

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“ZONAS DE VULNERABILIDAD AMBIENTAL Y PELIGROS
MÚLTIPLES MEDIANTE MODELAMIENTO GEOESPACIAL EN
LA CUENCA DEL RÍO MOQUEGUA, 2021”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

Bach. NAYSHA MISHHELL NINA DILAS

TACNA – PERÚ

2021

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

**“ZONAS DE VULNERABILIDAD AMBIENTAL Y PELIGROS MÚLTIPLES
MEDIANTE MODELAMIENTO GEOESPACIAL EN LA CUENCA DEL RÍO
MOQUEGUA, 2021”**

Tesis sustentada y aprobada el 06 de diciembre de 2021 ; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE: Dr. RICHARD SABINO LAZO RAMOS

SECRETARIO: Dr. GERMÁN MAMANI AGUILAR

VOCAL: Dr. WILLIAMS ALMANZA QUISPE

ASESOR: Ing. CARMEN ROSA ROMÁN ARCE

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Naysha Mishell Nina Dilas, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 73126631

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada: “Zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples mediante modelamiento geoespacial en la cuenca del río Moquegua, 2021”
La misma que presento para optar:
Título Profesional de Ingeniero Ambiental
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a *La universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a *La universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 06 de diciembre del 2021

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized letters, positioned above a horizontal line.

Bach. Naysha Mishell Nina Dilas

DNI: 73126631

DEDICATORIA

A mis padres que son mi mayor motivación para seguir adelante, sin su apoyo y amor incondicional no habría logrado cumplir mis metas como persona y profesional.

A mi mejor amiga Milagros que con su apoyo y consejos me ha ayudado a afrontar adversidades que se han presentado en mi vida.

A mi docente Carmen Román que supo escucharme y aconsejarme durante mi etapa universitaria.

A mi persona especial Branko que con su apoyo y amor me ha impulsado a ser mejor persona cada día.

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la fuerza para superar adversidades a lo largo de mi vida, permitiéndome realizar la presente investigación.

A mi asesora Ing. Carmen Román que por medio de su asesoría, apoyo y dedicación se haya podido realizar esta tesis.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por brindarme los conocimientos esenciales para mi formación profesional.

A mis amigos de la universidad por sus consejos y apoyo en la realización de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1. Problema General.....	3
1.2.2. Problema Específicos.....	3
1.3. Justificación e importancia de la investigación	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos	5
1.5. Hipótesis.....	5
1.5.1. Hipótesis general.....	5
1.5.2. Hipótesis específicas.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes del estudio	6
2.2. Bases Teóricas	9
2.2.1. Modelamiento Geoespacial.....	9
2.2.2. Sistema de Información Geográfico.....	12
2.2.3. Cuenca Hidrográfica	13
2.2.4. Vulnerabilidad ambiental	18
2.2.5. Peligro.....	18
2.3. Definición de términos	19
2.3.1. Amenaza.....	19
2.3.2. Índices de Vegetación	19
2.3.3. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI).....	20

2.3.4. Modelamiento geoespacial.....	20
2.3.5. Vulnerabilidad	20
2.3.6. Vulnerabilidad ambiental	20
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	21
3.1. Tipo y diseño de la investigación.....	21
3.2. Población y muestra de estudio	21
3.3. Operacionalización de Variables	21
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	22
3.4.1. Técnicas para la recolección de datos.....	22
3.4.2. Materiales y/o instrumentos	42
3.5. Procesamiento y análisis de datos	42
3.5.1. Elaboración de la Base de Datos Geoespacial	42
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	51
4.1. Modelamiento geoespacial de peligros múltiples	51
4.2. Vulnerabilidad ambiental de la Cuenca del Río Moquegua.....	64
4.3. Deterioro de cobertura vegetal en la Cuenca del Río Moquegua	66
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	72
5.1. Análisis de hipótesis	72
5.2. Análisis de hipótesis con otros estudios similares	73
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXOS	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelado de la realidad dentro de un SIG	10
Figura 2. Sistema de Información.....	13
Figura 3. La Cuenca Hidrográfica.....	14
Figura 4. La Cuenca como sistema.....	15
Figura 5. Partes de una Cuenca Hidrográfica	17
Figura 6. División de una Cuenca Hidrográfica.....	17
Figura 7. Clasificación de los principales peligros	19
Figura 8. Moquegua: Población censada, según provincia 2017	26
Figura 9. Perú: Índice de desempeño ambiental por departamento, 2008	34
Figura 10. Índice de desempeño ambiental departamental de Moquegua	35
Figura 11. Modelamiento geoespacial.....	43
Figura 12. Clasificación generalizada.....	44
Figura 13. Modelo cartográfico para amenaza de inundaciones.....	46
Figura 14. Modelo cartográfico para amenaza de deslizamientos	47
Figura 15. Modelo conceptual para peligros	48
Figura 16. Mapa de Cobertura Vegetal	52
Figura 17. Mapa de Cobertura Vegetal reclasificado.....	53
Figura 18. Mapa de Geología	54
Figura 19. Mapa de Geología reclasificado.....	55
Figura 20. Mapa de Pendientes reclasificado	57
Figura 21. Mapa de Suelo.....	58
Figura 22. Mapa de Suelo reclasificado	59
Figura 23. Mapa de Precipitaciones reclasificado.....	60
Figura 24. Mapa de amenazas de deslizamientos.....	62
Figura 25. Mapa de amenazas de inundaciones	63
Figura 26. Mapa de peligros	64
Figura 27. Mapa de vulnerabilidad ambiental	65
Figura 28. Mapa NDVI 2013	66
Figura 29. Mapa NDVI 2014	67
Figura 30. Mapa NDVI 2015	67
Figura 31. Mapa NDVI 2016	68
Figura 32. Mapa NDVI 2017	68
Figura 33. Mapa NDVI 2018	69
Figura 34. Mapa NDVI 2019.....	69

Figura 35. Mapa NDVI 2020	70
Figura 36 Cobertura vegetal en el periodo 2013-2020	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	21
Tabla 2. Estaciones meteorológicas de la cuenca del Río Moquegua.....	23
Tabla 3. Temperatura máxima y mínima(°C)	24
Tabla 4. Humedad relativa(%)	25
Tabla 5. Precipitación(mm/día).....	25
Tabla 6. Población cesada, según provincia 2017.....	26
Tabla 7. Tipo de viviendas.....	27
Tabla 8. Viviendas por tipo de abastecimiento de agua	28
Tabla 9. Viviendas por tipo de servicio higiénico	28
Tabla 10. Número de instituciones educativas según nivel.....	29
Tabla 11. Ocupación actual de los suelos de la cuenca Ilo – Moquegua.....	30
Tabla 12. Flora silvestre amenazada en la región Moquegua.....	31
Tabla 13. Fauna silvestre amenazada en la región Moquegua.....	32
Tabla 14. Ecosistemas de importancia regional	33
Tabla 15. Juntas de usuario y comisiones de regante.....	35
Tabla 16. Superficie de riego y demanda de agua	36
Tabla 17. Demanda de agua para uso industrial	37
Tabla 18. Análisis físico químico de las aguas subterráneas	38
Tabla 19. Balance hídrico de la cuenca del río Moquegua.....	39
Tabla 20. Variables del modelo cartográfico	45
Tabla 21. Ponderación del factor cobertura vegetal	51
Tabla 22. Ponderación del factor Formación Geológica-Litología.....	54
Tabla 23. Ponderación del factor pendiente.....	56
Tabla 24. Ponderación del factor suelo.....	57
Tabla 25. Ponderación del factor clasificación climática.....	59
Tabla 26. Grados de amenaza de deslizamientos.....	61
Tabla 27. Área de cobertura vegetal de la cuenca del río Moquegua.....	70

RESUMEN

El presente trabajo de investigación denominado “Zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples mediante modelamiento geoespacial en la cuenca del río Moquegua, 2021.” tiene como objetivo evaluar las zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples mediante un modelamiento geoespacial. La evaluación de peligros se ejecutó según Crepani y et al., el cual consiste en realizar mapas temáticos mediante un análisis de factores, ponderación de atributos y álgebra de mapas. La evaluación de zonas de vulnerabilidad ambiental se efectuó a base de los peligros identificados en la Cuenca del Río Moquegua. Los resultados obtenidos muestran que la cuenca del Río Moquegua presenta niveles de amenazas por deslizamientos e inundaciones (muy alto, alto, moderado, bajo), para la vulnerabilidad ambiental de la cuenca se determinó la relación entre zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros, mediante la integración de mapas de amenazas identificadas en el área de estudio, se obtuvo un grado (muy alto, alto, moderado y bajo), el grado muy alto nos indica ante la ocurrencia de inundaciones o deslizamiento tienden a tener una mayor susceptibilidad a las actividades antropogénicas o de contaminación en la cuenca del Río Moquegua. En cuanto a la cuantificación de deterioro de cobertura vegetal, se realizó mediante NDVI para el periodo 2013 – 2020.

Palabras claves: deslizamientos, inundaciones, vulnerabilidad ambiental

ABSTRACT

The present research work called "Zones of environmental vulnerability and multiple hazards through geospatial modeling in the Moquegua River basin, 2021." aims to assess areas of environmental vulnerability and multiple hazards through geospatial modeling. The hazard evaluation was carried out according to Crepani et al., Which consists of making thematic maps through factor analysis, attribute weighting and map algebra. The evaluation of areas of environmental vulnerability was carried out based on the hazards identified in the Moquegua River Basin. The results obtained show that the Moquegua River basin presents threat levels due to landslides and floods (very high, high, moderate, low). For the environmental vulnerability of the basin, the relationship between areas of environmental vulnerability and dangers was determined, by means of the integration of maps of threats identified in the study area, a degree was obtained (very high, high, moderate and low), the very high degree indicates to us before the occurrence of floods or landslides they tend to have a greater susceptibility to anthropogenic activities or contamination in the Moquegua River basin. Regarding the quantification of plant cover deterioration, it was carried out using NDVI for the period 2013-2020.

Keywords: landslides, floods, environmental vulnerability.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación “Zonas de Vulnerabilidad Ambiental y Peligros Múltiples mediante Modelamiento Geoespacial en la cuenca del Río Moquegua, 2021”, aborda el problema en relación con fenómenos o amenazas naturales y / o inducidos tales como: deslizamientos e inundaciones que afecten adversamente los ecosistemas, recursos, actividades económicas, ocasionando el deterioro o daño a la infraestructura y los servicios, la seguridad y patrimonio de las personas. En base a ello, es importante comprender los procesos que ocurren en una cuenca, es por ello que es necesario la caracterización de la cuenca y de las condiciones biofísicas y ambientales, para lo cual, mediante un modelamiento geoespacial, nos permitirá tener al alcance una herramienta para una mejor planificación territorial y realización de una adecuada gestión ambiental.

Bajo esta perspectiva, el presente estudio tiene por objetivos: evaluar las zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples mediante un modelamiento geoespacial en la cuenca del río Moquegua en el año 2021, cuantificar el deterioro de la cobertura vegetal mediante el uso de SIG en la cuenca del río Moquegua, identificar el grado de peligro por deslizamiento en la zona de estudio, Identificar el grado de peligro por inundación y analizar la relación entre las zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples en la cuenca del río Moquegua en el año 2021.

El presente trabajo de investigación consta de cinco capítulos: El primer capítulo abarca el planteamiento del problema, objetivos e hipótesis, también la descripción del problema y la importancia de la investigación. El segundo capítulo aborda el marco teórico, seguido de las bases teóricas y la definición de conceptos básicos. El tercer capítulo describe el marco del metodológico, se establece el tipo y diseño de la investigación, la población y la muestra de estudio, la operación de las variables, y las técnicas, procesamiento y análisis de datos. El cuarto capítulo presenta los resultados en base a la metodología y/o técnica utilizada para el desarrollo de la investigación. En el quinto capítulo se realiza el análisis de las hipótesis con los resultados, así como también el análisis con otros estudios.

Finalmente se establece las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

Según Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2007), en su Informe sobre Desarrollo Humano indica que ningún nivel de mitigación protegerá a las personas vulnerables de los países en desarrollo de los mayores riesgos del cambio climático a que se ven enfrentados en la actualidad, ni del calentamiento global en que está afectando el mundo.

La frecuencia de desastres naturales como inundaciones, sequías, ciclones y terremotos está aumentando tanto en América Latina y el Caribe (ALC) como en el resto del mundo. Durante los años de 1960 y 1970, ocurrieron menos de 20 desastres por año. En la década de 2000, el promedio aumentó a 50 desastres por año. Si bien los desastres naturales son menos fatales, se vuelven más costosos (Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 2020).

En el Perú las principales amenazas están relacionadas con la ocurrencia de sismos, deslizamientos, inundaciones, aluviones, sequías y heladas; en menor grado las erupciones volcánicas y tsunamis. Sin embargo, estas amenazas no son las mismas en todas las regiones. Esta condición de susceptibilidad del país hace que los fenómenos destructivos tengan un mayor impacto; por ejemplo, en aquellas zonas de deforestación, las sequías tienen un mayor impacto, a diferencia de las zonas que han incorporado medidas que no perjudiquen el ambiente (Santillán et al. 2005).

Según la información publicada por el Gobierno Regional de Moquegua (2018), esta se encuentra expuesta a los efectos de los peligros generados por fenómenos de origen natural. Debido a su ubicación en el llamado "Anillo de Fuego del Pacífico", la región está expuesta a terremotos, tsunamis y actividad volcánica. Asimismo, por ser una zona tropical y subtropical de la costa, la región de Moquegua se encuentra expuesta a peligros naturales que con el cambio climático se incrementa; por ejemplo, el Fenómeno El Niño, lluvias intensas, inundaciones, sequías, heladas, granizadas, vientos fuertes, entre otros. También se encuentra expuesto a fenómenos geológicos adversos como ocurrencia de deslizamientos, huaicos debido a su morfología. A nivel regional, existen otro tipo de peligros relacionados con las diversas actividades provocadas por la actividad humana. Estos incluyen incendios, explosiones, contaminación ambiental, entre otros.

Según al Informe de Emergencia N° Emergencia N° 051-27/1/2020/COEN-INDECI, indica que se presentó fuertes precipitaciones pluviales en el distrito de Samegua, esto produjo el desborde del Río Tumilaca, este afecto la vía vecinal, canales de riego, bocatomas, red de agua; así como también se registró que en el Distrito de Torata debido al incremento del caudal del río Tumilaca y su posterior desborde ocasiono la activación de las quebradas, este produjo la afectación de medios de vida, infraestructura de los canales de riego y bocatomas.

Según el Informe Técnico N° a7079 de INGEMMET, existe antecedentes de erosión fluvial y zonas afectadas por inundación en el Rio Tumilaca, el cual está comprendido en el tramo de Samegua y la ciudad de Moquegua, estos eventos de movimiento de masa fueron registrados en los años 1997, 2015,2016, 2019 y 2020.

El presente estudio, pretender proveer una herramienta que nos permitirá generar una mejor planificación territorial y realizar una adecuada gestión ambiental en la zona de trabajo, mediante un modelamiento geoespacial, basada en el conocimiento de zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples, en el ámbito de la cuenca del río Moquegua.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿En qué medida el modelamiento geoespacial permite la evaluación de las zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples en la cuenca del rio Moquegua en el año 2021?

1.2.2. Problema Específicos

- ¿Cómo cuantificar el deterioro de cobertura vegetal de la cuenca del rio Moquegua?
- ¿Cuál es el grado de peligro por deslizamiento en la zona de estudio?
- ¿Cuál es el grado de peligro por inundación?

- ¿Qué relación existe entre las zonas de vulnerabilidad ambiental y los peligros múltiples en la cuenca del río Moquegua?

1.3. Justificación e importancia de la investigación

En cuanto a la justificación de la investigación podemos decir que esta se llevará a cabo en la ciudad de Moquegua, la cual se encuentra expuesta a los efectos de las amenazas por fenómenos naturales, debido a su ubicación en el área del "Anillo de Fuego del Pacífico", está expuesta a sismos, tsunamis y actividad volcánica. Asimismo, por ser una zona tropical y subtropical de la costa, la región de Moquegua se encuentra expuesta a peligros naturales que con el cambio climático se incrementa; por ejemplo, el Fenómeno El Niño, lluvias intensas, inundaciones, sequías, heladas, granizadas, vientos fuertes, entre otros. También se encuentra expuesto a fenómenos geológicos adversos como ocurrencia de deslizamientos, huaicos debido a su morfología. A nivel regional, existen otro tipo de peligros relacionados con las diversas actividades provocadas por la actividad humana. Estos incluyen incendios, explosiones, contaminación ambiental, entre otros.

Por ello la importancia de la investigación, es poder analizar si existe una relación entre vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples, así como también saber el grado de peligros múltiples y la pérdida de cobertura vegetal de la cuenca del río Moquegua, lo cual nos permitirá generar una mejor planificación territorial y realizar una adecuada gestión ambiental en la zona de trabajo. En base al desarrollo de un modelamiento geoespacial.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar las zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples mediante un modelamiento geoespacial en la cuenca del río Moquegua en el año 2021.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Cuantificar el deterioro de la cobertura vegetal mediante el uso de SIG en la cuenca del río Moquegua.
- Identificar el grado de peligro por deslizamiento en la zona de estudio
- Identificar el grado de peligro por inundación
- Analizar la relación entre las zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples en la cuenca del río Moquegua en el año 2021.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

El modelamiento geoespacial permite la evaluación de zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples en la cuenca del río Moquegua en el año 2021.

1.5.2. Hipótesis específicas

- H_{i1} : Se puede cuantificar el deterioro de cobertura vegetal haciendo uso de un SIG en la cuenca del río Moquegua.
- H_{i2} : Existe un nivel muy alto grado (>4) de peligro por deslizamiento en la zona de estudio.
- H_{i3} : Existe un nivel muy alto grado (>4) de peligro por inundación.
- H_{i4} : Existe una relación entre las zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples en la cuenca del río Moquegua.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

Calderon (2017), concluyó que:

En la cuenca hidrográfica Camana-Majes-Colca, Arequipa se identificaron zonas vulnerables a peligros múltiples; categorizando el territorio en los siguientes niveles: Muy Alto, el cual representa el 18.8% de la cuenca; se debe a la fisiografía accidentada, escasa cobertura vegetal, intensas precipitaciones y condiciones sociales bajas. Nivel Alto, representa el 47.9%. Nivel Medio, que representa el 17.0% y Nivel Bajo, que representa el 16.2% de la cuenca (p. 12).

Palafox (2008), en su tesis se observó que:

En la Cuenca del Río Valles, los resultados del "Mapa de Vulnerabilidad", en la parte alta de la cuenca, se vinculan diversos factores, como: geomorfología, edafología, cobertura vegetal e hidrología, depende de sus características estas pueden favorecer la presencia de un ecosistema complejo, por ejemplo, un bosque de encinos es un ecosistema estable sin embargo es muy susceptible a las alteraciones. Otro punto para considerar es que las condiciones del suelo no favorecen la presencia de importantes asentamientos humanos, así mismo el desarrollo de las actividades agrícolas es algo limitado ya que generalmente es un área de difícil acceso razones por las cuales se considera una zona de alta vulnerabilidad ambiental (p. 7).

Adamo (2001) en su trabajo concluyó:

En general, se observa que, para las regiones y país que nos ocupa, las áreas de alta vulnerabilidad ambiental son heterogéneas en términos del limitado número de variables poblacionales incluidas (densidades, urbanización, crecimiento), y también con relación a situaciones de pobreza. Esto lleva a sugerir una aproximación multivariada a la definición de situaciones de vulnerabilidad ambiental, que vaya más allá de las características de los eventos ambientales y sus efectos. Esta heterogeneidad también demuestra la utilidad de

desagregar espacialmente los análisis de áreas de alta vulnerabilidad ambiental, que permite una mejor identificación de poblaciones y comunidades en situación de riesgo y sus contextos.

Larrea (2013), en su tesis concluyó:

En Nueva Prosperina, los pobladores viven en zonas de riesgo de desastre por deslizamientos de laderas e inundaciones debido a la creciente densidad poblacional en zonas de riesgo, ya que el suelo es característico por tener fuertes pendientes y canales, siendo este suelo compuesto de un material de tierra arcilloso, el cual tiende a coger volumen, se vuelve fangoso culminando en deslizamientos, además de los problemas ambientales que se presentan en el lugar a causa de los drenajes de aguas lluvias que provocan inundaciones, calles lodosas, y deslaves. El nivel de vulnerabilidad ambiental es alto y a él contribuyen las deficientes coberturas de alcantarillado de aguas servidas y de agua potable, y al desgastamiento del suelo. Adicionalmente, el estudio reflejó que los habitantes de Nueva Prosperina no conocen las condiciones de la tierra donde están construidas sus viviendas, lo que los hace desconocedores de los riesgos y peligros que esto representa en caso de amenazas naturales o producto de sus actividades humanas sobre la misma. Así como el desconocimiento de medidas para prevenirlo y mitigarlo (p. 34).

Meza (2010), en su trabajo de investigación concluyó:

Al interceptar los cauces principales del río Ucayali, se observó que los tramos no han variado, como son la zona del lago Pucalpilllo y San Juan. Esto debido a que se ubican en una posición más alta y porque allí se encuentran unas formaciones geológicas antiguas, como lo son el Ipururo y Ucayali, respectivamente. Se identificaron las zonas de riesgos que existen en el área mediante la superposición de los mapas de peligro, de los cambios del cauce del río y la localización de los centros urbanos y rurales. También comprobamos la desaparición de los centros poblados a causa de las inundaciones y la variación del curso del río. Entre esos poblados están San Isidro, Pucalpilllo, San Pedro, Independencia, Nuevo San Juan, Juan Velasco, California, Ega, Nueva Luz, Nueva Betania, Santa Rosa de Masisea y los barrios

marginales de la zona urbana de Pucallpa como Barrio Iquitos, Malecón Grau, Malvinas (p. 117).

Tarazona (2018), concluyó:

La vulnerabilidad por movimientos en masa en la subcuenca del río Ancash analizada en las 3 dimensiones ha dado en vulnerabilidad social el valor de 0,228; la vulnerabilidad económica el valor de 0,234 y vulnerabilidad ambiental el valor de 0,205; las tres dimensiones categorizadas como nivel de vulnerabilidad alta. Con las dimensiones analizadas de la vulnerabilidad se obtuvo el valor de 0,224 que está categorizado como vulnerabilidad alta para la subcuenca del río Ancash, que indica que la población más vulnerable está constituida por los niños y adultos mayores, 75 % se servicio educativo está expuesto, el material predominante de las construcciones es de adobes y tapia con estado de conservación y mantenimiento escaso, la población está escasamente capacitada en temas de gestión del riesgo de desastres, el 75 % del área agrícola está expuesta, existe poco acceso a un puesto de trabajo, con ingresos mensuales por debajo de los S/ 264 y con limitado conocimiento de normas ambientales y no aplican los conocimientos ancestrales para explotar los recursos naturales. El Mapa de vulnerabilidad por movimientos en masa se ha estratificado en 4 niveles, representado por: 35,15 % equivalente a 2184,89 ha. como de vulnerabilidad baja, el 60,54 % equivalente a 3763,49 ha, como de vulnerabilidad media, el 2,16 % equivalente a 134,56 ha. como de vulnerabilidad alta y 2,15 % equivalente a 133,64 ha. como de vulnerabilidad muy alta.

El riesgo por movimientos en masa en la subcuenca en relación con el peligro y vulnerabilidad ha dado el valor de 0,063 que en la estratificación de los niveles de riesgo equivalente a riesgo alto. El mapa de riesgos por movimientos en masa de la subcuenca del río Ancash estratificado en los 4 niveles de riesgo, revela un área de 312,77 ha., equivalente al 5,04 % del territorio en riesgo bajo, 4233,42 ha. equivalente a 68,17 % del territorio en riesgo medio, 1621,14 ha. equivalente a 26,11 % del territorio en riesgo alto y 42,44 ha. equivalente a 0,68 % del territorio en riesgo muy alto. La estimación del impacto de la materialización del riesgo para los niveles alto y muy

alto revela los efectos o daños probables en 87 viviendas de material noble, 1052 viviendas de material precario (adobe, tapial y piedra), 10 instituciones educativas públicas de material precario, 1 institución educativa de material noble, 5 iglesias y 23,71 km de vías vecinales carrozables, con un costo aproximado de S/ 17,100.807 (p. 133).

Manchego (2017) en su trabajo de investigación concluyó:

Los datos mostraron que la presencia de cobertura vegetal en la cuenca Quilca-Chili, ubicada entre la Latitud Sur $15^{\circ} 37' 50''$ y $16^{\circ} 47' 10''$ y Longitud Oeste $70^{\circ} 49' 15''$ y $72^{\circ} 26' 35''$, sigue una tendencia cíclica, es decir, se incrementa y disminuye periódicamente, estando muy influenciada por las variables climáticas y los pisos altitudinales. La vegetación clasificada como media (NDVI entre 0,20 y 0,40) presentó la mayor susceptibilidad a los periodos cíclicos. El NDVI, mostró los siguientes periodos: un primer periodo del 2005 al 2006 donde asciende y luego desciende en el 2007; un segundo periodo donde asciende del 2007 al 2008 y vuelve a caer en el 2010; un tercer periodo donde asciende del 2010 al 2012 para luego caer en el 2014; y finalmente un cuarto periodo donde asciende del 2014 al 2015. Se observó así, años donde la cobertura vegetal aumentó, como en el periodo 2005-2006 registrándose un incremento de $843,35 \text{ km}^2$ al año, pero también periodos donde esta se redujo en 300 km^2 al año como en el periodo 2012-2014. Entre el 2005 y 2015, el saldo en cobertura vegetal fue favorable, ya que el NDVI pasó de 0,107 a 0,131; mostrando que la vegetación empezó con $6061,39 \text{ km}^2$ y terminó con $7854,38 \text{ km}^2$ en la cuenca Quilca-Chili. La precipitación fue la variable climatológica que mayor correlación tuvo con el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) con un valor de 0,83 para la región quechua (p. 04).

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Modelamiento Geoespacial

a. Definición

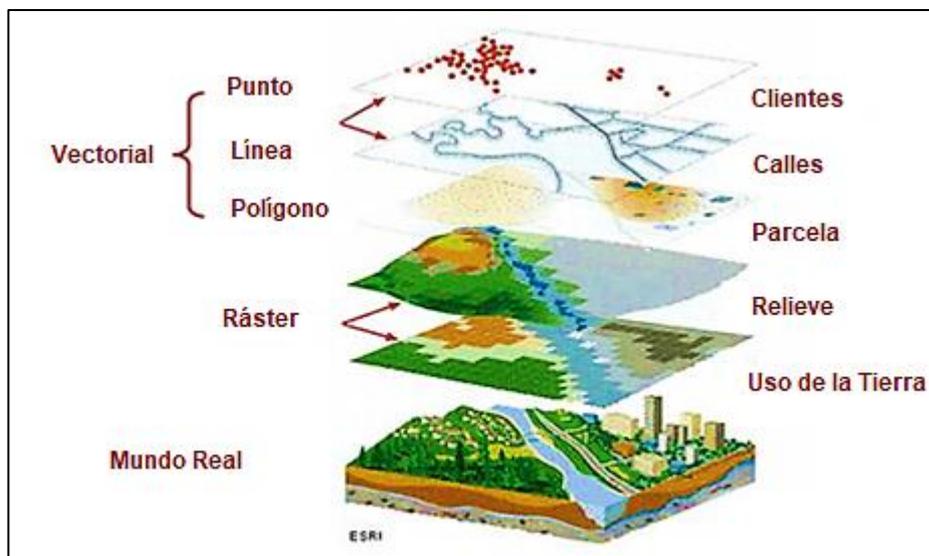
Rojas (2018), en su trabajo final concluyó:

El Modelamiento de Datos Espaciales permite utilizar un conjunto de datos específicos mediante la visualización de mapas y análisis a través de productos de información. El modelamiento se utiliza para describir la estructura y el procesamiento de la base de datos. Este modelo contiene tanto los elementos cartográficos como la información no espacial almacenada en las tablas que lo componen y sus relaciones. (p. 19)

En la Figura 1 se observa como la información se agrupa de manera geométrica y como se van a agrupar en distintas capas.

Figura 1

Modelado de la realidad dentro de un SIG



Nota. Tomado de “Implementación del Sistema de Información Geoespacial del Instituto Mixto de Ayuda Social(SIG IMAS) para la administración de la información Institucional de carácter espacial asociada al Área de Titulación en la provincia Limón”, por , D. R. Delgado (2018).

b. Tipos de Modelos Geográficos

Según Rojas (2018) nos indica que existe tres generaciones de modelos geográficos:

- Modelo CAD: El modelo CAD es la primera generación de los años sesenta y setentas, se creaban mapas con el software Computer Aid Design. Este modelo permitía almacenar datos geográficos en archivos de formato binario con representaciones para puntos, líneas y áreas.
- Modelo de Cobertura (Coverage): En 1981 la empresa Enviromental Systems Research Institute, introdujo el primer software comercial de SIG "ArcInfo", y una segunda generación, llamada modelo geo relacional, uno de sus aspectos más importantes son que los datos espaciales son combinados con atributos y las relaciones topológicas entre componentes vectoriales pueden ser almacenadas.
- Modelo Geodatabase: Este modelo presenta una nueva generación de modelado de datos espaciales orientado a objetos, manteniendo los principios técnicos desarrollados en la generación anterior. Presenta datos geográficos más cercanos un modelado lógico-relacional, esto permite implementar la mayoría de los comportamientos normales de los componentes, sin escribir ningún código de computadora. La mayoría se implementan a través de dominios, reglas de validación y otros tipos de funcionalidad proporcionados por ArcInfo.

Este modelo permite también caracterizar los datos geográficos de una forma más natural, proporcionando una definición personalizada de los tipos de objetos mediante relaciones espaciales y topológicas; con una simulación de cómo estos objetos interactúan con otros objetos

Este modelo de datos contiene 4 representaciones de datos geográficos:

- Datos Vectoriales, para representación de elementos.
- Datos Ráster, para representación de imágenes, datos temáticos en grilla y superficies.
- Redes Triangulares Irregulares (TIN), para representar superficies.
- Geocodificaciones (direcciones y localizadores), para búsqueda de posiciones geográficas.

Existen 3 tipos de Geodatabase con diferentes características operativas dentro de la plataforma de ArcGIS, de acuerdo con las necesidades del sistema a implementar:

- Geodatabases personales
- Geodatabases de archivos
- Geodatabases corporativas(Geodatabases multiusuario)

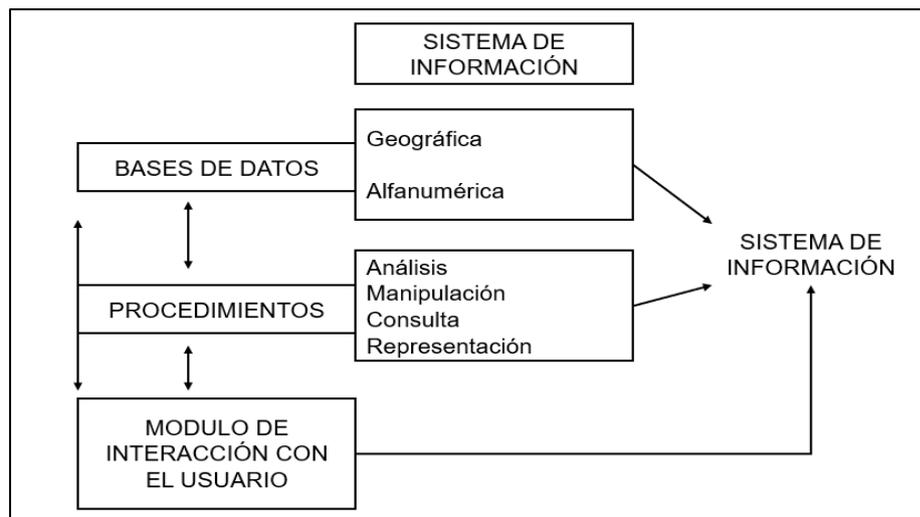
2.2.2. Sistema de Información Geográfico

a. Definición

Es una base de datos computarizada que contiene información espacial que permite la recolección, ingreso en la computadora, almacenamiento, recuperación, transformación y mapeo de datos espaciales del mundo real. Este sistema permite el análisis, modelado, representación y salida de datos especialmente referenciados para solucionar problemas para una mejor planificación(Morea y Huerta, 2013, p. 5).

b. Desarrollo de un sistema de información para soporte de decisiones

El objetivo es proporcionar una respuesta a preguntas no definidas La tecnología del SIG nos brinda un sistema de apoyo a la decisión al poder manejar un gran número de datos interrelacionados, ya que cada vez más existe un mayor nivel de análisis territorial(Morea y Huerta, 2013, p. 5).

Figura 2*Sistema de Información*

Nota. Tomado de “Sistema de Información Geográfica”, por Morea Rodríguez M. L., y Huerta Rodríguez, J. C. (2013).

c. Funciones

Según Morea y Huerta (2013) nos indica que un sistema de información geográfico tiene las siguientes funciones:

- Incorpora la información, mediante la transferencia de datos a una forma digitalizada, asimismo, integra bases de datos en el sistema, para ello es necesario realizar un análisis completo para una correcta estructuración, de acuerdo con las necesidades del proyecto.
- Gestiona información a través de la búsqueda temática y espacial para su posterior análisis de datos geográficos y alfanuméricos.
- Analiza la información mediante la elaboración de los datos, se utilizan métodos de análisis territorial. La obtención del modelo es resultado de un manejo inteligente, este puede variar por las hipótesis consideradas. Los resultados pueden ser reales, esto dependerá de la veracidad de datos y de las hipótesis utilizadas.

2.2.3. Cuenca Hidrográfica

Son territorios delimitados por la cuenca hidrográfica y formados por un sistema hídrico que dirige sus aguas a un río principal, un río muy grande, un lago o

el mar. Este espacio tridimensional permite la interacción entre la cobertura terrestre, las profundidades del suelo y el entorno de la cuenca. (World Vision, 2013, p. 9).

Figura 3

La Cuenca Hidrográfica



Nota. Tomado de Manual de Manejo de Cuencas, por World Vision (2013)

Las cuencas hidrográficas permiten comprender el ciclo hidrológico, así como cuantificar e identificar los impactos acumulados de las actividades humanas a lo largo del sistema fluvial o red hidrográfica, que inciden positiva o negativamente en la calidad y cantidad. el agua, la capacidad de adaptación de los ecosistemas y la calidad de vida de sus habitantes (SEMARNAT, 2013, p. 7).

a. Clasificación

Según World Vision (2013) nos indica que una cuenca hidrográfica tiene la siguiente clasificación:

- Debido a su tamaño geográfico: Las cuencas hidrográficas pueden ser grandes, medianas o pequeñas.
- Debido al tamaño y complejidad de la cuenca, se recomienda utilizar criterios conjuntos de comunidades o unidades territoriales que se puedan gestionar desde el punto de vista hidrográfico.
- Por su ecosistema: De acuerdo con las características del ecosistema en tenemos, las cuencas húmedas, cuencas tropicales, cuencas áridas y cuencas frías.

- Por su objetivo: Dada la capacidad natural de los recursos, objetivos y características de las cuencas pueden denominarse, hidro energéticas, para agua poblacional, agua para riego, agua para navegación, ganaderas, hortícolas y municipales.

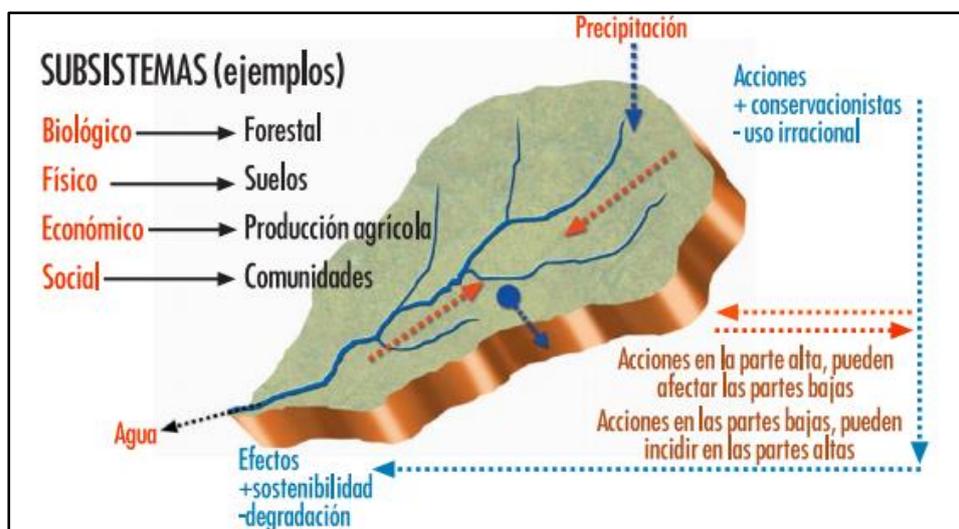
b. Modelo de cuenca

World Vision (2013), nos indica:

En la cuenca hidrográfica existen entradas y salidas, por ejemplo el ciclo hidrológico nos permite cuantificar que una cantidad de agua ingresa a la cuenca por precipitación y otras formas. En la zona de captación hay interacciones entre sus elementos, por ejemplo, si se despeja irracionalmente en la parte superior, es posible que en las épocas de lluvias se produzcan inundaciones en las partes bajas. En la cuenca hidrográfica existen interrelaciones, por ejemplo, la degradación de un recurso como el agua, está ligada a la falta de educación ambiental, la falta de aplicación de leyes, tecnologías inadecuadas, etc.

Figura 4

La Cuenca como sistema



Nota. Tomado de Manual de Manejo de Cuencas, por World Vision (2013)

c. Subsistemas de una cuenca hidrográfica

Según World Vision (2013), podemos tener:

- Biológico, conformado por la fauna y la flora.
- Físico, conformado por el suelo, subsuelo, geología, recursos hídricos y clima.
- Económico, conformado por todas las actividades productivas que realiza el hombre, en agricultura, recursos naturales, ganadería, industria; servicios.
- Social, conformado por elementos demográficos, institucionales, tenencia de la tierra, salud, educación, vivienda, culturales, organizacionales, políticos, etc.

Los elementos que componen los subsistemas varían en función del entorno en el que se ubica la cuenca.

d. Partes de una cuenca

Según World Vision (2013), una cuenca hidrográfica se puede decir que está compuesta por determinadas partes, según el criterio que se utilice, por ejemplo:

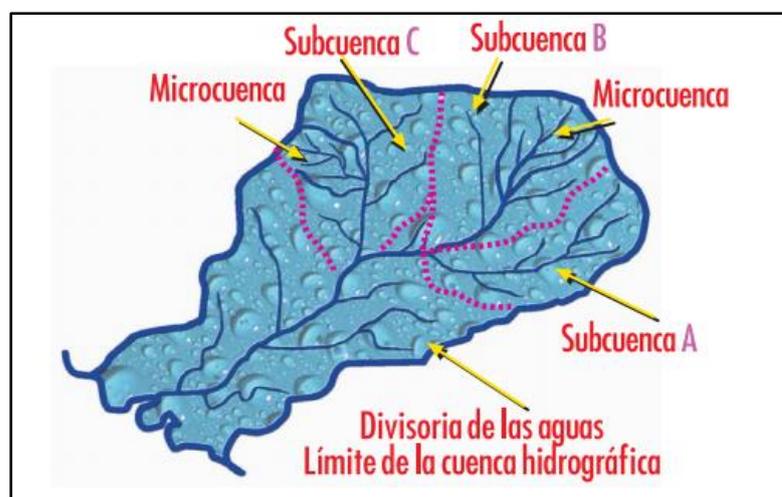
- Criterio 1 Altitud: Si se utiliza la altura como criterio, entonces, dependiendo del rango de altura de la cuenca, se podría hacer una distinción entre la parte superior, media e inferior. Si la diferencia de altitud es significativa y fluctúa entre 0 y 2500 metros sobre el nivel del mar, es posible distinguir las tres partes, si esta diferencia es menor, por ejemplo, de 0 a 1000 metros sobre el nivel del mar, es posible que solo dos las partes se pueden distinguir, y cuando la cuenca es casi poco profunda, es menos probable que se formen grupos. En general, este criterio de altitud está relacionado con el clima y puede ser una forma de definir las partes de una cuenca.
- Criterio 2 Topografía: Otro criterio muy similar al anterior es la relación con el relieve y la forma del terreno, las partes accidentadas forman las montañas y laderas, las partes onduladas, casi planas y planas, forman los valles; y finalmente otra parte es la zona por donde discurre el río principal y sus afluentes, a esta se le denomina cauce.

Figura 5*Partes de una Cuenca Hidrográfica*

Nota. Tomado de Manual de Manejo de Cuencas, por World Vision (2013)

e. División de una cuenca

La cuenca hidrográfica puede dividirse en espacios definidos por la relación entre el drenaje superficial y la importancia que tiene con el curso principal. La disposición de la red de agua es importante para delimitar los espacios en los que se puede dividir la cuenca. A un río principal llega un afluente secundario, este comprende una subcuenca. Luego al río principal de una subcuenca, llega un afluente terciario, este comprende una microcuenca, además están las quebradas que son cauces menores (World Vision, 2013, p. 12).

Figura 6*División de una Cuenca Hidrográfica*

Nota. Tomado de Manual de Manejo de Cuencas, por World Vision (2013)

2.2.4. Vulnerabilidad ambiental

Según Instituto de Defensa Civil (INDECI) (2006), es el grado de resistencia del medio natural y de los seres vivos que son parte de un determinado ecosistema, ante la presencia de la variabilidad climática.

Los seres vivos tienen una vulnerabilidad intrínseca, el cual se determina mediante límites que el medio ambiente establece, por ejemplo (calidad del aire, el agua y el suelo), la deforestación, la explotación irracional de los recursos naturales, la exposición a contaminantes tóxicos, la pérdida de biodiversidad y el colapso de la auto-recuperación del El ecosistema contribuye a aumentar la vulnerabilidad.

2.2.5. Peligro

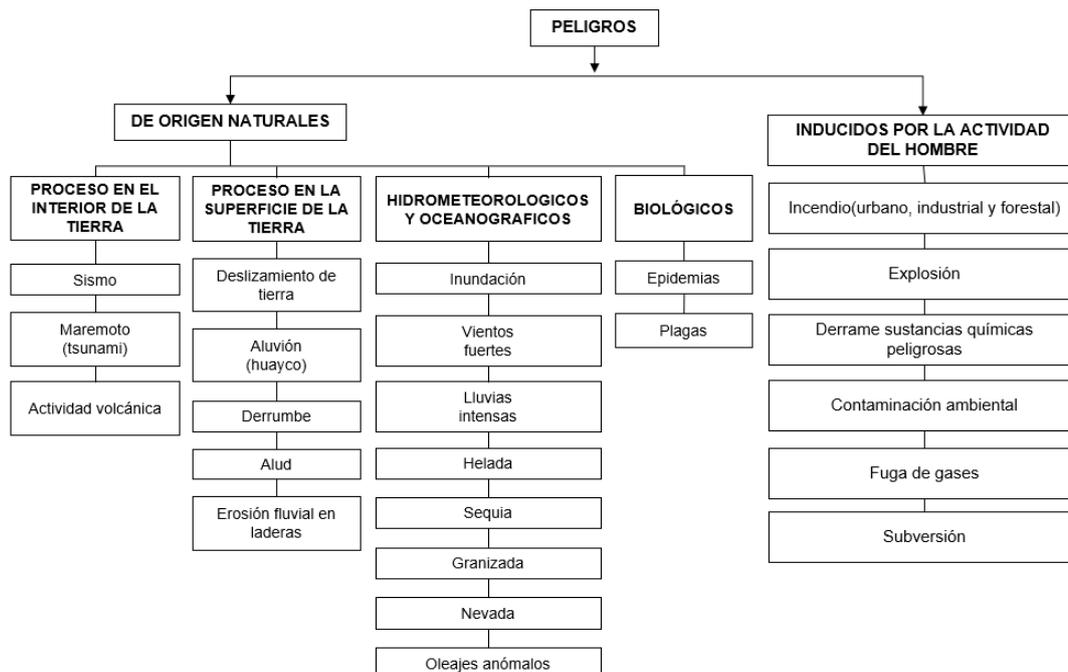
Según el Instituto de Defensa Civil (INDECI) (2006), nos indica que es la probabilidad de que ocurra un fenómeno natural o provocado por el hombre potencialmente dañino de cierta magnitud en un área o ubicación conocida que pueda afectar un área poblada, infraestructura física y / o el medio ambiente (p. 13).

a. Clasificación

Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) (2006), nos indica que el peligro, según su origen, puede ser de dos clases: por un lado, de carácter natural; y, por otro de carácter tecnológico o generado por la acción del hombre. A continuación, se presenta detalladamente los principales peligros que ocurren en nuestro país.

Figura 7

Clasificación de los principales peligros



Nota. Tomado de “Manual básico para la estimación del riesgo”, por Instituto de Defensa Civil (INDECI) (2006).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Amenaza

Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o antropogénico potencialmente dañino durante un cierto período de tiempo y un lugar o área conocida, el nivel depende de la intensidad, localización, área de impacto, duración y período de recurrencia (MVCS, 2019, p. 09).

2.3.2. Índices de Vegetación

Los índices de vegetación son combinaciones de las bandas espectrales captadas por sensores especiales como los de los satélites, cuya función es mejorar la cobertura vegetal en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros componentes como el suelo, la iluminación, etc (Manchego, 2017, p. 05).

2.3.3. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI)

El NDVI es la diferencia normalizada entre las dos bandas cuyo rango de variación, normalizado, está entre -1 y +1. De estos valores, los valores positivos corresponden a zonas de vegetación, mientras que los valores negativos producen mayor reflectividad en el visible que en el infrarrojo, lo que se asocia con nieve, nubes, suelo desnudo, agua, y rocas (Manchego, 2017, p. 07).

2.3.4. Modelamiento geoespacial

Es una abstracción del mundo real, en la que se utiliza un conjunto de datos específicos que permite la visualización a través de mapas y que permite la consulta, modificación y análisis de estos a través de productos de información (Rojas, 2018, p. 18).

2.3.5. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es el grado de resistencia y/o exposición de un elemento frente a la ocurrencia de un peligro. Puede ser: física, social, económica, cultural, institucional y otros (Lázaro, 2015, p. 15).

2.3.6. Vulnerabilidad ambiental

Es el grado de resistencia del medio ambiente y de los seres vivos que viven en un determinado ecosistema, ante la presencia de la variabilidad climática. (Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2006, p. 19).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

El tipo y diseño corresponde a una investigación no experimental de tipo transeccional ya que utilizaremos una metodología exploratoria, descriptiva y correlacional de acuerdo con la naturaleza de la investigación.

3.2. Población y muestra de estudio

La población y muestra de la zona de estudio corresponde a la cuenca del Río Moquegua, el cual abarca la provincia de Mariscal Nieto, consta con una población de 85 349 habitantes.

3.3. Operacionalización de Variables

En el Anexo 1 se puede visualizar las variables dependientes e independientes, así como sus dimensiones e indicadores. En la Tabla 1 se encuentra la descripción de cada variable.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores
Dependiente		
Peligros múltiples	Inundaciones	Bajo Moderado Alto
	Deslizamientos	Muy alto
Independiente		
Vulnerabilidad ambiental	Amenazas por deslizamientos e inundaciones	Bajo Moderado Alto Muy alto

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.4.1. Técnicas para la recolección de datos

3.4.1.1. Fase I.

a. Recopilación y revisión de información

En esta fase se procedió a recopilar y revisar información básica, así como de estudios con antecedentes que involucren la zona de estudio con la finalidad de conocer sus características. Esto para que nos permita realizar un análisis de la zona de estudio y realizar las diferentes unidades temáticas mediante una metodología adaptada el cual consiste en realizar un análisis de multicriterio, álgebra de mapas y ponderación de atributos.

(i) Características de la zona de estudio

- **Localización**

El área de influencia del Moquegua se encuentra en la costa sur del Perú, políticamente incluye parte de las provincias de Mariscal Nieto, en la región de Moquegua. Es drenado por el río Moquegua, que está formado por la confluencia de los ríos Huaracane y Torata a 2 km al oeste de la ciudad de Moquegua y tiene un afluente adicional en su margen izquierda a unos 2 km aguas abajo de su nacimiento: el río Tumulaca.

- **Vías de acceso**

Vía terrestre:

- Por la carretera Panamericana Sur: desde Lima, y desde Tacna.

- Por la vía costanera: Camaná-Mollendo-Punta de Bombón-Ilo (de norte a sur), y Los Palos-Boca del río Ite-Ilo (de sur a norte).
- Por la carretera Interoceánica Sur (Tramo 5 ramal 2) Azángaro Juliaca-Ilo.
- Por la carretera o corredor binacional Perú-Bolivia (La paz Desaguadero-Mazo Cruz-Moquegua-Ilo).
- Por las carreteras departamentales sin afirmar que ingresan por el lado noroccidental de la cuenca: Omate y Quinistaquillas Moquegua, Calacoa-Cuchumbaya-Carumas-Moquegua.

Vía marítima: por el puerto de Ilo.

Vía aérea: por los aeródromos Ilo y Moquegua, no existen vuelos comerciales.

- **Meteorología**

Para la caracterización del clima del área de estudio, se analizaron parámetros tales como: temperatura mínima y máxima, humedad relativa y precipitación de las siguientes estaciones presentes en la cuenca del río Moquegua:

Tabla 2

Estaciones meteorológicas de la cuenca del Río Moquegua

Estación	Coordenadas	
	Este	Norte
Carumas	319750	8140600
Moquegua	933050,763	8096495,737
Yacango	940156,32	8105425,003
Pampa Umalzo(Titijones)	337222,7	8162089,5

Nota. Esta tabla muestra las estaciones meteorológicas presentes de acuerdo con la zona de estudio.

Temperatura

En la cuenca del río Moquegua, se consideró la data hidrometereológica de SENAMHI, la Tabla 3 nos indica la temperatura máxima y mínima de las 4 estaciones presentes en el área de estudio en el periodo de 2017 al 2020. El promedio de temperatura máxima varía entre 11 a 26 °C y el promedio de temperatura mínima varía entre 5 a 15 °C.

Tabla 3

Temperatura máxima y mínima(°C)

Estación	2017		2018		2019		2020	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
Carumas	19,90	4,47	20,18	6,50	19,90	5,21	20,23	6,47
Moquegua	23,53	14,81	23,61	14,75	23,71	14,79	23,58	15,05
Yacango	24,52	10,82	25,19	11,11	26,46	11,79	24,97	12,23
Pampa Umalzo(Titi jones)	11,10	-7,36	10,77	-6,88	11,82	-6,97	11,81	-6,09

Nota. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2020)

Humedad relativa

Se consideró la data hidrometereológica de SENAMHI, la Tabla 4 nos indica la humedad relativa de las 4 estaciones presentes en el área de estudio en el periodo de 2017 al 2020.

Tabla 4*Humedad relativa(%)*

Estación	2017	2018	2019	2020
Carumas	64,03	67,21	61,13	62,31
Moquegua	40,42	53,13	52,67	68,88
Yacango	78,47	72,40	68,20	77,91
Pampa Umalzo(Titijones)	86,54	85,83	83,99	85,50

Nota. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2020)

Precipitación

Se consideró la data hidrometereológica de SENAMHI, la Tabla 5 nos indica la precipitación de las 4 estaciones presentes en el área de estudio en el periodo de 2017 al 2020.

Tabla 5*Precipitación(mm/día)*

Estación	2017	2018	2019	2020
Carumas	1,37	0,45	-1,36	2,97
Moquegua	0,06	0,01	0,12	0,21
Yacango	0,54	0,05	0,00	1,01
Pampa Umalzo(Titijones)	1,04	0,69	0,80	1,58

Nota. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2020)

- **Características sociales**

Población

De acuerdo con la Tabla 6, la provincia de Mariscal Nieto presentó una población de 85 349 habitantes, lo cual la convierte en

la provincia más poblada del departamento de Moquegua (49 % de la población del departamento). De dicha población, el 88,2 % reside en áreas urbanas, mientras que el 11,8 % restante lo hace en el ámbito rural (INEI, 2017).

Tabla 6

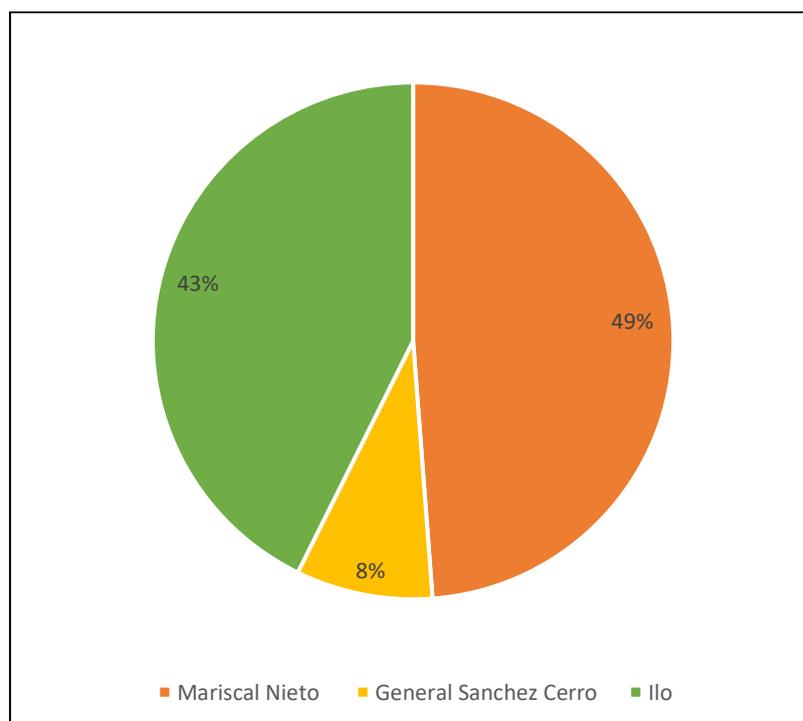
Población censada, según provincia 2017

Provincia	Total	Urbana		Rural	
		Absoluto	%	Absoluto	%
Total	174863	151891	100,0	22972	100,0
Mariscal Nieto	85349	75316	49,6	10033	43,7
General Sánchez Cerro	14865	2326	1,5	12539	54,6
Ilo	74649	74249	48,9	400	1,7

Nota. Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017)

Figura 8

Moquegua: Población censada, según provincia 2017



Vivienda

En la provincia de Mariscal Nieto se ubican 41 068 viviendas, distribuidas un 80,4 % en el área urbana y 19,6 % en el área rural. El tipo de vivienda que predomina son las casas independientes. Asimismo, se registra un 4,2 % de viviendas improvisadas, y un 1,2 % de chozas o cabañas, tal como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Tipo de viviendas

Tipo de vivienda	Casos	Porcentaje (%)
Casa Independiente	36 628	89,19
Departamento en edificio	1 637	3,99
Vivienda en quinta	83	0,20
Vivienda en casa de vecindad (Callejón, solar o corralón)	136	0,33
Choza o cabaña	494	1,20
Vivienda improvisada	1 725	4,20
Local no destinado para habitación humana	31	0,08
Hotel, hostel, hospedaje, casa pensión	110	0,27
Establecimiento de salud	13	0,03
Establecimiento penitenciario	1	0,00
Centro de atención residencial para niñas/os y adolescentes	3	0,01
Conventos, monasterios o similares	2	0,00
Cuartel, campamento, base de FF.AA. o PNP.	19	0,05
Otro tipo de vivienda colectiva	26	0,06
En la calle (personas sin vivienda)	6	0,01
Garita, puerto, aeropuerto o similares	154	0,37
Total	41 068	100

Nota. Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017)

Servicios básicos

El 74 % de viviendas cuenta con instalaciones de red pública de agua potable. Sin embargo, el 2,1 % de las viviendas se abastece de río, acequia o manantial lo cual genera riesgos para la salud de la población. Otras formas de abastecimiento de agua en la provincia son el pilón de uso público (13,3 %), el

camión cisterna (1,5 %), el pozo (2,4 %) y a través de un vecino (0,6 %), tal como se muestra en la Tabla 8 (INEI, 2017).

Tabla 8

Viviendas por tipo de abastecimiento de agua

Tipo de abastecimiento de agua	Casos	Porcentaje(%)
Red pública dentro de la vivienda	20 312	74,00
Red pública fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación	1 315	4,79
Pilón o pileta de uso público	3 649	13,29
Camión - cisterna u otro similar	416	1,52
Pozo (agua subterránea)	659	2,40
Manantial o puquio	268	0,98
Río, acequia, lago, laguna	577	2,10
Otro	94	0,34
Vecino	157	0,57
Total	27 447	100

Nota. Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017)

Tal como se muestra en la Tabla 9, el 62,7 % de las viviendas cuentan con servicios higiénicos conectados a la red pública de desagüe, mientras que el 23,9 % de las viviendas no cuenta con ningún tipo de servicio higiénico. Otras formas de servicio higiénicos son: pozo ciego o negro (letrina) (10,1 % de las viviendas), pozo séptico (2,8 %) y río, acequia o canal (0,6 %) (INEI, 2017).

Tabla 9

Viviendas por tipo de servicio higiénico

Servicio higiénico	Casos	Porcentaje(%)
Red pública de desagüe dentro de la vivienda	19 447	70,85
Red pública de desagüe fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación	1 849	6,74
Pozo séptico, tanque séptico o biodigestor	983	3,58
Letrina (con tratamiento)	3 040	11,08
Pozo ciego o negro	1 152	4,20
Río, acequia, canal o similar	28	0,10
Campo abierto o al aire libre	753	2,74
Otro	195	0,71
Total	27 447	100

Nota. Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017)

El servicio eléctrico en la provincia cubre al 87,9 % de las viviendas, mientras que el 12,1 % de las viviendas no cuentan con servicio eléctrico (INEI, 2017).

Educación

De acuerdo con la Tabla 10, en la provincia de Mariscal Nieto, la mayor parte de la población mayor de 15 años alcanzó el nivel superior (45,5 %), seguido del nivel de secundaria completa con el 35 % de la población. En la provincia existen 288 instituciones educativas entre públicas y privadas (MINEDU.ESCALE, 2017). En cuanto a la tasa de analfabetismo, el 4,5 % de la población es analfabeta (INEI, 2017).

Tabla 10

Número de instituciones educativas según nivel

Nivel educativo	Total	Gestión		Área	
		Público	Privado	Rural	Urbano
Inicial	152	131	21	36	116
Primaria	67	52	15	30	37
-Unidocente multigrado	13	13	--	13	--
-Polidocente multigrado	20	18	2	14	6
-Polidocente completo	34	21	13	3	31
Secundaria	35	25	10	6	29
Básica Alternativa – CEBA	8	6	2	--	8
Básica Especial	3	3	--	--	3
Superior Pedagógica – ISP	1	1	--	--	1
Superior Tecnológica – IST	5	4	1	--	5
Superior Artística – ESFA	--	--	--	--	--
Técnico Productiva – CETPRO	17	10	7	1	16
Total	288	232	56	73	215

Nota. Unidad de Estadística Educativa - Ministerio de Educación(2017)

Economía

En la provincia de Mariscal Nieto, el 78,4 % de su población se encuentra en edad de trabajar (PET), es decir, de 14 años a más. En cuanto a las actividades económicas principales, destaca la agricultura y ganadería, a la cual se dedica un 21,5 % de la población, la administración pública (13,6 %), el comercio por menor (12,1 %) y la construcción (10,3 %).

- **Características de los recursos naturales de la Cuenca del Río Moquegua**

Ocupación actual de los suelos

En la cuenca Ilo – Moquegua, se distingue claramente respecto a los suelos y capacidad de uso. En la Tabla 11 se presenta la información sobre la ocupación actual de los suelos en la cuenca de Moquegua, se puede inferir que la mayor superficie corresponde a los suelos de planicie costera y estribaciones andinas sin vegetación (64,68 %), suelos de matorrales (15,02 %) y luego suelos de pajonales y césped de puna (12,81 %). Las zonas de cultivos agropecuarios apenas representan el 1,89 % del total y los suelos de bofedales para la ganaría representa un 0,18 %.

Tabla 11

Ocupación actual de los suelos de la cuenca Ilo – Moquegua

Símbolo	Características	Superficie	
		km ²	%
Plea Sv	Planicies costeras y estribaciones andinas sin vegetación	2212,29	64,48
Ma	Matorrales	515,46	15,02
Pj/Cp	Pajonal/césped de puna	439,37	12,81

Símbolo	Características	Superficie	
		km ²	%
Cuap	Cultivos agropecuarios	64,73	1,89
Q	Quenoal	43,2	1,26
Ht	Herbaza de tundra	36,91	1,08
Sin dato	Sin dato	11,02	0,32
Bo	Bofedal	6,33	0,18
Pob	Poblados	2,51	0,07
Nv	Nevados	1,90	0,06
Total		3431,08	100

Nota. Ministerio del Ambiente (2013)

Flora

Según Ministerio del Ambiente(2013) está conformada por especies de plantas vasculares. Las especies herbáceas alcanzan los valores más altos. Los árboles a pesar de no tener presencia significativa son importantes para la descontaminación de aire en la región, debido a que existe una alta contaminación por parte de las empresas mineras. En la Tabla 12 se muestra la flora silvestre amenazada en la región Moquegua.

Tabla 12

Flora silvestre amenazada en la región Moquegua

Nombre científico	Nombre común	Amenazas
<i>Kageneckia lanceolata</i>	Lloque	Deterioro de hábitat, tala
<i>Browningia candelaris</i>	Candelabro	Deterioro de hábitat
<i>Corrycactus brevistylus</i>		Deterioro de hábitat
<i>Polylepis besseri</i>	Queñoa	Deterioro de hábitat, tala
<i>Azorella compacta</i>	Yareta	Sobreexplotación
<i>Parastrephia lepidophylla</i>	Thola	Sobreexplotación
<i>Caesalpinia spinosa</i>	Tara	Extracción de vaina, tala, deterioro hábitat
<i>Lepidophyllum quadrangulare</i>	Tola	Sobreexplotación
<i>Parastrephia phylicaeformis</i>	Tola	Sobreexplotación
<i>Senecio nutans</i>	Chachacoma	
<i>Oreocereus hendriksenianus</i>	Chastudo	
<i>Valeriana nivalis</i>	Valeriana	
<i>Ephedra americana</i>	Pinco Pinco	Deterioro de hábitat
<i>Acacia macracantha</i>	Huarango	Tala

Nota. Ministerio del Ambiente (2013)

Fauna

En la actualidad no existe en la región Moquegua un inventario de fauna, sin embargo, en base a documentos y EIA de proyectos mineros se mencionan las especies de fauna amenazadas en la región. En base a lo anteriormente mencionado, en la tabla 13 se encuentra la fauna silvestre amenazada en la región de Moquegua.

Tabla 13

Fauna silvestre amenazada en la región Moquegua

Nombre común	Amenazas
Aves	
Suri	Deterioro hábitat, caza furtiva, colecta de huevos
Guanay	Deterioro hábitat, sobreexplotación recursos(pesca)
Cuita	Deterioro hábitat, sobreexplotación recursos(pesca)
Piquero común	Deterioro hábitat, sobreexplotación recursos(pesca)
Ping. Humboldt	Deterioro hábitat, sobreexplotación recursos(pesca)
Flamenco andino	Deterioro de hábitat
Flamenco jamesi	Deterioro de hábitat
Parihuana	Deterioro de hábitat
Pelicano	Deterioro hábitat, sobreexplotación recursos(pesca)
Choca	Deterioro de hábitat
Halcón peregrino	Deterioro de hábitat
Cóndor andino	Deterioro de hábitat
Zarcillo	Deterioro hábitat, sobreexplotación recursos(pesca)
Mamíferos	
Guanaco	Deterioro de hábitat
Vicuña	Deterioro de hábitat
Lobo marino fino	Deterioro hábitat, sobreexplotación recursos pesqueros
Nutria marina	Deterioro hábitat, sobreexplotación recursos(pesca)
Gato andino	Deterioro de habitat,caza,rituales mágico-religioso
Puma	Caza
Taruca	Caza
Lobo marino chusco	Deterioro hábitat, sobreexplotación recursos pesqueros

Nota. Ministerio del Ambiente (2013)

Biodiversidad de ecosistemas

Según el Ministerio del Ambiente (2013) , la Administración Técnica de Flora y Fauna Silvestre (ATFFS de Moquegua-Tacna), destaca que en la región Moquegua, existe cuatro ecosistemas de suma importancia para la conservación de la biodiversidad: el bosque de queñoales de Muylaque, zona altoandina de la provincia de Mariscal Nieto, Lomas de Tacahuay y Punta de coles en Ilo. En la Tabla 14 se muestra la importancia de estos y las amenazas que los afectan.

Tabla 14

Ecosistemas de importancia regional

Ecosistema	Amenazas
<i>Bosque de queñoa de Muylaque</i>	Tala ilegal; sobre aprovechamiento del recursos; pastoreo
<i>Zona altoandina de Mariscal Nieto</i>	Caza furtiva; alteración de habitat;sobre aprovechamiento del recurso
<i>Lomas de Tacahuay(Ilo)</i>	Tala ilegal; sobre pastoreo; invasiones
<i>Punta Coles(Ilo)</i>	Protegido por PROABONOS, poco control de pescadores artesanales

Nota. Ministerio del Ambiente (2013)

Índice de desempeño ambiental

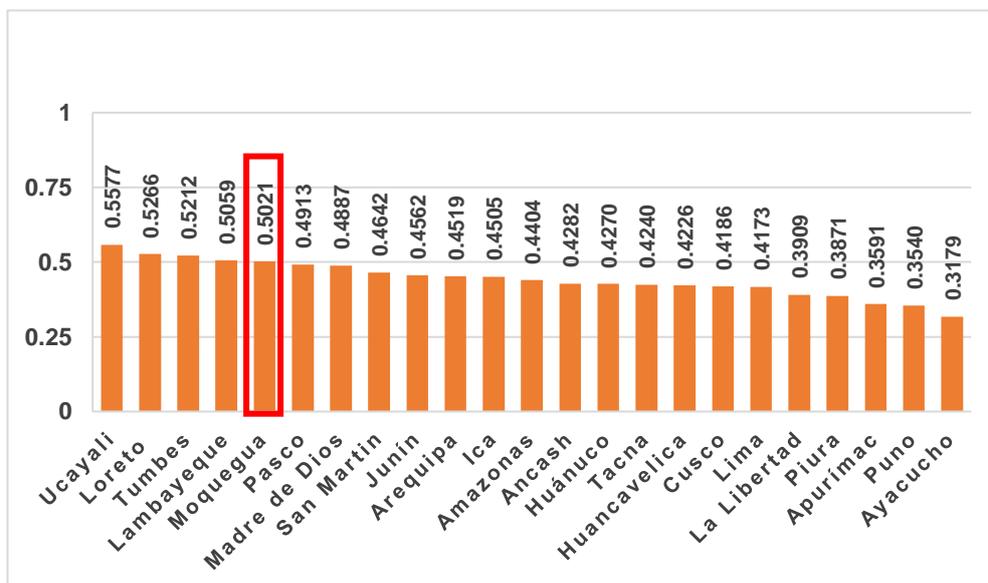
El Índice de Desempeño Ambiental Departamental mide los comportamientos sustentables e insostenibles que tenemos para la conservación de nuestro medio ambiente. Oscila entre los valores de 0 y 1, donde 1 es el mejor desempeño ambiental. Su elaboración, a través del Ministerio del Ambiente, requirió 30 indicadores, los cuales se agrupan en cuatro componentes, los cuales están vinculados a los Ejes de la Política Nacional Ambiental:

- Conservación de los Recursos Naturales
- Calidad Ambiental

- Gestión Ambiental
- Gobernanza Ambiental.

Figura 9

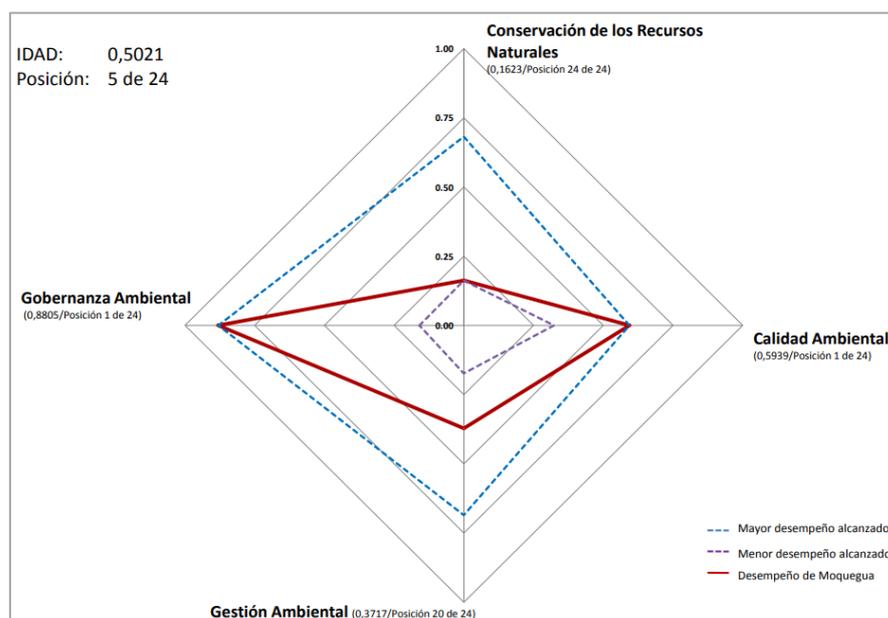
Perú: Índice de desempeño ambiental por departamento, 2008



Nota. Ministerio del Ambiente (2013)

De la información mostrada en la figura 9 y figura 10, se puede interpretar lo siguiente:

- El IDA de Moquegua se posiciona en el 5to lugar a nivel nacional
- En el componente conservación de los recursos naturales, Moquegua alcanza un IDA de 0,1623, posicionándose en el último lugar de desempeño.
- En calidad ambiental Moquegua se ubica en la primera posición con un valor de 0.5939.
- En la gestión ambiental Moquegua se posiciona en el 20vo lugar, con un valor de 0,3717.
- En gobernanza ambiental Moquegua se ubica en el primer puesto, con un valor de 0,8805.

Figura 10*Índice de desempeño ambiental departamental de Moquegua*

Nota. Ministerio del Ambiente (2008)

Gestión del agua

En la cuenca del Río Moquegua existen dos juntas de usuarios: la Junta de Usuarios de Moquegua está conformado por 1705 usuarios y la Junta de Usuarios de Torata conformado por 1139 usuarios, tal como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15

Juntas de usuario y comisiones de regante

Junta de usuarios	Comisiones de usuarios
<i>Junta de Usuarios de Moquegua</i>	Tumilaca
	Estuquiña-Huaracane
	Poceta Coscore Tala
	Alto Moquegua
	Carsaga
	Santa Rosa

Junta de usuarios	Comisiones de usuarios
<i>Junta de Usuarios de Moquegua</i>	Omo
	Rinconada
	Ilo
	Otora
<i>Junta de Usuarios de Torata</i>	Chujulay
	Torata
	Ilubaya
	Yacango

Nota. Ministerio del Ambiente (2013)

La demanda de agua para la agricultura en la cuenca Moquegua se estima en 109464 MMC para el año 2012, con un promedio de 16.09 MMC/ha.

Tabla 16

Superficie de riego y demanda de agua

Cuenca	Superficie de riego(ha)	Demanda de agua (MMC)
	2012	2012
Moquegua	6802	109464

Nota. Ministerio del Ambiente (2013). MMC es abreviatura de millones de metros cúbicos de agua.

La demanda del agua para uso industrial, según información de la SUNAT, de las 558 empresas manufactureras activas 228 se encuentran en el área de la Cuenca Moquegua. De las cuales, el 26 %(143 empresas), el 8 %(45 empresas) se dedican a la fabricación de ropa y teñidos pieles, el 8 %(43 empresas) y el 13 % restante (73 empresas) se dedican a la industria textil, equipos de transporte, productos químicos, etc., que son los que más demandan agua en el sector industrial. Se consideró la proyección del Índice de crecimiento INEI para el 2022(Moquegua 1,8 %, Ilo 1,5 %), en la Tabla 17 se observa que para este sector el requerimiento de agua para el año 2022 es de 1473 MMC.

Tabla 17*Demanda de agua para uso industrial*

Zona	Número de habitantes	Requerimiento <i>m³/día/hab.</i>	Demanda (MMC/año)	
			2012	2022
Moquegua	67505	0.050	1232	1473

Nota. Ministerio del Ambiente (2013)

La demanda del agua para uso minero. Según el Estudio hidrológico para la determinación del potencial hídrico de las cuencas de los ríos Tambo y Moquegua, la tercera demanda importante de agua proviene del sector minería. Al año 2012 el 82,2 % del territorio de Moquegua ha sido concesionado a la minería. La actual cartera de proyectos mineros en Moquegua tiene un total de US\$ 6500 millones. En el ámbito de la cuenca las principales mineras grandes y medianas son:

- Unidad minera Cuajone (subcuenca del río Torata), es una de las más importantes productoras de cobre del país.
- Quellaveco de Anglomeración (Microcuenca del Río Asana, subcuenca del Río Tumulaca), en la provincia de Mariscal Nieto, tiene previsto invertir 3500 millones de dólares a partir del 2012. Tiene un requerimiento de 22 MMC.

Si bien la actividad minera no demanda un gran volumen de agua, la autorización de uso es por lo general la problemática, ya que existe un temor en la población respecto al riesgo de contaminación de agua y el ambiente.

Calidad del recurso hídrico

Según el MINAM (2013), el ATA (Asesores Técnicos Asociados) realizó un monitoreo en nueve pozos de la red

piezométrica en el Valle Moquegua - Ilo. Los análisis físico – químicos se realizaron en la Universidad San Agustín de Arequipa. Los resultados se presentan en la Tabla 18, se aprecia que los cloruros altos están demostrando que hay una gradual contaminación de las aguas subterráneas conforme se aproximan a la costa por salinidad, lo que contribuye la intrusión marina en la zona baja.

Tabla 18

Análisis físico químico de las aguas subterráneas

Parámetros	Pozo			
	Chiviquiña Cueto	La bodeguilla Carmen Quispe	Rinconada Lidia Campos	Sede Moquegua
pH	8	7,88	8,3	7,3
Conductividad u S/cm	1816	2700	2740	652
Turbidez NTU	1,58	5,78	5,18	0,24
Dureza Total meq CaCO ₂	557,45	957,95	974,18	199,16
Cloruros meq/l	269,94	423,64	377,7	53,08
Sulfatos meq/l	387	360	492	150
Bicarbonatos meq/l	242,26	314,04	466,58	128,18
Sólidos disueltos meq/l	1235	1779	1910	404
Calcio meq/l	195,05	317,86	281,74	73,68
Magnesio meq/l	17,06	39,91	65,79	3,68
Hierro meq/l	0,283	0,378	0,263	0,196
Sodio meq/l	148,6	161,75	206,8	47,68
Potasio meq/l	14,9	19,7	17,9	6,6
Boro meq/l	2,26	2,24	3,2	0,71
Arsénico meq/l	0,0057	0,086	0,0111	0,0042

Nota. Ministerio del Ambiente (2013)

Balance hídrico

En la Tabla 19 se puede observar como la oferta actual de agua proviene de los escurrimientos superficiales por la lluvia y las aguas reguladas por el embalse Pasto Grande, proveniente de la subcuenca alta del río Vizcachas. Otras fuentes menores son las aguas subterráneas, aguas de emanantes y agua de recuperación. Para el año 2012 la oferta es de 129 661 con un pequeño superávit de 4463 MMC. No obstante, en un escenario futuro para el año 2022 y 2032 se estima que la oferta se incrementará por efecto del Embalse de Pasto Grande y una mayor captación de aguas subterráneas. Sin embargo, esto no aparece ajustarse a la realidad ya que en la situación actual tienen una demanda mayor de agua que al momento no está siendo atendida. La demanda de agua del sector minero se mantiene constante en el tiempo. En caso de la cuenca Moquegua el principal conflicto es:

- Resistencia de los pobladores, especialmente de las comunidades, a la ejecución de obras de regulación por la inundación de tierras del embalse.
- Resistencia de los usuarios de agua del valle bajo Tambo a las obras de regulación y trasvase agua de la cuenca Tambo a la cuenca Moquegua, aduciendo deterioro de la calidad del agua, especialmente en los meses de estiaje.

Tabla 19

Balance hídrico de la cuenca del río Moquegua

Cuenca	Usuario/fuente	Escenario MMC		
		2012	2022	2032
Demanda PERPG Etapa I y II	Domiciliario	12428	14637	16822
	Para riego agrícola	109464	149021	123921
	Industrial	3116	3681	4239
	Minero	0,19	0,19	0,19
Demanda total del Proyecto Especial Regional Pasto Grande		125198	167529	145172

Cuenca	Usuario/fuente	Escenario MMC		
		2012	2022	2032
Oferta media (persistencia 75 %)	Embalse Pasto Grande (75 %)	75055	75055	75055
	Superficial (75 %)	39388	39388	39388
	Subterránea	3868	3868	3868
	Manantiales	11350	11350	11350
	Oferta total	129661	129661	129661
Superávit con caudal (Persistencia 75 %)		4463	-37868	-15511
Oferta media (persistencia 50 %)	Embalse Pasto Grande (50 %)	94828	94828	94828
	Superficial (50 %)	73826	73826	73826
	Subterránea	3868	3868	3868
	Manantiales	11350	11350	11350
	Oferta total	183872	183872	183872
Superávit con caudal (Persistencia 50 %)		58674	16343	38700

Nota. Ministerio del Ambiente (2013)

3.4.1.2. Fase II. Identificación de peligros múltiples

a. Sistematización y consolidación de información

Después de haber recopilado y revisado la información, estas fueron sistematizadas y consolidadas en función a la metodología propuesta por Crepani et al. (2001). Con la finalidad de procesar la información estandarizada, se realizó una representación cartográfica mediante un software libre, con la finalidad de generar mapas temáticos de geología-litología, pendiente, clima, cobertura vegetal, fisiografía y suelo, para caracterizar y describir la Cuenca del río Moquegua.

b. Elaboración de información temática física

En esta etapa se actualizaron los mapas temáticos, haciendo uso de la herramienta proporcionada por la plataforma ArcGis. Para la identificación de peligros múltiples se describirá la metodología utilizada:

- **Análisis y ponderación de las variables**

En el presente estudio para la identificación de peligros múltiples se consideró factores condicionantes y detonantes, de los cuales 4 son factores condicionantes y un factor detonante. Cada factor es representado por un parámetro, evaluado en la mayoría entre 1 a 5 y para la ponderación final cada factor de análisis tiene su ponderación en función al grado de ocurrencia. Esta metodología utilizada es un método indirecto basado en criterios de expertos; por este motivo, cabe señalar que estas ponderaciones pueden variar según el análisis que se realice y la situación local. A continuación, se muestra cuáles son los factores condicionantes y detonantes para el área de estudio:

- (i) Factores Condicionantes

- Factor Pendiente
- Factor de Geología
- Factor de Cobertura Vegetal
- Factor de suelo

- (ii) Factores Detonantes

En este estudio, la precipitación en función a la clasificación climática se tomó en cuenta entre los factores desencadenantes; ya que existe información sobre deslizamientos en el área de estudio, según INGEMMET e INDECI se tiene conocimiento que en época lluviosa se presentan eventos de fuertes precipitaciones pluviales en los distritos de Samegua y Torata que afectan a las poblaciones ocasionando daños en viviendas, vía vecinal, canales de riego, bocatomas y red de agua. A continuación, se muestra que factor detonante se consideró para el área de estudio:

- Factor de Precipitación

3.4.1.3. Fase III. Determinación de vulnerabilidad ambiental

Para la determinación se caracterizó la vulnerabilidad ambiental por inundación y deslizamiento en la Cuenca del río Moquegua, usando SIG. Para obtener el mapa temático se integró el modelo cartográfico de inundaciones y deslizamientos. A través de él, es posible obtener un análisis integrado de las variables, lo que permite señalar las áreas de vulnerabilidad ambiental en el área de estudio.

3.4.2. Materiales y/o instrumentos

3.4.2.1. Materiales

- Imagen satelital Landsat (path 072, row 002); 2018

3.4.2.2. Equipos

- Laptop, modelo ACER A515-51G-83YL, Número de serie: NXGT1AL00381808A963400.

3.4.2.3. Software

- Microsoft Office 2016
- Software ArcGIS

3.5. Procesamiento y análisis de datos

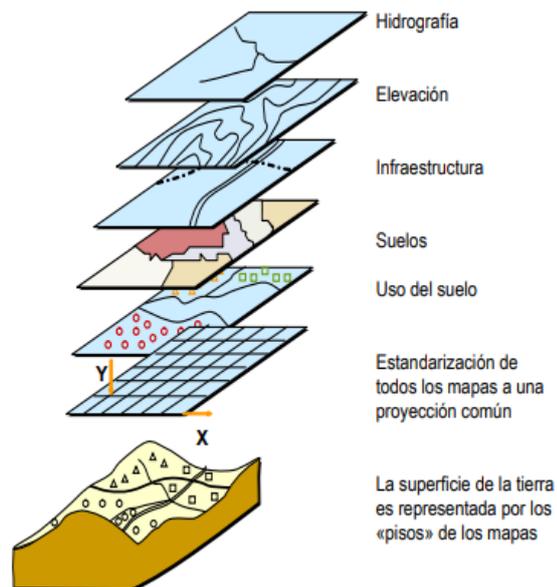
3.5.1. Elaboración de la Base de Datos Geoespacial

Según Meza (2010), la elaboración de base de datos geoespacial consiste en la utilización de un SIG, en base a una secuencia lógica. En ese sentido el análisis y modelamiento se realiza mediante:

- **Generalización cartográfica:** Consiste en simplificar las características de un mapa cartográfico, con la finalidad de que sea menos complejo el modelo global, tal como se muestra en la Figura 11.

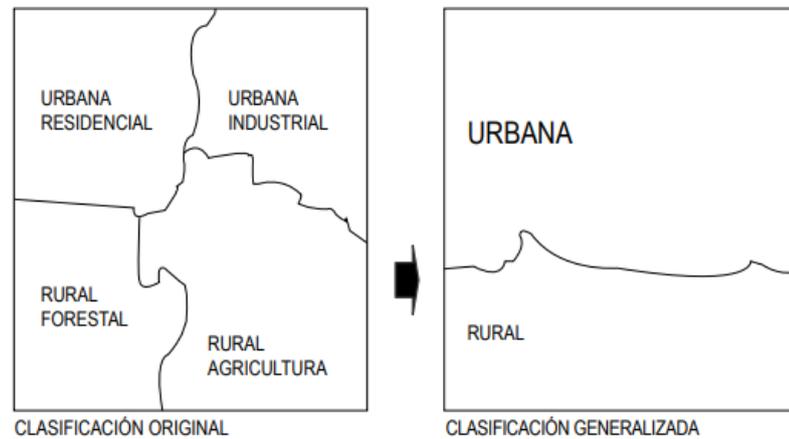
Figura 11

Modelamiento geoespacial



Nota. Tomado por Meza (2010)

- **Análisis espacial:** consta de funciones que realizan cálculos sobre las entidades gráficas, siendo: superposición de mapas, reclasificación, conectividad de elementos geográficos, este análisis tiene las siguientes herramientas:
 - Herramientas de generalización: Esta herramienta es importante porque define patrones, puesto que identifica un grupo de información y lo agrupa en un solo set es decir lo clasifica de manera generalizada, tal como se observa en la Figura 12.

Figura 12*Clasificación generalizada*

Nota. Tomado por Meza (2010)

- Herramientas de medición: esta herramienta provee mediciones de trayectos entre áreas de polígonos, polígonos, líneas, puntos y perímetros.
- Operaciones lógicas: Comprende en encontrar áreas determinadas bajo condiciones, por ejemplo:
 - (i) Dissolve: esta función nos permite quitar la línea divisoria entre características continuas o con el mismo atributo en polígonos o líneas.
 - (ii) Clip: nos permite crear un nuevo tema basado en la superposición de dos temas, lo que da como resultado que la tabla de atributos del nuevo tema tenga las mismas variables de entrada.
 - (iii) Unión de coberturas: esta operación nos permite crear un tema nuevo en base a la sobreposición de dos temas tipo polígono, es decir los datos de ambos temas.
 - (iv) Intersección de dos coberturas: esta función combina dos temas, generando un nuevo tema con las áreas intersectadas.

- **Desarrollo de modelo cartográfico de peligros múltiples**

Para el modelamiento geoespacial de peligros múltiples se estableció en función a las variables y sus atributos, esto permitirá evaluar el nivel de peligro que se encuentra expuesta la cuenca del Río Moquegua. En la siguiente Tabla 20 se presentan las variables que conformará el modelo.

Tabla 20

Variables del modelo cartográfico

Tipo de variable	Variables	Atributos
Físicas	Geología	Unidades litológicas
	Precipitación	Rango de clasificación climática
	Pendiente	Rango de pendiente (%)
	Suelos	Rango de unidad de suelos
Bióticas	Cobertura Vegetal	Formación vegetal

Estas variables fueron seleccionadas de acuerdo con la incidencia e importancia. Para el desarrollo del modelo cartográfico de peligros se requerirá la generación del modelamiento cartográfico de inundaciones, este se desarrollará una vez se haya analizado los 5 factores mencionados en la Fase II, luego de su ponderación individual, se superponen las capas conocido como Álgebra de Mapas , la asignación del valor de ponderación para cada factor dependerá de la importancia del peligro analizado. Por ello se asignó las siguientes ponderaciones para cada factor: Pendiente 15 %, factor de Precipitación 25 %, Cobertura Vegetal 35 %, Suelo 30 %. Para la determinación del modelo de inundaciones se utilizó la siguiente formula (1):

$$MAI=(MPR*0.15)+(MPPR*0.25)+(MCVR*0.35)+(MTSR*0.10)+(MPSR*0.10) \quad (1)$$

En donde:

MAI= Mapa de Amenaza de Inundaciones

MPR= Mapa de pendientes reclasificado

MPPR= Mapa de precipitaciones reclasificado

MCVR=Mapa de cobertura vegetal reclasificado

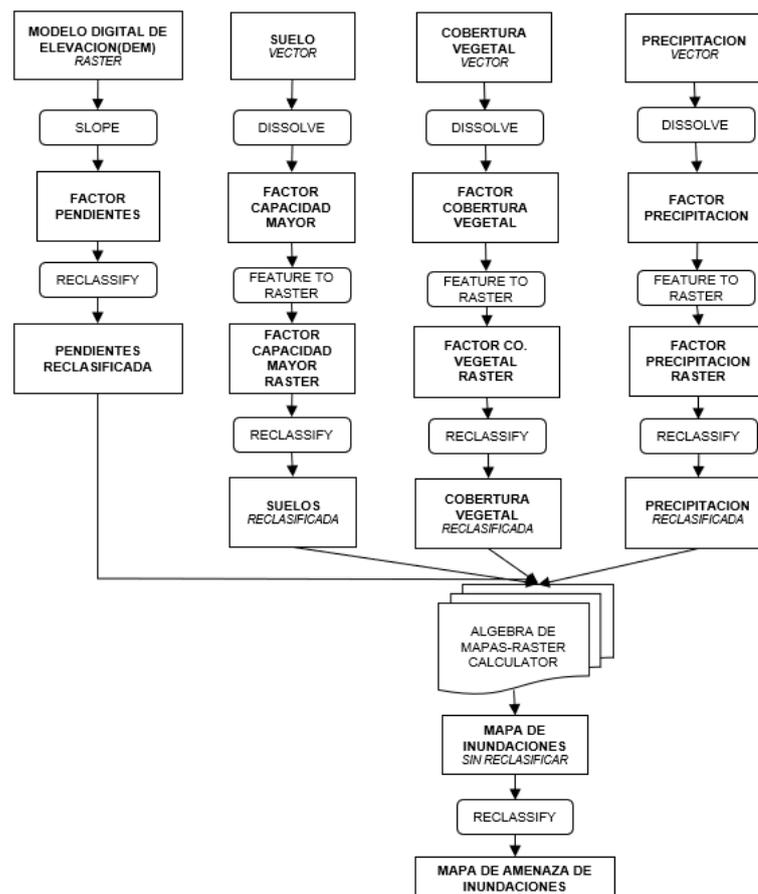
MTSR=Mapa de suelos-textura reclasificado

MPSR= Mapa de profundidad-suelo reclasificado

En la Figura 13 se puede apreciar el modelo cartográfico para amenaza de inundación, en el cual se aprecia las funciones aplicadas en Arcgis:

Figura 13

Modelo cartográfico para amenaza de inundaciones



Para la culminación del modelo cartográfico de peligros múltiples, se generó el Modelo Cartográfico de Deslizamientos, considerando los factores mencionados en la Fase II, luego de su ponderación individual, estos serán superpuestos, mediante el método de Algebra de mapas, para ello se le asignara a cada factor la siguiente ponderación: Al factor pendiente se asignó un peso del 30 %, al factor litológico el 25 %, a la cobertura vegetal 20 %, suelo el 15 % y a la

precipitación un 20 %. Para la determinación del modelo de movimientos en masa se utilizó la siguiente Fórmula (2):

$$MAD=(MPR*0.30)+(MLR*0.25)+(MCVR*0.20)+(MTSR*0.10)+(MPPR*0.20) \quad (2)$$

En donde:

MAD= Mapa de Amenaza de Deslizamiento

MPR= Mapa de Pendientes reclasificado

MLR= Mapa de Litología-Formaciones Geológicas reclasificada

MCVR=Mapa de Cobertura Vegetal reclasificado

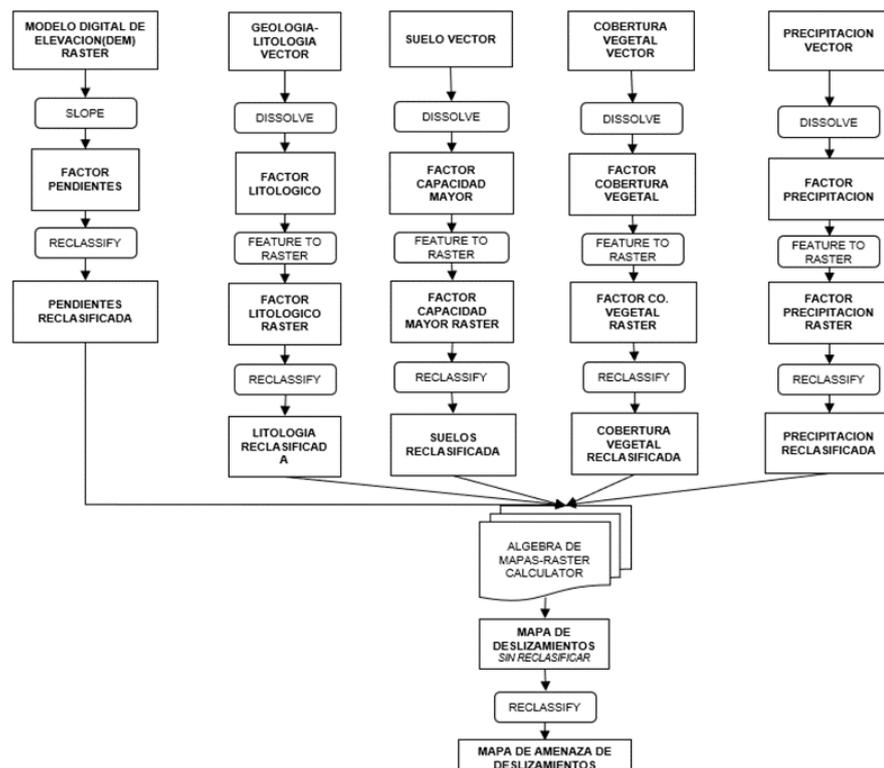
MTSR=Mapa de Suelos-Textura reclasificado

MPPR= Mapa de Precipitaciones reclasificado

Cabe indicar que estas ponderaciones pueden variar de acuerdo con el análisis y realidad local. En la Figura 14 se puede apreciar el modelo cartográfico para amenaza de deslizamientos:

Figura 14

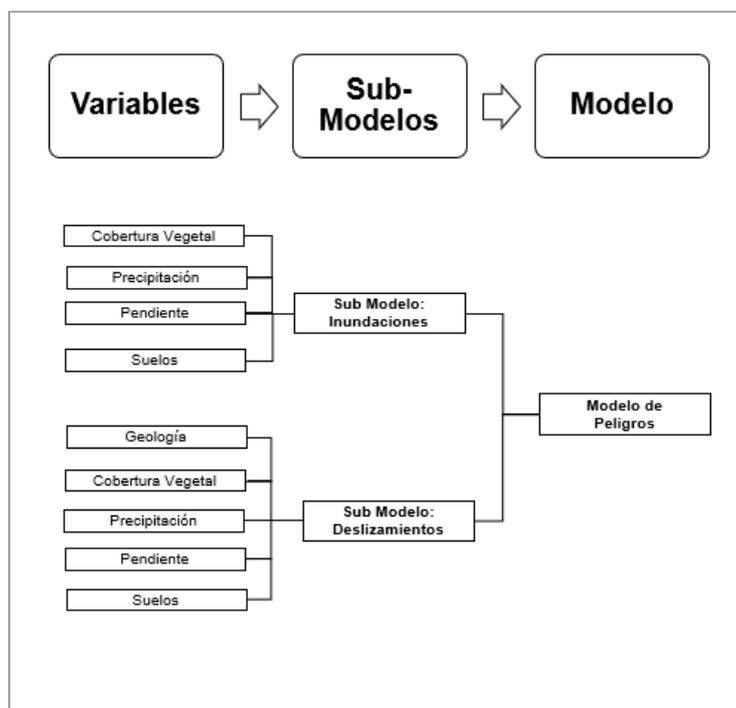
Modelo cartográfico para amenaza de deslizamientos



Finalmente, después de diseñar los submodelos cartográficos, nos permitió modelar la realidad operacional del Modelo Global de Peligros. En la Figura 15 se muestra el esquema general del modelamiento global de los peligros de la Cuenca del Río Moquegua.

Figura 15

Modelo conceptual para peligros



- **Determinación y desarrollo de modelo cartográfico de vulnerabilidad ambiental**

Se caracterizó la vulnerabilidad ambiental por inundación y deslizamiento en la Cuenca del río Moquegua, usando SIG. Para obtener el mapa temático se integró el modelo cartográfico de inundaciones y deslizamientos, se utilizó la siguiente fórmula (3):

$$MVA = (MD * 0.50) + (MI * 0.50) \quad (3)$$

En donde:

MVA= Mapa de vulnerabilidad ambiental

MD= Mapa de amenaza de deslizamiento

MI= Mapa de amenaza de inundación

Nota. Para la determinación de la vulnerabilidad ambiental se tomó en cuenta la metodología utilizada por Coromoto y Et al.(2017).

- **Cuantificación del deterioro de cobertura vegetal de la cuenca del Río Moquegua**

Para la cuantificación del deterioro de cobertura vegetal, se realizaron en el Software ArcGIS basándose en la técnica de teledetección, que permite dar un seguimiento a los cambios que se producen en los recursos terrestres de una determinada área. Se realizaron los siguientes procedimientos:

a) Selección y descarga de imágenes satelitales

Para la selección de tipos de imágenes satelitales, se consideró utilizar imágenes satelitales Landsat 8, seleccionando las imágenes donde exista poca presencia de nubosidad durante un periodo de 8 años (2013-2020), la descarga se realizó del sitio web: USGS Earth Explorer.

b) Procesamiento

(i) Recopilación de datos

Se recopiló información del satélite Landsat 8, en base de la zona de estudio. Luego se creó un dataset ráster que contenga un subconjunto de las bandas de dataset ráster originales.

(ii) Combinación de bandas

Para la combinación de bandas, las imágenes satelitales pueden ser analizadas en escala gris o coloreada, según el modelo de color RGB. Dependerá adaptar las imágenes a las necesidades, para nuestro caso se utilizó la combinación de banda color infrarrojo (vegetación) 5,4,3; esta banda nos permitirá distinguir la cobertura vegetal, zona urbana y cuerpos de agua.

(iii) Análisis de imágenes satelitales

Se utilizaron dos procedimientos:

- a. NDVI: Se utilizaron y manipularon las bandas Landsat 8 para el periodo 2013 – 2020 a través de la calculadora ráster a través del software ArcGIS 10.4.1. El resultado de la combinación varía de -1 a 1, por lo que cuanto más cerca de 1, mayor evidencia de presencia de vegetación, y cuanto más cerca de -1, mayor evidencia de presencia de suelo expuesto.
- b. Reclasificación del NDVI y cálculo de área: Luego de crear nuestro raster se utiliza la herramienta de análisis espacial “Reclass”, con la finalidad de reclasificar los valores del raster del área de estudio, finalmente se calcula el área en la tabla de atributos y se realiza la suma mediante “Summarize”, el cual nos permitirá resumir en una tabla la suma de cada valor en la imagen reclasificada.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Modelamiento geoespacial de peligros múltiples

4.1.1. Modelamiento cartográfico para amenaza de deslizamiento

- Mapa de cobertura vegetal

El factor de cobertura vegetal tiene un papel esencial, ya que determina la estabilidad del territorio, debido al tipo, densidad, capacidad de infiltración, estas constituyen factores de resistencia a procesos erosivos o deslizamientos. La presencia de vegetación, plantaciones, bosques densos frena la velocidad de escorrentía superficial e infiltraciones del agua producto de las lluvias, por lo que existe una baja influencia en peligros. Sin embargo, si hay presencia de terrenos degradados, terrenos con vegetación escasa y afloramientos rocosos, cultivos agrícolas y aún más si existe la presencia de cuerpos de agua, será más probable de una muy alta influencia sobre los peligros.

Tabla 21

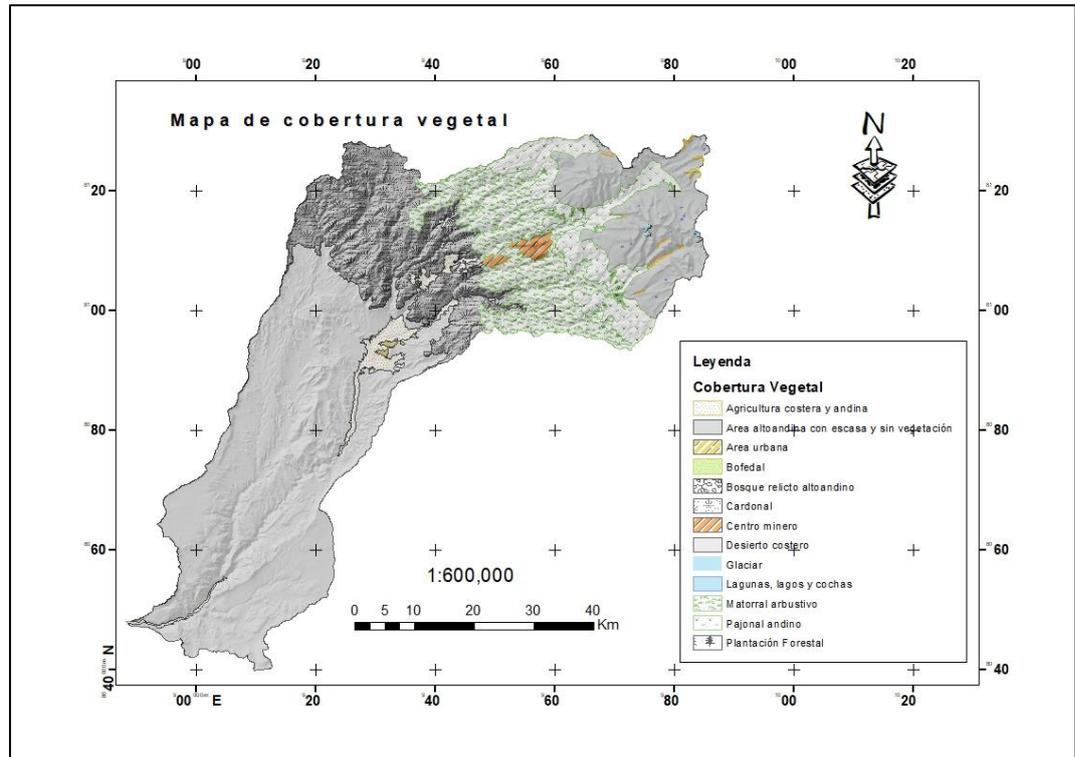
Ponderación del factor cobertura vegetal

Cobertura Vegetal	Ponderación	Descripción
Agricultura costera y andina	3	Moderado
Área altoandina con escasa y sin vegetación	5	Muy alto
Área urbana	0	No aplica
Bofedal	3	Moderado
Bosque relicto altoandino	4	Alto
Cardonal	4	Alto
Centro minero	0	No aplica
Desierto costero	5	Muy alto
Glaciar	0	No aplica
Lagunas, lagos y cochas	0	No aplica
Matorral arbustivo	3	Moderado
Pajonal andino	3	Moderado
Plantación forestal	2	Bajo

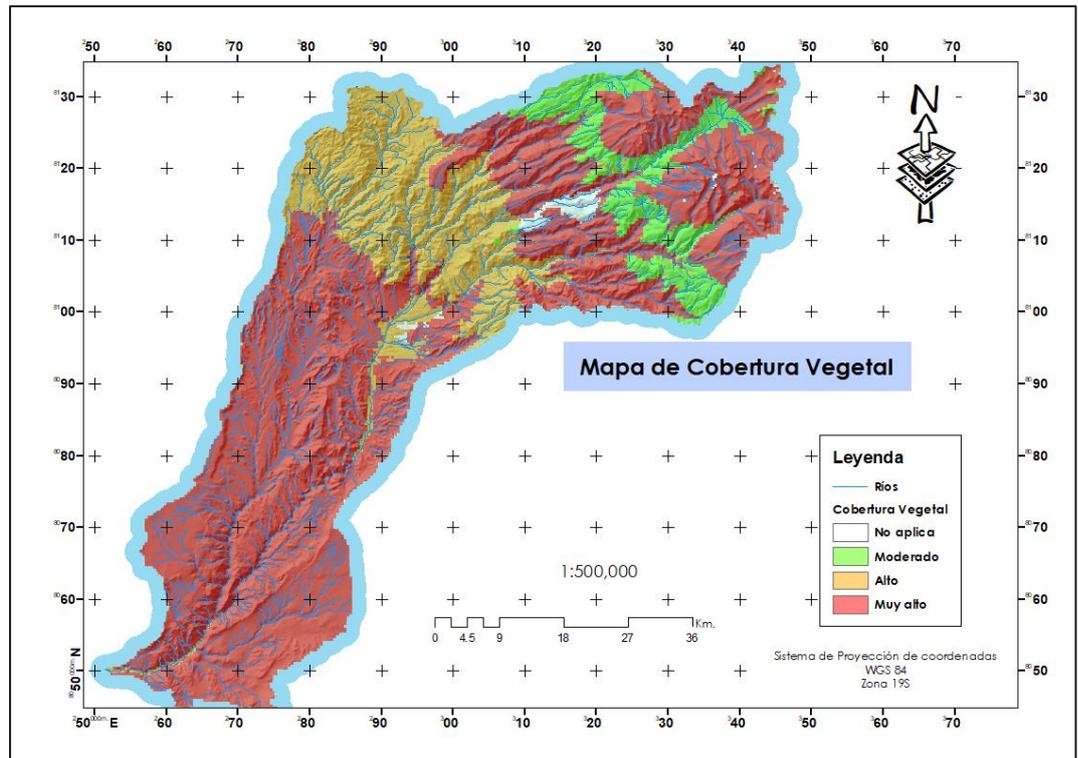
En la Figura 16 se aprecia el mapa de cobertura vegetal del área de estudio.

Figura 16

Mapa de Cobertura Vegetal



Una vez generado este mapa se procedió a su conversión en archivo raster de resolución espacial y su reclasificación de acuerdo con los parámetros indicados en la Tabla 21. En la Figura 17 se observa una afluencia “Muy Alta” de Áreas altoandinas con escasa y sin vegetación y desierto costero entre la parte baja y media de la cuenca del río Moquegua, es decir en estas zonas tienen más susceptibilidad a deslizamientos, y en menor proporción en la parte alta de la cuenca, asimismo se observa que en la parte alta de la cuenca existe una afluencia “Alta” de bosque relicto altoandino y cardonal y “Moderado” con la presencia de Agricultura costera y andina, bofedal, matorral arbustivo y pajonal andino.

Figura 17*Mapa de Cobertura Vegetal reclasificado*

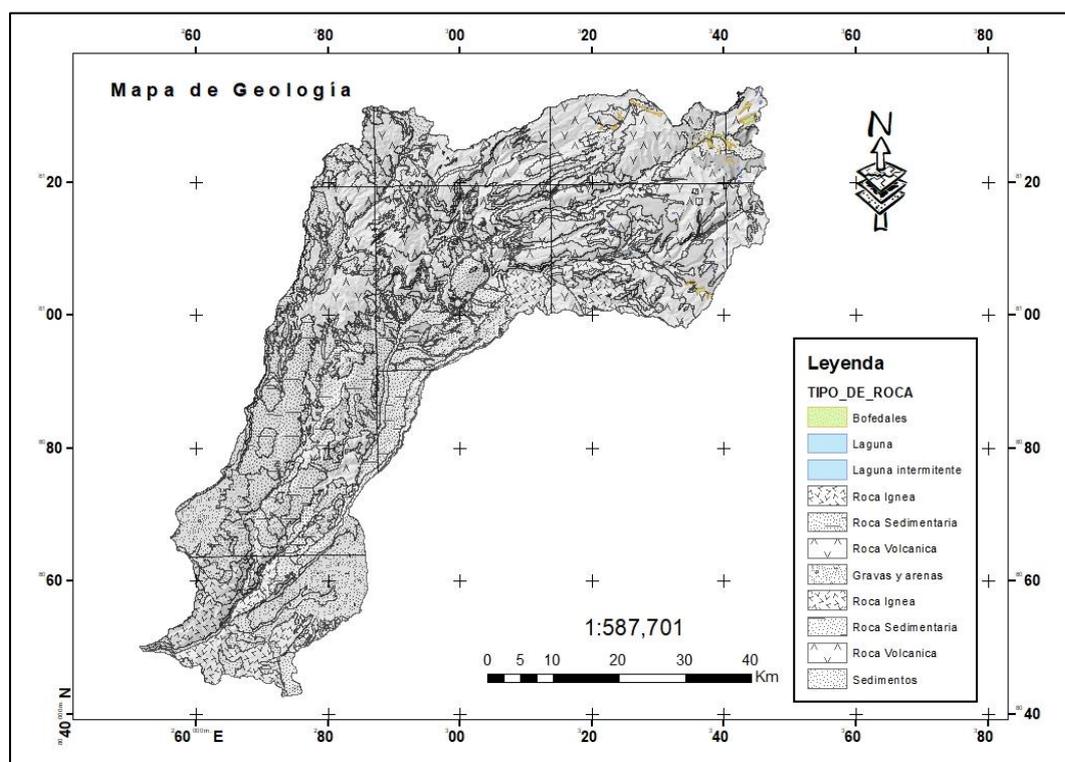
- Mapa de geología

Para la ponderación del factor geológico, se consideró la litología, como indicador fundamental, puesto que este interviene en la naturaleza y composición fisicoquímica de las rocas, estas influyen en el relieve debido a los cambios de sus características de la roca como: dureza, adherencia, compactación, meteorización, fragilidad, consolidación. Este factor permite determinar que formaciones geológicas tienen más susceptibilidad para que se dé el proceso de movimiento de masas o rocas en la superficie terrestre. En la Tabla 22 se puede apreciar las formaciones geológicas y la ponderación del área de estudio.

Tabla 22*Ponderación del factor Formación Geológica-Litología*

Geología	Ponderación	Descripción
Sedimentos	5	Muy Alto
Rocas Ígneas plutónicas	2	Bajo
Gravas y arenas	1	Muy bajo
Rocas Ígneas volcánicas	3	Moderado
Roca Sedimentaria	4	Alto
Laguna	0	No aplica
Zona Urbana	0	No aplica
Bofedales	0	No aplica

A continuación, se presenta el mapa de las formaciones geológicas-litología de la cuenca del Río Moquegua

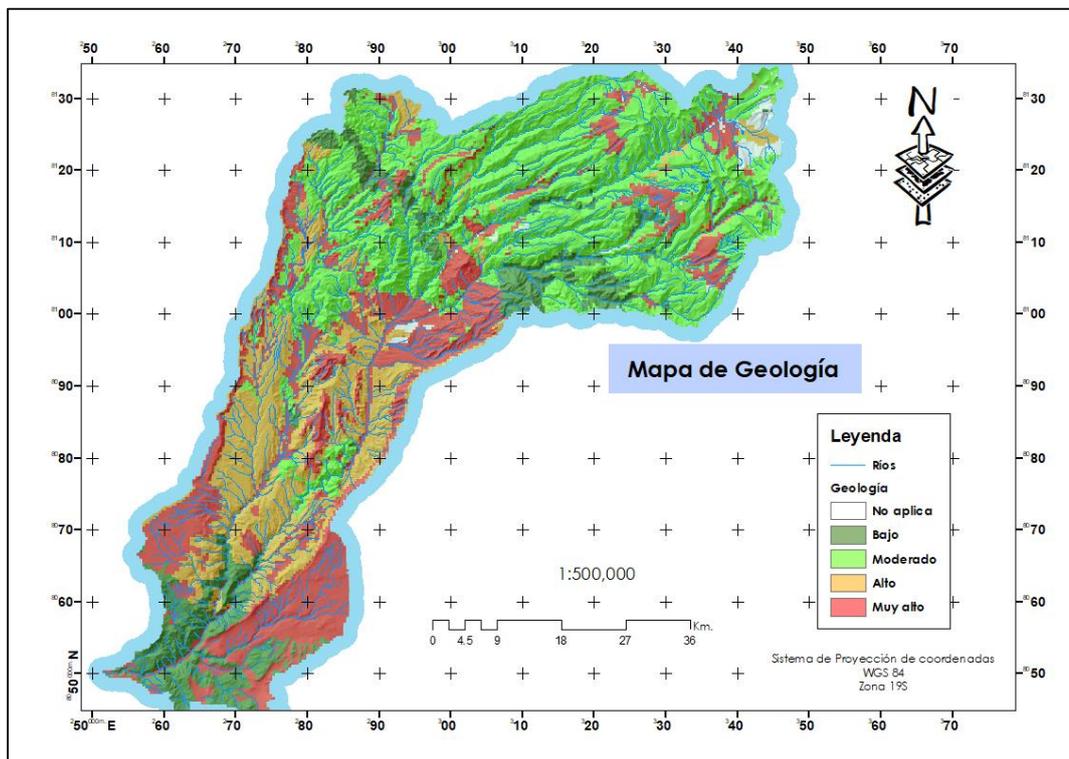
Figura 18*Mapa de Geología*

Posterior a esto se transformó a formato raster el mapa generado, y se realizó una reclasificación de acuerdo con la ponderación descrita en la Tabla

22, teniendo como resultado el mapa de formaciones geológicas reclasificado (Figura 19); la reclasificación se realizó mediante la herramienta reclassify del software ArcGIS. En la Figura 19 se aprecia que en la zona media y parte baja de la cuenca existe una “Muy Alto” afluencia de sedimentos, lo cual nos indica que existe una mayor susceptibilidad a peligros, en la parte alta de la cuenca se observa que existe una afluencia “Moderada” de rocas ígneas volcánicas, se evidencia también que entre la parte baja y media de la cuenca existe la presencia “Alta” de rocas sedimentarias y se observa que en la parte baja de la cuenca existe la afluencia de rocas ígneas plutónicas y de gravas y arenas.

Figura 19

Mapa de Geología reclasificado



- **Mapa de pendiente**

La ponderación para deslizamientos considera que a mayor pendiente mayor es la probabilidad de que ocurra un deslizamiento.

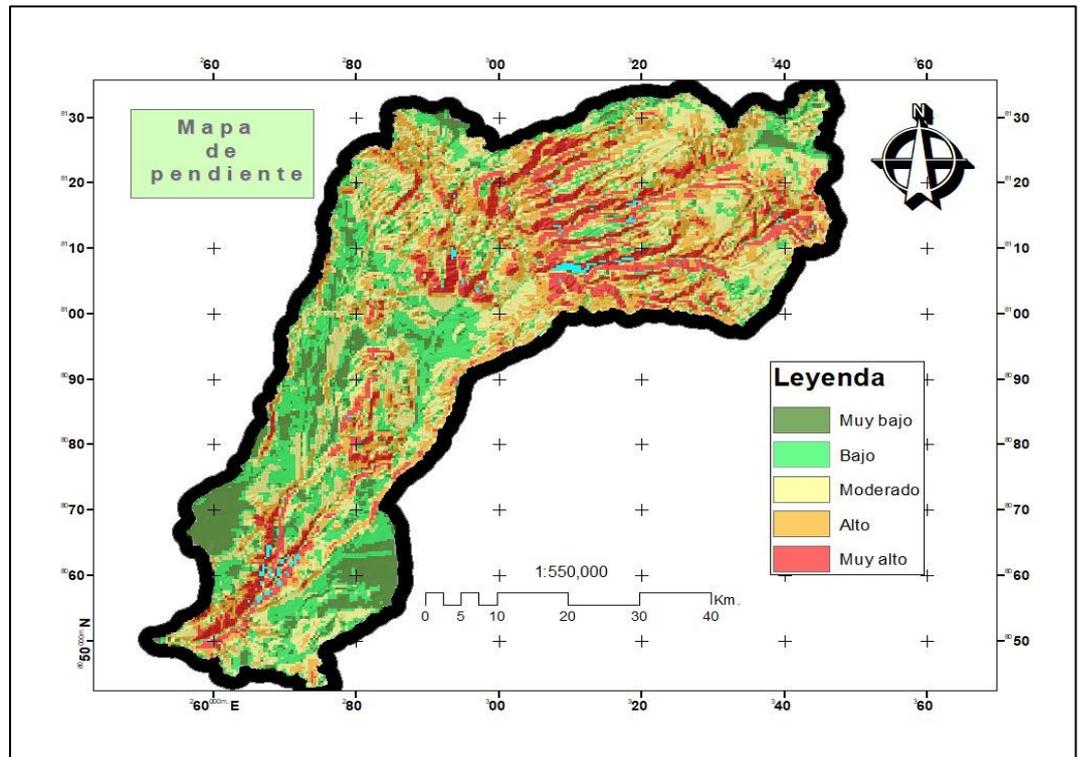
Tabla 23*Ponderación del factor pendiente*

Pendiente	Ponderación	Descripción
< 2	1	Muy bajo
4	1	Muy bajo
8	2	Bajo
15	3	Moderado
25	4	Alto
50	4	Alto
>50	5	Muy Alto

Para la generación del mapa de pendientes reclasificado se utilizó el Modelo Digital de Elevación, utilizando la herramienta slope se creó el mapa de pendientes, luego con la herramienta reclassify se realizó una reclasificación de los valores (Figura 20) de acuerdo a la ponderación indicada en la Tabla 23. En la figura 20 se aprecia que en la Cuenca del Río Moquegua existe una pendiente con >50 con un nivel “Muy alto” en la parte alta de la cuenca y en la parte baja de la cuenca, y en menor proporción existe pendientes entre <2 – 50.

Figura 20

Mapa de Pendientes reclasificado



- Mapa de suelos

El suelo es un factor, que, según su clasificación, nos indica que áreas son más propensas que otras a deslizamientos e inundaciones. En la Figura 21, se puede apreciar la clasificación de suelo del área de estudio.

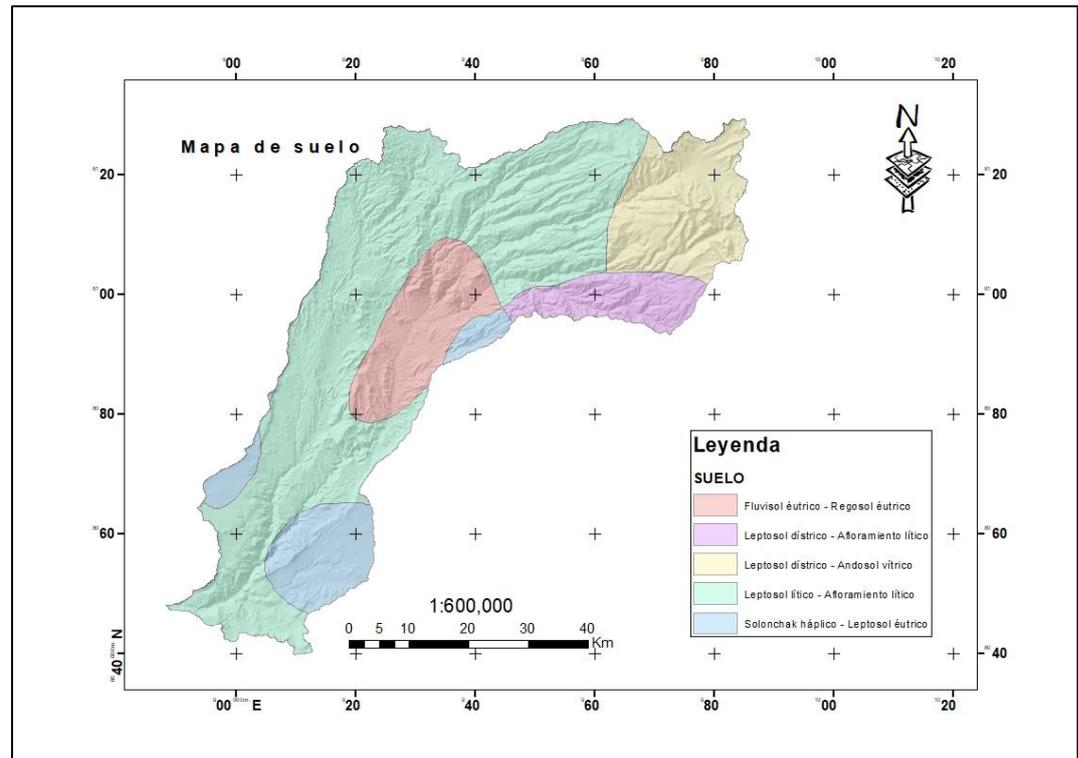
Tabla 24

Ponderación del factor suelo

Suelos	Ponderación	Descripción
Leptosol lítico - Afloramiento lítico	4	Alto
Leptosol dístico - Andosol vítrico	4	Alto
Solonchak háplico - Leptosol éutrico	5	Muy alto
Fluvisol éutrico - Regosol éutrico	5	Muy alto
Leptosol dístico - Afloramiento lítico	4	Alto

Figura 21

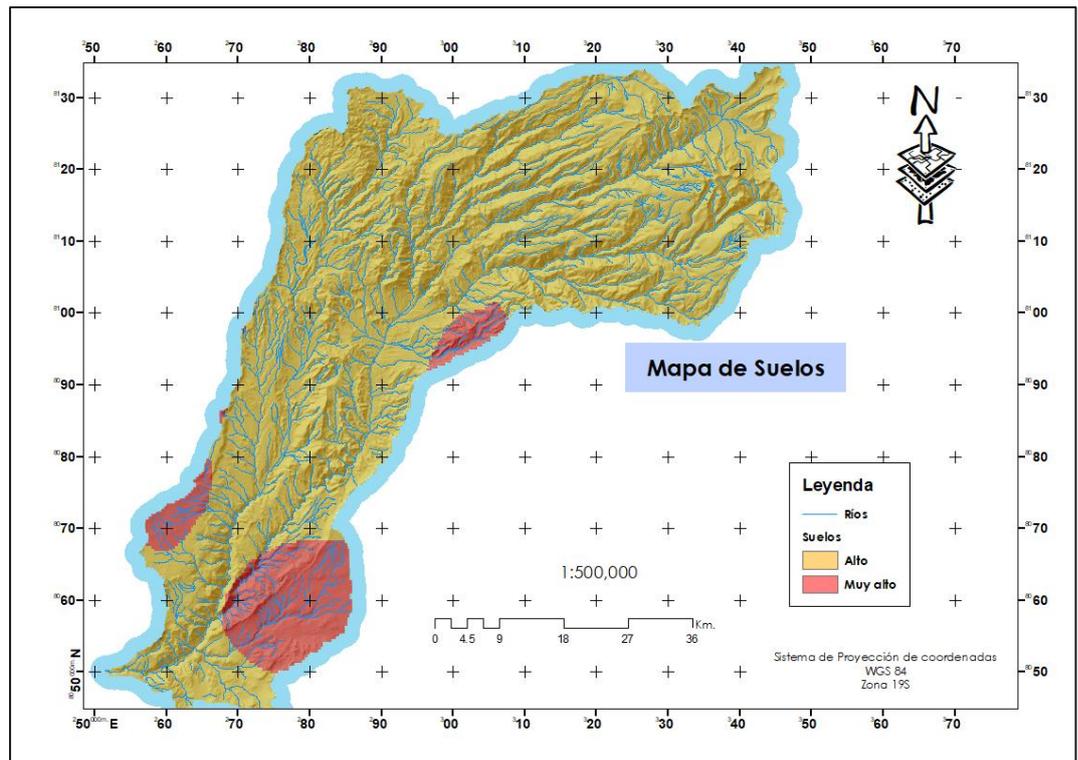
Mapa de Suelo



A este mapa se realizó la transformación correspondiente a formato raster y su reclasificación de acuerdo a la ponderación indicada en la Tabla 24. En la Figura 22, se puede apreciar que en la Cuenca del Río Moquegua existe una "Muy Alto" presencia de las unidades de suelo: Solonchak háplico - Leptosol éútrico y Fluvisol éútrico - Regosol éútrico; así mismo se evidencia un grado "Alto" de afluencia de las siguientes unidades de suelo: Leptosol lítico - Afloramíento lítico, Leptosol dístrico - Andosol vítrico y Leptosol dístrico - Afloramíento lítico, el cual ocupa la mayor área de estudio.

Figura 22

Mapa de Suelo reclasificado



- Mapa de precipitación

Este factor hidrológico es importante en la estabilidad de pendientes, por ello en la ponderación se ha considerado en función al tipo de clima, ya que, si existen tenemos zonas con clima lluvioso o húmedo, generarían inundaciones provocando deslizamientos o movimientos de masa, bajo este criterio se basa en que las zonas donde el clima es lluvioso o húmedo son más propensas a sufrir deslizamientos.

Tabla 25

Ponderación del factor clasificación climática

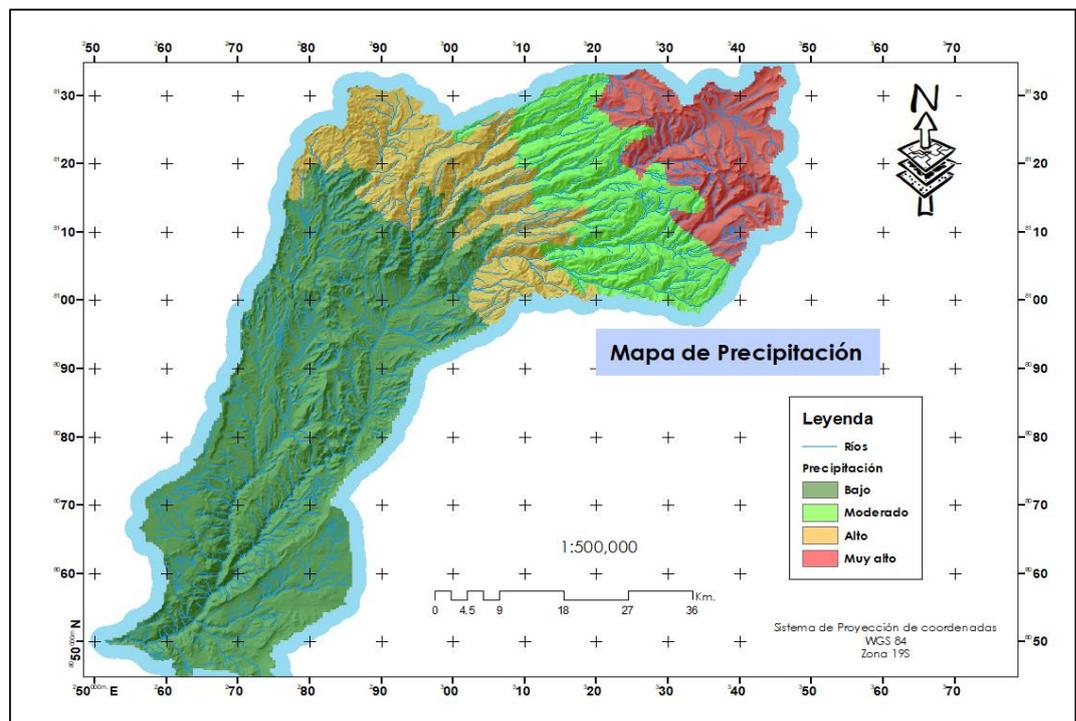
Precipitaciones	Ponderación	Descripción
Semiseco(otoño-invierno-primavera)Frio-Seco	2	Alto
Semiárido(otoño-primavera-invierno)Templado-Seco	3	Moderado

Precipitaciones	Ponderación	Descripción
Lluvioso(otoño-seco-invierno seco)semifrígido-húmedo	5	Muy Alto
Árido(deficiencia de lluvias)semicálido-húmedo	1	Bajo

Para la generación del mapa de precipitaciones reclasificado se convirtió el mapa de precipitaciones a archivo ráster y la reclasificación se realizó de acuerdo con los parámetros de la Tabla 25. En la figura 23, se puede observar que, en la parte alta de la Cuenca del Río Moquegua, evidencia que el clima lluvioso (otoño-seco-invierno seco) semifrígido-húmedo, este tipo de clima genera inundaciones y pueden provocar deslizamientos. En la parte de baja indica que existe una deficiencia de lluvias, en la parte media de la cuenca existe un grado alto, indicando que existe un clima semiárido y grado moderado un clima semiseco en la cuenca del Río Moquegua.

Figura 23

Mapa de Precipitaciones reclasificado



Generación del modelo cartográfico para amenaza de deslizamientos

Para la determinación del modelo cartográficos de amenazas de deslizamientos se consideró 5 factores mencionados, para posteriormente realizar la ponderación individual, luego se integrarán utilizando el procedimiento algebra de mapas. Finalmente, el resultado obtenido del modelo se tendrá que hacer otra reclasificación, con la finalidad de agrupar mejor los valores.

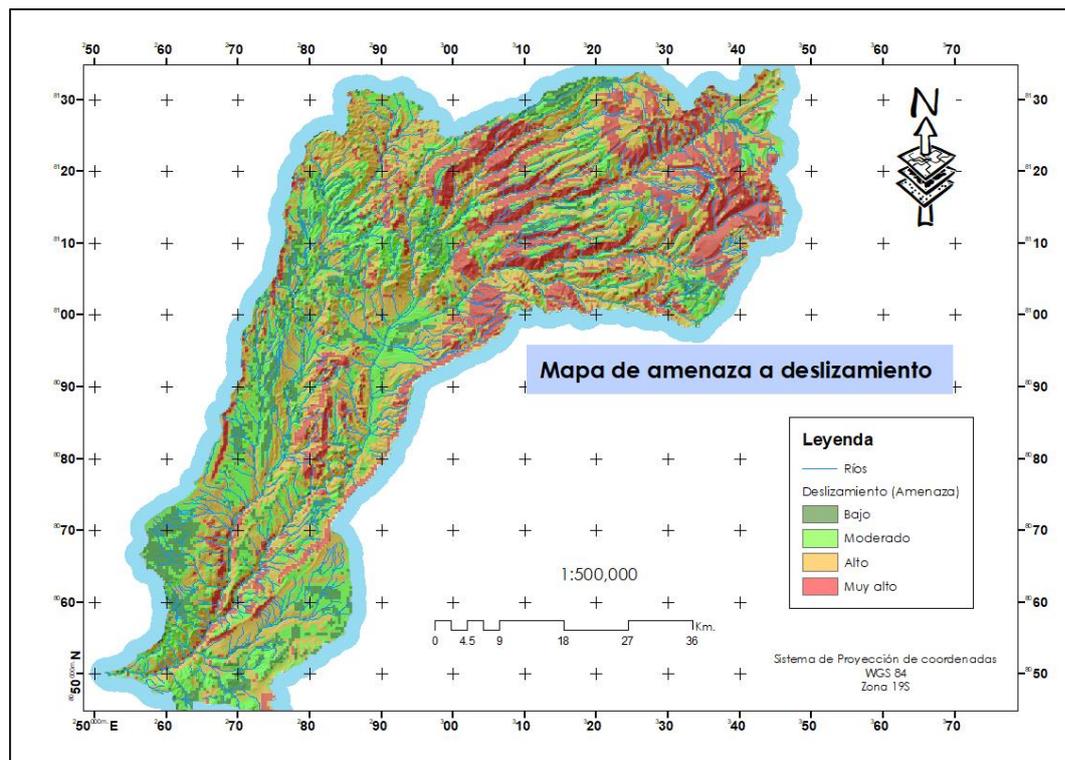
Tabla 26

Grados de amenaza de deslizamientos

Simbología	Grado	Ponderación	Descripción
	Bajo	1	Sectores estables que requieren medidas correctivas solo en caso de grandes obras de infraestructura.
	Moderado	2	Sectores medianamente propensos a deslizamientos. Se recomienda realizar estudios geotécnicos para expansión urbana.
	Alto	3	No se recomienda la construcción de infraestructura
	Muy alto	4	Se deben mantenerse como áreas de protección.

Nota. Adaptado por Barrantes y Et al.(2011)

En la figura 24 se puede apreciar que el grado “Muy Alto”, se caracteriza a zonas más propensas a la ocurrencia de deslizamientos, deben mantenerse como áreas de protección, estas zonas se ubican en la parte alta y media de la cuenca del Río Moquegua.

Figura 24*Mapa de amenazas de deslizamientos*

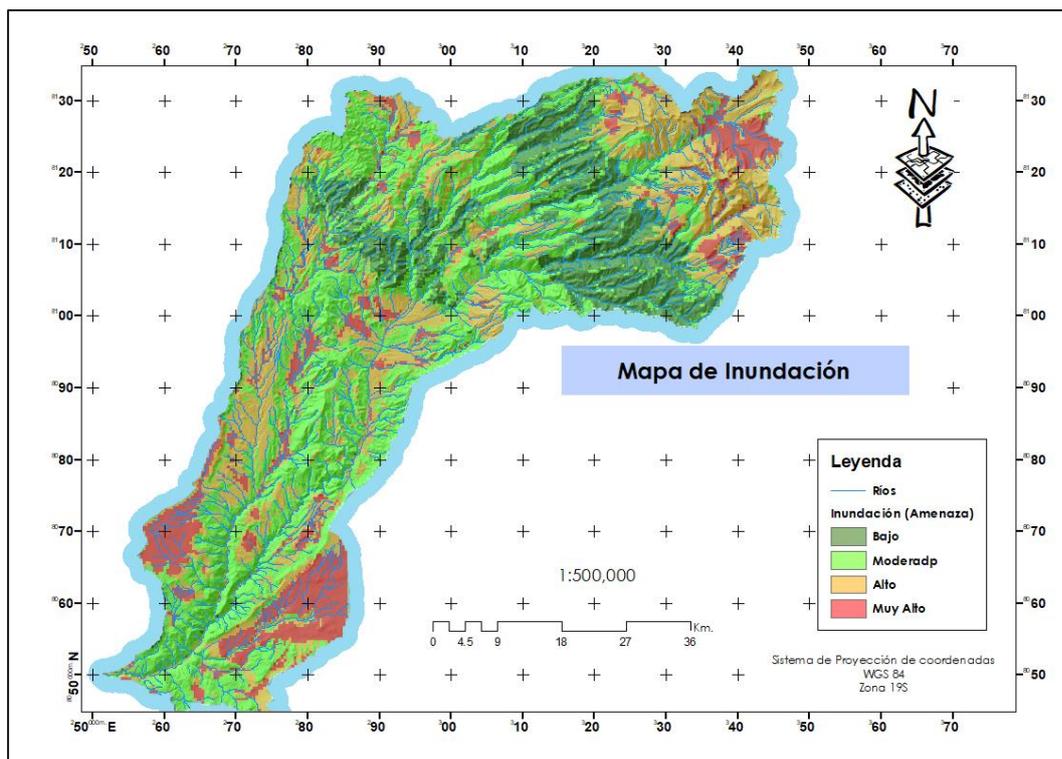
4.1.2. Modelamiento cartográfico para amenaza de inundaciones

Este modelo se genera luego del análisis de los factores antes mencionados, los cuales según su ponderación individual pasa a la respectiva combinación de capas, cada factor está influenciado por un valor ponderado de acuerdo a su importancia para la amenaza analizada.

En la siguiente figura se observa el Mapa de amenaza de inundaciones del modelo aplicado, en el cual se pudo determinar un alto medio y bajo grado de amenaza, observándose que en las microcuencas y ríos evidencia una mayor amenaza de inundación:

Figura 25

Mapa de amenazas de inundaciones

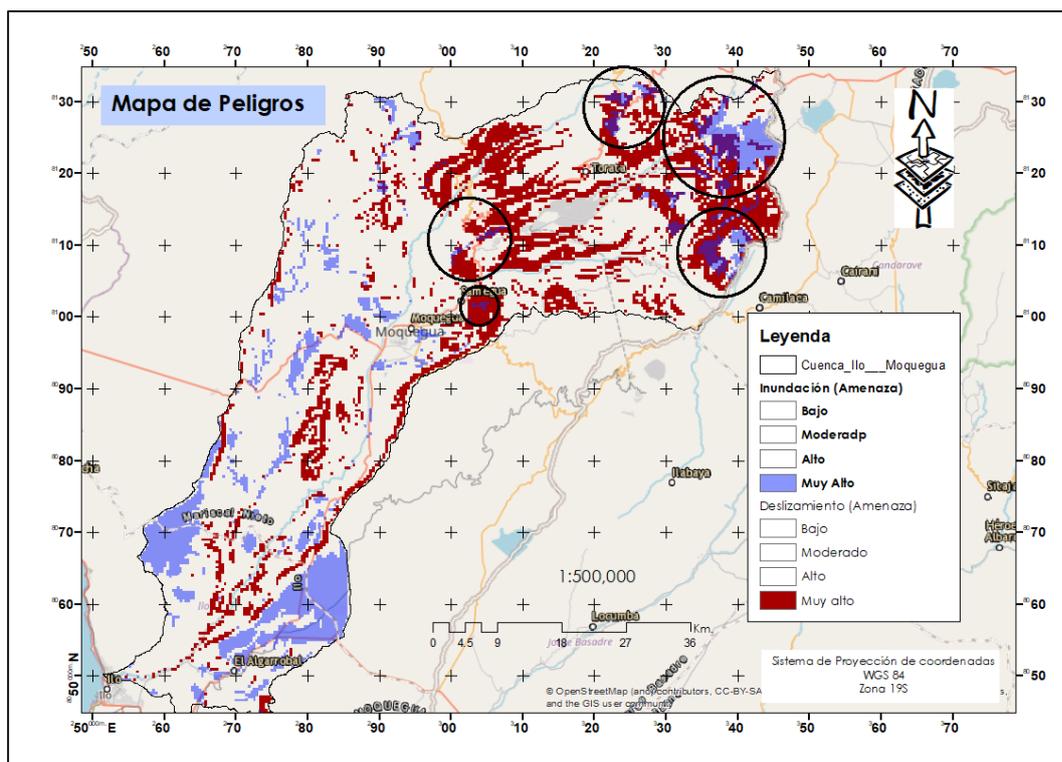


4.1.3. Modelamiento cartográfico para peligros

Este Modelo es el resultado de la integración lógica de los submodelos: Inundación y Deslizamiento. En la Figura 26, muestra la distribución de áreas con múltiples peligros debidamente clasificados en niveles de peligro Muy Alto, Alto, Moderado y Bajo, asociados con la ocurrencia de inundaciones y deslizamientos. Se puede apreciar que en la zona del distrito de Samegua existe un grado muy alto de amenaza y de inundación debido a la cercanía de la cuenca del Río Moquegua, en la parte alta de la cuenca cerca al distrito de Torata, existe un nivel muy alto de deslizamientos e inundaciones.

Figura 26

Mapa de peligros



4.2. Vulnerabilidad ambiental de la Cuenca del Río Moquegua

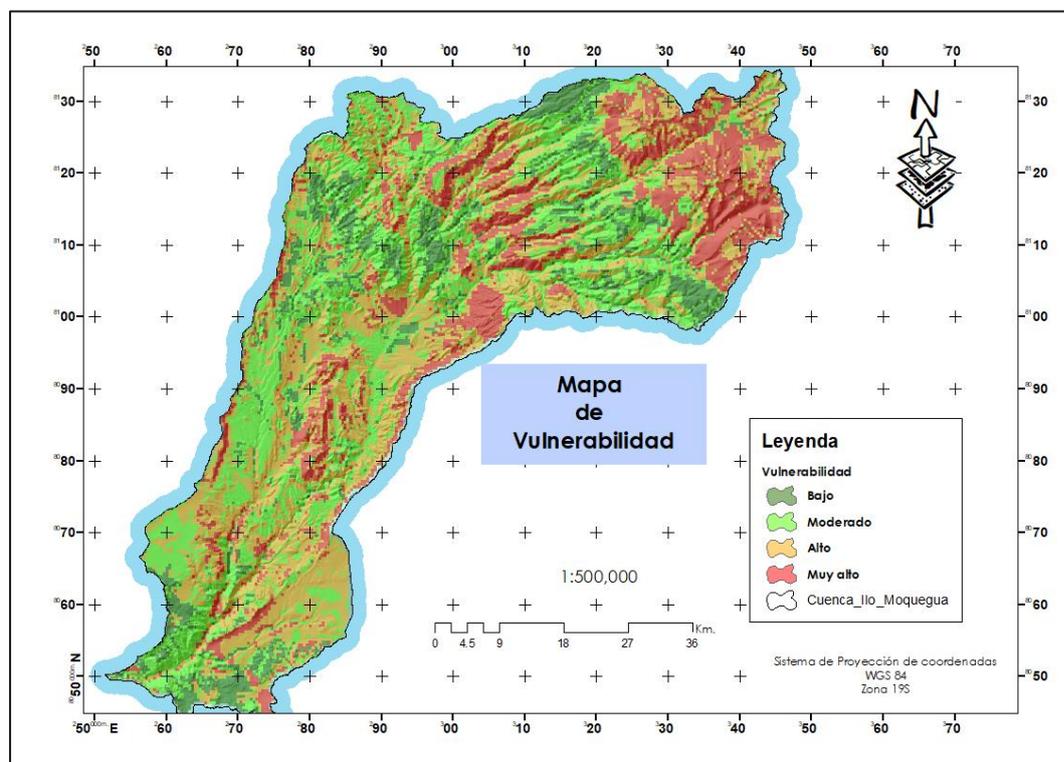
La integración de información temática realizada a partir de cálculos algebraicos entre los mapas permitió establecer los parámetros para la elaboración del mapa de Vulnerabilidad Ambiental final del área de estudio, la ponderación pretendía indicar la influencia ante inundaciones y deslizamientos, el cual puede distinguir o influir en la mayor o menor vulnerabilidad del área. Los valores encontrados en el mapa de Vulnerabilidad Ambiental reflejan la susceptibilidad de las zonas a actividades antropogénicas o contaminación.

En la Figura 27 se aprecia el mapa de vulnerabilidad ambiental, en el cual se observa que en las zonas de sombreadas de color rojo con grado muy alto nos indican que tienen más susceptibilidad a las actividades antropogénicas o de contaminación, esto se debe a la presencia de unidades mineras, ante la ocurrencia de inundaciones o deslizamiento tienden a tener una mayor susceptibilidad a una contaminación de la cuenca del Río Moquegua, también se

observa que en la parte alta existe un grado muy alto, de acuerdo a una investigación por Sanchez (2019) durante época de estiaje la concentración de Al, Pb y Sr fueron bajas, no representando riesgo alguno para la vegetación, animales, personas y el ambiente. Sin embargo en época de avenida, la concentración de Aluminio, se elevó en un 85 % esto compromete seriamente a la flora y fauna de la cuenca, siendo una zona de mayor susceptibilidad a la contaminación y toxicidad por Aluminio. También existe un reporte de la Autoridad Nacional del Agua(ANA).(2014) en el cual se identificaron en la cuenca alta y baja del Rio Moquegua Ilo, vertimiento de Aguas Residuales, lo cual en época de avenida puede significar una vulnerabilidad muy alta para la flora, fauna y población cercana.

Figura 27

Mapa de vulnerabilidad ambiental

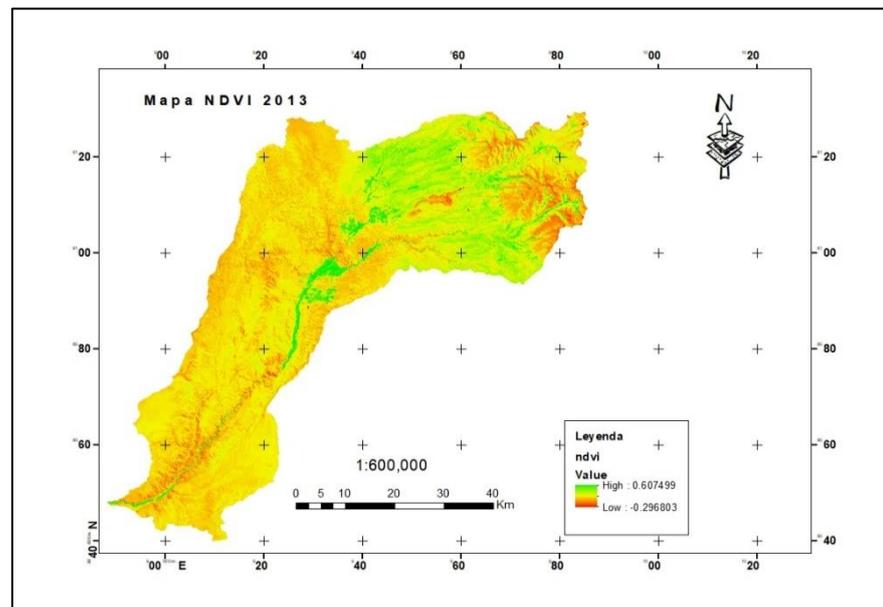


4.3. Deterioro de cobertura vegetal en la Cuenca del Río Moquegua

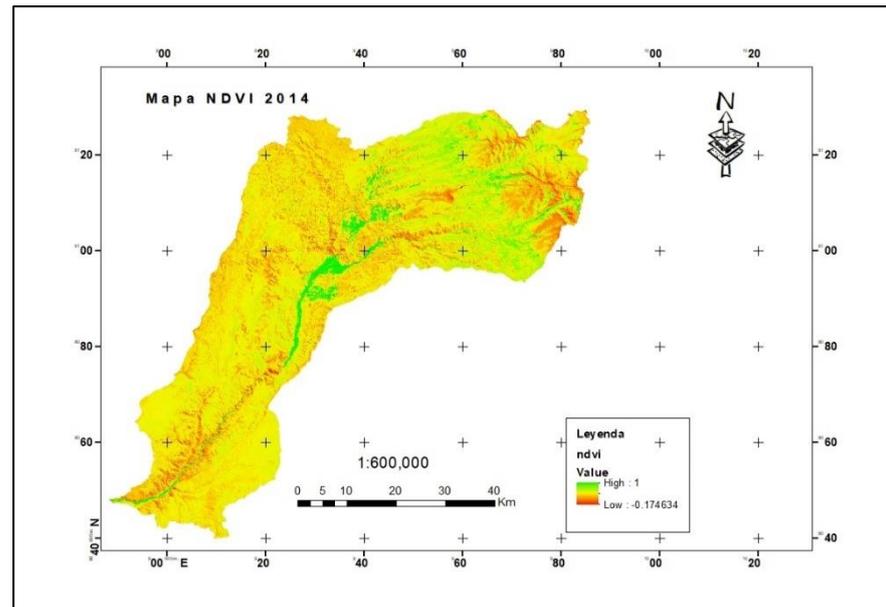
De acuerdo la figura 28 se observa que, en el año 2013, que los valores están dentro de (0,60 y -0,29), siendo 0,60 el valor que indica mayor evidencia de vegetación y -0.29 es un valor que indica que son zonas expuestas, como se observa en la figura, en la cuenca del río Moquegua, por sus características biofísicas, es una zona de estudio con suelo expuesto. La existencia de cobertura vegetal se debe a sus principales afluentes los cuales son los ríos Tumilaca, Torata, Moquegua e Ilo.

Figura 28

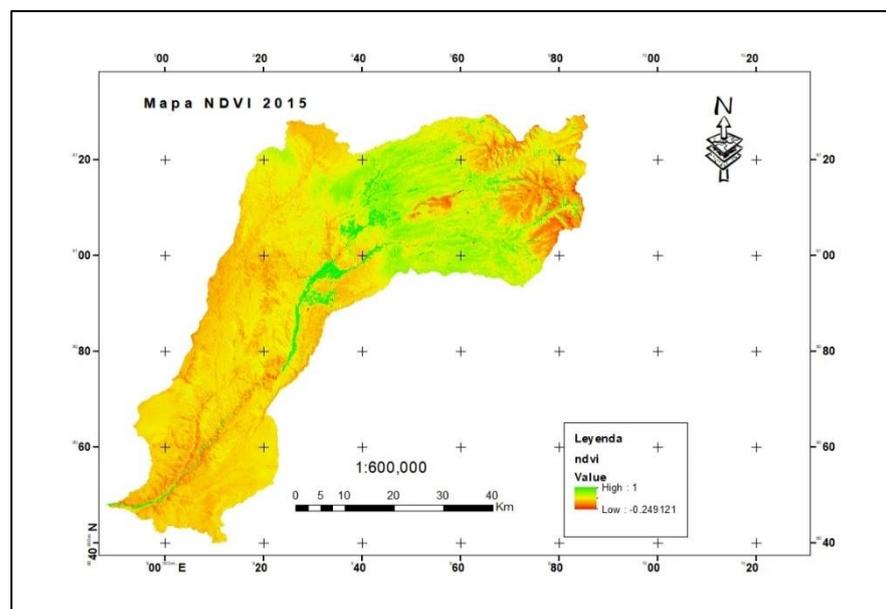
Mapa NDVI 2013



En la figura 29 se observa la cobertura vegetal del año 2014, los valores están dentro de (1,0 y -0,17), el valor 1,0 indica que en la zona de estudio hay una mayor evidencia de vegetación, y el valor -0,17 indica que existe mayor evidencia de presencia de suelo expuesto. En este periodo se puede observar que existe un cambio visible en la cobertura en la parte alta de la cuenca del río Moquegua.

Figura 29*Mapa NDVI 2014*

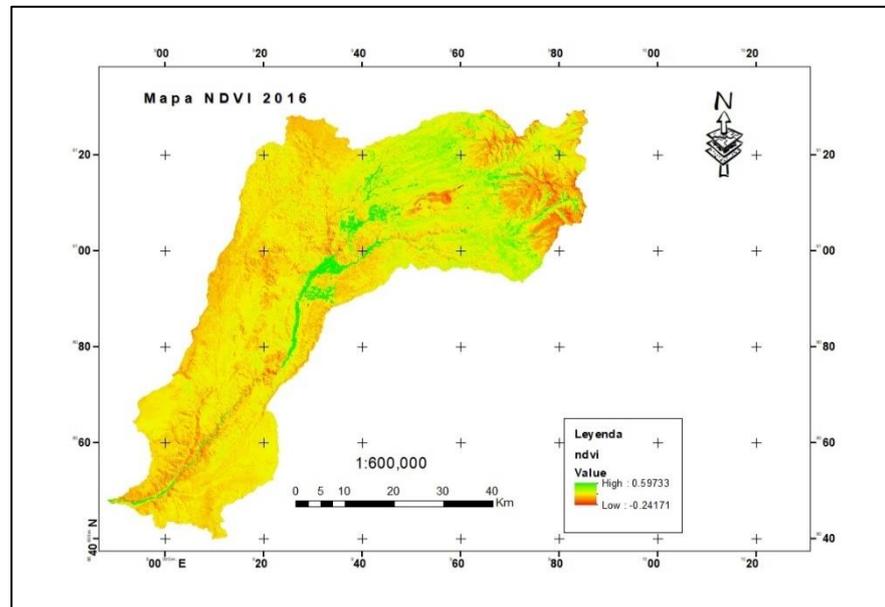
En la figura 30 se observa que el año 2015, los valores del NDVI fueron, respectivamente, -0,24 (suelo expuesto) y 1,0 (áreas con mayor densidad de vegetación).

Figura 30*Mapa NDVI 2015*

Para el año 2016, los valores del NDVI fueron, respectivamente, -0,24 (suelo expuesto) y 0,59 (áreas con mayor densidad de vegetación).

Figura 31

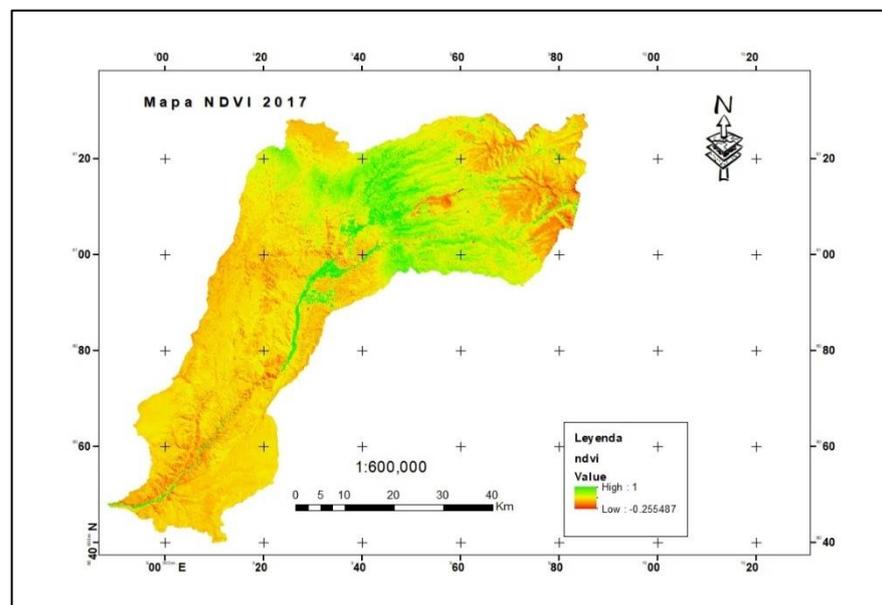
Mapa NDVI 2016



De acuerdo con la Figura 32. Se observa que, en el año 2017, que los valores están dentro de 1,0 el valor que indica mayor evidencia de vegetación.

Figura 32

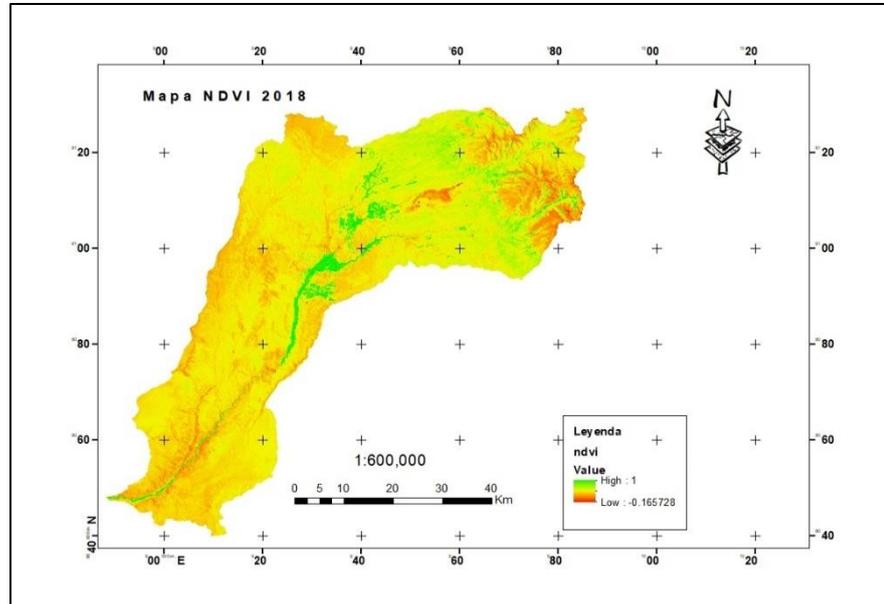
Mapa NDVI 2017



En el año 2018, los valores están dentro de 1,0 y el valor -0,16 indica que existe mayor evidencia de presencia de suelo expuesto.

Figura 33

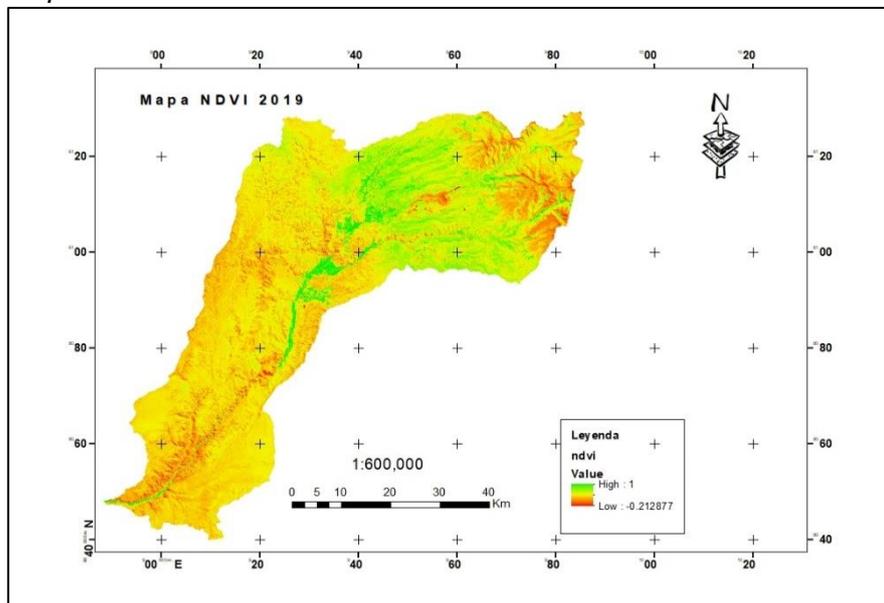
Mapa NDVI 2018



Para el año 2019, los valores fueron de -0,21 (suelo expuesto) y 1,0 (áreas con mayor densidad de vegetación).

Figura 34

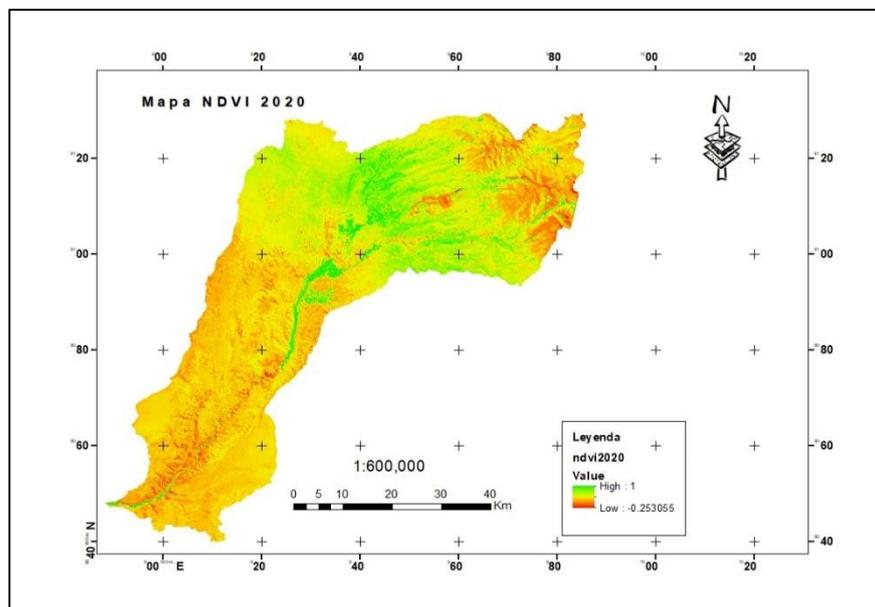
Mapa NDVI 2019



Por último, para el año 2020, los valores del NDVI fueron, respectivamente, -0,25 (suelo expuesto) y 1,0 (áreas con mayor densidad de vegetación). Observándose en este último periodo un incremento de cobertura vegetal en la zona alta de la cuenca.

Figura 35

Mapa NDVI 2020

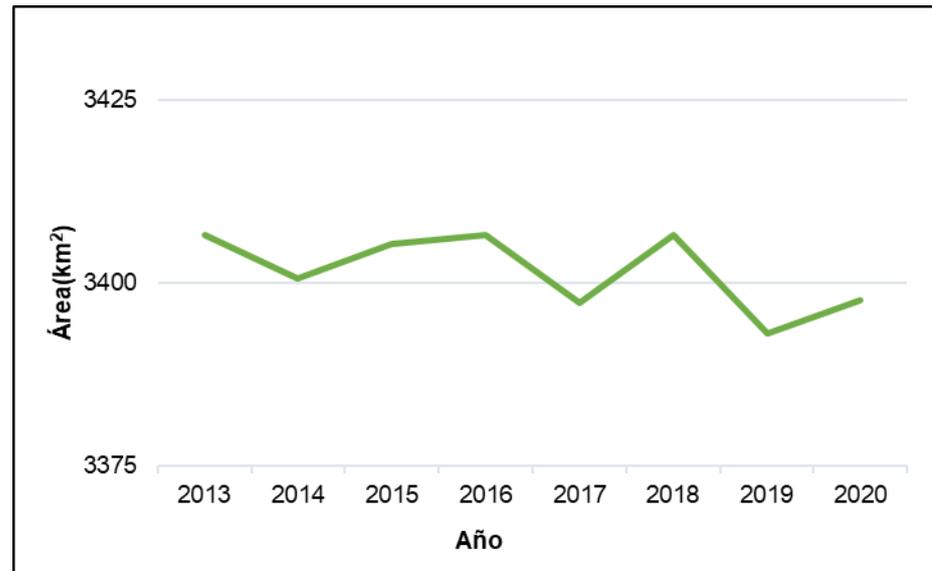


Se cuantificó el área degradada mediante la reclasificación del Mapa ráster, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 27

Área de cobertura vegetal de la cuenca del río Moquegua

Año	Área(km²)
May-2013	3406,60
Jul-2014	3400,54
Ago-2015	3405,25
Ago-2016	3406,61
Jun-2017	3397,36
Set-2018	3406,56
Jun-2019	3393,17
Jun-2020	3397,72

Figura 36*Cobertura vegetal en el periodo 2013-2020*

En la figura 30 se puede observar que, en el periodo de estiaje en la cuenca del Río Moquegua la cobertura vegetal disminuye de manera gradual, esto puede ser un indicador de susceptibilidad ante diferentes amenazas como inundaciones, deslizamientos, actividad antrópica y contaminación.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. Análisis de hipótesis

Con respecto a las hipótesis planteadas:

- El modelamiento geoespacial permite la evaluación de zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples en la cuenca del río Moquegua en el año 2021.

A partir de los resultados se puede afirmar la hipótesis general, ya que se observa que la modelación geoespacial permitió determinar las áreas de vulnerabilidad ambiental al superponer mapas de amenazas a deslizamientos e inundaciones, fue posible reclasificar las áreas más susceptibles a actividades antropogénicas o contaminación, que resulta en grado muy alto, alto, moderado y bajo; Asimismo, los peligros múltiples se determinaron analizando y ponderando los factores que favorecen su aparición, trasladados a un modelo cartográfico y su aplicación tuvo los siguientes resultados: La cuenca del río Moquegua presenta niveles de amenazas por deslizamientos e inundaciones (muy alto, alto, moderado y bajo).

- H_{1} : Se puede cuantificar el deterioro de cobertura vegetal haciendo uso de un SIG en la cuenca del río Moquegua.

Considerando desde la figura 28 hasta la figura 35 mediante el NDVI se pudo identificar el deterioro de cobertura vegetal haciendo uso de un SIG en la cuenca del Río Moquegua, asimismo, la Tabla 27 y Figura 36, se observa la cuantificación de área de cobertura vegetal en el periodo de 2013-2020, bajo este resultado podemos afirmar la primera hipótesis específica.

- H_{2} : Existe un nivel muy alto grado (>4) de peligro por deslizamiento en la zona de estudio.

Considerando la Tabla 26, se puede apreciar que en la Figura 24 existe un nivel “muy alto” en la parte alta y media de la cuenca del río Moquegua, bajo este resultado podemos afirmar la segunda hipótesis.

- Hi₃: Existe un nivel muy alto grado (>4) de peligro por inundación.

Considerando la Figura 25 existe un nivel “muy alto” en la parte alta y media de la cuenca del río Moquegua, bajo este resultado podemos afirmar la tercera hipótesis.

- Hi₄: Existe una relación entre las zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples en la cuenca del río Moquegua.

Considerando la Figura 27 existe una relación entre las zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples, mediante la integración de mapas de amenazas de inundaciones y deslizamientos se pudo obtener el mapa de vulnerabilidad, se tuvo como resultado que mientras se tenga un grado muy alto en las zonas por inundación o deslizamientos, existe mayor susceptibilidad por contaminación o actividad antrópica, bajo este resultado podemos afirmar la cuarta hipótesis.

5.2. Análisis de hipótesis con otros estudios similares

- De acuerdo con la hipótesis general: El modelamiento geoespacial permite la evaluación de zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples en la cuenca del río Moquegua en el año 2021.

Según Meza (2010) en su tesis denominada “Aplicación del Sistema de Información Geográfica (SIG) en el modelamiento del río Ucayali - Identificación de los cambios y su influencia ambiental (Sector Pucallpa)”. Una de sus hipótesis de investigación es “Establecer un modelo cartográfico adecuado que sirva para la identificación de las áreas críticas, los cambios del río y el impacto ambiental”, tuvo como resultado la identificación de los centros poblados urbanos y rurales que están expuestos a los riesgos. Asimismo, la elaboración de los mapas georreferenciados y su base de datos: litoestratigráfico, unidades geomorfológicas, cobertura vegetal,

cambios del río, centros poblados urbanos y rurales, y los mapas de peligros permitió determinar las limitaciones y potencialidades que tiene el ámbito de estudio.

En nuestra investigación el resultado obtenido tuvo resultado el modelamiento geoespacial de las zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples en la cuenca del río Moquegua, así como también mapas temáticos que permitió identificar los peligros, nuestra hipótesis contrasta con la hipótesis de la investigación por Meza (2017).

- De acuerdo con la hipótesis específica: Se puede cuantificar el deterioro de cobertura vegetal haciendo uso de un SIG en la cuenca del río Moquegua.

Según Santos y et al., (2016) en el artículo denominada “Índice de vegetación (ndvi) y análisis de vulnerabilidad ambiental de la llanura costera del estado de Piauí”, concluye que como resultado, para la imagen de 1999, los valores mínimo, medio y máximo del NDVI fueron, respectivamente, -0,4 (cuerpos de agua), 0,12 (suelo expuesto y dunas) y 0,69 (áreas con mayor densidad de vegetación, manglares). Para la imagen de 2014, los valores NDVI mínimo, promedio y máximo fueron -0,23, 0,19 y 0,60, respectivamente.

En nuestra investigación la hipótesis contrasta con los resultados obtenido por Santos y et al., (2016), ya que en la figura 28 se observa que, en el año 2013, que los valores están dentro de (0,60 y -0,29), siendo 0,60 el valor que indica mayor evidencia de vegetación. En la figura 29 para el año 2014, los valores están dentro de (1,0 y -0,17), siendo 1,0 el valor que indica mayor evidencia de vegetación, y el valor -0,17 indica que existe mayor evidencia de presencia de suelo expuesto. En la figura 30 se observa que el año 2015, los valores del NDVI fueron, respectivamente, -0,24 y 1,0.

Para el año 2016, los valores del NDVI fueron, respectivamente, -0,24 y 0,59, de acuerdo con la Figura 32. Se observa que, en el año 2017, que los valores están dentro de (1,0 y -0,255), siendo 1,0 el valor que indica mayor evidencia de vegetación, en el año 2018, que los valores están dentro de (1,0 y -0,16), siendo 1,0 el valor que indica mayor evidencia de vegetación, y el valor -0,16 indica que existe mayor evidencia de presencia de suelo expuesto. Para el año 2019, los valores del NDVI fueron, respectivamente, -0,21 y 1,0. Por último, para el año 2020, los valores del NDVI fueron, respectivamente, -0,25 (suelo expuesto) y 1,0 (áreas con mayor densidad de vegetación).

Asimismo, la Tabla 27 y Figura 36, tuvo como resultado la cuantificación de área de cobertura vegetal en el periodo de 2013 se obtuvo un área de 3406,60 km², en el año 2014 se obtuvo una menor área de cobertura vegetal 3400,54 km², en el 2015 la cobertura aumento a 3405,25 km², en el año 2016 aumento ligeramente la cobertura a 3406,61 km², en el año 2017 disminuyó a 3397,36 km², en el 2018 aumento la cobertura a 3406,56 km², en el 2019 la cobertura vegetal disminuyo a 3393,17 km² y por último en el año 2020 la cobertura no tuvo un cambio significativo, la cobertura fue de 3397,72 km².

Esta variación es un indicador de que la resiliencia y adaptabilidad de la zona de estudio con los años va disminuyendo, esto podría generar una mayor susceptibilidad, ya que en la zona de estudio se identificó dos peligros múltiples (inundaciones y deslizamientos). Es por ello que es necesario tomar medidas necesarias ante cada peligro en periodo húmedo, ya que puede perjudicar a la población cercana a la cuenca del río.

- De acuerdo con la segunda hipótesis específica: Existe un nivel muy alto grado (>4) de peligro por deslizamiento en la zona de estudio.

Según Viltres (2015) en su artículo denominado "Evaluación de la peligrosidad por deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo", concluye que al caracterizar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo, tuvo como resultado que las clases de peligrosidad se dividieron a partir de los pesos asignados a cada mapa (baja, moderada, alta,).

La peligrosidad baja se observa mayormente en los consejos populares de Calabazas, Carpintero, San Pedro y Marieta, la peligrosidad moderada se visualiza en de una manera u otra en todo el municipio, con mayor presencia en la parte central en forma de franja que se extiende desde el suroeste hasta el noreste, La peligrosidad alta muestra una distribución similar a la clase anterior observándose la mayor concentración en los consejos populares, El Sopo, El Carmen, La Plazuela, Castro, El Progreso, El Sitio y El Jobo.

En nuestra investigación el resultado obtenido considerando la Tabla 25, se puede apreciar que en la Figura 24 existe un nivel "muy alto" en la parte alta y media de la cuenca del río Moquegua, debido a factores condicionantes y desencadenantes

identificados en la zona de estudio, por ella la hipótesis contrasta con los resultados obtenido por Viltres (2015).

- De acuerdo con la tercera hipótesis específica: Existe un nivel muy alto grado (>4) de peligro por inundación.

Según Peña (2017) en su investigación denominada "Modelamiento geoespacial para evaluar la vulnerabilidad ambiental, ante la ocurrencia de inundaciones, en la cuenca baja del río Chillón, 2017 " en su hipótesis "Existe una alta probabilidad de ocurrencia de inundaciones, que pueda afectar un área poblada, infraestructura física y/o el ambiente, en la cuenca baja del río Chillón", tuvo como resultado que en los sectores identificados en la cuenca baja existe un nivel, considerado alto. Nuestra hipótesis contraste con los resultados obtenidos por Peña (2017), ya que la Figura 25 se visualiza un nivel "muy alto" en la parte alta y media de la cuenca del río Moquegua.

- De acuerdo con la tercera hipótesis específica: Existe una relación entre las zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples en la cuenca del río Moquegua.

Según Calderon M. (2017), en su tesis de investigación denominada "Modelamiento Geoespacial para la identificación de zonas críticas vulnerables a peligros múltiples, cuenca hidrográfica Camana-Majes-Colca, Arequipa", concluye que la evaluación de los peligros naturales y el análisis de su vulnerabilidad permite tomar medidas preventivas que eviten los efectos de un desastre. Asimismo, la aplicación de la modelación espacial con sistemas de información geográfica (SIG) permitió la identificación de fenómenos naturales y analizar de manera espacial su susceptibilidad.

Se identificaron zonas vulnerables a peligros múltiples; categorizando el territorio en los siguientes niveles: Muy Alto, donde se encuentran los centros poblados de Viscachani, Achoma, Choco, Pampacolca, Madrigal, Chilcaymarca, entre otros; debido fisiografía accidentada, escasa cobertura vegetal, intensas precipitaciones y condiciones sociales bajas. Nivel Alto, que representa el 47.9% del territorio. Nivel Medio, que representa el 17.0% y Nivel Bajo, que representa el 16.2%

de la cuenca donde se encuentran los centros poblados de Cicera, Villa Hermosa Pedregal, San Isidro del Labrador, CP ubicados en las pampa de irrigación de Majes.

Nuestra investigación contrasta con los resultados obtenidos por Calderon M. (2017), ya que mediante la integración de mapas de amenazas de inundaciones y deslizamientos permitió modelar y analizar el mapa de vulnerabilidad, en la Figura 27 se aprecia el mapa de vulnerabilidad, en el cual se visualiza que en las zonas de sombreadas de color rojo con grado muy alto nos indican que tienen más susceptibilidad a las actividades antropogénicas o de contaminación, esto se debe a la presencia de unidades mineras, ante la ocurrencia de inundaciones o deslizamiento tienden a tener una mayor susceptibilidad a una contaminación de la cuenca del Rio Moquegua, también se observa que en la parte alta existe un grado muy alto.

Este resultado es respaldado por estudios realizados por Sánchez (2019) el cual nos indica que durante época de estiaje la concentración de Al, Pb y Sr fueron bajas, no representando riesgo alguno para la vegetación, animales, personas y el ambiente. Sin embargo, en época de avenida, la concentración de Aluminio se elevó en un 85% esto compromete seriamente a la flora y fauna de la cuenca, siendo una zona de mayor susceptibilidad a la contaminación y toxicidad por Aluminio. Asimismo, un reporte por Autoridad Nacional del Agua, (2014) se pudo identificar que en la cuenca alta y baja del Rio Moquegua Ilo, hay vertimiento de Aguas Residuales, lo cual en época de avenida puede significar una vulnerabilidad muy alta para la flora, fauna y población cercana.

CONCLUSIONES

Se cuantificó el deterioro de cobertura vegetal haciendo uso de un SIG en la cuenca del río Moquegua, mediante el NDVI se tuvo resultados satisfactorios para lograr el objetivo del presente estudio, detectando el cambio en la cobertura vegetal en el período 2013 - 2020.

La identificación del grado de peligro por deslizamiento en la zona de estudio permitió obtener un nivel alto grado (5) y nivel bajo grado (1), el grado alto se caracteriza a zonas más propensas a la ocurrencia de deslizamientos y no se recomienda la construcción de infraestructura, estas zonas se ubican en la parte alta y media de la cuenca del Río Moquegua.

La identificación del grado de peligro por deslizamiento en la zona de estudio permitió obtener un nivel muy alto, alto, moderado y bajo, observándose que existe un peligro alto cerca de las microcuencas ya que, en época de avenidas, existe la probabilidad de que ocurra un desbordamiento de estas, pudiendo afectar a la población cercana a estas.

La determinación de la relación entre zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples se realizó mediante la integración de mapas de amenazas identificadas en el área de estudio, lo cual permitió identificar las áreas de mayor vulnerabilidad, la ocurrencia de deslizamientos o inundaciones influyen en la susceptibilidad relacionada con actividades antropogénicas y contaminación ambiental.

RECOMENDACIONES

Se recomienda difundir la metodología aplicada a las instituciones públicas, como la Municipalidad Distrital de Samegua y Gobierno Regional de Moquegua, para un mejor ordenamiento territorial en la región y realicen una toma oportuna de decisiones, que contribuya a un desarrollo integral del territorio de manera sustentable.

Se recomienda continuar con los estudios de investigación en toda la región mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica, con el fin de verificar la metodología, de modo que estos proporcionen información actualizada y detallada.

Se recomienda realizar más estudios sobre vulnerabilidad ambiental mediante el uso de un Sistema de Información Geográfico (SIG) , con la finalidad de diseñar estrategias para minimizar la pérdida económica, social y ambiental en la región.

Se recomienda recopilar los mapas obtenidos de este trabajo de investigación con los mapas de riesgo sísmico o de otros fenómenos naturales, para obtener un plan de mitigación el cual pueda incluir más fenómenos naturales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamo, S. (2001). *Espacios sub-nacionales especiales: áreas de alta vulnerabilidad ambiental*. Santiago .
- Autoridad Nacional del Agua(ANA). (2014). *Informe Técnico de Actualización de identificación de fuentes contaminantes en la Cuenca Moquegua Ilo y Sub Cuenca Carumas*. Moquegua.
- Banco Interamericano de Desarrollo(BID). (2020). *BID Invest*. Obtenido de <https://www.iadb.org/es/ove/cambio-climatico-y-la-gestion-de-riesgo-de-desastres>
- Barrantes Castillo, G., Barrantes Sotela, O., y Nuñez Roman , O. (2011). *Efectividad de la metodología Mora-Vahrson modificada en el caso de los deslizamientos provocados por el terremoto de cinchona Costa Rica*. Costa Rica.
- Calderon Mendoza, J. (2017). *Modelamiento Geoespacial para la Identificación de zonas críticas vulnerables a peligros multiples, cuenca hidrográfica Camana-Majes-Colca,Arequipa*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Coromoto Marín, H., Bravo Medina, C. A., Manjarrez Fuentes, N. N., y Torres Navarrete, E. T. (2017). *Análisis de vulnerabilidad ambiental de la cuenca alta del río San Pedro, estado Miranda, Venezuela*. Venezuela.
- Crepani, E., Simeão de Medeiros, J., Hernandez Filho, P., Duarte, V., y Faria Barbosa, C. C. (2001). *Sensación remota y geoprocesado aplicado a la zonificación ecológica y económica y a la planificación territorial*. Brasil.
- Gobierno Regional Moquegua. (2018). *Plan de Gestión del riesgo de desastres*. Moquegua.
- Instituto Nacional de Defensa Civil(INDECI). (2006). *Manual básico para la estimación del riesgo*. Lima.
- Larrea Carreño, V. (2013). *Diagnóstico de Vulnerabilidad ambiental de los habitantes en realcion al riesgo de deslizamiento de laderas e inundaciones en nueva Prosperina*. Guayaquil: Universidad Casa Grande.

- Lázaro Barreto , M. R. (2015). *Análisis de peligros y vulnerabilidades para la gestión del riesgo de desastres, utilizando el Sistema de Información Geográfica(SIG) en la localidad de Acopampa - Carhuaz, Ancash*. Huaraz.
- Manchego Huaquipaco, M. G. (2017). *Variabilidad Espacio-Temporal de la vegetación en la cuenca Quilca-Chili en el periodo 2005-2015* . Arequipa.
- Meza Arquíñigo, C. (2010). *Aplicación del Sistema de Información Geográfica(SIG) en el modelamiento del río Ucayali* . Lima.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento(MVCS). (2019). *Guía para la evaluación del riesgo de desastres, en los servicios de saneamiento, ocasionados por peligros originados por fenómenos naturales*. Lima.
- Ministerio del Ambiente(MINAM). (2013). *Diagnóstico para la gestión del cambio climático en Moquegua*. Moquegua.
- Morea Rodriguez, M. L., y Huerta Rodriguez, J. C. (2013). *Sistema de Información Geográfica*. Quito.
- Palafox Juárez, E. B. (2008). *Propuesta de un Modelo de Simulación de Impacto y Vulnerabilidad Ambiental en la Cuenca del Río Valles*. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Peña Reyes, M. A. (2017). *Modelamiento geoespacial para evaluar la vulnerabilidad ambiental, ante la ocurrencia de inundaciones, en la cuenca baja del río Chillón, 2017"*. Lima.
- Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo(PNUD). (2007). *Informe sobre desarrollo humano 2007-2008*. Nueva York: Grupo Mundi-Prensa.
- Rojas Delgado , D. (2018). *Implementación del Sistema de Información Geoespacial del Instituto Mixto de Ayuda Social(SIG IMAS) para la administración de la información Institucional de carácter espacial asociada al Área de Titulación en la provincia Limón(Tesis de Pregrado)*. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.
- Sanchez Valencia, R. R. (2019). *Niveles de Metales Pesados (Pb, Al y Sr) en epoca de avenida y estiaje en el rio osmore, Región Moquegua*. Arequipa.
- Santillán, G., Fernández, J., y Correia, J. (2005). *Manual para la prevención de desastres y respuesta e emergencias.La experiencia de Apurímac y Ayacucho*. Lima.

Santos Sousa, R., Souza Valladares, G., y Mira de Espíndola, G. (2016). Análise do índice de vegetação (ndvi) e vulnerabilidade ambiental da planície costeira do estado do Piauí. *da Casa da Geografia de Sobral*, 99.

SEMARNAT. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Ciudad de México.

Tarazona Mendoza, J. (2018). *Estimación del riesgo por movimientos en masa en la subcuenca del Río Ancash-Yungay 2016*. Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

Viltres Milán, Y. (2015). *Evaluación de la peligrosidad por deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo*. Cuba.

World Vision. (2013). *Manual de Manejo de Cuencas*. Ottawa.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

Zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples mediante modelamiento geoespacial en la cuenca del Río Moquegua, 2021						
Título Probable	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Dimensión	Escala	Metodología
¿En qué medida el modelamiento geoespacial permite la evaluación de las zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples en la cuenca del río Moquegua en el año 2021?	Evaluar las zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples mediante un modelamiento geoespacial en la cuenca del río Moquegua en el año 2021.	El modelamiento geoespacial permite la evaluación de zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples mediante un modelamiento geoespacial en la cuenca del río Moquegua.	Variable dependiente - Peligros múltiples	- Inundaciones - Deslizamientos	- Bajo - Moderado - Alto - Muy alto	<ul style="list-style-type: none"> - Recopilación y revisión de información - Procesamiento de información - Modelamiento geoespacial y análisis en la zona de estudio
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable independiente - Vulnerabilidad ambiental	- Amenazas por deslizamientos e inundaciones	Escala	
¿Cómo cuantificar el deterioro de cobertura vegetal de la cuenca del río Moquegua?	Cuantificar el deterioro de la cobertura vegetal mediante el uso de SIG en la cuenca del río Moquegua.	Hi1: Se puede cuantificar el deterioro de cobertura vegetal haciendo uso de un SIG en la cuenca del río Moquegua.				
¿Cuál es el grado de peligro por deslizamiento en la zona de estudio?	Identificar el grado de peligro por deslizamiento en la zona de estudio.	Hi2: Existe un nivel muy alto grado (>4) de peligro por deslizamiento en la zona de estudio.				
¿Cuál es el grado de peligro por inundación?	Identificar el grado de peligro por inundación	Hi3: Existe un nivel muy alto grado (>4) de peligro por inundación				
¿Qué relación existe entre las zonas de vulnerabilidad ambiental y los peligros múltiples en la cuenca del río Moquegua?	Analizar la relación entre las zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples en la cuenca del río Moquegua en el año 2021.	Hi4: Existe una relación entre las zonas de vulnerabilidad ambiental y peligros múltiples en la cuenca del río Moquegua.				