

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**



**“MODELAMIENTO GEOESPACIAL PARA LA  
IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS VULNERABLES A  
PELIGROS MÚLTIPLES, CUENCA HIDROGRÁFICA  
CAMANA-MAJES-COLCA, AREQUIPA”**

Presentado por:

JONATHAN CALDERON MENDOZA

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRICOLA**

Lima – Perú

2017

## **DEDICATORIA**

*A la memoria de mi padre.  
A mi madre,  
mi amor más grande,  
mi orgullo más inmenso y  
el motivo de mis éxitos.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme fortaleza en esta etapa de mi vida.

A mi madre por apoyarme y confiar en mí en todo momento.

A mi asesor, Doctor Néstor Montalvo, por su amistad, consejos e incentivos para el desarrollo del presente estudio.

A Pathy Campon, por su comprensión, apoyo y amor incondicional.

A los ingenieros de la Facultad de Ingeniería Agrícola que en algún momento me apoyaron con sus conocimientos, en especial al Ing. Fernando Paz.

A las instituciones y amigos que aportaron en cada etapa de la investigación

# ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1. ANTECEDENTES .....	3
2.2. CUENCA HIDROGRAFICA .....	5
2.3. HIDROGRAFIA.....	6
2.4. PELIGROS .....	7
2.4.1. Inundaciones.....	8
2.4.2. Movimientos en Masa .....	9
2.4.3. Heladas .....	11
2.4.4. Sequias.....	12
2.4.5. Geodinámica Interna.....	14
2.5. VULNERABILIDAD.....	14
2.6. DESASTRE.....	15
2.7. RIESGO.....	16
2.7.1. Gestión de Riesgo de Desastres.....	16
2.8. SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA.....	17
2.8.1. Elementos de un SIG .....	18
2.8.2. Base de Datos Geoespacial.....	20
2.9. MODELO .....	20
2.9.1 Modelamiento Geoespacial .....	21
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA .....	24
3.1.1. Ubicación, Extensión y Límites.....	24
3.1.2. Características Topográficas y Fisiográficas .....	26
3.1.3. Caracterización Geológica.....	30
3.1.4. Geodinámica Interna.....	32
3.1.5. Cobertura Vegetal.....	33
3.1.6. Aspecto Biótico – Zonas de Vida.....	34
3.1.7. Características Socioeconómicas.....	36
3.1.8. Clasificación Climática .....	39
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS .....	43

3.3	METODOLOGIA.....	44
3.3.1.	Fase de Pre - Campo.....	44
3.3.2.	Fase de Campo.....	45
3.3.3.	Fase de Gabinete.....	46
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>102</b>
4.1.	MODELAMIENTO GEOESPACIAL DE PELIGROS MÚLTIPLES.....	102
4.1.1.	Mapa de Pendientes.....	102
4.1.2.	Mapa de Fisiografía.....	104
4.1.3.	Mapa de Precipitación.....	106
4.1.4.	Mapa de Cobertura Vegetal.....	108
4.1.5.	Mapa de Geología.....	110
4.1.6.	Mapa de Areas Inundables en la Faja Marginal.....	112
4.1.7.	Mapa de Zonas de Vida.....	114
4.1.8.	Mapa de Temperatura Mínima.....	116
4.1.9.	Mapa de Temperatura Máxima.....	118
4.1.10.	Mapa de Humedad Relativa.....	120
4.1.11.	Mapa de Índice Estandarizado de Precipitación (SPI).....	122
4.1.12.	Submodelo de Inundaciones.....	124
4.1.13.	Sub-Modelo de Movimientos en Masa.....	128
4.1.14.	Submodelo de Heladas.....	132
4.1.15.	Sub-Modelo de Sequias.....	136
4.1.16.	Modelo de Peligros Múltiples.....	140
4.2.	MODELAMIENTO GEOESPACIAL DE VULNERABILIDAD SOCIAL.....	145
4.2.1.	Submodelo de Unidades Sociales.....	145
4.2.1.	Submodelo de Infraestructura Social.....	148
4.2.3.	Modelo de Vulnerabilidad Social.....	151
4.3.	MODELAMIENTO GEOESPACIAL GLOBAL.....	155
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>163</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>165</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>166</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>173</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de valores del índice de precipitación estandarizado .....	14
Tabla 2: Ubicación de la cuenca Camana-Majes-Colca.....	24
Tabla 3: Unidades Fisiográficas de la Cuenca Camaná-Majes Colca.....	26
Tabla 4: Unidades Geológicas de la cuenca Camana-Majes-Colca .....	31
Tabla 5: Tipos de Cobertura Vegetal de la cuenca Camana-Majes-Colca.....	34
Tabla 6: Zonas de Vida existentes en la cuenca Camana-Majes-Colca .....	35
Tabla 7: Tasas de analfabetismos por departamentos y provincias.....	36
Tabla 8: Población Asegurada.....	37
Tabla 9: Distribución de la PEA según rama de actividad.....	38
Tabla 10: Clasificación de Pendientes.....	47
Tabla 11: Valores de precipitación (mm) en estaciones para las isoyetas máxima y mínima.....	48
Tabla 12: Temperaturas máximas y mínimas en las estaciones seleccionadas Periodo 1965-2013.....	49
Tabla 13: Variabilidad mensual de la humedad relativa media mensual en estaciones (%). Periodo 1965-2013 .....	50
Tabla 14: Caudales obtenidos por el método de la envolvente de Creager para las zonas analizadas para un periodo de retorno de 100 años .....	51
Tabla 15: Variables e indicadores que conforman el modelo .....	56
Tabla 16: Matriz de Ponderación del Modelo de Peligros Múltiples .....	62
Tabla 17: Tabla de valoración para el modelo de Peligros Múltiples .....	62
Tabla 18: Valoración - Pendiente para el SM-Inundaciones.....	63
Tabla 19: Valoración - Fisiografía para el SM-Inundaciones .....	64
Tabla 20: Valoración - Precipitación para el SM-Inundaciones.....	65
Tabla 21: Valoración - Cobertura Vegetal para el SM-Inundaciones .....	66
Tabla 22: Valoración - Geología para el SM-Inundaciones .....	67
Tabla 23: Valoración - Pendiente para el SM-Movimientos en Masa .....	68
Tabla 24: Valoración - Geología para el SM-Movimientos en Masa.....	69
Tabla 25: Valoración - Precipitación para el SM-Movimientos en Masa.....	70
Tabla 26: Valoración - Cobertura Vegetal para el SM-Movimientos en Masa.....	71
Tabla 27: Valoración - Fisiografía para el SM-Movimientos en Masa.....	72

Tabla 28: Valoración - Pendiente para el SM-Heladas .....	73
Tabla 29: Valoración - Zonas de Vida para el SM-Heladas.....	73
Tabla 30: Valoración - Temperatura Mínima para el SM-Heladas .....	74
Tabla 31: Valoración - Humedad Relativa para el SM-Heladas .....	75
Tabla 32: Valoración - Temperatura Máxima para el SM-Sequias.....	76
Tabla 33: Valoración - SPI para el SM-Sequias.....	76
Tabla 34: Valoración - Zonas de Vida para el SM-Sequias .....	77
Tabla 35: Tabla de valoración para el modelo de Vulnerabilidad Social.....	78
Tabla 36: Variables e Indicadores de las Unidades Sociales.....	78
Tabla 37: Valoración de la información temática de Pobreza.....	79
Tabla 38: Valoración de la información temática de Demografía.....	80
Tabla 39: Valoración de la de la información temática de IDH.....	80
Tabla 40: Valoración de la de la información temática de NBI .....	81
Tabla 41: Valoración de la de la información temática de Programas Sociales.....	81
Tabla 42: Variables e Indicadores de Infraestructura Social .....	82
Tabla 43: Valoración de la de la información temática de Salud.....	83
Tabla 44: Valoración de la de la información temática de Educación .....	83
Tabla 45: Valoración de la de la información temática de Vías de Comunicación.....	84
Tabla 46: Ponderación de variables del submodelo de Inundaciones .....	85
Tabla 47: Ponderación de variables del submodelo de Movimientos en Masa.....	87
Tabla 48: Ponderación de variables del submodelo de Heladas.....	89
Tabla 49: Ponderación de variables del submodelo de Sequias .....	91
Tabla 50: Matriz N° 1 .....	95
Tabla 51: Matriz N° 2 .....	95
Tabla 52: Matriz N° 3 .....	95
Tabla 53: Ponderación de variables del submodelo de Unidades Sociales .....	97
Tabla 54: Ponderación de variables del submodelo de Infraestructura Social .....	98
Tabla 55: Resultados del mapa de Pendientes.....	102
Tabla 56: Resultados del mapa de Fisiografía.....	104
Tabla 57: Resultados del mapa de Precipitación .....	106
Tabla 58: Resultados del mapa de Cobertura Vegetal.....	108
Tabla 59: Resultados del mapa de Geología .....	110
Tabla 60: Areas Inundables en zonas susceptibles a inundaciones .....	112
Tabla 61: Resultados del mapa de Zonas de Vida.....	114

Tabla 62: Resultados del mapa de Temperatura Mínima .....	116
Tabla 63: Resultados del mapa de Temperatura Máxima .....	118
Tabla 64: Resultados del mapa de Humedad Relativa .....	120
Tabla 65: Resultados del mapa de SPI .....	122
Tabla 66: Resultados del submodelo de Inundaciones .....	124
Tabla 67: Resultados del submodelo de Movimientos en Masa .....	128
Tabla 68: Resultados del submodelo de Heladas .....	132
Tabla 69: Resultados del submodelo de Sequías.....	136
Tabla 70: Resultados del modelo de Peligros Múltiples .....	140
Tabla 71: Vulnerabilidad por Unidades Sociales a nivel distrital .....	145
Tabla 72: Resultados del submodelo de Unidades Sociales.....	146
Tabla 73: Vulnerabilidad por Infraestructura Social a nivel distrital .....	148
Tabla 74: Resultados del submodelo de Unidades Sociales.....	149
Tabla 75: Resultados de Vulnerabilidad Social a nivel distrital.....	151
Tabla 76: Resultados del modelo de Vulnerabilidad Social.....	152
Tabla 77: Resultados del modelo Global de Peligros Múltiples .....	155



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Impactos de las actividades humanas en una cuenca hidrográfica .....	6
Figura 2: Componente de un Sistema de Información Geográfica .....	19
Figura 3: Superposición de Mapas Temáticos.....	21
Figura 4: Mapa de ubicación de la cuenca Camana-Majes-Colca.....	25
Figura 5: Modelo Digital de Elevación de la Cuenca.....	29
Figura 6: Diagrama clasificación de zonas vida de Holdridge .....	35
Figura 7: Clasificación Climática en la cuenca Camana-Majes-Colca .....	40
Figura 8: Isotermas medias de la cuenca Camana-Majes-Coca .....	41
Figura 9: Isoyetas de año medio de la cuenca Camana-Majes-Coca .....	42
Figura 10: Esquema metodológico .....	44
Figura 11: Areas inundables de la zona 6.....	52
Figura 12: Areas inundables de la zona 5.....	52
Figura 13: Areas inundables de la zona 4.....	52
Figura 14: Areas inundables de la zona 3.....	53
Figura 15: Areas inundables de la zona 2.....	53
Figura 16: Areas inundables de la zona 1 .....	53
Figura 17: Vista de satélite de las áreas inundables en la parte alta de la cuenca .....	54
Figura 18: Vista de satélite de las áreas inundables en la parte baja de la cuenca .....	54
Figura 19: Modelo conceptual para el Modelo Global Peligros Múltiples .....	58
Figura 20: Modelo Físico en forma de Base de Datos Geoespacial.....	59
Figura 21: Modelo lógico de la BDG para el Modelo Global de Peligros Múltiples.....	60
Figura 22: Modelo geoespacial elaborado para la identificación de zonas vulnerables a Inundaciones.....	86
Figura 23: Modelo geoespacial elaborado para la identificación de zonas vulnerables a Movimientos en Masa .....	88
Figura 24: Modelo geoespacial elaborado para la identificación de zonas vulnerables a Heladas .....	90
Figura 25: Modelo geoespacial elaborado para la identificación de zonas vulnerables a Sequias.....	92
Figura 26: Modelo lógico de integración del modelo de Peligros Múltiples .....	94
Figura 27: Modelo geoespacial elaborado para el submodelo de Unidades Sociales ....	97

Figura 28: Modelo geoespacial elaborado para el submodelo de Infraestructura Social	99
Figura 29: Modelo geoespacial elaborado para la identificación de zonas en condiciones de Vulnerabilidad Social .....	100
Figura 30: Modelo geoespacial elaborado para la identificación de zonas vulnerables a Peligros Múltiples.....	101
Figura 31: Mapa de Pendiente de la cuenca Camana-Majes-Colca .....	103
Figura 32: Mapa de Fisiografía de la cuenca Camana-Majes-Colca.....	105
Figura 33: Mapa de Precipitación de la cuenca Camana-Majes-Colca.....	107
Figura 34: Mapa de Cobertura Vegetal de la cuenca Camana-Majes-Colca.....	109
Figura 35: Mapa de Geología de la cuenca Camana-Majes-Colca .....	111
Figura 36: Mapa de Areas Inundables en la Faja Marginal de la cuenca Camana-Majes-Colca.....	113
Figura 37: Mapa de Zonas de Vida de la cuenca Camana-Majes-Colca.....	115
Figura 38: Mapa de Temperatura Mínima de la cuenca Camana-Majes-Colca .....	117
Figura 39: Mapa de Temperatura Máxima de la cuenca Camana-Majes-Colca .....	119
Figura 40: Mapa de Humedad Relativa de la Cuenca Camana-Majes-Colca .....	121
Figura 41: Mapa de Índice Estandarizado de Precipitación de la cuenca Camana-Majes-Colca.....	123
Figura 42: Distribución porcentual de los niveles de peligro del SM Inundaciones....	125
Figura 43: Desborde del rio Camana.....	126
Figura 44: Submodelo de Inundaciones de la cuenca Camana-Majes-Colca.....	127
Figura 45: Distribución porcentual de los niveles de peligro del SM Movimientos en Masa .....	129
Figura 46: Huaico en la carretera que une los distritos de Achoma y Maca.....	130
Figura 47: Submodelo de Movimientos en Masa de la cuenca Camana-Majes-Colca	131
Figura 48: Distribución porcentual de los niveles de peligro del SM Heladas .....	133
Figura 49: Presencia de helada en el valle de Colca.....	134
Figura 50: Submodelo de Heladas de la cuenca Camana-Majes-Colca.....	135
Figura 51: Distribución porcentual de los niveles de peligro del SM Sequias.....	137
Figura 52: Sequia en los valles de la provincia de Caylloma – 2016.....	138
Figura 53: Su-modelo de Sequias de la cuenca Camana-Majes-Colca .....	139
Figura 54: Distribución porcentual de los niveles de peligro del modelo de Peligros Múltiples.....	140
Figura 55: Distribución y Tipología de Peligros Múltiples.....	141

Figura 56: Modelo de Peligros Múltiples de la cuenca Camana-Majes-Colca .....	144
Figura 57: Distribución porcentual de los niveles de vulnerabilidad de SM Unidades Sociales .....	147
Figura 58: Distribución porcentual de los niveles de vulnerabilidad del SM Infraestructura Social.....	149
Figura 59: Distribución porcentual de los niveles de vulnerabilidad del Modelo de Vulnerabilidad Social .....	153
Figura 60: Modelo de Vulnerabilidad Social de la cuenca Camana-Majes-Colca.....	154
Figura 61: Distribución porcentual de los niveles de peligro del Modelo Global de Peligros Múltiples.....	156
Figura 62: Modelo Global de Peligros Múltiples de la cuenca Camana-Majes-Colca	162
Figura 63: Mapa de Pobreza de la cuenca Camana-Majes-Colca .....	174
Figura 64: Mapa de IDH de la cuenca Camana-Majes-Colca .....	174
Figura 65: Mapa de NBI de la cuenca Camana-Majes-Colca .....	174
Figura 66: Mapa de Programas Sociales de la cuenca Camana-Majes-Colca.....	174
Figura 67: Mapa de Demografía de la cuenca Camana-Majes-Colca .....	174
Figura 68: Mapa de Infraestructura de Educación de la cuenca Camana-Majes-Colca	174
Figura 69: Mapa de Infraestructura de Salud de la cuenca Camana-Majes-Colca.....	174
Figura 70: Mapa de Vías de Comunicación de la cuenca Camana-Majes-Colca.....	174
Figura 71: Submodelo de Unidades Sociales de la cuenca Camana-Majes-Colca .....	174
Figura 72: Submodelo de Infraestructura Social de la cuenca Camana-Majes-Colca .	174
Figura 73: Submodelo de Geodinámica Interna de la cuenca Camana-Majes-Colca ..	174

## RESUMEN

La evaluación de peligros naturales y el análisis de vulnerabilidad forman parte de la Gestión de Riesgo, como herramienta para adoptar medidas preventivas que eviten o reduzcan los efectos de un desastre. Actualmente, el modelamiento geoespacial mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) es un método integral para la identificación de fenómenos naturales y para el análisis espacial de la susceptibilidad a estos. Las evidencias históricas, muestran que la región de Arequipa ha sufrido grandes pérdidas, como producto de fenómenos de origen geológico, hidrológico y atmosférico, por ello es preciso desarrollar estudios a detalle bajo este enfoque. El presente estudio responde dicha necesidad; cuyo objetivo fue identificar zonas potencialmente susceptibles a la ocurrencia de peligros múltiples y expuestas en condiciones de vulnerabilidad social; mediante el análisis y modelamiento geoespacial en una plataforma SIG, en el ámbito de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca; en función de sus características físicas y socioeconómicas. Se diseñó y construyó una base de datos geoespacial; luego, las unidades de cada variable fueron valoradas en función del nivel de peligro y grado de vulnerabilidad que representan, para posteriormente ser integradas asignándoles coeficientes ponderativos; en función al grado de incidencia que tienen sobre el submodelos correspondientes; los cuales a su vez se integraron mediante un análisis matricial y ponderativo para generar el modelo final. Los resultados muestran un nivel de peligro global Muy Alto, en un 18.8% de la cuenca, que incluye los centros poblados de Viscachani, Andagua, Chachas, Choco, Pampacolca, Madrigal, Lari, Huambo, Chilcaymarca, Yanque, Maca, entre otros, considerados como zonas críticas y los cuales deben ser priorizados al momento de tomar acciones enfocadas a la Gestión de Riesgo de Desastres. Nivel Alto, en un 47.9% del territorio; nivel Medio, en un 17.0% y nivel Bajo, en un 16.2% que incluye los centros poblados de Cicera, Villa Hermosa Pedregal, San Pedro, San Isidro del Labrador, CP ubicados en las pampa de irrigación de ajos y al norte del Distrito de Aplao; considerados zonas con niveles de bajo riesgo ante desastres.

Palabras Claves: Peligro, Vulnerabilidad, Modelamiento geoespacial, Sistema de Información Geográfica

## ABSTRACT

Natural hazard assessment and vulnerability analysis are part of Risk Management as a tool to take preventive measures to avoid or reduce the effects of a disaster. Currently, geospatial modeling using Geographic Information Systems (GIS) is an integral method for the identification of natural phenomena and for the spatial analysis of susceptibility to them. The historical evidence shows that the region of Arequipa has suffered heavy losses, as a result of geological, hydrological and atmospheric phenomena, so detailed studies must be developed under this approach. This study responds to this need; whose objective was to identify areas potentially susceptible to the occurrence of multiple hazards and exposed in conditions of social vulnerability; through the analysis and geospatial modeling in a GIS platform, within the scope of the Camaná-Majes-Colca Hydrographic Unit; depending on their physical and socio-economic characteristics. A geospatial database was designed and built; then the units of each variable were valued according to the level of danger and degree of vulnerability they represent, to be integrated later by assigning them coefficients; depending on the degree of incidence they have on the corresponding submodels; which in turn were integrated through a matrix analysis and weighting to generate the final model. The results show a very high overall danger level, in 18.8% of the basin, which includes the towns centers of Viscachani, Andagua, Chachas, Choco, Pampacolca, Madrigal, Lari, Huambo, Chilcaymarca, Yanque, Maca, among others, considered as critical zones and which should be prioritized when taking actions focused on Disaster Risk Management. High level, in 47.9% of the territory; Medium level is 17.0% and the Low level is 16.2%, which includes the towns center of Cicera, Villa Hermosa Pedregal, San Pedro, San Isidro del Labrador, CP located in the irrigation pampa of Majes and to the north of the district of Aplao; considered areas with low risk levels to disasters.

Keywords: Hazards, Vulnerability, Geospatial modeling, Geographic information systems

## I. INTRODUCCIÓN

Debido a la ubicación geográfica y principalmente a la presencia de la Cordillera de los Andes, el Perú; tiene características geológicas, tectónicas, topográficas, meteorológicas y oceanográficas, que desencadenan fenómenos naturales de gran magnitud.

Como efecto de la geodinámica interna de la Tierra se registran terremotos prácticamente en todo el territorio, maremotos en la costa y una actividad volcánica en la cordillera occidental de los Andes de la región sur; como efecto de la geodinámica externa, principalmente a lo largo de las cuencas hidrográficas se registran deslizamientos, derrumbes, aludes y aluviones; fenómenos hidrometeorológicos con carácter severo, como precipitaciones intensas, inundaciones, sequías, heladas, granizo, cambios climáticos con el fenómeno El Niño y sin El Niño.

Fenómenos naturales que hacen del país y de las regiones, un territorio vulnerable a peligros de origen natural cuya consecuencia afecta en general todo el ambiente, ocasionando grandes pérdidas de vidas humanas, destrucción de bienes y medios de producción; en definitiva, son una limitación frente a los procesos de desarrollo, requiriendo una sustancial reasignación de recursos destinados a la recuperación.

La Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca presenta características similares a las del país, donde también ocurren eventos naturales de magnitud considerable calificándolo como un territorio vulnerable ante los peligros naturales; como bien lo manifiestan lo registros históricos de deslizamientos, huaycos inundaciones sequias, heladas, entre otros eventos naturales que ocasionaron grandes pérdidas económicas, sobre todo para el medio rural.

Bajo este contexto, el objetivo principal del presente trabajo de investigación fue:

Identificar zonas susceptibles a la ocurrencia de peligros múltiples y expuestas en condiciones de vulnerabilidad social; mediante el análisis y modelamiento geoespacial en una plataforma SIG, en el ámbito de la Cuenca Hidrográfica Camaná-Majes-Colca.

Para tal fin los objetivos específicos fueron:

- Establecer una base de datos geoespacial de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca, orientada al análisis del peligro y vulnerabilidad.
- Generar el modelo geoespacial para determinar el nivel de peligro referido a las inundaciones, movimientos en masa, sequías y heladas, de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca.
- Generar el modelo geoespacial para determinar el grado de vulnerabilidad social de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca.

La construcción del Modelo de Global Peligros Múltiples, se sustenta sobre el desarrollo de tres fases: Fase de Pre-Campo, que consistió en recopilar toda la información primaria y secundaria inherente a estudios del medio biofísico y socioeconómico; la Fase de Campo que consistió en realizar visitas a la zona de estudio para la identificación de sus características, así como la posterior validación de los resultados; y la Fase de Gabinete que consistió en analizar, sistematizar y procesar la información obtenida; mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG); y partir de los cuales, se elaboraron los respectivos mapas temáticos; base principal para su construcción.

En consecuencia, el interés de construir y desarrollar el presente modelo fue proveer una herramienta que oriente a formular políticas y estrategias de planificación y administración regional para el desarrollo, con enfoque de la Gestión del Riesgo de Desastres, basada en el conocimiento de zonas con limitaciones expresadas como peligros múltiples y vulnerabilidad en el ámbito de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca; de tal manera, los futuros proyectos que se han de implementar, sean diseñados y formulados bajo este mismo enfoque.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. ANTECEDENTES**

El Perú, por su ubicación geográfica, aunada a las características geológicas naturales y frente al cambio climático, ha determinado ser considerado, según el Tyndall Center de Inglaterra, como el tercer país más vulnerable del mundo, después de Honduras y Bangladesh. Los fenómenos hidrometeorológicos (sequías, fuertes lluvias, inundaciones, heladas, granizadas, etc.) se han incrementado más de seis veces desde 1997 al 2006 y eventos climáticos extremos como huaicos, inundaciones, heladas y el fenómeno de El Niño, se están produciendo con mayor frecuencia e intensidad. Estos eventos ponen en evidencia el incremento del riesgo de la población y sus actividades; por ende su influencia en la economía del país y en la vida de cada uno de sus pobladores.

Antes de la disponibilidad amplia de tecnología informática en los años 80, los análisis de riesgos fueron realizados utilizando técnicas analógicas, como la superposición manual de mapas temáticos. Esa técnica fue utilizada durante muchos años para producir mapas de peligros naturales; por ejemplo, para identificar terrenos aptos para la construcción, en zonas que no sufran de inundaciones. La misma técnica fue utilizada en 1982 para producir el Plan de Protección Sísmica de Lima Metropolitana, mediante la superposición de mapas cartográficos sobre la vulnerabilidad física de las construcciones, con información sobre la vulnerabilidad social y económica (Maskrey, 1998).

En la actualidad existen diversas metodologías para la gestión, valoración y manejo de riesgos naturales y por consiguiente la identificación de peligros y vulnerabilidad de los mismos, los cuales van a diferir dependiendo de las características; físico naturales, sociales, y el nivel de desarrollo de un lugar a otro. Pero en las que el uso de la información geográfica y las geotecnologías (teledetección, SIG, GNSS, cartografía, etc.) juegan un papel fundamental en las diversas fases de la gestión de riesgos: Prevención, Mitigación y Recuperación.



Tal es el caso de España en la que las inundaciones generan pérdidas de 800 millones de euros al año, por lo cual se han elaborado mapas de peligrosidad de inundación (cálculo de la zona inundable) y mapas de riesgo de inundación (incorporación a la zona inundable de los usos del suelo en esa zona y de las principales daños esperados); mediante el uso de técnicas SIG (Sistemas de Información Geográfica), datos de imágenes de satélite y modelos de cálculo disponibles.

Otro caso es el de la Dirección Sectorial de Energía de Costa Rica (DSE) que en asistencia con la OEA realizaron el análisis de vulnerabilidad del sector energía a los peligros naturales. El estudio fue realizado usando dos métodos: (1) exámenes de campo y/o entrevistas con personal del sector energía; y (2) el uso de un SIG para sobreponer la información de infraestructura del sub-sector energía a la de determinados peligros. El ejercicio con el SIG, confirmado por los resultados obtenidos de observaciones de campo, señaló las áreas críticas donde las actividades de mitigación o reducción de peligros (deslizamiento de tierras, terremotos, huracanes y sequías), deberían llevarse a cabo.

En el Perú también se han desarrollado herramientas preventivas, destinadas a reducir la vulnerabilidad, mediante el modelamiento en plataformas SIG; destacando a nivel nacional el “Mapa de Vulnerabilidad Física del Perú”, elaborado por el MINAN en el 2011. Asimismo a nivel regional los estudios de Zonificación Ecológica Económica que incluyen el análisis y la elaboración de modelos de Peligros Potenciales Múltiples y Vulnerabilidad, como es el caso de los ZEE de Cajamarca (2011), Tacna (2012) y Puno (2014).

Por su parte, en el ámbito de estudio la manifestación de estos peligros, han puesto en evidencia que no se tiene un sistema de prevención y de respuesta eficientes frente a los desastres naturales; si bien es cierto existen registros de entidades como INDECI y CENEPRED; acerca planes nacionales y regionales enfocados a la prevención y educación frente a desastres, estos no cuentan con la escala de trabajo suficiente para tomar acción en zonas críticas, y aun si ese fuera el caso; estas no tienen presupuesto para ejecutar obras. Dicha tarea corresponde a los ministerios, gobiernos regionales y locales, cada uno en el ámbito de su competencia que pese a lo expuesto no realizan trabajos efectivos para evitar daños ante un eventual desastre, revelando la importancia de desarrollar investigaciones a nivel micro y meso, como en este caso.

## **2.2. CUENCA HIDROGRAFICA**

Vásquez (2000) define la cuenca hidrográfica como el territorio y el área geográfica (suelo, agua, clima, precipitación pluvial, escorrentía subterránea, etc.) delimitados por la colección del agua que se deriva en una fuente de agua. Ésta contiene determinados recursos naturales que otorgan posibilidades a la vida humana y animal. Su hilo conductor es el ciclo hidrológico y la cultura de población que ocupa y se relaciona con la naturaleza. Ese hilo se encuentra constantemente generándose, regenerándose o degenerándose, con la intervención del hombre y su sociedad, las cuales forman juntos un todo indivisible con la naturaleza, interrelacionándose en forma sistemática y deviniendo así en una determinada dinámica que fomenta su preservación o deterioro.

La SEMARNAT (2013) indica que las cuencas hidrográficas son espacios territoriales delimitados por un partaguas (partes más altas de montañas) donde se concentran todos los escurrimientos (arroyos y/o ríos) que confluyen y desembocan en un punto común llamado también punto de salida de la cuenca, que puede ser un lago (formando una cuenca denominada endorreica) o el mar (llamada cuenca exorreica). En estos territorios hay una interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio biofísico (suelo, ecosistemas acuáticos y terrestres, cultivos, agua, biodiversidad, estructura geomorfológica y geológica), los modos de apropiación (tecnología y/o mercados) y las instituciones (organización social, cultura, reglas y/o leyes).

Las cuencas hidrográficas permiten entender espacialmente el ciclo hidrológico, así como cuantificar e identificar los impactos acumulados de las actividades humanas o externalidades (sedimentos, contaminantes y nutrientes) a lo largo del sistema de corrientes o red hidrográfica, que afectan positiva o negativamente la calidad y cantidad del agua, la capacidad de adaptación de los ecosistemas y la calidad de vida de sus habitantes (Figura 1).

**Figura 1: Impactos de las actividades humanas en una cuenca hidrográfica**



FUENTE: SEMARNAT (2013)

Si consideramos las externalidades generadas por distintas actividades humanas constatamos que el papel de cada actividad y, por ende, de cada actor es diferente en relación con su posición en la cuenca (cuenca arriba o aguas arriba o cuenca abajo o aguas abajo). Los movimientos de agua, suelos, nutrientes y contaminantes provenientes de distintas partes de una cuenca crean una conexión física entre poblaciones distantes unas de otras (Swallow, *et. al.*, 2001).

### 2.3. HIDROGRAFIA

Los ríos ubicados en la vertiente del Pacífico del país, se caracterizan por presentar una variabilidad estacional marcada, entre los meses de verano e invierno; siendo los meses de verano, período de avenidas, donde se presentan los mayores caudales de agua, mientras que en períodos de invierno, período de estiaje, se presentan los menores caudales.

Todos los ríos que conforman el sistema hidrográfico de la Cuenca Camana-Majes-Colca se originan entre las cumbres de la cordillera occidental, de donde se desplazan por pronunciadas pendientes y laderas al oeste de la cordillera, formando valles y cañones, para desembocar en el Océano Pacífico.

La cuenca Camana-Majes-Colca tiene una extensión de 17,435 Km<sup>2</sup>., de la cual el 71.6% o sea 12,493 Km<sup>2</sup> corresponde a la cuenca húmeda, denominada así por encontrarse por encima de los 2,800 msnm., cota a partir de la cual puede considerarse que la precipitación pluvial es un aporte efectivo al escurrimiento superficial.

El Río Camaná, denominado también Majes o Colca, es uno de los más largos de la costa peruana, sus nacientes se encuentran al sur este de la provincia de Caylloma; en su recorrido irriga valles intensamente cultivados y con estas aguas se abastece la represa de Condorama que riega las pampas de la Irrigación Majes.

El escurrimiento superficial del río Camaná, se origina de las precipitaciones que ocurren en su cuenca alta, las cuales se presentan concentradas durante los meses de diciembre a marzo y el deshielo de los nevados ubicados dentro de la cuenca.

En el periodo de avenidas el río arrastra grandes volúmenes de material rocoso, arenas y limos en suspensión, tipo lodo, producto de la fuerza erosiva, fuertes pendientes e inestabilidad de taludes; siendo muy frecuente la presencia de los fenómenos de arrasamiento, colmatación e inundaciones, los cuales han ocasionado grandes daños y perjuicios a los agricultores ribereños.

Por otro lado, el comportamiento hidrológico de la cuenca, durante el Fenómeno El Niño/Oscilación Sur (ENOS); fenómeno oceánico-atmosférico, cíclico (entre 3-7 años), ha sido muy variable respecto a su intensidad. Durante el evento ENOS 1982 – 83 se produjo una disminución de la precipitación en toda la cuenca, mientras que durante la ocurrencia del evento ENOS 1972 – 73 se registró un exceso de precipitación. Los ciclos húmedos y secos se suceden con alternancia, pudiéndose constatar una considerable influencia de los eventos fuertes o extremos de los fenómenos El Niño en el déficit o aumento de las precipitaciones.

#### **2.4. PELIGROS**

La Dirección General de Programación Multianual - DGPM., del Ministerio de Economía y Finanzas - MEF. 2006., señala que el Peligro llamado también Amenaza, es un evento con probabilidad de ocurrir, con capacidad de producir daños físicos, económicos, ambientales y su origen puede ser natural, socio natural o tecnológico. Tiene intensidad, localización y tiempo; afecta adversamente a las personas, sus infraestructuras, actividades económicas, bienes y servicios expuestos en condiciones de vulnerabilidad; entendiéndose esta como la susceptibilidad de una unidad social (familias, comunidad,

sociedad), estructura física o actividad económica que la sustentan, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza.

Un peligro es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno o un proceso, ya sea natural o causado por el hombre, potencialmente dañino para un grupo de personas, sus pertenencias y medio ambiente, si no se toman las precauciones necesarias. (Mesa de Concertación para la Lucha contra la Pobreza, 2009).

Por otra parte, Salazar y Cortez (2002), definen peligro como un agente agresor externo socio ambiental potencialmente destructivo con cierta magnitud dentro de un cierto lapso de tiempo y en una cierta área. Fenómeno social que puede causar heridos, muertes y daños graves. La vulnerabilidad, es el grado de pérdidas de un elemento dado o conjunto de elementos de riesgos, como resultado de la presencia de un peligro ambiental y/o fenómeno natural de magnitud determinada y el Riesgo, es el grado esperado de pérdida de los elementos en riesgo debido a la presencia de peligros. Puede ser expresado en término de pérdidas, personas heridas, daños materiales e interrupción de actividad económica.

En ese sentido estos conceptos se relacionan con el Modelo de Peligros Múltiples, por cuanto en su estructura, mayormente considera a peligros por inundación, por heladas, por sequía, por movimientos en masa y geodinámica interna, que se enmarcan dentro de los peligros de tipo natural.

#### **2.4.1. Inundaciones**

De acuerdo con el glosario internacional de hidrología (OMM/UNESCO, 1974), la definición oficial de inundación es: “aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce”. En este caso, “nivel normal” se debe entender como aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños, es decir, inundación es una elevación mayor a la habitual en el cauce, por lo que puede generar pérdidas.

Por otra parte, avenida se define como: “Una elevación rápida y habitualmente breve del nivel de las aguas en un río o arroyo hasta un máximo desde el cual dicho nivel desciende a menor velocidad” (OMM/UNESCO, 1974). Estos incrementos y disminuciones, representan el comportamiento del escurrimiento en un río.

Con lo anterior, se entiende por inundación: aquel evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura.

Las inundaciones en el Perú son los eventos más recurrentes y de mayor impacto en el país, pueden ser frecuentes y periódicas.

- Frecuentes: son las inundaciones que se producen anualmente en la cuenca amazónica en tiempo de lluvias entre los meses de octubre a mayo y con mayor y menor magnitud y área de afectación.
- Periódicas: son las inundaciones que ocurren en forma alternada en puntos específicos del territorio, a causa de lluvias intensas en la sierra que producen la crecida de caudales y desbordes en llanuras de la sierra y el altiplano. También las que se producen en las cuencas bajas de los ríos de la costa, por lo general en los últimos 10 a 20 km antes de su desembocadura en el mar. Debido a la estacionalidad de las precipitaciones en la región andina se tiene una época seca y una época de lluvia bien diferenciada, esta última de diciembre a marzo, sumado a los años de presencia del FEN hacen que los caudales de los ríos que bajan de la región andina a la costa aumenten varias veces su magnitud, desbordándose y ocasionando daños en ciudades de la costa específicamente en la región norte del país, como: Tumbes, Piura, y Lambayeque.

#### **2.4.2. Movimientos en Masa**

Como parte de los procesos denudativos a los que está expuesta la corteza terrestre por la continua acción de agentes como temperatura, vientos, precipitaciones, etc. el relieve formado por el plegamiento tectónico es permanentemente desgastado por estos agentes climáticos lo cual crea las condiciones para los movimientos en masa. Bajo esta denominación se ha considerado un conjunto de eventos de geodinámica externa, como son los derrumbes, deslizamientos, hundimientos, erosión, reptación, volcamientos, caída de rocas, flujos de detritos, flujos de lodo, aluviones, avalanchas. El término “movimientos en masa” es equivalente y viene a sustituir a “procesos de remoción en masa”. Los movimientos en masa pueden ser de desarrollo lento o repentino, y pueden referirse al desplazamiento de pequeñas, medianas o grandes porciones de roca y suelo

desencadenados por la acción directa del agua, sea en estado líquido o sólido, o como resultado de movimientos sísmicos o bruscas variaciones climáticas (PREDES, 2012).

Por su parte a geodinámica externa estudia la acción de los agentes atmosféricos externos: viento, aguas continentales, mares, océanos, hielos, glaciares y gravedad, sobre la capa superficial de la Tierra; fenómenos éstos que van originando una lenta destrucción y modelación del paisaje rocoso y del relieve, y en cuya actividad se desprenden materiales que una vez depositados forman las rocas sedimentarias (Guevara, s/f).

En el Perú, peligros geológicos como deslizamientos, derrumbes, desprendimiento de rocas, erosión de laderas, se producen en gran parte de sus 159 cuencas hidrográficas (PNUD, 2010). Su incidencia se localiza principalmente en los flancos y laderas de fuerte pendiente, de los valles de la costa y la selva alta, así como en los acantilados del litoral y en los cortes de carretera, donde las condiciones litológicas, precipitaciones pluviales, presencia de agua y pendientes les son favorables. La recurrencia de estos fenómenos y su capacidad de generar daño y destrucción en las poblaciones, infraestructura y actividad económica local y regional en las que impactan, hace que sean considerados como peligros.

Los eventos geodinámicos considerados como movimientos en masa identificados en la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca son los siguientes:

- Deslizamiento: Se constituye junto a las inundaciones como uno de los fenómenos más comunes de geodinámica externa en la zona andina. Se entiende también que es un desplazamiento masivo de una porción significativa de suelo o ladera siguiendo un determinado plano de falla, pudiendo ser éste plano o cilíndrico.
- Flujos (Huaycos): Los flujos de lodo o detritos más conocidos en el Perú como huaycos son fenómenos muy frecuentes y localizados en zonas intermedias y bajas de los Andes en ambas vertientes. Consiste en una descarga relativamente violenta y torrenciosa de agua, sedimentos, rocas de diverso tamaño y en algunos casos vegetación que se desplaza a lo largo de una quebrada seca o en un río de pendiente pronunciada. Se inicia con intensas precipitaciones que llegan a saturar las partes altas o medias de una cuenca o vaso receptor. El grado de peligrosidad de un huayco va depender de la intensidad y duración de la precipitación pluvial, el volumen de material suelo acumulado o incorporado al sistema de drenaje de

cauces, secundarios y principal, y finalmente la pendiente de la zona de transporte y descarga de esta cuenca.

- Caídas (derrumbes): Este tipo de fenómeno de movimiento en masa consiste en el brusco desplome parcial de un talud o escarpa. Se presenta como un repentino desprendimiento de una porción significativa de material de cobertura del manto rocoso, también denominado depósito residual, al perder su cohesión interna ya sea por saturación (presencia de agua) o efecto de un movimiento sísmico u otro agente externo (incluida la acción humana).
- Erosión de laderas: Es uno de los procesos de desgaste natural de la superficie de los cerros que consisten en el desprendimiento y transporte de material del suelo o la roca por la acción directa de un agente físico como puede ser el agua, el viento, el hielo o la acción humana. Esta acción generalmente es lenta pero persistente y determina el debilitamiento de la estabilidad de la ladera y por lo tanto coadyuva a su colapso.

### **2.4.3. Heladas**

En concreto el fenómeno de las heladas es atmosférico y consiste en la ocurrencia de una temperatura igual o menor a 0°C a un nivel de 2 metros sobre el nivel del suelo, es decir al nivel reglamentario al cual se ubican las casetas de medición meteorológica” (González & Torres, 2012).

Del mismo modo, “el fenómeno climático que provoca la helada tiene lugar cuando la condensación se produce a temperaturas inferiores a la de congelación, en cuyo caso la humedad pasa directamente del estado de vapor al de sólido o hielo” (Baeza, 1993, p. 37).

Por otra parte el MINAGRI (2007) es un fenómeno atmosférico que se presenta cuando la temperatura del aire, existente en las cercanías del suelo, desciende de tal forma que puede ocasionar daños a los cultivos que allí se encuentran. En general puede causar solidificación del agua del suelo y las plantas debido al descenso significativo de la temperatura del aire, y que puede llegar por debajo del punto de congelación del agua. La temperatura crítica para la definición de una helada es variable, y suele considerar dos grandes grupos: agronómicos y meteorológicos.



- Helada Agronómica: En Agrometeorología una helada es la temperatura baja a la que los tejidos de la planta comienzan a sufrir daño, y puede ser más cálida que  $0^{\circ}$ .
- Helada Meteorológica: Es la ocurrencia de una temperatura igual o menor a  $0^{\circ}\text{C}$ , aun nivel de altura de 1.5m a 2m sobre el suelo.

Las menores temperaturas mínimas se presentan en el altiplano, esencialmente en las confluencias de Puno, Arequipa y Cusco.

#### **2.4.4. Sequias**

La sequía constituye una situación temporal, de mayor o menor duración, en la que los valores de precipitación son menores a los normales en la zona.

La sequía supone una anomalía transitoria, más o menos prolongada, caracterizada por un periodo de tiempo con valores de las precipitaciones inferiores a los normales en el área, mientras que la aridez es una característica climática natural en regiones de baja precipitación y, por tanto, permanente. Por tanto, si el déficit de agua es transitorio, provocado por una sequía, se aplicarán medidas temporales, mientras que si el déficit es permanente requiere acciones a largo plazo integradas en la planificación hidrológica general, bien sobre la oferta de recursos o sobre la gestión de la demanda.

La sequía meteorológica es la disminución de la precipitación respecto al valor medio en un plazo determinado. Es, por tanto, un dato de referencia regional que varía en función de las características climáticas de cada región y que no se puede extrapolar de unas regiones a otras (ANA, 2014).

Es un fenómeno recurrente del clima. Puede ocurrir en casi todas las zonas climáticas, con características variables de una región a otra. La sequía es una situación temporal y difiere de la aridez, que es propia de zonas de baja precipitación, de carácter permanente. A pesar de que existen diferentes definiciones para sequía, en el presente estudio se considera la sequía meteorológica que significa la disminución de la precipitación respecto a los valores medios durante un periodo determinado (CENEPRED, 2015).

- **Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)**

El Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), por sus siglas en inglés, fue creado por McKee et al. (1993) y es un índice de probabilidad que nos da una representación de los periodos secos y húmedos anormales; cuantificando el déficit de precipitación en distintas escalas de tiempo. Se basa en el uso de series de tiempo de precipitación mensual y su correspondiente ajuste a la función de distribución de probabilidad Gamma, que posteriormente es transformada en la función normal. Producto del ajuste y la transformación, cada dato de SPI calculado representa el número de desviaciones estándar que un dato está alejado de la media muestral.

La Organización Meteorológica Mundial (OMS), recomienda que todos los servicios meteorológicos e hidrológicos deberían utilizar el SPI para el monitoreo de las sequías a nivel nacional.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que el SPI está basado solamente en la precipitación y provee una medida de la provisión de agua, el índice es muy útil como una medida de los déficits de precipitación o sequías meteorológicas pero su limitación radica en que no considera la evapotranspiración. (Trenberth et al., 2014).

El Índice de Precipitación estandarizado para el año  $i$  en una determinada estación,  $SPI_i$ , viene definido por la siguiente expresión:

$$SPI = \frac{(P_i - Px)}{\sigma}$$

Donde:

$P_i$  es la precipitación anual.

$P_x$  es la media de la precipitación anual en todo el periodo.

$\sigma$  es la desviación estándar de la serie de precipitación anual del periodo completo.

La intensidad de la sequía en una región, para cada año, se establece en función de los valores del SPI. Se considera un suceso o evento de sequía para cualquier escala, cuando el SPI adopta valores negativos y consecutivos alcanzando una intensidad de -1 o menor, el evento termina cuando el SPI se vuelve positivo.

La siguiente tabla incluye la clasificación de para el SPI. Los valores positivos de SPI indican que la precipitación es mayor que la mediana, y los valores negativos, que es

menor. Dado que el SPI está normalizado, los climas húmedos y secos se pueden representar del mismo modo, por lo que también se puede hacer un seguimiento de los períodos húmedos utilizando el SPI. Los valores negativos del SPI representan déficit de precipitación y, contrariamente, los valores positivos indican que la precipitación ocurrida ha sido superior al promedio histórico.

**Tabla 1: Clasificación de valores del índice de precipitación estandarizado**

<b>Valores SPI</b>	<b>Categoría de Sequia</b>
2 a mas	Extremadamente húmedo
1.50 a .199	Muy húmedo
1.0 a 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Casi normal
-1.00 a -1.49	Moderadamente seco
-1.50 a -1.99	Severamente seco
-2.00 a menos	Extremadamente Seco

FUENTE: McKee et al. (1995)

#### **2.4.5. Geodinámica Interna**

Es originada por fuerzas que actúan desde el interior de la Tierra (fuerzas endógenas o tectónicas). Se inicia en la astenosfera (región superior del manto) y se desplaza en contra la gravedad. Esta geodinámica está relacionada con la formación de montañas, mesetas, cordilleras, entre otras, por lo tanto, es constructora del relieve de nuestro planeta.

A lo largo de la costa del Perú La interacción entre la Placa Oceánica de Nazca con la Placa Continental Sudamericana determinan la zona de subducción; la cual produce reajustes corticales que originan los sismos. Dentro del mapa sísmico del Perú (INGEMET, 2016), el área de estudio registra sismos de intensidades moderadas altas, con sismos probables de 6° a 8° en la escala de Richter (Magnitud); por lo que es probable su influencia en procesos geodinámicos.

#### **2.5. VULNERABILIDAD**

Según el DGPM-MEF (2007), la vulnerabilidad se entiende como como la incapacidad de una unidad social (personas, familias, comunidad, sociedad), estructura física o actividad económica, de anticiparse, resistir y/o recuperarse de los daños que le ocasionaría la ocurrencia de un peligro o amenaza. La vulnerabilidad es, entre otros, el

resultado de procesos de inapropiada ocupación del espacio y del inadecuado uso de los recursos naturales (suelo, agua, biodiversidad, entre otros) y la aplicación de estilos o modelos de desarrollo inapropiados, que afectan negativamente las posibilidades de un desarrollo sostenible.

La vulnerabilidad es resultado de los propios procesos de desarrollo no sostenible; una condición social, producto de los procesos y formas de cambio y transformación de la sociedad. Se expresa en términos de los niveles económicos y de bienestar de la población, en sus niveles de organización social, educación, en sus características culturales e ideológicas; pero también en términos de su localización en el territorio, en el manejo del ambiente, en las características y capacidades propias para recuperarse y de su adecuación al medio y a los peligros que este mismo medio presenta.

En el presente estudio se parte de la siguiente definición del concepto de *vulnerabilidad social* como "el nivel de riesgo que afronta una familia o individuo a perder la vida, sus bienes y propiedades, o su sistema de sustento (esto es, su medio de vida) ante una posible catástrofe. Dicho nivel guarda también correspondencia con el grado de dificultad para recuperarse después de tal catástrofe" (Pérez de Armiño, 1999, 2000); es decir, cuan preparada esté una persona, grupo o comunidad para enfrentar una situación adversa externa, y los medios con los que cuenta para enfrentar sus consecuencias; en general, alude a personas, grupos o comunidades en desventaja y *que pueden ser grupos vulnerables*, y verse especialmente afectados por y en determinadas situaciones (Sanchez, et al 2011).

## **2.6. DESASTRE**

Un desastre ocurre cuando el peligro, debido a su magnitud, afecta y/o destruye las bases de la vida de una unidad social (familia, comunidad, sociedad), estructura física o actividad económica que la sustentan y supera sus posibilidades para recuperarse de las pérdidas y los daños sufridos a corto o mediano plazo (DGPM-MEF, 2006).

Los desastres pueden ocurrir por causas asociadas a peligros naturales que pueden ser agravadas por otras de origen antropogénico, es decir, causas creadas por el ser humano en su intervención sobre la naturaleza para generar desarrollo (sobre pastoreo, deforestación, alteración de los lechos fluviales, agricultura no tecnificada en laderas,

expansión urbana e infraestructura desordenadas, inadecuada utilización del espacio y otras).

## 2.7. RIESGO

El riesgo se define como “la probabilidad de que la unidad social o sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia del impacto de un peligro” (DGPM-MEF, 2006). El riesgo es función de un *peligro* o *amenaza* que tiene unas determinadas características, y de la *vulnerabilidad* de una unidad social (personas, familias, comunidad, sociedad), estructura física o actividad económica, a dicho peligro. Esto quiere decir que el riesgo es una función de ambos componentes:

$$\mathbf{Riesgo} = \mathbf{f}(\mathbf{Peligro}, \mathbf{Vulnerabilidad})$$

Soldano (2008) señala que para poder “medir” el riesgo la expresión más generalizada es el producto de la probabilidad de la ocurrencia del evento considerado (potencial del peligro referido a una región y periodo determinados de tiempo) por las consecuencias esperadas (condiciones de vulnerabilidad de la comunidad asentada en dicha región):

$$\mathbf{Riesgo} = \mathbf{Peligro} \times \mathbf{Vulnerabilidad}$$

Es decir, esta fórmula expresa matemáticamente que: si estamos ante la presencia de un peligro (amenaza) y surge una vulnerabilidad (humana) asociada ante la misma, entonces existe un riesgo.

### 2.7.1. Gestión de Riesgo de Desastres

La ley N° 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres - SINAGERD dice:

Definición de Gestión del Riesgo de Desastres (artículo 3°) La Gestión del Riesgo de Desastres es un proceso social cuyo fin último es la prevención, la reducción y el control permanente de los factores de riesgo de desastre en la sociedad, así como la adecuada preparación y respuesta ante situaciones de desastre, considerando las políticas nacionales con especial énfasis en aquellas relativas a materia económica, ambiental, de seguridad, defensa nacional y territorial de manera sostenible. La Gestión del Riesgo de Desastres está basada en la investigación científica y de registro de informaciones, y orienta las

políticas, estrategias y acciones en todos los niveles de gobierno y de la sociedad con la finalidad de proteger la vida de la población y el patrimonio de las personas y del Estado.

Seguidamente el INDECI (2010) define la gestión de riesgo de desastres como un proceso social, de naturaleza sistémica, transversal, descentralizado y participativo, de formulación y adopción de políticas, desarrollo de estrategias y acciones orientadas a evitar la generación de nuevos riesgos, reducir los riesgos de desastres existentes, garantizar una respuesta oportuna y minimizar los efectos derivados de la materialización de los riesgos, en emergencias y desastres. Por tanto, el proceso de la Gestión del Riesgo de Desastres, comprende los siguientes procesos:

- Estimación del Riesgo.
- Reducción del Riesgo.
- Respuesta.
- Reconstrucción.

Lavell (2003) afirma que una definición básica de la Gestión de Riesgo nos remite a un proceso social, impulsado por estructuras institucionales y organizacionales apropiada, que persigue a través de la promoción de políticas, estrategias e instrumentos concretos, la reducción, previsión y el control de los factores de riesgo en la sociedad, todo articulado con los procesos de gestión del desarrollo y de un ambiente sostenible. Exige procesos de análisis, dimensionamiento del riesgo, de formulación estratégica, de toma de decisiones y de instrumentación de acciones y soluciones. Y, admite, en principio, distintos niveles de coordinación e intervención que va desde lo global, integral, lo sectorial y lo macro-territorial hasta lo local, lo comunitario y lo familiar.

## **2.8. SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA**

El Sistema de Información Geográfica (SIG) es una “Herramienta computacional” compuesta por equipos, programas, datos georeferenciados y usuarios que requieren organizar, analizar, automatizar procesos y producir información. Un SIG es un sistema computarizado que permite la entrada, almacenamiento, representación, análisis de datos; así como la salida eficiente de información espacial (mapas) y atributos (tabulares) (Burrough, 1986 y Valenzuela, 1989).

El Sistema de Información Geográfica (SIG), es una herramienta geotecnológica que forma parte de la Geomática, permite realizar la gestión eficiente de datos e información geoespacial, a través del almacenamiento, procesamiento, análisis, modelamiento y construcción de mapas a partir de datos vectoriales, datos tabulares y raster georreferenciados, para el conocimiento y solución de los problemas de índole territorial.

### 2.8.1. Elementos de un SIG

Un SIG está formado por cinco componentes o elementos y cada uno de esos componentes cumplen con una función para que existan entre ellos una interacción. Es decir, éstos conforman la información para que sea procesada o se realice un tratamiento, los recursos técnicos, humanos y las metodologías que se adopten en la organización o la empresa.

A continuación se describen a esos componentes:

- a. **Hardware:** Es el equipo de cómputo con el que opera un SIG. Actualmente el software de estos sistemas se ha adaptado a diversos tipos de hardware desde arquitecturas clientesservidor hasta computadoras de escritorio aisladas. Para las consultas espaciales el hardware es útil para efectuar el procesamiento de las operaciones que con base a algoritmos solucionan las relaciones entre geometrías.
- b. **Software:** Proporciona las herramientas y funciones necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica, para ello se necesitan de elementos principales de software los cuales son:
  - Herramientas para la entrada y manipulación de información geográfica.
  - Un sistema de administración de base de datos (DBMS Data Base Management System).
  - Herramientas que soportan consultas, análisis y visualización de elementos geográficos.
  - Una interfaz gráfica de usuario (GUI Graphical User Interface) de manera que facilite el acceso a las herramientas anteriormente mencionadas.
- c. **Datos:** se refiere al elemento principal para lograr una correcta información. Es decir una vez conocido el objeto del modelo del mundo real, se identifican las propiedades que lo forman, por ejemplo, sus atributos que se refieren a los elementos descriptivos y el tipo de geometría como el elemento espacial. En las

consultas espaciales es necesario conocer el tipo de geometría entre los objetos del mundo real que se relacionan topológicamente.

- d. **Gente:** son las personas que se encargan de administrar el sistema así como de desarrollar un proyecto basado en el mundo real, entre los que se involucran analistas, desarrolladores, administradores, programadores, y usuarios. Por ejemplo, para las consultas espaciales, esas personas se refieren a quienes proporcionan la información fuente, realizan la edición de la información, implementan los algoritmos útiles para resolver las consultas espaciales y los usuarios finales que se favorecen de la aplicación o proyecto elaborado.
- e. **Métodos:** son los planes de un buen diseño y las normas por parte de la empresa, las cuales son modelos y prácticas de operación de cada organización. [E.S.R.I., 2001].



**Figura 2: Componente de un Sistema de Información Geográfica**



## **2.8.2. Base de Datos Geoespacial**

Es una colección de datos organizados de tal manera que sirvan efectivamente para una o varias aplicaciones SIG. Esta base de datos comprende la asociación entre sus dos principales componentes: datos espaciales y sus atributos o datos no espaciales. (ESRI, 2002).

Una base de datos espacial es una base de datos que se ha optimizado para almacenar y consultar datos que representa los objetos definidos en un espacio geométrico. La mayoría de las bases de datos espaciales permiten representar objetos geométricos simples, tales como puntos, líneas y polígonos. Algunas bases de datos espaciales manejan estructuras más complejas, tales como objetos en tres dimensiones, coberturas topológicas, redes lineales, y TIN.

En este tipo de bases de datos es imprescindible establecer un cuadro de referencia (un SRE, Sistema de Referencia Espacial) para definir la localización y relación entre objetos, ya que los datos tratados en este tipo de bases de datos tienen un valor relativo, no es un valor absoluto. Los sistemas de referencia espacial pueden ser de dos tipos: georreferenciados (aquellos que se establecen sobre la superficie terrestre. Son los que normalmente se utilizan, ya que es un dominio manipulable, perceptible y que sirve de referencia) y no georreferenciados (son sistemas que tienen valor físico, pero que pueden ser útiles en determinadas situaciones).

## **2.9. MODELO**

Una definición bastante generalizada de modelo, originada en ámbitos geográficos, indica que es “una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades” (Joly, 1988:111).

De la definición se deduce que la versión de la realidad que se realiza a través de un modelo pretende reproducir solamente algunas propiedades del objeto o sistema original que queda representado por otro objeto o sistema de menor complejidad.

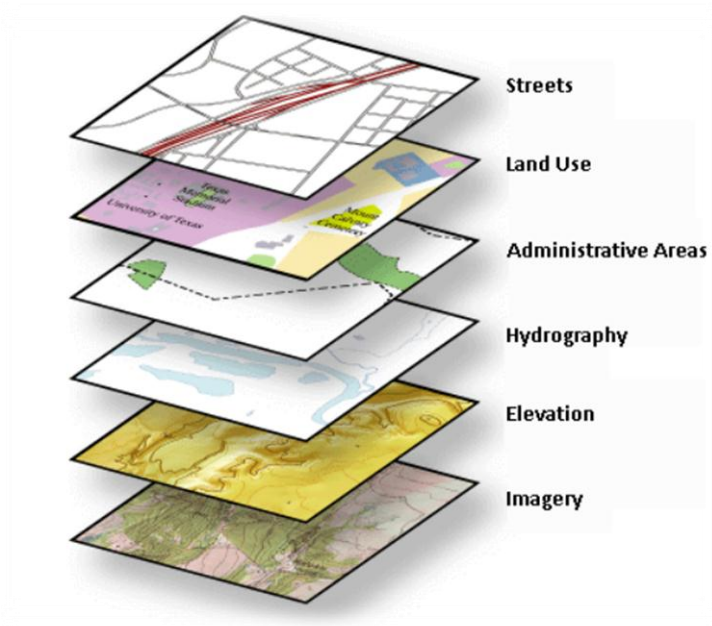
Pero una definición más técnica lo especifica; un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utiliza para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica. Para concretar, se denomina modelo a

la representación matemática o gráfica de la realidad que es utilizada para plantear un problema, normalmente de manera simplificada en términos relativos y planteados desde un punto de vista matemático, aunque también puede tratarse de un modelo físico. Es una representación conceptual o física a escala de un proceso o sistema (fenómeno), con el fin de analizar su naturaleza, desarrollar o comprobar hipótesis o supuestos y permitir una mejor comprensión del fenómeno real al cual el modelo representa (Rios Sixto, 1995).

### 2.9.1 Modelamiento Geoespacial

Modelamiento es la manipulación interactiva de los mapas a través de diferentes submodelos preparados y organizados de acuerdo a una hipótesis planteada (MINAM, 2010).

El modelamiento geoespacial es un conjunto de operaciones de análisis y comandos interactivos utilizando mapas que actúan como una superposición, cuyo fin es procesar decisiones de tipo espacial. La realidad está representada en mapas. Este modelamiento está orientado a procesos y no a productos. Se refiere a la utilización de las funciones de análisis de un sistema de información geográfica bajo una secuencia lógica, de tal manera que se puedan resolver problemas espaciales complejos. Es la expresión detallada de la manipulación de los datos utilizando las funciones del software SIG, para la producción de nueva información que será almacenada en el computador, de manera permanente como nuevas entidades o de manera virtual para análisis determinados.



**Figura 3: Superposición de Mapas Temáticos**

Por medio del análisis y modelamiento espacial se pueden desarrollar modelos que permitan al usuario la evaluación de diferentes alternativas para solucionar problemas espaciales. Sí se tuviera que hacer este tipo de análisis en forma manual, se gastaría mucho tiempo y el resultado saldría, muy probablemente, menos preciso que el mismo análisis en un SIG. Un SIG es una herramienta (no la solución a un problema) que se puede aplicar efectivamente para hacer un estudio espacial (Bakker et al, 2001).

Los datos espaciales enlazan información alfanumérica con una localización específica. La información alfanumérica se muestra en la pantalla del ordenador acorde a la localización de los objetos. Esto es lo que se llama modelo de datos “es un conjunto construido para la descripción y representación del aspecto de los objetos del mundo real en el ordenador” (Longley et al. 2011).

- **Modelo de Datos**

La codificación de los parámetros y variables de un modelo en un SIG requiere su simplificación y cuantificación. En definitiva se trata de utilizar un modelo de datos. Los SIG presentan diferentes estructuras de datos que corresponden a diferentes modelos de la realidad. Tanto en SIG como en gestión de bases de datos en general, suele asumirse la existencia de diversos niveles de abstracción en la codificación de los elementos de un modelo de datos mediante determinados modelos de datos.

En primer lugar un modelo conceptual acerca de cómo entendemos la realidad y en segundo lugar un modelo lógico que define las diferentes estrategias para codificar la realidad en función del modelo conceptual adoptado. Un tercer nivel, ya específico de cada programa concreto, sería un modelo físico que define la implementación digital de un determinado modelo lógico.

- a. Diseño Conceptual**

Corresponde a la conceptualización de la realidad por medio de la definición de objetivos del espacio geográfico (rasgos geográficos) con sus relaciones espaciales y sus características; es decir, los atributos con lo que serán representados en un esquema describiendo los fenómenos del mundo real. Para llegar a ello, se debe tener el conocimiento y el análisis de datos que se requiere para utilizar y de esta manera

determinar el modelo, los submodelos y las variables requeridas y luego establecer los rasgos y atributos que tenga relación para llegar a construir el modelo final.

#### **b. Diseño Lógico**

Se define como el diseño detallado de la base de datos que deben contener y la información sobre las variables de atributos descriptivos y los niveles de información gráfica o variables de atributos geométricos que deben ser capturados con los atributos, código de identificación, tipos de datos numéricos o carácter, su longitud, los rasgos geográficos (punto, línea o área) de cada uno de los mapas temáticos requeridos.

#### **c. Diseño Físico**

Viene a ser la implementación de los anteriores modelos en los programas y equipos necesarios, con los que se va a desarrollar el proyecto, considerando las especificaciones. Este modelo determina en qué forma se debe almacenar los datos, cumpliendo con las restricciones y el aprovechamiento del sistema a utilizar; siendo el utilizado para este caso una Base de Datos Geoespacial.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA

##### 3.1.1. Ubicación, Extensión y Límites

La cuenca Camaná-Majes-Colca (UH 134) tiene una extensión de 17 152.73 km<sup>2</sup> se ubica en la parte S de la costa del Perú, en la vertiente Pacífica, entre las coordenadas geográficas que se indican en la siguiente tabla:

**Tabla 2: Ubicación de la cuenca Camana-Majes-Colca**

Sistemas	Datum	Componentes	Valor	
			Mínimo	Máximo
Coordenadas Geográficas	Horizontal WGS 84	Longitud Oeste	70° 53' 5''	72° 44' 6''
		Latitud Sur	14° 55' 50''	16°37'59''
Coordenadas UTM Zona 18	Horizontal WGS 84	Metros Este	737 940	821 990
		Metros Norte	8 159 678	8 347 644
Altitud	Vertical Nivel Medio del Mar	msnm	0	6398

Geográficamente, la cuenca limita por el Norte, con las cuencas de los ríos Apurímac y Ocoña por el sur, con la cuenca del río Quilca y el océano pacífico; por el Este, con las cuencas de los ríos Tambo y Apurímac, y por el Oeste, con la cuenca de río Ocoña.

Políticamente ocupa los distritos de José María Quimper, Mariscal Cáceres, Nicolás de Piérola, Quilca y Samuel Pastor, en la provincia de Camaná; los distritos de Aplao, Andagua, Ayo, Chachas, Chilcaymarca, Choco, Huancarqui, Machaguay, Orcopampa, Pampacolca, Tipán, Uñon, Uraca y Viraco, en la provincia de Castilla; Chivay, Achoma, Cabanaconde, Callalli, Caylloma, Coporaque, Huambo, Ichupampa, Lari, Lluta, Maca, Madrigal, San Antonio de Chuca, Sibayo, Tapay, Tisco, Tuti, Yanque y Majes, en la provincia de Caylloma; los distritos de Chuquibamba, Andaray, Cayarani, Iray y Salamanca, en la provincia de Condesuyos; y el distrito de Puyca, en la provincia de La Unión, todos ellos en el departamento de Arequipa. Además, ocupa el distrito de Condorama, en la provincia de Espinar del departamento de Cusco; así como el distrito de Santa Lucía, en la provincia de Lampa, del departamento de Puno.

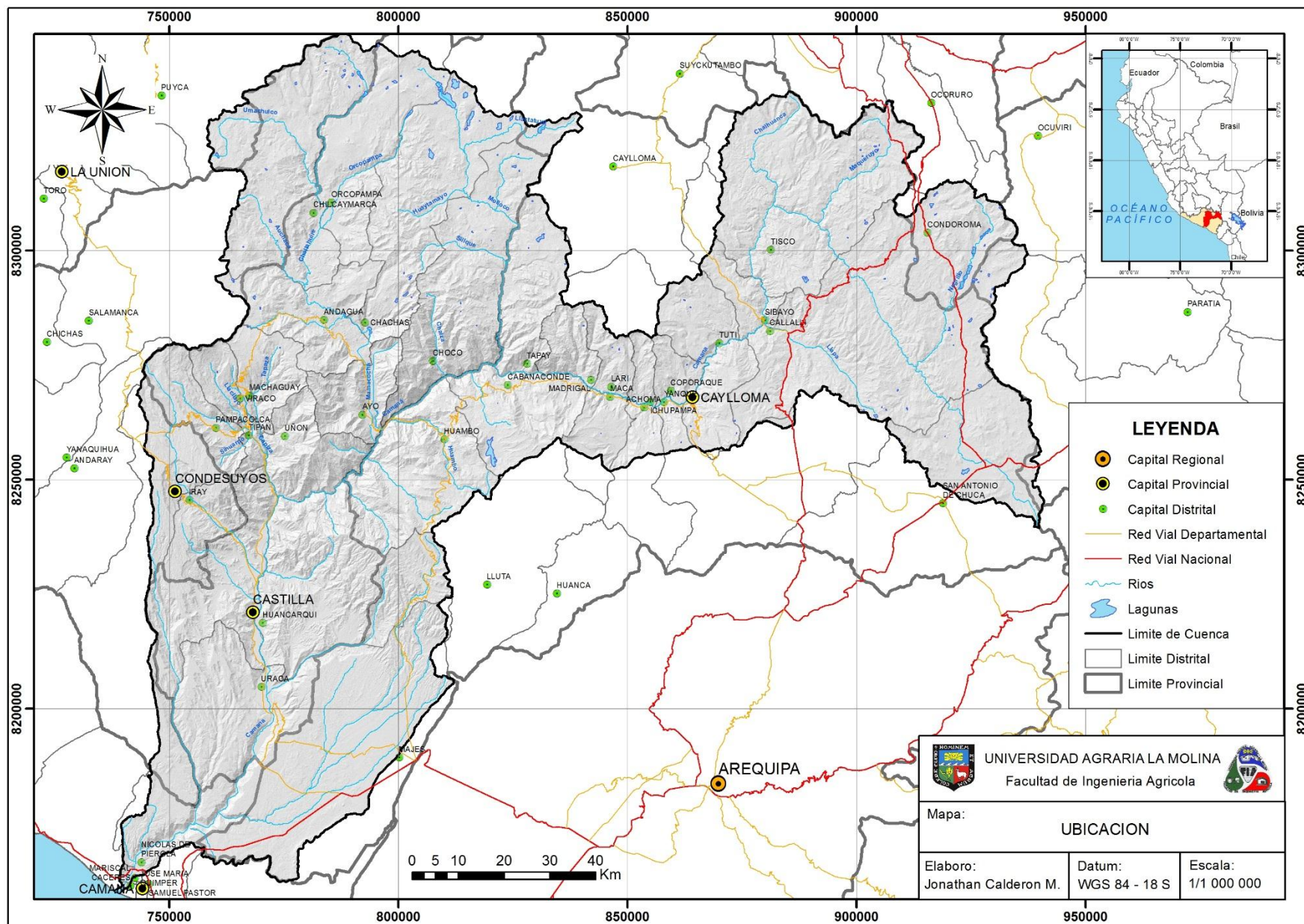


Figura 4: Mapa de ubicación de la cuenca Camana-Majes-Colca

### 3.1.2. Características Topográficas y Fisiográficas

El relieve general de la cuenca Camaná-Majes-Colca es característico de la mayoría de ríos de la vertiente occidental: de fondo profundo y quebrado, y de pendiente fuerte, presenta una fisiografía escarpada cortada por quebradas de fuerte pendiente y estrechas gargantas. La cuenca se encuentra limitada por cadenas de cerros con dirección hacia aguas abajo y muestran un descenso sostenido del nivel de cumbres.

En relación a las formas del relieve o unidades fisiográficas, en el ámbito de la cuenca Camaná-Majes-Colca se presentan hasta 19 formaciones distintas definidas en función, fundamentalmente, de la pendiente, la disección del terreno y la localización en la costa o sierra. La tabla siguiente presenta la distribución de estas formaciones en la cuenca, así como los nevados y las lagunas.

**Tabla 3: Unidades Fisiográficas de la Cuenca Camaná-Majes Colca**

Símbolo	Unidad Fisiográfica	Descripción	Región
LL-a	Planicie	Llanura	COSTA
V-a	Planicie	Valle y llanura irrigada	
Llo-c	Planicie Ondulada a Disectada	Llanura disectada	
Llo-b	Planicie Ondulada a Disectada	Llanura ondulada	
C-d	Colina y Montaña	Colina	
Vc-d	Colina y Montaña	Vertiente montañosa moderadamente empinada	
Vc-e	Colina y Montaña	Vertiente montañosa empinada a escarpada	
A-a	Planicie	Altiplanicie	
Vg-a	Planicie	Fondo de valle glaciar	
Ad-c	Planicie Ondulada a Disectada	Altiplanicie disectada	
Ao-b	Planicie Ondulada a Disectada	Altiplanicie ondulada	
Vs1-d	Colina y Montaña	Vertiente montañosa y colina moderadamente empinada	
Vs1-e	Colina y Montaña	Vertiente montañosa y colina empinada a escarpada	
Vsa-b	Planicie Ondulada a Disectada	Vertiente allanada	SIERRA – Zona Mesoandina
Vso-c	Planicie Ondulada a Disectada	Vertiente allanada a disectada	
Vs2d-e	Montaña	Vertiente montañosa fuertemente disectada	
Vs2-d	Montaña	Vertiente montañosa moderadamente empinada	
Vs2-e	Montaña	Vertiente montañosa empinada a escarpada	
Vs3-e	Montaña	Vertiente montañosa empinada a escarpada	SIERRA – Zona Bajo andina
Lagunas	Lagunas	Lagos, Lagunas	
Nv	Nieve	-	

Fuente: SNIRH, ANA (2014)

Las unidades fisiográficas principales son:

- Valle y llanura irrigada (V-a): relieve que se presenta en la cuenca baja, en el valle aluvial y las llanuras inundables, de relieve prácticamente llano o plano.
- Planicie – Llanura (Ll-a): representa el 2,3% del área de la cuenca, y localizada en la unidad hidrográfica Molles. Consistente en planicies desérticas, de 0 a 4% de pendiente con pequeñas ondulaciones y accidentes topográficos, debidas a irregularidades del substrato rocoso y la cobertura cuaternaria.
- Llanura ondulada (Llo-b): Localmente en la cuenca baja se presentan relieves con pendientes suaves de hasta el 15% y formas redondeadas. Formas características de los depósitos de llanuras aluviales no inundables.
- Llanura disectada (Lld-c), presente en las cabeceras de las quebradas Molles, Hospicio y Crespón (Majes), en los terrenos destinados a la expansión del Proyecto Especial Majes Siguas y en la localidad de Porvenir (Nicolás de Piérola). Consistente en zonas suavemente inclinadas con pendientes suaves entre 10% y 15%. Representa el 0,5% de la superficie del ámbito.
- Colinas (C-d), apenas el 1,7% del total del ámbito y localizadas principalmente en ambas márgenes de la quebrada Puluviñas y en la desembocadura de la quebrada Hospicio Hospicio, con un desnivel inferior a 300 m, cuyas laderas se inclinan en promedio con valores superiores a 16% de pendiente.
- Vertiente montañosa moderadamente empinada: representa el 3,7% de la superficie del ámbito y que se presenta localmente en la costa (Vc-d), y la sierra mesoandina (Vs2-d), con pendientes largas que varían de 25% a 50%.
- Vertiente montañosa empinada a escarpada: es el tipo de relieve predominante en la costa (Vc-e), Sierra mesoandina (Vs2-e) y bajoandina (Vs3-e); el 24% de la cuenca, presenta un relieve fuertemente disectado con pendientes que varían de 50% a 75%, con suelos superficiales a muy superficiales.
- Vertiente montañosa y colina moderadamente empinada: relieve que se presenta en la sierra altoandina (Vs1-d), principalmente en la cabeceras de las unidades hidrográficas Ayo y Alto Camaná, con cimas redondeadas y laderas largas, con pendientes dominantes entre 15 y 35%.
- Vertiente montañosa y colina empinada a escarpada: relieve característico de la sierra altoandina (Vs1-e), con un 35,4% del territorio de la cuenca, constituida por colinas con cimas subredondeadas y laderas con pendientes dominantes entre 40%



y 60%. Se presenta extensamente en el Alto Colca y las nacientes del río Orcopampa y Auchaca, por encima de 3 600 msnm.

- Altiplanicie disectada (Ad-c): Este tipo de formación se localiza en las partes altas, próxima a las nacientes del Colca en la quebrada Poco Poco y la laguna Jayuchanca (Dique de los Españoles), e río Llacatuyo, margen derecha del Umachulco, nacientes del Molloco y entorno de las lagunas Machucocha, Yaiculle, Llaygua y Asoca (Alto Molloco), por encima de los 4 000 msnm. Localmente se presentan un relieve con pendientes cortas y suaves de hasta el 15% pero con formas angulosas en los cambios de vertiente.
- Fondo de valle glaciario (Vg-a): valles en forma de U, por encima de los 4 200 msnm. Únicamente se sitúa en la confluencia de los ríos Sillque y Molloco.
- Nevados (Nv), ocupan el 0,8% del territorio, principalmente en las divisorias de la cuenca, por encima de los 4 700 msnm de altitud. Alimentan las lagunas glaciares en las cabeceras.
- Altiplanicie (A-a) y Altiplanicie ondulada (Ao-b): En la cuenca alta por encima de los 4 000 msnm, localmente se presentan relieves con pendientes suaves de hasta el 15% y formas redondeadas, sobre todo por la zona de las presas de El Pañe, Bamputañe y Dique de los Españoles, nacientes del río Maquerullo, entorno de las lagunas Yauca, Almilla y Chuila Chuila (subcuenca Llacatuyo) y en la confluencia de los ríos Orcopampa y Challahuire.

Como puede observarse, las unidades predominantes en la cuenca Camaná-Majes-Colca corresponden a vertientes montañosas y colinas empinadas a escarpadas (el 35,4% de la cuenca), seguidas de las vertientes montañosas moderadamente empinada (el 16,7%) de la cuenca, todas ellas en la zona altoandina de Sierra. Las formaciones de planicie y llanura costeras constituyen el 7,5% de la superficie total de la cuenca.

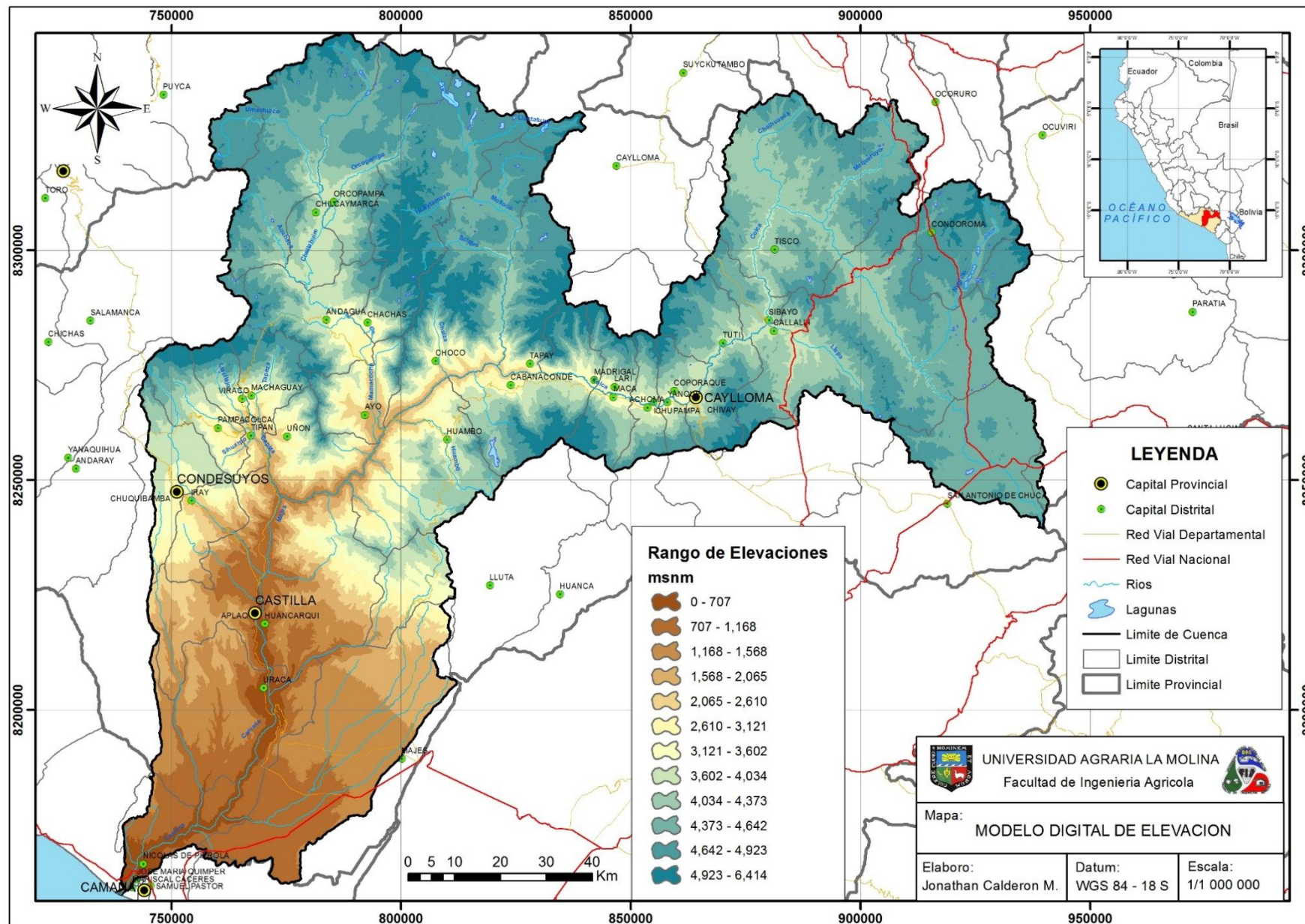


Figura 5: Modelo Digital de Elevación de la Cuenca

### 3.1.3. Caracterización Geológica

Las rocas más antiguas que afloran en el área corresponden al basamento cristalino, que se denomina Complejo Basal de la Costa de edad Precambriana. Durante el Caloviano se inicia una fase de transgresión marina cubriendo extensas áreas de la faja costanera, depositándose el Grupo Yura en un mar sujeto a movimientos verticales. Los afloramientos de la Cuenca de Camaná descansan con discordancia erosional sobre el basamento metamórfico. La transgresión se prolongó hasta el Cretáceo Inferior finalizando esta sedimentación de ambientes litorales, depositando secuencias de turbiditas en plataforma, posteriormente depósitos de prodelta, y marinos profundos, pasando a una somerización paulatina hasta el Cretáceo Inferior, finalizando en la deposición de sedimentos marinos someros.

Durante el Cretáceo Inferior, las áreas emergidas fueron sujetas a condiciones de oxidación, lo que condujo a la acumulación de capas rojas. La Formación Murco se depositó en ambiente marino transgresivo somero, que alcanzó su mayor profundidad durante el Albiano (Formación Arcurquina) que se mantuvo posiblemente hasta el Coniaciano.

En el intervalo Cretáceo superior a principios del Paleoceno, toda la pila sedimentaria fue afectada por vigorosos esfuerzos compresivos, una tectonogénesis denominada Fase Peruana que parece estar relacionada con la intrusión batolítica del flanco occidental de los Andes. Posterior a este evento se desarrolló una intensa erosión y acumulación de materiales detríticos continentales que constituyen la Formación Huanca, cuya deposición se habría prolongado hasta el Oligoceno.

A fines del Oligoceno o principios del Mioceno ocurrió una segunda etapa de plegamiento, conocida regionalmente como Fase Incaica, la cual fue seguida por una emersión general, ocurriendo un intenso volcanismo que dio origen a la Formación Orcopampa del Grupo Tacaza, asociada a cuerpos hipabisales portadores de soluciones mineralizantes. La actividad magmática continuó hasta fines del Mioceno, época en que la zona fue afectada por un leve plegamiento conocido como Fase Quichuana. Acontecimiento geológico seguido por un proceso denudatorio, en el que se desarrolló la “Superficie Puna”, sobre la que depositaron sedimentos continentales de la Formación Moquegua, principalmente en la depresión preandina (cuencas de antearco).

Dentro del Terciario se han reconocido unidades tanto marinas, continentales como volcánicas, correspondiendo las primeras la formación Camaná del Oligoceno superior,

Mioceno inferior y la formación Sotillo del Mioceno superior; las segundas a la formación Moquegua del Terciario superior.

Luego, se inicia el brusco levantamiento de los Andes con un fallamiento en bloque, originándose una nueva etapa de volcanismo durante el Plio-pleistoceno, representada en los Grupos Sillapaca y Barroso.

En el Pleistoceno superior se inició la etapa de glaciación y posteriormente la deglaciación produce una intensa erosión fluvial con desarrollo y acumulación de depósitos fluvioglaciares de rápidos, gargantas y encañonamiento de ríos, configurándose el sistema de drenaje actual.

En el Cuaternario reciente, probablemente como efecto de una tensión regional, se registró en la zona una nueva etapa de desarrollo lávico clastolítico, con formación de los conos volcánicos, integrantes del Grupo Andahua; en la parte baja de la cuenca un conglomerado continental, luego las terrazas marinas y finalmente los depósitos clásticos recientes.

**Tabla 4: Unidades Geológicas de la cuenca Camana-Majes-Colca**

<b>SIMBOLO</b>	<b>UNIDAD GEOLOGICA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
PeB-gn	Complejo basal costa	Ortogneises graníticos blancos y verdosos, micaesquesitas de muscovita de coloración verdosa
Js-yu	Grupo Yura	Serie interestratificada de lutitas, cuarcitas lutáceas y cuarcitas.
Ki-mc	Formación murco	Lutitas de color rojo, gris claro y pardo rojizo, con algunas capas de conglomerado y yeso.
Ks-ar	Formación Arcurquina	Calizas de color claro con intercalaciones lutáceas.
Ks-hu	Formación Huanca	Conglomerados, areniscas y lodo compacto rojizo
PN-Ta	Grupo Tacaza	Areniscas, brechas, lavas andesíticas, tabas, conglomerado tabaceos, areniscas y limolita
Nm-so	Formación Satillo	Areniscas, arcosa y lutitas
Nm-ca	Formación Camaná	Andesita y flujos de brecha andesíticas intercalada con arenisca y piroclastos
Nm-v-al	Formación Alpbamba	Tabas brechoides, riolíticas dacíticas, con niveles de areniscas tabaceas y conglomerado basal.
Nmp-mo	Formación Moquegua	Arcilla puras, arenosas, conglomeradas y cenizas volcánicas interestratificadas
Nm-si	Grupo Sillapaca	Flujo de bloques y ceniza soldados. N N Andesitas y derrames basálticos, tufos y brechas
Np-ba	Grupo Barroso	Bancos bien definidos de tufos y lavas de composición traquítica con cantidades menores de andesita
Qh-al	Depósitos aluviales / fluvioglaciares	Gravas con clastos subangulosos a subredondeados con areneras; clastas y bloques
P-to/gd	Tonalitas	Tonalitas y granodioritas
Ks-ti/gd	Gran Unidad Tiabaya	Granodioritas, tonalitas
Ks-gd/to	Gran Unidad Incahuasi	Granodioritos-tonalitos y manzogramitos
Pi-gd/gr	Granito, granodiorita	Granito, granodiorita

Fuente: ANA (2014)

### 3.1.4. Geodinámica Interna

La interacción de la Placa de Nazca y la Sudamericana, es el principal proceso tectónico que define la geodinámica de Perú. Este proceso es conocido como subducción, el mismo que produjo el arrugamiento y levantamiento de la margen continental durante un período orogénico muy complejo hasta formar una superficie topográfica muy accidentada, cuyo resultado final fue la formación de una cadena montañosa que se extiende, de N a S, a lo largo de todo el borde O de Sudamérica, conocida como la Cordillera de los Andes.

Esta cordillera fuertemente deformada, comprende un conjunto de diversas estructuras, tales como montañas, volcanes, anticlinales, sinclinales, mesetas y otras que se encuentran emplazadas entre la línea de fosa peruano-chilena y el llano amazónico.

Los sismos representan la expresión más clara de que la superficie en la cual habitamos se encuentra en continua evolución. Por lo tanto, la ocurrencia frecuente de estos eventos, sin importar su tamaño, permitirá conocer cada vez más que regiones son más dinámicas que otras.

- Sismicidad

En el mapa de distribución de máximas intensidades para Perú, en la cuenca Camaná-Majes-Colca se dan valores de intensidad VI, VII y VIII en la escala Mercalli Modificada; lo cual indica que existe bastante actividad volcánica en algunas partes de la cuenca.

- Vulcanismo

Los Andes de América del Sur, son una de las áreas de mayor actividad sísmica y volcánica de la tierra. Los Andes Sudamericanos se han dividido en 3 cinturones volcánicos:

- Andes septentrionales (Colombia, Ecuador).
- Andes Centrales (Perú, Chile, Bolivia, NO de Argentina) y
- Andes Meridionales (Chile, Argentina).

Los tres grandes Cinturones Volcánicos reconocidos en esta región representan alrededor del 10%, tanto de volcanes activos como de erupciones históricas registradas en el mundo.

En el cinturón de los Andes Centrales, en Perú, se han localizado 7 volcanes activos: Ubinas, Huaynaputina y Ticsani en Moquegua; Tutupaca y Yucamane en Tacna; Misti y Sabancaya en Arequipa; de los cuales, el último, se localiza en la cuenca.

El Sabancaya, está ubicado a 75 km al noroeste de la ciudad de Arequipa y muy cerca del valle del río Colca. Una de sus manifestaciones eruptivas se produjo en 1986-1998, depositando amplios paquetes de ceniza hasta 15-20 km a su alrededor. Las emisiones que se produjeron afectaron a las poblaciones aledañas (IGP, 2014).

Conforme al Comunicado Oficial N° 04-2016 del Comité Científico - Técnico para la Gestión del Riesgo Volcánico de la Región Arequipa, la última actividad eruptiva del Volcán Sabancaya se dio a finales del mes de diciembre del 2016 en la que la sismicidad de este aumento notoriamente, principalmente en lo referente a la ocurrencia de sismos tipo “híbridos” que denotan ascenso de magma hacia la superficie, aumentando el número y altura de las explosiones, alcanzando los 4,500 metros, cuyas emisiones de cenizas y gases se dispersaron en dirección Oeste, Norte y Nor Oeste llegando hasta poco más de 40 km. de distancia del volcán.

- Fallas Geológicas

Fenómenos de tectonismo y movimientos epirogénicos han estado activos hasta el Cuaternario, y posiblemente continúan activos en la actualidad. Condicionan la localización de las fallas activas locales, que acumulan tensiones en el terreno, liberadas repentinamente mediante sismos.

En la cuenca se encuentran identificados dos sistemas de fallas normales activas: El sistema Pampacolca (PC) y Huambo-Cabanaconde (HC) (IGP, 2002).

### **3.1.5. Cobertura Vegetal**

La cuenca Camaná-Majes-Colca se caracteriza por sus amplias zonas de pajonal altoandino (42,8%), desierto costero (19,9%) y matorral arbustivo (17,3%). Existen áreas agrícolas tanto en la zona costera como en la andina (3,5%) y escasa vegetación de ribera en las márgenes de los ríos. La zona alta de la cuenca se caracteriza por una destacada cobertura de glaciario (0,5%) y periglaciario (14,8%).

En la tabla y figura siguientes se presenta las distintas coberturas vegetales presentes en la cuenca:

**Tabla 5: Tipos de Cobertura Vegetal de la cuenca Camana-Majes-Colca**

<b>SIMBOLO</b>	<b>FORMACION VEGETAL</b>	<b>Area (%)</b>
Agri	Agricultura costera y andina	3.5
Ap	Periglaciario	14.8
Bo	Bofedal	0.7
Bral	Bosque relictivo altoandino	0.1
Ciu	Ciudad	<0.1
D	Desierto costero	19.9
Gl	Glaciario	0.5
Lag	Lago y laguna	0.3
Lo	Lomada	<0.1
Ma	Matorral arbustivo	17.3
Pj	Pajonal altoandino	42.8

Fuente: MINAM (2012) y SNIRH-ANA (2014)

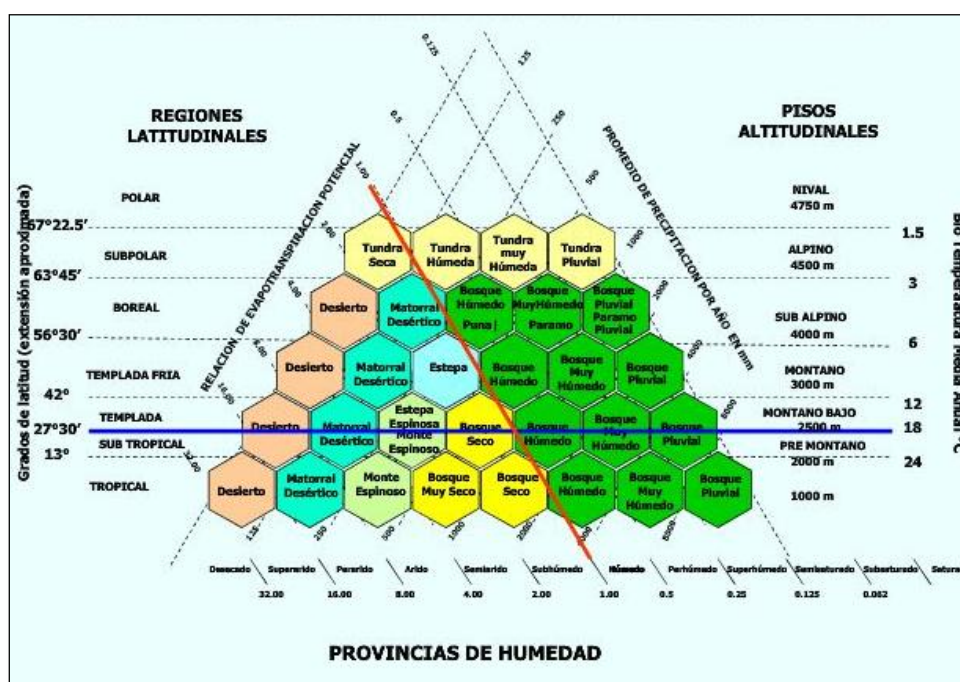
### **3.1.6. Aspecto Biótico – Zonas de Vida**

El Sistema de Clasificación de Zonas de Vida de Holdridge (Figura x), permite clasificar las diferentes áreas del país, tomando en cuenta las regiones latitudinales y los pisos altitudinales. La unidad central de clasificación es la zona de vida, la cual comprende temperatura, precipitación y evapotranspiración. Una zona de vida es un grupo de asociaciones vegetales dentro de una división natural del clima, las cuales tomando en cuenta las condiciones edáficas y las etapas de sucesión, tienen una fisonomía similar en cualquier parte del mundo. El objetivo de dicha zonificación es el de determinar áreas donde las condiciones ambientales sean similares, con el fin de agrupar y analizar las diferentes poblaciones y comunidades bióticas.

El sistema se basa en tres parámetros principales: la biotemperatura media anual, la precipitación anual y la evapotranspiración potencial (EPT).

Una zona de vida es un grupo de asociaciones vegetales dentro de una división natural del clima, las cuales tomando en cuenta las condiciones edáficas y las etapas de sucesión, tienen una fisonomía similar en cualquier parte del mundo. El objetivo de dicha zonificación es el de determinar áreas donde las condiciones ambientales sean similares, con el fin de agrupar y analizar las diferentes poblaciones y comunidades bióticas.

**Figura 6: Diagrama clasificación de zonas vida de Holdridge**



La configuración geomorfológica, climática y cobertura vegetal del ámbito de incidencia de la cuenca Camaná-Majes-Colca ha determinado la definición de 14 sistemas ecológicos.

**Tabla 6: Zonas de Vida existentes en la cuenca Camana-Majes-Colca**

Símbolo	Sistema Ecológico
bh	Bosque Húmedo
da	Desierto Árido
dd	Desierto Desechado
dp	Desierto Perarido
ds	Desierto Superarido
e	Estepa
ee	Estepa Espinosa
md	Matorral Desértico
NS	Nival
ph	Páramo húmedo
pmh	Paramo muy humedo
th	Tundra humeda
tmh	Tundra muy humeda
tp	Tundra pluvial

Fuente: SNIRH-ANA (2014)



### 3.1.7. Características Socioeconómicas

#### a. Población

El ámbito de la cuenca Camaná-Majes-Colca se encuentra comprendido principalmente en el departamento de Arequipa, y algunas partes en los departamentos de Cusco y Puno. En base a las estimaciones y proyecciones de población más recientes de que se dispone (INEI, 2010), la población habitante en la cuenca Camaná-Majes-Colca se estimó en 94 499 habitantes en 2015.

#### b. Educación

Según el Censo Nacional XI de Población y VI de Vivienda (INEI, 2008), la tasa de analfabetismo en las provincias en el departamento de Arequipa, donde se enmarca la casi totalidad de la cuenca Camaná-Majes-Colca, es del 4,1%, si bien se observa que tiene mayor incidencia en mujeres (6,5%) con respecto a la tasa de analfabetismo en los hombres (1,6%). La provincia que registra una mayor tasa de analfabetismo es la de La Unión, con el 20,8%, si bien sólo el distrito de Puyca se enmarca en la cuenca, con una tasa que alcanza el 33,7%.

**Tabla 7: Tasas de analfabetismos por departamentos y provincias**

DEPARTAMENTO	Provincia	Tasa de analfabetismo (%)		
		Total	Hombre	Mujer
Arequipa	Camaná	4.2 %	2.1 %	6.6 %
	Castilla	9.1%	3.8 %	15.2 %
	Caylloma	8.3 %	2.9 %	14.0 %
	Condesuyos	10.1 %	3.3 %	19.4 %
	La unión	20.8 %	8.6 %	32.6 %
	Departamento de Arequipa		4.1 %	1.6 %
Cusco	Espinar	14.4 %	5.8 %	22.9 %
Departamento de Cusco		13.9%	6.7 %	21.0 %
Puno	Lampa	11.5 %	4.6 %	18.2 %
Departamento de Puno		12.2 %	5.3 %	19.0 %

FUENTE: INEI (2008)

La provincia de Espinar, en el departamento del Cusco, tiene una tasa del 14,4%, mayor que el promedio departamental del 13,9%, si bien el único distrito que se encuentra en la cuenca, Condorama, presenta una tasa algo menor, del 10,8%. Por el contrario, en el departamento de Puno, la provincia de Lampa tiene una tasa del 11,5%, por debajo del

promedio departamental, del 12,2%, si bien el único distrito de este departamento que se encuentra en la cuenca, Santa Lucía, alcanza una tasa de analfabetismo del 12,7%.

La provincia con una mayor tasa de analfabetismo es La Unión, siendo esta misma provincia donde la diferencia entre la tasa de analfabetismo entre hombres y mujeres es mayor, con una diferencia de 24 puntos porcentuales.

### c. Salud

En el siguiente cuadro se presenta el porcentaje de población que cuenta con algún seguro de salud (SIS, ESALUD u otro), según el Censo Nacional XI de Población y VI de Vivienda para el año 2007 en las provincias en las que se encuentra el ámbito de la cuenca Camaná-Majes-Colca.

Como se observa en la tabla anterior, entre el 40% y el 60% de la población en las provincias de Arequipa que se encuentran en la cuenca cuenta con algún tipo de seguro de salud, salvo en el caso de las provincias de Camaná y Caylloma, en que es menor. El nivel de aseguramiento en la provincia de Espinar,

Cusco es similar al promedio departamental de Arequipa, si bien es inferior al promedio del Cusco. En el departamento de Puno es donde se observan los niveles más bajos de aseguramiento los cuales, en la provincia de Lampa, son los menores de todo el ámbito considerado.

**Tabla 8: Población Asegurada**

<b>Departamento</b>	<b>Provincia</b>	<b>Población total</b>	<b>Población asegurada</b>	<b>%Población asegurada</b>
<b>Arequipa</b>	<b>Camana</b>	53 065	18 926	35.7 %
	<b>Castilla</b>	38 425	17 483	45.5 %
	<b>Caylloma</b>	73 718	27 690	37.6 %
	<b>Condesuyos</b>	18 991	9 761	51.4 %
	<b>La unión</b>	15 662	8 853	56.5 %
<b>Departamento Arequipa</b>		1 152 303	493 834	42.9%
<b>Cusco</b>	<b>Espinar</b>	62 698	26 574	42.4 %
<b>Departamento Cusco</b>		1 171 403	585 075	49.9 %
<b>Puno</b>	<b>Lampa</b>	48 223	17 770	26.9 %
<b>Departamento Puno</b>		1 268 441	340 971	36.8 %

FUENTE: INEI (2008)

#### d. Fuerza Laboral

A continuación se adjunta una tabla con el porcentaje de población de 6 y más años de edad según provincia y condición de actividad económica para el año 2007 en las provincias donde se ubica la cuenca Camaná-Majes-Colca.

El porcentaje de la PEA de 6 y más años de edad en las provincias de Arequipa está por lo general por encima del promedio departamental (47,4%), y en las cuales su práctica mayoría, se encuentra ocupada. La provincia de La Unión presenta no obstante un porcentaje de ocupación inferior al promedio departamental.

En los departamentos de Cusco y Puno, la PEA no representa ni el 50% de la población total, si bien el nivel de ocupación es alto.

En el departamento de Arequipa la PEA ocupada mayoritariamente se dedica al comercio y al sector servicios, mientras que en los departamentos de Cusco y Puno, la actividad predominante corresponde al sector primario (agricultura, pesca y minería), seguido del comercio. A escala provincial, la agricultura y la minería emplean la mayor parte de fuerza laboral. La ocupación en manufactura tiene cierta importancia relativa y la actividad en los sectores de construcción y transporte ocupan una pequeña fracción de la PEA. Para mayor detalle ver el cuadro siguiente.

**Tabla 9: Distribución de la PEA según rama de actividad**

Departamento	Provincia	Rama de Actividad					
		Agricultura, pesca y minería	Manu-factura	Construc-ción	Comercio	Transporte y comuni-caciones	Otros Servicios
Arequipa	Camana	43.7 %	3.5 %	4.5 %	20.4 %	7.5 %	20.4 %
	Castilla	60.5 %	3.0 %	5.5 %	12.7 %	3.6 %	14.7 %
	Caylloma	57.9 %	4.8 %	5.2 %	15.7 %	4.4 %	12.0 %
	Condesuyos	72.5 %	1.8 %	3.3 %	8.3 %	1.8 %	12.3 %
	La unión	70.1 %	1.5 %	4.1 %	7.0 %	1.6 %	15.7 %
<b>Departamento Arequipa</b>		21.4 %	9.1 %	6.4 %	24.8 %	9.0 %	29.1 %
Cusco	Espinar	57.8 %	3.6 %	8.7 %	14.1 %	3.6 %	12.3 %
<b>Departamento Cusco</b>		38.8 %	5.7 %	6.6 %	20.2 %	6.5 %	22.3 %
Puno	Lampa	60.7 %	7.8 %	4.7 %	8.7 %	1.8 %	14.6 %
<b>Departamento Puno</b>		50.4 %	6.2 %	4.5 %	16.7 %	5.7 %	16.5 %

FUENTE: INEI (2008)

#### e. Pobreza

La condición de pobreza en las provincias en que se localizan las cuencas está reflejado en los siguientes indicadores: en las provincias que ocupan las partes altas, la población pobre representa una mayor parte del total, que llega a superar el 50% en la provincia de

La Unión, y el 60% en las provincias de Espinar y Lampa. La mayoría de la población del departamento de Arequipa se considera no pobre. En el resto de provincias los valores resultan más desfavorables que su promedio departamental. En la provincia de Espinar es donde la pobreza extrema alcanza el mayor valor de toda la cuenca.

#### **f. Servicios Básicos**

En las provincias en las que se ubica la cuenca Camaná-Majes-Colca se observa con mayor intensidad la falta de servicios básicos de agua potable en las provincias de Lampa y Caylloma, donde los porcentaje de la población en hogares sin agua son del 75,2% y del 54,1% respectivamente; en la provincia de Lampa, además, el 80,4% de la población vive en hogares sin desagüe, cifra superada sólo en la provincia de La Unión, donde alcanza el 83,8%; finalmente para el indicador de población en hogares sin alumbrado la mayor tasa se alcanza en Espinar, con el 61,6%, seguido de Lampa, con el 59,1%.

#### **3.1.8. Clasificación Climática**

La clasificación climática en la cuenca Camaná – Majes – Colca se basa en el Mapa de Clasificación Climática del Perú (SENAMHI, 1988), el cual ha sido elaborado considerando factores que condicionan de modo preponderante el clima, como la latitud, la altitud, la Cordillera de los Andes, la Corriente Costera Peruana (de aguas frías), el Anticiclón del Pacífico Sur y la continentalidad. La información base de esta clasificación se sustenta en datos meteorológicos de veinte años (1965-1984), a partir de la cual se formularon los índices climáticos de acuerdo con el Sistema de Clasificación de Climas de C.W. Thornthwaite.

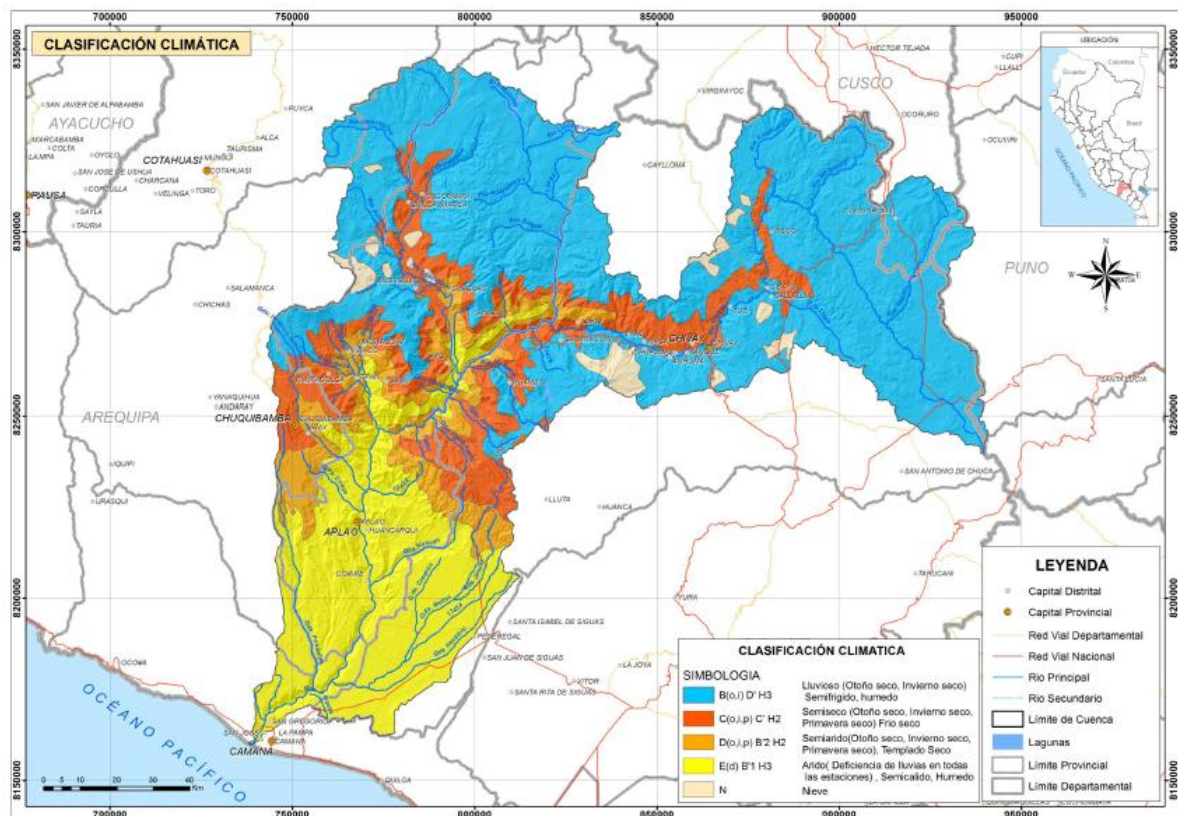
- **Clasificación Thornthwaite**

Thornthwaite (1948) propuso una clasificación climática cuya principal característica fue la utilización de la evapotranspiración potencial como parámetro fundamental para la delimitación de los distintos tipos climáticos. Al igual que habían hecho anteriormente otros climatólogos, Thornthwaite buscaba una clasificación climática basada en la distribución de las especies vegetales, al considerar que en ellas se conjugan los diversos efectos de los elementos del clima.

En la cuenca Camaná – Majes – Colca se distribuyen 4 tipos de la mencionada clasificación climática según muestra la Figura 5:

- E(d) B'1 H3: Zona de Clima semicálido, árido, con deficiencia de lluvia en todas las estaciones, con humedad relativa calificada como húmeda.
- D(o,i,p) B'2 H2: Zona de Clima templado, semiárido, con deficiencia de lluvia en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como seca.
- C(o,i,p) C' H2: Zona de Clima frío, semiseco, con deficiencia de lluvia en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como seca.
- B(o,i) D' H3: Zona de Clima semifrío, lluvioso, con deficiencia de lluvia en otoño y en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.
- N: Nieve

**Figura 7: Clasificación Climática en la cuenca Camana-Majes-Colca**

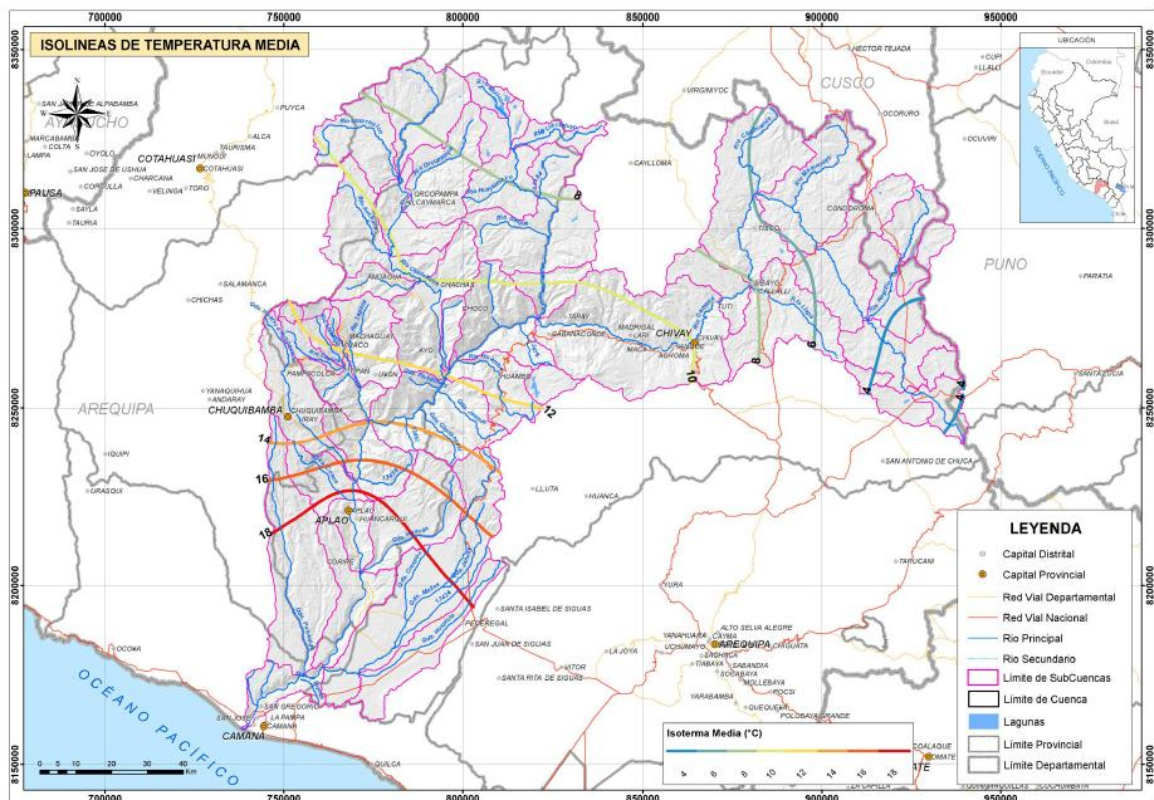


FUENTE: SENAMHI (1988)

Se aprecia una transición de climas de norte a sur, desde climas secos y cálidos en la zona próxima a la costa hasta climas más lluviosos en el norte. Entorno a la latitud 15°, la cuenca incluye clima árido y semisecos debido principalmente a la influencia de la cordillera andina y de las corrientes oceánicas.

La parte baja de la cuenca presenta un clima semicálido y árido, con escasez de lluvias en todas las estaciones. En la parte media se desarrolla la transición hacia un clima semiseco y frío. Conforme se asciende en altitud bajan las temperaturas y aumenta el régimen de lluvias, alcanzándose un clima semifrío y lluvioso. Desde el punto de vista de la humedad, las cuencas centrales son más secas que las más próximas a la costa y a la cordillera.

**Figura 8: Isotermas medias de la cuenca Camana-Majes-Coca**



Fuente: ANA (2014)

- **Precipitación**

Según el estudio “Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Camaná-Majes-Colca” La precipitación total promedio multianual para el periodo de 1965 – 2013, es de unos 377 mm, presentando tanto una variabilidad anual, que concentra los valores más elevados en los meses de noviembre a abril y los más reducidos en los meses de junio, julio y agosto, como una variabilidad espacial, presentándose los mayores valores de precipitación en el Alto Colca. Las cuencas situadas en altitudes inferiores a los 2 000 msnm se caracterizan por tener precipitaciones de baja magnitud que no llegan a generar

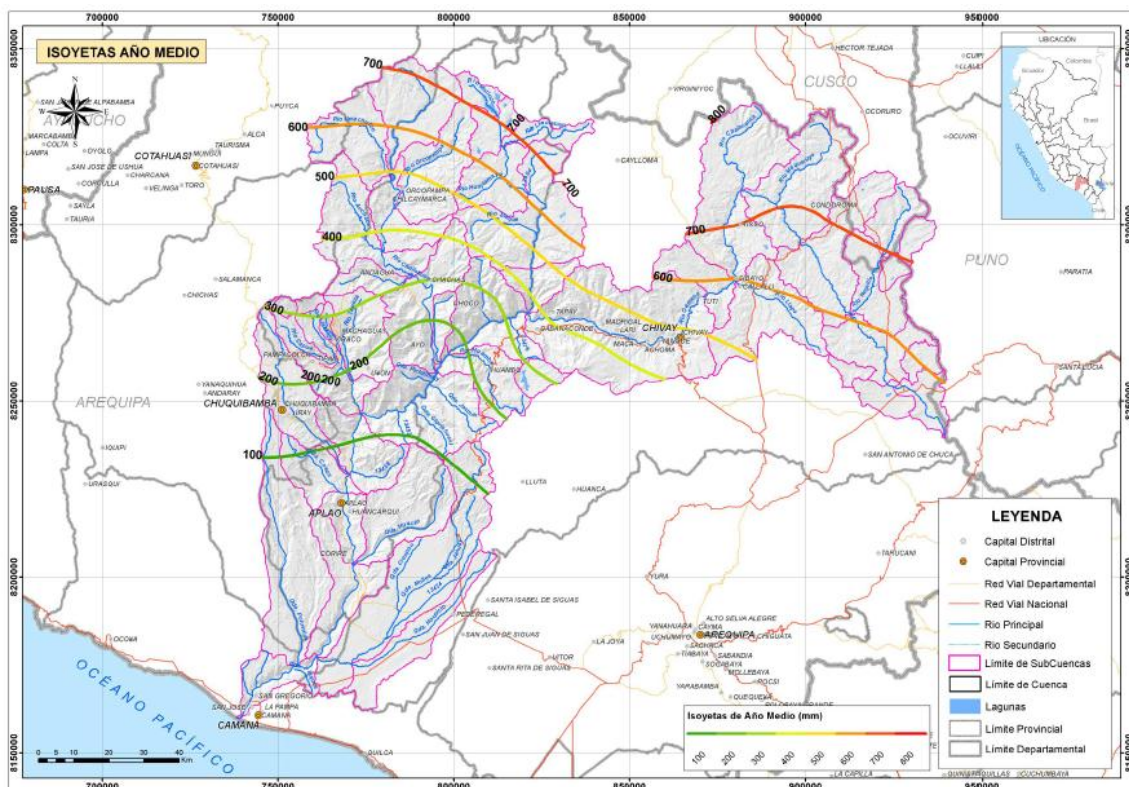
escorrentías significativas. Tanto la precipitación anual como la intensidad de lluvia aumentan con la altitud.

La precipitación en el Alto Camaná presenta en general valores más altos los meses de diciembre a marzo pudiendo superar los 700 mm/año, siendo muy escasas en los meses de mayo a agosto, por debajo de los 10mm mensuales. La precipitación mensual se mantiene en un rango entre 1 y 170 mm, siendo importante la variabilidad mensual entre la estación seca y la húmeda.

La precipitación en el Medio Camaná presenta una variabilidad importante entre las estaciones seca y húmeda, siendo febrero el mes más lluvioso y teniendo precipitaciones escasas los meses de mayo a septiembre. La precipitación mensual se mantiene en un rango de valores parecido al Alto Camaná. Los meses de diciembre son menos lluviosos que en la zona alta.

En el Bajo Camaná las precipitaciones se dan las menores precipitaciones de la cuenca, siendo prácticamente nulas los meses de mayo a agosto. En la zona más próxima al mar, de altitudes menores, las precipitaciones son prácticamente nulas. En las cuencas de nevados, incluidos en la zona del Bajo Camaná por su ubicación geográfica, se dan las mayores precipitaciones de la cuenca.

**Figura 9: Isoyetas de año medio de la cuenca Camana-Majes-Coca**



FUENTE: ANA (2014)

### **3.2. MATERIALES Y EQUIPOS**

Durante el desarrollo de la investigación y presentación se emplearon un conjunto de insumos, los cuales se mencionan a continuación:

- Mapas temáticos obtenidos de los geoservidores del MINAM, MINEDU, MTC e INGEMET.
- Información geoespacial, descriptiva y cartográfica del MINEDU, MINSA y MIDIS.
- Modelo Digital de Elevación del Proyecto ASTER Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM), con una resolución espacial de 30m.
- Información histórica de variables meteorológicas (Temperatura y Humedad Relativa) y pluviometría compartida por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).
- Plataforma GIS: ERDAS 2013, ArcGIS 10.1 y extensión Hec-GeoRas
- Softwares: Hec-Ras 5.0.3 y Microsoft Office 2013
- Computadora Personal Windows 7, Procesador Intel Core i3, 4Gb de RAM
- Impresora Multifuncional

En la fase de campo se utilizaron adicionalmente los siguientes equipos:

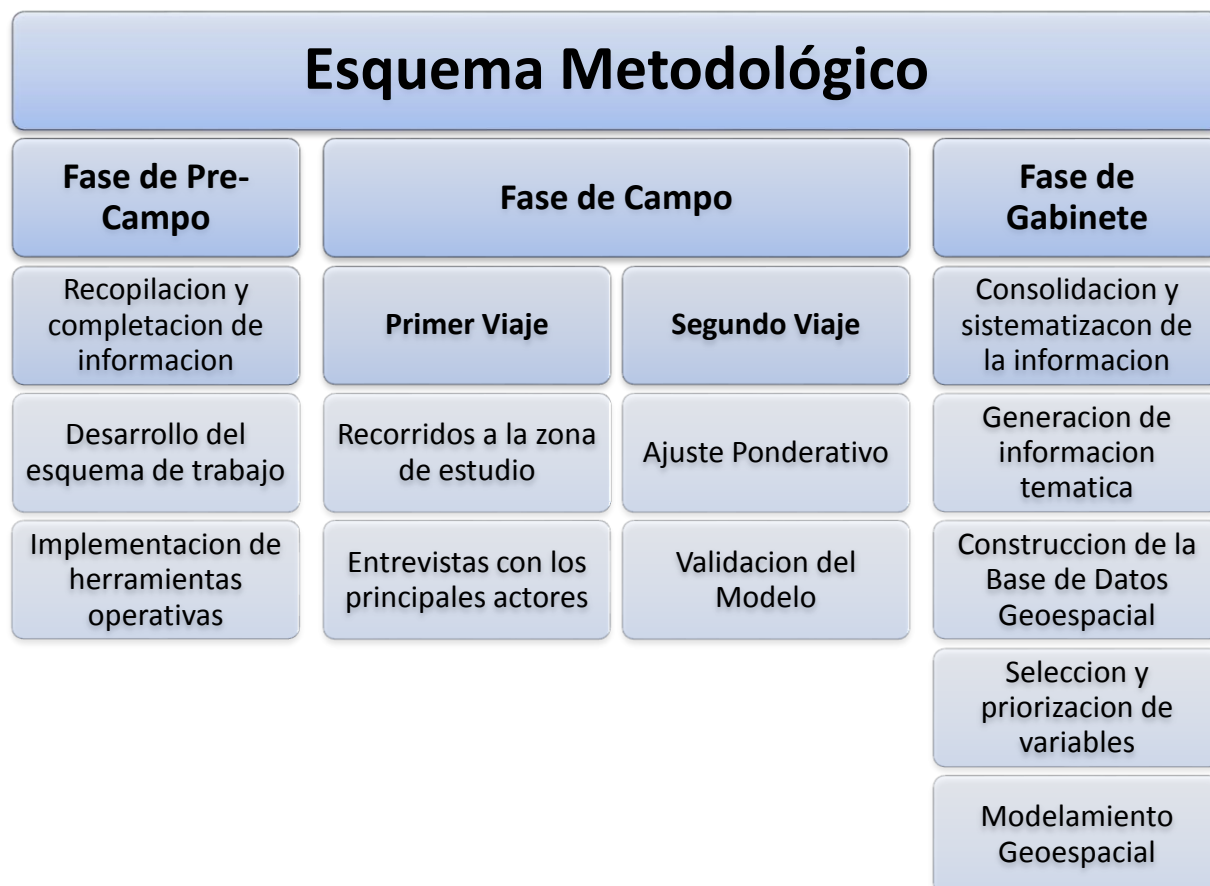
- GPS Navegador
- Cámara fotográfica
- Libreta de campo y lápiz
- Hojas de encuestas



### 3.3 METODOLOGIA

Para el proceso de elaboración del Modelo Global de Peligros Múltiples se diseñó una metodología que comprende 3 etapas esquematizadas en el siguiente gráfico:

**Figura 10: Esquema metodológico**



#### 3.3.1. Fase de Pre - Campo

Esta primera fase consistió en la revisión y recopilación de información básica, especializada y temática oficial, así como de estudios precedentes que involucren la zona de estudio, con el objetivo de conocer sus características físicas, bióticas y socioeconómicas. La adquisición de la información tuvo como criterios, el análisis de la fiabilidad y la antigüedad de la mencionada, a fin de certificar la precisión de los objetivos planteados.

Del mismo modo involucró la elaboración de la metodología a seguir y el desarrollo e implementación de herramientas operativas: sistemas de información geográfica, herramientas de teledetección, entre otras.

Como resultado de esta fase, se obtuvo información descriptiva, estadística, cartográfica y analítica de la Cuenca Hidrográfica en estudio, a través de las plataformas y/o geoservidores de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y su Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH), Ministerio del Ambiente (MINAM), Ministerio de Educación del Perú (MINEDU), Ministerio de Salud del Perú (MINSA), Ministerio de Desarrollo del Perú (MINDES), Instituto Geográfico Nacional (IGN), Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), entre otros.

En paralelo, se realizaron las primeras coordinaciones con instituciones como el AUTODEMA, ANA, SENAMHI entre otros para las posteriores visitas a campo.

### **3.3.2. Fase de Campo**

Se realizaron dos visitas a la cuenca Camaná – Majes - Colca, la primera, se realizó con el fin de identificar y reconocer las características físicas y bióticas de la cuenca: cobertura vegetal, fisiografía, geología, zonas de vida y clima; además se realizaron entrevistas a los principales actores de la Cuenca Hidrográfica para complementar y actualizar la información socioeconómica: características sociales, económicas, vías de comunicación de los centros poblados, entre otros, permitiendo una identificación inicial de las zonas más vulnerables en la zona de estudio.

Del mismo modo, en la segunda visita se recorrió la zona de estudio con la finalidad de verificar y validar el resultado obtenido de los modelos de peligros múltiples y vulnerabilidad socioeconómica, generados en la fase de gabinete; dicho objetivo se llevó a cabo mediante las siguientes actividades: Se realizaron mediciones (altitudes y coordenadas) con un GPS de las zonas críticas y no críticas, a la vez que se tomaban vistas en perspectiva de estas y se elaboraron encuestas dirigidas a las personas mayores de 50 años de residencia en la zona; para identificar el historial de peligros ocurrentes en el tiempo.

Mediante los tratamientos adecuados de la información obtenida en la fase de pre-campo y del primer viaje de campo, y el enfoque respectivo permitió un análisis y una síntesis del tema, que sirvió para la estructuración y construcción del modelo, permitiendo a su vez; en el segundo viaje de campo; comprobar y constatar los resultados con la realidad.

### **3.3.3. Fase de Gabinete**

En esta fase se procesará la información temática y la obtenida en campo, además de realizar el análisis mediante SIG. Ello se especifica a continuación:

#### **a. Consolidación y Sistematización de la Información**

Luego de haber recopilado la información de carácter espacial y no espacial, procedentes de distintas instituciones, y recolectadas in situ; estas fueron consolidadas y sistematizadas en función de los requerimientos que implican los modelos a generar.

Con la finalidad de contar con información estandarizada, se desarrollaron procedimientos para la adecuación y ajuste cartográfico entre los mapas digitales y sus respectivas bases de datos, con el fin de eliminar las inconsistencias geométricas y tabulares de cada uno de los mapas temáticos, considerados para el análisis de Peligros Múltiples y Vulnerabilidad Socioeconómica. Asimismo, la información temática se uniformizó a una misma escala 1:1 000,000 y a un mismo Sistema de Referencia Espacial Datum WGS – 84, proyección UTM, Zona 18S.

#### **b. Generación de Información Temática Física y Socioeconómica**

En esta etapa se generaron y actualizaron los mapas temáticos de pendientes, variables biofísicas (precipitación, temperatura, humedad relativa), áreas inundables en la faja marginal, variables concernientes al aspecto socioeconómico y el submodelo complementario de Geodinámica Interna; haciendo uso de las herramientas proporcionadas por la plataforma ArcGis.

- **Información Temática de Pendientes:**

Habiendo obtenido el DEM (Modelo Digital de Elevación) del área en estudio, descargada de la plataforma ASTER GDEM, y mediante la herramienta 3D Analyst Tools > Raster Surface > Slope, se generó el mapa de pendientes en valores de porcentaje (%) y formato raster, los cuales fueron reclasificados en 7 rangos según la *Guía de Clasificación de los Parámetros Edáficos, del Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (2009)*, ello mediante la herramienta 3D Analyst Tools > Raster Reclass > Reclassify. Por último, con la ayuda de la herramienta Conversion Tools > From Raster > Raster to Polygon se convirtió este de formato raster a vectorial para poder ser trabajado.

**Tabla 10: Clasificación de Pendientes**

<b>Rango de Pendiente</b>	<b>Descripción</b>
0 – 5 %	Plano a ligeramente inclinado
5 – 15 %	Moderadamente a fuertemente inclinado
15 – 30 %	Ligeramente empinado
30 – 50 %	Moderadamente empinado
50 – 70 %	Fuertemente empinado
>70 %	Extremadamente empinado

Al obtener el mapa de pendientes, en formato vectorial se la uniformizó con la escala y datum de trabajo.

- Información Temática de Variables Físicas - Meteorológicas:

Para generar la información temática se probaron distintas metodologías de interpolación, ya que la elección de estas depende del fenómeno a estudiar, de la densidad y distribución de los datos . Entre las más utilizadas se trabajó con el método Spline, IDW y Kriging, encontrándose, después del desarrollo de estas, una considerable similitud en los resultados. Finalmente se seleccionó el método Spline ya que a diferencia de los otros, se obtiene mayor cantidad de isolíneas creando un efecto de suavizado en el mapa y porque permite extender las interpolaciones a áreas que están por fuera del polígono (Oviedo, 2013), generado por los puntos más externos, además de tener la capacidad de predecir máximos y mínimos por lo que es recomendable para representar variables meteorológicas (Child, 2004).

Los mapas de precipitación, temperatura y humedad relativa, se generaron a partir de información pluviométrica y meteorológica diaria proporcionada por el ANA, SENAMHI y la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A., para el periodo 1965 – 2013, la cual fue consistenciada, completada y extendida en el estudio de “Evaluación de Recursos Hídricos de la Cuenca Camaná – Majes – Colca”, desarrollada por el ANA; la información resultante obtenida por estaciones meteorológicas son las siguientes:

- Precipitación

Para cada una de las estaciones estudiadas se han analizado los años húmedos y secos (aquellos con precipitación superior o inferior a la media). A partir de los valores de precipitación anual en las estaciones se ha calculado la precipitación total promedio. Los valores máximo y mínimo de la precipitación total promedio, junto con el análisis

realizado en cada estación, determina el año seco y el año húmedo representativos. Que en este caso se seleccionó el año 1992 como representativo de un año seco y el año 1999 de un año húmedo. En la siguiente tabla se muestran los valores seleccionados de las estaciones, los cuales no se tratan de los valores máximo y mínimo en cada estación respectivamente, sino de los valores correspondientes a los años seleccionados como representativos.

**Tabla 11: Valores de precipitación (mm) en estaciones para las isoyetas máxima y mínima**

<b>Estación</b>	<b>Longitud (°O)</b>	<b>Latitud(°S)</b>	<b>Año Húmedo (mm)</b>	<b>Año Seco (mm)</b>
Andahua	-72.349	-15.493	532	85
Aplao	-72.491	-16.069	4	3
Cabanaconde	-71.969	-15.619	658	81
Camaná	-72.697	-16.607	3	0
Chivay	-71.599	-15.634	604	111
Chuquibamba	-72.649	-15.838	277	17
Crucero Alto	-70.917	-15.767	644	329
Dique de los Españoles	-71.034	-15.767	571	437
Huambo	-72.100	-15.734	411	36
Machahuay	-72.502	-15.645	465	19
EMA Pampa de Majes	-72.211	-16.328	6	15
Pampacolca	-72.568	-15.714	381	52
Pañe	-71.067	-15.984	913	423
Sibayo	-71.453	-15.486	689	418
Tisco	-71.450	-15.350	908	347
Huanca	-71.879	-16.031	233	116
Imata	-71.088	-15.837	763	239
Yauri	-71.417	-14.817	958	492
Orcopampa	-72.339	-15.261	595	129
Ayo	-72.270	-15.679	270	4
Choco	-72.117	-15.567	449	16
Tuti	-71.533	-15.533	776	328
Hacienda Morocaqui	-71.050	-15.617	490	398
La Calera	-72.017	-15.284	621	328
Madrigal	-71.812	-15.617	877	96
Porpera	-71.317	-15.350	1170	204
Condorama	-71.300	-15.400	928	338
Janacancha Caylloma	-71.767	-15.184	919	425
Santo Tomas	-72.089	-14.399	875	431
Yanque	-71.574	-15.771	440	159
Pillones	-71.213	-15.979	576	203

- Temperatura

Para el cálculo de las isolíneas de temperatura máxima y mínima se procedido del siguiente modo:

Para cada mes de cada año se calculó la temperatura máxima y mínima como el promedio de temperaturas máximas o mínimas diarias. Luego para cada año se calculó el promedio de temperaturas mensuales máximas y mínimas. Por último, se tomó para el cálculo de la isoterma máxima y mínima, el máximo y mínimo promedio anual en cada estación, respectivamente.

**Tabla 12: Temperaturas máximas y mínimas en las estaciones seleccionadas  
Periodo 1965-2013**

Estación	Longitud (°O)	Latitud(°S)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)
Andahua	-72.349	-15.493	16.90	3.2
Aplao	-72.491	-16.069	28.60	8.8
Cabanaconde	-71.969	-15.619	19.70	5.1
Camaná	-72.697	-16.607	25.20	13.8
Chivay	-71.599	-15.634	25.20	-0.2
Chuquibamba	-72.649	-15.838	18.20	2.4
Crucero Alto	-70.917	-15.767	15.00	-8.6
Dique de los Españoles	-71.034	-15.767	13.80	-7.5
Huambo	-72.100	-15.734	19.00	3.6
Machahuay	-72.502	-15.645	18.50	5.1
EMA Pampa de Majes	-72.211	-16.328	26.50	10.3
Pampacolca	-72.568	-15.714	20.40	3.5
Pañe	-71.067	-15.984	12.30	-5.1
Sibayo	-71.453	-15.486	19.70	-3.3
Tisco	-71.450	-15.350	16.90	-8.4
Cotahuasi	-72.891	-15.375	24.40	6.6
Huanca	-71.879	-16.031	18.80	5.2
Imata	-71.088	-15.837	14.00	-9
Lagunillas	-70.661	-15.768	16.80	-2.5
La Joya	-71.919	-16.592	27.90	9.3
Salamanca	-72.834	-15.500	19.80	5.6
Yanaquihua	-72.876	-15.778	21.10	8
Yauri	-71.417	-14.817	18.40	-11.9

- Humedad Relativa

Para el análisis de la humedad relativa se dispuso de pocas estaciones y con pocos años de datos completos. Por ello se ha constituido las series de humedad media mensual con meses completos para un mismo mes del año, con el fin de poder generar valores para un “año promedio”. Los resultados obtenidos por estación meteorológica estudiada se representan en la tabla siguiente:

**Tabla 13: Variabilidad mensual de la humedad relativa media mensual en estaciones (%). Periodo 1965-2013**

Estación	Longitud (°O)	Latitud(°S)	HR (%)
Chivay	-71.600	-15.634	55.40
Orcopampa-Mina	-72.339	-15.261	39.80
EM Pampa Majes	-72.153	-16.336	54.40
Sibayo	-71.453	-15.486	58.40
Aplao	-72.491	-16.069	72.00
Huambo	-72.100	-15.734	62.00
Pampahuta	-70.676	-15.485	59.33
Cota Cota	-71.397	-15.213	51.90
Camana	-72.702	-16.640	78.33
Cotahuasi	-72.893	-15.211	36.20
Visca Visca	-71.979	-14.723	63.70

Con cada conjunto de datos y mediante la herramienta *Add XY Data* se generó un *Shape* o capa de puntos de las estaciones meteorológicas georreferenciadas, lo que a su vez, mediante la herramienta *Spacial Analyst Tools > Interpolation > Spline*, la cual aplica el método de interpolación seleccionado, permitió hacer una distribución espacial de la variable analizada, en formato raster. Por ultimo mediante la herramienta *3D Analyst Tools > Raster Reclass > Reclassify*, se reclasifico la variable analizada en intervalos convenientes para la generación de los modelos, y se transformó a formato vectorial con *Conversion Tools > From Raster > Raster to Polygon*.

Al obtener los mapas de variables meteorológicas en formato vectorial, se la uniformizó con la misma escala y datum de trabajo.

- Areas Inundables

Es a partir de la información analizada del Inventario histórico de desastres de Perú (1970-2013) perteneciente a la Red de Inventarios históricos de desastres en América Latina, referidos a inundaciones y huaycos ocurridos en la Cuenca Camaná-Majes-Colca (ANA,

2014), con la que se identificaron 6 zonas sensibles a sufrir inundaciones, las cuales se presentan a continuación:

- Zona 1. Sibayo/Callalli – zona alta del valle del Colca
- Zona 2: Chivay – zona media del valle del Colca
- Zona 3: Huancaraqui – zona alta del valle de Majes
- Zona 4: Aplao – zona media del valle del Majes
- Zona 5: Uraca – zona baja del valle de Majes
- Zona 6: Nicolás de Piérola/José María Quimper – valle de Camaná

Cada una de ellas asociada a un punto de cálculo, en cada uno de los cuales se ha calculado los caudales extremos para un periodo de retorno de 100 años aplicando la ecuación Evolvente de Creager, detallados en la tabla x.

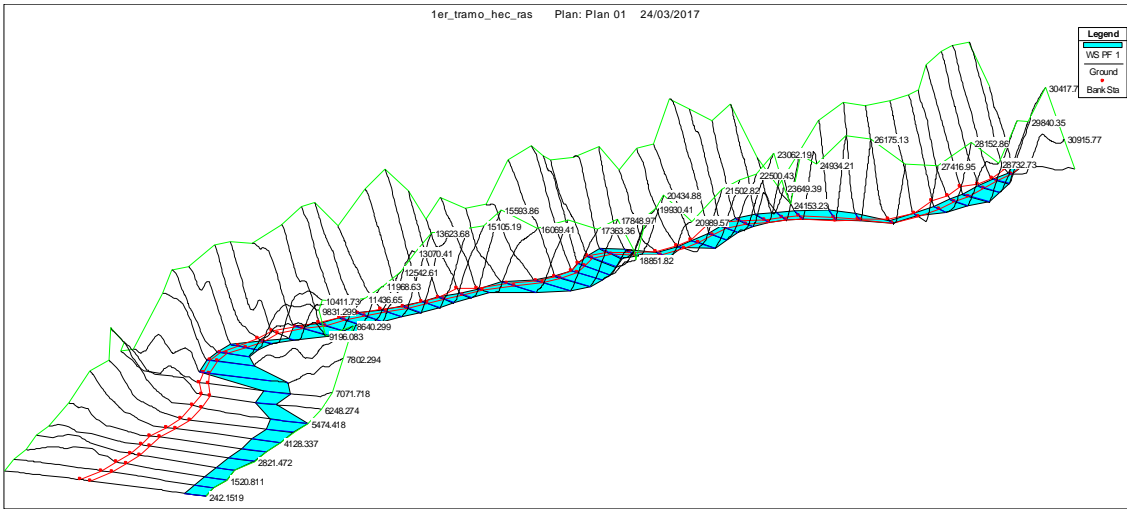
Se empleó la extensión **Hec-GeoRAS** del ArcGis como herramienta primaria para digitalizar los diferentes elementos vectoriales que mediante el **Hec-RAS** permitieron construir el modelo de inundación y representar los resultados. Cabe resaltar que el modelo se trabajó para un régimen de flujo estacionario, con los caudales máximos de cada zona identificada. Además se ingresaron valores de pendiente calculados para cada tramo modelado y coeficientes de manning con valores de 0.03 para las márgenes y 0.035 para el cauce, siguiendo las recomendaciones dadas por Chow (Hidraulica de Canales Abiertos).

**Tabla 14: Caudales obtenidos por el método de la envolvente de Creager para las zonas analizadas para un periodo de retorno de 100 años**

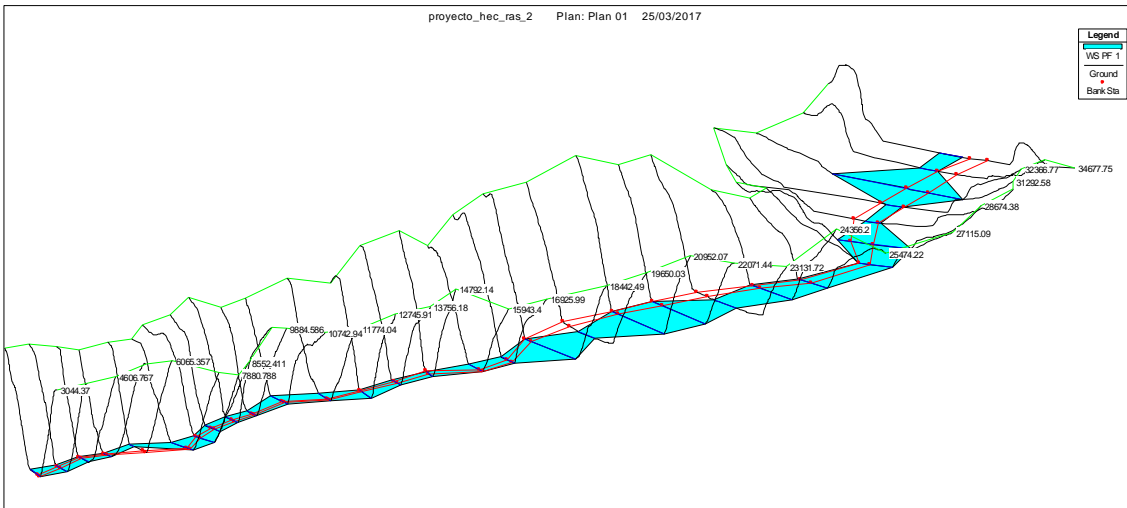
Zona	Distrito/ Zona	Rio	Area (km <sup>2</sup> )	Q(m <sup>3</sup> /s)
				TR= 100 años
1	Sibayo	Colca	3 480.1	1 328.9
2	Chivay	Colca	4 414.2	1 531.2
3	Huancarqui	Majes	12 485.7	2 737.6
4	Aplao	Majes	13 476.8	2 850.1
5	Uraca	Majes	14 317.7	2 941.9
6	Nicolas de Pierola/ Jose Maria Quimper	Camana	16 810	3 196.7

FUENTE: ANA (2014)

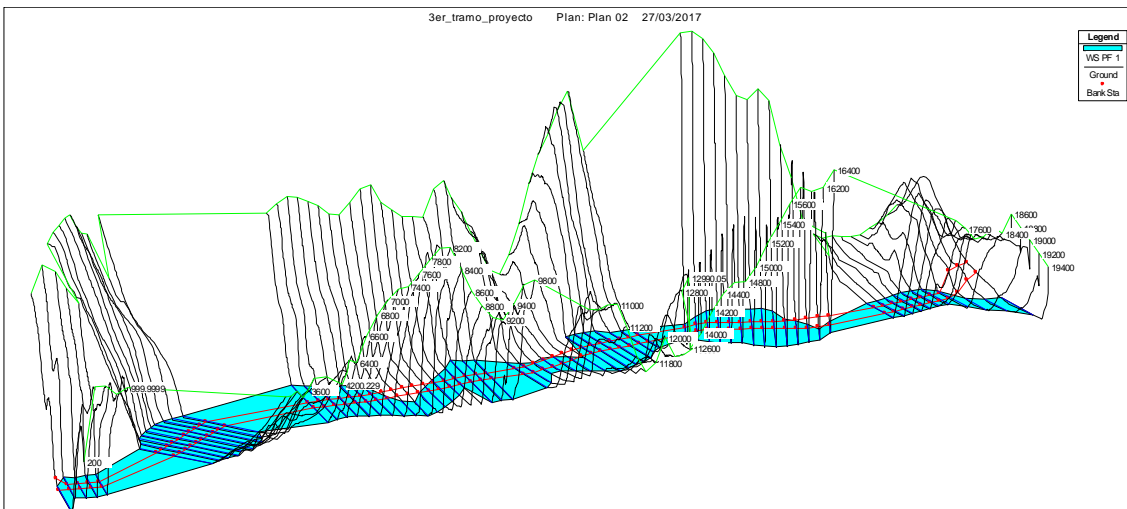




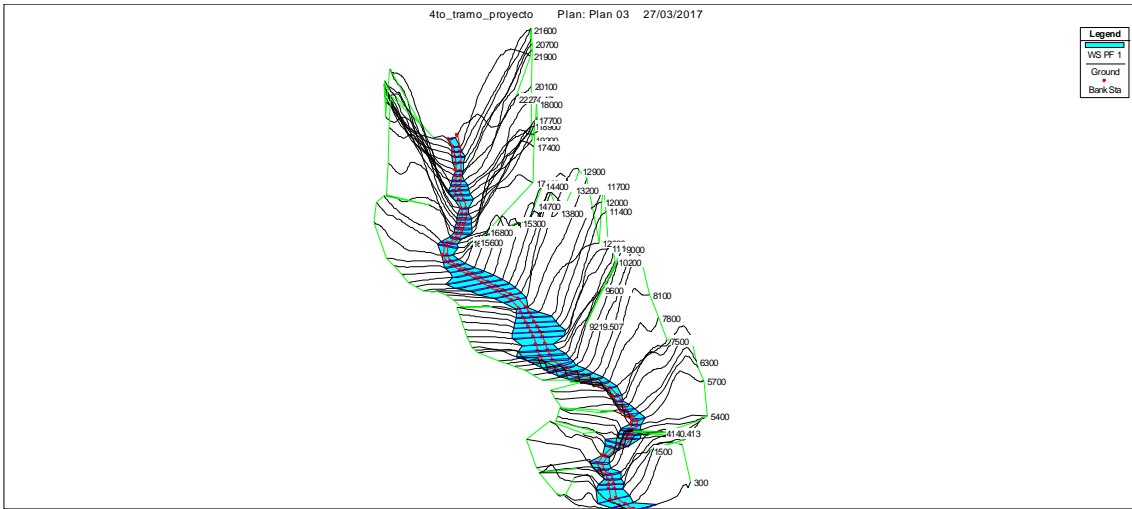
**Figura 11: Areas inundables de la zona 6**



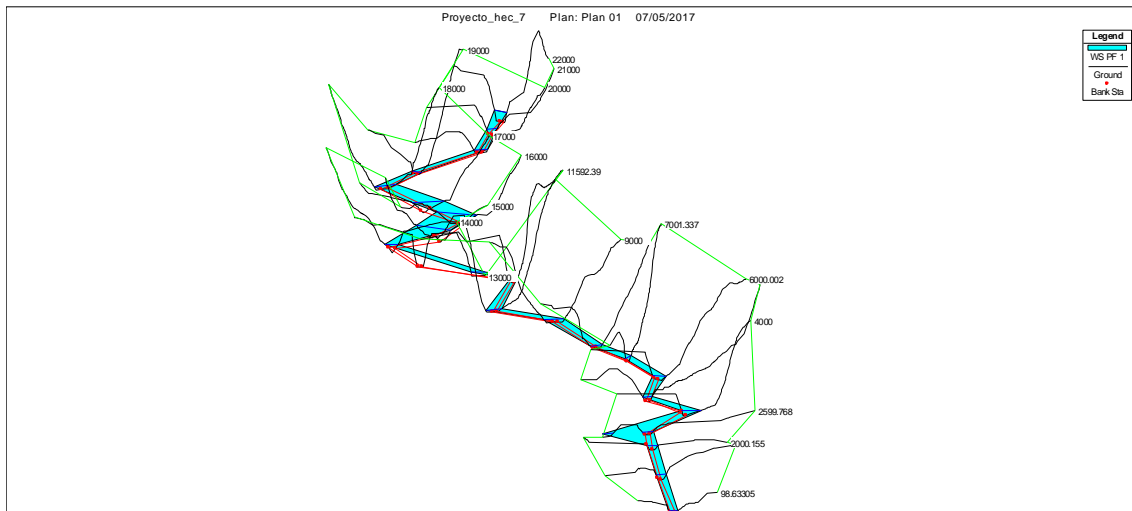
**Figura 12: Areas inundables de la zona 5**



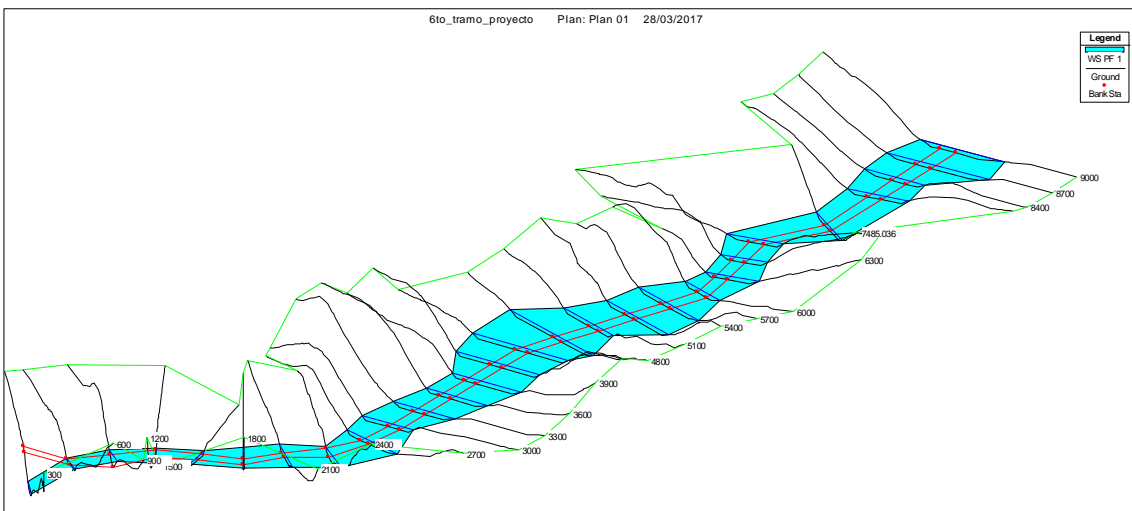
**Figura 13: Areas inundables de la zona 4**



**Figura 14: Areas inundables de la zona 3**



**Figura 15: Areas inundables de la zona 2**



**Figura 16: Areas inundables de la zona 1**



**Figura 17: Vista de satélite de las áreas inundables en la parte alta de la cuenca**



**Figura 18: Vista de satélite de las áreas inundables en la parte baja de la cuenca**

- Información Temática de Variables Socioeconómicas:

El mapa temático de Pobreza y Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) se generaron a partir de los valores de incidencia de pobreza monetaria y con al menos una necesidad básica insatisfecha, a nivel distrital; los cuales fueron obtenidos del estudio “Mapa de Pobreza Provincial y Distrital 2013”, el cual fue desarrollado por el INEI en su afán de satisfacer la creciente demanda de información estadística confiable desagregada geográficamente a nivel distrital. Asimismo se generó el mapa temático de Índice de Desarrollo Humano (IDH) con los valores recalculados por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2012), según su nueva metodología propuesta en 2010. Por otra parte los mapas temáticos de Educación, Salud, Vías de Comunicación y Programas Sociales se generaron a partir de la información obtenida de los geoservidores pertenecientes a los Ministerios encargados de cada una de dichas temáticas; categorizándola a nivel distrital.

De esta manera a cada distrito perteneciente a la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca, se le asignó información cuantitativa (porcentajes o cantidades) y cualitativa (descripción de los indicadores) en base a la información adquirida de las fuentes descritas líneas arriba.

Al obtener los mapas de variables socioeconómicas en formato vectorial, se la uniformizó con la misma escala y datum de trabajo.

- Submodelo Complementario de Geodinámica Interna:

Este submodelo se generó con el fin de complementar el Modelo de Peligros Múltiples Global, como parte de un análisis descriptivo acerca de los elementos que estudia la Geodinámica Interna, como lo son la sismicidad, vulcanismo y las fallas geológicas.

Se utilizó para ello el Mapa de Máximas Intensidades Sísmicas – 2010, en el que su vez se ubicaron los sistemas de fallas activas de la cuenca y los volcanes activos presentes, en este caso el Sabancaya, al cual se le aplicó un área de influencia de 40 km tal como expone el Comité Científico –Técnico para la Gestión del Riesgo Volcánico de la Región Arequipa en su Comunicado Oficial N° 04-2016.

Al obtener el mapa respectivo en formato vectorial, se la uniformizó con la escala y datum de trabajo (Anexos, Figura 72).

**c. Construcción de la Base de Datos Geoespacial – Geoatbase**

**• Selección y Priorización de Variables**

El Modelo Global de Peligros Múltiples se determinó en función a las características de tipo biofísico y socioeconómico de la cuenca en estudio, de las cuales se identificó las variables temáticas y sus respectivas unidades y/o atributos principales, que tanto cuantitativa y cualitativamente, permitieran evaluar el nivel de peligro al que está expuesta. En la presente tabla se presentan las variables y sus respectivas unidades que conforman el modelo, seleccionadas de acuerdo a la importancia e incidencia que tienen sobre este; teniendo en cuenta además, la disponibilidad y antigüedad de la información.

**Tabla 15: Variables e indicadores que conforman el modelo**

<b>Tipo de Variable</b>	<b>Variables</b>	<b>Unidades y/o atributos</b>	
<b>FISICAS</b>	Pendiente	Rango de Pendiente (%)	
	Fisiografía	Unidades Fisiográficas	
	Precipitación	Rango de Precipitación en un año húmedo (mm)	
	Temperatura Máxima	Rango de Temperatura Máxima (°C)	
	Temperatura Mínima	Rango de Temperatura Mínima (°C)	
	Humedad Relativa	Rango de Humedad Relativa (%)	
	Geología		Unidades Geológicas
			Tipo de Roca
			Permeabilidad
	Áreas inundables	Superficie (has)	
Índice Estandarizado de Precipitación	Categoría de Sequia		
<b>BIOTICAS</b>	Zonas de Vida	Sistema Ecológico	
	Cobertura Vegetal	Formación Vegetal	
<b>SOCIOECONOMICAS</b>	Pobreza	Incidencia de Pobreza (%)	
	Demografía	Población con Potencial	
	Índice de Desarrollo Humano	Rango de IDH (Ratios)	
	Necesidades Básicas Insatisfechas	Población con al menos 1 NBI (%)	
	Programas Sociales	Programas sociales	
	Infraestructura de Educación	Institución Educativa	
	Infraestructura de Salud	Centros de Salud	
	Vías de Comunicación	Vías	

Por una parte para generación de los submodelos de Inundaciones y Movimientos en Masa se seleccionaron las variables pendiente, fisiografía, precipitación, cobertura vegetal y geología.

La pendiente y fisiografía determinaron la morfología del terreno, que en presencia de la precipitación incentiva la ocurrencia de estos fenómenos, tomando en cuenta que el tipo de cobertura vegetal y unidad geológica; influyen en la infiltración, velocidad de la escorrentía superficial y el grado de alteración que puede sufrir el terreno, reduciendo o agravando el nivel de peligro. Adicionalmente en el submodelo de Inundaciones se analizaron las máximas avenidas a fin de determinar las posibles áreas inundadas en la faja marginal; en caso se manifiesten.

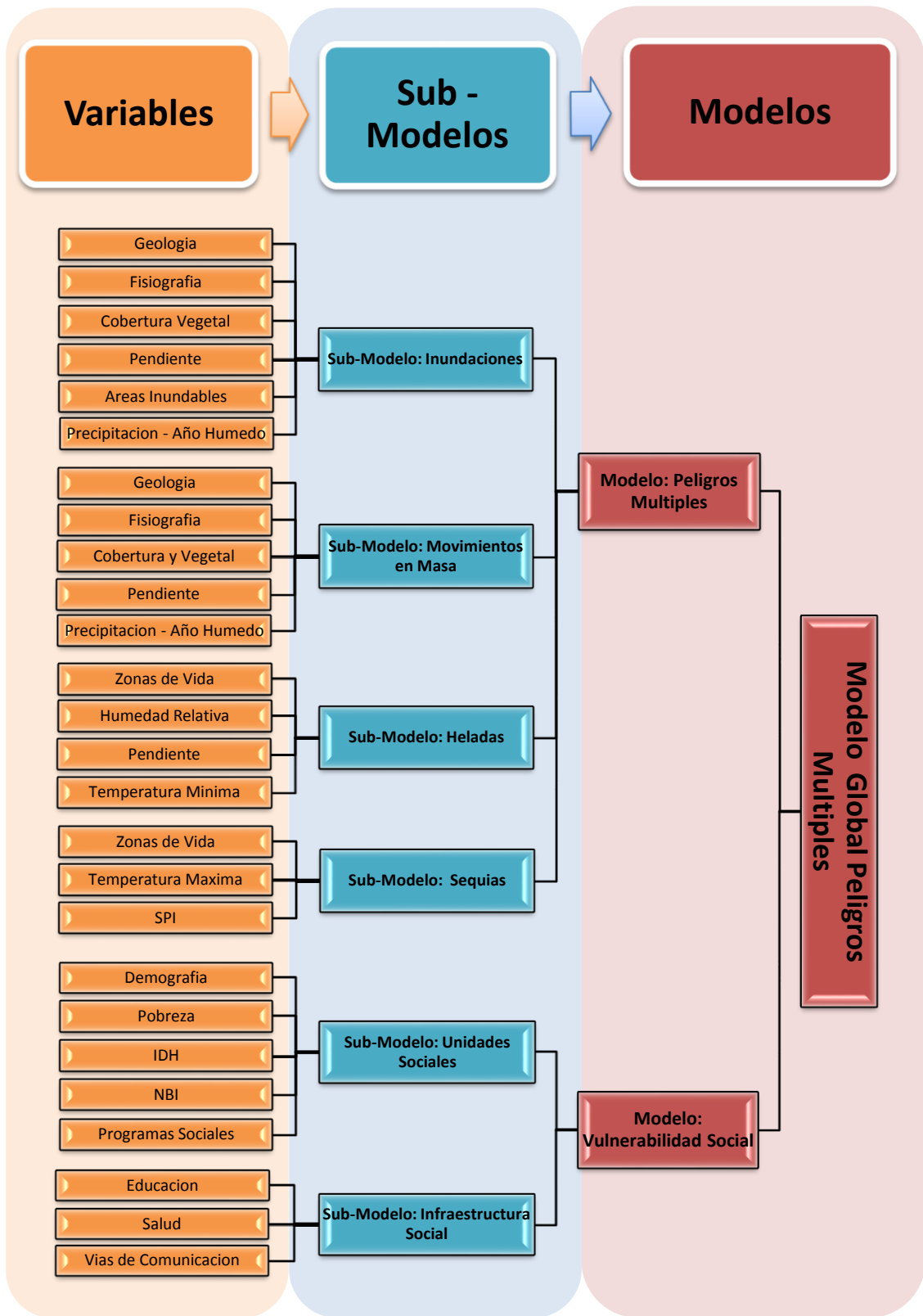
Por otra parte para el submodelo de Heladas se seleccionaron las variables de temperatura mínima, humedad relativa, zonas de vida y pendiente. Las primeras tres permitieron determinar las condiciones en las ocurren este fenómeno; ambiente frío y bajo contenido de humedad. Además, la pendiente permitió la ubicación de zonas planas en las que el azote de las heladas es mayor.

En el caso del submodelo de sequías se priorizo el Índice Estandarizado de Precipitación que permitió analizar dicho peligro con mayor exactitud, ajustando su ocurrencia en ambientes cálidos y secos, mediante las variables temperaturas máximas y zonas de vida.

Por último, para el modelo de vulnerabilidad social se seleccionaron las variables socioeconómicas demografía, pobreza, IDH, NBI y programas sociales; ya que son indicadores del grado de bienestar en los que se encuentran las unidades sociales; análogamente se consideraron las variables infraestructura de educación, salud y vías de comunicación, cuyo nivel, categoría y/o estado describen el grado de protección que poseen las unidades sociales.

En base a lo anterior, dentro del Sistema de Información Geográfica se construyó la base de datos geoespacial del Modelo Global de Peligros Múltiples, diseñándose, en primer lugar, un modelo conceptual el cual permitió modelar cual será la realidad operacional del SIG, de acuerdo a las variables consideradas e implementadas y a la previa definición de los objetivos que pretende el modelo. El modelo conceptual se presenta en el esquema siguiente:

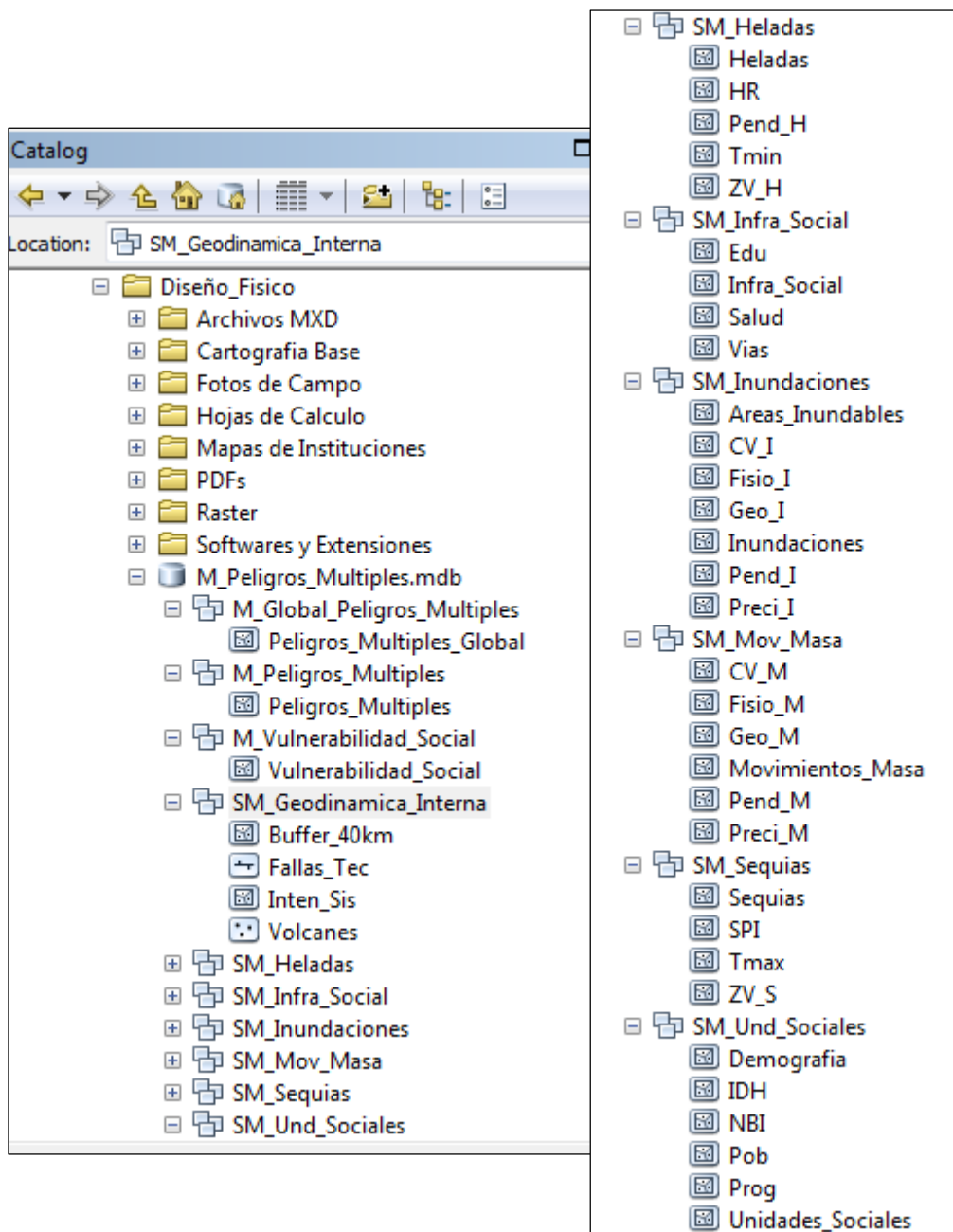
**Figura 19: Modelo conceptual para el Modelo Global Peligros Múltiples**



FUENTE: Elaboración Propia

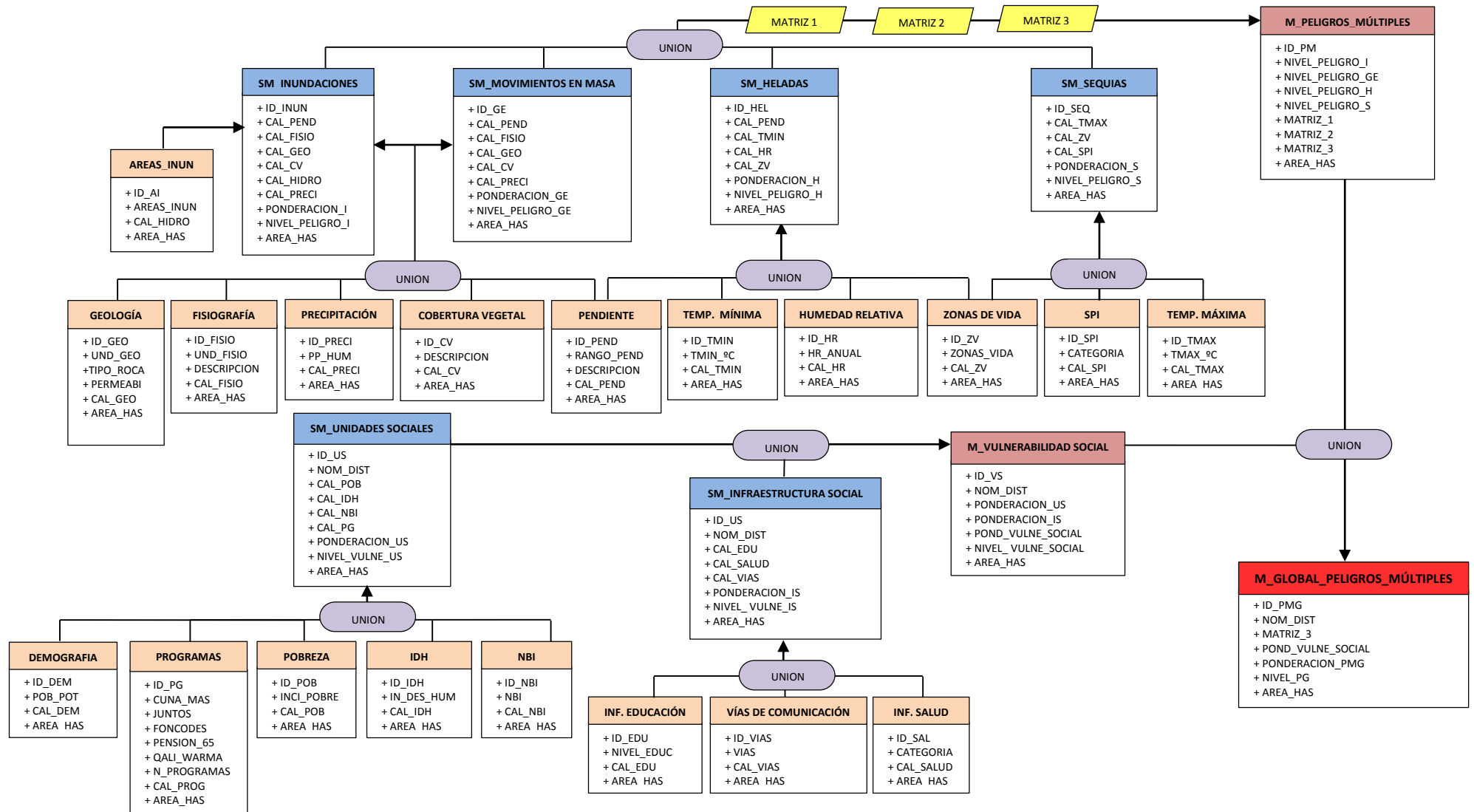
En segundo lugar se diseñó un modelo lógico (Figura 21) el cual consistió en una descripción detallada de las entidades, procesos, análisis y los productos a obtener y con ello determinar la estructura de la Base de Datos Geoespacial.

Por último, se desarrolló el modelo físico (Figura 20), en el cual se implementaron los modelos anteriores en los programas y equipos necesarios con los que se va a desarrollar el estudio y determinar así en qué forma se debe almacenar los datos y poder manipularlos en formato digital mediante el sistema de información geográfico a utilizar.



**Figura 20: Modelo Físico en forma de Base de Datos Geoespacial**





**Figura 21: Modelo lógico de la BDG para el Modelo Global de Peligros Múltiples**

FUENTE: Elaboración Propia

#### **d. Modelamiento Geoespacial**

El modelamiento geoespacial se realizó tomando como guía la estructura del modelo lógico, permitiendo la integración y espacialización de las diferentes variables y submodelos, que finalmente, definieron la propuesta cartográfica del Modelo Global de Peligros Múltiples, el que representa los espacios con mayor o menor nivel de peligro de acuerdo a las amenazas existentes y a las condiciones de vulnerabilidad social.

##### **- Criterios para la valoración de las unidades de cada variable**

La valoración de las unidades de cada variable se realizó en función de que atributos condicionan la ocurrencia de peligros y definen el grado de vulnerabilidad; asignándoles valores numéricos, tomando como referente la Tabla 17 y Tabla 35, para determinar los niveles de peligro y vulnerabilidad respectivamente.

##### **- Criterios para la integración ponderativa de las de variables**

La integración ponderativa se realizó asignando un determinado grado de participación (%) a cada una de las variables; el cual represente el grado de incidencia de estas sobre los submodelos. Para lo cual se ha tenido en cuenta las características de la cuenca, el nivel de escala de la información disponible, complementada con la visita a campo, estudios relacionados y el conocimiento tanto del investigador como del asesor.

##### **- Criterios para la integración de sub modelos**

Análogamente a la ponderación de variables, para efectos del modelo de Vulnerabilidad Social, se asignó un porcentaje a cada sub-modelo en relación al grado de influencia que tienen sobre el.

En el caso del modelo de Peligros Múltiples, se ha utilizado una integración lógica, con la finalidad de no perder espacios de interés, como son los niveles de peligro muy alto y alto, en los submodelos (Inundaciones, Movimientos en Masa, Heladas y Sequias); el cual consistió en elaborar matrices (tablas de doble entrada) en los que se intersecan los niveles de peligro bajo, medio, alto y muy alto de los sub modelos en cuestión, como se muestra en la Tabla 16.

Para proceso de integración ponderativa de las variables y submodelos se tomó como referencia los estudios realizados por el MINAM en la elaboración del Mapa de Vulnerabilidad Física del Perú (2011), el INGEMET en el Mapa por Movimientos en Masa del Perú (2010), los estudios de Peligros Múltiples y Vulnerabilidad elaborados en

los ZEE de los departamentos de Cajamarca y Puno. Además se adaptó la escala de valoración de atributos y la ecuación ponderativa, presentados en análisis enfocados a la vulnerabilidad física trabajados por Ochoa (2014), Flores (2016) y Rivas (2017).

**Tabla 16: Matriz de Ponderación del Modelo de Peligros Múltiples**

SM-Y \ SM-X	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Bajo				
Medio				
Alto				
Muy Alto				

Los valores ingresados en la matriz, fueron los contenidos en la Tabla 17; específicamente, para el nivel de peligro bajo se consideró el valor de 3, para el nivel medio el valor de 6, para el nivel alto el valor de 8 y para el nivel muy alto el valor de 10. El número de matrices trabajadas estuvo en función al número de sub modelos analizados, hasta obtener la matriz final que expresa la cartografía del modelo de Peligros Múltiples requerido.

- **Aplicación de los criterios de valoración de las unidades de cada variable para la generación del Modelo de Peligros Múltiples**

Se realizó tomando como referencia la Tabla 17; consistió en asignar valores numéricos en una escala del 1 al 10 a cada atributo, en función al grado de importancia que reflejan sobre la manifestación de los peligros; lo que permitió posteriormente jerarquizar espacialmente los niveles Muy Alto, Alto, Medio y Bajo respecto a los peligros múltiples.

**Tabla 17: Tabla de valoración para el modelo de Peligros Múltiples**

Grado o Nivel de Peligro	Valor de Peligro
Muy Alto	10
	9
Alto	8
	7
Medio	6
	5
Bajo	4
	3
	2
	1

### a. Submodelo de Inundaciones

El sub modelo de inundación, está conformado por variables biofísicas más influyentes sobre la ocurrencia de las inundaciones, siendo las siguientes: Pendiente, Geología, Fisiografía, Precipitación de Año Húmedo, Cobertura Vegetal e Hidrografía.

#### - Pendiente

Pendiente se refiere al grado de inclinación de los terrenos y se define como el ángulo formado por dos lados, siendo la forma conocida y de uso corriente de expresarla, en porcentaje (%).

La valoración de los atributos de la variable pendiente se ha realizado en función a la relación que existe entre la inclinación del terreno y la ocurrencia de una inundación; pues a mayor pendiente o gradiente del terreno, mayor será el escurrimiento del agua acumulada de las precipitaciones y por consiguiente menor probabilidad de ocurrencia de una inundación; en cambio a menor grado de pendiente del terreno, el escurrimiento es menor con tendencia a una mayor acumulación del agua y por lo tanto, mayor probabilidad de ocurrencia de las inundaciones.

Bajo este criterio y tomando como referencia la matriz de valoración, se asignó valores a los respectivos atributos; el resultado se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 18: Valoración - Pendiente para el SM-Inundaciones**

<b>Rango de Pendiente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
0 – 5 %	Plano a ligeramente inclinado	10
5 – 15 %	Moderadamente a fuertemente inclinado	8
15 – 30 %	Ligeramente empinado	5
30 – 50 %	Moderadamente empinado	3
50 – 70 %	Fuertemente empinado	2
>70 %	Extremadamente empinado	1

#### - Fisiografía

La valoración de atributos de la variable fisiografía, se ha realizado en función a la amplia variedad de unidades fisiográficas que presenta la cuenca Camana-Majes-Colca, que resultan de su compleja topografía y de la existencia de varios pisos altitudinales que condicionan ambientes morfo climáticos característicos; es decir se ha tomado en cuenta la forma del relieve que presenta la superficie territorial; pues lugares con geoformas cuya topografía es plana, se encuentra más expuesta a peligros por inundación, se le asignó

valor muy alto, en cambio geformas que presentan topografía pronunciada, se le asignó un valor bajo.

Teniendo en cuenta este criterio y tomando como referencia la matriz de valoración, se asignó valores a los respectivos atributos; el resultado se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 19: Valoración - Fisiografía para el SM-Inundaciones**

<b>Unidad Fisiográfica</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
Condorama	Presa	10
Lagunas	Lagos, Lagunas	10
Planicie	Llanura	10
Planicie	Valle y llanura irrigada	10
Planicie	Altiplanicie	9
Planicie	Fondo de valle glaciar	8
Planicie Ondulada a Disectada	Llanura disectada	7
Planicie Ondulada a Disectada	Llanura ondulada	7
Planicie Ondulada a Disectada	Altiplanicie disectada	6
Planicie Ondulada a Disectada	Altiplanicie ondulada	6
Planicie Ondulada a Disectada	Vertiente allanada	6
Planicie Ondulada a Disectada	Vertiente allanada a disectada	6
Colina y Montaña	Colina	3
Colina y Montaña	Vertiente montañosa y colina moderadamente empinada	3
Colina y Montaña	Vertiente montañosa moderadamente empinada	2
Montaña	Vertiente montañosa moderadamente empinada	2
Colina y Montaña	Vertiente montañosa empinada a escarpada	1
Colina y Montaña	Vertiente montañosa y colina empinada a escarpada	1
Montaña	Vertiente montañosa empinada a escarpada	1
Montaña	Vertiente montañosa fuertemente disectada	1
Nieve	-	1

#### - **Precipitación**

Precipitación pluvial es la cantidad total de agua que cae del cielo (en forma de lluvia, de granizo, de rocío, etc), se mide en milímetros (mm), que equivale al espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación sobre una superficie plana e impermeable; su medición se efectúa por medio de pluviómetros o pluviógrafos.

La valoración de sus atributos se ha realizado en función a la cantidad de agua de lluvia que cae a la superficie de la tierra; pues cantidades mayores de precipitación, caídas en un determinado espacio y tiempo, son las que generalmente originan las inundaciones; en este caso, a los rangos de precipitación comprendidos entre 700 mm a más, se le asignó valores altos equivalente a un nivel de peligro Alto-Muy alto de inundación; en cambio a los rangos de precipitación comprendidos entre 0-400 mm se les asignó valores bajos equivalente a un nivel de peligro bajo de inundación; conforme se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 20: Valoración - Precipitación para el SM-Inundaciones**

<b>Precipitación en Año Húmedo</b>	<b>Valoración</b>
0 - 100 mm	1
100 - 200 mm	2
200 - 300 mm	3
300 - 400 mm	4
400 - 500 mm	5
500 - 600 mm	6
600 - 700 mm	7
700 - 800 mm	8
800 - 900 mm	9
> 1000 mm	10

#### - Cobertura Vegetal

La cobertura vegetal puede ser definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprende una amplia gama de biomasas que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos, pastos cultivados.

La valoración de los atributos se ha realizado teniendo en cuenta el tipo de cobertura vegetal que cubre la superficie territorial; pues los terrenos que tienen una baja influencia en los peligros de inundación son los que albergan a bosques montañosos densos, a una vegetación arbustiva, a plantaciones forestales a pastos naturales, por cuanto permiten la infiltración del agua producto de las lluvias y frena la velocidad de escorrentía superficial; en cambio los espacios que tienen una muy alta influencia sobre los peligros de inundación, son las tierras degradadas, las tierras con vegetación escasa y afloramientos

rocosos, los que presentan cultivos agrícolas y aún más los que alojan cuerpos de agua. La valoración y los niveles de peligro que presentan se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 21: Valoración - Cobertura Vegetal para el SM-Inundaciones**

<b>Formación Vegetal</b>	<b>Valoración</b>
Area altoandina con escasa y sin vegetacion	10
Lagunas, lagos y cochas	10
Desierto costero	9
Glaciar	9
Area urbana	9
Cardonal	8
Matorral arbustivo	7
Agricultura costera y andina	7
Pajonal andino	6
Loma	6
Bofedal	5
Bosque relictos altoandino	3
Bosque relictos mesoandino	2

#### - **Geología**

La valoración de los atributos de la variable geología se realizó teniendo en cuenta fundamentalmente el grado de permeabilidad que tiene las rocas de cada formación geológica, considerándose cinco categorías: Permeabilidad Muy Alta, Permeabilidad Alta, Permeabilidad Media, Permeabilidad Baja e Impermeables.

La Tabla 22, muestra las características de permeabilidad de las formaciones geológicas existentes en la Cuenca Camaná-Majes-Colca, en la cual se observa que los depósitos fluviales, eólicos, aluviales y glaciáricos que pertenecen al cuaternario, se caracterizan por presentar una permeabilidad muy alta en razón a que están constituidos por materiales porosos no consolidados permitiendo la fácil permeabilidad del agua constituyendo un bajo peligro de inundación, por ello a estos atributos se le asignó el valor de 1; sin embargo, los Esquistos y gneis, filitas y cuarcitas del Complejo Basal de la Costa, así como la Formación Moquegua, que pertenecen al Precámbrico, son formaciones debidamente consolidados impermeables y/o de baja permeabilidad, permiten la acumulación de agua adquiriendo una muy alta influencia para casos de inundación; por ello se le asignó el valores entre 8 y 10; aspectos que se detallan en la Tabla 22.

**Tabla 22: Valoración - Geología para el SM-Inundaciones**

<b>Unidad Geológica</b>	<b>Grado Permeabilidad</b>	<b>Valoración</b>
Complejo Basal de la Costa	Impermeable	10
Lagunas		10
Formacion Moquegua	Permeabilidad Baja	8
Tonalitas		8
Super Unidad Tiabaya		8
Granito, Granodiorita		8
Formacion Murco		8
Super Unidad Incahuasi		8
Grupo Yura		7
Formacion Sotillo		Permeabilidad Medio
Formacion Arcurquina, Ashua	6	
Formacion Alfabamba	6	
Formacion Camana, Sotillo	6	
Grupo Sillapaca	5	
Grupo Barroso	5	
Formacion Huanca	Permeabilidad Alta	3
Grupo Tacaza		3
Depositos Aluviales, Fluvioglaciares	Permeabilidad Muy Alta	1

**- Areas Inundables en la Faja Marginal**

Los ríos ubicados en la vertiente del Pacífico del país, como es el caso de los pertenecientes a la Cuenca Camaná-Majes-Colca, se caracterizan por presentar una variabilidad estacional marcada, entre los meses de verano e invierno; siendo los meses de verano, período de avenidas, donde se presentan los mayores caudales de agua, y los que propician las inundaciones, mientras que en períodos de invierno, período de estiaje, se presentan los menores caudales.

Por lo expuesto, adicionalmente a las variables valoradas líneas atrás, se analizaron las máximas avenidas y determinaron las posibles áreas inundables, las cuales ingresaron al Submodelo de Inundaciones como una capa denominada Areas inundables en la faja marginal, con un nivel de peligro Muy Alto, independientemente del resultado obtenido por la integración ponderativa.



## **b. Submodelo de Movimientos en Masa**

El sub modelo de geodinámica externa, está conformado por variables biofísicas más influyentes sobre la ocurrencia de las Movimientos en Masa, siendo las siguientes: Pendiente, Geología, Fisiografía, Precipitación de Año Húmedo y Cobertura Vegetal.

### **- Pendiente**

Para efectos de la geodinámica externa, la pendiente tiene relación con el grado de resistencia de los suelos, frente a la ocurrencia de deslizamientos; en efecto, suelos ubicados en pendientes pronunciadas con textura pesada son los más propensos a ser deslizados, luego de la ocurrencia de fuertes y largas precipitaciones; esto se debe a que tienen la capacidad de retener e infiltrar el agua, adquiriendo un peso adicional y por la gravedad, se deslizan.

En consideración a estos criterios, los atributos de esta variable fueron valorados, asignándoles valores en función al grado de influencia que estos tienen, frente a deslizamientos y huaycos; el resultado se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 23: Valoración - Pendiente para el SM-Movimientos en Masa**

<b>Rango de Pendiente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
0 – 5 %	Plano a ligeramente inclinado	2
5 – 15 %	Moderadamente a fuertemente inclinado	4
15 – 30 %	Ligeramente empinado	6
30 – 50 %	Moderadamente empinado	8
50 – 70 %	Fuertemente empinado	9
>70 %	Extremadamente empinado	10

### **- Geología**

La variable Geología, se enfocará como el estudio de las rocas, especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas. Los diferentes tipos de rocas, son los que constituyen las diferentes formaciones geológicas.

La variable Geología es fundamental, sobre todo para entender como es el relieve, puesto que en función de la naturaleza de las rocas, se comportarán de una manera concreta ante los empujes tectónicos, los agentes de erosión y los diferentes climas de la tierra; es decir, la geología, tiene que ver con las características de las formaciones geológicas, con la

dureza de las rocas; esto repercute en las diferentes formas y características del relieve que a su vez condicionan la ocurrencia de distintos procesos relacionados con la Geodinámica Externa. La Tabla 24 presenta la litología de la cuenca, clasificado por tipo de rocas, que permitió aplicar los criterios de valoración de los atributos.

Tomando en cuenta lo expuesto, se ha llevado a cabo la valoración de los atributos de esta variable; asumiendo que los depósitos inconsolidados pertenecientes al cuaternario, están constituidos por materiales transportados y depositados formando terrazas bajas y medias en las riveras o márgenes de los ríos ofreciendo una baja estabilidad, son suelos inundables y frágiles para ser transportados por la corriente de agua de los ríos, sobre todo en épocas de recarga; por ello a este atributo se le asignó un valor de 10 equivalente a un nivel de peligro muy alto; sin embargo, las rocas metamórficas que pertenecen al precámbrico, constituyen materiales más estables, ofreciendo un nivel de peligro bajo respecto a los movimientos en masa; por lo que se le asignó un valor de 1 equivalente a un nivel de peligro bajo; conforme se muestra en la Tabla 24:

**Tabla 24: Valoración - Geología para el SM-Movimientos en Masa**

<b>Unidad Geológica</b>	<b>Tipos de Rocas</b>	<b>Valoración</b>
Depositos Aluviales, Fluvioglaciares	Depósitos Inconsolidados	10
Formacion Moquegua	Sedimentarias	9
Formacion Arcurquina, Ashua		8
Formacion Camana, Sotillo		8
Formacion Murco		8
Formacion Sotillo		8
Grupo Yura		8
Formacion Huanca		7
Formacion Alpabamba	Volcánico-Sedimentarias	5
Grupo Tacaza		5
Grupo Barroso	Volcánico	3
Grupo Sillapaca		3
Granito, Granodiorita	Intrusivas	2
Super Unidad Incahuasi		2
Super Unidad Tiabaya		2
Tonalitas		2
Complejo Basal de la Costa	Metamórfica	1
Lagunas	-	1

## - Precipitación

Las frecuentes variaciones de precipitación, que obviamente depende de las variaciones de temperatura y altitud, influyen en el drenaje superficial generando flujos de lodo y huaycos; a su vez genera inestabilidad en masas rocosas y en los depósitos inconsolidados; sus efectos, sobre todo de lluvias intensas y de larga duración que a su vez generan grandes cantidades de agua, modifican de manera constante las formas del relieve, por cuanto incrementa el cauce de los ríos y lagunas provocando inundaciones, produce deslizamientos, derrumbes, huaycos; es decir, generan fuertes peligros que afectan medios de vida de la población llegando hasta a la pérdida de vidas humanas. Según lo mencionado y en función a la cantidad de agua de lluvia que cae a la superficie de la tierra, se asignó valores a los respectivos atributos conforme se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 25: Valoración - Precipitación para el SM-Movimientos en Masa**

<b>Precipitación en Año Húmedo</b>	<b>Valoración</b>
0 - 100 mm	4
100 - 200 mm	5
200 - 300 mm	5
300 - 400 mm	8
400 - 500 mm	8
500 - 600 mm	9
600 - 700 mm	9
700 - 800 mm	10
800 - 900 mm	10
> 1000 mm	10

## - Cobertura Vegetal

Considerado como el manto vegetal de un determinado territorio, tiene importancia en el ordenamiento de usos del terreno, por ser entre otros aspectos, protector primario de casi todos los ecosistemas, por su capacidad de asimilación de energía solar, por ser protector de los suelos y de los recursos hídricos. Se incluyen los matorrales, los cultivos agrícolas, los pastizales y los bosques.

Desde el punto de vista de la geodinámica externa, tiene importancia por cuanto del tipo y densidad de cobertura vegetal dependen los grados de erosión de los suelos que se encuentran sobre todo en pendientes pronunciadas; así un suelo con escasa vegetación brinda una escasa protección a las laderas, acelera el desplazamiento y/o la velocidad del

agua de escorrentía superficial producto de las fuertes precipitaciones pluviales, propiciando el fenómeno de la erosión hídrica; en cambio, la abundante vegetación, tiene mayor capacidad de proteger a los suelos de los efectos erosivos, dándoles mayor estabilidad y manteniendo la forma del relieve.

En consecuencia, la valoración de los atributos de esta variable se ha realizado en función al tipo de cobertura vegetal existente, siendo el resultado el que se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 26: Valoración - Cobertura Vegetal para el SM-Movimientos en Masa**

<b>Formacion Vegetal</b>	<b>Valoración</b>
Area altoandina con escasa y sin vegetacion	10
Lagunas, lagos y cochas	10
Cardonal	9
Glaciar	9
Area urbana	8
Desierto costero	8
Agricultura costera y andina	7
Matorral arbustivo	7
Pajonal andino	6
Loma	6
Bofedal	5
Bosque relictos altoandino	3
Bosque relictos mesoandino	2

#### - **Fisiografía**

También influyen de manera significativa, las características morfológicas del terreno ya que estas aumentan o disminuyen su equilibrio, y puesto que estas formas son además el resultado de un proceso evolutivo, sirven como indicadores de inestabilidad. Una topografía abrupta, con valles profundos, alto gradiente hidráulico, relieve escarpado, red de drenaje densa y encajada, formas acarcavadas y laderas con morfología cóncava, es indicativa de zonas con alto potencial de inestabilidad. De este modo, tomando en cuenta la forma del relieve que presenta la superficie territorial se asignó valores a los respectivos atributos; el resultado se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 27: Valoración - Fisiografía para el SM-Movimientos en Masa**

<b>Unidad Fisiográfica</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
Condorama	Presa	1
Lagunas	Lagos, Lagunas	1
Planicie	Llanura	1
Planicie	Valle y llanura irrigada	2
Planicie	Altiplanicie	2
Planicie	Fondo de valle glaciar	3
Planicie Ondulada a Disectada	Llanura disectada	3
Planicie Ondulada a Disectada	Llanura ondulada	3
Planicie Ondulada a Disectada	Vertiente allanada	3
Planicie Ondulada a Disectada	Vertiente allanada a disectada	3
Planicie Ondulada a Disectada	Altiplanicie disectada	4
Planicie Ondulada a Disectada	Altiplanicie ondulada	4
Colina y Montaña	Colina	5
Colina y Montaña	Vertiente montañosa y colina moderadamente empinada	6
Colina y Montaña	Vertiente montañosa moderadamente empinada	7
Montaña	Vertiente montañosa moderadamente empinada	7
Colina y Montaña	Vertiente montañosa empinada a escarpada	8
Colina y Montaña	Vertiente montañosa y colina empinada a escarpada	9
Montaña	Vertiente montañosa empinada a escarpada	10
Montaña	Vertiente montañosa fuertemente disectada	10
Nieve	-	10

### **c. Submodelo de Heladas**

Este sub modelo según el diseño conceptual, está constituido por las siguientes variables temáticas: Pendiente, Zonas de Vida, Temperatura Mínima y Humedad Relativa.

#### **- Pendiente**

La inclinación de los terrenos, es un factor muy importante sobre la ocurrencia de heladas, puesto que el peligro será más intenso en terrenos con pendientes suaves que en una ladera con pendientes pronunciadas, debido a la acumulación de aire frío con una densidad mayor; la temperatura del aire, durante la noche con cielo despejado, sin la presencia de vientos disminuye, haciendo que la humedad adquiera mayor peso o mayor densidad; toma el primer contacto con las partes altas de las colinas y se desliza a lo largo de la

pendiente hasta llegar al fondo de los valles interandinos, donde se acumula ocasionando un serio peligro para los cultivos asentados en estos lugares.

Es entonces que la pendiente del terreno tiene una relación inversa, respecto al impacto negativo de las heladas sobre determinados medios de vida de la población; es decir, a mayor inclinación de los terrenos, menor es el impacto de los peligros por heladas sobre los cultivos; en cambio en terrenos con pendientes planas, el impacto es mayor. Tomando en consideración estas razones, los atributos de la variable Pendiente, fueron valorados, permitiendo categorizar espacialmente niveles de impacto de heladas sobre los campos de cultivo; el resultado de la valoración es el siguiente:

**Tabla 28: Valoración - Pendiente para el SM-Heladas**

<b>Rango de Pendiente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
0 – 5 %	Plano a ligeramente inclinado	10
5 – 15 %	Moderadamente a fuertemente inclinado	8
15 – 30 %	Ligeramente empinado	6
30 – 50 %	Moderadamente empinado	3
50 – 70 %	Fuertemente empinado	2
>70 %	Extremadamente empinado	1

**- Zonas de Vida**

Las Zonas de Vida es otro de los factores importantes sobre la ocurrencia de las heladas; puesto que las diferencias de altitud son un factor que explica las diferentes condiciones climáticas en un territorio, sobre todo respecto a variaciones de temperatura, y tienen una relación directa con los niveles de peligro por heladas; es decir, a mayor altitud los niveles de peligro de heladas son muy altos; ocurre lo contrario en zonas de vida de menor altitud. Bajo estos criterios, los atributos de esta variable fueron valorados, cuyo resultado se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 29: Valoración - Zonas de Vida para el SM-Heladas**

<b>Sistema Ecológico</b>	<b>Valoración</b>
Nival	10
Tundra Pluvial	10
Tundra Humeda	9
Tundra Muy Humeda	8
Paramo Humedo	7
Paramo Muy Humedo	6
Estepa	5
Bosque Humedo	4

Estepa Espinosa	3
Matorral Desertico	3
Desierto Arido	2
Desierto Perarido	2
Desierto Desechado	1
Desierto Superarido	1

#### - **Temperatura Mínima**

Es una de las variables que también tiene influencia sobre la ocurrencia del peligro por heladas, debido a que las fuertes variaciones de la temperatura, sobre todo descensos bruscos, originan las heladas. Tiene una relación inversa con los pisos Altitudinales, pues a mayor altitud, menor temperatura pero mayor presencia de heladas; a menor altitud, mayor temperatura y menor presencia de heladas.

Por efectos del cambio climático, las temperaturas mínimas de ciertas zonas tienden a incrementarse, no significando la ausencia total de las heladas, sino por el contrario se tiene que seguir teniendo especial cuidado sobre estas zonas.

Por lo tanto, para relacionar la influencia de la temperatura sobre las heladas y de acuerdo al criterio técnico, también se ha asignado valores a los atributos de esta variable, los cuales se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 30: Valoración - Temperatura Mínima para el SM-Heladas**

<b>Temperatura Mínima</b>	<b>Valoración</b>
< 0 °C	10
0 - 4 °C	8
4 - 10 °C	5
10 - 14 °C	3
>14 °C	1

#### - **Humedad Relativa**

Es importante señalar que, la variable Humedad Relativa se relaciona con el porcentaje de humedad existente en la atmosfera a una determinada temperatura, la cual tiene una excepcional importancia sobre el mecanismo de las heladas.

Cabe precisar que, cuando el contenido de humedad en el aire es menor, habrá gran enfriamiento por irradiación, debido a la transparencia de la atmosfera y poca absorción calorífica por parte de ella; la consecuencia es un rápido y constante descenso de la temperatura, circunstancias en el que se produce las heladas con graves consecuencias

sobre los cultivos; en cambio cuando hay mucha humedad en la atmósfera, esta podrá absorber y retener la irradiación calorífica del suelo hacia la atmósfera por la noche, el descenso de la temperatura se hace muy lento, entonces no hay heladas o si los hay, pero con mínimas consecuencias; por lo tanto, con un elevado porcentaje (%) de humedad relativa es escaso el peligro de heladas o si tienen lugar, es con pequeñas consecuencias; pero sí el porcentaje de humedad relativa es bajo, entonces las heladas son muy probables y de graves daños si ocurren. Bajo este criterio y tomando como referencia la matriz de valoración, se asignó valores a los respectivos atributos; el resultado se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 31: Valoración - Humedad Relativa para el SM-Heladas**

<b>Humedad Relativa</b>	<b>Valoración</b>
< 48 %	10
48 - 60 %	8
60 - 66 %	5
>66 %	2

#### **d. Submodelo de Sequias**

El presente sub modelo, está conformado por las variables biofísicas más influyentes sobre la ocurrencia de las sequias, siendo las siguientes: Precipitación, Zonas de Vida y Temperatura Máxima.

##### **- Temperatura Máxima**

La temperatura se define como el grado de calor o frio que hay en un lugar; cuando hace calor se dice que la temperatura es alta y cuando hace frio, se dice que la temperatura es baja; varía según la altura y con la proximidad o lejanía al mar; a mayor altura más frio; a mayor proximidad del mar, las temperaturas son más suaves. La temperatura atmosférica es el indicador de la cantidad de energía calorífica acumulada en el aire.

Considerando que, la Temperatura también es una variable que influye en la ocurrencia de las sequias, se ha realizado la ponderación de sus atributos que vienen a ser los rangos de temperaturas máximas en la cuenca; estableciendo el criterio en el sentido que a mayor temperatura, mayor es la evapotranspiración y propicia un clima seco; mientras que a menor temperatura, el ambiente es más frio, la evaporación y transpiración de las plantas es lenta; por consiguiente se da una menor evapotranspiración, caracterizando un clima húmedo; el resultado de la valoración, se muestra en la siguiente tabla:



**Tabla 32: Valoración - Temperatura Máxima para el SM-Sequias**

<b>Temperatura Máxima</b>	<b>Valoración</b>
> 24 °C	10
24 - 18 °C	8
18 - 14 °C	6
< 14 °C	4

**- SPI**

El índice de precipitación estándar (IPE, o SPI según sus siglas en inglés) fue desarrollado para mejorar la detección del inicio de las sequías y su ulterior monitoreo. Actualmente, es globalmente usado por ser una herramienta versátil que permite cuantificar tanto déficit como excesos de precipitación en múltiples escalas temporales. El SPI es apto para el estudio de sequías cortas (pero importantes para la agricultura) o prolongadas (relevantes para el manejo de recursos hídricos). Si bien existen diversos indicadores para cuantificar las sequías, el SPI es uno de los más sencillos ya que sólo requiere datos de lluvia (SENAMHI, 2015). Otra ventaja es que se publica regularmente para muchas regiones agrícolas importantes del mundo, lo cual permite efectuar el seguimiento de anomalías de precipitación en otros sitios que puedan tener, por ejemplo, influencias en los mercados agrícolas.

De acuerdo al nivel de intensidad y/o categoría de la sequía para una escala temporal de 3 meses, se asignaron los valores tomando como referencia la matriz de valoración, el resultado se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 33: Valoración - SPI para el SM-Sequias**

<b>Categoría de Sequia</b>	<b>Valoración</b>
Extrema	10
Severa	8
Moderada	6
Leve	4
Zona Arida-Desierto	-

**- Zonas de Vida**

Las zonas de vida, tienen una relación directa con las regiones naturales existentes en el Perú y particularmente en el ámbito de la cuenca, por cuanto estas fueron clasificadas teniendo en cuenta los regímenes de temperatura, humedad, así como la flora y fauna que en cada zona de vida existe; su interrelación condicionan la ocurrencia de determinados

eventos naturales. Las diferencias de altitud son un factor importante que explica las diferentes condiciones climáticas (variaciones de temperatura, precipitación, etc.) y de suelo que a su vez condicionan la distribución de las especies de flora y de fauna.

La valoración de atributos, se ha realizado teniendo en cuenta las variables meteorológicas que caracteriza a cada zona de vida; pues las regiones con valores de precipitación y humedad bajas; así como valores de biotemperatura y evapotranspiración potencial altos, son las que propician sequias y escases de agua en épocas marcadas del año. Bajo este criterio y tomando como referencia la matriz de valoración, se asignó valores a los respectivos atributos; el resultado se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 34: Valoración - Zonas de Vida para el SM-Sequias**

<b>Sistema Ecologico</b>	<b>Valoración</b>
Desierto Desecado	1
Desierto Superarido	1
Desierto Arido	2
Desierto Perarido	2
Estepa Espinosa	3
Matorral Desertico	3
Bosque Humedo	4
Estepa	5
Paramo Muy Humedo	6
Paramo Humedo	7
Tundra Muy Humeda	8
Tundra Humeda	9
Nival	10
Tundra Pluvial	10

- **Aplicación de los criterios de valoración de las unidades de cada variable para la generación del Modelo de Vulnerabilidad Social**

Se realizó tomando como referencia la Tabla 35; consistió en asignar valores numéricos en una escala del 1 al 5 a cada atributo, en función al grado de importancia que reflejan sobre la vulnerabilidad; lo que permitió posteriormente jerarquizar espacialmente los niveles Muy Alto, Alto, Medio y Bajo respecto a la vulnerabilidad social.

**Tabla 35: Tabla de valoración para el modelo de Vulnerabilidad Social**

Grado o Nivel de Peligro	Valor de Peligro
Muy Alto	5
Alto	4
Medio	3
Bajo	2
	1

La valoración de las variables de este modelo se realizó en una escala del 1 a 5, debido a que la información obtenida de sus atributos en cuestión se expresan máximo en 5 grupos.

**a. Submodelo de Unidades Sociales**

El presente sub modelo está directamente relacionado con el grado de bienestar de la población como factor de vulnerabilidad; ya que las variables analizadas reflejan las características sociales de las comunidades, en este caso la unidades territoriales analizadas serán los distritos.

De acuerdo al modelo conceptual, las variables que conforman este submodelo son: Pobreza, Demografía, Índice de Desarrollo Humano (IDH), Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) y Programas Sociales; las cuales se describen de manera resumida en el Tabla 36, precisando los atributos más importantes, indicadores y fuentes de información.

**Tabla 36: Variables e Indicadores de las Unidades Sociales**

Sub-Modelo	Variable/Mapa Temático	Unidad de la Variable	Atributos	Fuente de Información
<b>Unidades Sociales</b>	Demografía	Población con potencial	Nº de Hab.	INEI-2015
	Pobreza	Incidencia de la pobreza	% de Población pobre	INEI-2013
	Índice de Desarrollo Humano	Esperanza de vida al nacer, desnutrición, nivel Educativo, ingreso per cápita	Ratios	PNUD-2012
	Necesidades Básicas Insatisfechas	Calidad de Vida, hacinamiento, acceso a servicios, acceso a educación	% Población con al menos un NBI	INEI-2013
	Programas Sociales	Cuna Mas, Juntos, FONCODES, Pension 65 y Qali Warma	Nº de Programas Sociales	MIDIS-2017

## - Pobreza

La información de pobreza estudiada se refiere a la cantidad de pobres monetarios a aquellos individuos que residen en hogares cuyo gasto per cápita mensual está por debajo del valor de una canasta de productos (líneas de pobreza) que permite satisfacer las necesidades mínimas.

Para determinar la incidencia de la pobreza monetaria en el nivel de vulnerabilidad, la valoración de los atributos de esta se realizó bajo la lógica de que unidades sociales con mayores/menores niveles de pobreza, presentan mayores/menores niveles de vulnerabilidad.

Bajo este criterio y tomando como referencia la matriz de valoración socioeconómica, se asignó valores a los respectivos atributos; el resultado se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 37: Valoración de la información temática de Pobreza**

<b>Incidencia de Pobreza</b>	<b>Valoración</b>
60 – 100 %	5
40 - 59,9 %	4
20 - 39,9 %	3
10 - 19,9 %	2
0 - 9,9 %	1

## - Demografía

La población representa la actividad antrópica que es la que genera la dinámica de las diferentes intervenciones en el territorio; específicamente se ha considerado la población con potencial; es decir quienes están categorizados como No Pobres.

Para determinar la influencia de la Demografía en el nivel de vulnerabilidad; la valoración de los atributos de esta se realizó bajo la lógica de que las unidades sociales con mayores/menores números de habitantes no pobres, presentan menores/mayores niveles de vulnerabilidad.

Bajo este criterio y tomando como referencia la matriz de valoración socioeconómica, se asignó valores a los respectivos atributos; el resultado se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 38: Valoración de la información temática de Demografía**

<b>Población con Potencial</b>	<b>Valoración</b>
0 – 500	5
500 – 1000	4
1000 – 3000	3
3000 – 6000	2
>6000	1

- **Índice de Desarrollo Humano (IDH)**

El IDH involucra tres elementos relacionados con factores de vulnerabilidad de las unidades sociales: nivel de salud, representado por la esperanza de vida al nacer; nivel de educación, representado por la tasa de alfabetización de adultos, el promedio de año de escolarización y finalmente, el nivel de ingreso, representado por el PIB per capita. (Vera, 2014)

Para determinar la influencia del IDH en el nivel de vulnerabilidad; la valoración de los atributos de esta se realizó bajo la lógica de que las unidades sociales con mayores/menores ratios de IDH presentan mayores/menores niveles de vulnerabilidad. Bajo este criterio y tomando como referencia la matriz de valoración socioeconómica, se asignó valores a los respectivos atributos; el resultado se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 39: Valoración de la de la información temática de IDH**

<b>Rango de IDH</b>	<b>Valoración</b>
< 0.35	5
0.35 – 0.40	4
0.40 – 0.50	3
0.50 – 0.54	2
> 0.54	1

- **Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)**

Necesidades Básicas Insatisfechas toma en consideración un conjunto de indicadores relacionados con necesidades básicas estructurales (vivienda, educación, infraestructura, etc.) aspectos que no son sensibles a los cambios de la coyuntura económica y permite una visión específica de la situación de pobreza, considerando los aspectos sociales.

Para determinar la influencia de la variable NBI en el nivel de vulnerabilidad de las unidades sociales, la valoración de los atributos de esta se realizó bajo la lógica de que unidades sociales con mayor/menor porcentaje de hogares con al menos un NBI, presentan mayor/menor niveles de vulnerabilidad.

Bajo este criterio y tomando como referencia la matriz de valoración socioeconómica, se asignó valores a los respectivos atributos; el resultado se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 40: Valoración de la de la información temática de NBI**

<b>Población con al menos un NBI</b>	<b>Valoración</b>
60 – 100 %	5
40 - 59,9 %	4
20 - 39,9 %	3
10 - 19,9 %	2
2 - 9,9 %	1

#### - **Programas Sociales**

Un programa social es una iniciativa destinada a mejorar las condiciones de vida de una población, promover su desarrollo, crecimiento e integración a la sociedad. En este sentido, los programas sociales influyen en el nivel de vulnerabilidad de las unidades sociales.

La valoración de los atributos de esta variable se realizó bajo la lógica de que a mayor o menor número de programas sociales, mayor o menor nivel de vulnerabilidad de la unidad social.

Bajo este criterio y tomando como referencia la matriz de valoración socioeconómica, se asignó valores a los respectivos atributos; el resultado se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 41: Valoración de la de la información temática de Programas Sociales**

<b>Nº de Programas Sociales</b>	<b>Valoración</b>
Un programa	5
2 programas	4
3 programas	3
4 programas	2
5 programas	1

## b. Submodelo de Infraestructura Social

El presente sub modelo está estrechamente relacionada con la protección social como factor de vulnerabilidad. La dotación de infraestructura que presentan las unidades sociales, reflejan la presencia de servicios sociales y de apoyo a la producción que brindan a las comunidades las instancias de gobierno, nacional y sub nacional.

De acuerdo al modelo conceptual, las variables que conforman este sub-modelo son: Infraestructura de Servicios de Salud; Educación y Vías de Comunicación, las cuales se describen de manera resumida en el Tabla 42, precisando los atributos más importantes, indicadores y fuentes de información.

**Tabla 42: Variables e Indicadores de Infraestructura Social**

<b>Sub-Modelo</b>	<b>Variable/Mapa Temático</b>	<b>Unidad de la Variable</b>	<b>Atributo</b>	<b>Fuente de Información</b>
<b>Infraestructura Social</b>	Infraestructura de Servicios de Salud	Centros de Salud	Categoría	MINSA-2017
	Infraestructura Educativa	Institución Educativa	Nivel Educativo	MINEDU-2017
	Vías de Comunicación	Vías	Tipo de Superficie	MTC-2015

### - Salud

De acuerdo a la categoría de los establecimientos de salud existentes en las unidades territoriales, la valoración de los atributos de esta variable se realizó bajo la lógica de que a mayor o menor categoría del establecimiento de salud, mayor o menor será nivel de bienestar de las comunidades y por lo tanto mayor o menor nivel de vulnerabilidad de la unidad social. Bajo este criterio y tomando como referencia la matriz de valoración socioeconómica, se asignó valores a los respectivos atributos; el resultado se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 43: Valoración de la de la información temática de Salud**

<b>Categoría del Centro de Salud</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
I-1	Puesto de Salud	5
I-2	Puesto de Salud con Medica	4
I-3	Centro de Salud sin Internamiento	3
I-4	Centro de Salud con Internamiento	2
II-1	Hospital I	1

**- Educación**

De acuerdo al nivel de las instituciones educativas existentes en las unidades territoriales, la valoración de los atributos de esta variable se realizó bajo la lógica de que a mayor o menor presencia de instituciones educativas, en sus diferentes niveles, mayor o menor nivel de vulnerabilidad de la unidad social.

Bajo este criterio y tomando como referencia la matriz de valoración socioeconómica, se asignó valores a los respectivos atributos; el resultado se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 44: Valoración de la de la información temática de Educación**

<b>Nivel de Institución Educativa</b>	<b>Valoración</b>
Inicial, Primaria	5
Inicial, Primaria, Secundaria	4
Inicial, Primaria, Secundaria, CETPRO	3
Inicial, Primaria, Secundaria, IST	2
Inicial, Primaria, Secundaria, CETPRO, IST	1

**- Vías de Comunicación**

De acuerdo al tipo de superficie o vía existente en su mayoría dentro de las unidades territoriales, la valoración de los atributos de esta variable se realizó bajo la lógica de que unidades territoriales con mayor presencia de vías con mejor superficie de rodadura, tendrán una mayor conectividad territorial, por lo tanto una mayor oportunidad de relacionamiento y oportunidades de inserción a mercados, lo que finalmente incide en un mayor nivel de vulnerabilidad de la unidad social.



Bajo este criterio y tomando como referencia la matriz de valoración socioeconómica, se asignó valores a los respectivos atributos; el resultado se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 45: Valoración de la de la información temática de Vías de Comunicación**

Tipo de superficie predominante	Valoración
Trochas	5
Sin afirmar	4
Afirmado	2
Asfaltado	1

- **Integración ponderativa de las variables para la generación de los submodelos correspondientes al Modelo de Peligros Múltiples**

Se asignó un determinado grado de participación (%) a cada una de las variables, que represente el grado de incidencia que tienen sobre la manifestación de peligros, teniendo en cuenta las características de la cuenca y la escala de la información disponible. Dicho análisis se respaldó en el conocimiento del investigador, consultas de literatura relacionada y el juicio del asesor con experiencia en trabajos de Zonificación Ecológica Económica y Planes de Ordenamiento Territorial. Asimismo, tanto el proceso de valoración de atributos y la integración ponderativa de variables, fueron automatizados en modelos geoespaciales (Figuras 22, 23, 24 y 25), mediante la herramienta Model Builder del ArcGis, los cuales fueron ejecutados con diferentes alternativas de ponderación; es decir, los grados de participación fueron ajustados a fin de aproximar los resultados a la realidad del territorio.

**a. Submodelo de Inundaciones**

Se asignó el grado de participación que tienen las variables sobre la manifestación de los diferentes niveles de peligro por inundación, expresados en porcentaje. La integración de las variables del presente submodelo responde a la siguiente expresión general:

$$SMI = f(Pend, Fisio, CV, Preci, Geo)$$

$$SMI = a * Pend + b * Fisio + c * CV + d * Preci + e * Geo$$

Donde:

*SMI*: Submodelo dependiente de Inundaciones

*Pend*: Pendiente

*Fisio*: Fisiografía

*CV*: Cobertura Vegetal

*Preci*: Precipitación

*Geo*: Geología

*a, b, c, d, e*: Grados de participación de cada variable

Cabe señalar que dicha asignación responde a la información que se ha tenido disponible y a los niveles de escala de esta. En consecuencia, quien asumió una mayor participación fue la Pendiente con 40%, ya que fue generada con curvas cada 30m. Cabe precisar que, la información cartográfica de las variables físicas como cobertura vegetal, geología y fisiografía, se encuentran a una escala de 1:250 000, por otra parte la información cartográfica de las variables meteorológicas se generaron con un número limitado de estaciones por lo que su escala es de nivel meso. Teniendo en cuenta lo expuesto, se asignó la participación de cada variable de la siguiente manera:

**Tabla 46: Ponderación de variables del submodelo de Inundaciones**

<b>Variables</b>	<b>Grado de Participación (%)</b>
Pendiente	40
Fisiografía	20
Cobertura Vegetal	10
Precipitación en Año Húmedo	20
Geología	10

Las áreas inundables en la faja marginal no fueron ponderadas junto con las otras variables, sino que se integraron directamente al submodelo como áreas con un nivel de peligro Muy Alto.

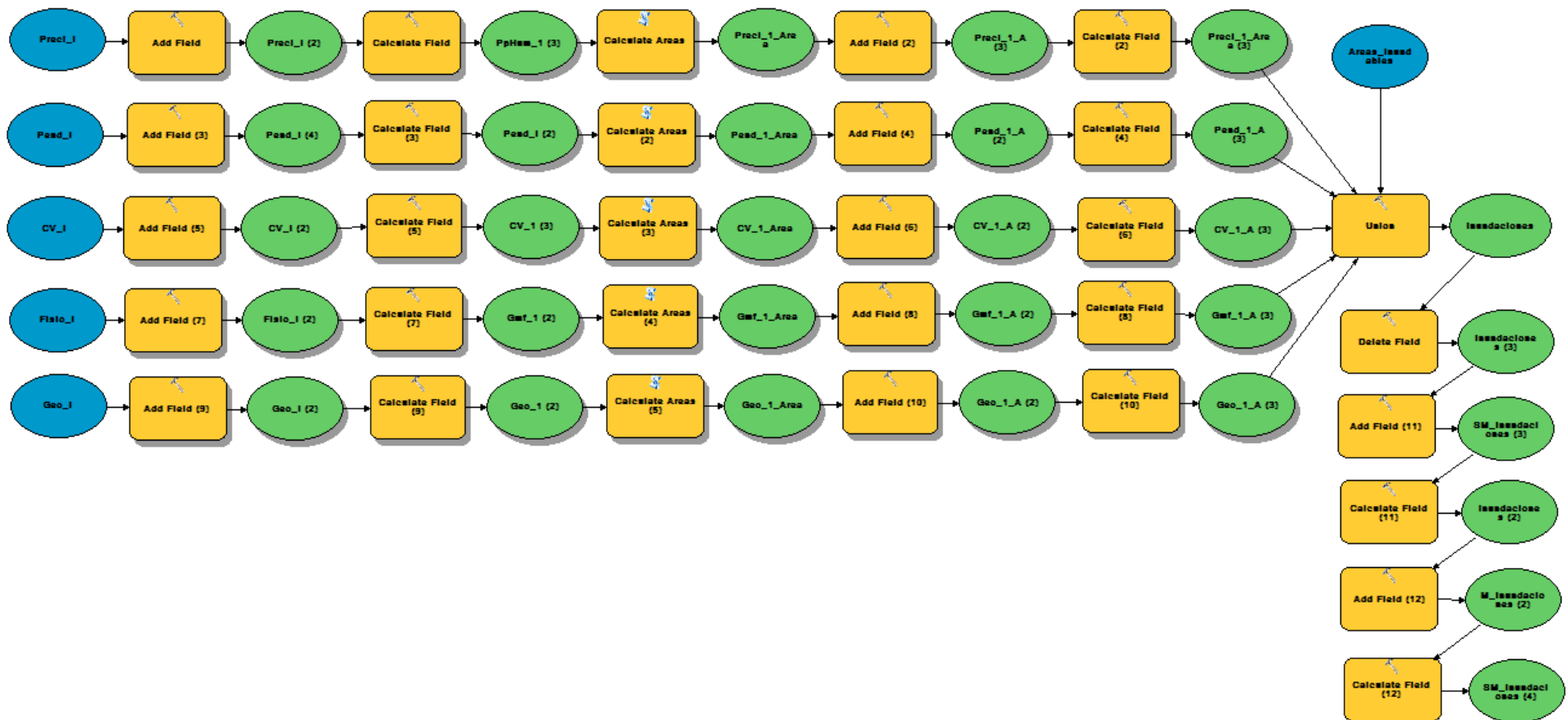


Figura 22: Modelo geoespacial elaborado para la identificación de zonas vulnerables a Inundaciones

## b. Submodelo de Movimientos en Masa

Se asignó el grado de participación que tienen las variables sobre la manifestación de los peligros por deslizamientos, derrumbes y huaycos, expresados en porcentaje. La integración de las variables del presente submodelo responde a la siguiente expresión general:

$$SMMM = f(Pend, Fisio, CV, Preci, Geo)$$

$$SMMM = f * Pend + g * Fisio + h * CV + i * Preci + j * Geo$$

Donde:

*SMMM*: Submodelo dependiente de Movimientos en Masa

*Pend*: Pendiente

*Fisio*: Fisiografía

*CV*: Cobertura Vegetal

*Preci*: Precipitación

*Geo*: Geología

*f, g, h, i, j*: Grados de participación de cada variable

En dicho análisis se consideró a la Pendiente como la variable que condiciona la ocurrencia de estos peligros naturales, por esta razón se le asignó un 35% de influencia; seguido por la Geología con un 25% por cuanto explica las diferentes formaciones geológicas y de quienes depende el comportamiento del suelo ante un agente externo (erosivo, clima, etc.) e interno (sismos); así también se le asignó un 15% a la Cobertura Vegetal, siendo en conjunto con las dos primeras quienes condicionan el grado de erosión del suelo. Asimismo la Precipitación, como factor detonante en este tipo de fenómenos y la Fisiografía que sufre modificaciones por efectos de esta, se les asignó 15% y 10 % de influencia respectivamente.

**Tabla 47: Ponderación de variables del submodelo de Movimientos en Masa**

<b>Variables</b>	<b>Ponderación (%)</b>
Pendiente	35
Fisiografía	10
Cobertura Vegetal	15
Precipitación en Año Húmedo	15
Geología	25

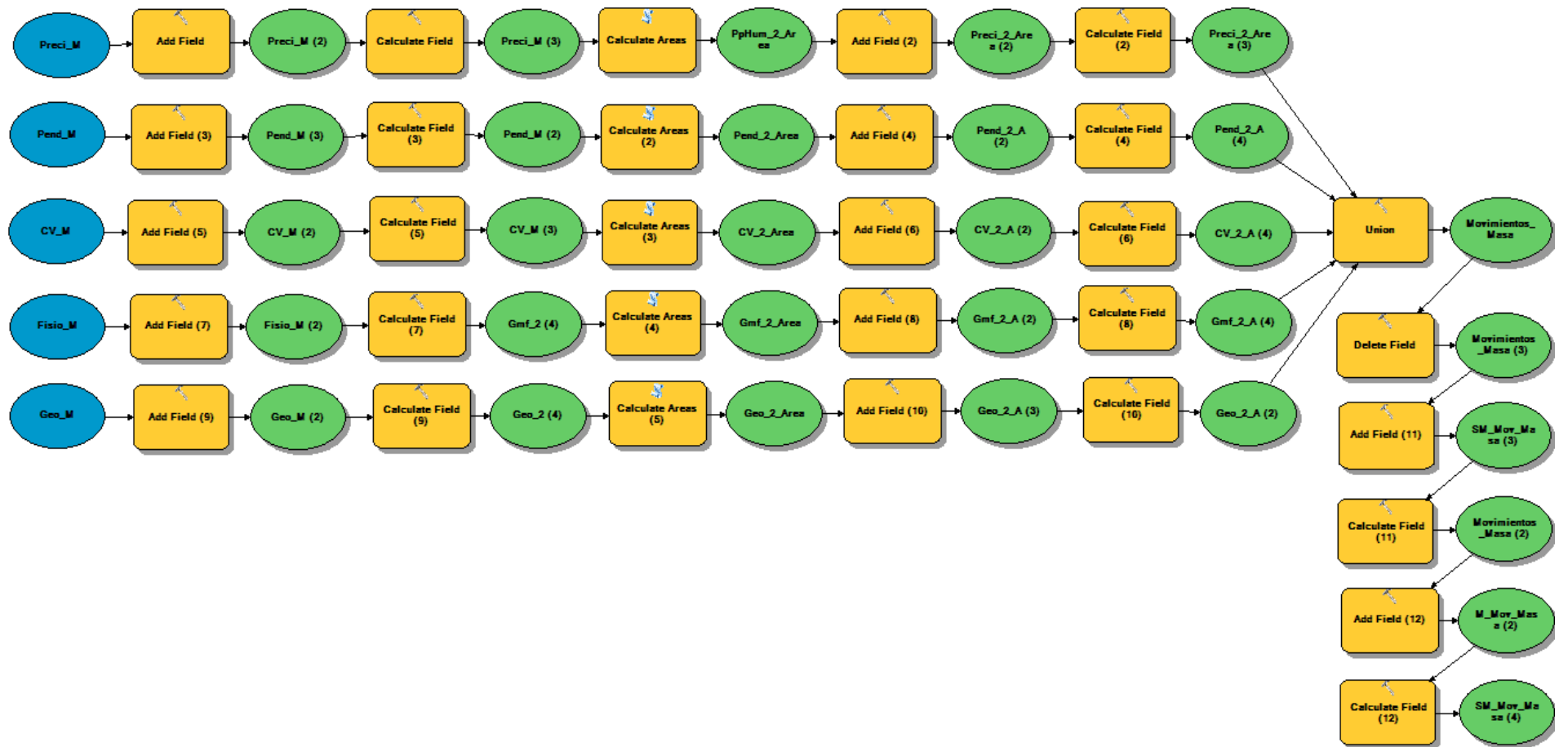


Figura 23: Modelo geoespacial elaborado para la identificación de zonas vulnerables a Movimientos en Masa

### c. Submodelo de Heladas

Se asignó el grado de participación que tienen las variables sobre la manifestación de los peligros por Heladas, expresados en porcentaje.

La integración de las variables del presente submodelo responde a la siguiente expresión general:

$$SMH = f(Tmin, ZV, Pend, HR)$$

$$SMH = k * Tmin + l * ZV + m * Pend + n * HR$$

Donde:

*SMH*: Submodelo dependiente de Heladas

*Tmin*: Temperatura Mínima

*ZV*: Zonas de Vida

*Pend*: Pendiente

*HR*: Humedad Relativa

*k, l, m, n*: Grados de participación de cada variable

En dicho análisis se considera a la Temperatura Mínima como la variable que condiciona la ocurrencia de estos peligros naturales, por esta razón se le asignó un 40% de influencia; seguido por la Pendiente con un 25% la cual condiciona la dirección hacia donde se asentara la helada y será mayor su impacto. Otro factor importante son las Zonas de Vida, quienes explican las condiciones climáticas y estas a su vez tienen relación directa con el nivel de peligro por heladas, por ello se le asignó un 20% de influencia. Por último, complementando las variables anteriores la Humedad Relativa tiene una considerable participación en el mecanismo de las heladas, con un 15%.

**Tabla 48: Ponderación de variables del submodelo de Heladas**

<b>Variables</b>	<b>Ponderación (%)</b>
Temperatura Mínima	40
Zonas de Vida	20
Pendiente	25
Humedad Relativa	15

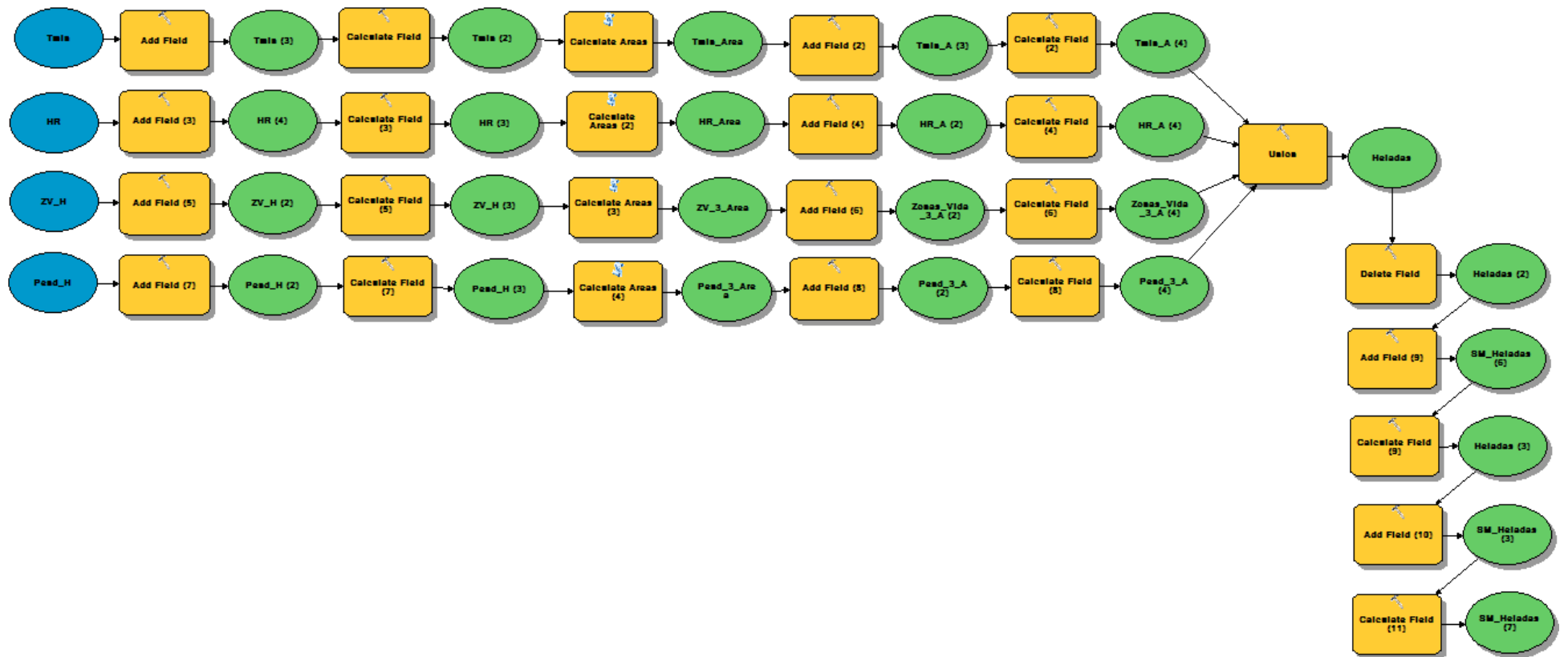


Figura 24: Modelo geoespacial elaborado para la identificación de zonas vulnerables a Heladas

#### d. Submodelo de Sequias

Se asignó el grado de participación que tienen las variables sobre la manifestación de los diferentes niveles de peligro por sequias, expresados en porcentaje.

La integración de las variables del presente submodelo responde a la siguiente expresión general:

$$SMS = f(SPI, ZV, Tmax)$$

$$SMS = o * SPI + p * ZV + q * Tmax$$

Donde:

*SMS*: Submodelo dependiente de Sequias

*SPI*: Índice Estandarizado de Precipitación

*ZV*: Zonas de Vida

*Tmax*: Temperatura Máxima

*o, p, q*: Grados de participación de cada variable

En dicho análisis, se le asignó al SPI un 70% de influencia, debido a que este indicador, ya representa la ocurrencia e intensidad de las sequias en la zona de estudio; por lo que las variables Zonas de Vida y Temperatura Máxima se integraron al sub-modelo a modo de ajuste, asignándoles una influencia de 20% y 10% respectivamente.

**Tabla 49: Ponderación de variables del submodelo de Sequias**

<b>Variables</b>	<b>Ponderación</b>
SPI	70
Zonas de Vida	20
Temperatura Máxima	10



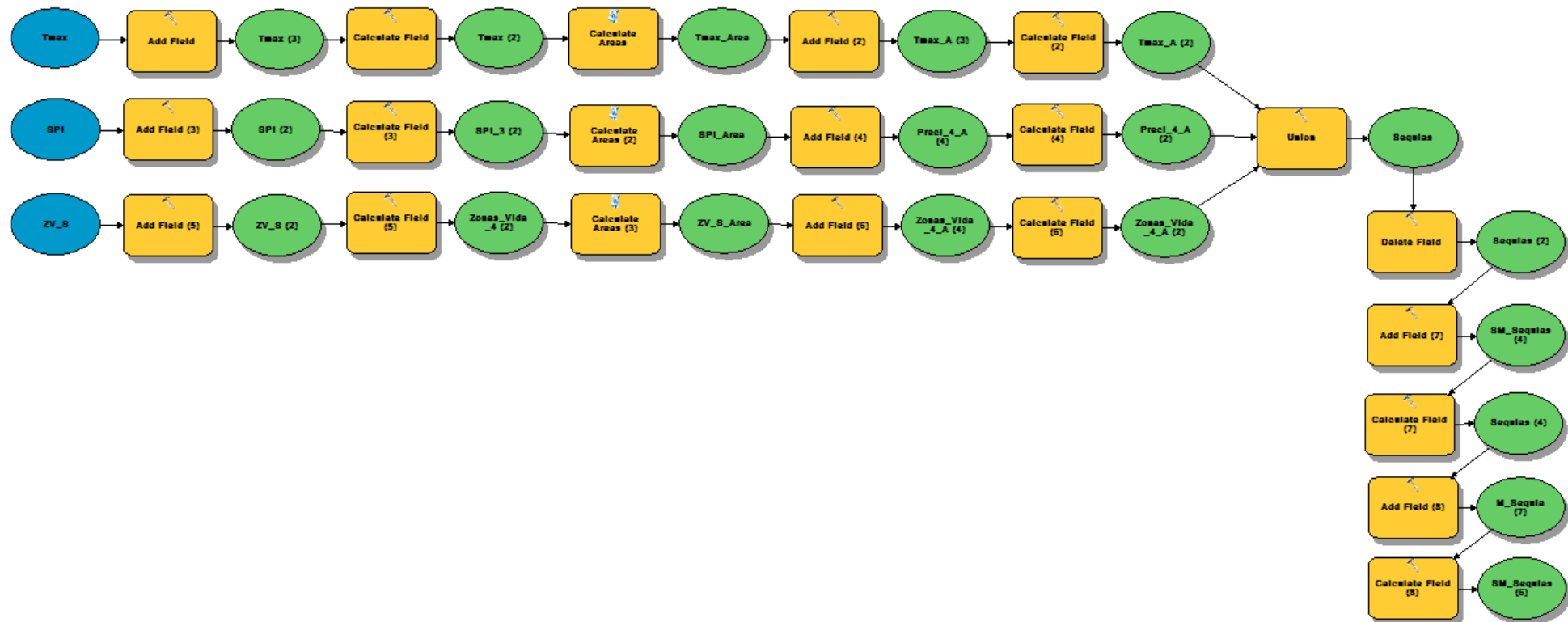


Figura 25: Modelo geoespacial elaborado para la identificación de zonas vulnerables a Sequias

- **Integración lógica para la generación del Modelo de Peligros Múltiples**

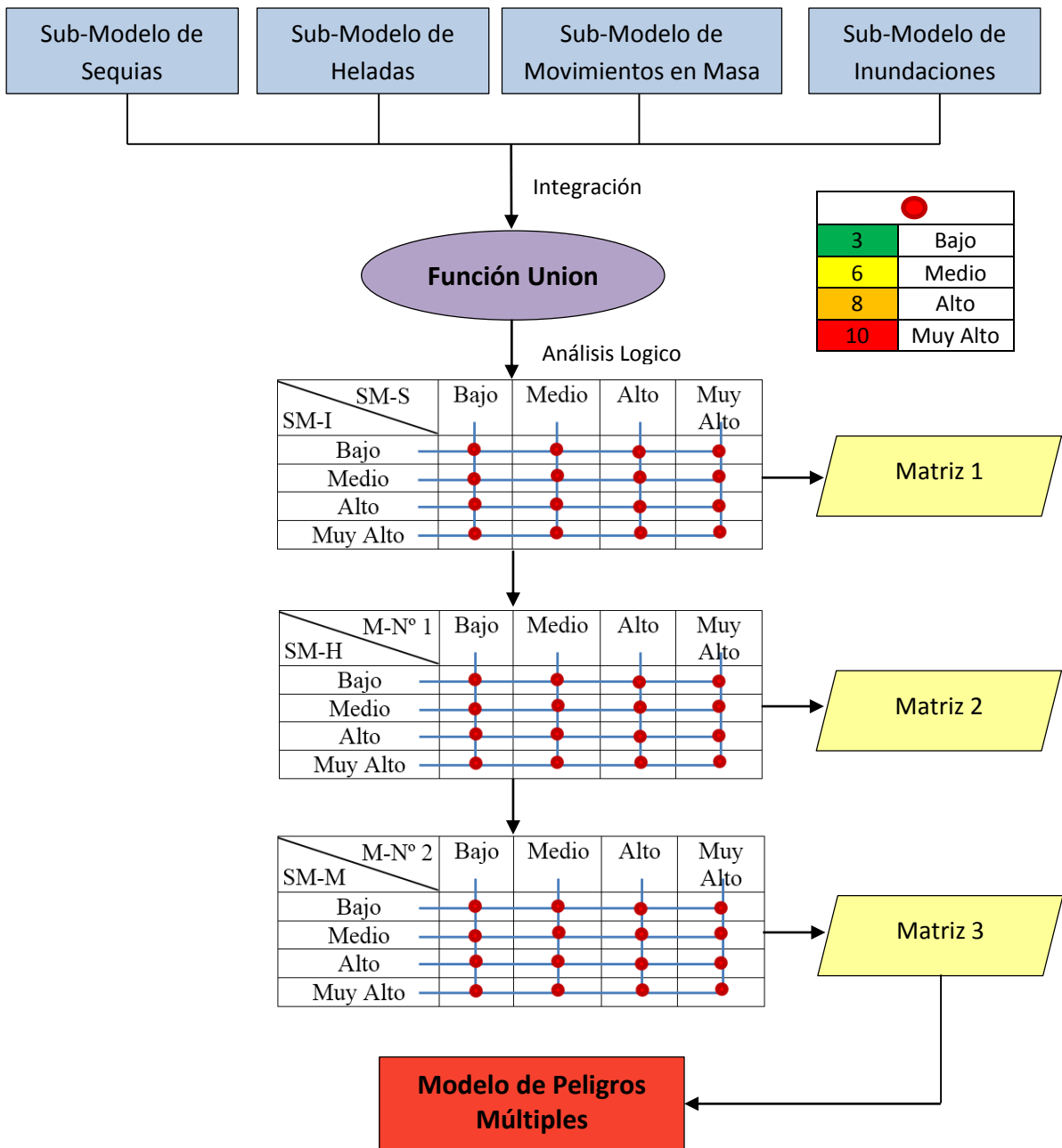
Tal como se expuso anteriormente para generar el presente modelo se requirió trabajar con matrices, con el criterio de mantener los niveles de peligro Alto y Muy Alto, por lo que se procedió llenar los valores en cada una de las matrices, intersectando los niveles de peligro de cada submodelo.

El valor asignado se realizó en función al resultado requerido, es decir discernir si se va menguar o acrecentar el nivel de peligro que está en cuestión, así se continua con el análisis hasta completar los valores en la respectiva matriz; esta resultante, se vuelve analizar con el siguiente sub modelo, hasta obtener la matriz final que expresa la cartografía del modelo en cuestión y el cual se procesó mediante la plataforma SIG.

Para ello, se utilizó la matriz de valoración de atributos (Tabla 17), de donde se asignó los valores de 3 para el nivel de peligro bajo, 6 para el medio, 8 para el alto y 10 para el nivel de peligro muy alto.

El análisis en cuestión se sustenta en el modelo lógico mostrado en el esquema siguiente.

**Figura 26: Modelo lógico de integración del modelo de Peligros Múltiples**



Donde SM-I, es el sub-modelo de Inundaciones, SM-S el sub-modelo de Sequias, SM-H el sub-modelo de Heladas y SM-M el sub-modelo de Movimientos en Masa. Y el producto cartográfico de la Matriz N° 3 es el Modelo de Peligros Múltiples.

Mediante la confrontación entre los valores numéricos que definieron los niveles de peligro del SM Inundaciones y del SM Sequías; el resultado fue el siguiente:

**Tabla 50: Matriz N° 1**

SM-I \ SM-S	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Bajo	Bajo(3)	Bajo(3)	Medio(6)	Alto(8)
Medio	Bajo(3)	Bajo(3)	Medio(6)	Alto(8)
Alto	Medio (6)	Alto(8)	Muy Alto(10)	Muy Alto(10)
Muy Alto	Muy Alto(10)	Muy Alto(10)	Muy Alto(10)	Muy Alto(10)

Mediante la confrontación entre los valores numéricos que definieron los niveles de peligro de la Matriz N° 1 y del SM Heladas; el resultado fue el siguiente:

**Tabla 51: Matriz N° 2**

SM-H \ M-N°1	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Bajo	Bajo(3)	Medio(6)	Alto(8)	Muy Alto(10)
Medio	Bajo(3)	Medio(6)	Alto(8)	Muy Alto(10)
Alto	Medio(6)	Medio(6)	Muy Alto(10)	Muy Alto(10)
Muy Alto	Alto(8)	Alto(8)	Muy Alto(10)	Muy Alto(10)

Mediante la confrontación entre los valores numéricos que definieron los niveles de peligro de la Matriz N° 2 y del SM Movimientos en Masa; el resultado fue el siguiente:

**Tabla 52: Matriz N° 3**

SM-M \ M-N°2	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Bajo	Bajo(3)	Medio(6)	Alto(8)	Muy Alto(10)
Medio	Bajo(3)	Medio(6)	Alto(8)	Muy Alto(10)
Alto	Alto(8)	Alto(8)	Alto(8)	Muy Alto(10)
Muy Alto	Muy Alto(10)	Muy Alto(10)	Muy Alto(10)	Muy Alto(10)

- **Integración ponderativa de variables para la generación de los submodelos correspondientes al Modelo de Vulnerabilidad Social**

Se asignó un determinado grado de participación a cada una de las variables, que represente el grado de incidencia que tienen sobre la vulnerabilidad social del territorio, teniendo en cuenta las características de la cuenca y la escala de la información disponible. Dicho análisis se respaldó en el conocimiento del investigador, consultas de literatura relacionada y el juicio del asesor con experiencia en trabajos de Zonificación Ecológica Económica y Planes de Ordenamiento Territorial. Asimismo, tanto el proceso de valoración de atributos como el de ponderación de variables, fueron automatizados en modelos geoespaciales (Figuras 27 y 28), mediante la herramienta Model Builder del

ArcGis, los cuales fueron ejecutados con diferentes alternativas de ponderación; es decir, se asignaron diferentes grados de participación hasta llegar a un resultado que se aproxime a la realidad del territorio.

#### **a. Submodelo de Unidades Sociales**

Se asignó el grado de participación que tienen las variables sobre el grado de bienestar de las unidades sociales, como factor de vulnerabilidad, expresados en porcentaje.

La integración de las variables del presente submodelo responde a la siguiente expresión general:

$$SMUS = f(Pob, IDH, NBI, PG, Dem)$$

$$SMS = r * Pob + s * IDH + t * NBI + u * PG + v * Dem$$

Donde:

*SMUS*: Submodelo dependiente de Unidades Sociales

*Pob*: Pobreza

*IDH*: Índice de Desarrollo Humano

*NBI*: Necesidades Básicas Insatisfechas

*PG*: Programas Sociales

*Dem*: Demografía

*r, s, t, u, v*: Grados de participación de cada variable

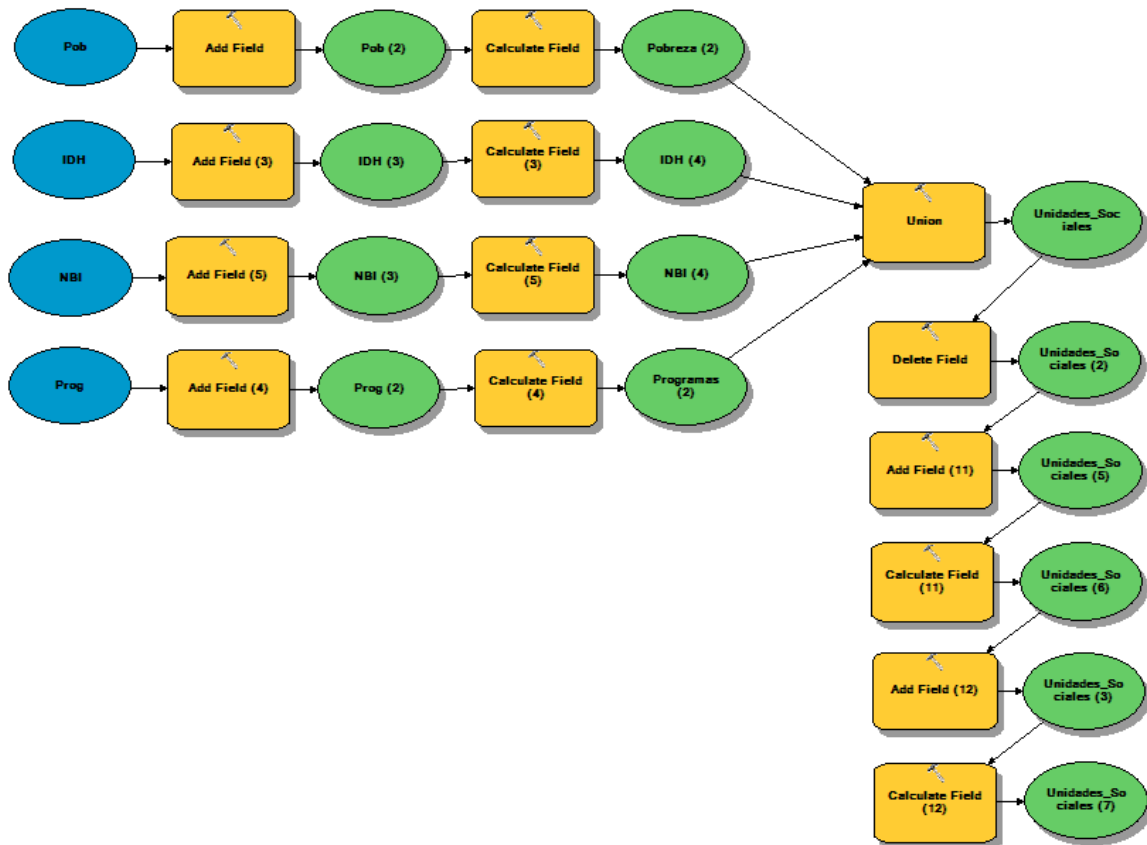
En primera instancia, se consideró a la pobreza como el componente más importante dentro de la vulnerabilidad con una participación de 30%, ya que la insuficiencia de ingresos limita la capacidad de respuesta de las unidades sociales a cualquier amenaza. Las Necesidades Básicas Insatisfechas como medida de pobreza y con una visión relacionada con las necesidades básicas estructurales, se le asignó un 15%, considerando que las unidades sociales carecen de al menos una de ellas.

El IDH, por ser un indicador que informa sobre el nivel de desarrollo humano en función de tres parámetros: esperanza de vida, acceso a educación y nivel de ingresos; se le asignó un 30% de participación. Los Programas Sociales evidencian la presencia del estado en aras a mejorar las condiciones de vida de sectores sociales que tienen necesidades aun no satisfechas, asumiendo una participación del 10%. Por último, la variable demografía

asumió una participación del 15% ya que considera la cantidad de población No Pobre; la cual se enfoca a rescatar las unidades distritales con mayor potencial social.

**Tabla 53: Ponderación de variables del submodelo de Unidades Sociales**

Variables	Ponderación
Pobreza	30
Demografía	15
Índice de Desarrollo Humano (IDH)	30
Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)	15
Programas Sociales	10



**Figura 27: Modelo geoespacial elaborado para el submodelo de Unidades Sociales**

## b. Submodelo de Infraestructura Social

Se asignó el grado de participación que tienen las variables sobre el nivel de protección social de la población, como factor de vulnerabilidad, expresados en porcentaje.

La integración de las variables del presente submodelo responde a la siguiente expresión general:

$$SMIS = f(Edu, Sal, Vias)$$

$$SMS = w * Edu + x * Sal + y * Vias$$

Donde:

*SMIS*: Submodelo de Infraestructura Social (Variable Dependiente)

*Edu*: Infraestructura de Educación

*Sal*: Infraestructura de Salud

*Vias*: Vías de Comunicación

*w, x, y*: Grados de participación de cada variable

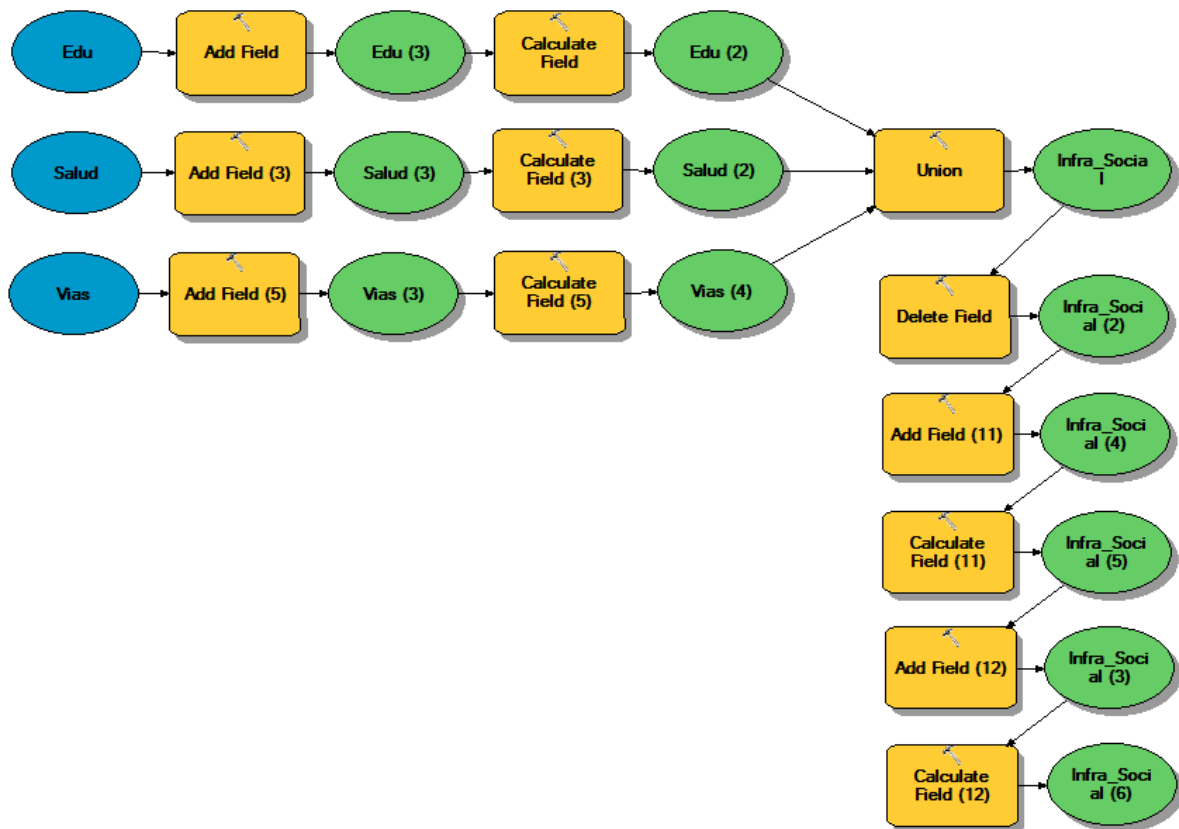
La infraestructura de salud cumple un rol importante en la atención de emergencias y en la asistencia a la población afectada en situaciones de desastres, por tal motivo, se le asignó un valor del 40 %.

Las vías de comunicación juegan un papel indispensable al momento de la movilización de todo tipo de ayuda, ante un eventual desastre, en tal sentido se la atribuyo una participación de 35%.

Las instituciones educativas dependiendo el nivel de estas, permiten dotar a las personas de un específico capital humano cuyo retorno beneficia a la sociedad, asimismo sirven de refugio a personas afectadas en situaciones de desastres, por lo que se le asignó un 30%.

**Tabla 54: Ponderación de variables del submodelo de Infraestructura Social**

<b>Variables</b>	<b>Ponderación (%)</b>
Salud	40
Vías de Comunicación	30
Educación	30



**Figura 28: Modelo geoespacial elaborado para el submodelo de Infraestructura Social**

- **Integración ponderativa de Submodelos para la generación del Modelo de Vulnerabilidad Social**

Este modelo, considera en su construcción un grado de participación de 55% asignado al submodelo Infraestructura Social y 45% al submodelo de Unidades Sociales, si bien es cierto, este último contiene información de indicadores que describen de manera global las condiciones de bienestar de la población, empero esta información remonta al año 2012-2013, mientras que las variables dentro del submodelo de Infraestructura Social son del presente año y representan el nivel de protección social que posee la población, por lo que el grado de participación concebido para este, es casi igual, con una ligera ventaja sobre el otro.

La integración de los submodelos del presente modelo intermedio responde a la siguiente expresión general:

$$MVS = f(SMUS, SMIS)$$

$$MVS = 0.45 \times SMUS + 0.55 \times SMIS$$

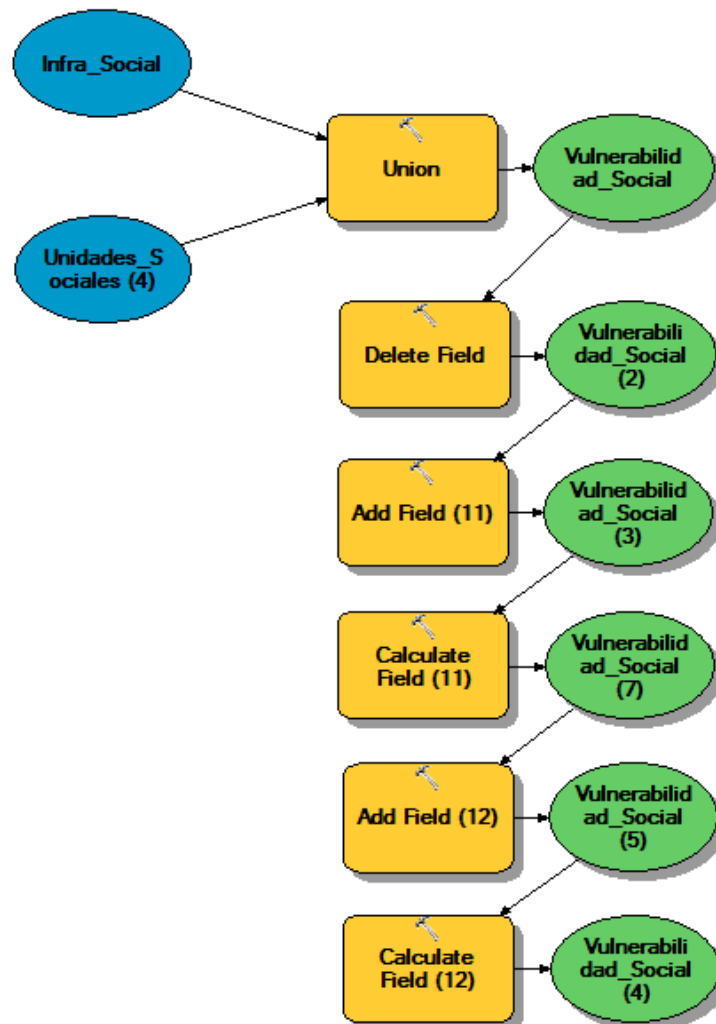


Donde:

*MVS*: Modelo de Vulnerabilidad Social

*SMUS*: Submodelo de Unidades Sociales

*SMIS*: Submodelo de Infraestructura Social



**Figura 29: Modelo geoespacial elaborado para la identificación de zonas en condiciones de Vulnerabilidad Social**

- **Integración ponderativa para la generación del Modelo Global de Peligros Múltiples**

Para efectos del estudio, el modelo de peligros múltiples fue complementado con el modelo de vulnerabilidad social involucrando así el factor antrópico de la cuenca, cuyo resultado final permitirá identificar que zonas necesitan priorizarse al momento de tomar acciones preventivas y de mitigación, es decir zonas críticas que presenten peligros

múltiples y a su vez que tengan un potencial social bajo. De acuerdo al nivel y cantidad de información, se le asignó un grado de participación de 70% al modelo de Peligros múltiples, por tener una mayor incidencia en la vulnerabilidad y representar específicamente a que peligros están expuestos las diferentes unidades territoriales de la cuenca, por ende al modelo de vulnerabilidad social, le correspondió un 30%.

La integración de los modelos intermedios mencionados es representada mediante la siguiente ecuación:

$$MGPM = f(MPM, MVS)$$

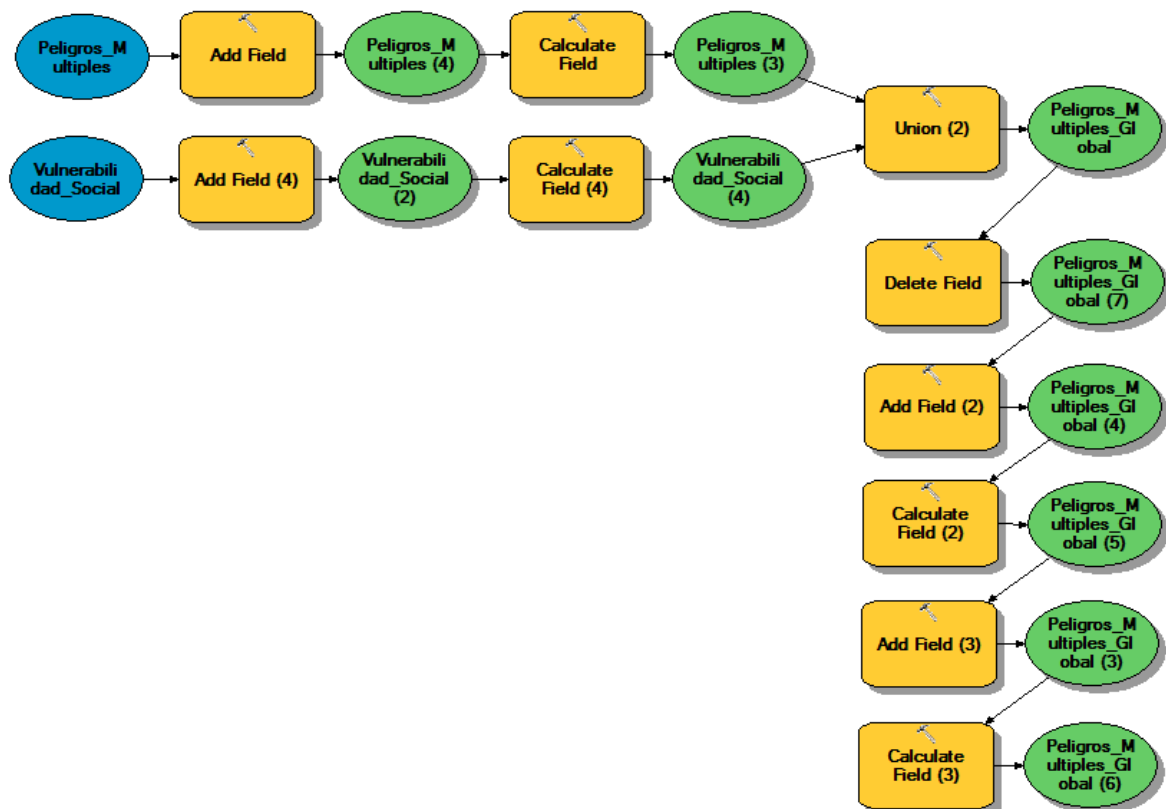
$$MGPM = 0.70 \times MPM + 0.30 \times MVS$$

Donde:

*MGPM*: Modelo Global de Peligros Múltiples

*MPM*: Modelo de Peligros Múltiples

*MVS*: Modelo de Vulnerabilidad Social



**Figura 30: Modelo geoespacial elaborado para la identificación de zonas vulnerables a Peligros Múltiples**

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. MODELAMIENTO GEOESPACIAL DE PELIGROS MÚLTIPLES

#### 4.1.1. Mapa de Pendientes

El presente mapa se generó de acuerdo a la metodología anteriormente mencionada, clasificándolo en 7 rangos según la *Guía de Clasificación de los Parámetros Edáficos, del Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (2009)*, cuya distribución espacial se aprecia en el mapa respectivo, simbolizado por colores, y para el cual se calculó la superficie y el porcentaje que cubre cada rango de pendiente.

Se tiene que un 11.52 % del territorio (197,565.59 ha) presenta una pendiente entre 0 y 4 %, un 12.25 % del territorio (210,066.37 ha) una pendiente entre 4 y 8 % a lo cual podríamos denominarlas como ligeramente inclinadas, mientras que un 18.81 % del territorio (322,548.77ha) presenta una pendiente entre 8 y 15 %, un 19.81 % (339,766.44 ha) una pendiente entre 15 y 25 %, y un 24.86 % (426,289.59) una pendiente entre 25 y 50 %, a lo cual podríamos denominarlo como moderadamente empinadas. Por último, se tiene un 9.92 % del territorio (170,170.33 ha) con una pendiente entre 50 a 75 % y un 2.84 % (48,696.56 ha) una pendiente mayor 75 %, a las cuales podríamos denominarlas como fuertemente empinadas.

**Tabla 55: Resultados del mapa de Pendientes**

<b>Pendiente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Área (Has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
0 - 4 %	Nula o casi a nivel	197565.60	11.52
4 - 8 %	Ligeramente inclinada	210066.37	12.25
8 - 15 %	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada	322548.77	18.81
15 - 25 %	Moderadamente empinada	339766.44	19.81
25 - 50 %	Empinada	426289.59	24.86
50 - 75 %	Muy empinada	170170.33	9.92
>75 %	Extremadamente empinada	48696.56	2.84

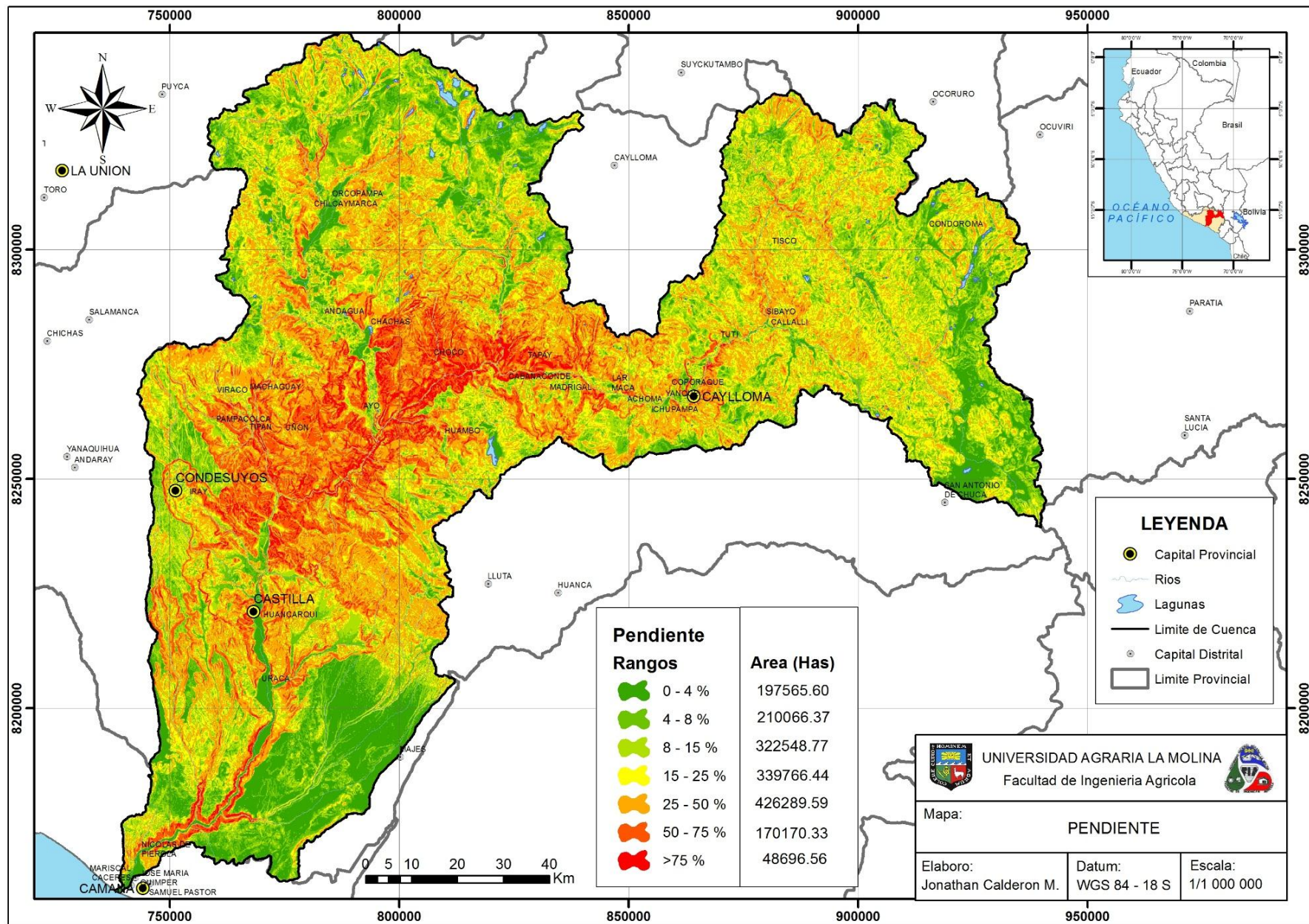


Figura 31: Mapa de Pendiente de la cuenca Camana-Majes-Colca

#### 4.1.2. Mapa de Fisiografía

El presente mapa es la representación cartográfica del relieve de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca, expresado en cuatro grandes paisajes como unidades fisiográficas mayores: Altiplanicie, Colina, Montaña y Planicie; categorías que contienen paisajes fisiográficos caracterizados según el relieve dominante. Se aclara que el mapa presenta los paisajes fisiográficos delimitados como una segunda categoría después del gran paisaje.

Con la finalidad de conocer la superficie y el porcentaje que ocupa cada paisaje fisiográfico dentro del territorio de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca, se ha calculado el área de cada una de ellas cuyo resultado se muestra en la Tabla N° 56.

**Tabla 56: Resultados del mapa de Fisiografía**

Unidad Fisiográfica	Descripción	Area (Has)	Porcentaje (%)
Condorama	Presa	2887.02	0.17
Lagunas	Lagos, Lagunas	5038.97	0.29
Planicie	Llanura	39985.30	2.33
Planicie	Valle y llanura irrigada	14037.54	0.82
Planicie	Altiplanicie	6489.90	0.38
Planicie	Fondo de valle glaciar	1448.64	0.08
Planicie Ondulada a Disectada	Llanura disectada	47000.02	2.74
Planicie Ondulada a Disectada	Llanura ondulada	27295.96	1.59
Planicie Ondulada a Disectada	Altiplanicie disectada	84863.35	4.95
Planicie Ondulada a Disectada	Altiplanicie ondulada	38713.19	2.26
Planicie Ondulada a Disectada	Vertiente allanada	8878.14	0.52
Planicie Ondulada a Disectada	Vertiente allanada a disectada	15595.57	0.91
Colina y Montaña	Colina	29259.67	1.71
Colina y Montaña	Vertiente montañosa y colina moderadamente empinada	285639.19	16.65
Colina y Montaña	Vertiente montañosa moderadamente empinada	37225.01	2.17
Montaña	Vertiente montañosa moderadamente empinada	25170.65	1.47
Colina y Montaña	Vertiente montañosa empinada a escarpada	158930.52	9.27
Colina y Montaña	Vertiente montañosa y colina empinada a escarpada	606477.12	35.36
Montaña	Vertiente montañosa empinada a escarpada	253348.53	14.77
Montaña	Vertiente montañosa fuertemente disectada	13050.15	0.76
Nieve	-	13938.19	0.81

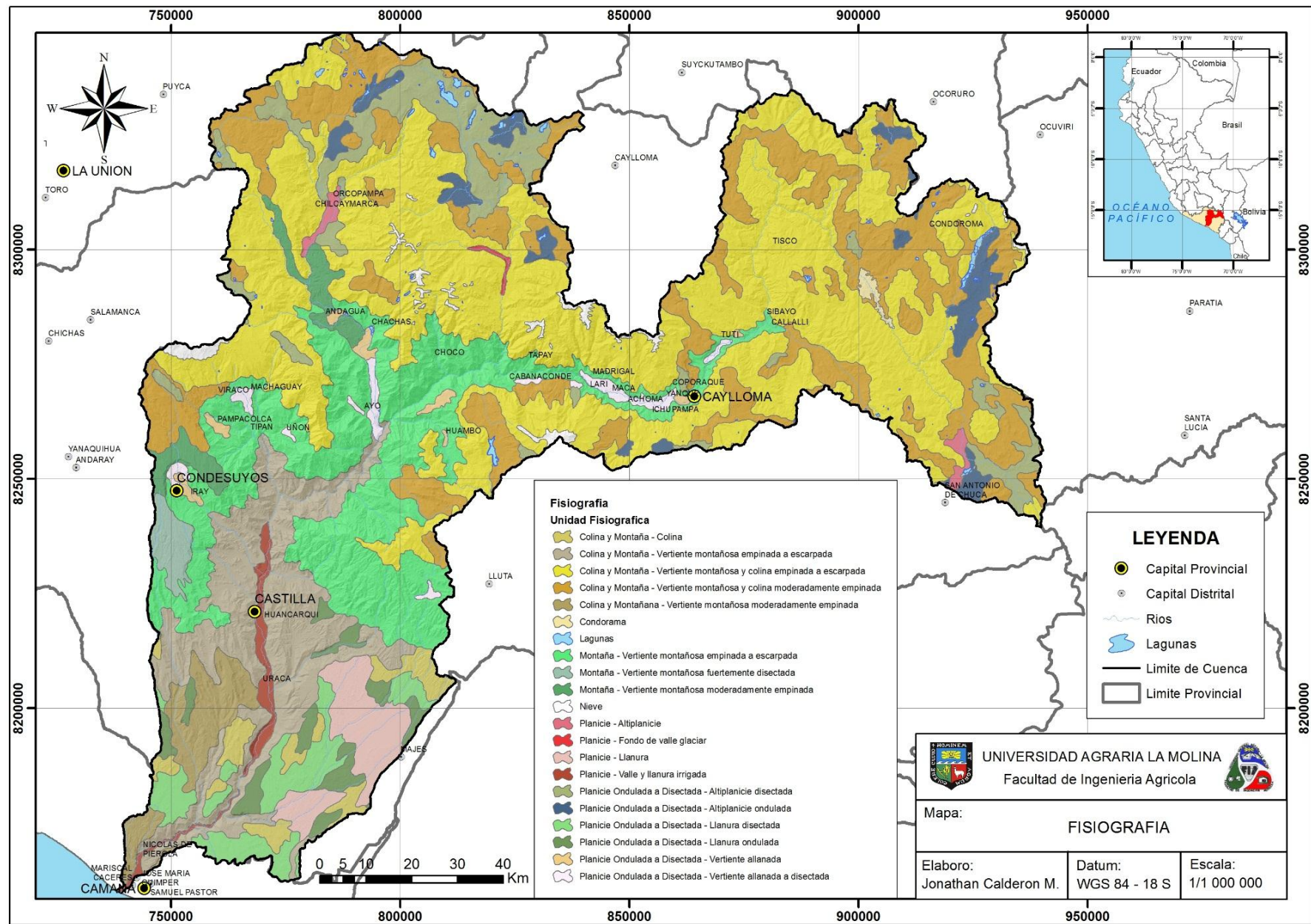


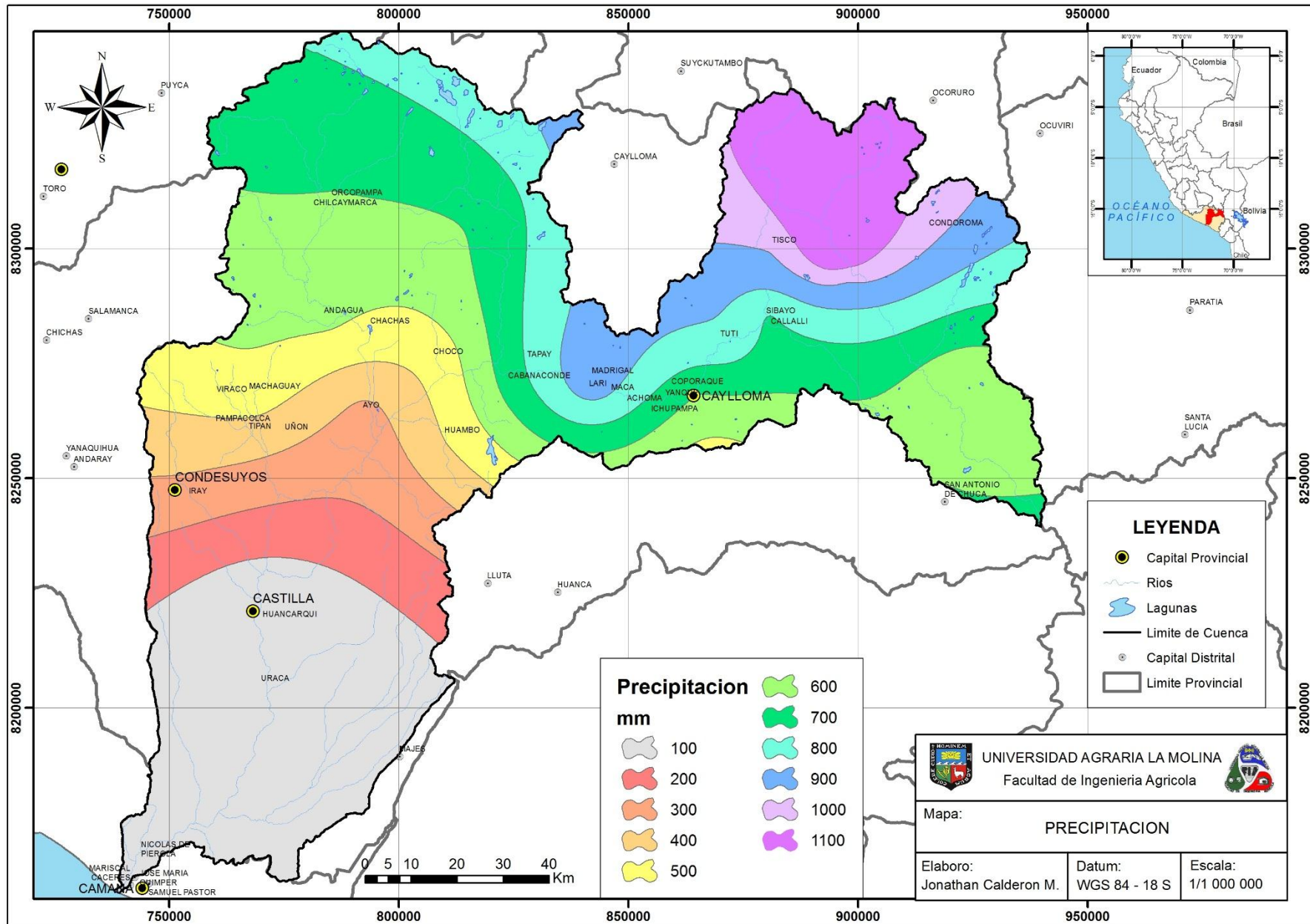
Figura 32: Mapa de Fisiografía de la cuenca Camana-Majes-Colca

### 4.1.3. Mapa de Precipitación

El mapa de precipitación se generó de acuerdo a la metodología mencionada anteriormente, clasificándolo según la distribución de los valores máximos del año húmedo seleccionado (1999), que van desde cero hasta 1100 mm, con intervalos de 100 mm y cuya distribución espacial se aprecia en el mapa respectivo, simbolizado por colores, y para el cual se calculó la superficie y el porcentaje que cubre cada rango de precipitación.

**Tabla 57: Resultados del mapa de Precipitación**

<b>Precipitación en Año Húmedo</b>	<b>Area (Has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
0 - 100 mm	337417.48	19.67
100 - 200 mm	93414.86	5.45
200 - 300 mm	92971.71	5.42
300 - 400 mm	86681.96	5.05
400 - 500 mm	112343.77	6.55
500 - 600 mm	280233.24	16.34
600 - 700 mm	282920.21	16.49
700 - 800 mm	172899.82	10.08
800 - 900 mm	100707.62	5.87
900 - 1000 mm	48859.51	2.85
1000 - 1100 mm	106825.74	6.23



**Figura 33: Mapa de Precipitación de la cuenca Camana-Majes-Colca**



#### 4.1.4. Mapa de Cobertura Vegetal

El mapa cobertura vegetal se generó de acuerdo a la información proporcionada por la ANA, clasificándolo según el tipo de vegetación existente en la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca. Asimismo, se calculó las áreas de cada formación vegetal, con el propósito de conocer a mayor detalle la forma como estas se distribuyen cuantitativamente (Tabla 58).

Se observa que la mayor parte del territorio, con un 43.97 % (316,604.10 ha), se encuentra cubierto por Pajonales (herbazales) ubicándose en la parte media y alta de la cuenca, las zonas con escasa y sin vegetación ocupan un 14.9 % (255,532.85 ha) del territorio predominando en la región altoandina. Los cardonales con un 7.33 % (125,664.57 ha) y los matorrales arbustivos con un 9.97 % (171,041.29 ha) del territorio, se encuentran en la parte media de la cuenca. En la parte baja de la cuenca predomina el desierto costero con un 18.46 % (316,604.10 ha) del territorio. La agricultura costera y andina, en conjunto representan un 3.28 % (56,274.46 ha) y en menores proporciones (< 1%) se encuentran los bosques relicticos, lagunas, glaciares, lomas y áreas urbanas.

**Tabla 58: Resultados del mapa de Cobertura Vegetal**

<b>Formacion Vegetal</b>	<b>Area (Has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Area altoandina con escasa y sin vegetacion	255532.85	14.90
Lagunas, lagos y cochas	7789.29	0.45
Area urbana	1006.04	< 0.1
Desierto costero	316604.10	18.46
Glaciar	6847.39	0.40
Cardonal	125664.57	7.33
Agricultura costera y andina	56274.46	3.28
Matorral arbustivo	171041.29	9.97
Loma	507.07	< 0.1
Pajonal andino	754247.37	43.97
Bofedal	12075.13	0.70
Bosque relicto altoandino	7637.19	0.45
Bosque relicto mesoandino	49.15	< 0.1

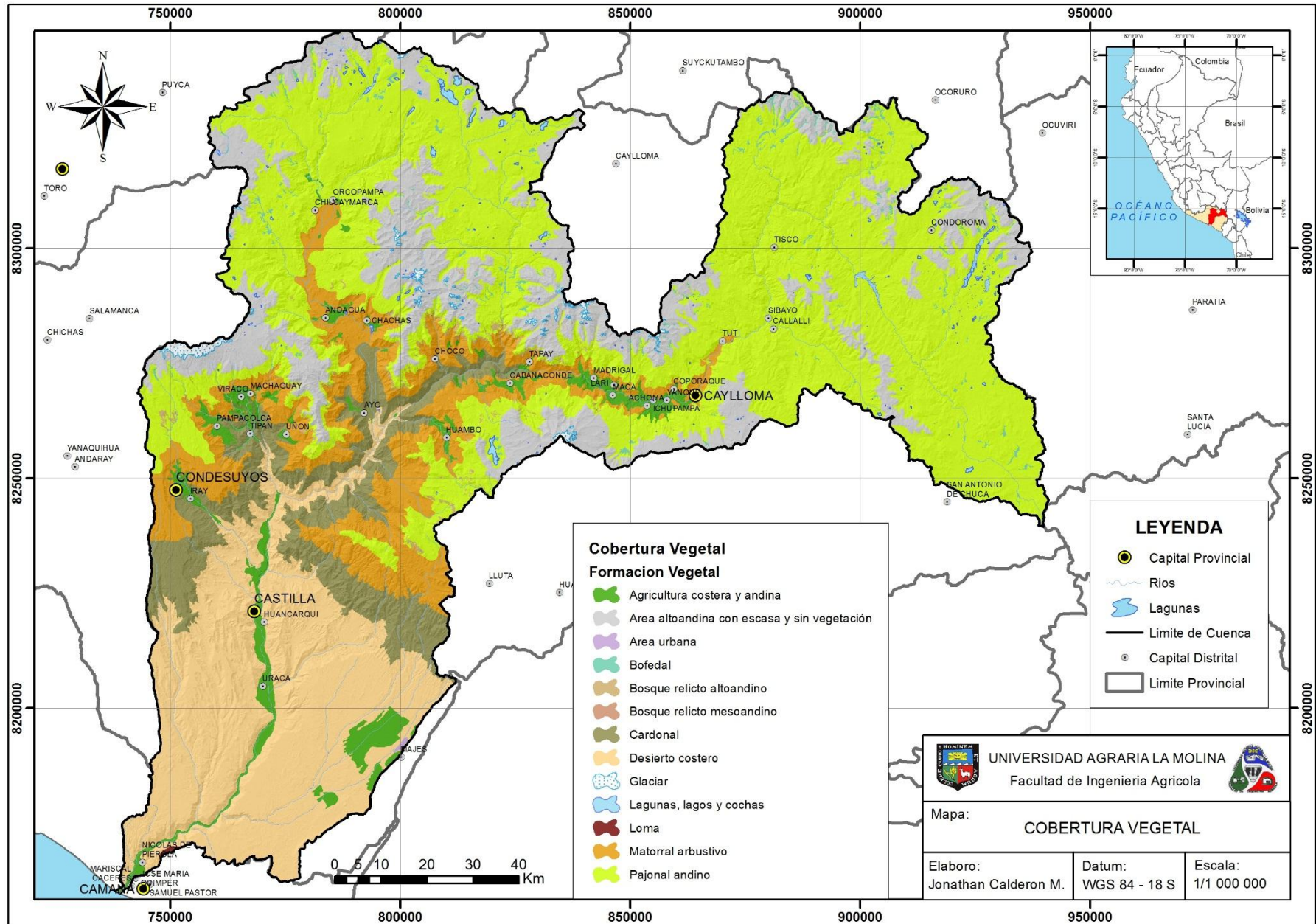


Figura 34: Mapa de Cobertura Vegetal de la cuenca Camana-Majes-Colca

#### 4.1.5. Mapa de Geología

La geología de la zona de estudio se clasificó en función a las Unidades Geológicas presentes, tal como se presenta en la Tabla 59 y Figura 35. Entre las unidades geológicas más representativas de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca, se encuentran los Depósitos Aluviales, Fluvioglaciares 19.46 % (337 621.19 ha) conformados por gravas con clastos subangulosos a subredondeados. El Grupo Sillapaca conformado por bloques, andesitas, tufos y brechas; ocupa un 19.15 % (332190.64 ha) del territorio. El Grupo Tacaza con un 15.56 % (270,004.46 ha) está conformado por areniscas, brechas y lavas andesíticas. La Formación Moquegua conformado por arcillas puras, arenosas y conglomerados, ocupa un 8.69 % (150,780.59 ha) del territorio. La Formación Yura conformado por lutitas y cuarcitas, ocupa un 7.16 % (124, 243.20 ha) del territorio. Y en menor proporción el Complejo Basal de la Costa conformado por rocas metamórfica e intrusivas, ocupa un 4.44 % (75,060.25 ha) del territorio.

**Tabla 59: Resultados del mapa de Geología**

<b>Unidad Geológica</b>	<b>Area (Has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Complejo Basal de la Costa	75060.25	4.33
Lagunas	3641.69	0.21
Formacion Moquegua	150780.59	8.69
Tonalitas	34110.21	1.97
Super Unidad Tiabaya	2879.39	0.17
Granito, Granodiorita	607.30	0.04
Formacion Murco	74845.56	4.31
Super Unidad Incahuasi	3917.85	0.23
Grupo Yura	124243.20	7.16
Formacion Sotillo	65595.19	3.78
Formacion Arcurquina, Ashua	39259.21	2.26
Formacion Alpabamba	1992.20	0.11
Formacion Camana, Sotillo	20053.28	1.16
Grupo Sillapaca	332190.64	19.15
Grupo Barroso	196978.77	11.35
Formacion Huanca	1201.61	0.07
Grupo Tacaza	270004.46	15.56
Depositos Aluviales, Fluvioglaciares	337621.19	19.46

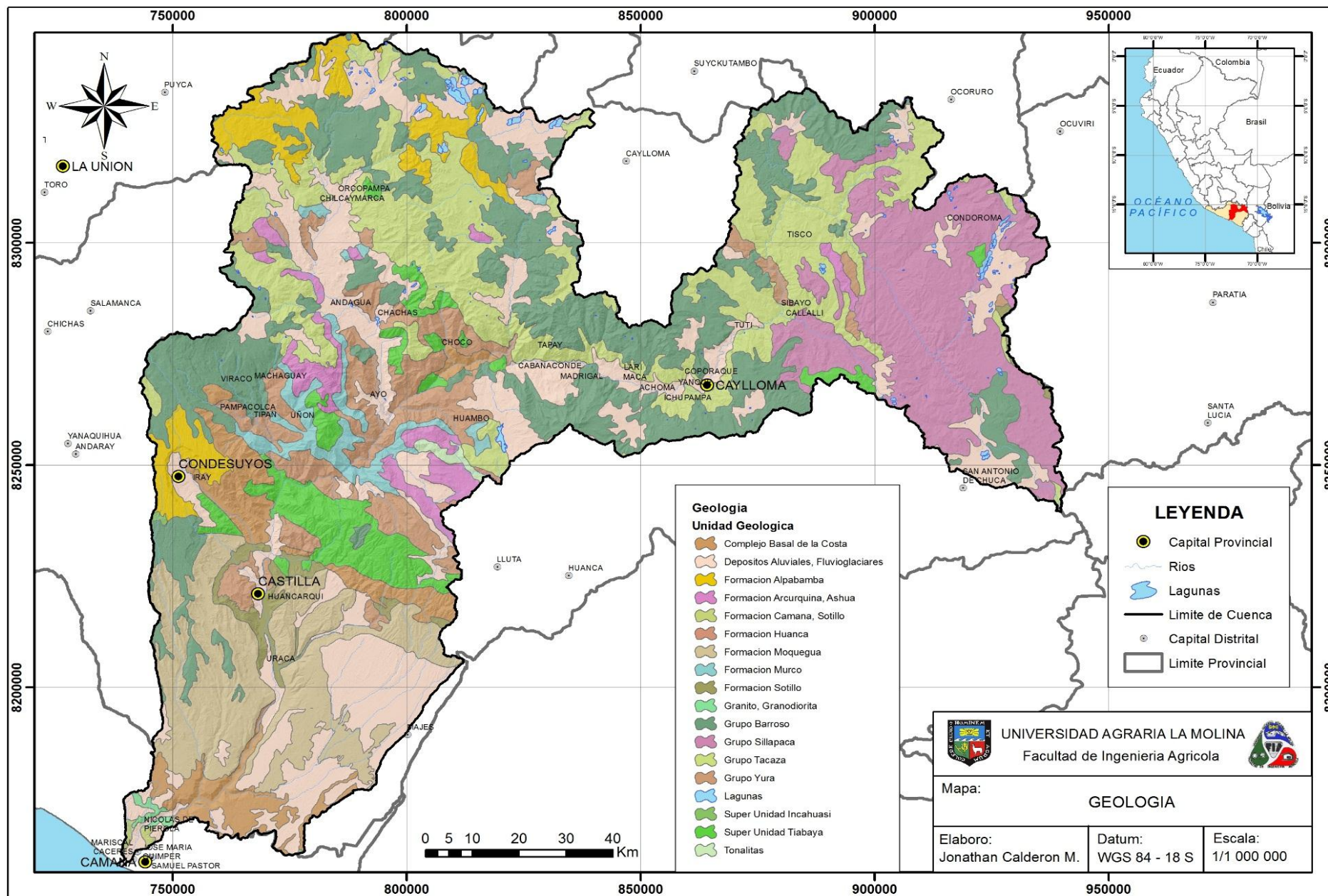


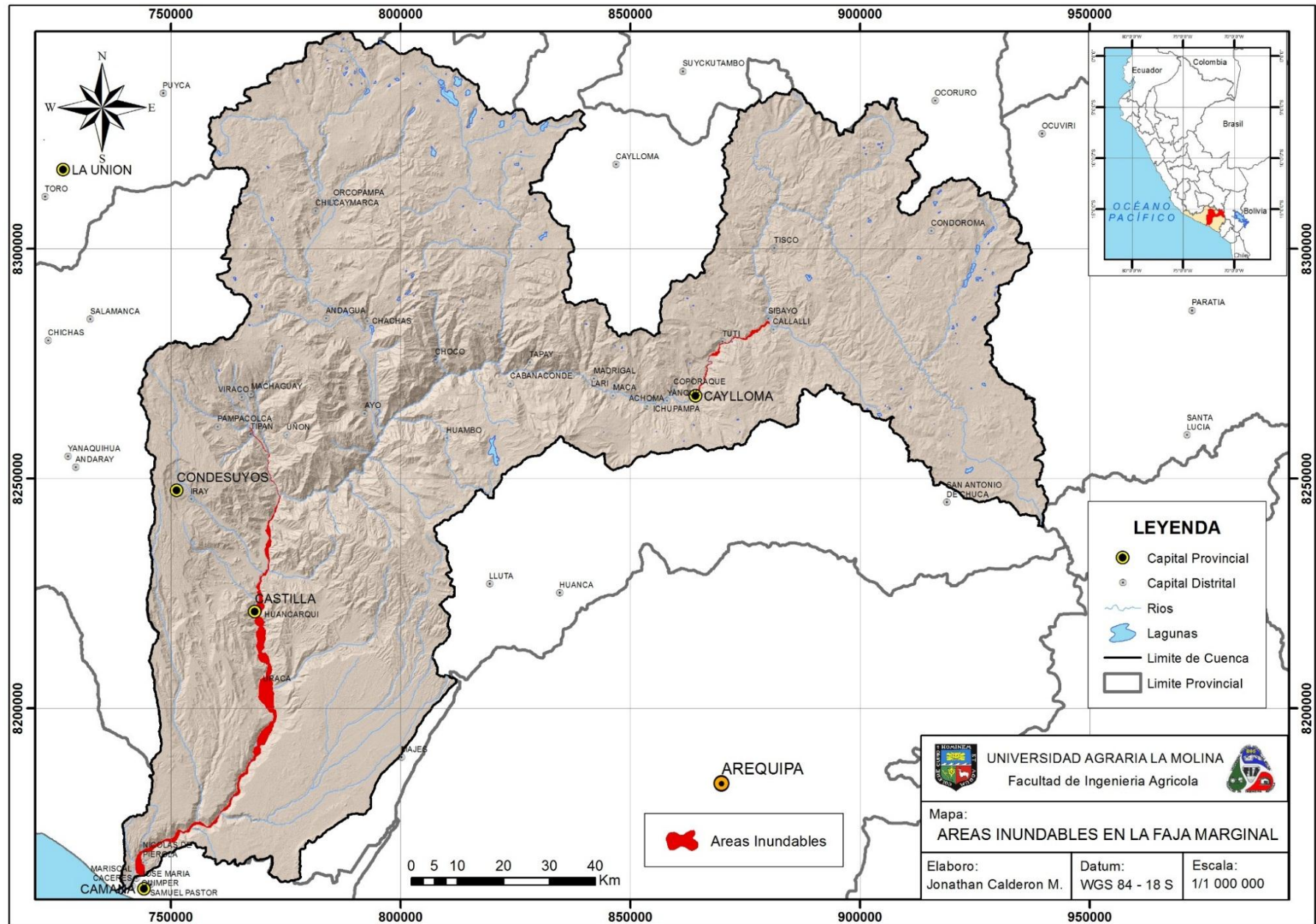
Figura 35: Mapa de Geología de la cuenca Camana-Majes-Colca

#### 4.1.6. Mapa de Areas Inundables en la Faja Marginal

El presente mapa se generó uniendo las áreas inundables de cada una de las zonas susceptibles a inundaciones analizadas y determinadas en la metodología mencionada. En la siguiente tabla se muestran las zonas en cuestión y sus áreas inundables respectivas.

**Tabla 60: Areas Inundables en zonas susceptibles a inundaciones**

<b>Zona</b>	<b>Distrito/Zona</b>	<b>Area Inundable (has)</b>
1	Sibayo	380.9
2	Chivay	499.4
3	Huancarqui	1596
4	Aplao	3651.1
5	Uraca	2821.3
6	Nicolas de Pierola/ Jose Maria Quimper	2471.5
<b>Total</b>		<b>11420.2</b>



**Figura 36: Mapa de Areas Inundables en la Faja Marginal de la cuenca Camana-Majes-Colca**

#### 4.1.7. Mapa de Zonas de Vida

El presente mapa se basó en el Sistema de Clasificación de Zonas de Vida de Holdridge, el cual permitió clasificar las diferentes áreas de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca, tomando en cuenta las regiones latitudinales y los pisos altitudinales. La unidad central de esta clasificación fue la zona de vida, la cual comprende temperatura, precipitación y evapotranspiración.

Con el propósito de conocer a mayor detalle, la forma como estas se distribuyen cuantitativamente, se calculó las áreas de cada zona de vida presentadas en la Tabla 61. En la cual se puede apreciar que la Tundra Pluvial abarca un 25.84 % (443,937.93ha) del territorio, predominando en la parte alta de la cuenca, por su parte el Desierto Desechado ocupa un 13 % (223163.83 ha) del territorio, ubicado en la parte baja.

**Tabla 61: Resultados del mapa de Zonas de Vida**

<b>Sistema Ecológico</b>	<b>Area (Has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Nival	59231.49	3.45
Tundra Pluvial	443937.93	25.84
Tundra Humeda	30871.73	1.80
Tundra Muy Humeda	124013.92	7.22
Paramo Humedo	157386.52	9.16
Paramo Muy Humedo	148256.91	8.63
Estepa	136922.85	7.97
Bosque Humedo	10379.51	0.60
Estepa Espinosa	44694.89	2.60
Matorral Desertico	146895.32	8.55
Desierto Arido	13347.97	0.78
Desierto Perarido	61373.39	3.57
Desierto Desechado	223163.83	13.0
Desierto Superarido	117649.37	6.85

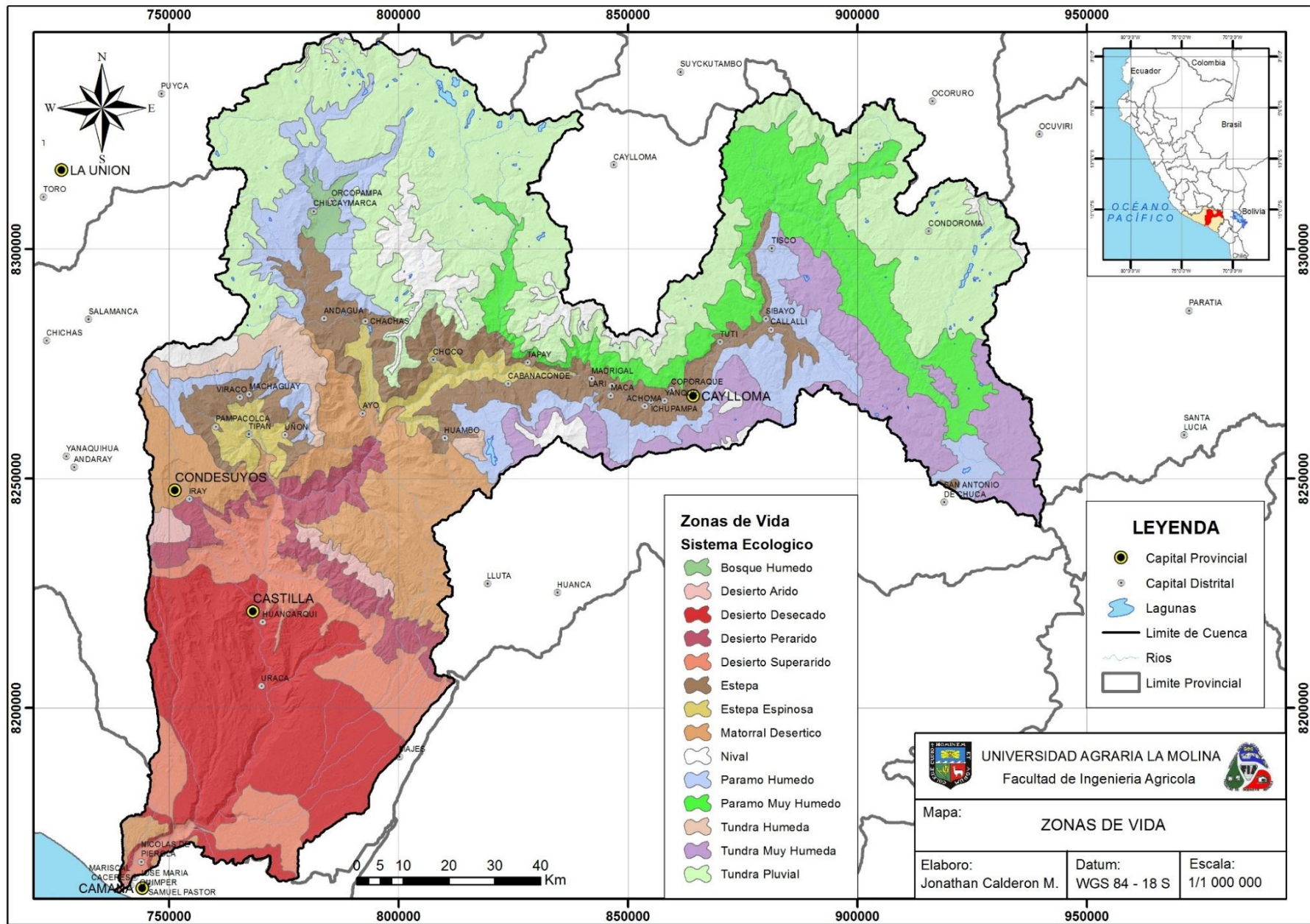


Figura 37: Mapa de Zonas de Vida de la cuenca Camana-Majes-Colca



#### 4.1.8. Mapa de Temperatura Mínima

El mapa de temperatura mínima se generó de acuerdo a la metodología mencionada anteriormente, clasificándolo según la distribución de los valores mínimos (promedio anual) en cada estación, que van desde -16 °C hasta 16 °C, con intervalos de dos grados y cuya distribución espacial se aprecia en el mapa respectivo (Figura 38), simbolizado por colores, y para el cual se calculó la superficie y el porcentaje que cubre cada rango de temperatura mínima.

**Tabla 62: Resultados del mapa de Temperatura Mínima**

<b>Temperatura Mínima (°C)</b>	<b>Area (Has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
-16	9147.29	0.53
-14	26658.31	1.55
-10	24721.58	1.44
-8	66174.03	3.86
-6	119259.68	6.95
-4	133867.04	7.80
-2	207684.14	12.11
0	160825.79	9.38
2	112847.42	6.58
4	162546.12	9.48
6	137063.26	7.99
8	133558.40	7.79
10	165526.18	9.65
12	208662.66	12.16
14	44682.29	2.60
16	2051.72	0.12

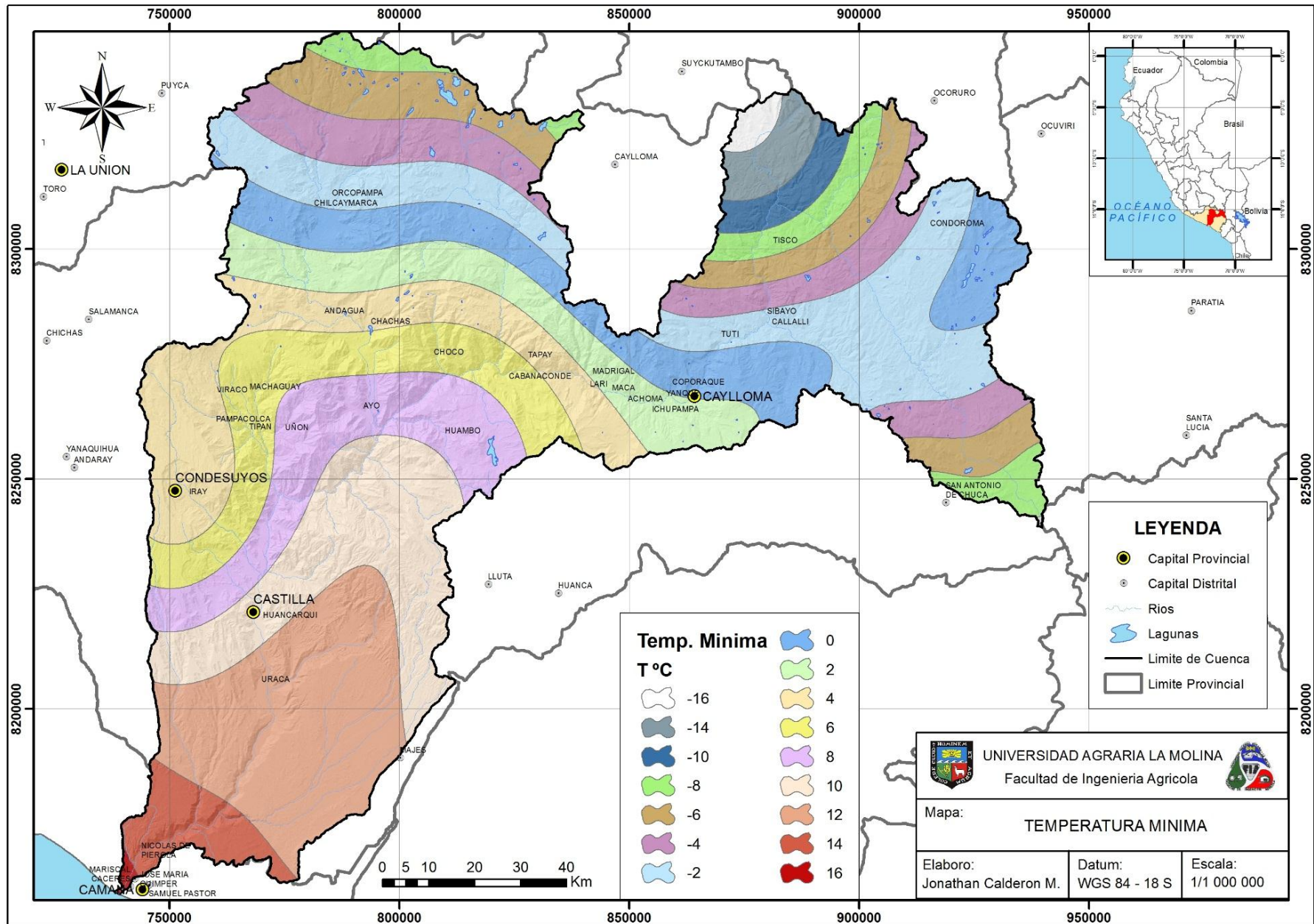


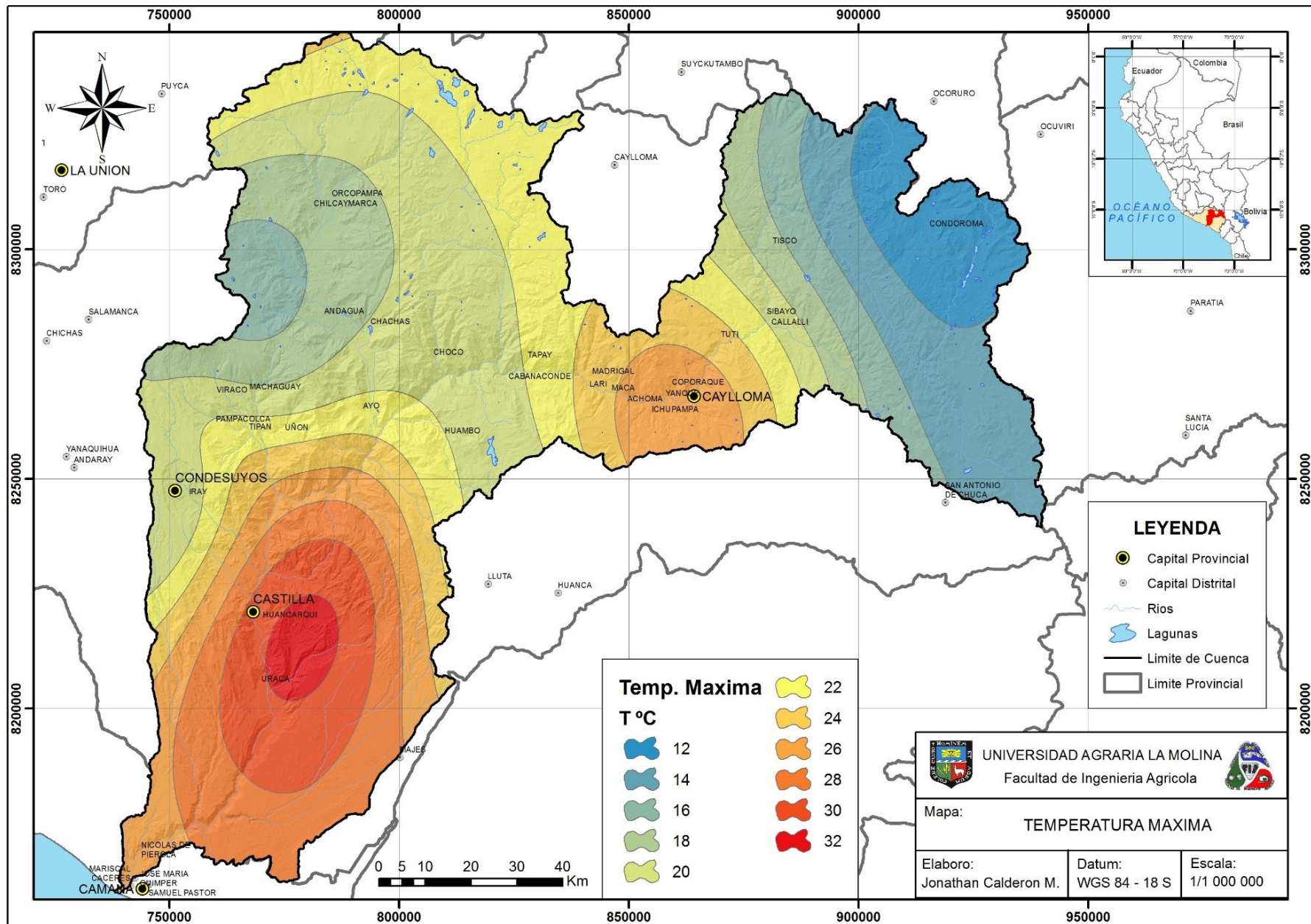
Figura 38: Mapa de Temperatura Mínima de la cuenca Camana-Majes-Colca

#### 4.1.9. Mapa de Temperatura Máxima

El mapa de temperatura máxima se generó de acuerdo a la metodología mencionada anteriormente, clasificándolo según la distribución de los valores máximos (promedio anual) en cada estación, que van desde 12 °C hasta 32 °C, con intervalos de dos grados y cuya distribución espacial se aprecia en el mapa respectivo (Figura 39), simbolizado por colores, y para el cual se calculó la tanto la superficie como el porcentaje que cubre cada rango de temperatura máxima.

**Tabla 63: Resultados del mapa de Temperatura Máxima**

<b>Temperatura Máxima (°C)</b>	<b>Area (Has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
12	96790.02	5.64
14	141201.34	8.23
16	107132.43	6.25
18	170870.83	9.96
20	340784.19	19.87
22	267042.90	15.57
24	136198.46	7.94
26	154786.48	9.02
28	159256.05	9.28
30	113005.94	6.59
32	28207.28	1.64



**Figura 39: Mapa de Temperatura Máxima de la cuenca Camana-Majes-Colca**

#### 4.1.10. Mapa de Humedad Relativa

El mapa de humedad relativa se generó de acuerdo a la metodología mencionada anteriormente, clasificándolo según la distribución de los valores promedio anual por cada estación, los cuales van desde 30 % de humedad hasta 78 %, con intervalos de tres por ciento y cuya distribución espacial se aprecia en el mapa respectivo (Figura 40), simbolizado por colores, y para el cual se calculó tanto la superficie como el porcentaje que cubre cada rango de humedad relativa.

**Tabla 64: Resultados del mapa de Humedad Relativa**

<b>Humedad Relativa (%)</b>	<b>Area (Has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
30	12018.72	0.70
33	36091.29	2.10
36	42669.13	2.49
39	44622.06	2.60
42	48164.98	2.81
45	52673.57	3.07
48	108079.84	6.30
51	160037.82	9.33
54	284008.66	16.56
57	204838.09	11.94
60	214995.38	12.53
63	171636.12	10.01
66	103946.73	6.06
69	87288.99	5.09
72	71483.32	4.17
75	53824.10	3.14
78	18897.12	1.10

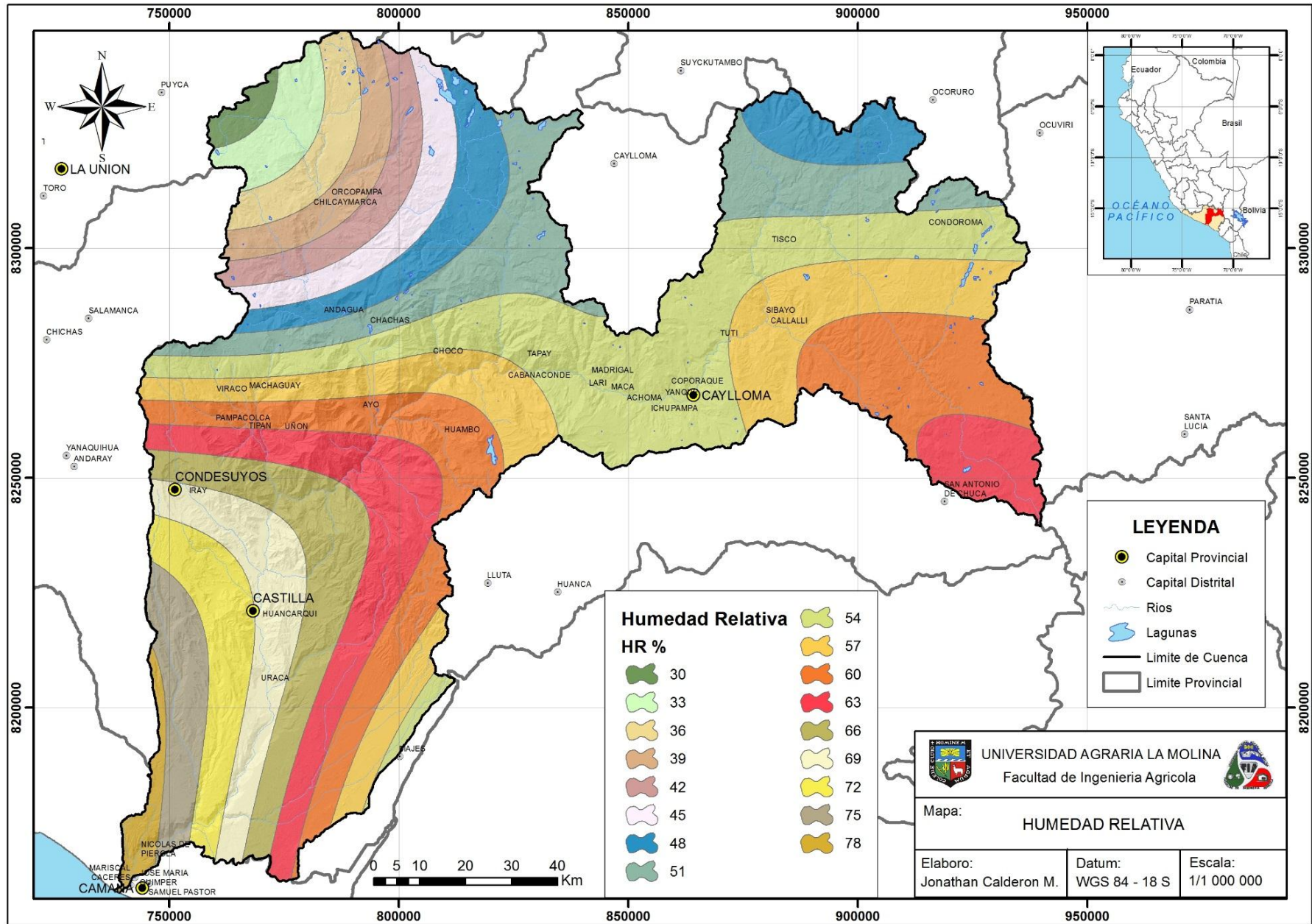


Figura 40: Mapa de Humedad Relativa de la Cuenca Camana-Majes-Colca

#### 4.1.11. Mapa de Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)

El presente mapa fue clasificado de acuerdo a las condiciones de sequía evaluadas por el SENAMHI en el “*Reporte extraordinario de condiciones de sequía a Enero del 2016*”, periodo en el cual tuvo lugar el último suceso de sequías extremas en el sur del Perú, causadas por el Fenómeno del Niño; utilizando el índice de precipitación estandarizada (SPI-3) con un patrón espacial de 3 meses, para la estimación de sequias meteorológicas. Asimismo, cabe mencionar que dicho reporte consideró utilizar una máscara para la región árida correspondiente a la zona costera del Perú, puesto que en esta zona las precipitaciones son prácticamente nulas durante todo el año.

Su distribución espacial se aprecia en el mapa respectivo (Figura 41), simbolizado por colores y para el cual se calculó tanto superficie como el porcentaje que cubre cada categoría de sequía.

En la Tabla 65, se aprecia que un 37.23 % (642,265.84 ha) de la zona de estudio se encuentra en condiciones de sequía extrema, un 11.05 % en condiciones severas. Condiciones moderadas de sequias ocupan un 25.05 % (432,175.51 ha) y leve un 1.70 % (29,260.08 ha) del territorio. La zona considerada como Arida – Desierto, representa un 24.98 % (431039.48 ha) del territorio y carece de una categoría para un análisis de sequias meteorológicas.

**Tabla 65: Resultados del mapa de SPI**

<b>Categoría de Sequia</b>	<b>Area (Has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Extrema	642265.84	37.23
Severa	190598.55	11.05
Moderada	432175.51	25.05
Leve	29260.08	1.70
Zona Arida-Desierto	431039.48	24.98

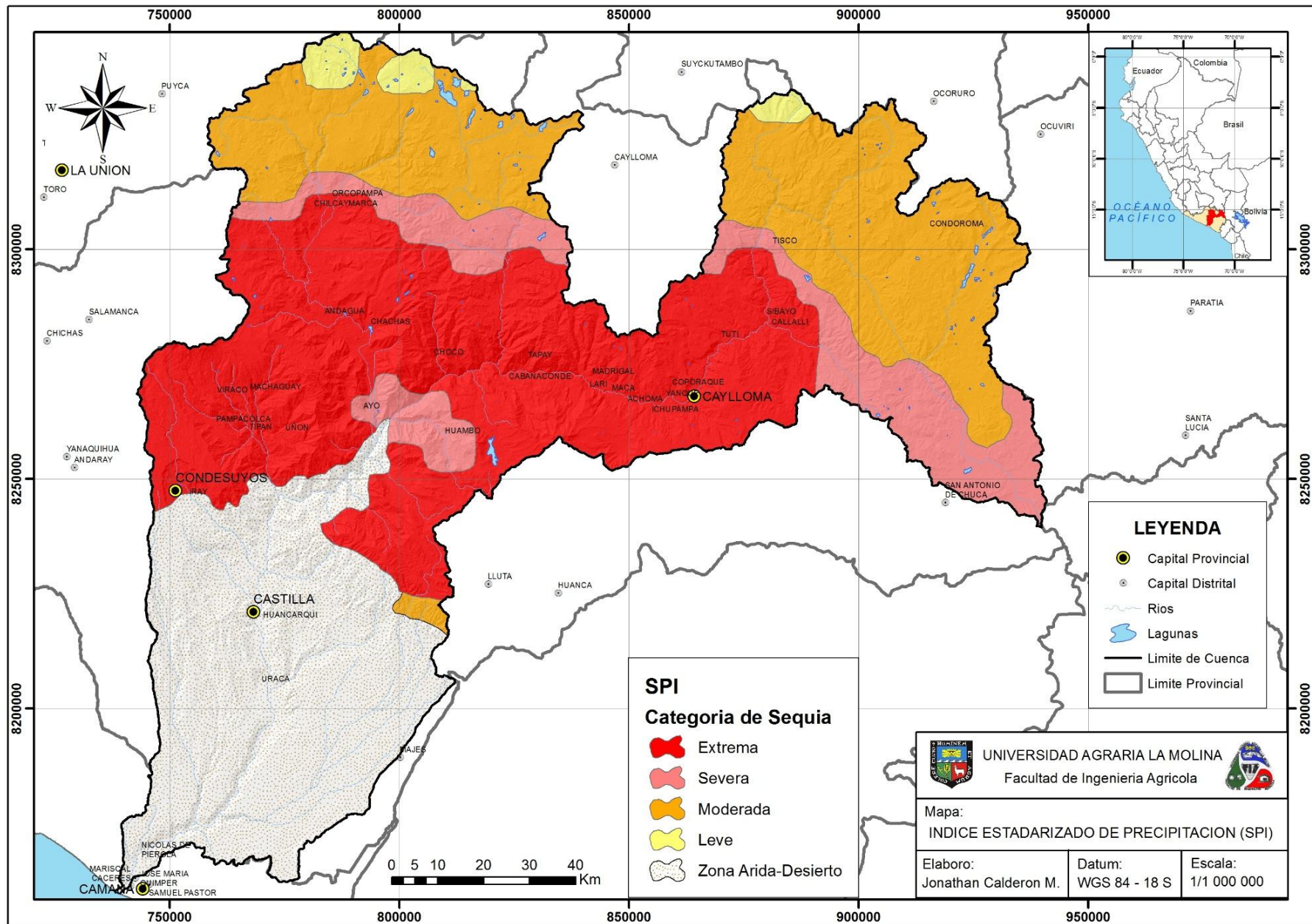


Figura 41: Mapa de Índice Estandarizado de Precipitación de la cuenca Camana-Majes-Colca



#### 4.1.12. Submodelo de Inundaciones

El presente submodelo se muestra en la Figura 44, refleja objetivamente zonas con diferentes niveles de peligro por inundación: Muy Alto, Alto, Medio y Bajo; que es el resultado de la integración espacial de atributos debidamente valorados y variables ponderadas, representado por la siguiente ecuación:

$$SMI = 0.40 * Pend + 0.20 * Fisio + 0.10 * CV + 0.20 * Preci + 0.10 * Geo$$

Donde:

*SMI*: Submodelo dependiente de Inundaciones

*Pend*: Pendiente

*Fisio*: Fisiografía

*CV*: Cobertura Vegetal

*Preci*: Precipitación

*Geo*: Geología

La variable denominada Areas Inundables en la Faja Marginal, se consideraron como zonas con niveles de peligro Muy Alto por inundación.

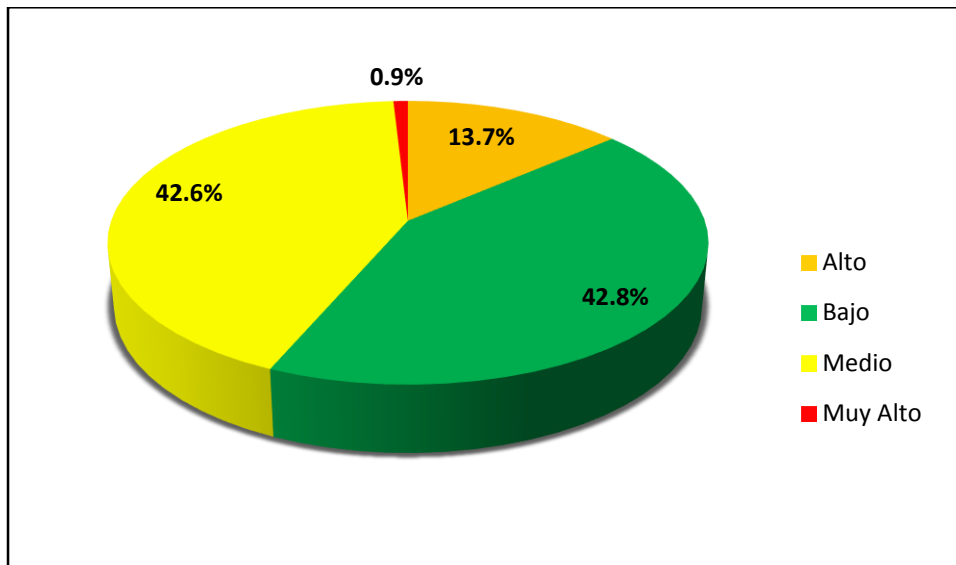
La siguiente tabla detalla el área y el porcentaje de los espacios expuestos a diferentes niveles de peligro por inundación y la Figura 42, expresa la distribución porcentual de los mismos en el territorio de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca.

**Tabla 66: Resultados del submodelo de Inundaciones**

Nivel de Peligro	Valoración - Matriz	Area (Has)	Porcentaje (%)
Bajo	3	731597.09	42.8
Medio	6	735388.34	42.6
Alto	8	235381.61	13.7
Muy Alto	10	15414.94	0.9

El presente gráfico, revela que el 42.8% del territorio de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca, está expuesto a un nivel de peligro bajo por inundaciones; mientras que solamente el 1% del territorio está expuesto a un nivel muy alto de peligro por inundación.

**Figura 42: Distribución porcentual de los niveles de peligro del SM Inundaciones**



En el submodelo respectivo se puede observar que los niveles de peligro Muy Alto ocupan una extensión de 15,414.94 has, que equivale al 0.9% del área estudiada; se localizan en el valle de Camana, y a lo largo del valle de Majes, específicamente en los valles del distrito de Nicolás de Piérola, José María Quimper, Uraca y en la frontera entre Huancarqui y Aplao; esto se debe a que estas zonas presentan un relieve casi plano y ligeramente ondulado, en las cuales generalmente se practica una actividad agropecuaria, por lo que en periodos de máximas avenidas son las más susceptibles a la ocurrencia de las inundaciones. De igual manera estos niveles también se encuentran en la cuenca alta, en la zona media del valle del distrito de Chivay y en los poblados de Sibayo y Callalli los cuales se encuentran asentados en terrazas, adyacentes a la zona donde convergen los ríos Colca y LLupa cuyos caudales; relativamente altos, provocan la erosión y socavamiento de las riberas, sumado a las fuertes precipitaciones que ocurren en dichas zonas.

Tales resultados fueron confirmados por los registros históricos de inundaciones en la cuenca Camana-Majes-Colca; como es el caso de Chivay que en febrero del 2011, se inundaron extensas áreas agrícolas por efecto de gran una avenida del río Colca. Otro es el caso del distrito de José María Quimper que en febrero del 2012, el río Camana arrasó e inundó terrenos de cultivo con plantaciones de arroz de 434 has, afectando a 470 familias; en la misma fecha, las defensas ribereñas existentes en el distrito de Nicolas de Pierola, fueron arrasadas por las avenidas, afectando un área agrícola de 1 138,39 has y

a un total de 950 familias; entre otros casos. En la siguiente figura se puede apreciar la manifestación de este fenómeno.

**Figura 43: Desborde del río Camana**



FUENTE: El Blog del Reportero, 2012

Los niveles de peligro Alto determinan las zonas con potencial de inundación. Por una parte, estas se encuentran en la cuenca alta, específicamente en zonas altiplánicas de los distritos de Cayarani, Orcopampa, Chachas, Choco, Condoroma y San Antonio de Chuca; en los que las precipitaciones son mayores a 600mm al año y por otra, en el distrito de Majes debido al relieve plano que predomina, junto con suelos de baja permeabilidad y ausencia de vegetación.

Los niveles Altos también se presentan en los distritos de Huambo, Yanque, Achoma Madrigal y Maca estos cuatro últimos cercanos al río “Colca”; específicamente en zonas con planicies onduladas en las que predominan los terrenos agrícolas y de los cuales también se tiene registro de inundaciones y huaycos por activación de quebradas.

Por otra parte se puede observar que los niveles de peligro Bajo ocupan una extensión de 731,597.09 has, que equivale al 42.8% del total del área estudiada; se localizan en la parte media de la cuenca, debido a la configuración geomorfológica presente, es decir estas zonas se caracterizan por ser laderas montañosas con pendientes mayores a 15%, lo que acelera la velocidad del agua de escorrentía producido por las fuertes precipitaciones hacia las partes bajas de la cuenca y alimentando a su vez el caudal de los ríos en ella, lo que favorece el incremento del peligro por inundación en estas zonas.

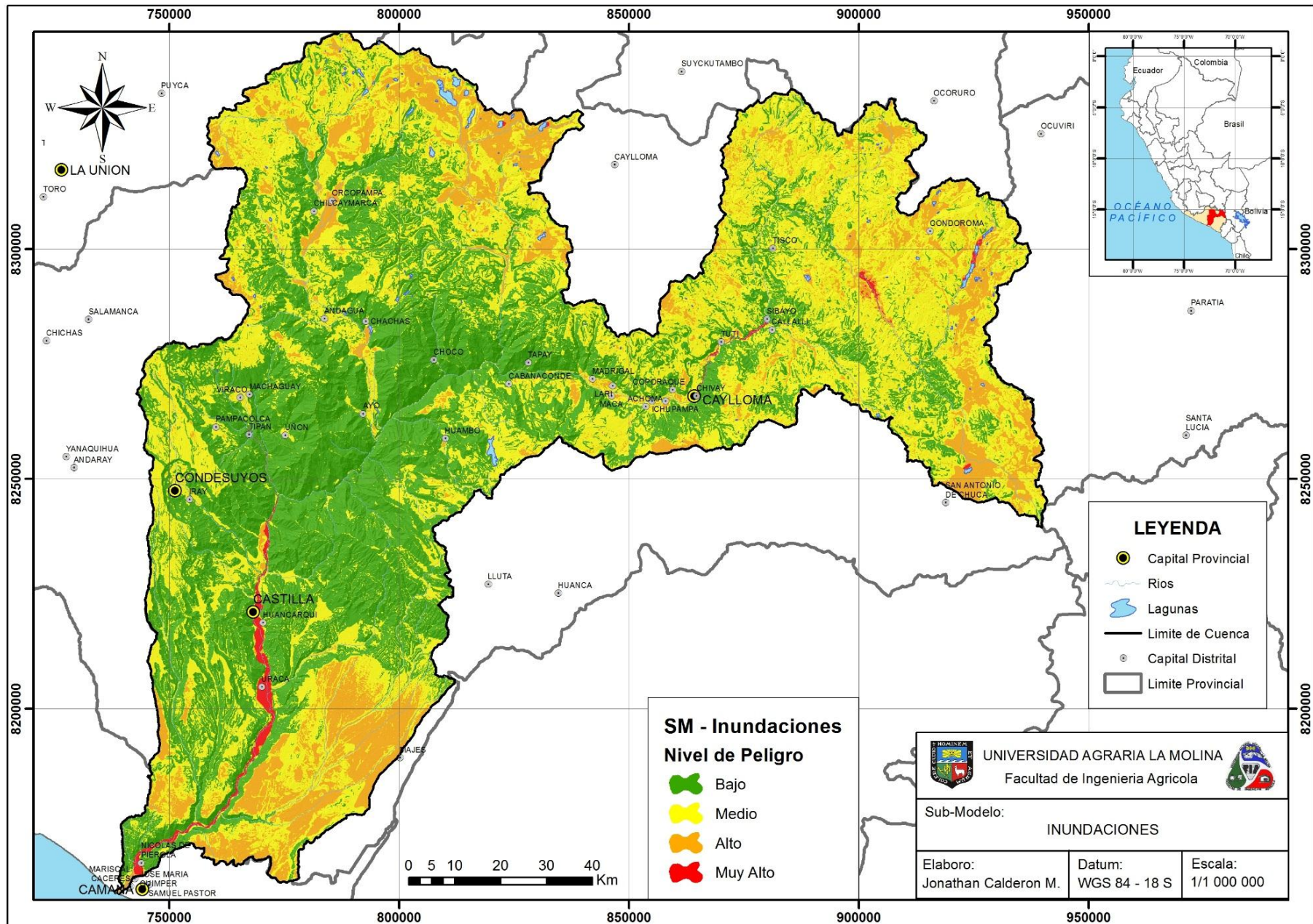


Figura 44: Submodelo de Inundaciones de la cuenca Camana-Majes-Colca

#### 4.1.13. Sub-Modelo de Movimientos en Masa

El presente submodelo se muestra en la Figura 47, el cual permite identificar como una primera aproximación, zonas donde potencialmente se presentan los efectos de los Movimientos en Masa, expresado sobre todo a través de la manifestación de derrumbes, deslizamientos y huaycos; clasificados mediante niveles Muy Alto, Alto, Medio y Bajo; que es el resultado de la integración espacial de atributos debidamente valorados y variables ponderadas, representado por la siguiente ecuación:

$$SMMM = 0.35 * Pend + 0.10 * Fisio + 0.15 * CV + 0.15 * Preci + 0.25 * Geo$$

Donde:

*SMMM*: Submodelo dependiente de Movimientos en Masa

*Pend*: Pendiente

*Fisio*: Fisiografía

*CV*: Cobertura Vegetal

*Preci*: Precipitación

*Geo*: Geología

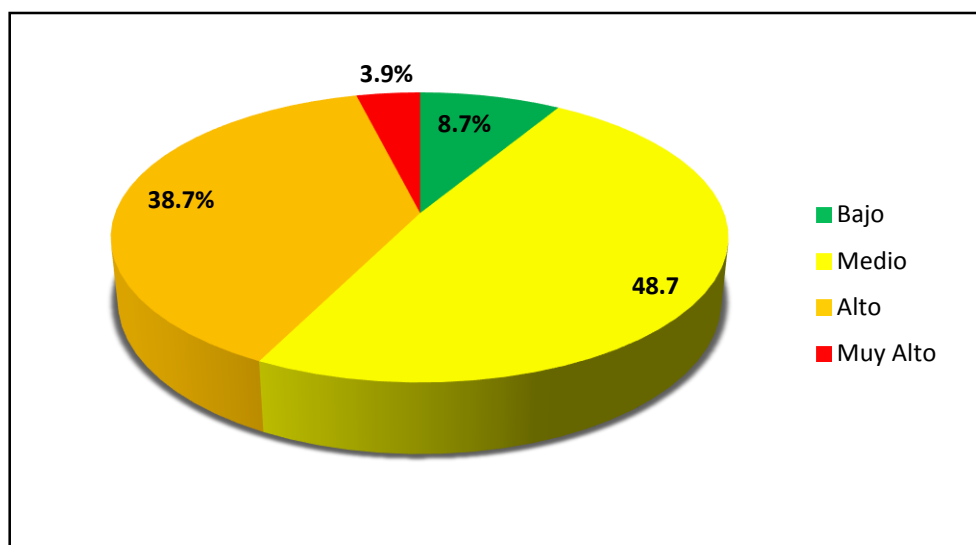
La siguiente tabla detalla el área y el porcentaje de los espacios expuestos a diferentes niveles de peligro por efectos de los Movimientos en Masa y la Figura 45, expresa la distribución porcentual de los mismos en el territorio de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca.

**Tabla 67: Resultados del submodelo de Movimientos en Masa**

Nivel de Peligro	Valoración - Matriz	Area (Has)	Porcentaje (%)
Bajo	3	149426.69	8.7
Medio	6	839792.30	48.7
Alto	8	666600.48	38.7
Muy Alto	10	67356.95	3.9

El presente gráfico, revela que el 38.7% del territorio, está expuesto a un nivel de peligro alto por efectos de los Movimientos en Masa; mientras que solamente el 8.7% del territorio está expuesto a un nivel bajo de peligro por dicho fenómeno.

**Figura 45: Distribución porcentual de los niveles de peligro del SM Movimientos en Masa**



En el submodelo respectivo se puede observar que los niveles de peligro Muy Alto ocupan una extensión de 15,414.94 has, que equivale al 0.9% del área estudiada; se localizan en zonas con pendientes muy pronunciadas con rangos mayores al 50%, en las que se manifiestan fuertes precipitaciones que superan los 500 mm, algunas zonas presentan suelos en presencia de rocas sedimentarias, inconsolidadas y deleznales con escasa vegetación; factores que ayudados por la gravedad, facilitan la ocurrencia de deslizamientos y huaycos. Estas se localizan en el valle del Colca entre los distritos de Sibayo, Tuti, Chivay, Yanque, Ichupampa, Lari, Coporaque, Achoma, Maca y Madrigal. En la cuenca media “Cañon del Colca” entre Cabanoconde, Huambo y Ayo. También en los distritos al NE de la cuenca como Tipan, Uñon y Machaguay.

Tales resultados fueron confirmados por los registros históricos de huaycos y deslizamientos en la cuenca Camana-Majes-Colca; como es el caso de Sibayo que en febrero del 2004, quedó aislado por huayco caído en carreteras. Otro es el caso del distrito de Chivay que en diciembre del 93’, la caída de huaicos dejaron aproximadamente 12 000 pobladores incomunicados, bloqueó numerosos tramos de carretera que une Chivay con decenas de distritos ubicados a lo largo del valle del Colca y la agricultura de panllevar se perdió casi por completo. En abril del 2007, la caída de un huaico entre las zonas de Capiza y Cerro Negro, dejó sin comunicación a los habitantes de once pueblos; entre otros casos. En la siguiente figura se puede apreciar la manifestación de este fenómeno.

**Figura 46: Huaico en la carretera que une los distritos de Achoma y Maca**



FUENTE: Diario Correo, 2013

Los niveles de peligro Medio se encuentran de manera dispersa, ocupando el mayor porcentaje del territorio de la cuenca, siendo la zona representativa, la que se ubica al NE de la cuenca en los distritos de San Antonio de Chuca, Callali, Tisco, al SE Majes, Lluta y en el sur Nicolas de Pierola. En estas zonas las rocas son mucho más estables, los suelos tienen una consistencia firme, la fisiografía corresponden a pie de colina y terrazas altas o medias; la acción de los agentes atmosféricos externos es menos intensa; los volúmenes de remoción de masas de suelos y de rocas son escasos, la pendiente es moderadamente empinada.

Por otra parte se puede observar que los niveles de peligro Bajo ocupan una extensión de 149,426.69 has, que equivale al 8.7% del área estudiada; se localizan en su mayoría en la parte baja de la cuenca específicamente en zonas donde los suelos presentan pendientes suaves con rangos hasta de 15%, las precipitaciones son menores a 100 mm; y los fenómenos gravitatorios casi desaparecen completamente, pero aparecen los procesos erosivos por acción de los ríos.

La parte alta de la cuenca también presenta niveles Bajos de peligro específicamente en las altiplanicies de los distritos de San Antonio de Chuca, Orcopampa, Cayarani y Chachas, esto se considera debido a que la pendiente y el relieve prácticamente planos no admiten algún tipo de movimiento en masa.

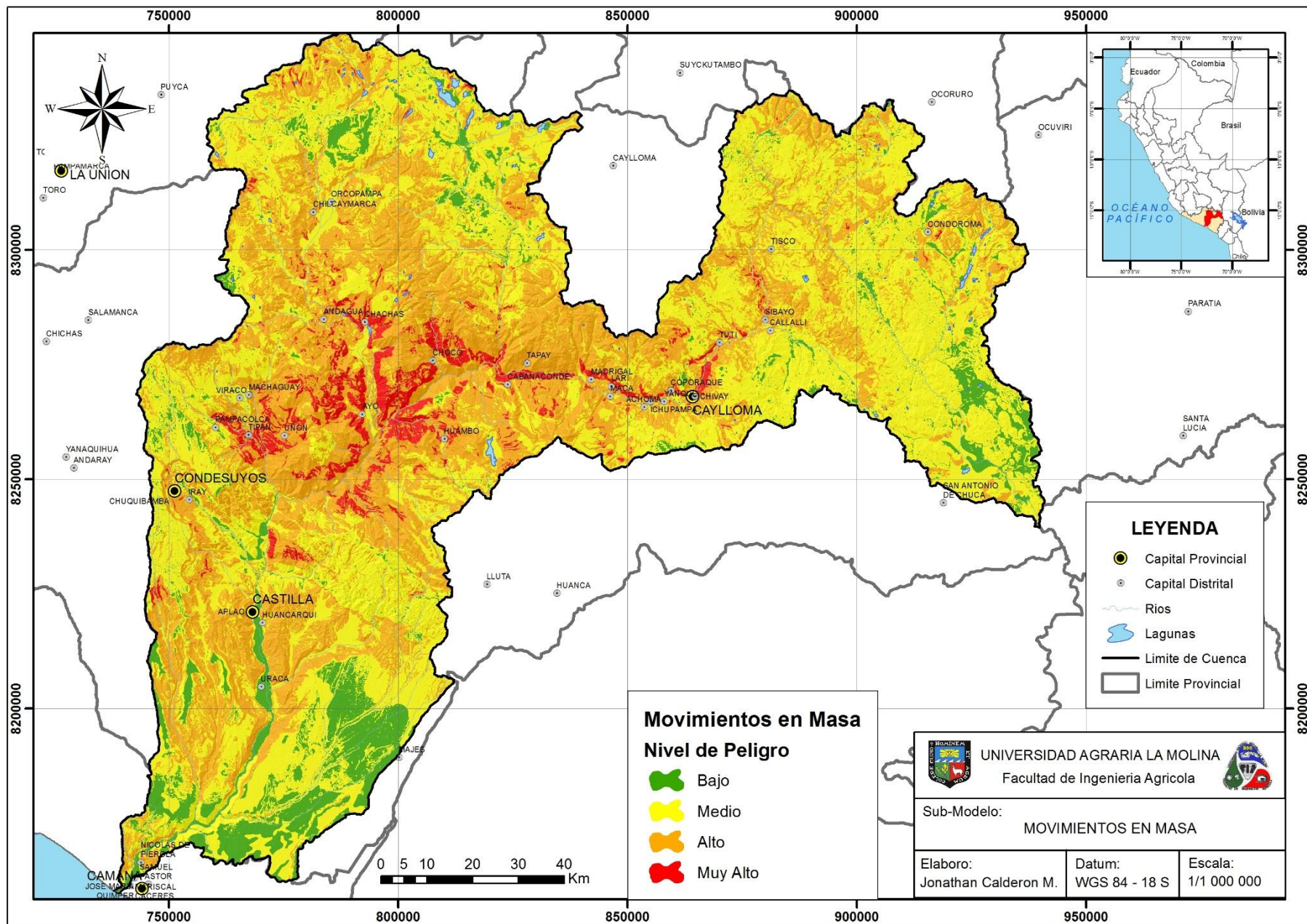


Figura 47: Submodelo de Movimientos en Masa de la cuenca Camana-Majes-Colca



#### 4.1.14. Submodelo de Heladas

El presente submodelo se muestra en la Figura 50, el cual refleja objetivamente zonas con diferentes niveles de peligro por heladas clasificados mediante valores Muy alto, Alto, Medio y Bajo; que es el resultado de la integración espacial de atributos debidamente valorados y variables ponderadas, representado por la siguiente ecuación:

$$SMH = 0.40 * Tmin + 0.20 * ZV + 0.25 * Pend + 0.15 * HR$$

Donde:

*SMH*: Submodelo dependiente de Heladas

*Tmin*: Temperatura Mínima

*ZV*: Zonas de Vida

*Pend*: Pendiente

*HR*: Humedad Relativa

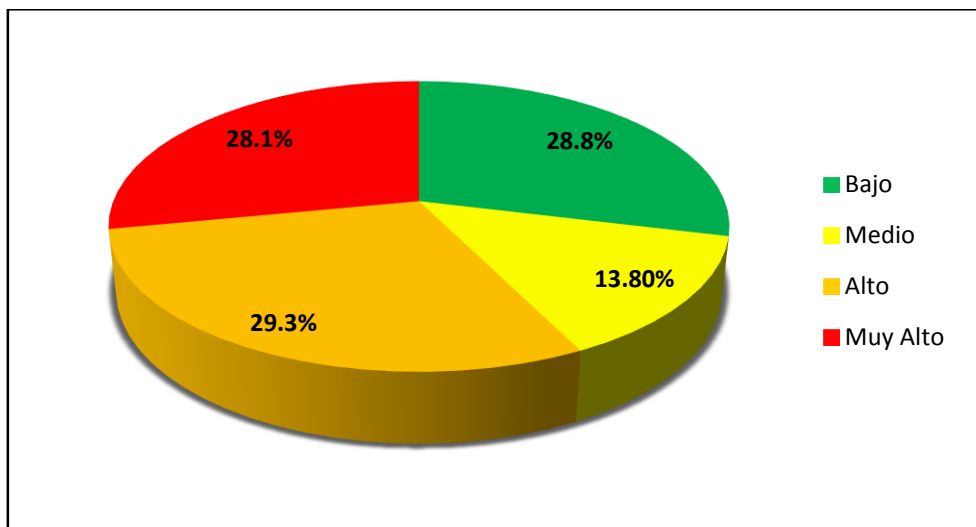
La siguiente Tabla detalla el área y el porcentaje de los espacios expuestos a diferentes niveles de peligro por heladas y la Figura 48, expresa la distribución porcentual de los mismos en el territorio de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca.

**Tabla 68: Resultados del submodelo de Heladas**

<b>Nivel de Peligro</b>	<b>Valoración - Matriz</b>	<b>Area (Has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bajo	3	495026.15	28.8
Medio	6	237178.24	13.8
Alto	8	502974.71	29.3
Muy Alto	10	481836.83	28.1

El presente gráfico, revela que el 28.8% del territorio, está expuesto a un nivel de peligro bajo por heladas; una similar proporción de 28.1% del territorio está expuesto a un nivel muy alto de peligro por heladas.

**Figura 48: Distribución porcentual de los niveles de peligro del SM Heladas**



En el submodelo respectivo se puede observar que los niveles de peligro Muy Alto ocupan una extensión de 481,836.83 has, que equivale al 28.1% del área estudiada; mayormente se localizan en las partes altas coincidiendo con algunas altiplanicies de los distritos de San Antonio de Chuca, Callalli, Tisco, Condorama, Chachas, Choco, Orcopampa y Cayarani. Esto se considera debido a que en estas zonas se registran temperaturas muy bajas, llegando hasta los 16°C bajo cero, y escasa humedad relativa, condiciones que durante la noche bajo un cielo totalmente despejado, con ausencia de nubosidad y viento; favorecen la irradiación de la energía del suelo acopiada durante el día hacia la atmosfera, lo que facilita la ocurrencia de las heladas.

Pero también se localizan ocupando los valles por ejemplo el de Tuti, Chivay y Coporaque en el NE de la cuenca y por el NO los valles de Orcopampa y Chilcaymarca; donde las heladas se manifiestan por el fenómeno de inversión térmica; es decir, el aire húmedo de la atmosfera debido a un descenso brusco de la temperatura, se enfría adquiriendo mayor densidad, en virtud al cual se desliza a través de la pendiente de los terrenos, hacia el valle para desplazar al aire caliente; originándose de esta manera las heladas.

Los niveles de peligro Alto ocupan una extensión de 502,974.71has, que equivale al 29.3% del área estudiada; corresponde a zonas cuyas características climáticas son similares a los del caso anterior con temperaturas que fácilmente pueden llegar a 0°C; la diferencia es que estas zonas se ubican en las laderas altas de las montañas con pendientes mayores que disipan un tanto el aire frío hacia las partes bajas de las cuencas, sin descartar la ocurrencia de fuertes heladas. Como es el caso de las montañas y valles de los distritos de Ichupampa, Yanque, Lari, Achoma, Madrigal, Andahua y Huambo.

Se aprecia otra zona relativamente pequeña en los distritos de Pampacolca y Chuquibamba de la provincia de Condesuyos, donde también se registran temperaturas bajas en determinadas épocas del año influenciadas a su vez por la cercanía que tiene con el nevado Coropuna, favoreciendo la ocurrencia de heladas de manera temporal.

Tales resultados fueron confirmados por el último registro de heladas en las zonas altas de la región Arequipa, que tuvo lugar en los meses de julio y agosto del 2016 y por las cuales fueron declaradas en emergencia 36 distritos de las provincias de Caylloma, Castilla, Caravelí, La Unión, Condesuyos y Arequipa; según manifestó el Consejo Regional de Arequipa (2016). En la siguiente figura se puede apreciar la manifestación de este fenómeno sobre los cultivos.

**Figura 49: Presencia de helada en el valle de Colca**



FUENTE: Agencia de Noticias Andina, 2015

Por otra parte se puede observar que los niveles de peligro Bajo ocupan una extensión de 495,026.15 has, que equivale al 28.8% del total del área estudiada; y corresponde en su mayoría a zonas donde el clima es cálido y húmedo por su cercanía con el litoral marino, y en el que las heladas son totalmente nulas. La zona más representativa se localiza desde el distrito de Uñon hasta el distrito de Mariscal Cáceres, y más al Norte las capitales de los distritos de Ayo y Choco.

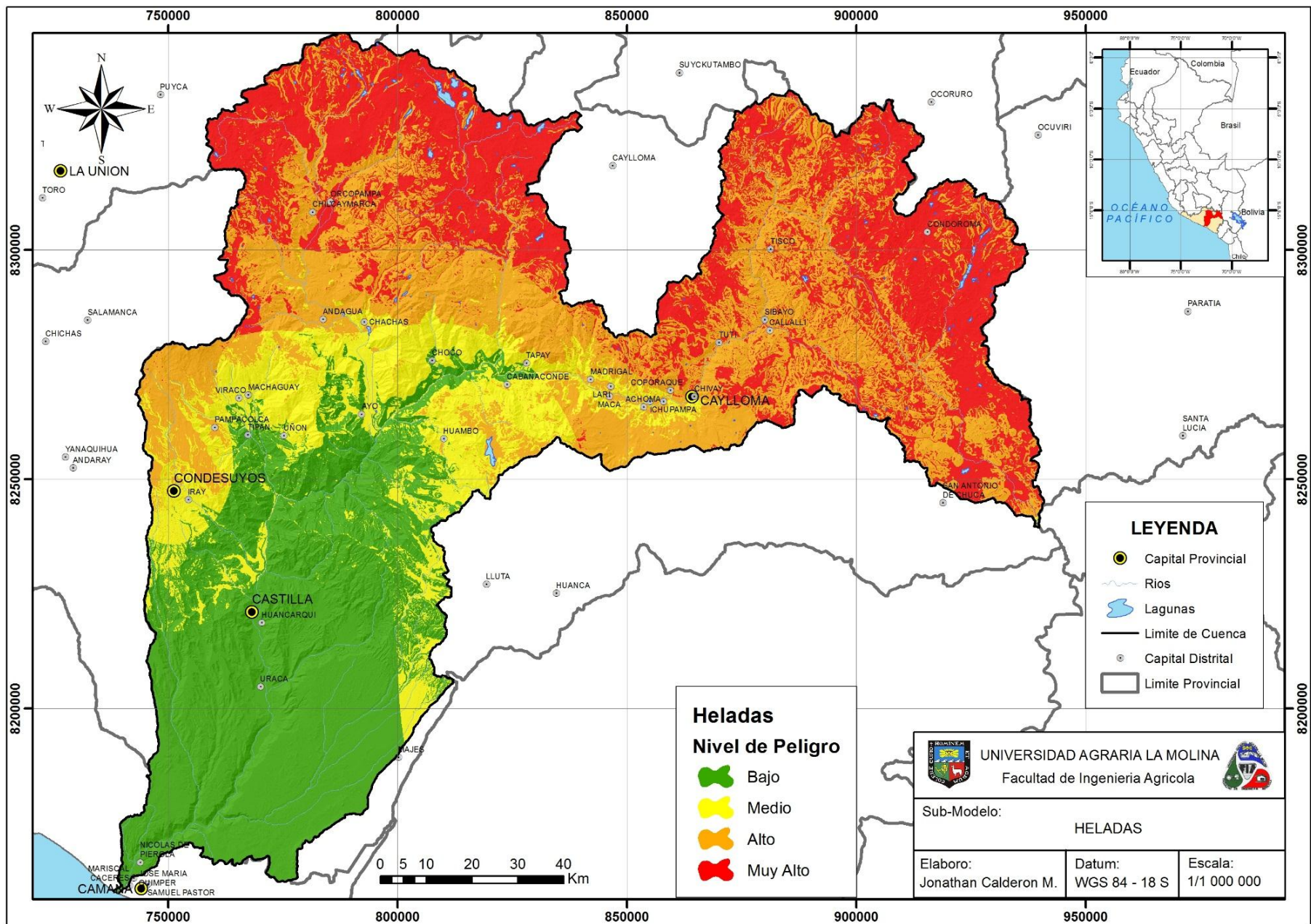


Figura 50: Submodelo de Heladas de la cuenca Camana-Majes-Colca

#### 4.1.15. Sub-Modelo de Sequias

El presente submodelo se muestra en la Figura 53, el cual refleja objetivamente zonas con diferentes niveles de peligro por sequías meteorológicas; clasificadas mediante valores Muy Alto, Alto, Medio y Bajo; que es el resultado de la integración espacial de atributos debidamente valorados y variables ponderadas, representado por la siguiente ecuación:

$$SMS = 0.70 * SPI + 0.20 * ZV + 0.10 * Tmax$$

Donde:

*SMS*: Submodelo dependiente de Sequias

*SPI*: Indice Estandarizado de Precipitación

*ZV*: Zonas de Vida

*Tmax*: Temperatura Máxima

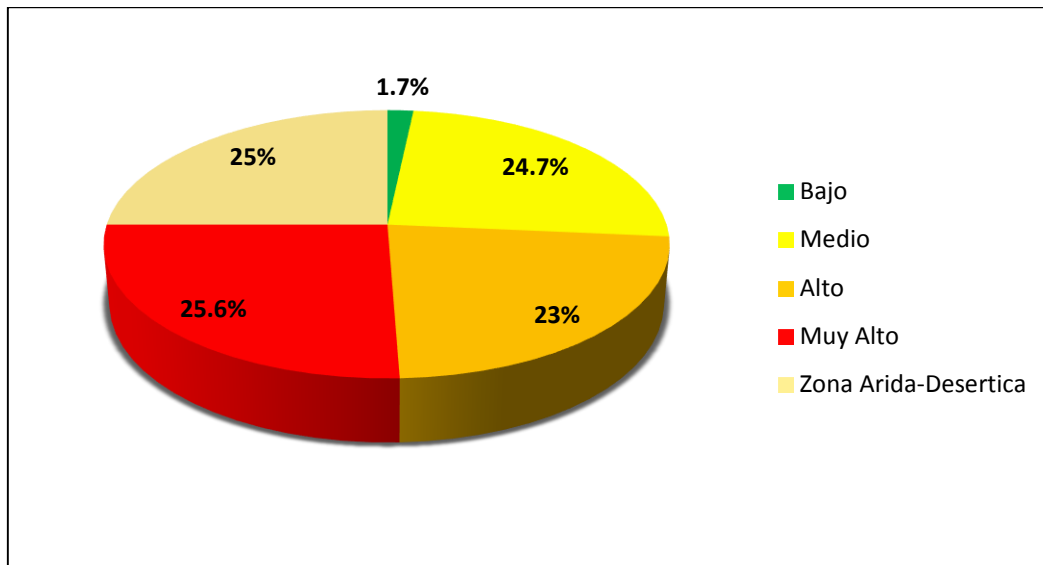
La siguiente Tabla detalla el área y el porcentaje de los espacios expuestos a diferentes niveles de peligro por sequía y la Figura 51, expresa la distribución porcentual de los mismos en el territorio de la Cuenca Hidrográfica Camana Majes-Colca.

**Tabla 69: Resultados del submodelo de Sequias**

Nivel de Peligro	Valoración - Matriz	Area (Has)	Porcentaje (%)
Bajo	3	29244.79	1.7
Medio	6	426552.20	24.7
Alto	8	396762.12	23.0
Muy Alto	10	441725.58	25.6
Zona Arida- Desértica	-	431366.78	25.0

El presente gráfico, revela que el 26.7% del territorio, está expuesto a un nivel de peligro bajo por sequias; una similar proporción de 25.6% del territorio está expuesto a un nivel muy alto de peligro por sequias.

**Figura 51: Distribución porcentual de los niveles de peligro del SM Sequias**



En el submodelo respectivo se puede observar que los niveles de peligro Muy Alto ocupan una extensión de 441,725.58 has, que equivale al 25.6% del área estudiada, correspondiendo a zonas, donde los registros históricos de precipitaciones indican periodos secos extremos, es decir en los cuales la precipitación estaría por debajo de los promedios normales (SPI) en relación con los Fenómenos el Niño y la Niña que generan dichas alteraciones. Asimismo corresponde a zonas donde las temperaturas superan los 20°C y en las que la evapotranspiración es alta, propiciando de esta manera, grandes déficit de agua.

Se localizan en dos zonas bien marcadas; una de ellas en el valle del Colca abarcando los distritos de Sibayo, Tuti, Coporaque, Ichupampa, Lari, Yanque, Achoma, Maca y Madrigal, mientras que la otra se localiza en la parte baja de los distritos de la provincia de Castilla; como lo son Uñon, Tipan, Pampacolca, Viraco, Andahua, Chachas, Choco, Orcopampa y Chicaymarca.

Tales resultados fueron confirmados por el último registro de sequias en las provincias de Caylloma y Catilla del departamento de Arequipa, originadas por la ausencia de lluvias en la zona sur del país, efecto directo del Fenómeno El Niño en el 2016, el cual causó grandes pérdidas en la agricultura y déficit para su el uso doméstico; por lo que fue necesario declarar en emergencia a la región Arequipa.

**Figura 52: Sequia en los valles de la provincia de Caylloma – 2016**



FUENTE: La Republica, 2016

Por otra parte se puede observar que los niveles Medio y Bajo corresponden a zonas cuyas características climáticas tienen una mínima influencia sobre la ocurrencia de sequías; las precipitaciones pluviales superan los 700 mm al año y las temperaturas máximas son bajas, siendo menores a 16°C pudiendo llegar a grados bajo cero; estas se localizan en las partes altas de los distritos de San Anonio de Chuca Condoroma, Tisco al NE de la cuenca y en las partes altas de Orcopampa, Cayarani, Chachas y Choco al NO; caracterizados por existir una evapotranspiración lenta y su la cobertura vegetal mayormente corresponde a pastos naturales.

Cabe resaltar que las sequias meteorológicas, tienen un efecto directo en la cuenca baja; ya que por ser una zona árida-desértica sus actividades dependen de la precipitación y disponibilidad hídrica que se da en la cuenca media y alta.

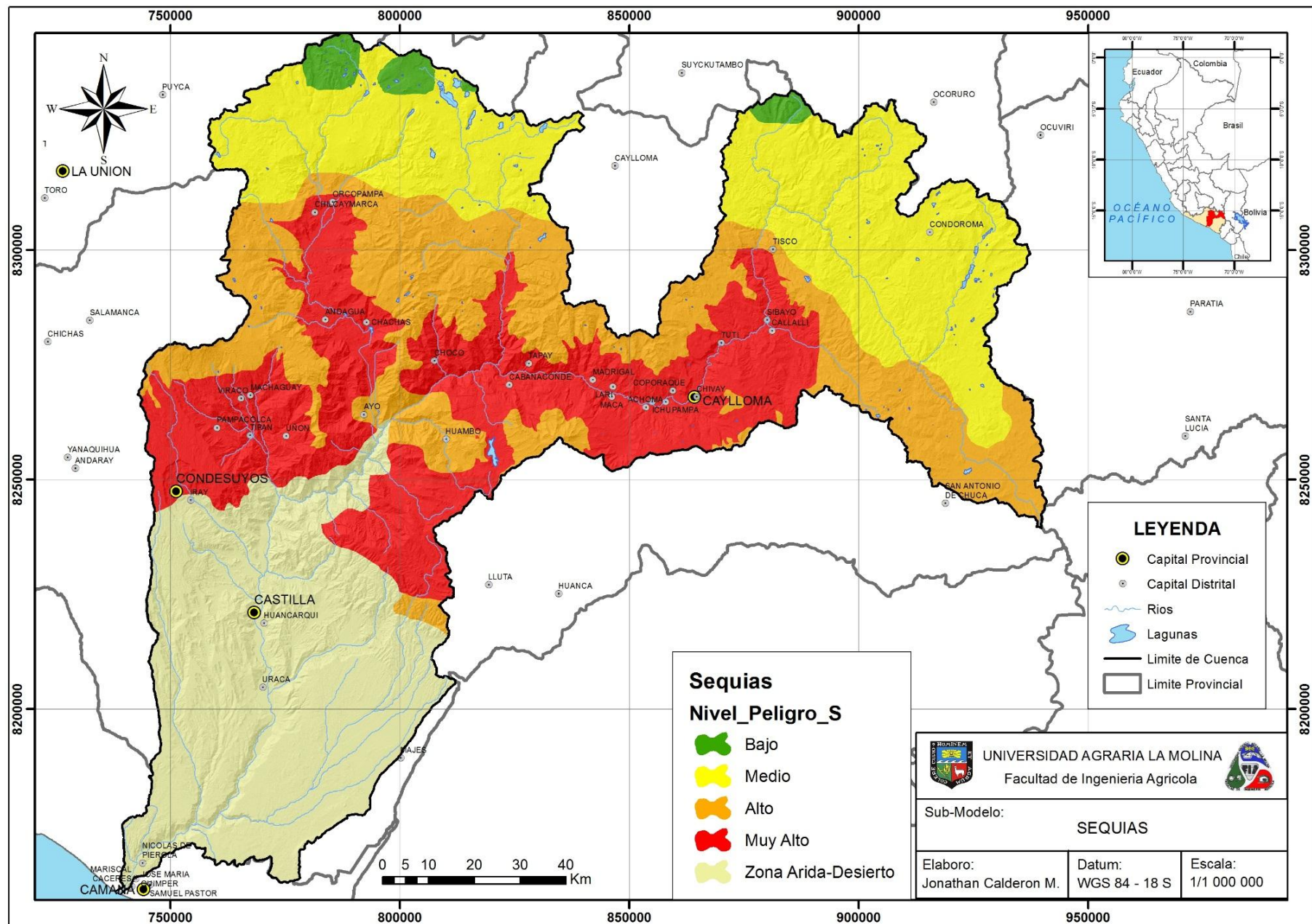


Figura 53: Submodelo de Sequias de la cuenca Camana-Majes-Colca



#### 4.1.16. Modelo de Peligros Múltiples

El presente Modelo, es el resultado de la integración lógica de los submodelos: Inundación, Movimientos en Masa, Heladas y Sequias.

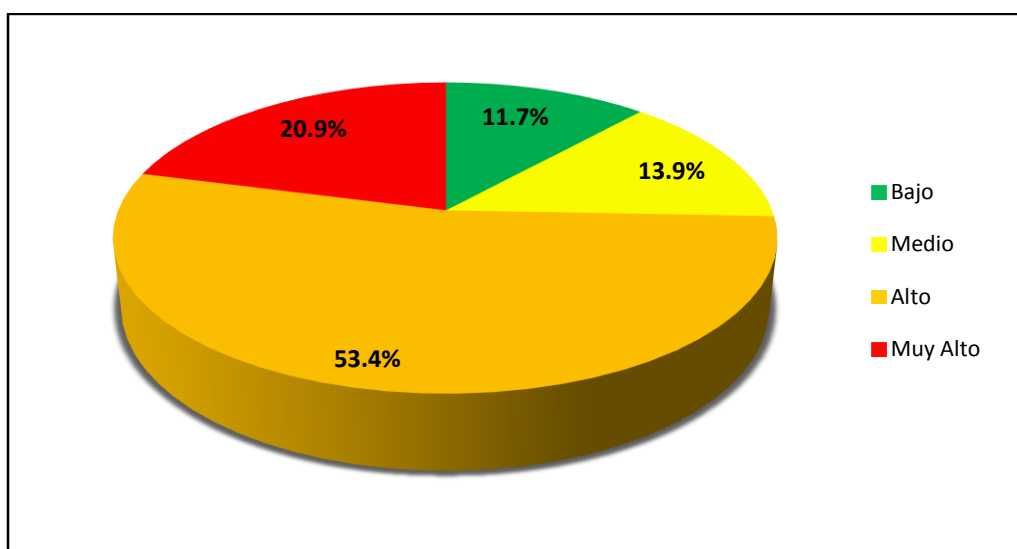
El mismo se presenta en la Figura 56, el cual revela la distribución de las zonas con peligros múltiples debidamente categorizados en niveles de peligro Muy Alto, Alto, Medio y Bajo, asociados a la ocurrencia de fuertes precipitaciones, inundaciones, deslizamientos, huaycos, erosión, así como de sequias y heladas.

La siguiente tabla detalla el área y el porcentaje de los espacios expuestos a diferentes niveles de peligros múltiples y la Figura 54, expresa la distribución porcentual de los mismos, en el territorio de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca.

**Tabla 70: Resultados del modelo de Peligros Múltiples**

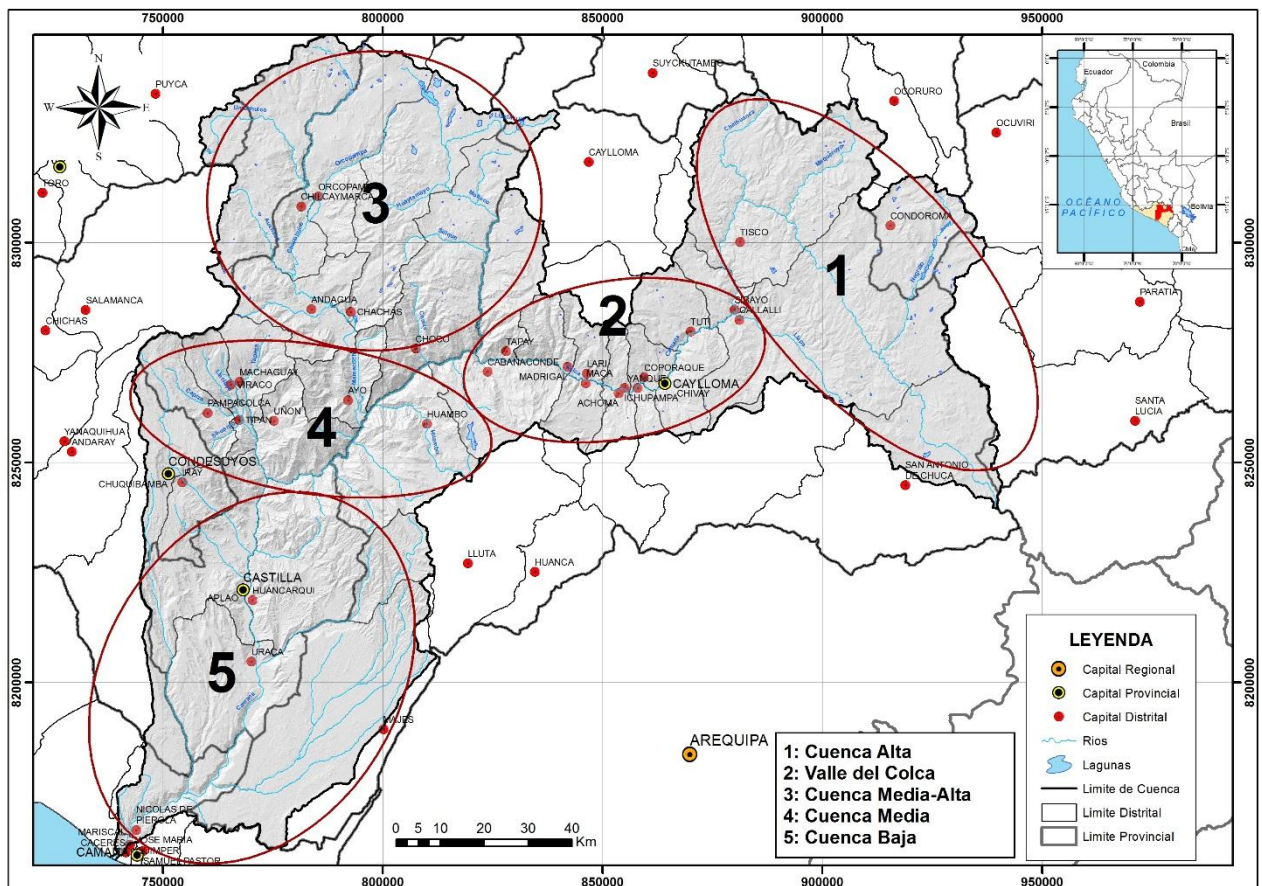
Nivel de Peligro	Area (Has)	Porcentaje (%)
Bajo	179054.86	11.7
Medio	184369.67	13.9
Alto	969911.42	53.4
Muy Alto	389897.43	20.9

**Figura 54: Distribución porcentual de los niveles de peligro del modelo de Peligros Múltiples**



El presente gráfico, señala que el 20.9% del territorio (389,897.43 has) de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca, está expuesto a un nivel de peligro Muy Alto y el 53.4% (969,911.42 has) a un nivel de peligro Alto. Mientras que el 13.9% del territorio (184,369.67 has) está bajo un peligro de nivel Medio y solamente, el 11.7% (179,054.86 has) está expuesto a un nivel de peligro Bajo.

Desde el punto de vista de la climatología, la cuenca Camaná – Majes – Colca presenta un comportamiento diferenciado en la cuenca media y baja respecto de la cuenca alta. Las precipitaciones son mayores en la cuenca alta, alcanzándose hasta 800 mm anuales (Figura 9) en promedio, mientras que en la cuenca media – baja este valor apenas supera los 300 mm anuales. Análogamente, las temperaturas son mayores en la cuenca media – baja próxima a la costa (entorno a los 20 °C de media anual) Figura 8, que en la cuenca alta, donde apenas se superan los 5 °C de media anual. En consecuencia, la manifestación de los peligros y el nivel de peligrosidad de estas, es diferenciado a lo largo de toda la cuenca; tal como se expone a continuación.



**Figura 55: Distribución y Tipología de Peligros Múltiples**

De acuerdo al modelo resultante los niveles de peligro Alto y Muy Alto se distribuyen en la Cuenca Hidrográfica Camana Majes Colca de la siguiente manera:

- Cuenca Alta del Rio Colca: Caracterizada por presentar las precipitaciones más intensas en toda la cuenca, temperaturas muy bajas y cobertura vegetal basada en su mayoría de pajonales; la manifestación de los peligros en esta zona están referidos a heladas extremas, inundaciones pluviales en las altiplanicies y movimientos en masa del tipo deslizamientos y huaicos, que se producen en terrenos de pendiente mayor a 25%.
- Valle del Colca: Caracterizada por la actividad agrícola y turística de los distritos involucrados, sin embargo no son ajenos a los peligros; estando expuestos a sequias extremas, heladas severas, movimientos en masa como derrumbes, erosión de riberas, erosión por cárcavas, huaicos y deslizamientos con probabilidad de ocurrencia muy alta en época de lluvias. Además, propensos a inundaciones en las fajas marginales del rio Colca específicamente en los distritos de Sibayo, Tuti y Chivay.
- Cuenca Media-Alta: Caracterizada por tener un clima lluvioso y semifrigido, en esta zonas los peligros aluden a sequias y heladas extremas, así como a derrumbes, huaicos e inundaciones. Como caso específico, el modelo revela un nivel de peligro Alto por inundaciones en la capital del distrito de Orcopampa, que sumado a los peligros ya mencionados, convierten esta zona como una de las más críticas en toda la cuenca.
- Cuenca Media: Caracterizado por ser en su mayoría una zona semicálida con precipitaciones menos intensas y donde confluyen un buen número de quebradas que alimentan el rio Majes. En ella los peligros están referidos a sequias de categoría extrema, así como deslizamientos, derrumbes y huaicos, especialmente en las quebradas que drenan el nevado Coropuna y en la parte alta del distrito de Huambo. Por otra parte el peligro por heladas es casi nulo, salvo por la manifestación de estos, en los valles de Chuquibamba y Pampacolca.
- Cuenca Baja: Se caracteriza por ser una zona árida - desértica, con precipitaciones menores a 200 mm anuales; sin embargo los peligros se asocian a inundaciones y huaicos dadas en épocas de avenidas, en las márgenes de los ríos Camana – Majes y en la quebrada Huacacone del distrito de Iray; así como a caídas y derrumbes, provocados por los materiales incosolidados y meteorizados que existen en las

laderas próximas a los ríos mencionados y en zonas donde la pendiente supera el 25%.

Los niveles de peligro Medio se encuentran de manera dispersa y aislada en toda la cuenca; correspondiendo a zonas con pendientes moderadas. Estas se ubican en la cuenca baja, en presencia de suelos frágiles, con vegetación casi nula pero en las que la precipitación es baja. Mientras que en la cuenca alta, aun siendo lluviosa los suelos geológicamente son más estables y tienen una cobertura vegetal basada en pajonales; lo que en ambos casos hace que la acción de la gravedad tenga menor repercusión que en los niveles Alto y Muy Alto. La zona más representativa de este nivel en la cuenca baja, se localiza en las Pampas de Majes y en la cuenca alta en sectores puntuales de los distritos de San Antonio de Chuca y Callalli, en los que el único peligro a considerar es el de heladas.

Por su parte, en los niveles de peligro Bajo, la acción de los fenómenos atmosféricos externos es menos intensa; fisiográficamente, se caracterizan por presentar un relieve con pendientes suaves, asentadas en planicies onduladas y colinas, con excepciones donde la pendiente es mayor pero el suelo está formado por rocas más duras y compactas; las precipitaciones son mínimas y la acción de esta no simboliza mayor peligro; aunque cabe resaltar que la cobertura vegetal es muy escasa. Estas zonas se localizan en su totalidad en la cuenca baja, como en las pampas de Majes y en las superficies localizadas sobre Chuquibambaba, Huancarqui, Uraca y en los distritos pertenecientes a la provincia de Camana, descartando en ellos las zonas próximas al río Camana-Majes, en las que como ya se mencionó, el peligro por inundaciones y huaicos es de nivel Alto y Muy Alto.

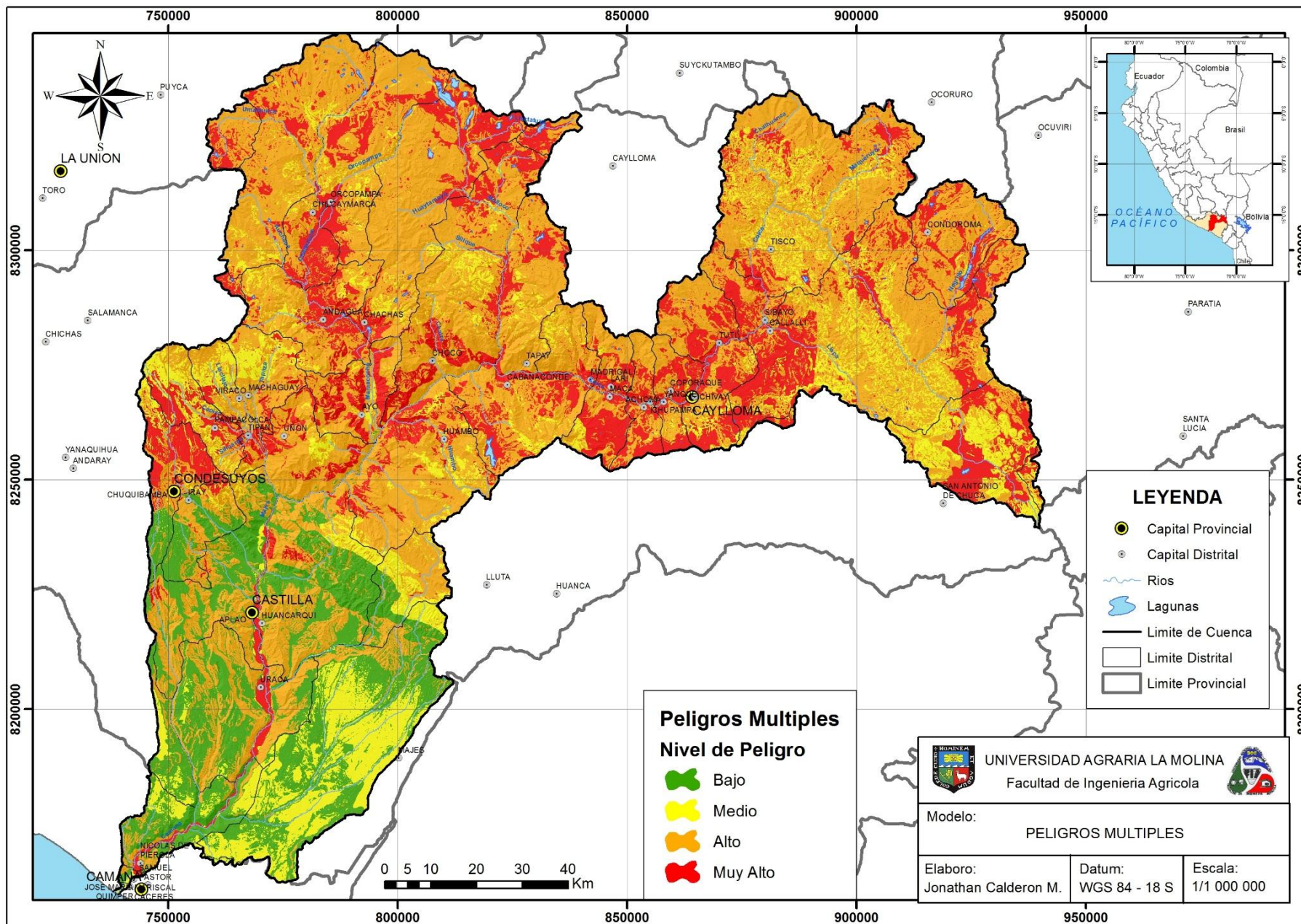


Figura 56: Modelo de Peligros Múltiples de la cuenca Camana-Majes-Colca

## 4.2. MODELAMIENTO GEOESPACIAL DE VULNERABILIDAD SOCIAL

### 4.2.1. Submodelo de Unidades Sociales

**Tabla 71: Vulnerabilidad por Unidades Sociales a nivel distrital**

Distrito	Area (Has)	Pobreza (%)	IDH	NBI(% al menos un NBI)	Nº Prog. sociales	Nº Hab. con potencial	Nivel de Vulnerabilidad
SAN ANTONIO DE CHUCA	56511.7	60 - 100	0.3213	60 - 100	3	309	Muy Alto
CHOCO	90401.7	60 - 100	0.2397	60 - 100	3	202	Muy Alto
CHACHAS	88787.2	60 - 100	0.2423	60 - 100	3	263	Muy Alto
PUYCA	12881.3	60 - 100	0.1469	60 - 100	4	561	Muy Alto
LLUTA	26767.3	40 - 59,9	0.3608	60 - 100	3	638	Alto
TIPAN	5553.7	40 - 59,9	0.3887	60 - 100	2	261	Alto
ACHOMA	9713.2	20 - 39,9	0.2853	40 - 59,9	2	636	Alto
UÑON	34064.1	40 - 59,9	0.408	60 - 100	3	221	Alto
HUAMBO	71554.5	40 - 59,9	0.3627	40 - 59,9	3	307	Alto
CABANACONDE	46201.4	20 - 39,9	0.3874	60 - 100	2	1684	Alto
ICHUPAMPA	7450.7	20 - 39,9	0.3323	60 - 100	2	464	Alto
MACHAGUAY	24688.3	20 - 39,9	0.333	20 - 39,9	2	506	Alto
MADRIGAL	15935.5	20 - 39,9	0.3158	60 - 100	2	349	Alto
TUTI	23924.1	20 - 39,9	0.3722	60 - 100	2	531	Alto
ANDAGUA	47189.0	40 - 59,9	0.3659	60 - 100	3	576	Alto
LARI	13732.3	20 - 39,9	0.3364	20 - 39,9	2	1068	Alto
SANTA LUCIA	12528.2	40 - 59,9	0.3784	20 - 39,9	5	3742	Alto
CHILCAYMARCA	18254.4	20 - 39,9	0.3871	40 - 59,9	2	870	Alto
CALLALLI	154183.6	40 - 59,9	0.3777	40 - 59,9	3	1002	Alto
TAPAY	41291.5	40 - 59,9	0.2448	60 - 100	3	272	Alto
SALAMANCA	2464.5	20 - 39,9	0.2943	60 - 100	2	613	Alto
SIBAYO	15638.0	40 - 59,9	0.4947	40 - 59,9	3	338	Alto
CONDOROMA	41565.7	40 - 59,9	0.3358	60 - 100	3	700	Alto
TISCO	131597.0	40 - 59,9	0.2693	60 - 100	3	725	Alto
CAYLLOMA	6685.8	20 - 39,9	0.3607	60 - 100	3	2221	Alto
CAYARANI	80252.0	60 - 100	0.3925	60 - 100	3	632	Alto
COPORAQUE	11431.4	20 - 39,9	0.3652	20 - 39,9	2	1064	Medio
IRAY	23864.0	20 - 39,9	0.4077	40 - 59,9	2	452	Medio
HUANCARQUI	79808.2	0 - 9,9	0.4935	20 - 39,9	2	1251	Medio
MACA	16117.6	20 - 39,9	0.4143	40 - 59,9	2	506	Medio
YANQUE	7474.1	20 - 39,9	0.439	40 - 59,9	2	1496	Medio
CHUQUIBAMBA	45306.6	20 - 39,9	0.4804	20 - 39,9	3	2342	Medio
PAMPACOLCA	26560.6	20 - 39,9	0.3647	20 - 39,9	2	1899	Medio
VIRACO	13719.3	20 - 39,9	0.3777	20 - 39,9	2	1198	Medio
AYO	28565.3	10 - 19,9	0.3576	40 - 59,9	2	314	Medio

...continuación

CHIVAY	23817.2	20 - 39,9	0.4759	20 - 39,9	3	5382	Bajo
MAJES	129906.9	20 - 39,9	0.5162	40 - 59,9	3	43863	Bajo
APLAO	61752.9	20 - 39,9	0.5283	20 - 39,9	3	6191	Bajo
JOSE MARIA QUIMPER	1264.3	10 - 19,9	0.581	20 - 39,9	2	3514	Bajo
NICOLAS DE PIEROLA	34950.8	10 - 19,9	0.5688	20 - 39,9	3	5364	Bajo
MARISCAL CACERES	383.6	10 - 19,9	0.5187	20 - 39,9	3	5420	Bajo
URACA	69384.0	10 - 19,9	0.5212	20 - 39,9	2	6134	Bajo
ORCOPAMPA	60422.7	10 - 19,9	0.5235	20 - 39,9	2	8212	Bajo

El presente Submodelo, es el resultado de la integración ponderativa de las variables: Pobreza, Demografía, IDH, NBI y Programas Sociales (Anexos –Figura), representado por la siguiente ecuación:

$$SMUS = 0.30 * Pob + 0.30 * IDH + 0.15 * NBI + 0.15 * Dem + 0.10 * PG$$

Donde:

*Pob*: Pobreza

*IDH*: Índice de Desarrollo Humano

*NBI*: Necesidades Básicas Insatisfechas

*Dem*: Demografía

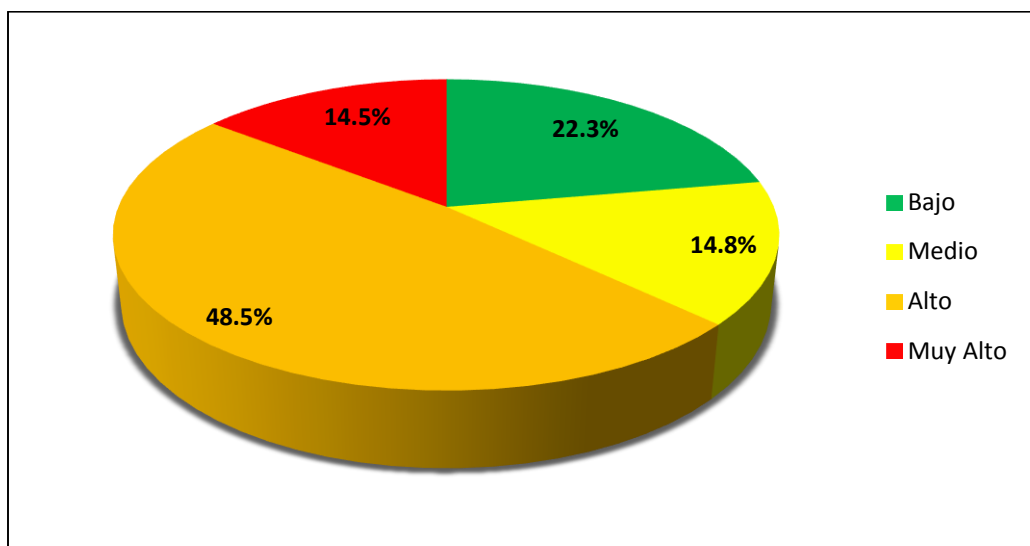
*PG*: Programas Sociales

La siguiente tabla detalla el área y el porcentaje de las unidades distritales bajo diferentes niveles de vulnerabilidad y la Figura 57, expresa la distribución porcentual de los mismos, en el territorio de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca.

**Tabla 72: Resultados del submodelo de Unidades Sociales**

Nivel de Vulnerabilidad	Area (Has)	Porcentaje (%)
Bajo	382008.82	22.3
Medio	253118.77	14.8
Alto	831558.47	48.5
Muy Alto	248589.83	14.5

**Figura 57: Distribución porcentual de los niveles de vulnerabilidad de SM Unidades Sociales**



Este submodelo, señala que los niveles Muy altos de vulnerabilidad vinculados al bienestar y condiciones de vida de la población, se encuentran en 04 distritos pertenecientes a la cuenca: San Antonio de Chuca, Choco, Chachas y Puyca. Mientras que los niveles bajos de vulnerabilidad se encuentran en 08 distritos: Jose Maria Quimper, Aplao, Nicolás de Piérola, Mariscal Cáceres, Chivay, Majes, Uraca, y Orcopampa. Ver Anexos - Figura 71.



#### 4.2.1. Submodelo de Infraestructura Social

**Tabla 73: Vulnerabilidad por Infraestructura Social a nivel distrital**

Distrito	Area (Has)	Infr. de Salud	Infr. de Educación	Vías de Comunicación	Nivel de Vulnerabilidad
UÑON	34064.1	I-2	Inicial, Primaria	Trocha	Muy Alto
MACA	16117.6	I-1	Inicial, Primaria, Secundaria	Trocha	Muy Alto
ICHUPAMPA	7450.7	I-1	Inicial, Primaria, Secundaria	Trocha	Muy Alto
MADRIGAL	15935.5	I-1	Inicial, Primaria, Secundaria	Trocha	Muy Alto
CHILCAYMARCA	18254.4	I-1	Inicial, Primaria, Secundaria	Trocha	Muy Alto
PUYCA	12881.3	I-2	Inicial, Primaria	Trocha	Muy Alto
CAYARANI	80252.0	I-1	Inicial, Primaria, Secundaria	Trocha	Muy Alto
NICOLAS DE PIEROLA	34950.8	I-3	Inicial, Primaria, Secundaria	Trocha	Alto
LLUTA	26767.3	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria	Sin afirmar	Alto
TIPAN	5553.7	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria	Sin afirmar	Alto
ACHOMA	9713.2	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria, Cetpro	Trocha	Alto
HUAMBO	71554.5	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria	Sin afirmar	Alto
CABANACONDE	46201.4	I-3	Inicial, Primaria, Secundaria	Sin afirmar	Alto
PAMPACOLCA	26560.6	I-3	Inicial, Primaria, Secundaria	Sin afirmar	Alto
VIRACO	13719.3	I-3	Inicial, Primaria, Secundaria	Sin afirmar	Alto
AYO	28565.3	I-2	Inicial, Primaria	Sin afirmar	Alto
COPORAQUE	11431.4	I-1	Inicial, Primaria, Secundaria	Afirmado	Alto
MACHAGUAY	24688.3	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria	Trocha	Alto
TUTI	23924.1	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria	Trocha	Alto
LARI	13732.3	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria	Trocha	Alto
SANTA LUCIA	12528.2	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria, Cetpro	Trocha	Alto
TAPAY	41291.5	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria	Trocha	Alto
SALAMANCA	2464.5	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria	Trocha	Alto
SIBAYO	15638.0	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria	Sin afirmar	Alto
CHOCO	90401.7	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria	Trocha	Alto
TISCO	131597.0	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria	Sin afirmar	Alto
SAN ANTONIO DE CHUCA	56511.7	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria	Afirmado	Alto
CONDOROMA	41565.7	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria	Afirmado	Alto
CHACHAS	88787.2	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria	Trocha	Alto
JOSE MARIA QUIMPER	1264.3	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria	Asfaltado	Medio
IRAY	23864.0	I-1	Inicial, Primaria, Secundaria	Asfaltado	Medio
ANDAGUA	47189.0	I-3	Inicial, Primaria, Secundaria	Afirmado	Medio
CALLALLI	154183.6	I-3	Inicial, Primaria, Secundaria, Cetpro	Afirmado	Medio

...continuación

ORCOPAMPA	60422.7	I-3	Inicial, Primaria, Secundaria, Cetpro	Trocha	Medio
CAYLLOMA	6685.8	I-3	Inicial, Primaria, Secundaria, Cetpro	Trocha	Medio
MARISCAL CACERES	383.6	I-3	Inicial, Primaria, Secundaria, Cetpro	Asfaltado	Medio
YANQUE	7474.1	I-2	Inicial, Primaria, Secundaria, IST	Asfaltado	Medio
HUANCARQUI	79808.2	I-3	Inicial, Primaria, Secundaria	Asfaltado	Medio
MAJES	129906.9	I-4	Inicial, Primaria, Secundaria, Cetpro, IST	Afirmado	Bajo
CHUQUIBAMBA	45306.6	I-4	Inicial, Primaria, Secundaria, Cetpro, IST	Afirmado	Bajo
URACA	69384.0	I-4	Inicial, Primaria, Secundaria, Cetpro, IST	Asfaltado	Bajo
APLAO	61752.9	II-1	Inicial, Primaria, Secundaria, IST	Asfaltado	Bajo
CHIVAY	23817.2	I-4	Inicial, Primaria, Secundaria, Cetpro, IST	Asfaltado	Bajo

El presente Submodelo, es el resultado de la integración ponderativa de los mapas de las variables: Infraestructura de Educación, Salud y Vías de Comunicación (Anexos – Figura), representado por la siguiente ecuación:

$$SMS = 0.30 * Edu + 0.40 * Sal + 0.30 * Vias$$

Donde:

*Edu*: Infraestructura de Educación

*Sal*: Infraestructura de Salud

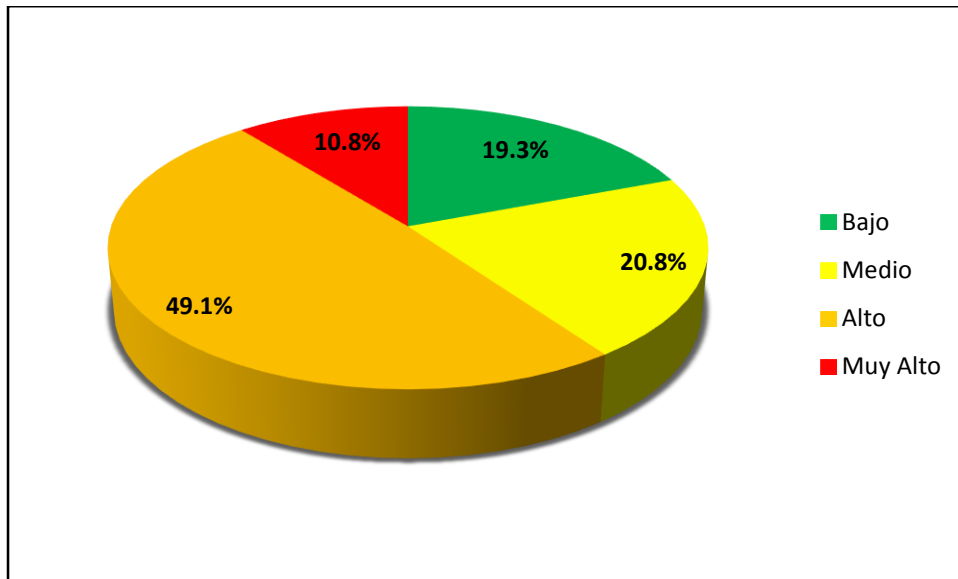
*Vias*: Vías de Comunicación

La siguiente tabla detalla el área y el porcentaje de las unidades distritales bajo diferentes niveles de vulnerabilidad y la Figura 58, expresa la distribución porcentual de los mismos, en el territorio de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca.

**Tabla 74: Resultados del submodelo de Unidades Sociales**

Nivel de Vulnerabilidad	Area (Has)	Porcentaje (%)
Bajo	330295.2	19.3
Medio	357587.2	20.8
Alto	842437.8	49.1
Muy Alto	184955.6	10.8

**Figura 58: Distribución porcentual de los niveles de vulnerabilidad del SM Infraestructura Social**



Este submodelo, señala que los niveles Muy Altos de vulnerabilidad vinculados a la disponibilidad de infraestructuras que brindan servicios a las unidades sociales, se encuentran en 07 distritos pertenecientes a la cuenca: Uñon, Maca, Ichupampa, Madrigal, Chilcaymarca, Puyca y Cayarani. Mientras que los niveles Bajos de vulnerabilidad se encuentran en 06 distritos: Majes, Chuquibamba, Uraca, Aplao y Chivay. Ver Anexos - Figura 72.

#### 4.2.3. Modelo de Vulnerabilidad Social

**Tabla 75: Resultados de Vulnerabilidad Social a nivel distrital**

<b>Distrito</b>	<b>Area (Has)</b>	<b>Habitantes dentro de los límites de la cuenca (ANA, 2014)</b>	<b>Nivel de Vulnerabilidad</b>
UÑON	34064.1	442	Muy Alto
ICHUPAMPA	7450.7	663	Muy Alto
MADRIGAL	15935.5	498	Muy Alto
CHILCAYMARCA	18254.4	1243	Muy Alto
PUYCA	12881.3	8	Muy Alto
CAYARANI	80252.0	1292	Muy Alto
SAN ANTONIO DE CHUCA	56511.7	515	Muy Alto
CHOCO	90401.7	1009	Muy Alto
CHACHAS	88787.2	1311	Muy Alto
LLUTA	26767.3	3	Alto
TIPAN	5553.7	522	Alto
ACHOMA	9713.2	871	Alto
MACA	16117.6	723	Alto
HUAMBO	71554.5	614	Alto
CABANACONDE	46201.4	2406	Alto
PAMPACOLCA	26560.6	2713	Alto
VIRACO	13719.3	1712	Alto
AYO	28565.3	369	Alto
COPORAQUE	11431.4	1520	Alto
MACHAGUAY	24688.3	723	Alto
TUTI	23924.1	758	Alto
LARI	13732.3	1429	Alto
SANTA LUCIA	12528.2	225	Alto
TAPAY	41291.5	545	Alto
SALAMANCA	2464.5	37	Alto
SIBAYO	15638.0	522	Alto
TISCO	131597.0	1224	Alto
CONDOROMA	41565.7	1156	Alto
CAYLLOMA	6685.8	15	Medio
JOSE MARIA QUIMPER	1264.3	3348	Medio
NICOLAS DE PIEROLA	34950.8	6310	Medio
HUANCARQUI	79808.2	1317	Medio
IRAY	23864.0	646	Medio
ANDAGUA	47189.0	1152	Medio
CALLALLI	154183.6	2003	Medio
ORCOPAMPA	60422.7	9599	Medio
MARISCAL CACERES	383.6	-	Medio
YANQUE	7474.1	1321	Medio
MAJES	129906.9	16655	Bajo
APLAO	61752.9	8844	Bajo
CHUQUIBAMBA	45306.6	3306	Bajo
CHIVAY	23817.2	7688	Bajo
URACA	69384.0	7216	Bajo

El presente Modelo, es el resultado de la integración ponderativa de los submodelos: Unidades Sociales e Infraestructura Social, representado por la siguiente ecuación:

$$MVS = 0.45 \times SMUS + 0.55 \times SMIS$$

Donde:

*MVS*: Modelo de Vulnerabilidad Social

*SMUS*: Submodelo de Unidades Sociales

*SMIS*: Submodelo de Infraestructura Social

El mismo se presenta en la Figura 60, el cual revela la distribución de los distritos involucrados en la cuenca, categorizados en niveles de vulnerabilidad social Muy Alto, Alto, Medio y Bajo, asociados al bienestar social de los mismos y al nivel o condición de infraestructura principalmente educativa, de salud y vías de comunicación, con las que cuentan.

La siguiente tabla detalla el área y el porcentaje de las unidades distritales bajo diferentes niveles de vulnerabilidad y la Figura 59, expresa la distribución porcentual de los mismos, en el territorio de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca.

**Tabla 76: Resultados del modelo de Vulnerabilidad Social**

<b>Nivel de Vulnerabilidad</b>	<b>Area (Has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bajo	330295.2	19.3
Medio	392538.0	22.9
Alto	587904.0	34.3
Muy Alto	404538.6	23.6

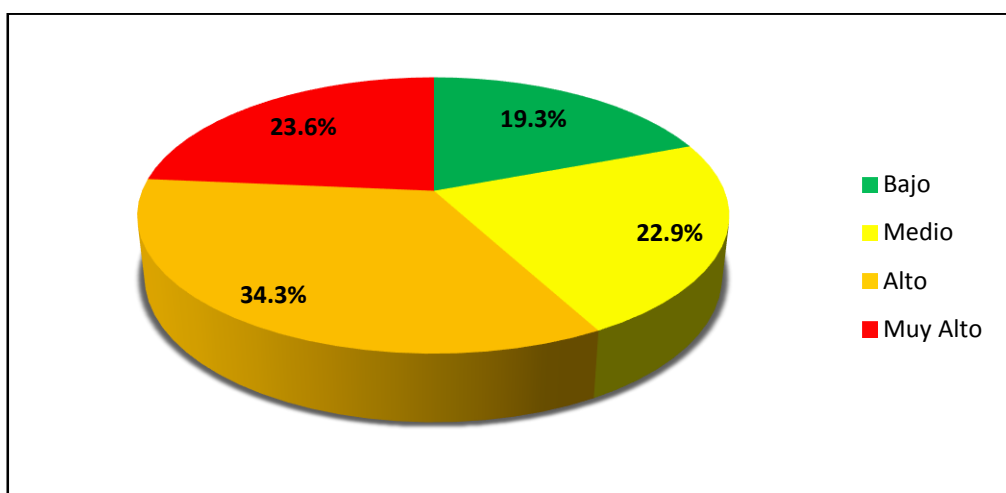
En el modelo respectivo, se puede observar que los distritos de Uñon, Ichupampa, Chilcaymarca Madrigal, Puyca, Cayarani, Chachas, Choco y San Anotnio de Chuca ubicados en la cuenca media y alta, presentan un nivel de vulnerabilidad Muy Alto, el cual está estrechamente asociado al grado de bienestar de la población, lo que se refleja en los altos índices de pobreza, alto porcentaje de hogares con más de 1 NBI y en el IDH bajo que presenta su población. Asimismo, está influenciado por el bajo nivel de protección social que les brindan las instancias de gobierno, respecto a la infraestructura de educación, salud y comunicación.

Los niveles vulnerabilidad Alta se observan en 19 distritos ubicados en la cuenca media y alta, debido fundamentalmente, a la fragilidad de sus medios de vida, que en este caso es la actividad ganadera y agrícola bajo secano, orientada a cubrir el autoconsumo y en algunos casos desarticulada del mercado, ello expresado en el alto porcentaje de familias pobres y aunado a un nivel infraestructura social que no permite el desarrollo de los mismos.

Por otro lado, los niveles de vulnerabilidad Media se observan en 09 distritos; tal es el caso de Callalli, Andahua, Caylloma y Yanque, quienes presentan niveles medios de pobreza y NBI, infraestructura vial asfaltada, centros de salud sin internamiento y 3 programas sociales vigentes. Por otro lado en los distritos de Huancarqui, Nicolas de Pierola, Jose Maria Quimper, Mariscal Cáceres y Orcopampa adoptan este nivel de vulnerabilidad debido a la baja incidencia de pobreza y a valores medios de IDH, aunque su infraestructura es carente en ciertos sectores.

Por último los niveles de vulnerabilidad Bajo, se presentan en los distritos de Majes, Chuquibamba, Uraca, Aplao y Chivay, que responden a la presencia de buena infraestructura en los tres sectores analizados; educación salud y comunicación, reflejado a su vez en los índices de pobreza bajos, cantidades altas de habitantes con potencial (No Pobres) e IDH mayores a 0.5.

**Figura 59: Distribución porcentual de los niveles de vulnerabilidad del Modelo de Vulnerabilidad Social**



El presente gráfico, revela que el 23.6% del territorio (404538.6 has), presenta un nivel de vulnerabilidad social Muy Alta; mientras que el 19.3% (330,295.2 has) presenta un nivel de vulnerabilidad social Baja.

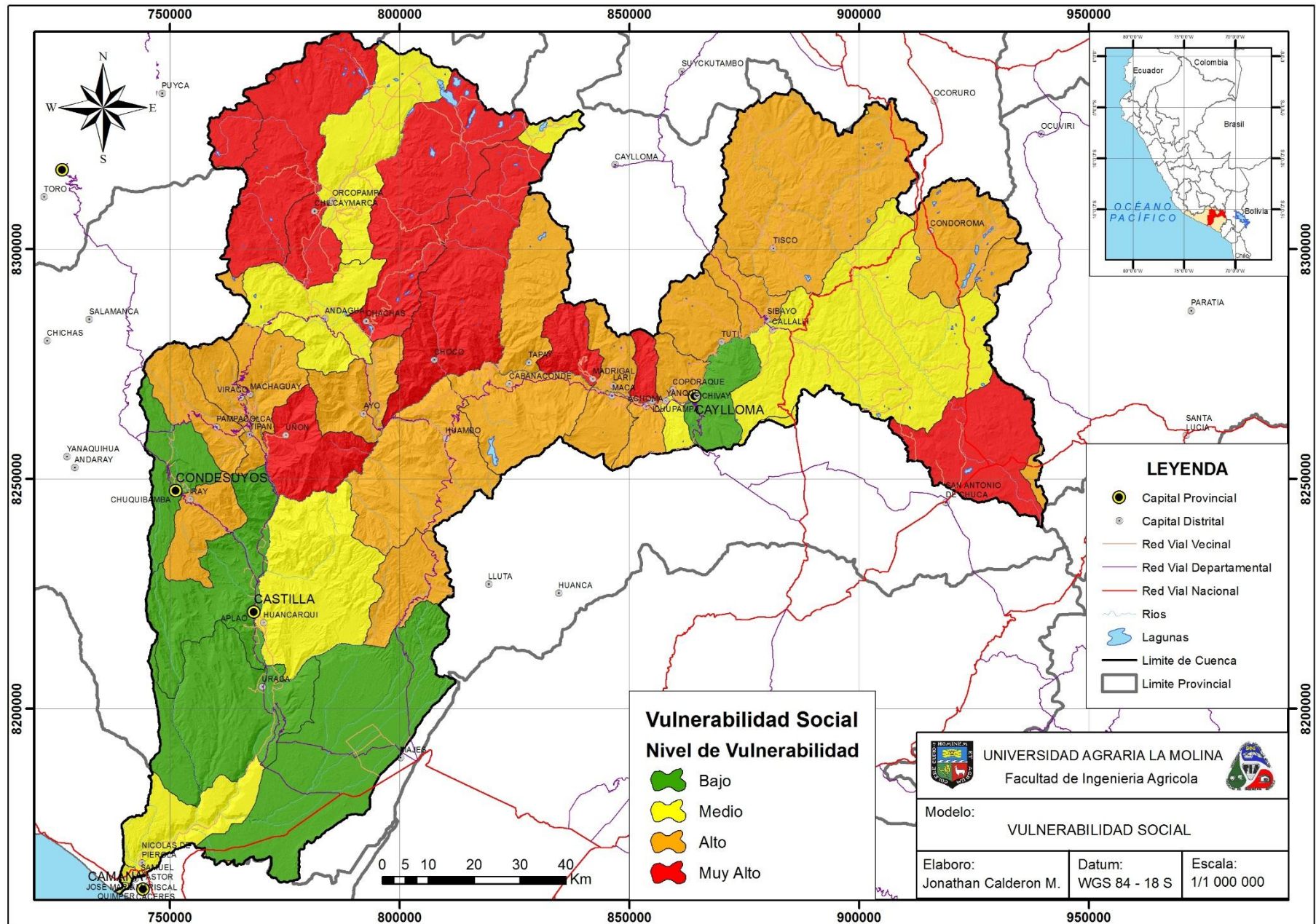


Figura 60: Modelo de Vulnerabilidad Social de la cuenca Camana-Majes-Colca

### 4.3. MODELAMIENTO GEOESPACIAL GLOBAL

El Modelo Global de Peligros Múltiples, es el resultado de la integración ponderativa de los modelos intermedios: Peligros Múltiples y Vulnerabilidad Social, representado por la siguiente ecuación:

$$MGPM = 0.70 \times MPM + 0.30 \times MVS$$

Donde:

*MGPM*: Modelo Global de Peligros Múltiples

*MPM*: Modelo de Peligros Múltiples

*MVS*: Modelo de Vulnerabilidad Social

El Modelo Global de Peligros Múltiples se presenta en la Figura 62, el cual revela la distribución de las zonas susceptibles a la ocurrencia de peligros múltiples y en condiciones de vulnerabilidad social, debidamente categorizados en niveles de peligro global Muy Alto, Alto, Medio y Bajo.

La siguiente tabla detalla el área y el porcentaje de los espacios expuestos a diferentes niveles de peligros múltiples y la Figura 61, expresa la distribución porcentual de los mismos, en el territorio de la Cuenca Hidrográfica Camana-Majes-Colca.

**Tabla 77: Resultados del modelo Global de Peligros Múltiples**

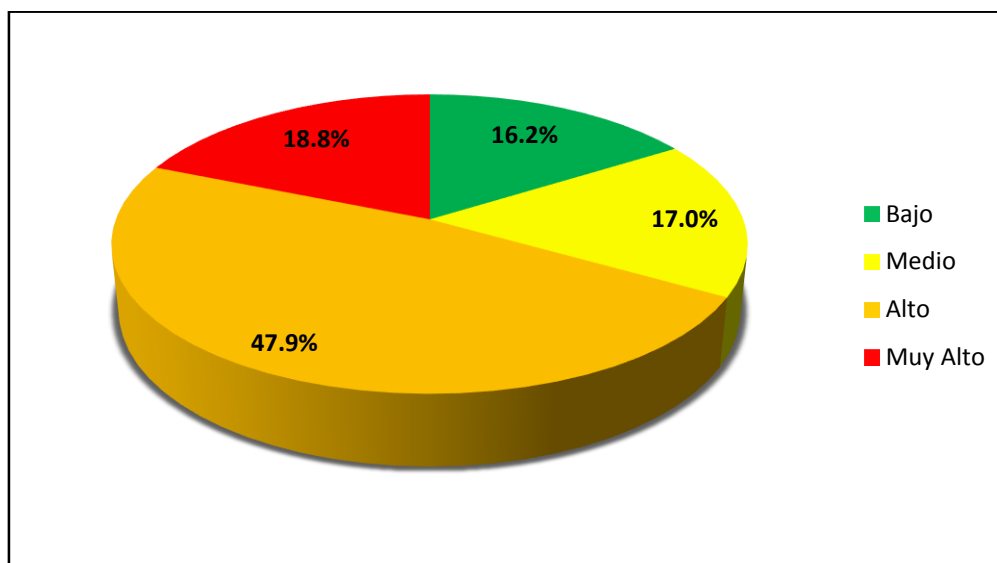
Nivel de Vulnerabilidad	Area (Has)	Porcentaje (%)
Bajo	278494.5	16.2
Medio	293047.5	17.0
Alto	826157.8	47.9
Muy Alto	324609.9	18.8

En el modelo respectivo se observa 324,609.9 has de la cuenca se encuentran en peligro Muy Alto y 826,157.8 has en peligro Alto, zonas que mantuvieron sus niveles de peligro alto debido a que su potencial social es bajo.

Por otra parte 293,047.5 has se encuentran en peligro Medio y 278,494.5 has en peligro Bajo presentes en su mayoría en la cuenca baja, áreas que aumentaron debido a los peligros fueron atenuados por los niveles de vulnerabilidad baja en dicha zona.



**Figura 61: Distribución porcentual de los niveles de peligro del Modelo Global de Peligros Múltiples**



El presente gráfico, revela que el 18.8% de la cuenca, presenta un nivel de peligro global Muy Alto; mientras que solamente el 16.2% del territorio presenta un nivel de peligro global Bajo.

- **Nivel de Peligro Global Muy Alto**

De acuerdo al modelo resultante los niveles de peligro global Muy Alto, representan áreas susceptibles a la ocurrencia de hasta cuatro peligros, con impactos críticos y en condiciones de vulnerabilidad social Alta o Muy Alta; las cuales se distribuyen de la siguiente manera:

- Cuenca Alta del Rio Colca: En esta zona los peligros múltiples están referidos a heladas extremas, lluvias intensas e inundaciones pluviales, sumado a las condiciones de vulnerabilidad social Alta en las que se encuentran sus unidades sociales, de las cuales resaltan los siguientes centros poblados: Vizcachani, Mamuta, Puticaico, Jaurillani y Patacondori en San Antonio de Chuca; Cayco, Calahuara y Chocco, en Santa Lucia; Urayhuito, Calota, Pisa y Ccanasata en Callalli; Quenco, Vista Alegre, Patohuiri, Anacta, Cala Cala y Pisa en Tisco; y Oscollo en Condorama incluyendo el centro poblado que lleva su mismo nombre.
- Valle del Colca: En esta zona los peligros múltiples están referidos a sequias extremas, heladas severas, inundaciones y movimientos en masa de distinta

índole; sumado a las condiciones de vulnerabilidad social Alta y Muy Alta en las que se encuentran sus unidades sociales, convirtiéndose en uno de los puntos más críticos física y socialmente en toda la cuenca; y de las cuales resaltan los siguientes centros poblados: Paracra y Ran Ran, en Sibayo; Hipo, Huallaja, Suyopata y Ranrapata en Tuti; Marcalla, Huarayata y Huancayani en Coporaque; Sepina en Maca; Marca Pampa en Ichupampa; Pinchollo en Cabanoconde; San Juan de Chucho, Pure y LLatica en Tapay; Yanque; Lari; Madrigal y Achoma. Incluyendo en este caso los CP que llevan el mismo nombre del distrito en cuestión. Asimismo, cabe señalar que esta zona es amenazada por la actividad sísmica y fumarólica del Volcan Sabancaya que se encuentra actualmente en un estado activo.

- Cuenca Media-Alta: En la parte alta los peligros múltiples están referidos a heladas extremas, lluvias intensas e inundaciones pluviales, sumado a las condiciones de vulnerabilidad social Alta y Muy Alta en las que se encuentran sus unidades sociales con excepción de Orcopampa, de las cuales resaltan los siguientes centros poblados: Pampullo, y Ucuchachas en Choco; Nuevo Talconi, Toncoro y Nahuira en Chachas. En la parte baja se suman los peligros de sequías extremas y movimientos en masa que convierten a los centros poblados involucrados en unos de los más críticos de la cuenca, tal es el caso de Marcani, Huinvilca, Misahuanca y Panahua en Orcopamapa; Huayhuachuma, Huaylluco, Chapacoco en Chilcaymarca; Soporó, San Isidro de Tauca en Andagua y Challa en Cayarani. Incluyendo en este caso los CP que llevan el mismo nombre del distrito en cuestión.
- Cuenca Media: En esta zona los peligros múltiples están referidos a sequías extremas y movimientos en masa; estos últimos con mayor intensidad en los distritos que se encuentran bajo el nevado Coropuna, asimismo, las condiciones de vulnerabilidad social de sus unidades sociales son de nivel Alto y Muy Alto, siendo los más afectados los centros poblados de Utme y Anta en Ayo; Yanacoto, Piche y Chinini en Huambo; Chicota y Huayaja en Pampacolca; Capiza en Tipan; Huasicac y Cuyanca en Machaguay; y Piraucho en Uñon. Adicionalmente, hay centros poblados con peligro de heladas severas, tal es el caso de LLato, Escaura

Grande, Piscopampa, Rio Blanco y Obras Pampa, en Pampacolca; y Estanque en Huambo.

- Cuenca Baja: En esta zona el peligro está referido a inundaciones, huaicos y derrumbes, específicamente en la distrito de Nicolás de Piérola, que a pesar de sus bajos índices de pobreza no cuentan con una buena infraestructura educativa ni vial, lo que suma a que estos peligros se intensifiquen. Siendo los más susceptibles los centros poblados ubicados en las márgenes del rio Camana como Characta Sonay, Pisques, Cacias y Huambo.

- **Nivel de Peligro Global Alto**

Los niveles de peligro global Alto representan áreas susceptibles a la ocurrencia de hasta tres peligros, con impactos severos y en condiciones de vulnerabilidad social Alta o Media; las cuales se distribuyen de la siguiente manera:

- Cuenca Alta del Rio Colca: En esta zona los peligros múltiples están referidos a heladas y sequias severas en el distrito de San Antonio de Chuca, sumándose los movimientos en masa en los distritos de Condorama, Tisco y Callalli, este último en condiciones de vulnerabilidad social Media. Los centros poblados involucrados en este nivel son: Colca y Marcacheta en San Antonio de Chuca; Pucamocco y Pucacancha en Santa Lucia; Cachaco, LLapallanahuara y Pacopampa en Callalli; Cullco y Chucurana en Tisco; por último, Accoychinca y Tinco Palcca en Condorama.
- Valle del Colca: En esta zona los peligros múltiples están referidos a sequias y heladas severas, y movimientos en masa de distinta índole; sumado a condiciones de vulnerabilidad social Alta y Muy Alta en las que se encuentran sus unidades sociales, y de las cuales resaltan los siguientes centros poblados: Chuaña en Sibayo; Misme en Tuti; Llanahui en Coporaque; Jaroclo en Yanque; Totorapampa en Ichupampa, Churquina en Achoma; Umauro en Lari; Pausapata en Maca; Chimba en Madrigal; Villa del Colca en Cabanoconde; Pacla y Malata en Tapay. Asimismo, cabe resaltar que el distrito de Chivay es el único en la región altoandina de la cuenca que se encuentra en un nivel de vulnerabilidad Baja

por lo que tendría una mejor capacidad de respuesta ante la manifestación de los peligros mencionados.

- Cuenca Media-Alta: En esta zona los peligros múltiples están referidos a heladas y sequías severas; así como a movimientos en masa generado por intensas lluvias, sumado a condiciones de vulnerabilidad social Alta y Muy Alta en las que se encuentran sus unidades sociales, de las cuales resaltan los siguientes centros poblados: Jilla y Pachahuma en Choco; Tolcone y Layo en Chachas; Calera, Sausa, Baños Pampa y Quinsapuquio en Orcopamapa; Chipe en Chilcaymarca; Charcca y Callhua en Andagua; Arcata, Pajare, Acallani y Casacancha en Cayarani.
- Cuenca Media: En esta zona los peligros múltiples están referidos a sequías extremas y movimientos en masa; asimismo, las condiciones de vulnerabilidad social de sus unidades sociales son de nivel Alto y Muy Alto, siendo los más afectados los centros poblados de Acho en Ayo; Yanacoto, Sajarhua, Ancalle en Huambo; Chicota y Huayaja en Pampacolca; Capiza en Tipan; Acopallpa en Machaguay; Satay en Uñon y los centros poblados por los que recorre la red vial departamental en los distritos de Viraco y Tipan. Adicionalmente, cabe señalar, que en esta parte de la cuenca los centros poblados de Cristal Pucyo y Chocanitayoc ubicados en el distrito de Chuquibamba, se encuentran en un peligro global Alto asociado a la presencia de heladas.
- Cuenca Baja: En esta zona el peligro está referido a inundaciones, huaicos y derrumbes, específicamente en los distritos de Uraca, Aplao y Huancarqui, los cuales a su vez presentan un potencial social alto, por lo que la manifestación de estos peligros pueden ser tolerados. Los centros poblados más propensos están ubicados en las márgenes del río Majes como El Granado, San Vicente, Uraca; Cosos Grande, Beringa y Ongoro Bajo, localidades en las que estos peligros afectan viviendas, hectáreas de cultivos y tramos de carretera; según indican los registros históricos.

- **Nivel de Peligro Global Medio**

Los niveles de peligro global Medio se presentan en dos casos: El primero, en áreas en condiciones de vulnerabilidad social Alta pero susceptibles solo a la ocurrencia de heladas, ubicadas en las zonas de mayor altitud de la cuenca como lo son los centros poblados de Cachaque, Orqocancha y Achutaña. Y el segundo caso, en áreas susceptibles a la ocurrencia de hasta dos peligros pero en condiciones de vulnerabilidad social Media o Baja; básicamente los peligros se asocian a heladas severas en la cuenca alta; sequías severas en el Valle del Colca y la cuenca media, en los centro poblados de como en Chilluyo, Rayuna y Viquez; y tanto heladas como sequías en la cuenca media-alta. Mientras que en la cuenca baja solo a movimientos en masa de impacto moderado como es el caso de los centro poblados de La Ccollpa y Fatima.

- **Nivel de Peligro Global Bajo**

Por otro lado, el modelo señala que los niveles de peligro global Bajo se localizan casi en su totalidad en la cuenca baja y representan áreas en las que la acción de los fenómenos atmosféricos externos es mucho menos intensa, respecto a los casos anteriores; fisiográficamente, se caracterizan por presentar un relieve con pendientes menores a 15% con excepciones donde la pendiente también es mayor. Por otra parte la ocurrencia de movimientos en masa e inundaciones se encuentra en niveles medios y bajos, y la presencia de heladas es prácticamente nula; además las unidades sociales involucradas cuentan con un potencial social alto, lo que atenúa el impacto de cualquier nivel de peligro y las convierte en zonas de bajo riesgo. Cabe resaltar que en estas zonas no hay mucha presencia antrópica; los pocos centros poblados que se ubican en estas zonas se encuentran concentrados en las pampas de irrigación de majes y al norte del distrito de Aplao, así como también de forma aislada, como es el caso de Cicera, San Antonio y Lopez en el Distrito de Huancarqui, Villa Hermosa Pedregal y Hacienda Santa Helena en Uraca; Corrales y San Pedro en Chuquibamba y San Isidro del Labrador en Majes.

Cabe señalar, de acuerdo al submodelo de Geodinamica Interna (Anexo – Figura 73), que la cuenca baja y media son zonas potencialmente sísmicas de grado VII- Destructivo según la escala de Mercalli Modificada; en las que se ubican los sistemas de fallas normales activas: Pampacolca (PC) y Huambo Cabanoconde (HC); las cuales en conjunto significan un riesgo mayor en los espacios involucrados; especialmente en los que existe

peligro Muy Alto y Alto de movimientos en masa. De igual manera, en el Valle del Colca los sismos se clasifican de Grado VII –Muy Fuerte; amenazados a su vez por la actividad volcánica del Sabancaya que se encuentra actualmente en un estado activo; lo que implica actividad sísmica y fumarólica; que se traduce en efectos a la salud y daños materiales, afectando la estructura social y económica de la población involucrada. Por ende es necesario realizar estudios geológicos – geodinámicos y geotécnicos de estos rasgos tectónicos a fin de conocer el impacto y la influencia que tendrían en la cuenca.

El resultado de los submodelos de Inundaciones, Movimientos en Masa, Heladas, Sequías y el modelo de Peligros Múltiples; fueron confirmados por registros históricos de fenómenos ocurridos en la Cuenca Hidrográfica Camna-Majes-Colca; cuyas fuentes fueron las siguientes: Hemerográficas, que incluyen la revisión de 5 periódicos de circulación nacional. Oficiales, referidos a registros de Eventos Extremos y Emergencias del INDECI, 2012. Campo, mediante la información observada y recibida por parte de los actores de la cuenca.

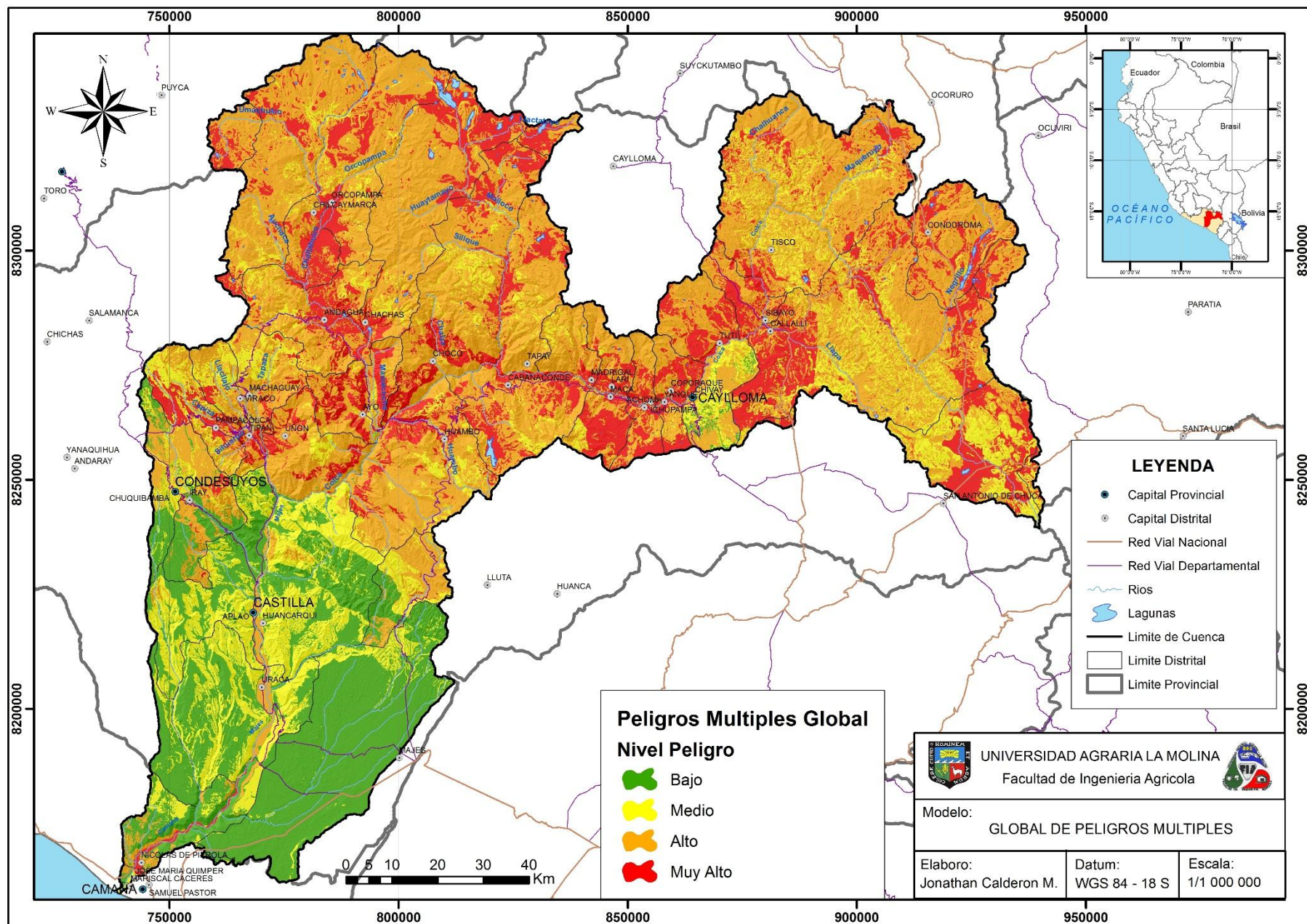


Figura 62: Modelo Global de Peligros Múltiples de la cuenca Camana-Majes-Colca

## V. CONCLUSIONES

- Se identificaron zonas vulnerables a peligros múltiples; categorizando el territorio (1 715 273 ha) en los siguientes niveles: Muy Alto, que representa el 18.8% de la cuenca, 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.
- Se diseñó y construyó la Base de Datos Geoespacial, en el cual se almacenaron 19 variables temáticas: físicas, bióticas y socioeconómicas; 06 sub-modelos tales como Inundaciones, Movimientos en Masa, Heladas, Sequias, Unidades Sociales e Infraestructura; 03 modelos, Peligros Múltiples, Vulnerabilidad Social y el Modelo global.
- Se generó el modelo de Peligros Múltiples mediante la integración de variables físicas; el cual revela que 389 897 ha del ámbito de estudio, se encuentran en niveles de peligro Muy Alto, dicho nivel originado por la presencia de pendientes pronunciadas, intensas precipitaciones, escasa cobertura vegetal, asociado a un comportamiento extremo climático, principalmente en la cuenca media y alta. El modelo generó 179 054 ha en niveles de peligro Bajo, caracterizado principalmente por pendientes suaves y poca precipitación.



- Mediante el modelamiento Social se determinó que el 23.6% de los distritos se encuentran en vulnerabilidad Muy Alta entre los cuales se tiene: Uñon, Ichupampa, Chilcaymarca Madrigal, Cayarani, Chachas, Choco; dicha característica social baja incide de forma negativa en escenarios de desastre. Asimismo nos indica que el 19.7% se encuentran en vulnerabilidad Baja, entre los cuales se tiene a Majes, Chuquibamba, Uraca, Aplao y Chivay; estas condiciones contribuyen en forma positiva a superar los efectos de los desastres.

## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar la base de datos geoespacial generada en el presente trabajo de investigación, para la planificación y ejecución de proyectos enfocados a la Gestión de Riesgo de Desastres; asimismo priorizar las zonas con niveles de peligro Muy Alto, tales como Pampacolca, Madrigal, Lari, Chilcaymarca, Yanque; en la implementación proyectos orientados a la recuperación de tierras degradadas mediante técnicas de conservación y protección de bajo costo, como zanjias de infiltración, diques para control de cárcavas y trabajos de reforestación en las partes altas.
- Se recomienda en las zonas de peligro Muy Alto por inundaciones, tales como los valles de Camana, Majes y Chivay adoptar medidas estructurales para la protección de los márgenes del río, estableciendo defensas ribereñas como enrocados y gaviones.
- Se recomienda el uso del SIG y Teledetección como herramienta útil para realizar una caracterización física, biótica y socioeconómica y generar modelos geoespaciales, que permitan generar planes: Gestión de Riesgos, Recursos Hídricos y planes con fines de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.
- Se recomienda realizar una integración de variables mediante ecuaciones de tipo cuadrática, exponencial, potencial, etc., para describir la incidencia de estas sobre un fenómeno físico, realizando el ajuste mediante estudios y datos de campo; para el desarrollo de futuras investigaciones de este tipo.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2015. Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Camana-Majes-Colca – Informe Final. pp. 840 Disponible en: <http://www.snirh.gob.pe/portalsnirh/index.php/en/>
- Baeza, F. 1993. Las Heladas y su incidencia económica en la agricultura de Murcia”, papeles de Geografía, N° 19, pág. 37-51. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=105486>
- Bakker, X; Perez, F. 2001. “Taller de análisis y modelamiento en el formato raster”. Colombia. Publicado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Burrough, P.A, 1986, Principles of Geographical Information Systems for Land Ressources Assessment. Oxford, Oxford University Press.
- Child, C. 2004. Interpolating surfaces in ArcGIS Spatial Analyst. (en línea). ESRI (Environmental Systems Research Institute, US). Consultado 4 abr. 2017. Disponible en: <http://www.esri.com/news/arcuser/0704/files/interpolating.pdf>
- Dirección General de Asuntos Ambientales – DGAA. 2009. Reglamento de Clasificación de Tierras. D.S. N° 017-2009-AG. Lima Perú. 18 pp.
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, Ministerio de Transportes y Comunicaciones (DGCF-MTC). 2008. Glosario de términos de uso frecuentes en proyectos de infraestructura vial. Lima – Perú.
- Dirección General de Programación Multianual del Sector Público, Ministerio de Economía y Finanzas (DGPM-MEF). 2007. Pautas metodológicas para la incorporación del análisis del riesgo de desastres en los Proyectos de Inversión Pública. 1° ed. Lima – Perú. 97 pp.

- Dirección General de Programación Multianual del Sector Público, Ministerio de Economía y Finanzas (DGPM-MEF). 2006. Conceptos asociados a la gestión del riesgo de desastre en la planificación e inversión para el desarrollo. 1° ed. Lima – Perú. 59 pp.
- Dirección General de Política de Inversiones, Ministerio de Economía y Finanzas (DGPI-MEF). 2013. Conceptos asociados a la gestión del riesgo en un contexto de cambio climático: aportes en apoyo de la inversión pública para el desarrollo sostenible. 1° ed. Lima – Perú. 84 pp.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 2002. ¿Qué es ArcGIS? EE.UU. Disponible en: [http://downloads.esri.com/support/whitepapers/ao\\_/what-is-arcgis-spanish.pdf](http://downloads.esri.com/support/whitepapers/ao_/what-is-arcgis-spanish.pdf)
- INGEMET. Fidel, L; Zavala, B. 1994. Estudio geodinámico de la cuenca Camana-Majes (Colca). Dirección General de Geología. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Arequipa.
- Flores, R. 2016. Modelamiento Geoespacial para la Determinación del Grado de Vulnerabilidad, Distrito Leimebamba – Amazonas. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- González, O. C; Torres C. F. (2012). Actualización Nota Técnica Heladas 2012. 1.03.16, de Instituto de Hidrológica Meteorología y estudios Ambientales. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21147/Documento+FINAL+actualizacion+nota+tecnica+heladas.pdf/e10a0183-62e6-410a-8e96-7e0739f6f06b>
- Guevara, M. Geodinámica Externa. Consultado 27 abr 2017. Disponible en la BVPAD, INDECI (Biblioteca Virtual del INDECI): <http://bvpad.indeci.gob.pe/html/es/maestria-grd/documentos/TEER/geologia-mrg.pdf>

- IGP (Instituto Geofísico del Perú). 2014. Investigación sobre volcanes activos en el sur del Perú – Reporte Técnico Especial. 40 pp. Disponible en: [http://ovs.igp.gob.pe/sites/ovs.igp.gob.pe/files/pdf/BOLETINES/volcanes\\_4\\_no\\_viemnbre\\_2014.pdf](http://ovs.igp.gob.pe/sites/ovs.igp.gob.pe/files/pdf/BOLETINES/volcanes_4_no_viemnbre_2014.pdf)
- IGP (Instituto Geofísico del Perú). 2002. Geodinámica, sismicidad y energía sísmica en Perú. Centro Nacional de Datos Geofísicos. Disponible en: [http://www.igp.gob.pe/portal/images/documents/64/publicaciones/otras\\_publicaciones/monografias/sismicidad\\_tectonica\\_peru\\_Bernal\\_Tavera.pdf](http://www.igp.gob.pe/portal/images/documents/64/publicaciones/otras_publicaciones/monografias/sismicidad_tectonica_peru_Bernal_Tavera.pdf)
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2015. Mapa de Pobreza Provincial y Distrital 2013. Lima. 168 pp.
- INGEMET (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico). 2013. Resúmenes extendidos del “Foro internacional, peligros geológicos - volcanes, sismos y movimientos en masa”. Lima. 220 pp.
- INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil). 2010. Atlas de Peligros del Perú. [http://www.indeci.gob.pe/atlas\\_10/index\\_final2.html](http://www.indeci.gob.pe/atlas_10/index_final2.html)
- Jimenez, D. 2013. Tecnología SIG en apoyo al análisis y desarrollo metodológico de riesgos ocasionados por fenómenos naturales para el cantón Mejía, Provincia de Pichincha, Ecuador. (Tesis de Postgrado). Quito, Ecuador. Universidad San Francisco de Quito.
- Joly, F. 1988. La cartografía. Oikos-Tau. Barcelona.
- Longley, P; Goodchild, F; Maguire, D; Rhind, D. 2011. Geographic information systems & science. third. Hoboken, NJ: Wiley.
- Lucero, S.R. 2013. Modelamiento a través de un SIG para la zonificación agroecológica de los principales cultivos (papa, maíz, cebolla blanca, cebada y pasto) dentro de la parroquia de Alóag. (Tesis de postgrado). Universidad San Francisco de Quito.

- Maskrey, A. 1998. NAVEGANDO ENTRE BRUMAS. La Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica al Análisis de Riesgo en América Latina. 11 pp.
- McKee, T. B; Doesken, N. J; Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. 9th AMS Conference on Applied Climatology. Dallas, Texas. p. 233–236.
- Mesa de Concertación para la Lucha contra la Pobreza (MCLP). 2009. Gestión del Riesgo de Desastres para la Planificación del Desarrollo Local. Lima, Perú.
- Meza, C. 2006. Modelamiento SIG para identificar cambios del Rio Ucayali y su influencia ambiental (Sector Pucallpa). (Tesis de postgrado).
- MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2010. Guía Técnica de Modelamiento SIG para la Zonificación Ecológica Económica. Dirección General de Ordenamiento Territorial.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2011. Memoria descriptiva del mapa de vulnerabilidad física del Perú: herramienta para la gestión del riesgo. (en línea). 1° ed. Lima. 67 pp. Consultado 19 Mar. 2017. Disponible en <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/handle/minam/537>
- Ministerio del Ambiente. (2008-2016). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú- SENAMHI. <http://www.senamhi.gob.pe/?p=1001>.
- Ministerio de Economía y Finanzas y GTZ. 2006. Conceptos asociados a la gestión del riesgo de desastres en la planificación e inversión para el desarrollo, Editorial Stampa Gráfica SAC-Lima-Perú, p. 10-38.
- Ocala, L. 2007. Peligro, Vulnerabilidad, Riesgo y la Posibilidad de desastres sísmicos en el Perú. Revista Geofísica, p. 61, 82–125.
- Ochoa, J.M. 2014. Modelamiento Geoespacial para la Determinación del Grado de Vulnerabilidad Cuenca Hidrográfica Jequetepeque. Ing. Agrícola. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 195 pp.

- Ochoa, R. 2010. Estudios de Máximas Avenidas en las Cuencas de la Vertiente del Pacífico – Cuencas de la Costa Sur. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos. Autoridad Nacional del Agua – ANA. Lima.
- OMM/UNESCO. 1974. Glosario hidrológico internacional. WMO/OMM/BMO, No. 385. Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial. Suiza.
- Oviedo, B; Rojas, N. 2013. Método aplicado para la evaluación de series de datos meteorológicos para estaciones automáticas. (en línea). Consultado 4 abr. 2017. Bogotá, Colombia. Disponible en: [http://www.ing.unal.edu.co/grupos/calidad\\_aire/doc/2013/012.pdf](http://www.ing.unal.edu.co/grupos/calidad_aire/doc/2013/012.pdf)
- Pérez de Armiño, K. 1999. Vulnerabilidad y desastres. Causas estructurales y procesos de la crisis de África, en Cuadernos de Trabajo. HEGOA. Universidad del País Vasco. Bilbao.
- Pérez de Armiño, K. 2000. Diccionario de acción humanitaria y cooperación al desarrollo. Icaria, Barcelona.
- PREDES (Centro de Estudios y Prevención de Desastres). 2012. Amenazas ante eventos de movimientos en masa e inundaciones, áreas críticas y medidas de mitigación en la región Cusco. 1º ed. Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC - Perú.
- PNUD. 2013. Informe sobre desarrollo humano (IDH) Perú 2013. Cambio climático y territorio: Desafíos y respuestas para un futuro sostenible. Lima. p. 216-219.
- Radilla, F. 2008. Modelado de datos para base de datos espaciales. Caso de estudio: Sistema de Información Geográfica. (Tesis Postgrado). México, D.F. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
- Rivas, N.W. 2017. Identificación de zonas vulnerables, aplicando el sistema de información geográfica, Unidad Hidrográfica Chira-Piura. Ing. Agrícola. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Ríos, S. 1995. Modelización. AU 822. Alianza Ediciones. Madrid.
- Ritchman, C. 2006. A GIS Method for Determining Volumetric Flow in a Riverine Channel. Saint Mary's University of Minnesota Central Services Press. Winona, MN. 8 pp. Disponible en: <http://www.gis.smumn.edu/GradProjects/RichtmanC.pdf>
- Salazar, O. Luís y Cortez L. 2002. Gestión Comunitaria de Riesgos. Editorial Foro Ciudades para la Vida. Lima – Perú. Pág. 12.
- Sánchez, D; Egea, C. 2011. Enfoque de vulnerabilidad social para investigar las desventajas socioambientales. Su aplicación en el estudio de los adultos mayores. Universidad Autónoma de Nuevo León. Universidad de Granada.
- SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2013. Cuenca Hidrográficas Fundamentos y Perspectivas para su Manejo y Gestión. 1º ed. México. 36 pp.
- Servicio Nacional de Geología y Minería. 2007. Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Publicación Geológica Multinacional No. 4.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2015. Regionalización y Caracterización de Sequías en el Perú. Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos. Lima, PE.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2016. Reporte extraordinario de condiciones de sequía a Enero del 2016. Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos. Lima, PE.
- SINAGERD (Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, PE) 2014. Plan de acciones en gestión del riesgo de desastres priorizadas para el periodo 2015-2016. Lima. 108 p.
- Soldano, A. 2008. Conceptos sobre Riesgo. Síntesis temática realizada para el Foro Virtual de la RIMD creado para la Capacitación en Teledetección Aplicada a la Reducción del Riesgo por Inundaciones. Córdoba. Argentina. 5 pp.



- UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (UNISDR) 2004. Let's learn to prevent disasters. Disponible en: <http://www.unisdr.org/2004/campaign/bookleteng/Booklet-english.pdf>
- Valenzuela, G. 1989. Qué es un SIG y sus alcances. Revista Mapa y mapas. Argentina.
- Vera, R.M. 2014. Los nuevos índices de desarrollo humano (IDH) en el Perú- Parte Final.
- Vásquez, A. 2000. Manejo de cuencas Altoandinas, Tomo I, capítulo IV: Conservación de suelo en el Manejo de Cuencas. 257 p. Perú. Capítulo I: Elementos básicos sobre cuencas hidrográficas. 26 p.

## **VIII. ANEXOS**

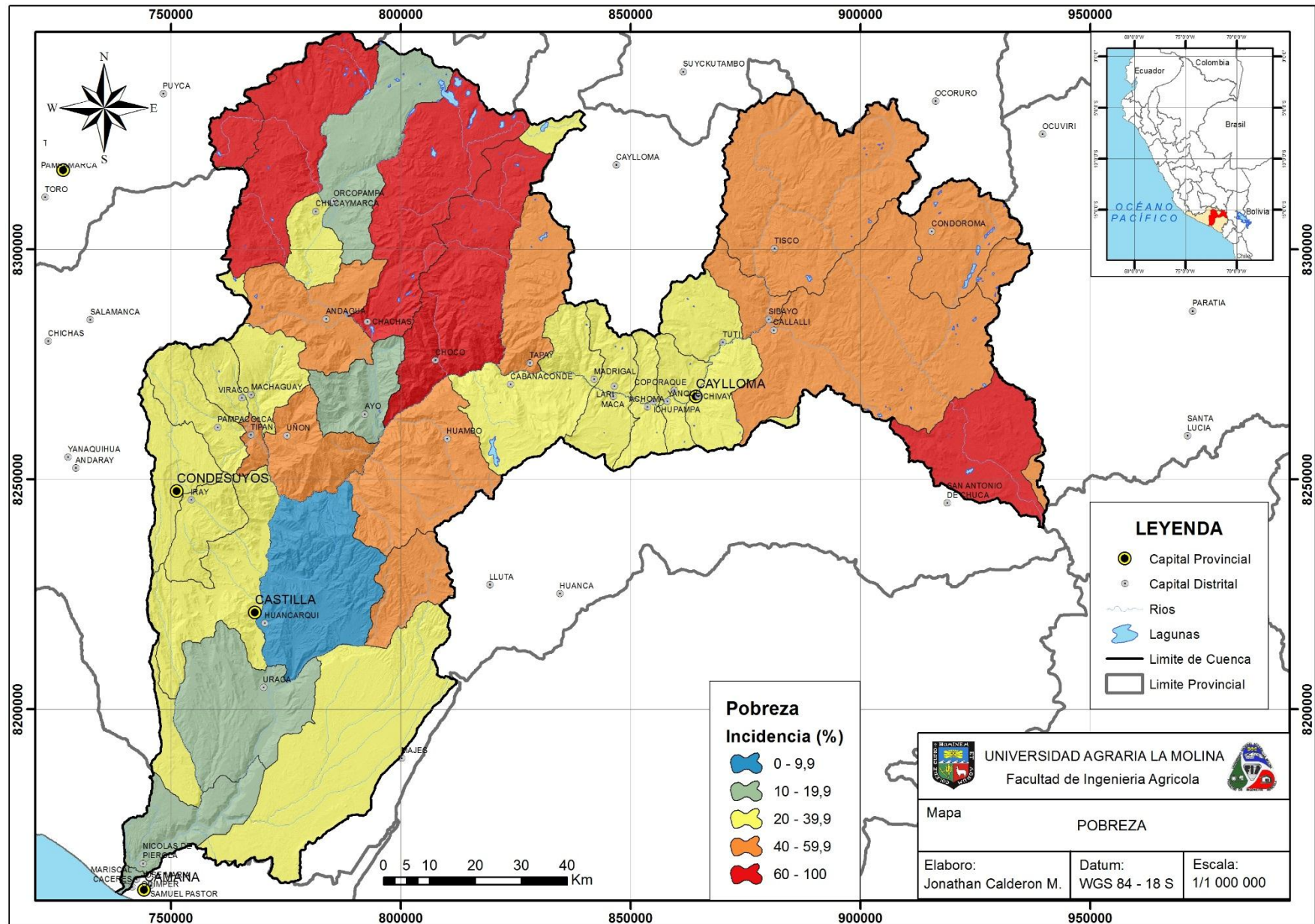


Figura 63: Mapa de Pobreza de la cuenca Camana-Majes-Colca

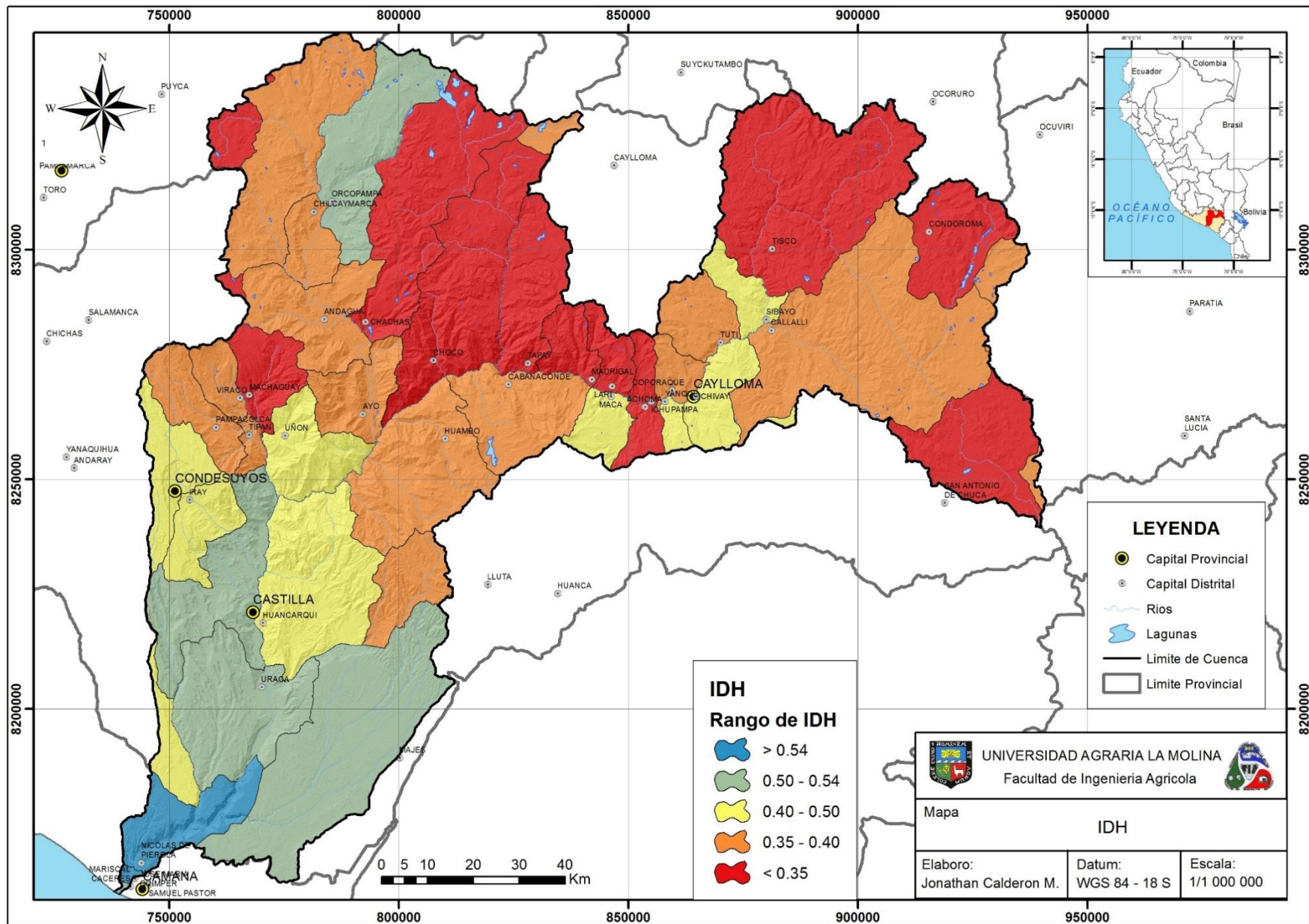


Figura 64: Mapa de IDH de la cuenca Camana-Majes-Colca

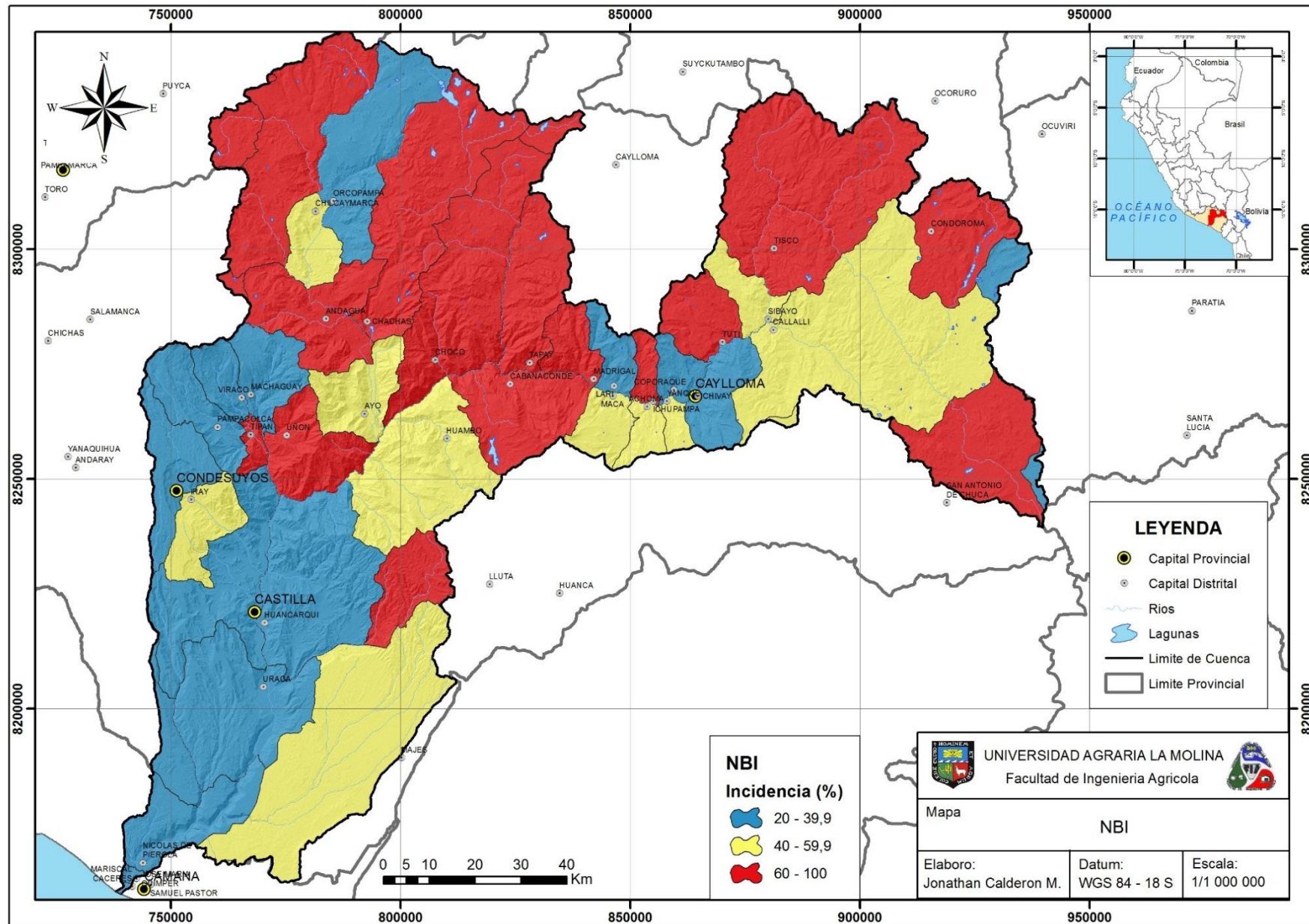


Figura 65: Mapa de NBI de la cuenca Camana-Majes-Colca

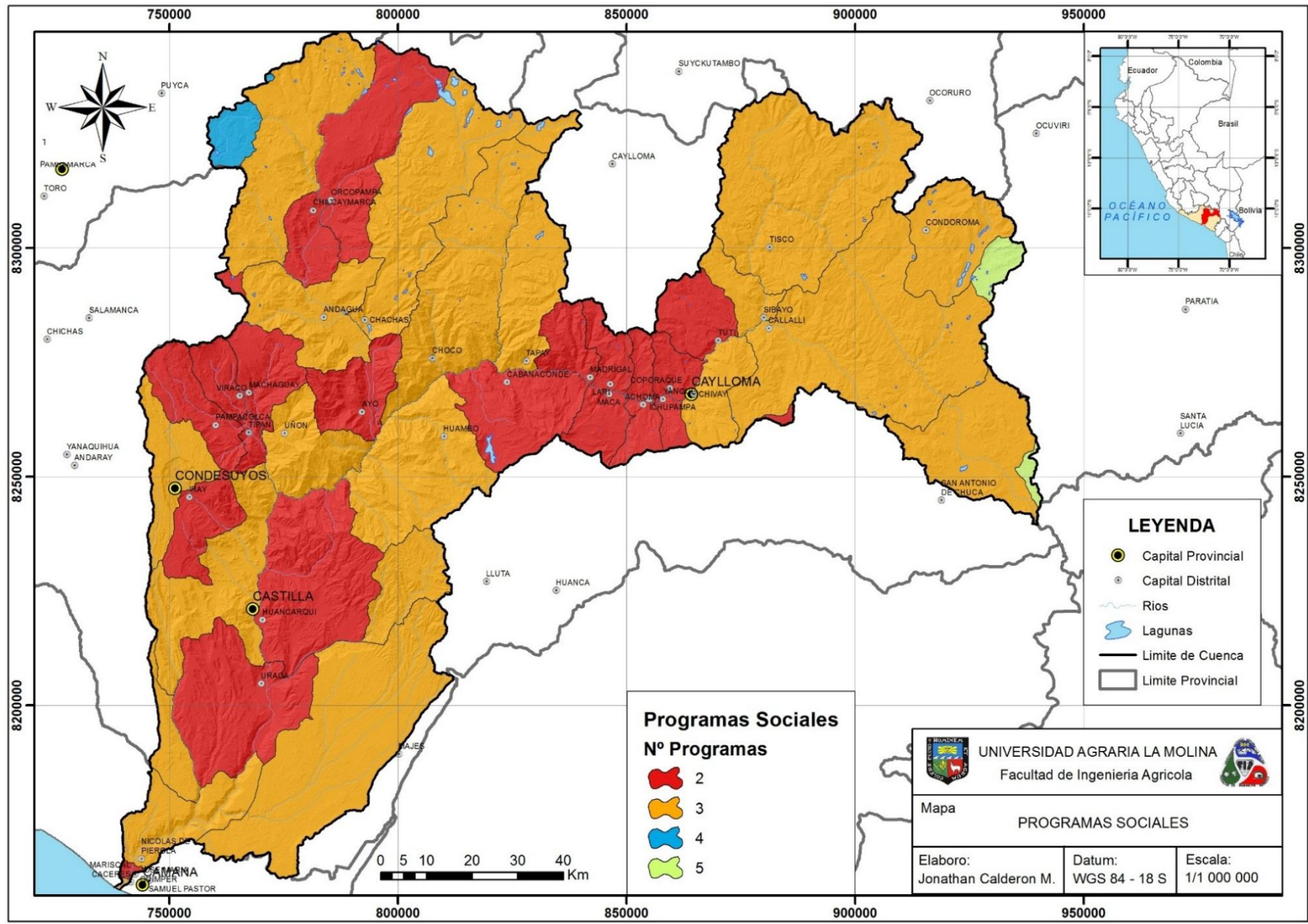


Figura 66: Mapa de Programas Sociales de la cuenca Camana-Majes-Colca

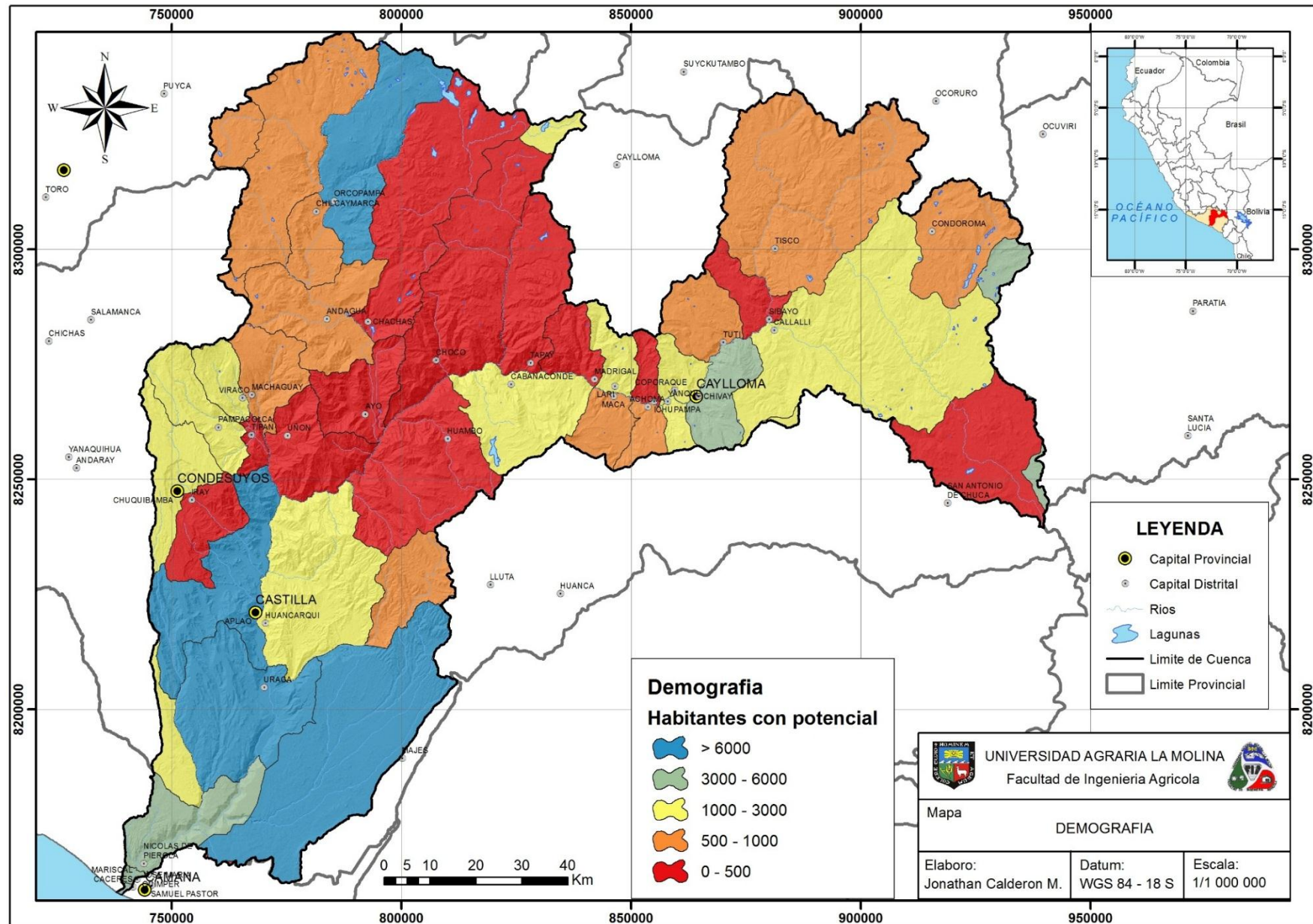


Figura 67: Mapa de Demografia de la cuenca Camana-Majes-Colca

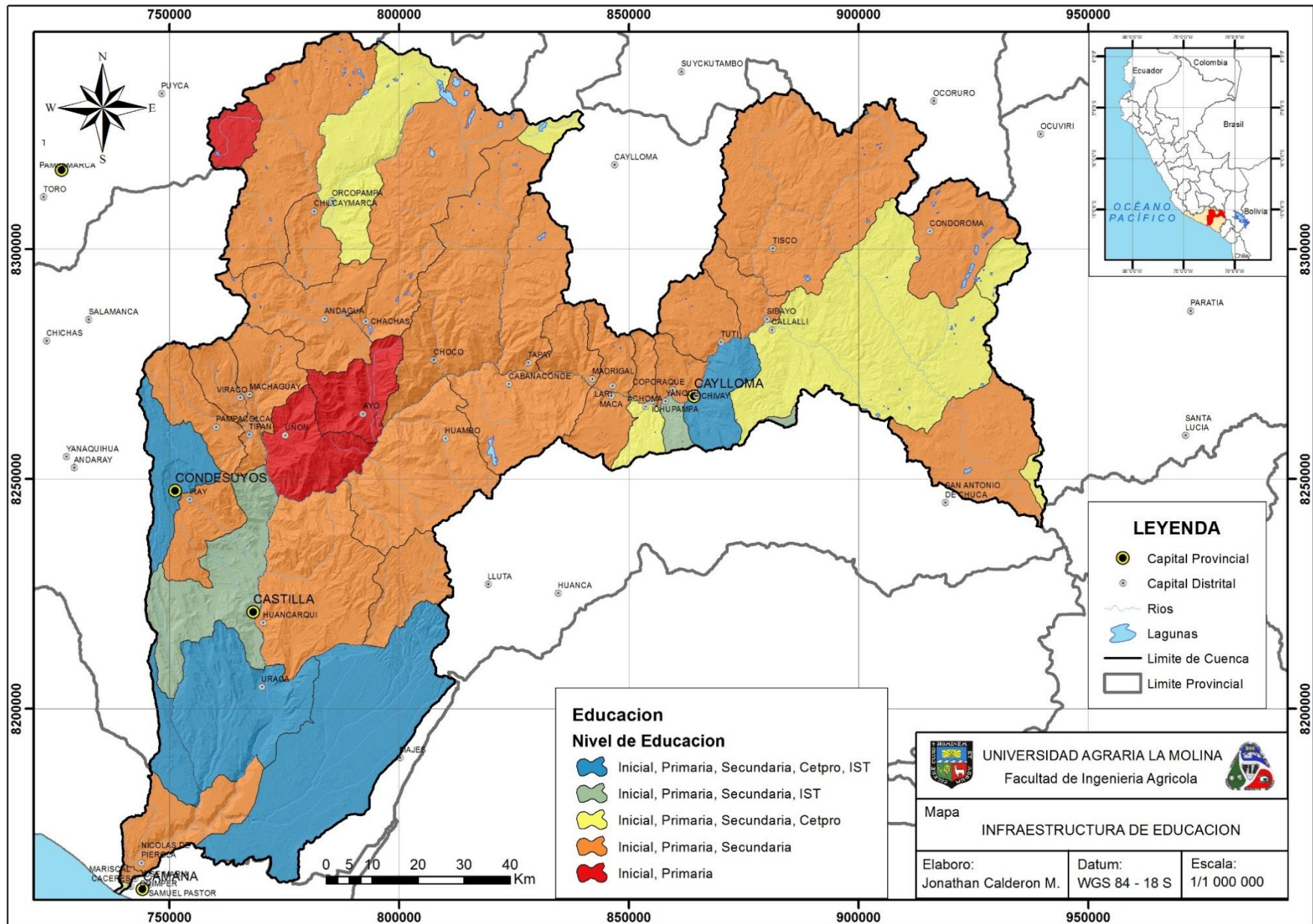
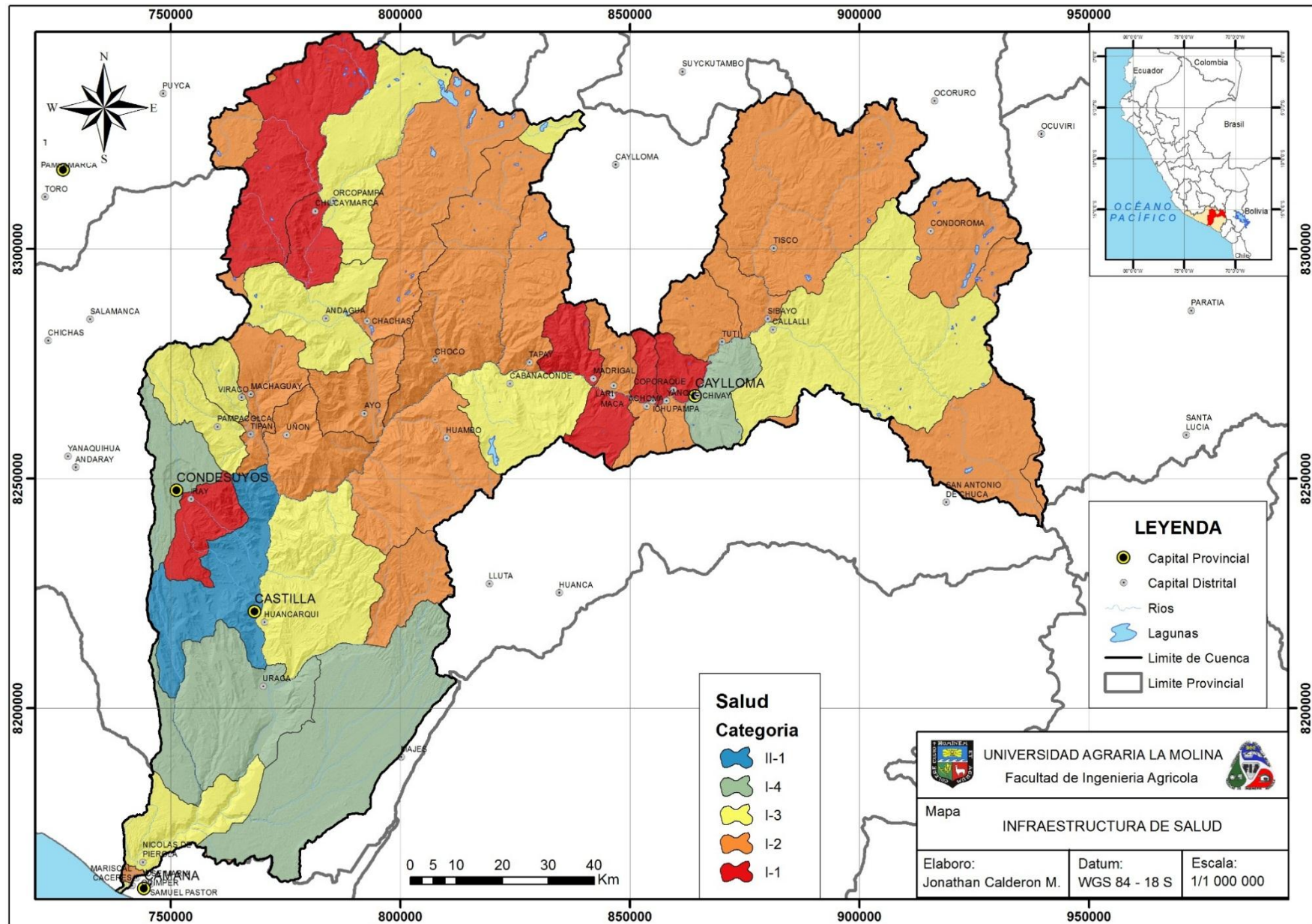


Figura 68: Mapa de Infraestructura de Educación de la cuenca Camana-Majes-Colca





**Figura 69: Mapa de Infraestructura de Salud de la cuenca Camana-Majes-Colca**

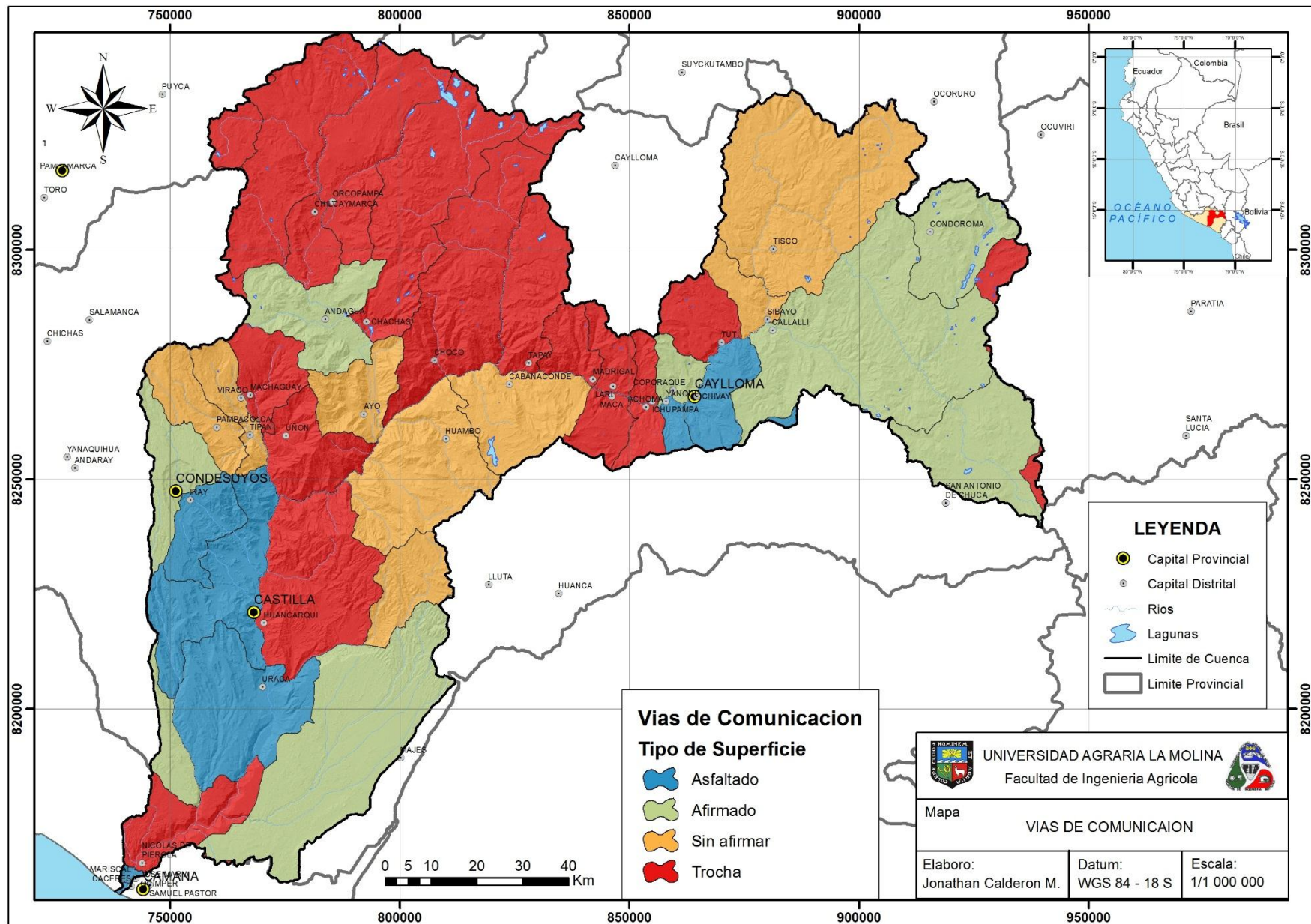


Figura 70: Mapa de Vías de Comunicación de la cuenca Camana-Majes-Colca

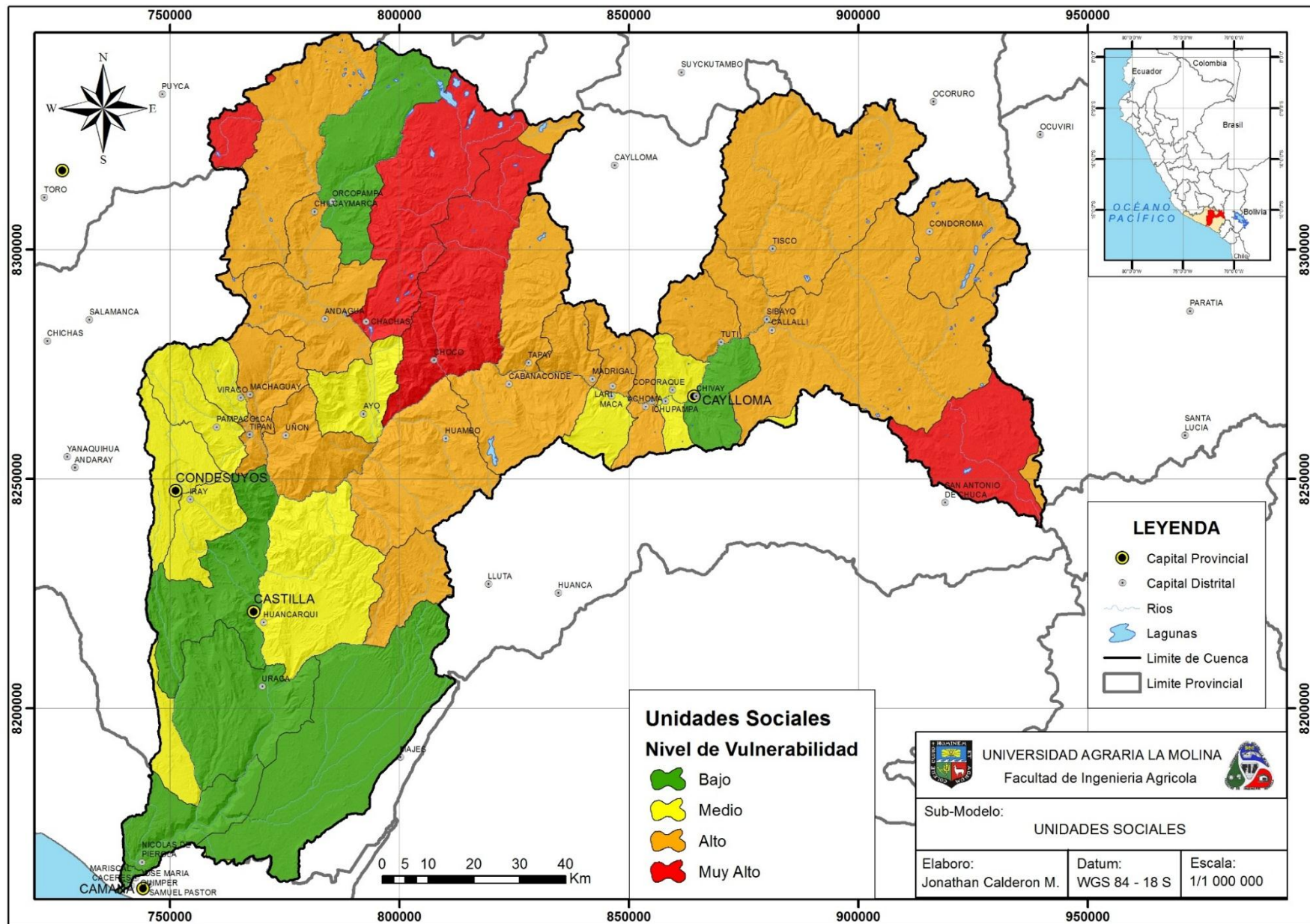
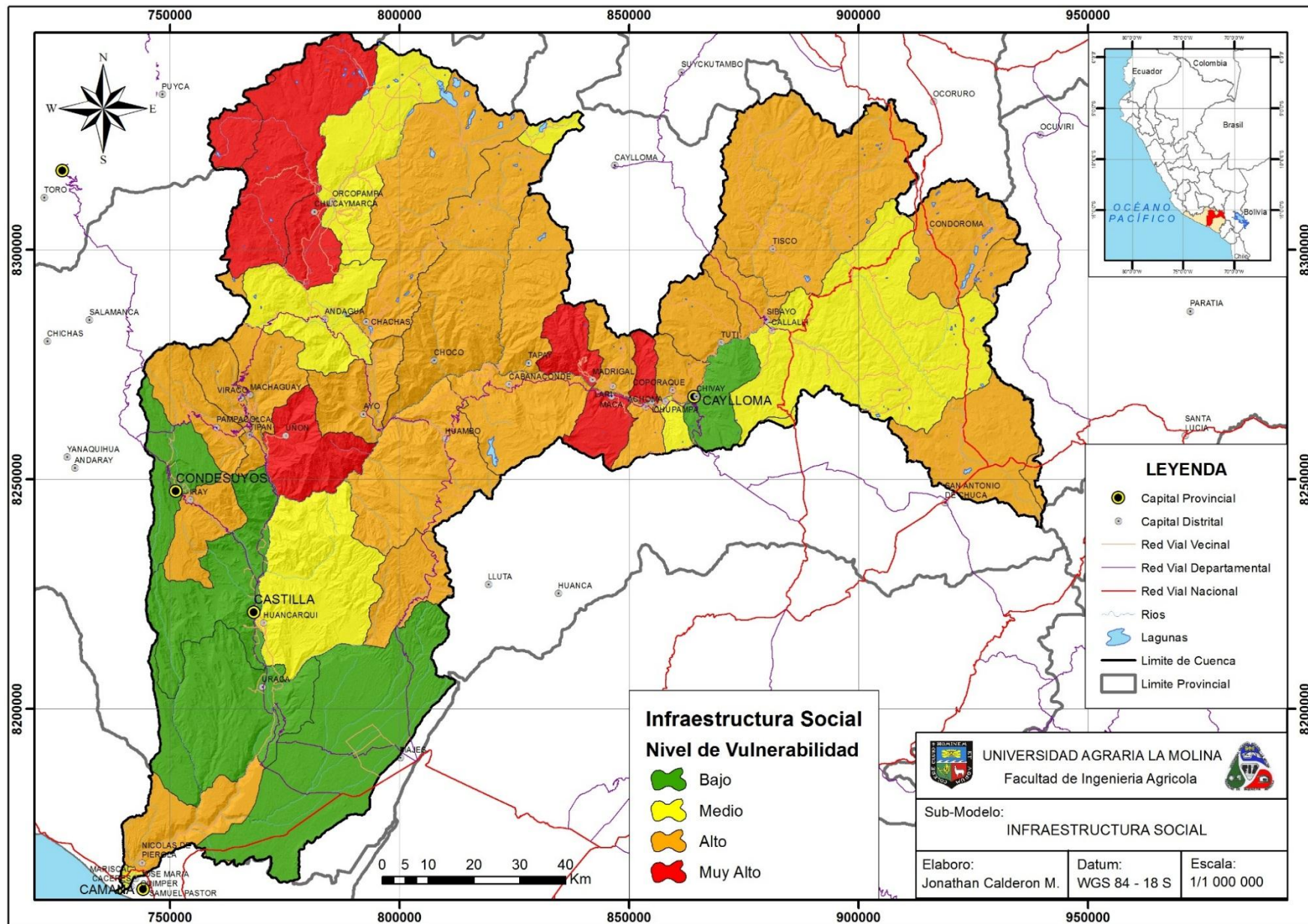
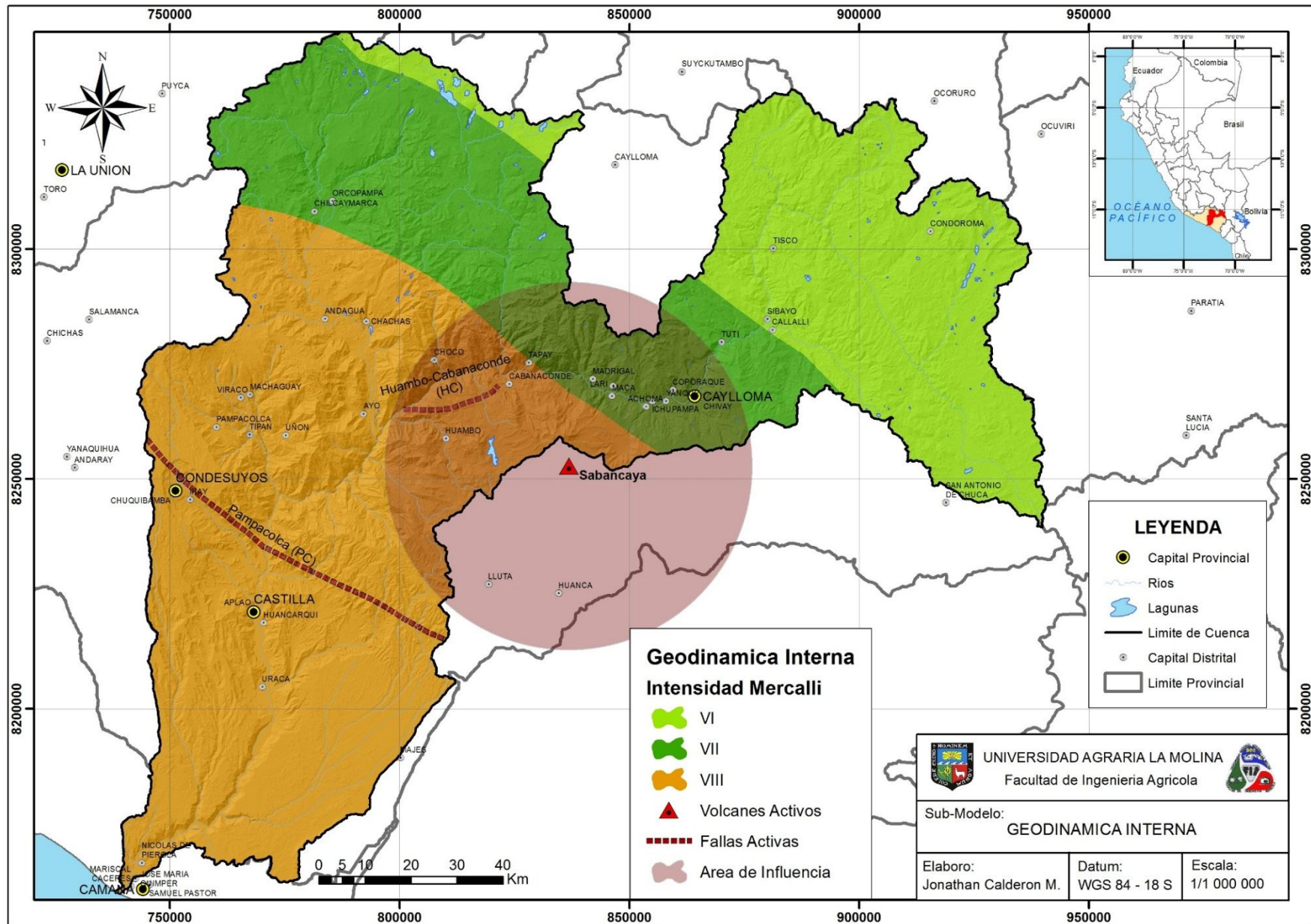


Figura 71: Submodelo de Unidades Sociales de la cuenca Camana-Majes-Colca



**Figura 72: Submodelo de Infraestructura Social de la cuenca Camana-Majes-Colca**



**Figura 73: Submodelo de Geodinámica Interna de la cuenca Camana-Majes-Colca**