenidas (causa antrópica).

### Figura 23

*Imagen satelital de la zona inundable entre quebrada Caspani 2 y Aplao.*



*Nota.* La imagen satelital muestra las zonas de Caspani y Aplao propensas a ser inundables. Fotografía obtenida en el 2019. Fuente: Fototeca del investigador.



### Figura 24

*Vista de una sección de la zona inundable.*



*Nota.* A través de la imagen se observa una falta de trabajos de defensa riberena. Fotografía obtenida en el 2019. Fuente: Fototeca del investigador.

#### f. Erosión fluvial:

Como se observa en el mapa geodinámico, en el área de estudio se tiene dos zonas afectadas por la erosión del río. La primera se presenta a la altura de los kilómetros 59 a 61 de la vía Corire – Aplao, en la margen derecha del río Majes. La erosión fluvial se da por un cambio en la dirección del cauce del río (causa hidrológica) que erosiona rocas de la formación Labra, sedimentos de la llanura de inundación (aprovechados



como terrenos de cultivo) afecta de igual modo defensas ribereñas. Tiene una longitud aproximada de 2 Km.

Coordenadas UTM:

Punto 1: Caspani 2

X : 8218357

Y : 768627

Altitud : 583

Punto 2: Cochate

X : 8217664

Y : 769174

Altitud : 572

La otra zona de erosión fluvial se ubica en la margen izquierda del río Majes, tiene una longitud aproximada de 4.5 Km y la acción erosiva del río afecta rocas de la Formación Sotillo, Formación Huallhuani e intrusivos granodioríticos y es debido también a un cambio de dirección del cauce principal del río (causa hidrológica). El proceso erosivo ha dado lugar a que las laderas de los cerros afectados presentan taludes abruptos (55° a 60°) que pueden originar derrumbes, caídas de rocas o deslizamientos.

Coordenadas UTM:

Punto 1: Aplao

X : 8221883

Y : 770330

Altitud : 645

Punto 2: Cosos

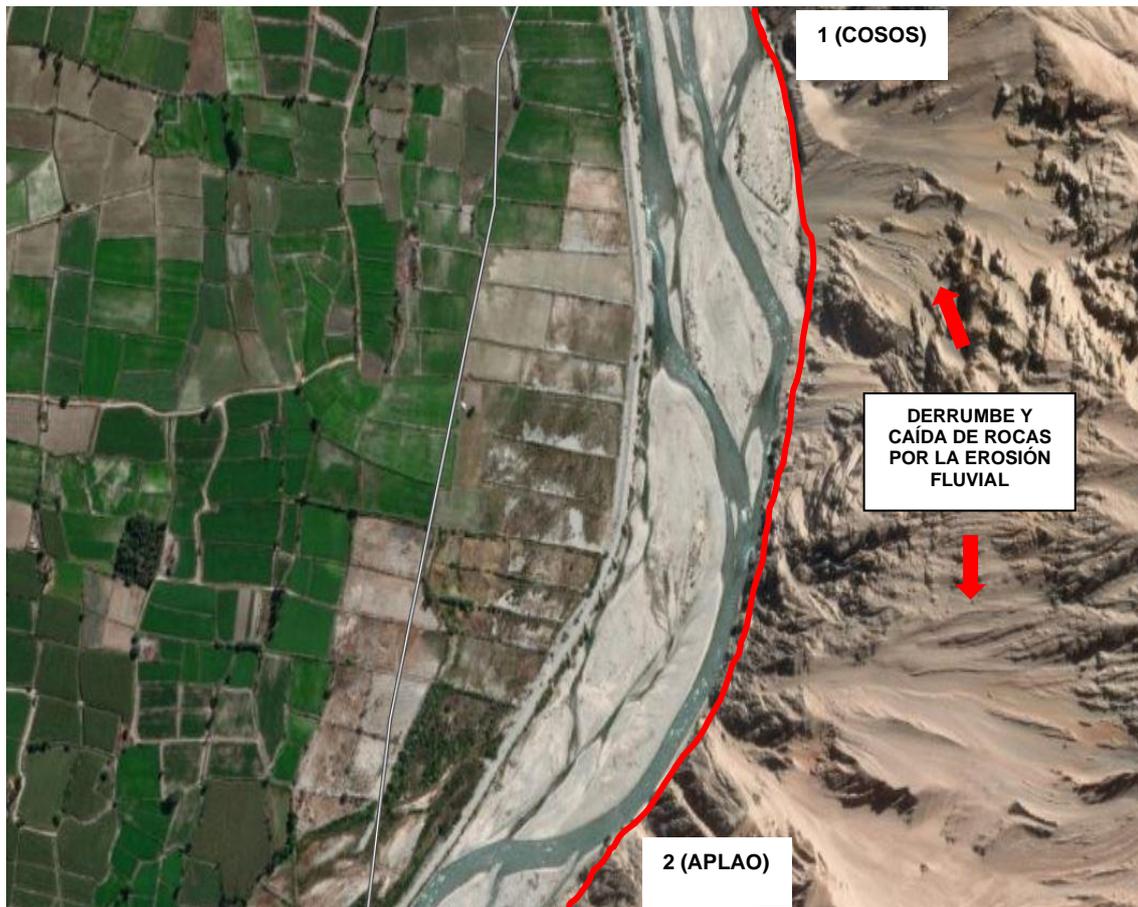
X : 8221357

Y : 769913

Altitud : 642

### Figura 25

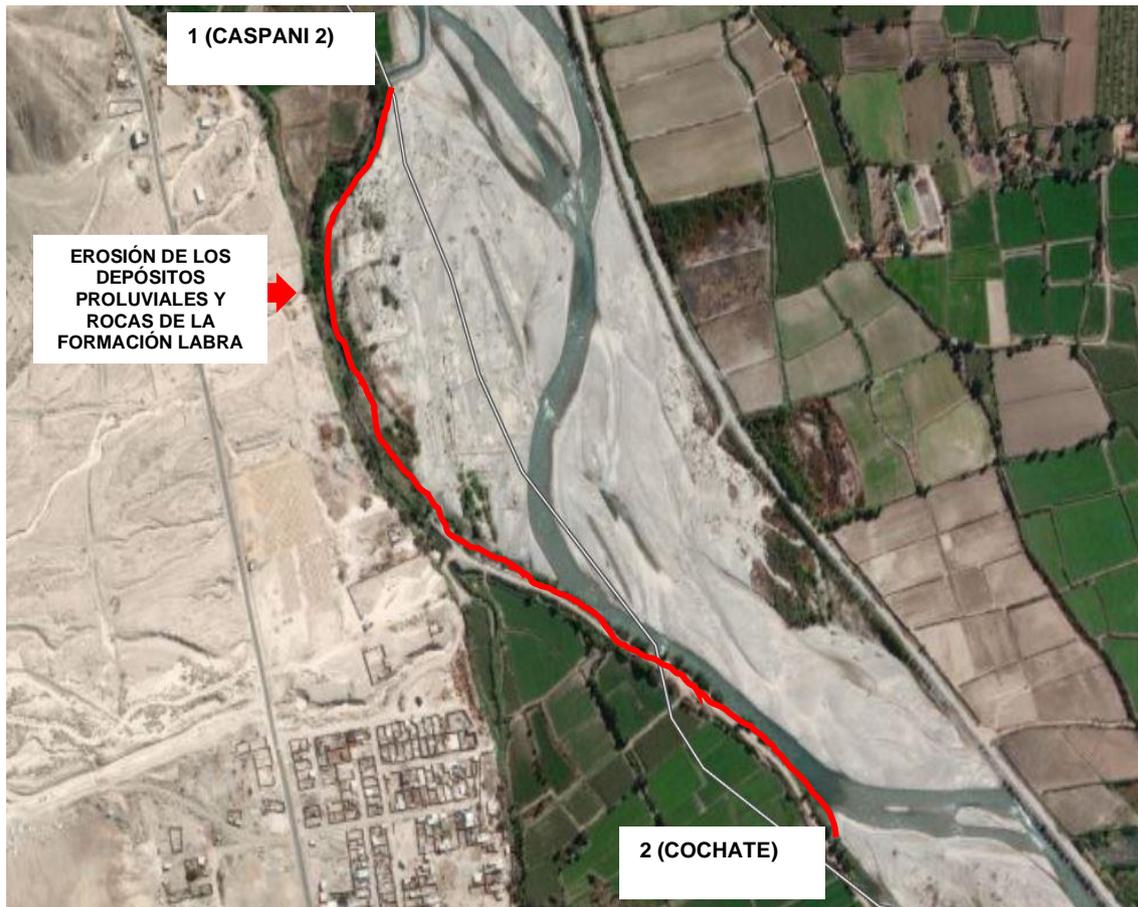
*Imagen satelital de la erosión fluvial en la margen izquierda del río Majes entre Aplao y Cosos.*



*Nota.* A través de la imagen satelital se muestra la erosión fluvial del sector de Aplao y Cosos.  
Fuente: Fototeca del investigador.

### Figura26

*Imagen satelital de erosión fluvial en la zona de Caspani 2 - Cochate.*



*Nota.* A través de la imagen satelital se muestra la erosión fluvial y rocas de formación labra.

Fuente: Fototeca del investigador.

## Figura 27

*Vista de la erosión fluvial en la zona de Cochate.*



*Nota.* Depósitos proluviales y rocas de la Formación Labra afectados por erosión fluvial. La erosión puede afectar viviendas ubicadas muy cerca de la ribera del río. Fuente: Fototeca del investigador.

### **4.2. Resultados respecto a los objetivos**

Los resultados presentados a continuación, fueron obtenidos en campo después de la observación de los procesos de geodinamismo, ecosistemas e impacto ambiental.

#### **4.2.1. Procesos de geodinamismo que se presentan en el Valle de Majes, sector Aplao.**

Los procesos de geodinamismo externo que se tiene en el área de estudio son: deslizamientos, derrumbes, desprendimientos de rocas (caída de rocas), flujo de detritos (huaycos), erosión fluvial e inundaciones.



**a. Zonas críticas por deslizamientos, derrumbes y desprendimientos de rocas (caída de rocas)**

**Tabla 6**

*Geodinamismo externo por deslizamientos, derrumbes y desprendimiento de rocas en el sector Aplao.*

Sector (Distrito)	Características geodinámicas	Vulnerabilidad y/o daños a la vida y la propiedad
Cerro Huancarqui (Aplao Huancarqui)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Derrumbes en el talud casi vertical de carretera (Aplao – Huancarqui) desde el puente y en una longitud de aprox. 300 metros. Material de derrumbes (bloques de rocas de diversos tamaños colgados a una altura de aprox. 30 m.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El derrumbe de los bloques de rocas puede afectar la carretera y podría aplastar vehículos.</li> </ul>
Recodo (cerro Huancarqui)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caída de rocas: Talud de carretera casi vertical. Se tiene cerca de la vía bloques rocosos caídos de gran tamaño. Uno de estos bloques tiene 6 m de largo x 3 m de ancho x 3.5 m de altura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El desprendimiento de los bloques rocosos puede afectar la vía asfaltada, aplastar vehículos y/o personas.</li> </ul>
Caspani (Km 60.5 a 61) Vía Corire – Aplao)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sector potencial de derrumbe y/o deslizamiento (rocas del grupo Yura). El talud del cerro adyacente a la carretera tiene una inclinación de 40 a 50°.y la longitud susceptible a deslizamiento y/o derrumbe es de 500 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La ocurrencia de derrumbe y/o deslizamiento afectaría tramo de la vía Corire – Aplao.</li> <li>• Potencial derrumbe y/o deslizamiento afectaría terrenos de cultivo e infraestructura de riego.</li> </ul>



**b. Zonas críticas por flujo de detritos**

**Tabla 7**

*Geodinamismo externo por flujo de detritos en el sector Aplao.*

Sector (Distrito)	Características geodinámicas	Vulnerabilidad y/o daños a la vida y la propiedad
Quebrada San Ignacio Km 57+500 (Vía Corire – Aplao: Sector La Real)	<ul style="list-style-type: none"> <li>El cauce de esta quebrada tiene una longitud de 2.2 Km. Las laderas presentan taludes con inclinaciones entre 15° y 35° (parte baja y media de la quebrada). En el piso de la quebrada se tiene depósitos de rocas de diversos tamaños y flujos de lodos antiguos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ocurrencia de flujo de detritos, afectaría gran parte de la población de San Ignacio, vía Corire – Aplao y terrenos de cultivos.</li> <li>Zona muy vulnerable de ocurrir lluvia excepcional, para los habitantes de la parte baja de la quebrada.</li> </ul>
Quebrada Santa Ana. (Km 58 Vía Corire – Aplao: sector La Real)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiene una longitud aproximada de 1.1 Km. Los taludes de las laderas varían entre 22 y 30° (parte baja y media de la quebrada) teniendo mayor inclinación en la cabecera de la quebrada. En la ladera derecha de la quebrada (sector medio) se tiene material rocoso suelto (derrumbe). La quebrada tiene un desnivel entre su origen y desembocadura de 450 m aproximadamente. En el lecho de la quebrada se tiene gran cantidad de material suelto (material limo – arenoso y bloques de rocas de diferentes tamaños).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ocurrencias de flujo de detritos tendría efectos muy graves a la vida y propiedad de la población asentada en el lecho de la quebrada.</li> <li>Zona muy vulnerable si se presenta lluvia excepcional, para la población ubicada en la parte baja de la quebrada.</li> </ul>
Quebrada Cochate (Km 60 vía Corire – Aplao)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Esta quebrada es bastante amplia. El ancho de la parte baja cerca a la desembocadura es de 850 m. Las laderas tienen pendientes en su parte media y baja entre 20 y 32° (zona de estudio). La longitud de la quebrada es de 3.9 Km aproximadamente, de los cuales 2.03 Km están dentro de la zona de estudio. En el lecho se tiene abundantes bloques de rocas de litología variada en una matriz areno – limo – arcillosa. En la margen derecha de la quebrada hacia arriba y debajo de la vía Corire – Aplao se tiene una pequeña población, separada del resto de la quebrada por un muro de rocas (defensa ribereña) inconclusa. Tiene un amplio cono de deyección en su desembocadura en el río Majes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>De ocurrir flujo de detritos, puede dañar tramo de la vía Corire – Aplao – Chuquibamba que atraviesa la quebrada y parte de la población asentada donde no se tiene defensa ribereña.</li> <li>Zona vulnerable, si se presenta lluvia excepcional, para la población asentada en la ribera derecha cerca de la desembocadura de la quebrada en el río Majes.</li> </ul>



Sector (Distrito)	Características geodinámicas	Vulnerabilidad y/o daños a la vida y la propiedad
Quebrada Caspani 1. (Km 61.3 vía Corire – Aplao)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiene una longitud de cauce de aproximadamente 1.6 Km. Entre la cabecera de la quebrada y desembocadura de la misma en el río Majes se nota un fuerte desnivel de aprox. 600 m. Las laderas tienen pendientes entre 30° y 40°. El ancho de la quebrada es variable más angosta en la parte media y superior y más ancha en la parte inferior. En el lecho de la quebrada existe material suelto (bloques de rocas, arena) relictos de antiguos huaycos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quebrada muy muy vulnerable por los habitantes ubicados en la parte baja de la quebrada, de presentarse precipitaciones extraordinarias como lo ocurrido en 7 de febrero del 2019 donde se produjo flujo de detritos que afecto viviendas, tramo de la vía Corire – Aplao y postes de tendido eléctrico.</li> </ul>
Quebrada Caspani 2. (Km 61.8 vía Corire – Aplao)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiene una longitud de cauce de 2 Km aproximadamente. Presenta un fuerte desnivel entre su origen y desembocadura (800 m aprox.). Las laderas de la quebrada tienen pendientes entre 25 y 40°, presenta en la parte baja una forma de abanico. El ancho de la quebrada es variable, siendo más ancha en la parte baja (300 m aprox.). En su cauce existe gran cantidad de material suelto (bloques de rocas de diversos tamaños y arena).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El flujo de detritos que ocurrió el 7 de febrero del 2019 por efecto de lluvia extraordinaria afectó muchas viviendas, terrenos de cultivos y parte de la vía Corire – Aplao.</li> <li>Zona muy vulnerable, para la población existente en parte baja de la quebrada.</li> </ul>
Quebrada Aplao (Km 63 Corire – Aplao – Chuquibamba)	<ul style="list-style-type: none"> <li>La quebrada tiene una longitud de 2300 m, las laderas tienen pendientes variables, son más empinadas en las partes altas de la quebrada (entre 40 a 60°) en la zona baja la inclinación de las laderas es de 5 a 10°. Existe bastante material suelto en su cauce y pie de taludes con bloques de rocas de hasta 2 de diámetro (arrastrados por flujos de detritos anteriores). En su desembocadura presenta un amplio cono de deyección donde se ubica gran parte de la población de Aplao. Esta quebrada tiene un desnivel entre la parte alta y baja de 550 m aproximadamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La ocurrencia de huaycos afecta el tramo de la vía Corire – Aplao – Chuquibamba, viviendas de la población de Aplao (como lo sucedió en febrero del 2019), terrenos de cultivos y la vida y seguridad de las personas. Zona muy vulnerable, gran parte del poblado de Aplao se ubica sobre depósitos de antiguos flujos de detritos.</li> </ul>



Sector (Distrito)	Características geodinámicas	Vulnerabilidad y/o daños a la vida y la propiedad
Quebrada Casquina (Km 63.5 vía Corire – Aplao – Chuquibamba)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Esta quebrada tiene una longitud de 2000 m aproximadamente. Entre la cabecera de la quebrada y desembocadura de la misma se tiene un desnivel de 650 m aprox. Sus laderas tienen pendientes variadas, así en la parte alta la inclinación de las mismas es de 50° a 60° y en la parte baja alrededor de 30°. Existe gran cantidad de material suelto en su cauce con bloques de rocas mayor a 4 m de diámetro, se observa capas de cenizas volcánicas en su cauce y al fondo de la quebrada se tiene enormes bloques de rocas de movimiento en masa (avalancha de rocas). Esta quebrada es parte del sitio arqueológico de Casquina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>De producir lluvias excepcionales como la del 7 de febrero del 2019, se produciría flujo de detritos que afectaría la vía Corire – Aplao – Chuquibamba, viviendas de pobladores asentados en la parte baja de la quebrada y terrenos de cultivo.</li> <li>Se observa que en la margen izquierda de la quebrada se ha construido un canal de bloques de roca de 7m de ancho, altura de 3m y una longitud de 200 m (canal inconcluso en la fecha de visita).</li> <li>Zona muy vulnerable por la población que se ubica en la parte baja de la quebrada.</li> </ul>
Quebrada de Cosos (Km 67 vía Aplao – Chuquibamba)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es la quebrada de mayor longitud (más de 3 Km). Es bastante ancha (1.3 Km en la zona de estudio). Pendiente de las laderas entre 30° - 35° en la parte baja de la misma. Gran cantidad de material suelto en su cauce con bloques rocosos de más de 1.00m de diámetro. Se ha construido un muro de rocas como defensa ribereña cerca la intersección de la quebrada con la vía Aplao – Chuquibamba. Esta quebrada se activa en época de lluvias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se activa en época de lluvias afectando la vía Aplao – Chuquibamba. De ocurrir precipitaciones extraordinarias afectaría fuertemente la vía que conduce a Chuquibamba y terrenos de cultivos que se hallan cerca de su desembocadura en el río Majes.</li> </ul>



### c. Zonas críticas por erosión fluvial

**Tabla 8**

*Geodinamismo externo por erosión fluvial en el sector Aplao.*

Sector (Distrito)	Características geodinámicas	Vulnerabilidad y/o daños a la vida y la propiedad
Caspani (Km 59 a 61 Vía Corire – Aplao)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La margen derecha del río está siendo erosionada progresivamente año a año, erosión que se incrementa en la época de lluvias. La longitud erosionada es de aproximadamente 2 Km. Este proceso erosivo es debido a un cambio en la dirección del cauce principal del río.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los principales elementos a proteger de esta erosión son las viviendas del poblado de Caspani y tierras de cultivo (arrozales).</li> </ul>
Entre Aplao – Quebrada Cosos (Aplao)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La margen izquierda del río Majes entre Aplao – Quebrada de Cosos, es erosionada progresivamente año a año. En este tramo afloran rocas de la formación Sotillo, formación Hualhuani e intrusivos grano-dioríticos. La longitud afectada por esta acción hidráulica del río es de 4.5 Km aproximadamente y es debido a que el cauce principal del río recorre casi paralelamente a la margen ribereña debido a cambio en la dirección del cauce principal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El socavamiento de las rocas afectadas por la erosión puede originar movimientos en masa como deslizamientos y derrumbes que afectarían terrenos de cultivo y el cauce original del río.</li> </ul>
Puente Huancarqui (Vía Aplao - Huancarqui) (Aplao)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El área aledaña al estribo derecho del puente está siendo progresivamente erosionada por el río Majes, tanto la margen derecha como el fondo de su cauce.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se han colocado rocas de gran tamaño (defensa ribereña) alrededor del estribo derecho del puente como una medida básica para proteger este puente de la erosión fluvial.</li> </ul>



**d. Zona crítica por inundación fluvial**

**Tabla 9**

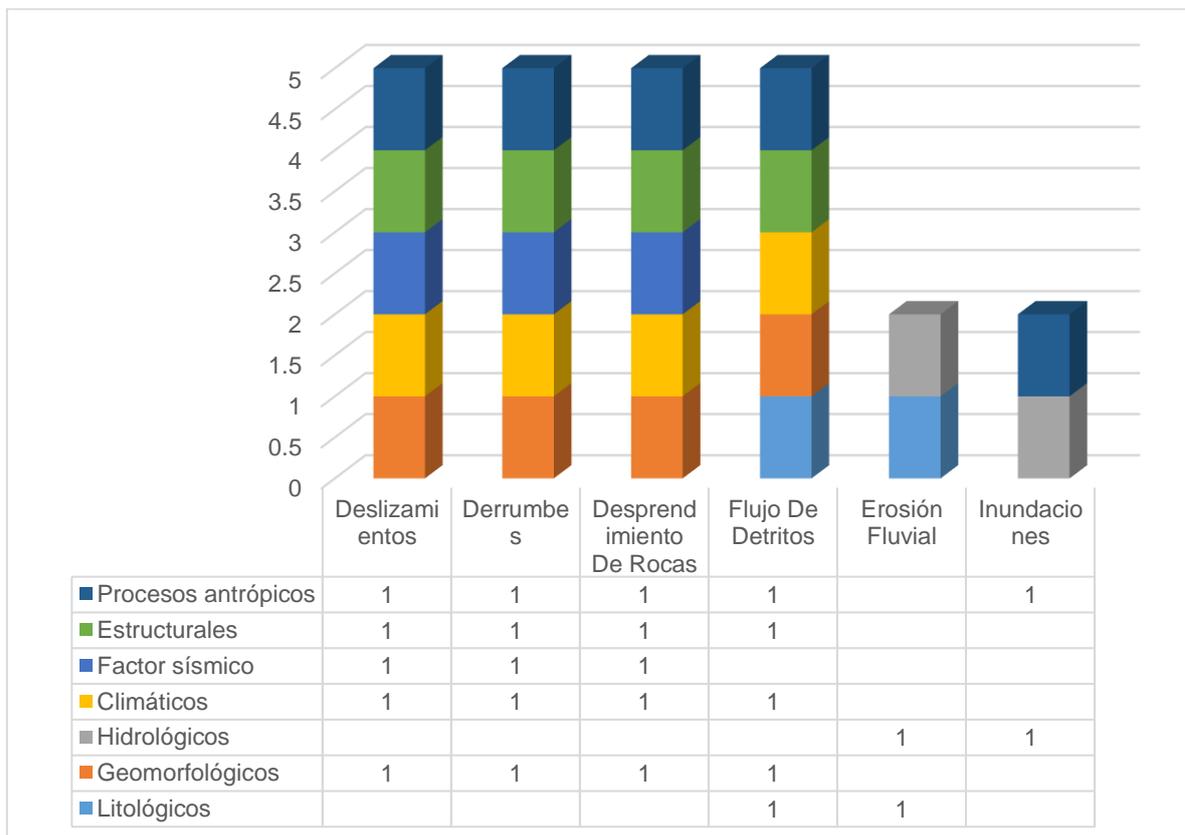
*Geodinamismo externo por inundaciones en el sector Aplao.*

Sector (Distrito)	Características geodinámicas	Vulnerabilidad y/o daños a la vida y la propiedad
Caspani – Aplao (Aplao)	<ul style="list-style-type: none"> <li>La llanura de inundación que conforma el piso de valle es bastante amplia. Esta llanura es aprovechada para la agricultura principalmente. La reducción de la capacidad hidráulica de margen derecha del río Majes por el estrechamiento del cauce, está sujeta a inundaciones, cuando el caudal del río es mayor a los 400m<sup>3</sup>/seg (lluvias extraordinarias). La zona inundable tiene una longitud aproximada de 1.8 Km.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El área inundable está ocupada por terrenos de cultivo (principal cultivo: arroz). Existe en parte protección ribereña, pero ésta debe ser mantenida adecuadamente (existe socavamiento de esta defensa ribereña en varios puntos).</li> </ul>

Como parte del estudio, se pudo observar que los procesos de geodinamismo externo en el sector Aplao se deben a factores causales, mostrados en la figura siguiente.

**Figura 28**

*Factores causales de procesos geodinámicos externos en el sector Aplao.*





### **Análisis e interpretación**

De la figura se extrae, que los factores causales de los deslizamientos, derrumbes y desprendimiento de rocas son:

- Los procesos antrópicos, porque se observa presencia de tramos en la vía Corire – Aplao, con taludes de pendientes muy empinadas.
- Estructurales, por fuerte fracturamiento de rocas dando lugar a gran cantidad de material suelto de diverso tamaño.
- Factor sísmico, porque el sector de estudio pertenece a la región Arequipa, caracterizada por alta actividad sísmica.
- Climático, por la variación de temperatura del día a la noche, que favorece la meteorización física de las rocas.
- Geomorfológico, por presencia de laderas con pendientes medias abruptas.

Por otra parte, el flujo de detritos presenta los siguientes factores causales:

- Geomorfológicos, en vista que las laderas de las quebradas: San Ignacio, Santa Ana, Cochate, Caspani 1, Caspani 2, Aplao, Casquina y Cosos tienen pendientes que van desde ligeramente escarpadas a fuertemente escarpadas.
- Litológicos, porque las quebradas indicadas presentan gran cantidad de material suelto en el fondo de sus cauces de tamaños que varían desde 5cm de diámetro hasta bloques mayores de 1m de diámetro, como producto del intemperismo físico de rocas del grupo Yura y rocas intrusivas.
- Estructurales, por la presencia de rocas aflorantes con fuerte fracturamiento que contribuye con la acumulación de detritos en las laderas y fondo del cauce de quebradas.
- Climáticos, por variaciones de temperatura del día a la noche que favorecen la meteorización física de las rocas. También, por las precipitaciones escasas e irregulares. Por variación climáticas la ocurrencia de precipitaciones excepcionales es un factor gatillador para los flujos de detritos.



- Procesos antrópicos, por ocupación de las partes bajas de quebradas y asentamientos humanos que aumenta la vulnerabilidad de las mismas.

En tanto, la erosión fluvial se debe a factores causales:

- Litológicos, por la presencia de rocas del grupo Yura, resistentes a la erosión fluvial, al igual que las rocas intrusivas granodioríticas que afloran en ambas márgenes del río. También por rocas de la formación Sotillo, que son menos resistentes a la erosión fluvial.
- Hidrológicos, por aguas de escorrentía superficial del río Majes que erosionan riveras por variaciones del cauce en su recorrido como se observa en el área de Caspani y también por el incremento de acción erosiva del río en época de lluvias, por aumento del caudal del mismo.

Por último, los factores causales de las inundaciones son:

- Hidrológicos, que generan incremento de caudal del río en época de lluvias, pueden llegar inundar áreas desprotegidas como terrenos de cultivos ubicadas entre Caspani y Aplao.
- Procesos antrópicos, por expansión de áreas agrícolas que invaden parte del lecho fluvial que se aprecia entre Caspani y Aplao (orilla derecha del río).

En síntesis, los procesos geodinámicos con mayor presencia de factores, son los deslizamientos, derrumbes, desprendimiento de rocas y flujo de detritos.

#### **4.2.2. Riesgos ambientales sobre los ecosistemas relacionados con los procesos geodinámicos en el Valle de Majes, sector Aplao.**

Previo al diseño de escenarios, se identifica todos los peligros potenciales, que en este caso se relacionan con los impactos ambientales identificados entre los procesos geodinámicos y los factores ambientales del sector Aplao; a partir de estos impactos se construyen los escenarios de riesgos. Posteriormente, se estima la probabilidad de ocurrencia y la gravedad de las consecuencias.



**Tabla 10**

*Formulación de escenarios de riesgo*

<b>Escenario Identificado</b>	<b>Elemento</b>	<b>Escenario Riesgo</b>	<b>Causa</b>	<b>Consecuencia</b>
<b>Variación de la calidad del Suelo</b>	Material sin consolidar desplazado	Pérdida de calidad de suelo	Variación de la estructura y composición	Pérdida de productividad del suelo
<b>Modificación del flujo y calidad de agua</b>	Material sin consolidar desplazado	Pérdida de cantidad de agua	Modificación de cause e ingreso de material extraño	Agua insuficiente y de mala calidad
<b>Modificación de Biodiversidad</b>	Material sin consolidar desplazado	Pérdida de Biodiversidad	Pérdida de hábitat para flora y fauna silvestre	Pérdida de flora y fauna silvestre
<b>Efectos sobre agricultura</b>	Material sin consolidar desplazado	Modificación de calidad agrícola	Perdida de terrenos de cultivo	Pérdida de la productividad agrícola
<b>Efecto sobre residencia de pobladores</b>	Material sin consolidar desplazado	Daño de vivienda, pérdida de vida	Caída de material suelto	Pérdidas de vivienda y vida
<b>Efecto sobre la infraestructura de riego</b>	Material no consolidado desplazado	Daño sobre infraestructura de riego	Caída de material no consolidado	Pérdida de infraestructura de riego
<b>Efecto sobre vías de transporte</b>	Material no consolidado desplazado	Daño sobre vías de transporte	Caída de material no consolidado	Incomunicación y perjuicio económico
<b>Modificación de calidad de vida</b>	Malas condiciones	Baja en la calidad de vida	Pérdida de servicios básicos	Mala calidad de vida

Para los escenarios determinados, establecemos la probabilidad de ocurrencia considerando los criterios de la tabla siguiente:



**Tabla 11**

*Estimación de la probabilidad*

Valor	Probabilidad	
5	Muy probable	Menos de Una vez al mes
4	Altamente probable	Entre una vez al mes y una vez al año
3	Probable	Entre una vez al año y una vez cada 10 años
2	Posible	Entre una vez cada 10 años y una vez cada 50 años
1	Improbable	Mayor a una vez cada 50 años

*Nota.* Estimaciones de probabilidad de riesgo. Fuente: Guía para evaluación de riesgos ambientales del MINAN (2010)

**Tabla 12**

Estimación de la probabilidad de los escenarios identificados

ESCENARIO IDENTIFICADO	ELEMENTO	ESCENARIO RIESGO	PROBABILIDAD
Variación de la calidad del Suelo	Material consolidar desplazado	sin Pérdida de calidad de suelo	4
Modificación del flujo y calidad de agua	Material consolidar desplazado	sin Pérdida de calidad y cantidad de agua	4
Modificación de biodiversidad	Material consolidar desplazado	sin Pérdida de biodiversidad	3
Efectos sobre agricultura	Material consolidar desplazado	sin Modificación de la calidad agrícola	4
Efecto sobre residencia de pobladores	Material consolidar desplazado	sin Daño de vivienda, pérdida de vida	3
Efecto sobre la infraestructura de riego	Material consolidado desplazado	no Daño sobre infraestructura de riego	3
Efecto sobre vías de transporte	Material consolidado desplazado	no Daño sobre vías de transporte	3
Modificación de calidad de vida	Malas condiciones	Baja en la calidad de vida	4

*Nota.* Estimaciones de probabilidad de escenarios no identificados. Fuente: Elaboración propia



La tabla 12, muestra la probabilidad de ocurrencia en el escenario de riesgo. Se debe mencionar que se ha establecido esta probabilidad considerando en el escenario, los patrones de cambio climático.

Para la estimación de cada uno de los escenarios, se asignó una puntuación que va del 1 al 5, estimándose de este modo, la gravedad de las consecuencias. El estimado se realiza utilizando el siguiente baremo:

**Tabla 13**

*Baremo para la estimación de gravedad de las consecuencias*

Valor	Valoración	Valor Asignado
<b>Critico</b>	20 - 18	5
<b>Grave</b>	17 - 15	4
<b>Moderado</b>	14 - 11	3
<b>Leve</b>	10 - 08	2
<b>No relevante</b>	07 - 05	1

Fuente: Guía para evaluación de riesgos ambientales del MINAN (2010), en base a la Norma UNE 150008 2008 Evaluación de los riesgos ambientales.

Tomando en cuenta el baremo, se estiman las consecuencias en diferentes entornos.

**Tabla 14**

*Estimaciones de la gravedad en el entorno natural*

No.	Escenario de riesgo	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Calidad del medio	Gravedad	Puntuación total
<b>S1</b>	Pérdida de calidad de suelo	3	3	2	4	15	4
<b>S2</b>	Pérdida de calidad y cantidad de agua	4	3	4	4	18	5
<b>S3</b>	Pérdida de Biodiversidad	2	2	3	3	12	3
<b>S4</b>	Modificación de la calidad agrícola	3	3	2	4	15	4
<b>S5</b>	Daño de vivienda, pérdida de vida	3	4	2	4	17	4
<b>S6</b>	Daño sobre infraestructura de riego	3	3	2	3	14	3
<b>S7</b>	Daño sobre vías de transporte	3	3	2	3	14	3
<b>S8</b>	Baja en la calidad de vida	3	4	3	4	18	5

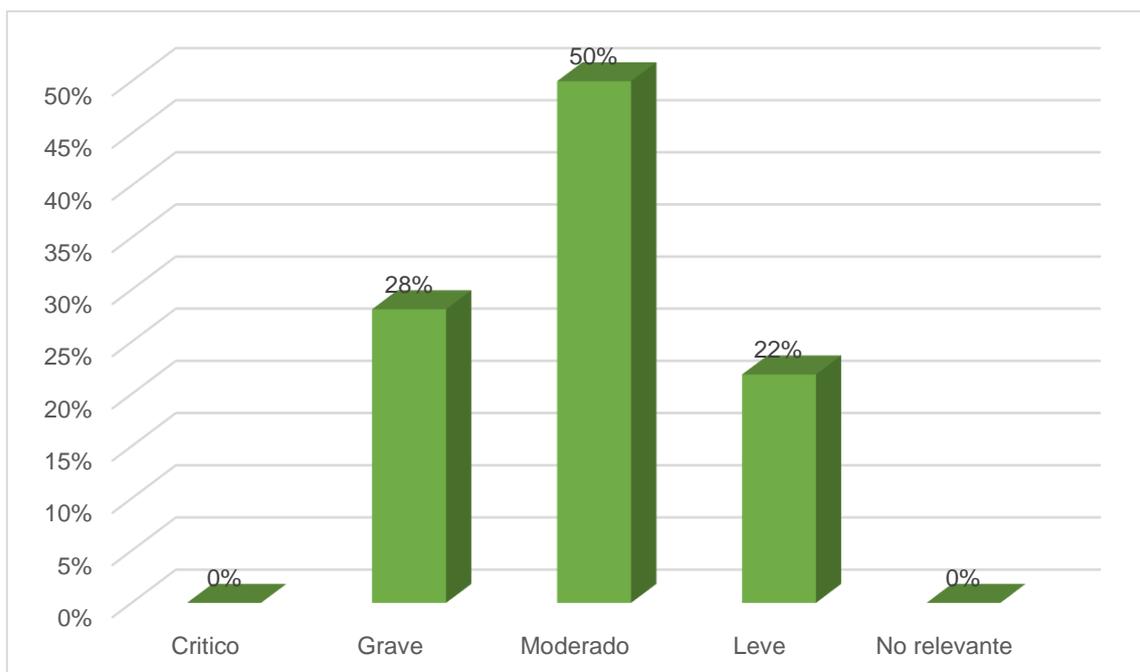


Los resultados consignados en la tabla, muestran que, en el entorno natural, la pérdida de calidad y cantidad de agua, así como baja en la calidad de vida presentan nivel crítico, al tener una puntuación de cinco.

En promedio, el nivel de riesgo sobre el entorno natural que se encuentra relacionado con procesos geodinámicos, se presenta en la siguiente figura:

**Figura 29**

*Nivel de riesgo sobre el entorno natural del Valle de Majes - sector Aplao*



En líneas generales, el nivel de riesgo en el entorno natural que se encuentra relacionado a procesos geodinámicos es 50% moderado; aunque en algunos escenarios llega a ser 28% grave y 22% leve. De acuerdo con la Tabla 14, la gravedad de los procesos geodinámicos en entornos naturales conlleva en mayor medida a la pérdida de calidad y cantidad de agua; además implican baja calidad de vida, pérdida de calidad de suelo, modificación de la calidad agrícola y daño a viviendas con posibles pérdidas de vidas humanas.



**Tabla 15**

*Estimaciones de la gravedad en el entorno humano*

No.	Escenario de riesgo	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Población afectada	Gravedad	Puntuación total
<b>S1</b>	Pérdida de calidad de suelo	3	3	2	4	15	4
<b>S2</b>	Pérdida de calidad y cantidad de agua	4	3	4	4	18	5
<b>S3</b>	Pérdida de Biodiversidad	2	2	3	3	12	3
<b>S4</b>	Modificación de la calidad agrícola	3	3	2	4	15	4
<b>S5</b>	Daño de vivienda, pérdida de vida	3	4	2	4	17	4
<b>S6</b>	Daño sobre infraestructura de riego	3	3	2	4	15	4
<b>S7</b>	Daño sobre vías de transporte	3	3	2	4	15	4
<b>S8</b>	Baja en la calidad de vida	3	4	3	4	18	5

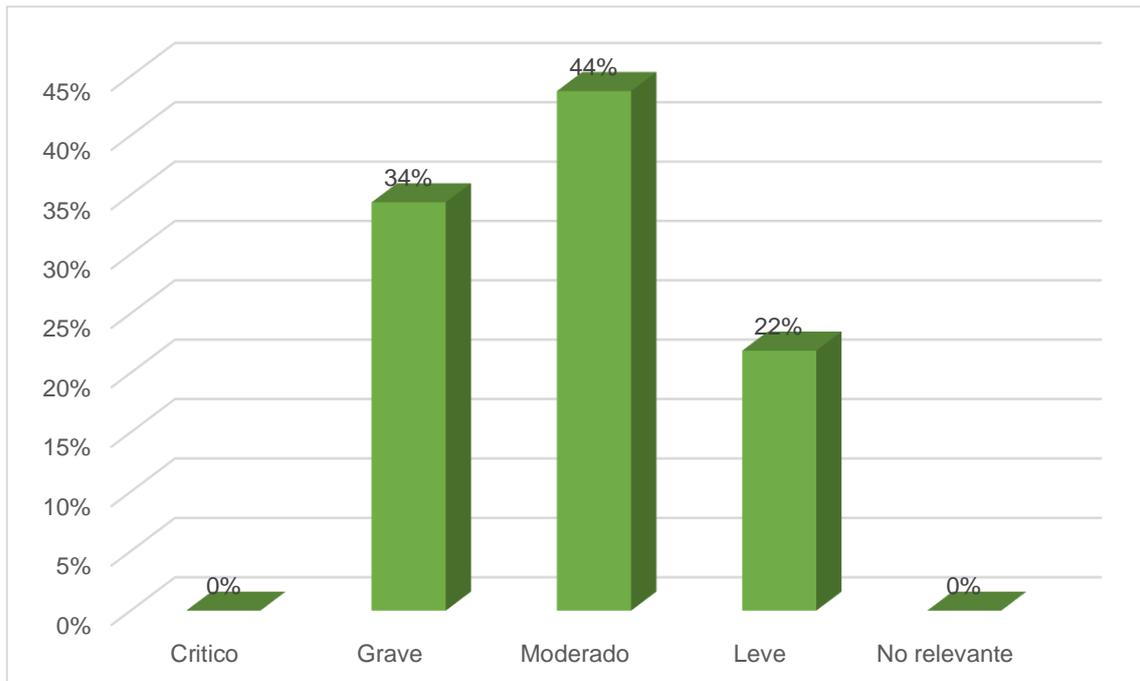
Los resultados muestran, que los escenarios de pérdida de calidad y cantidad de agua y baja en la calidad de vida, tienen un nivel crítico al presentar valor 5.

En promedio, el grado de riesgo en entornos humanos que se presentan relacionados con procesos geodinámicos en el valle de Majes – Sector Aplao, se visualiza en la figura siguiente:



**Figura 30**

*Nivel de riesgo sobre el entorno humano del Valle de Majes - sector Aplao*



De acuerdo con el gráfico, el nivel de riesgo en entornos humanos relacionados con procesos geodinámicos es 44% moderado, sin embargo, puede llegar a ser 34% grave y 22% leve. Esta magnitud, se debe en medida a riesgos que generan pérdida de calidad de suelo, modificación de la calidad agrícola y daños sobre infraestructura de riego y vías de transporte; y en mayor medida, por la pérdida de calidad y cantidad de agua, así como baja calidad de vida y daños a la vivienda o pérdida de vida.



**Tabla 16**

*Estimaciones de la gravedad en el entorno socioeconómico*

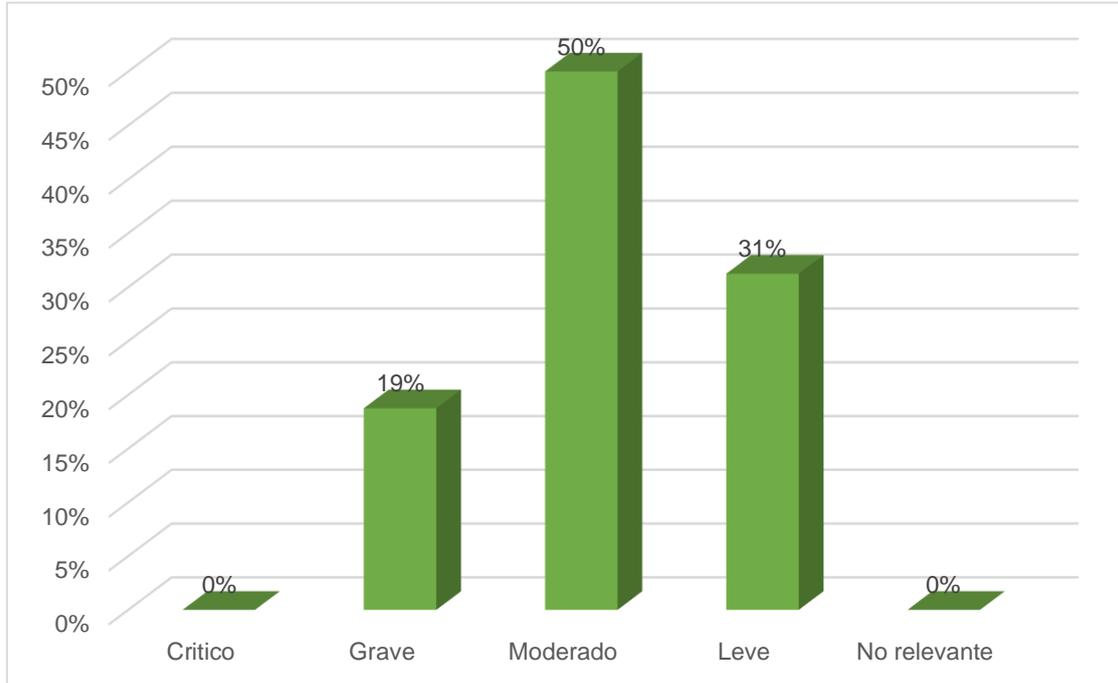
No.	Escenario de riesgo	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Patrimonio y capital	Gravedad	Puntuación total
<b>S1</b>	Pérdida de calidad de suelo	3	3	2	2	13	3
<b>S2</b>	Pérdida de calidad y cantidad de agua	4	3	4	4	18	5
<b>S3</b>	Pérdida de Biodiversidad	2	2	3	2	11	3
<b>S4</b>	Modificación de la calidad agrícola	3	3	2	2	13	3
<b>S5</b>	Daño de vivienda, pérdida de vida	3	4	2	3	16	4
<b>S6</b>	Daño sobre infraestructura de riego	3	3	2	3	14	3
<b>S7</b>	Daño sobre vías de transporte	3	3	2	3	14	3
<b>S8</b>	Baja en la calidad de vida	3	4	3	4	18	5

En este escenario se tiene que la pérdida de calidad y cantidad de agua, y baja en la calidad de vida tiene un nivel de crítico.

En promedio, el valor de riesgo en entornos socioeconómicos que se encuentran relacionados con procesos geodinámicos en el valle de Majes – Sector Aplao, se presenta en gráfico siguiente:

**Figura 31**

*Nivel de riesgo sobre el entorno socioeconómico del Valle de Majes - sector Aplao*



El nivel de riesgo en entornos socioeconómicos que tienen relación con procesos geodinámicos es 50% moderado, aunque tiene tendencia a ser leve con un 31% y grave con 19%. En este punto, la presencia de procesos geodinámicos conlleva a daños en viviendas, infraestructuras de riego y vías de transporte; e inclusive la pérdida de vidas humanas; generando baja calidad de vida de los residentes.

Evaluando el riesgo ambiental, se tiene:

Para esta evaluación se elaboró tres tablas de doble entrada, una para cada entorno considerado. Gráficamente en cada tabla aparece cada escenario considerando la probabilidad y consecuencias, resultado de la estimación realizada del riesgo.



**Tabla 17**

*Evaluación del Riesgo Ambiental según entorno natural*

		GRAVEDAD ENTORNO				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	n					
	1					
	2					
	3			S3, S6, S7	S5	
	4				S1, S4	S2, S8
	5					

**Tabla 18**

*Evaluación del Riesgo Ambiental según entorno humano*

		GRAVEDAD ENTORNO				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	h					
	1					
	2					
	3			S3	S6, S7, S5	
	4				S1, S4	S2, S8
	5					

**Tabla 19**

*Evaluación del Riesgo Ambiental según entorno socio económico*

		GRAVEDAD ENTORNO				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	se					
	1					
	2					
	3			S3, S6, S7	S5	
	4			S1, S4		S2, S8
	5					

**Tabla 20**

*Evaluación del Riesgo Ambiental según nivel de riesgo*

	<b>Riesgo muy alto: 21 a 25</b>
	<b>Riesgo alto: 16 a 20</b>
	<b>Riesgo medio: 11 a 15</b>
	<b>Riesgo moderado: 6 a 10</b>
	<b>Riesgo bajo: 1 a 5</b>

*Nota.* Cuadro para la evaluación del nivel de riesgo en la zona de estudio Fuente: Guía para la evaluación de riesgos ambientales del MINAM, 2010

Del consolidado de resultados que se tiene en la tabla, los escenarios de pérdida de calidad y cantidad de agua y baja en la calidad de vida tienen un riesgo alto para los tres entornos; pero, además la pérdida de calidad de suelo y modificación de la calidad agrícola tienen también un riesgo alto, pero sólo para el entorno natural y humano, en estos casos el entorno sociocultural únicamente tiene un riesgo medio.

**Tabla 21**

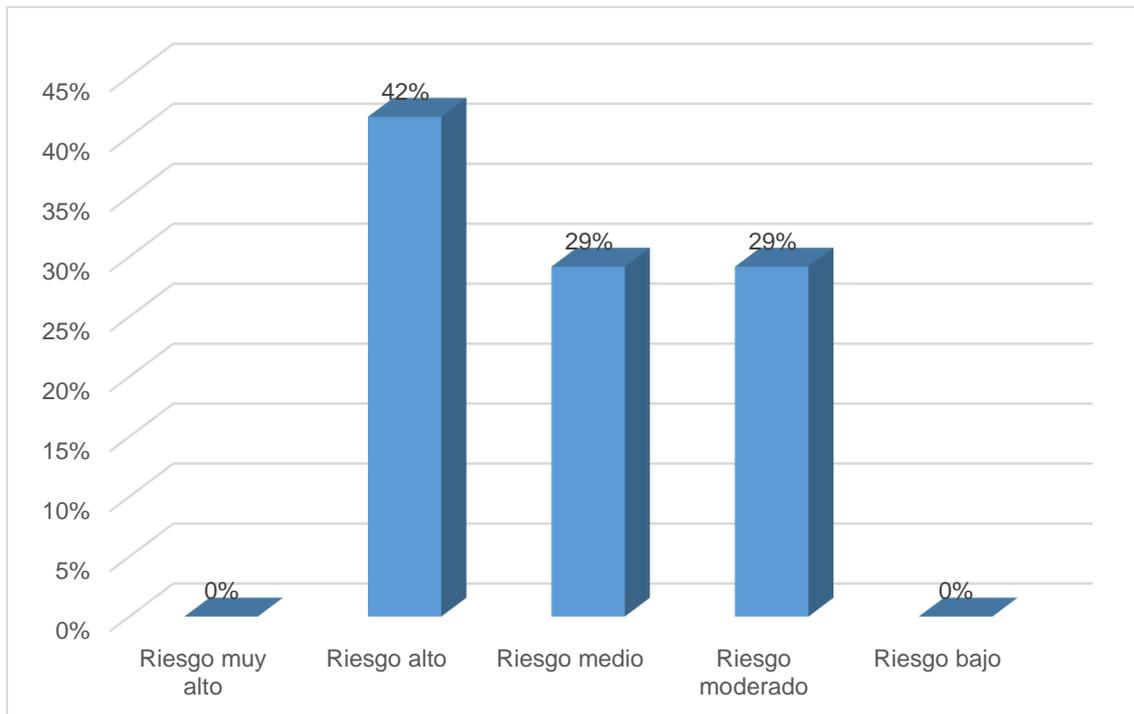
*Consolidado del riesgo ambiental*

No.	Escenario de riesgo	Entorno Natural	Entorno Humano	Entorno Socio económico
S1	Pérdida de calidad de suelo	16	16	12
S2	Pérdida de calidad y cantidad de agua	20	20	20
S3	Pérdida de Biodiversidad	9	9	9
S4	Modificación de la calidad agrícola	16	16	12
S5	Daño de vivienda, pérdida de vida	12	15	12
S6	Daño sobre infraestructura de riego	9	12	9
S7	Daño sobre vías de transporte	9	12	9
S8	Baja en la calidad de vida	20	20	20

Considerando el consolidado del riesgo ambiental y la Evaluación de Riesgos Ambientales, el nivel de riesgo se presenta en la figura siguiente:

**Figura 32**

*Nivel de riesgo ambiental en entornos del Valle de Majes – Sector Aplao*



El ambiente como consecuencia de procesos geodinámicos, presenta 42% de riesgo alto, seguido de 29% de riesgo medio y 29% de riesgo moderado. Es decir, los entornos natural, humano y socioeconómico se hallan en constante riesgo ante los procesos geodinámicos que ocurren en el valle de Majes.

#### **4.2.3. Impactos ambientales previsible a partir de los procesos geodinámicos en ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao.**

##### **4.2.3.1 Identificación de Impactos Ambientales**

La identificación se realizó con la matriz causa – efecto de Leopold, adaptada a las condiciones de trabajo y con una estructura tomada de la propuesta de Dellavedova (2016), para lo cual, ha sido necesaria la identificación de los elementos potenciales que tendrán un impacto en el sistema medio ambiental, en el cual se da un conjunto de interrelaciones



entre los elementos físicos, bióticos y socioculturales del área de estudio, que en este caso corresponde al sector Aplao – valle de Majes.

**a. Acciones Impactantes**

Para construir la matriz de causa – efecto de Leopold, se consideran las acciones impactantes, que en este caso corresponden a los procesos geodinámicos que generan impactos ambientales, los que han sido considerados son: flujo de detritos, derrumbes, caída de rocas, erosión fluvial, inundación fluvial, deslizamientos y sismos.

**Tabla 22**

Acciones impactantes tomadas en cuenta

PROCESOS GEODINÁMICOS QUE GENERAN IMPACTOS AMBIENTALES						
Flujo de Detritos	Derrumbes	Caída de rocas	Erosión de fluvial	Inundación fluvial	Deslizamientos	Sismos

**b. Componentes Ambientales**

Se han considerado los componentes ambientales que presenta un ecosistema, como son, los componentes físicos, en ellos se han considerado al agua, básicamente superficial tomando en cuenta al río Majes; en el caso del suelo se tomó en cuenta el agrícola, pero también el que constituye las laderas.

Respecto del componente biológico, se consideró a la flora; como los elementos tanto de producción, es decir, cultivos, así como la flora silvestre; en fauna se consideró a los animales en general.



**Tabla 23**

*Parámetros ambientales tomados en cuenta.*

<b>Características físicas</b>	Suelo	Suelo
	Agua	Agua superficial
<b>Condiciones Biológicas</b>	Flora	Silvestre
		Cultivos
	Fauna	Biodiversidad de fauna
<b>Factores Socio Culturales</b>	Producción y servicios	Agricultura
		Residencia
		Infraestructura de riego
		Vías Transporte
		Calidad de vida

**c. Construcción y aplicación de la matriz causa – efecto de Leopold**

La construcción de la matriz de Leopold, se basa en la disposición matricial de los componentes de la misma, así en las columnas se ubicaron a las acciones de geodinámica que generan impactos ambientales; mientras que en las filas se ubicaron a los parámetros ambientales. La interrelación entre los mismos, una acción y un parámetro es marcado con una “X” lo que indica un impacto ambiental.



**Tabla 24**

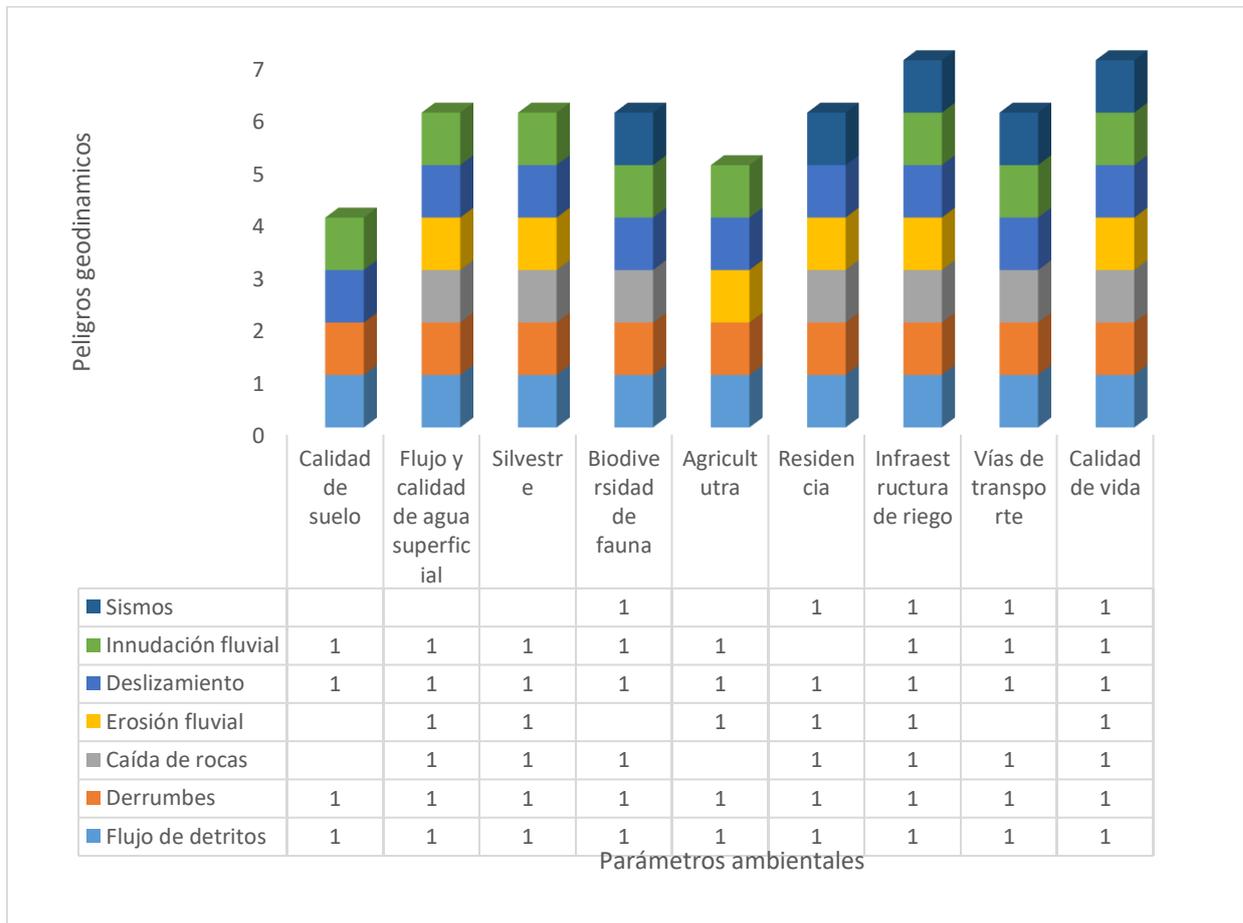
*Identificación de impactos ambientales - Matriz De Leopold Adaptada*

Procesos Naturales			Peligros geodinámicos que generan impactos ambientales						Número de interacciones	
			Flujo de detritos	Derrumbes	Caída de rocas	Erosión fluvial	Deslizamientos	Inundación fluvial		Sismos
Parámetros Ambientales										
Características físicas	Suelo	Calidad de suelo	X	X			X	X		4
	Agua	Flujo y calidad de agua superficial	X	X	X	X	X	X		6
Condiciones biológicas	Flora	Silvestre	X	X	X	X	X	X		6
	Fauna	Biodiversidad de fauna	X	X	X		X	X	X	6
Factores socioculturales	Producción y servicios	Agricultura	X	X		X	X	X		5
		Residencia	X	X	X	X	X		X	6
		Infraestructura de riego	X	X	X	X	X	X	X	7
		Vías de transporte	X	X	X		X	X	X	6
		Calidad de vida	X	X	X	X	X	X	X	7

Fuente: Elaboración propia

**Figura 33**

*Identificación de impactos ambientales ocasionados por procesos naturales en el Sector Aplao*



**d. Descripción de los impactos ambientales identificados**

La tabla 24 y figura 33, muestra los impactos identificados al relacionar los procesos geodinámicos y los parámetros ambientales en el área de estudio; como se puede observar existe interrelación entre casi todos ellos, estableciéndose por lo tanto que todos los procesos geodinámicos generan impactos sobre todos los parámetros ambientales, salvo ligeras excepciones (caídas de rocas, erosión fluvial, inundación fluvial y sismos).



### **Calidad de suelo.**

Para el caso de la calidad del suelo, se observa que existe impacto ambiental a partir del flujo de detritos, derrumbes, inundación fluvial y deslizamientos; de hecho, lo que ocurre, es una pérdida en la calidad del suelo, ya que el material desplazado modifica las características del suelo superficial; esto es especialmente sensible debido a la pérdida de área agrícola en el valle y los efectos negativos consiguientes en la economía del lugar.

### **Flujo y calidad de agua superficial**

En el caso del flujo y calidad de agua superficial, todos los procesos geodinámicos generan impactos sobre el mismo, se espera que el desplazamiento del material que se da en todos los casos, modifique el flujo de agua del río y el ingreso de materiales no comunes tenga impacto sobre la calidad del agua, provocando efectos sobre los consumidores del agua, sea este el caso para la agricultura el consumo humano o cualquier otra actividad que necesite de este recurso.

### **Modificación en Flora y fauna**

Si bien es cierto, la flora y la fauna han sido evaluados por separado, en este punto es posible unirlos bajo el concepto de biodiversidad. Se va a establecer, por lo tanto, que todos los procesos geodinámicos considerados, generan impacto sobre la biodiversidad a través de la modificación del hábitat tanto de flora y de fauna silvestre que habitan en la zona donde se producen estos eventos.

### **Efecto sobre la agricultura**

Se debe iniciar ese análisis, explicando que la agricultura, es la actividad productiva más importante en esta zona del valle, por lo tanto, resulta de especial sensibilidad dentro del aspecto sociocultural el daño que ocasionan los procesos geodinámicos, fundamentalmente a través de flujo de detritos, derrumbes, inundación fluvial, deslizamientos y erosión fluvial, provocando la



pérdida del área cultivable, pero además la variación en la cualidad del suelo, por el ingreso de material no consolidado de naturaleza química diferente a la que presentan los terrenos de cultivo.

### **Efecto sobre la residencia de pobladores**

Todos los procesos geodinámicos generan daño sobre las casas e infraestructura domiciliaria de los pobladores, debido a que se han ido ubicando en zonas de alto riesgo y además existen muestras externas de fenómenos activos, tales como el caso de flujo de detritus y deslizamiento, este riesgo no sólo está relacionado con la propia infraestructura, sino con la vida de los pobladores.

### **Daño sobre la infraestructura de riego**

Todos los procesos geodinámicos generan daño sobre la infraestructura de riesgos, provocando perjuicios en la producción agrícola, y efectos en la economía de la población, además de incrementar los riesgos de inundación fluvial y otros relacionados con la modificación de la infraestructura de riego.

### **Daño sobre vías de transporte**

Las vías de transporte en el área geográfica la conforman básicamente las carreteras que resultarían dañadas, a causa del potencial accionar de los procesos geodinámicos, provocando los consecuentes efectos sobre la economía de la zona.

### **Modificatoria de la calidad de vida**

Los procesos geodinámicos, pueden además generar daños sobre ciertas infraestructuras urbanas como son sistemas de desagüe, luz, agua potable, etc. que viene alterando negativamente el bienestar de los pobladores, y que en muchos casos podrían poner en riesgo la subsistencia de los mismos.



#### 4.2.3.2 Tipología de los impactos ambientales (potenciales)

Tabla 25

*Clasificación tipológica de los impactos ambientales (potenciales) producidos por la acción de los principales peligros geodinámicos*

Tipología de impactos Tipo de peligro	Por la variación de la calidad ambiental	Por la intensidad (grado de destrucción)	Por la extensión	Por el momento en que se manifiesta	Por su persistencia	Por la capacidad de recuperación	Por su relación causa - efecto	Por la interacción de acciones y/o efectos	Por su periodicidad	Por la necesidad de aplicación de medidas correctoras
<b>Flujo de detritos</b>	Negativo	Medio a alto	Parcial	Inmediato	Temporal a permanente	Mitigable	Directo	Acumulativo	Aparición irregular	Impacto ambiental moderado a severo
<b>Derrumbes</b>	Negativo	Medio a alto	Puntual	Inmediato	Temporal	Mitigable	Directo	Acumulativo	Aparición irregular	Impacto ambiental moderado
<b>Caída de rocas</b>	Negativo	Bajo a medio	Puntual	Inmediato	Temporal	Mitigable	Directo	Acumulativo	Aparición irregular	Impacto ambiental moderado
<b>Erosión fluvial</b>	Negativo	Bajo	Puntual	Inmediato	Temporal a permanente	Mitigable	Directo	Acumulativo	Continuo	Impacto ambiental moderado
<b>Deslizamiento</b>	Negativo	Medio a alto	Puntual	Inmediato	Temporal	Mitigable	Directo	Acumulativo	Aparición irregular	Impacto ambiental moderado
<b>Inundación fluvial</b>	Negativo	Medio	Puntual	Inmediato	Temporal	Mitigable	Directo	Acumulativo	Periódico	Impacto ambiental moderado
<b>Sismos</b>	Negativo	Medio a alto	Parcial a extremo	Inmediato	Temporal	Mitigable	Directo a indirecto	Acumulativo a sinérgico	Aparición irregular	Impacto ambiental moderado a severo

Fuente: Elaboración propia en base a Conesa (1997)



Al analizar la tabla 25, se deduce que los flujos de detritos y los sismos, son los peligros que presentan los impactos más significativos en muchos de los criterios tipológicos considerados. Según el criterio de aplicación de medidas correctoras estos peligros ocasionan impactos ambientales moderados a severos en los entornos natural, humano y socioeconómico. De igual modo, considerando el criterio de grado de destrucción los sismos y flujos de detritos, darían lugar a una destrucción media a alta.

Se resalta también, que según el criterio relacionado a la interacción de acciones y/o efectos los sismos generarían impactos acumulativos y sinérgicos acumulativos, porque la acción de éstos agrava la calidad del medio ambiente conjuntamente con los efectos de otros peligros, que se tienen en el sector Aplao, como es el caso de los flujos de detritos y sinérgicos, porque al desencadenarse un sismo, se pueden activar otros peligros como los derrumbes, deslizamientos y caída de rocas.

#### **4.2.4. Propuesta de medidas preventivas y de mitigación de los riesgos ambientales en los ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao.**

Se plantean tres estrategias relacionadas con la prevención y mitigación de efectos, control físico de los desplazamientos y estrategias sostenibles.

##### **4.2.4.1 Bases legales**

- I. Constitución Política del Perú.
- II. Ley Orgánica de Gobiernos Regionales.
- III. Ley Orgánica de Municipalidades.
- IV. Ley Presupuesto del Sector Público

##### **4.2.4.2 Fundamentación**

Los riesgos ambientales pueden provocar daños a la población, por tanto, realizar un diagnóstico situacional es de vital importancia para proponer acciones de prevención y mitigación de efectos, control físico de los desplazamientos y estrategias sostenibles.



#### 4.2.4.3 Estrategias relacionadas con la prevención y mitigación de efectos.

- **Estrategias Preventivas (medidas no estructurales)**

**Tabla 26**

*Estrategias preventivas para analizar y controlar los riesgos*

<u>Actividades y/o acciones</u>	
Evaluación de riesgo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar mapas de riesgo que permitan analizar los riesgos por fenómenos en masa en toda el área de estudio (sector Aplao), tomando especial atención en las quebradas San Ignacio, Santa Ana, Caspani 1, Caspani 2, Aplao y Casquina.</li> </ul> <p>Identificación de los fenómenos naturales e inducidos por el hombre que degradan el medio ambiente y que pueden generar la ocurrencia de peligros de desplazamiento de Los peligros naturales críticos del sector Aplao son las quebradas susceptibles a flujos de detritos y zona inundable.</p> <p>Los peligros naturales e inducidos por el hombre son las zonas susceptibles a deslizamientos (km 61 de la vía Corire – Aplao) zona de derrumbes (vía Aplao – Huancarqui) y zona de caída de rocas (vía Aplao – Huancarqui: cerro Huancarqui)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Delimitación y monumentación con hitos de las fajas marginales (para zonas inundables y sujetos a erosión fluvial)</li> <li>• Aplicación de normatividad en zonas de expansión urbana y áreas agrícolas.</li> <li>• Elaborar mapas de riesgos que permitan analizar los riesgos por fenómenos en masa en toda el área de estudio (sector Aplao). Esta evaluación permitirá determinar si las poblaciones ubicadas en las quebradas se encuentran en riesgo y cuál es el nivel del mismo</li> </ul>
Establecer las condiciones básicas para prevenir el riesgo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las condiciones básicas que puede ayudar a prevenir el riesgo a futuro están relacionadas con la voluntad política y un nivel alto de concientización y compromiso de los actores sociales.</li> <li>• Es clave para cumplir con esta estrategia los planes de ordenamiento territorial.</li> </ul>



Instalación de sistemas de advertencia temprana en la generación de huaycos y deslizamiento: son estaciones pluviométricas que no solo miden cantidad de agua, sino punto de saturación del suelo, lo cual permite conocer el punto de licuefacción y la masa que puede ser desplazada como consecuencia de la lluvia.

- **Estrategias de mitigación o corrección de efectos (medidas no estructurales)**

**Tabla 27**

*Estrategias de mitigación o corrección de efectos*

<p>Determinar las condiciones de vulnerabilidad de la población, medios de vida y patrimonio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación del grado de expansión o vulnerabilidad de las unidades sociales, medios de vida y patrimonio cercanos a la zona de influencia de un fenómeno natural.</li> <li>• Determinación del nivel de resistencia o fragilidad de los habitantes, sus medios de vida y patrimonio frente al impacto de un peligro natural.</li> </ul>
<p>Desarrollar el conocimiento del riesgo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesos continuos de capacitación (talleres, charlas, etc.) dirigido a autoridades, funcionarios públicos, docentes y público en general.</li> <li>• Elaboración de guías metodológicas para la gestión del riesgo de desastres en instituciones educativas.</li> </ul>
<p>Reducir las condiciones de vulnerabilidad de riesgo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En base a la evaluación de riesgos planificar la reubicación de viviendas (ordenamiento territorial), sobre todo de las ubicadas en posibles zonas de muy alto riesgo no mitigable (reglamento de la Ley N° 29869)</li> <li>• Estudios geodinámicos y de ingeniería de detalle para analizar adecuadamente las quebradas con peligro de flujo de detritos (Caspani, Casquina, Santa Ana, San Ignacio, Aplao, Cosos)</li> </ul>
<p>Controlar el riesgo a futuro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación de los mapas de riesgo sobre todo los relacionados a las quebradas de San Ignacio, Santa Ana, Caspani, Aplao y Casquina, susceptibles a flujos de detritos en caso de precipitaciones extraordinarias, así como las zonas de derrumbes y caídas de rocas (vía Aplao – Huancarqui) susceptibles de activación en caso de sismos.</li> </ul>



#### 4.2.5 Estrategias relacionadas con el control físico (medidas estructurales)

**Tabla 28**

*Estrategias para controlar los procesos geodinámicos*

	<b><u>Actividades y/o acciones</u></b>
Flujo de detritos (quebradas de: Santa Ana, Cochate, Caspani 1, Caspani 2, Aplao, Casquina y Cosos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Canalización de las quebradas hacia el río Majes. Se puede utilizar en la construcción bloques de rocas sueltos que abundan en las mismas.</li> <li>• Se puede usar mallas de retención de detritos en quebradas de lechos angostos (menores de 15 metros y alturas de 7 m aproximadamente).</li> <li>• Limpieza del cauce de las quebradas y ensanche de tramos angostos.</li> <li>• Desbrozar bloques rocosos sueltos que se presentan en las laderas de las quebradas.</li> <li>• Construcción de diques de contención (con bloques rocosos) en diferentes sectores de la quebrada, lo que reduce paulatinamente el flujo de agua y el material que sería potencialmente transportado.</li> </ul>
Deslizamiento - derrumbes. (C° Huancarqui C° El Recodo y Caspani – Km 61 vía Corire – Aplao)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para zonas donde los deslizamientos o derrumbes serían pequeños se puede modificar el perfil del talud con corte y relleno (Bancales).</li> <li>• Desquinches de materiales rocosos fragmentados (zonas de posibles derrumbes, como es el caso de C° Huancarqui - C° El Recodo).</li> </ul>
Desprendimiento de rocas. (C° El Recodo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desquinches de bloques rocosos sueltos.</li> <li>• Colocación de mallas de acero con gunitado posterior en zonas muy difíciles.</li> </ul>
Erosión fluvial. (Caspani – Km 59 a 61 vía Corire – Aplao, margen izquierda del río Majes entre Aplao – quebrada Cosos y estribo derecho del puente Huancarqui).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción de diques de concreto.</li> <li>• Protección de márgenes con bloques rocosos.</li> </ul>
Inundación fluvial (Caspani – Aplao)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción de diques de concreto.</li> <li>• Protección de márgenes con bloques rocosos.</li> </ul>



#### 4.2.6. Estrategia sostenible.

Dentro de un enfoque de cambio climático que intensificarán los peligros geológicos, se debe considerar la instalación de sistemas de forestación con la utilización de especies naturales de la zona, los cuales puedan sostener las laderas de valle (áreas susceptibles a derrumbes, desprendimiento de rocas y deslizamientos) y de las quebradas (sobre todo las laderas de quebradas cercanas a su desembocadura donde se asientan poblados; quebradas de Caspani, San Ignacio, Santa Ana, Aplao, Casquina) y de esa manera controlar los procesos geodinámicos, para ello, se debe considerar no sólo las especies vegetales, sino también, la forma en que se le abastecerá de agua ya que de no ser así, no se tendrá éxito en el proceso.

#### 4.2.7. Responsable para su ejecución.

Los aliados estratégicos y entidades cooperantes para las acciones de intervención son:

- **Aliados estratégicos:**

- Gobierno regional.
- Gobiernos locales: municipalidades distritales y provinciales.
- INDECI.
- CENEPRED.
- INGEMMET.
- PREDES
- Banco Mundial
- Instituto Geofísico del Perú.

- **Financiamiento:**

Para la ejecución se puede gestionar presupuesto de:

- Asignación presupuestal del estado PPR 068
- CANON MINERO
- FONDES.
- Apoyo de entidades privadas.



## CAPITULO V

### DISCUSIÓN

#### 5.1. Descripción de los hallazgos más relevantes y significativos

##### 5.1.1. Respecto a los factores causales.

- **Factores de condicionamiento:** De los factores condicionantes que se dan en el área de estudio, los más importantes son: el factor estructural y el geomorfológico.

El factor estructural condiciona el fuerte fracturamiento de las rocas que se tiene en el sector Aplao, ya sea por la presencia del diaclasamiento inherente a ellas o por la expansión y contracción térmica que experimentan.

Las rocas cuando se calientan por las elevadas temperaturas del día que se tiene en la zona se expanden y se contraen cuando se enfrían, y al ser malos conductores del calor, la parte exterior se calienta más que la parte interior, lo que crea tensiones que originan su fracturamiento (meteorización mecánica). En el sector Aplao afloran principalmente rocas sedimentarias de la Formación Labra y Formación Sotillo, muy fracturadas característica que condiciona movimientos en masa como la caída de rocas que se tiene en el cerro El Recodo o derrumbes en el cerro Huancarqui ambos en la vía Aplao – Corire.

El factor geomorfológico por efectos de los procesos de modelado terrestre (meteorización y erosión) da lugar a relieves abruptos de pendientes que van de ligeramente escarpadas a fuertemente escarpadas (pendientes mayores a 37°), que presentan las rocas aflorantes en el sector Aplao, lo que condiciona a su vez la ocurrencia de derrumbes, que se tiene en el cerro Huancarqui, la caída de rocas del cerro El Recodo.

- **Factores desencadenantes:** Se tiene como factores desencadenantes de desplazamiento de masa (derrumbes, deslizamientos o caídas de rocas) en el sector Aplao., al factor sísmico y en un escenario de variabilidad climática que ocurre en el planeta a la ocurrencia de precipitaciones excepcionales (factor climático) como la que se produjo el



07 de febrero del 2019, lo que daría lugar a flujos de detritos en cualquiera de las quebradas consideradas críticas que se tienen en el sector, o derrumbes, deslizamientos y caídas de rocas sobre todo en zona de laderas de fuertes pendientes.

### **5.1.2. De los impactos identificados.**

Los parámetros ambientales más impactados por los procesos naturales del geodinamismo son la infraestructura de riego y la calidad de vida de los pobladores del sector Aplao. Ambos parámetros se interrelacionan, debido a los peligros geodinámicos que se manifiestan en este sector, presentando un número de interrelaciones igual a 7.

Los flujos de detritos, derrumbes y deslizamientos, son a su vez los peligros geológicos que más impactos producen o producirían en los parámetros ambientales, considerados en el área de estudio.

### **5.1.3. De los riesgos ambientales.**

#### **a. Estimación de la gravedad de las consecuencias.**

##### **a.1 Entorno natural (nivel crítico – valor 5)**

- Pérdida de calidad y cantidad de agua.
- Baja en la calidad de vida.

##### **a.2 Entorno humano (nivel crítico – valor 5)**

- Pérdida de calidad y cantidad de agua
- Baja en la calidad de vida.

##### **a.3 Entorno socio – económico (nivel crítico – valor 5)**

- Pérdida de calidad y cantidad de agua
- Baja en la calidad de vida.

#### **b. Estimación del riesgo ambiental. Riesgo Alto (valor 20)**

##### **b.1 Entorno natural**

- Pérdida de calidad y cantidad de agua.
- Baja en la calidad de vida.



## **b.2 Entorno humano**

- Pérdida de calidad y cantidad de agua
- Baja en la calidad de vida.

## **b.3 Entorno socio – económico**

- Pérdida de calidad y cantidad de agua
- Baja en la calidad de vida.

De las estimaciones realizadas se tiene que el parámetro ambiental pérdida de calidad y cantidad de agua, y el parámetro baja en la calidad de vida son los más vulnerables en caso de ocurrir un fenómeno geodinámico en el sector Aplao, en especial flujo de detritos, derrumbes o deslizamientos.

### **5.1.4. Respecto a la comparación de impactos identificados y riesgos ambientales.**

- Parámetros ambientales con impactos identificados que tiene mayor número de interrelaciones (7).
  - Infraestructura de riego.
  - Calidad de vida.
- Estimación del riesgo ambiental: Riesgo alto (valor 20).

Parámetros ambientales que presentan riesgo alto en los entornos natural, humano y socio-económico.

- Pérdida de calidad y cantidad de agua.
- Baja en la calidad de vida.

De esta comparación de resultados, se tiene que la baja en la calidad de vida es el parámetro más impactado; igualmente el riesgo es alto, en caso de ocurrencia de un peligro de geodinámica externa, en especial flujo de detritos, derrumbes y/o deslizamientos.

### **5.2. Limitaciones del estudio**

Esta investigación se limita a describir y analizar los peligros geológicos y sus efectos que se tiene en la zona de estudio ya que el objetivo principal



del presente trabajo es **identificar y estimar los riesgos ambientales de los procesos del geodinamismo en ecosistemas del sector Aplao**.

Otra limitación es el poco presupuesto para desarrollar el estudio, así como para adquirir un software para realizar la simulación de flujos de detritos y sus efectos en las quebradas, consideradas como las más riesgosas o críticas por sus características geodinámicas.

Otra limitante, es el alto costo de la información meteorológica de SENAMHI, así como la escasa información socio-económica de la población del sector Aplao que se tiene en el INEI.

### 5.3. Comparación Crítica con la Literatura Existente

1. Kosaka et ál. (2001), sustentan que, en el valle de Majes, pueden ocurrir fenómenos geológicos locales, así como también estar expuesto a fenómenos de consecuencias regionales.

En su estudio han determinado lugares de posibles inundaciones, flujos de barro y huaycos, zonas de derrumbes y deslizamientos. Las zonas de inundación determinadas son Corire, Punta Colorada, Torán, etc. Reactivación de quebradas como la de Cosos, derrumbes y deslizamientos en zonas como La Mesana, El Morro, etc. El fenómeno natural de repercusión regional que afectaría al valle está relacionado con los flujos de barro (lahares) provenientes del volcán Sabancaya mediante el río Majes. En la presente investigación además de determinar las zonas críticas a los diferentes peligros geológicos que se dan y pueden ocurrir en el sector Aplao, se estimó el riesgo ambiental al que están expuestos los ecosistemas natural, humano y productivo a los fenómenos del geodinamismo, siendo este riesgo de moderado a alto.

2. Bedía, C. (2018), señala en su investigación que los terremotos y temblores son los desastres naturales con un alto nivel de riesgo inherente en el sector Punta Colorada (valle de Majes), considerando en la evaluación la probabilidad de ocurrencia y su nivel de impacto catastrófico en las zonas donde puedan ocurrir debido a la poca eficacia de las acciones para contrarrestar sus efectos.



En la presente investigación, en base a la metodología aplicada para evaluar los riesgos ambientales, se tiene que los peligros del geodinamismo en el sector Aplao ocasionan un riesgo ambiental de moderado a alto en los ecosistemas natural, humano y productivo. Además, se determinó que los parámetros ambientales: pérdida de calidad y cantidad de agua y baja en la calidad de vida son factores que presentan un riesgo, en caso que se origine o desencadene un fenómeno geodinámico.

#### **5.4. Implicancias del Estudio**

El estudio, permitió evidenciar los efectos de las interrelaciones de los procesos naturales del geodinamismo con el medio ambiente, lo que se logró, estimando el riesgo ambiental que estos procesos causan en el sistema ambiental del sector estudiado, así como, identificar los componentes ambientales que más alto riesgo presentan de suceder estos peligros naturales.

Con la investigación, se precisa la peligrosidad de los movimientos en masa para los entornos natural, humano y productivo, así también se determinó que los flujos de detritos derrumbes y/o deslizamientos, como fenómenos geodinámicos son los que más impactarían a los parámetros ambientales considerados, en especial en la calidad de vida de los habitantes, seguido de la ocurrencia de sismos, que además de impactar también en la calidad de vida de los pobladores, es un factor desencadenante de otros peligros.



## CONCLUSIONES

### **Primera:**

Los riesgos ambientales al que están expuestos los entornos natural, humano y productivo se originan a partir del desencadenamiento de cualquiera de los procesos del geodinamismo que se dan o pueden darse en la zona Aplao.

Los riesgos en el entorno natural de nivel crítico son la pérdida de calidad y cantidad de agua, así como baja en la calidad de vida, con una puntuación máxima de 5. El nivel de riesgo en el entorno natural que se encuentra relacionado a procesos geodinámicos es en un 50% moderado. Estos riesgos conllevan en mayor medida a la pérdida de calidad y cantidad de agua; además implican baja en la calidad de vida, pérdida de calidad de suelo, modificación de la calidad agrícola y daño a viviendas con posibles pérdidas de vida humanas.

### **Segunda:**

De la descripción de los diferentes peligros geológicos que ocurren o podrían ocurrir en el sector Aplao, se tiene que la generación de estos, es debido a la existencia de factores causales condicionantes, que en el sector Aplao, están determinados por el factor estructural y el factor geomorfológico. Estos fenómenos naturales, están también condicionados por los factores causales desencadenantes, siendo los sismos y las precipitaciones, lo que ocasionarían los fenómenos naturales identificados.

### **Tercera:**

Se han identificado los factores ambientales que más riesgo tienen en el sector Aplao, los mismos que son: pérdida de calidad y cantidad de agua, así como la baja en la calidad de vida. En la evaluación realizada se ha estimado un valor de 20 que corresponde a un riesgo alto.

### **Cuarta:**

Los parámetros ambientales más impactados por los procesos de geodinamismo son la calidad de vida y la infraestructura de riego. De igual modo los peligros o amenazas naturales del geodinamismo externo que más impactos ocasionan en



los parámetros ambientales, son los flujos de detritos, derrumbes y deslizamientos.

**Quinta:**

Las medidas estructurales y no estructurales propuestas deben ser aplicadas sobre todo como medidas preventivas, con el fin de afrontar de manera más efectiva la ocurrencia de un peligro natural del geodinamismo.



## SUGERENCIAS

### **Primera:**

Por sus peculiaridades geológicas, geomorfológicas y climáticas, en el valle de Majes – sector Aplao han ocurrido y ocurrirán fenómenos de geodinámica externa, con graves daños a la propiedad y seguridad personal, por lo que se propone continuar y ampliar el presente estudio, incidiendo sobre todo en la zonificación de riesgo y vulnerabilidad ambiental de las quebradas San Ignacio, Santa Ana, Caspani 1, Caspani 2, Casquina y Aplao.

Estos estudios deberán ser desarrollados por la municipalidad distrital de Aplao, la municipalidad provincial de Castilla y en caso rebase sus capacidades por el Gobierno Regional de Arequipa, con presupuesto de la PPR068 tomando en consideración que también se puede pedir al INGEMMET, IGP, ANA para que desarrollen estudios de caracterización de los peligros dentro de sus competencias y en caso de asesoramiento técnico podría participar el CENEPRED, como una de sus responsabilidades de acuerdo a la Ley de SINAGERD N° 29664.

### **Segunda:**

Como existen muchas zonas de riesgo, con poblaciones ya consolidadas, es urgente y necesario generar acciones de educación preventiva, así como de conciencia, ante los latentes peligros de geodinámica que se ciernen sobre ellas.

El riesgo previamente determinado deberá ser socializado con la población, representantes de la Plataforma de Defensa Civil principalmente las instituciones de Primera Respuesta (Policía Nacional, Compañía de Bomberos Voluntarios del Perú, Salud, Serenazgo) y funcionarios del Grupo de Trabajo de la Gestión de Riesgos del Distrito, esta responsabilidad recae en la Municipalidad Distrital, con el apoyo del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y otras de acuerdo a sus competencias.

### **Tercera:**

Se debe evitar la ocupación para fines de vivienda, de áreas de riesgo geodinámico alto, por ejemplo, las quebradas de San Ignacio, Santa Ana, Caspani 1, Caspani 2, Casquina y parte media a alto de la quebrada Aplao.



Esta responsabilidad recae directamente en el Gobierno local (distrital) en base a la planificación del territorio, desarrollando y ejecutando sus planes de desarrollo urbano, rural, etc. y respetando las fajas marginales y desarrollando especialmente evaluaciones de riesgo específicas en las zonas más críticas de acuerdo a las disposiciones del CENEPRED.

**Cuarta:**

Por el riesgo latente que existe sobre el distrito de Aplao y ante la ocurrencia de fenómenos de geodinamismo, se propone desarrollar y ejecutar un Programa de Educación y Conciencia Ambiental, cuyos objetivos estén orientados a:

- Lograr que los habitantes comprendan el rol que les corresponda tomar frente al alto riesgo geodinámico que presenta el sector Aplao.
- Lograr una participación masiva y organizada de la colectividad frente a la ocurrencia de desastres en general.

Esta responsabilidad recae en la Municipalidad Distrital, con el apoyo del Instituto nacional de Defensa Civil (INDECI) y otras de acuerdo a sus competencias.

**Quinta:**

Realizar coordinaciones permanentes con INDECI – Arequipa, con el fin de tener una población debidamente organizada, capacitada y preparada para responder a las emergencias que puedan ocurrir frente al peligro geodinámico y problemática ambiental en general.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avila, L. (2016) *Evaluación de la susceptibilidad de riesgos geológicos debidos a procesos de remoción en masa en el área Pedemontana de la Quebrada y dique Los Sauces (La Rioja Argentina)*. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente N° 36-2016 Buenos Aires.
- Bedia, C. (2018). *Desarrollo Sostenible: Desastres Naturales en el Valle de Majes, sector Punta Colorada - Arequipa*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Federico Villareal]. Repositorio Institucional UNFV.
- Carrasco, S. (2019). *Metodología de la investigación*. San Marcos.
- CENEPRED. (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales*. Centro nacional de estimación, prevención y reducción del riesgo de desastres.
- Conesa, V. (1997). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental* (3ra edición ed.). Ediciones Mundi-Prensa.
- Dellavedova, M. (2016). *Guía metodológica para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental*. Universidad Nacional de la Plata.
- Escudero, C., & Cortez, L. (2017). *Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica*. Editorial UTMACH.
- Guizado, J. (1968). *Geología del cuadrángulo de Aplao. Boletín N°20*. Servicio de Geología y Minería.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill Education.
- Highland, L., & Bobrowsky, P. (2008). *Manual de derrumbes: una guía para entender todo sobre los derrumbes*. Servicio geológico de los EE.UU.
- Ingemmet, (2006). *Programa de riesgo geológico del 2000 al 2006*. Lima Perú.
- Instituto Geofísico del Perú. (2015). *Evaluación geológica y geodinámica del centro poblado Pijobamba*. Ministerio del ambiente.
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2011). *Manual de estimación del riesgo ante movimientos en masa en laderas*. Litigraf EIRL.



Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2019). *Evaluación N° 1. Tipo de peligro huaycos. Reporte SINPAD.*

Jimenez, L. (2018). *Estudio del peligro geológico por procesos de remoción en masa en la cuenca de Motozintla, Chiapas, México.*

Kosaka, R., Arias, H., Farfán, E., Minaya, A., Ticona, J., & Campano, J. (2001). *Estudio geodinámico y evaluación de peligros del valle de Majes.* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Ley N° 29664. (2011). *Ley que crea el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres (SINAGERD).* Gobierno del Perú.

Luque, G. y Rosado, M. (2014). *Zonas Críticas por peligros geológicos en la región Arequipa.* INGEMMET. Lima Perú.

Luza, C., Villacorta, S., Peña, F., & Jaimes, F. (2015). *Caracterización geodinámica de la ciudad de Abancay para la prevención de desastres.* Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET, 26-31. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2245>

Medianero, D. (2022). *Investigación en gestión pública.* Instituto de Investigaciones Económicas.

Ministerio del Ambiente. (2010). *Guía de evaluación de riesgos ambientales.* Ministerio del ambiente - Lima Perú.

Municipalidad Provincial de Castilla (2019). *Informe de evaluación de riesgos por flujo de detritos originado por lluvias intensas en el centro poblado de Aplao, anexos de Casquina y Caspani, distrito de Aplao, provincia de Castilla, departamento Arequipa.* Informe EVAR N° 001-MPC

Núñez, S., Vela, J., Soncco, Y., & Taype, E. (2019). *Evaluación de peligros geológicos en los sectores de Aplao, Casquina y Caspani. Región Arequipa, provincia Castilla, distrito Aplao.* INGEMMET.

Olarte, J., & López, D. (2001). *Sismicidad y peligrosidad sísmica en la región sur-occidental del Perú.* Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de desastres.



- Rivera, H. (2017). *Geología general*. Grupo Editorial Megabyte S.A.C.
- Rojas, D., & Paredes, J. (2008). *Compendio de geología general*. Editorial Universitaria UNI.
- Soncco, Y. y Manrique, N. (2018). Peligro por deslizamiento en el sector Matarani. Región Tacna, provincia Candarave, distrito Quilahuani. INGEMMET. Lima Perú.
- Tavera, H. (2014). *Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en Perú*. Instituto Geofísico del Perú.
- Zavala, B., Vilchez, M., & Rosado, M. (2008). *Zonas críticas por peligros geológicos en la cuenca del río Camaná-Majes-Colca. Primer reporte*. INGEMMET.
- Zavala, B., Vilchez, M., & Rosado, M. (2013). Susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del río Camaná-Majes-Colca, Arequipa. *Instituto Geológico, minero y metalúrgico - INGEMMET*, 33-39. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1146>



## ANEXOS



Anexo 1: Matriz de Consistencia.

TÍTULO: EL GEODINAMISMO Y LOS RIESGOS AMBIENTALES EN ECOSISTEMAS DEL VALLE DE MAJES, SECTOR APLAO  
– AREQUIPA 2019

CONCEPTUALIZACIÓN (PLAN TEÓRICO)

Formulación del problema	Objetivos	Justificación	Variables y Dimensiones	Indicadores
<p><b>General:</b> ¿Cuáles son los riesgos ambientales de los procesos de geodinamismo en ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao – Arequipa - 2019?</p> <p><b>Específicos:</b></p> <p>a. ¿Cuáles son los procesos geodinámicos que se presentan en el valle de Majes, sector Aplao?</p> <p>b. ¿Cuáles son los riesgos ambientales sobre los ecosistemas relacionados con los procesos geodinámicos en el valle de Majes, sector Aplao?</p> <p>c. ¿Cuáles son los impactos ambientales previsibles a partir de los procesos geodinámicos en ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao?</p>	<p><b>General:</b> Evaluar los riesgos ambientales de los procesos de geodinamismo en ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao – Arequipa 2019.</p> <p><b>Específicos:</b></p> <p>a. Describir los procesos de geodinamismo que se presentan en el valle de Majes, sector Aplao.</p> <p>b. Identificar los riesgos ambientales sobre los ecosistemas relacionados con los procesos geodinámicos en el valle de Majes, sector Aplao.</p> <p>c. Determinar los impactos ambientales previsibles a partir de los procesos geodinámicos</p>	<p><b>Conveniencia.</b> Es necesario y conveniente proteger los ecosistemas (naturales, productivos y urbanos) en donde se tiene los recursos naturales que dan el sustento y satisfacción de las necesidades humanas.</p> <p><b>Relevancia social:</b> Los grupos humanos vivimos en sociedad y nos obligamos a considerar y cumplir los propósitos de la prevención de los riesgos e impactos en el medio ambiente en este caso del sector Aplao.</p> <p><b>Implicancias prácticas:</b></p>	<p>A. Geodinamismo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geodinámica externa.</li> <li>• Geodinámica interna.</li> </ul> <p>B1. Riesgos Ambientales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Características físicas</li> <li>• Condiciones biológicas</li> <li>• Factores socio culturales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flujo de Detritos.</li> <li>• Derrumbes.</li> <li>• Caída de Rocas.</li> <li>• Erosión fluvial.</li> <li>• Deslizamientos</li> <li>• Inundaciones</li> <li>• Sismos</li> <li>• Suelos</li> <li>• Agua</li> <li>• Flora</li> <li>• Fauna</li> <li>• Agricultura</li> <li>• Residencia</li> <li>• Infraestructura de riego</li> <li>• Vías de transporte</li> <li>• Calidad de vida</li> </ul>



<p>d. ¿Qué medidas preventivas se pueden diseñar para la mitigación o control de los riesgos ambientales en los ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao?</p>	<p>en ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao. d. Proponer medidas preventivas y de mitigación de los riesgos ambientales en los ecosistemas del valle de Majes, sector Aplao.</p>	<p>Conocer los procesos del geodinamismo nos permitirá identificar los impactos ambientales y diseñar acciones para mitigar los riesgos ambientales en los ecosistemas del valle de Majes sector Aplao.</p> <p><b>Valor teórico:</b> Basado en el diseño de acciones adecuadas para conservar la estructura y funcionamiento de los ecosistemas del valle de Majes – sector Aplao.</p>	<p>B2. Impactos Ambientales.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Matriz de Leopold</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Parámetros ambientales</li><li>• Procesos geodinámicos</li></ul>
---	---	--	--	--



**MATRIZ DE CONSISTENCIA. ESTRATEGIAS DE DESARROLLO (PLAN OPERATIVO)**

Tipo de investigación	Alcance de investigación	Diseño de investigación	Población y muestra	Técnicas de investigación	Instrumentos de investigación
<p><b>Cuantitativo</b> Porque se recopilarán datos cuantitativos con un pensamiento positivista.</p> <p><b>Propositiva</b> A partir de los resultados se formulará y describirá la posible solución al problema específico.</p>	<p><b>Descriptivo.</b> Es descriptiva, porque describe, registra, analiza e interpreta los fenómenos en su estado actual y forma natural.</p>	<p><b>No experimental</b> No se manipulará variable alguna, se observarán tal como se presentan los fenómenos en su ambiente para su posterior análisis.</p> <p><b>Transversal</b> Porque la toma de datos se da en un periodo preestablecido.</p>	<p><b>a. Población</b> Constituida por los ecosistemas (naturales, productivos y urbanos) y los peligros geológicos: flujos de detritos, derrumbes, caída de rocas, erosión fluvial, inundación, deslizamientos y sismos.</p> <p><b>b. Muestra.</b> Muestra de carácter no probabilística por conveniencia en base a criterios geodinámicos y se seleccionó diferentes zonas del sector Aplao.</p>	<p>Para describir los fenómenos de geodinámica externa e interna, se utiliza la observación estructurada. Se identificará los impactos ambientales que pueden generar los fenómenos geológicos que pueden ocurrir en el área de estudio y afectar el ambiente natural, humano y socioeconómico. Las evaluaciones de riesgo generadas por el desencadenamiento posible de los fenómenos geológicos en el ámbito de estudio comprenden los riesgos posibles en los ecosistemas del área geográfica investigada.</p>	<p><b>a. Técnicas e instrumentos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Técnica Observación estructurada</li> <li>- Instrumentos               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ficha de observación</li> <li>• Matriz de Leopold</li> </ul> </li> </ul> <p><b>b. Análisis de datos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuantitativa               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estadística descriptiva (frecuencia, porcentaje, medias)</li> </ul> </li> <li>- Cualitativa               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación focalizada</li> </ul> </li> </ul>



## Anexo 2: Matriz de instrumentos

INSTRUMENTO UTILIZADO	PROPOSITO
Ficha de observación: elaborada en base a modelo tomado de Zavala, B., - 2008, INGEMMET.	Observación y descripción de los tipos de peligros geológicos que se presentan en el sector Aplao.
Matriz de identificación de impactos ambientales: matriz de Leopold adaptada y elaborada en base a estructura propuesta por Dellavedova – 2016.	Identificación de impactos ambientales potenciales que se pueden producir en los parámetros ambientales del sector Aplao.
Matriz de evaluación de riesgo ambiental: basada en la Guía de evaluación de riesgos ambientales del MINAM – 2010.	Evaluación y jerarquización del riesgo ambiental que se puede presentar en los ecosistemas del sector Aplao por efecto de los procesos del geodinamismo.



### Anexo 3. Instrumentos de recolección de datos

- **Ficha de observación para procesos geodinámicos**

Nro. De ficha:		Sector investigado:					Fecha: ____/____/____		
Procesos geodinámicos	Magnitud del fenómeno	Factores causales							Observaciones
	Cantidad	Unidad de medida	Litológicos	Estructurales	Geomorfológicos	Climáticos	Factor sísmico	Precipitaciones	
Deslizamientos									
Derrumbes									
Desprendimiento De Rocas (Caída De Rocas)									
Flujo De Detritos									
Erosión Fluvial									
Inundaciones									

Fuente: Elaboración propia.

### Ficha de descripción de peligros geológicos por áreas críticas.

Sector (Distrito)	Características geodinámicas	Vulnerabilidad y/o daños a la vida y la propiedad

Fuente: Zavala (2008) INGEMMET



- Ficha de observación para riesgos ambientales

No.	Escenario de riesgo	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Calidad de medio	Gravedad	Puntuación total
S1	Pérdida de calidad de suelo						
S2	Pérdida de calidad y cantidad de agua						
S3	Pérdida de Biodiversidad						
S4	Modificación de la calidad agrícola						
S5	Daño de vivienda, pérdida de vida						
S6	Daño sobre infraestructura de riego						
S7	Daño sobre vías de transporte						
S8	Baja en la calidad de vida						

Cantidad		Peligrosidad		Extensión		Calidad del medio		Gravedad	
4	Muy alta	4	Muy peligrosa	4	Muy extenso	4	Muy elevada	5	Crítico
3	Alta	3	Poco peligrosa	3	Extenso	3	Elevada	4	Grave
2	Poca	2	No peligrosa	2	Poco extenso	2	Media	3	Moderado
1	Muy poca	1	No peligrosa	1	Puntual	1	Baja	2	Leve
								1	No relevante



- Matriz de evaluación de riesgo ambiental.

		GRAVEDAD ENTORNO				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	n					
	1					
	2					
	3			S3, S6, S7	S5	
	4				S1, S4	S2, S8
	5					

	<b>Riesgo muy alto: 21 a 25</b>
	<b>Riesgo alto: 16 a 20</b>
	<b>Riesgo medio: 11 a 15</b>
	<b>Riesgo moderado: 6 a 10</b>
	<b>Riesgo bajo: 1 a 5</b>

Fuente: En base a la Norma UNE 150008 2008 Evaluación de los riesgos ambientales y Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales – MINAM 2010.



- INSTRUMENTO PARA IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES: Matriz de Leopold adaptada

PARÁMETROS AMBIENTALES		PROCESOS GEODINAMICOS	PROCESOS GEODINÁMICOS QUE GENERAN IMPACTOS AMBIENTALES							
			Flujo de Detritos	Derrumbes	Caída de rocas	Erosión de laderas	Inundaciones	Deslizamiento	Sismos	Numero de interacciones
Características físicas	Suelo	Suelo								
	Agua	Agua superficial								
Condiciones Biológicas	Flora	Silvestre								
		Cultivos								
	Fauna	Biodiversidad de fauna								
Factores Culturales	Producción y servicios	Agricultura								
		Residencia								
		Infraestructura de riego								
		Vías de transporte								
		Calidad de vida								

Fuente: Elaboración propia en base a la estructura propuesta por Dellavedova – 2016



- **Estimación de la Gravedad de las Consecuencias**

Esta estimación se realiza en forma independiente para el entorno natural, humano y socioeconómico. El cálculo del valor de las consecuencias para cada entorno se realiza utilizando las fórmulas de la Guía del MINAM (2010):

**Gravedad entorno natural = cantidad + 2 peligrosidad + extensión + calidad del medio**

**Gravedad entorno humano = cantidad + 2 peligrosidad + extensión + población afectada**

**Gravedad entorno socioeconómico = cantidad + 2 peligrosidad + extensión + patrimonio y capital Productivo**

\*cantidad: cantidad de sustancia emitida al entorno

\*peligrosidad: se evalúa en función de la peligrosidad intrínseca de la sustancia (toxicidad, posibilidad de acumulación, etc.).

\*extensión: se refiere al espacio de influencia del impacto del entorno

\*calidad del medio: se considera el impacto y su posible reversibilidad

\*población afectada: número estimado de personas afectadas

\*patrimonio y capital productivo: se refiere a la valoración del patrimonio económico y social (patrimonio histórico, infraestructura, actividad agraria, instalaciones industriales, espacios naturales protegidos, son las residenciales y de servicios).

- **Valoración para cada uno de los criterios considerados:**
- **Estimación de la gravedad de las consecuencias sobre entorno natural**

valor	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Calidad del medio
4	Muy alta	Muy peligrosa	Muy extenso	Muy elevada
3	Alta	Peligrosa	Extenso	Elevada
2	Poca	Poco peligrosa	Poco extenso	Media
1	Muy poca	No peligrosa	Puntual	Baja

Fuente: Guía para evaluación de riesgos ambientales del MINAM, 2010



- Estimación de la gravedad de las consecuencias sobre el entorno humano.

Valor	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Población Afectada
4	Muy alta	Muerte o defectos irreversibles	Muy extenso	Más de 100
3	Alta	Daños graves	Extenso	Entre 25 y 100
2	Poca	Daños leves	Poco extenso	Entre 5 y 25
1	Muy poca	Daños muy leves	Puntual	Menos de 5

Fuente: Guía para evaluación de riesgos ambientales del MINAN, 2010

- Estimación de la gravedad de las consecuencias sobre el entorno socioeconómico

valor	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Patrimonio y capital productivo
4	Muy alta	Muy peligrosa	Muy extenso	Perdida 100 % medio receptor
3	Alta	Peligrosa	Extenso	Perdida 50 % medio receptor
2	Poca	Poco peligrosa	Poco extenso	Perdida entre 10 a 20 % medio receptor
1	Muy poca	No peligrosa	Puntual	Perdida entre 1 a 2 % medio receptor

Fuente: Guía para evaluación de riesgos ambientales del MINAN, 2010



**Anexo 4: Base de datos**

(Ejemplo)

Nro De Ficha: 1		Sector Investigado: Cerro Huancarqui (Aplao – Huancarqui)							Fecha: 19/10/2019	
Procesos geodinámicos	Magnitud del fenómeno		Factores causales							Observaciones
	Cantidad	Unidad de medida	Litológicos	Estructurales	Geomorfológicos	Climáticos	Factor sísmico	Precipitaciones	Procesos antrópicos	
Deslizamientos										
Derrumbes	300	m	-	x	x	x	x	-	x	El derrumbe de los bloques de rocas puede afectar la carretera, vehículos y/o personas.
Desprendimiento de rocas. (Caída de rocas)										
Flujo de detritos										
Erosión fluvial										
Inundaciones										

**Anexo 5: Baremo para la estimación de gravedad de las consecuencias:**

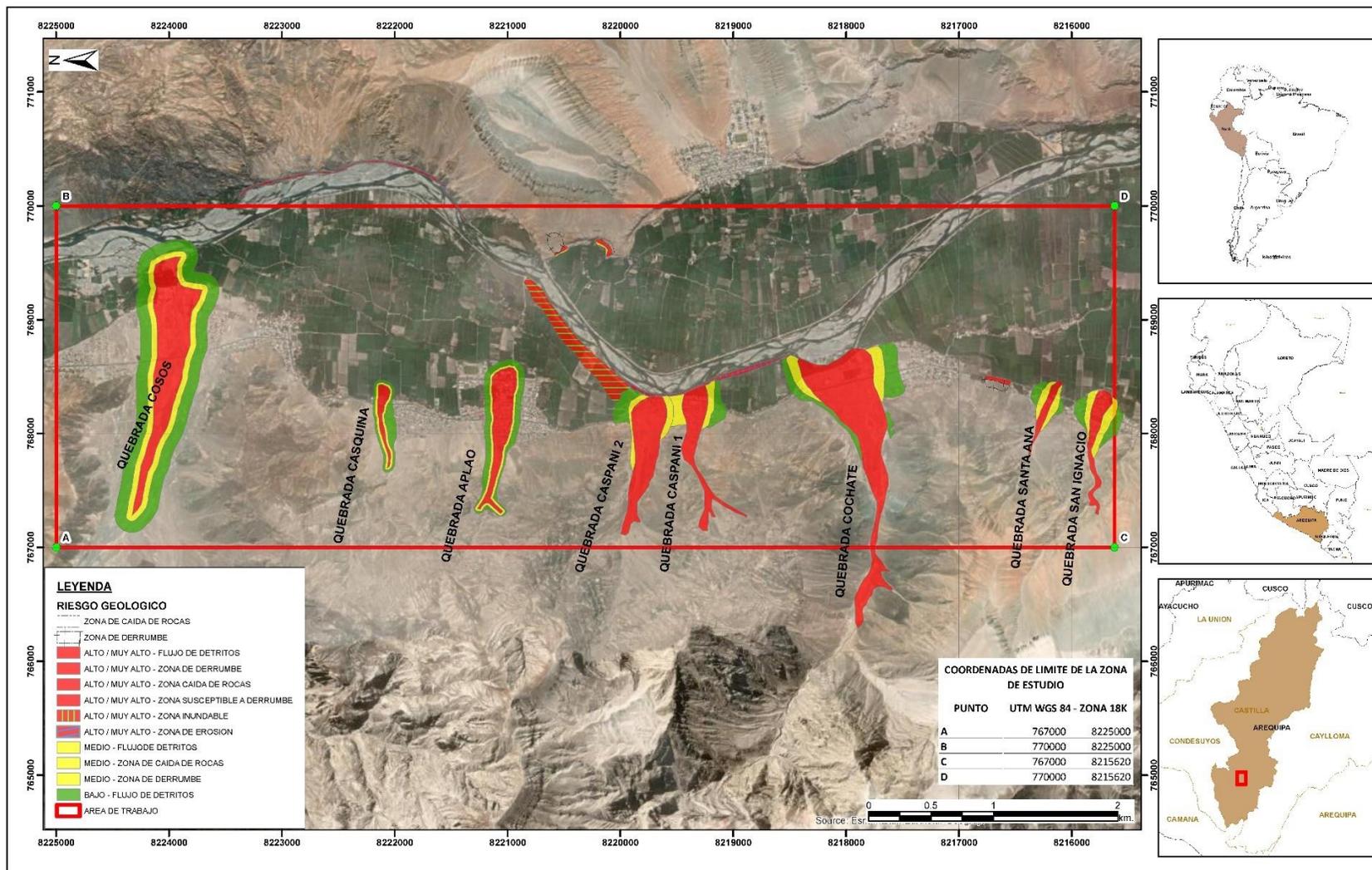
Validado por UNE 150008 2008 Evaluación de los riesgos ambientales.

Valor	Valoración	Valor Asignado
Critico	20 - 18	5
Grave	17 - 15	4
Moderado	14 - 11	3
Leve	10 - 08	2
No relevante	07 - 05	1

Fuente: UNE 150008 2008 Evaluación de los riesgos ambientales.



Anexo 6. Mapa de riesgo potencial por peligros geológicos.



		Escuela de Postgrado - Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible	DISTRITO: APLAO	TESIS: "EL GEODINAMISMO Y LOS RIESGOS AMBIENTALES EN ECOSISTEMAS DEL VALLE DE MAJES - SECTOR APLAO, AREQUIPA 2019"	PLANO: MAPA DE RIESGO DE LA ZONA DE ESTUDIO	ESCALA: 1/30.500
		FECHA: MAY 2022	LABORA: M - 03			
FECHA: FVBP / 2021	LABORA: FVBP / 2021	DEPARTAMENTO: AREQUIPA	FECHA: 10 de FEBRERO VICTOR BUSTAMANTE PIRAZO			