

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“MODELAMIENTO GEOESPACIAL PARA LA
DETERMINACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD,
DISTRITO LEIMEBAMBA - AMAZONAS”**

Presentado por:

RICARDO FLORES MARQUEZ

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

Lima – Perú

2016

DEDICATORIA

Dedicado a todos aquellos que forman parte de mi crecimiento,
fortaleza, motivo y pasión para ser mejor cada día

AGRADECIMIENTO

A mis padres, que acompañaron mi esfuerzo desde siempre

A mis hermanos y amigos, mi familia de corazón, con quienes comparto mi vida

A mi Lucero por ser mi compañera, amiga y fortaleza para seguir adelante

A la Oficina Amiga, en especial al Ing. Fernando Paz

A la UNALM, mi alma mater por darme la dicha de ser molinero

Al municipio distrital de Leimebamba por su apoyo en permitirnos aportar a nuestro país

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

Gracias

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	GENERALIDADES SOBRE LA VULNERABILIDAD	3
2.2.	VULNERABILIDAD Y GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES	5
2.2.1.	Vulnerabilidad	5
2.2.2.	Amenaza	7
2.2.3.	Riesgo	8
2.2.4.	Gestión del riesgo de desastres	9
2.3.	CONFLICTOS DE USO DE LA TIERRA	10
2.3.1.	Capacidad de uso mayor	10
2.3.2.	Uso actual y cobertura vegetal	11
2.4.	RIESGO Y VULNERABILIDAD POR EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN	12
2.4.1.	Análisis de consistencia pluviométrica	12
2.5.	TELEDETECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL	15
2.5.1.	Obtención de imágenes satelitales	16
2.5.2.	Interpretación de imágenes satelitales	18
2.5.3.	Validación	21
2.5.4.	Elaboración de información temática de cobertura vegetal y uso actual	25
2.6.	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) Y GEOPROCESAMIENTO	26
2.6.1.	Componentes de un SIG	26
2.6.2.	Funciones de los SIG	27

2.6.3.	Bases de datos (BD)	29
2.7.	MODELAMIENTO GEOESPACIAL PARA ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	35
2.7.1.	Análisis espacial - Geoprocesamiento	36
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1.	ÁMBITO DE ESTUDIO	38
3.1.1.	Características físicas	40
3.1.2.	Características socioeconómicas	44
3.1.3.	Características de los recursos naturales	44
3.2.	MATERIALES Y EQUIPOS	45
3.3.	METODOLOGÍA	46
3.3.1.	Fase Pre-Campo	47
3.3.2.	Fase primera de campo	47
3.3.3.	Fase primera de gabinete	49
3.3.4.	Fase segunda de campo	84
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	91
4.1.	BASE DE DATOS GEOESPACIAL CONSTRUIDA	91
4.2.	INFORMACIÓN TEMÁTICA GENERADA	92
4.2.1.	Información temática de precipitación	92
4.2.2.	Información temática de pendiente	94
4.2.3.	Información temática de cobertura vegetal	96
4.2.4.	Información temática de suelos	98
4.2.5.	Información temática de geología	100
4.2.6.	Información temática de fisiografía – geomorfología	100
4.2.7.	Información temática socioeconómica	101
4.3.	GRADO DE VULNERABILIDAD FÍSICA	101
4.3.1.	Información temática de incidencia a la vulnerabilidad por la precipitación	101

4.3.2. Información temática de incidencia a la vulnerabilidad por la pendiente	104
4.3.3. Información temática de incidencia a la vulnerabilidad por la cobertura vegetal	106
4.3.4. Información temática de incidencia a la vulnerabilidad por la característica de los suelos	108
4.3.5. Información temática de incidencia a la vulnerabilidad por la geología	110
4.3.6. Información temática de incidencia a la vulnerabilidad por la fisiografía y geomorfología	112
4.3.7. Análisis de información temática del modelo geoespacial de vulnerabilidad física	115
4.4. GRADO DE VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA	121
4.4.1. Información temática del submodelo geoespacial de conflicto de uso	121
4.4.2. Información temática del submodelo geoespacial de actividades económicas	123
4.4.3. Información temática del submodelo geoespacial de unidades sociales	126
4.4.4. Información temática del submodelo geoespacial de infraestructura	127
4.4.5. Análisis de la información temática del modelo geoespacial de vulnerabilidad socioeconómica	129
4.5. ANÁLISIS DEL GRADO DE VULNERABILIDAD FÍSICA - SOCIOECONÓMICA	133
V. CONCLUSIONES	136
VI. RECOMENDACIONES	138
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	140
VIII. ANEXOS	148

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1: Categorías de uso actual de tierras según el sistema UGI	11
Cuadro 2: Estructura de matriz de confusión	24
Cuadro 3: Funciones de los SIG	27
Cuadro 4: Clasificación natural de los suelos.....	42
Cuadro 5: Fases por pendiente.....	49
Cuadro 6: Estaciones meteorológicas cercanas a Leimebamba	50
Cuadro 7: Recomendaciones de combinaciones de banda para imágenes Landsat 8	52
Cuadro 8: Distribución de las bandas del satélite Landsat 8 en OLI y TIRS	53
Cuadro 9: Llaves de relaciones entre entidades.....	57
Cuadro 10: Valoración de la información temática de precipitaciones máximas	65
Cuadro 11: Valoración de la información temática de pendientes	65
Cuadro 12: Valoración de la información temática de suelos	66
Cuadro 13: Valoración de la información temática de fisiografía.....	68
Cuadro 14: Valoración de la información temática de geomorfología	69
Cuadro 15: Valoración de la información temática de geología	70
Cuadro 16: Valoración de la información temática de cobertura vegetal	71
Cuadro 17: Valoración de la información temática de conflicto de uso	74
Cuadro 18: Valoración de la información temática de frentes económicos	76
Cuadro 19: Valoración de la información temática de uso actual	77
Cuadro 20: Valoración de la información temática de NBI	78
Cuadro 21: Valoración de la información temática de programas sociales	78
Cuadro 22: Sistemas estratégicos en situación de riesgo de desastre	79
Cuadro 23: Valoración de la información temática de infraestructura de salud	80
Cuadro 24: Valoración de la información temática de infraestructura de educación.....	80
Cuadro 25: Valoración de la información temática de red vial	81
Cuadro 26: Valoración de la información temática de infraestructura sanitaria	82
Cuadro 27: Valoración de la información temática de infraestructura eléctrica	83
Cuadro 28: Valoración de la información temática de infraestructura de telecomunicaciones.....	83
Cuadro 29: Factores de ponderación de variables	85
Cuadro 30: Matriz de error para el modelo de vulnerabilidad física - socioeconómica.....	89

Cuadro 31: Matriz de error para el modelo de vulnerabilidad física.....	90
Cuadro 32: Matriz de error para el modelo de vulnerabilidad socioeconómica.....	90
Cuadro 33: Grados de incidencia resultantes por precipitación	102
Cuadro 34: Grados de incidencia resultantes por pendiente.....	104
Cuadro 35: Grados de incidencia resultantes por cobertura vegetal	106
Cuadro 36: Grados de incidencia resultantes por características de los suelos	108
Cuadro 37: Grados de incidencia resultantes por geología	110
Cuadro 38: Grados de incidencia resultantes por fisiografía-geomorfología.....	112
Cuadro 39: Grados de vulnerabilidad física del distrito Leimebamba	119
Cuadro 40: Situación de conflicto de uso del territorio distrital.....	121
Cuadro 41: Situación de vulnerabilidad por actividades económicas	124
Cuadro 42: Grado de vulnerabilidad socioeconómica del distrito Leimebamba.....	131
Cuadro 43: Grado de vulnerabilidad física y socioeconómica del distrito Leimebamba ..	134

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Relación $\sum P_i - \sum PPA$	13
Figura 2: Organización jerárquica de los criterios de interpretación visual	19
Figura 3: Esquemas de muestreo regularmente usados	23
Figura 4: Niveles de abstracción de la arquitectura ANSI	32
Figura 5: Relación entre los modelos lógicos y conceptuales de datos	33
Figura 6: Proceso de análisis espacial	37
Figura 7: Mapa de ubicación del área de estudio (distrito Leimebamba)	38
Figura 8: Modelo de Elevación Digital del ámbito de estudio	39
Figura 9: Esquema metodológico desarrollado	46
Figura 10: Esquema conceptual (UML) base de datos de factores sociales.....	56
Figura 11: Esquema Lógico base de datos de factores sociales	57
Figura 12: Esquema conceptual UML de BDG integrada.....	59
Figura 13: Esquema lógico de BDG integrada (*)	61
Figura 14: Flujograma de Geoprocesamiento	63
Figura 15: Modelo de geoproceso para información temática física.....	86
Figura 16: Modelo de geoproceso para el submodelo de vulnerabilidad física	86
Figura 17: Modelo de geoproceso para información temática socioeconómica	87
Figura 18: Modelo de geoproceso para el submodelo de vulnerabilidad socioeconómica .	88
Figura 19: Modelo de geoproceso para el modelo de vulnerabilidad física – socioeconómica	88
Figura 20: Mapa de precipitaciones.....	93
Figura 21: Mapa de pendientes.....	95
Figura 22: Mapa de cobertura vegetal	97
Figura 23: Mapa de unidades de suelos.....	99
Figura 24: Mapa de grado de incidencia a vulnerabilidad por precipitación	103
Figura 25: Mapa de grado de incidencia a vulnerabilidad por pendiente.....	105
Figura 26: Mapa de grado de incidencia a vulnerabilidad por cobertura vegetal.....	107
Figura 27: Mapa de grado de incidencia a vulnerabilidad por características de suelos ...	109
Figura 28: Mapa de grado de incidencia a vulnerabilidad por geología	111
Figura 29: Mapa de incidencia a vulnerabilidad por fisiografía-geomorfología.....	114
Figura 30: Mapa del modelo geoespacial de vulnerabilidad física	120

Figura 31: Mapa de submodelo geoespacial de conflicto de uso	122
Figura 32: Mapa de submodelo geoespacial de actividades económicas	125
Figura 33: Mapa de submodelo geoespacial de vulnerabilidad socioeconómica	132
Figura 34: Mapa de modelo geoespacial de vulnerabilidad física-socioeconómica	135

ANEXOS

Anexo 1: Ficha del cuestionario para recopilación de datos socio económicos.....	148
Anexo 2: Diccionario de datos de la base de datos socioeconómica.....	149
Anexo 3: Diccionario de datos de la base de datos geoespacial integrada.....	157

RESUMEN

El análisis de vulnerabilidad forma parte del proceso de gestión de riesgo como herramienta fundamental para conocer la susceptibilidad del territorio frente a eventos extremos. Se vienen desarrollando metodologías que involucran el modelamiento geoespacial mediante tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y teledetección. La región Amazonas ha sido catalogada de alta vulnerabilidad física, por ello es necesario desarrollar estudios a mayor detalle como el presente trabajo, en el cual el ámbito de análisis fue el distrito Leimebamba, provincia Chachapoyas. El objetivo de la investigación fue determinar el grado de vulnerabilidad en el aspecto físico y socioeconómico mediante el análisis y modelamiento geoespacial en plataforma SIG. Se diseñó y construyó la base de datos geoespacial del distrito; luego, las unidades de cada factor fueron valoradas en función de su grado de vulnerabilidad para ser integradas en submodelos. Así mismo, se aplicaron factores ponderativos considerando la incidencia de cada variable en el ámbito correspondiente. Los resultados muestran patrones de vulnerabilidad física-socioeconómica media en 26.40% del territorio incluyendo los centros poblados de la zona norte como el centro poblado (CP) Leimebamba, Dos de Mayo y Palmira; otros CP de menor tamaño como Ishpingo y Miraflores tienen alta vulnerabilidad siendo parte del 5.53% del área total; mientras que la zona centro sur distrital mantiene un grado muy alto de vulnerabilidad con únicamente 0.14%. Si bien el 62.24% del distrito se identificó de baja vulnerabilidad, ello se debe en gran medida a la distribución heterogénea de los asentamientos antrópicos. En ello, los bajos niveles de organización social frente a escenarios de riesgo multiplican el grado de vulnerabilidad. Finalmente se recomienda desarrollar estudios a detalle de las interacciones que conlleven a la valoración de alternativas de protección o control y con la información generada propiciar los planes de gestión del riesgo en el distrito.

Palabras clave: vulnerabilidad, modelamiento geoespacial, sistemas de información geográfica

ABSTRACT

The vulnerability analysis is part of the risk management process as an essential tool to know the susceptibility of territory against extreme events. Methodologies are being developed involving geospatial modeling technology using Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing. The Amazon Region has been ranked as a High Physical Vulnerability, it is therefore necessary to develop more detailed studies like this work, in which the area of the analysis was in the District of Leimebamba, Chachapoyas Province. The aim of the research was to determine the degree of vulnerability in the physical and socio-economic aspect by the analysis and Geospatial model in the SIG platform. The district's geospatial data base was designed and built; then, the units of each factor were assessed according to their degree of vulnerability to be integrated into sub models. In addition, ponderative factors were applied considering the incidence of each variable in the relevant field. The results show patterns of physical-average socioeconomic vulnerability in 26.40% of the territory including the towns of the north zone as the town center (CP) Leimebamba, Dos de Mayo and Palmira; other smaller CP's like Ishpingo and Miraflores have a high vulnerability susceptibility being part of 5.53% of the total area. Meanwhile, the south central area district maintains a very high degree of physical-socio-economic vulnerability with only 0.14%. While the district was identified with a 62.24% of low vulnerability, this is largely due to the heterogeneous distribution of anthropic settlements. Therein, the low levels of social organization against risk scenarios multiply the degree of vulnerability. Finally, it's recommended to develop detailed studies of interactions that lead to the assessment of alternative protection or control and with the information generated promote risk management plans in the district.

Keywords: vulnerability, geospatial modeling, geographic information systems

I. INTRODUCCIÓN

El Perú tiene una amplia variabilidad en cuanto a sus características orográficas, climáticas y de recursos teniendo en cuenta cada una de sus regiones altitudinales al igual que con el comportamiento de las tres grandes vertientes que lo componen: la del Pacífico, la del Atlántico y la del Titicaca. Todo esto origina una distribución heterogénea de los recursos y de la población afín, constituyendo así distintas situaciones en una misma nación. Sobre las características expuestas, un conjunto de eventos extremos, influenciados por el cambio climático, propician zonas de alto riesgo a desarrollar desastres si las medidas necesarias para su gestión no son desarrolladas. Pues, como lo indica Salgado (2005) el inicio de los desastres viene dado directamente por la presencia de un evento natural; pero, son la vulnerabilidad humana, la degradación ambiental, el crecimiento demográfico y la falta de preparación y educación los factores que dominan los procesos. En consecuencia, el concepto de vulnerabilidad está referido al grado de eficacia de un grupo social para adecuar su territorio frente a aquellos cambios que incorporan riesgos (Calvo, citado por Durán Gil 2012).

Por lo expuesto, es de gran importancia realizar trabajos que impliquen la intervención durante y después del evento detonante, permitiendo a la comunidad afectada mejorar sus capacidades de preparación y reacción frente a la amenaza. En tal sentido, realizar el análisis de vulnerabilidad otorga a la población potencialmente afectada una herramienta básica para iniciar la planificación y ejecución de acciones de prevención, reducción y control de riesgos.

Considerando el desarrollo tecnológico y científico con las últimas tecnologías como la plataforma en Sistemas de Información Geográfica y la Teledetección, se vienen desarrollando metodologías para la ubicación e identificación de zonas vulnerables a través del modelamiento geoespacial, pues, dichas tecnologías permiten describir, explicar, pronosticar y planear las acciones a tomar en cuenta sobre situaciones de riesgo.

En este contexto, se vienen desarrollando diversos estudios a fin de identificar zonas y patrones de vulnerabilidad en el territorio nacional, por ejemplo, la elaboración del Mapa de Vulnerabilidad Física del Perú elaborado por el MINAM (2011) donde se identificó a la región Amazonas como uno de los diez departamentos con niveles más altos de susceptibilidad física a peligros múltiples. En el mencionado documento se recomendó la realización de estudios a mayor detalle para implementar medidas de prevención y mitigación del riesgo.

En base a lo expuesto, el objetivo general del presente trabajo de investigación fue:

Determinar el grado de vulnerabilidad físico y socioeconómico mediante el análisis y modelamiento geoespacial en plataforma SIG para el ámbito distrital Leimebamba – Amazonas.

Para tal fin los objetivos específicos fueron:

- Generar la base de datos geoespacial física y socioeconómica del distrito orientada al análisis de vulnerabilidad
- Generar información geoespacial de los factores involucrados en el análisis de vulnerabilidad y de los conflictos de uso de tierras
- Generar el modelo geoespacial para determinar los grados de vulnerabilidad física – socioeconómica del distrito Leimebamba.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. GENERALIDADES SOBRE LA VULNERABILIDAD

Citando al SINAGERD (2014), el Perú está propenso a la manifestación de diversos fenómenos naturales cuyos efectos generalmente se encuentran asociados a las condiciones de vulnerabilidad de la población y sus medios de vida. Por tal motivo, el estado peruano, contribuyendo a la reducción de desastres a través de la planificación territorial, prioriza el análisis del factor vulnerabilidad evaluando las condiciones naturales del territorio, los peligros múltiples, y los elementos expuestos, a través métodos estadísticos e información cartográfica (MINAM 2011).

Se menciona entonces el empleo de información cartográfica involucrando la tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG) cuyo desarrollo en diversos ámbitos de estudio incluyó la exploración del terreno y sus poblaciones, sus situaciones y características multitemporales mediante el modelamiento y visualización de la vulnerabilidad en diversas áreas (Durán Gil 2012)

Johnson, citado por Maskrey (1998), indica que una de las primeras aplicaciones de SIG en la evaluación de riesgos se desarrolló a finales de los setentas por la oficina de Menlo Park del Servicio Geológico de Estados Unidos, para un condado del norte de California. Ya en los noventas se describían metodologías complejas que combinaban: datos físicos y sociales contextuales, mapeo de amenazas, análisis de vulnerabilidad, estimados de pérdidas y el análisis de recursos (Davis y Bickerman, citados por Maskrey 1998).

En los años del nuevo milenio, las aplicaciones de modelamiento a través de métodos SIG se incrementaron para análisis de vulnerabilidad física y socioeconómica como en el “Modelamiento espacial de vulnerabilidad socio-ambiental en los municipios de Colombia (Durán Gil 2012) y el análisis de “Vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas serranas mediante SIG” en Argentina (Gaspari et al 2011); por el lado peruano, destaca el

“Mapa de Vulnerabilidad Física del Perú” (MINAM 2011). Además se cuentan con guías metodológicas para el análisis de vulnerabilidades desarrolladas en distintos países incluyendo el uso de SIG, como los realizados por el Servicio Geológico Colombiano (2015); la Dirección General del Observatorio Ambiental (2012) de El Salvador; la AMA (2014) de Cuba; y la SUBDERE (2011) de Chile; entre otros.

En el marco de las políticas de estado referidas a ordenamiento y gestión del territorio se crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), el cual impulsó, redactó y puso en marcha la implementación del Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (PLANAGERD) para el periodo 2014 - 2021 a través del trabajo conjunto entre la Secretaria de Gestión del Riesgo de Desastres de la Presidencia del Consejo de Ministros (SGRD), el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN), y de los demás integrantes del SINAGERD.

Como se menciona en el PLANAGERD 2014-2021, las principales disposiciones se refieren a la implementación de la Política Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres (GRD) mediante la articulación y ejecución de los procesos de GRD y generar líneas de acciones estratégicas que incluyan acciones básicas para el desarrollo sostenible del país. Se hace hincapié en la necesaria descentralización del estado a fin de lograr que su objetivo nacional de reducir la vulnerabilidad de la población y sus medios de vida ante el riesgo de desastres consiga llegar a toda la población vulnerable. A continuación, el documento en cuestión presenta matrices de acciones e indicadores de medición referente a cómo se pretende conseguir el plan maestro; ello acompañado de la identificación de riesgos en la totalidad del territorio nacional, desglosando la potestad y responsabilidad de análisis meso y micro a las respectivas instancias regionales y distritales.

En concordancia con lo mencionado, el gobierno regional de Amazonas, mediante Resolución Ejecutiva N° 070 (2013) resolvió constituir el Grupo de Trabajo Regional de Gestión del Riesgo de Desastres de Amazonas como espacio interno de articulación para el cumplimiento de las funciones de la GRD en su jurisdicción y la fijación de los objetivos y las acciones internas a ejecutarse

2.2. VULNERABILIDAD Y GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

2.2.1. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es definida como aquellas características y circunstancias de un sistema que los hacen susceptibles a efectos dañinos de una amenaza (UNISDR 2009); es decir, se resalta la probabilidad de ocurrencia de afectación material. A dicha concepción hace referencia Narváez et al. (2009) definiendo el término como una condición derivada que se verifica cuando procesos sociales hacen que un elemento de su estructura sea propenso a sufrir daños al ser impactado por un evento físico peligroso.

Por otro lado, INDECI (2007) menciona el grado de resistencia de un sistema frente a la ocurrencia de un peligro, poniendo de manifiesto así el factor “respuesta” y por ende la capacidad de recuperación frente a la amenaza. Lavell (2001) incluye dicha postura a su definición al referirse a la posible dificultosa recuperación de la sociedad vulnerable tras sufrir daños por su predisposición generadas por una serie de características particulares e intrínsecas a ella. Concluye entonces que la vulnerabilidad es la propensión de una sociedad de sufrir daño o ser dañada y de encontrar dificultades en recuperarse posteriormente.

En función de las características analizadas, Wilches – Chaux, citado por Salgado (2005) desglosa la denominada vulnerabilidad global en sus distintas dimensiones: natural, físico, social, político, técnico, educativo, ecológico, económico, institucional e ideológico. Para el presente trabajo, se analizaron la dimensión física, social y económica del distrito Leimebamba – Amazonas tomando como concepto de vulnerabilidad al resultado de la exposición a riesgos, asociado a la incapacidad para enfrentarlos y la inhabilidad para adaptarse activamente (CELADE 2002).

Existen métodos de estimar la vulnerabilidad de forma cuantitativa y por métodos cualitativos que evalúan los factores involucrados y que determinan la susceptibilidad frente a las amenazas:

La SUBDERE (2011), de forma cuantitativa, menciona que los análisis de vulnerabilidad consisten en identificar y evaluar los elementos vulnerables y estimar el porcentaje del valor expuesto en moneda que se perdería tras el impacto de un evento peligroso de determinada magnitud.

Por otro lado, el MINAM (2011) generando el Mapa de Vulnerabilidad Física del Perú expone una metodología de evaluación cualitativa de los factores involucrados mediante la utilización de las bondades de la tecnología de Sistemas de Información geográfica. En ella el análisis responde a la pregunta “¿Cuáles son las zonas que por características físico naturales y condiciones socioeconómicas son más propensas al impacto y a los efectos de los fenómenos naturales y a la ocurrencia de desastres?”.

a) Vulnerabilidad física

Relacionado al aspecto físico de cualquier ámbito de estudio, el MINAM (2011) hace una definición de la susceptibilidad física del territorio refiriéndose a la mayor o menor predisposición de que el espacio geográfico sea modificado por eventos naturales. Entonces, cabe tomar en consideración qué eventos serán analizados y qué espacio geográfico será involucrado.

Seguidamente, el MINAM (2011) construye la definición de “vulnerabilidad física” relacionándola con la calidad o tipo de material utilizado y el tipo de construcción de las edificaciones (viviendas, establecimientos económicos, de servicios e infraestructura socioeconómica), para asimilar los efectos del peligro. Sin embargo, otro aspecto a considerar es la calidad de suelo y el lugar de asentamiento; pues, ello determinará el incremento o disminución del nivel de vulnerabilidad según el evento analizado (INDECI 2006).

Finalmente, el Servicio Geológico Colombiano (2015) en su Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, singulariza la vulnerabilidad física a dicho análisis refiriéndose así a la respuesta de los elementos expuestos frente a las sollicitaciones generadas por la interacción de los movimientos en masa con dichos elementos. Análogamente con la autoridad nacional, señala que la respuesta e intensidad dependerá de: las características del elemento (tipología, calidad de construcción, mantenimiento, uso, etc.) y su posición relativa con respecto al área afectada por el evento (exposición).

b) Vulnerabilidad socioeconómica

La noción más general en la que se enmarca el riesgo social implica que alguna eventualidad afectará o impedirá que una comunidad se desarrolle o consiga sus objetivos

(Moreno Crossley, citado por Durán Gil 2012). En base a ello la forma relativamente más sencilla de realizar un análisis de la situación es aceptando la tradición ampliamente difundida de conceptualizar la vulnerabilidad socioeconómica exclusivamente ligada al riesgo de experimentar pobreza o de alguna otra forma de privación durante un intervalo de tiempo (RIMISP s.f.). Sin embargo, para el presente trabajo de investigación, se ahondó en la definición expuesta por la CELADE (2002) quien, a través de una revisión de investigaciones sobre vulnerabilidad social, concluyó la noción de la vulnerabilidad socioeconómica como la combinación de eventos, procesos o rasgos que entrañan adversidades potenciales para el ejercicio de los proyectos comunales, la incapacidad de respuesta frente a los riesgos y la inhabilidad para adaptarse a las consecuencias.

Del concepto de vulnerabilidad recogido de la CELADE (2002), se resalta el aspecto social implícito en su definición; pues, se hace referencia a una reacción de enfrentar y adaptarse al suceso, algo que únicamente el carácter social del ser humano permite realizar. En tal sentido, cualquier forma de análisis que pretenda realizarse para un territorio necesariamente debe involucrar una visión social como fuente de cualquier tipo de reacción ante eventos de amenaza. Sin embargo, al pretender definir un concepto de vulnerabilidad social nos encontramos con la disyuntiva de la atomización de grupos vulnerables en función a la heterogeneidad del tipo de riesgo latente. Asociado a ello, la subjetividad inherente a la cuantificación o cualificación del aspecto social hace difícil consensuar una definición que permita luego evaluarla por métodos universales.

2.2.2. Amenaza

Lavell (2001) propone una definición de amenaza refiriéndose a la posibilidad de ocurrencia de un evento físico el cual puede causar daño a la sociedad. Años más tarde, la UNISDR (2009) señala el evento físico causante como un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa; donde la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos socio económicos o daños ambientales vendría a ser las posibles consecuencias a la sociedad.

Por su parte, Narváez et al. (2009) se refieren a los eventos físicos dañinos como una serie de fenómenos que pueden descargar energía destructiva o presentar condiciones dañinas para la sociedad. Estos, pueden ser clasificados de acuerdo a sus circunstancias de origen como naturales, propios de la naturaleza; socio-naturales, creados por intervención humana

en el ambiente; antrópico-tecnológicos y antrópico contaminantes relacionados con la producción, manejo y transporte de materiales peligrosos (Lavell citado por Narváez et al. 2009).

2.2.3. Riesgo

En un sentido general y amplio la UNISDR (2009) lo define como la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. En ellos se compone la percepción coloquial de posibilidad de ocurrencia y el aspecto más técnico relacionado a las pérdidas posibles relativas a la causa, lugar y momento de ocurrencia. Entonces, se construye la idea de “riesgo global” considerando las distintas interrelaciones entre las múltiples partes según cada faceta de la sociedad: finanzas, salud, tecnología, eventos físicos, entre otros. Es así como Narváez et al. (2009) definen el riesgo de desastre como un subconjunto del concepto global, refiriéndose específicamente a aquellas circunstancias o condiciones en que la sociedad se ve afectada de forma importante en su cotidianidad u operatividad, por el impacto de eventos físicos de diverso origen.

Narváez et al. (2009) exponen también una propuesta de evolución en cuanto a definiciones se refiere. En un primer grupo se encuentran las definiciones que tienden a explicar el riesgo únicamente como una probabilidad de ocurrencia de un evento físico dañino, enfatizando así el evento detonante. Un segundo grupo de definiciones rescata lo social y económico, enfatizando los impactos probables; es aquí donde el presente trabajo de investigación se desarrolló.

En función de lo descrito, se exponen los siguientes conceptos:

Lavell (2001) señala que el riesgo constituye una posibilidad y una probabilidad de daños relacionados con la existencia de determinadas condiciones en la sociedad, o en el componente de la sociedad bajo consideración (individuos, familias, comunidades, ciudades, infraestructura productiva, viviendas, etc.). Entonces, el riesgo es una condición latente que capta una posibilidad de pérdidas hacia el futuro la cual está sujeta a análisis y medición en términos cualitativos y cuantitativos de acuerdo al enfoque y el grado de desagregación que se desee en el estudio.

La UNISDR (2009) define el riesgo de desastres como las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre en términos de vidas, las condiciones de salud, los medios de

sustento, los bienes y los servicios, y que podrían ocurrir en una comunidad o sociedad particular en un período específico de tiempo en el futuro.

Análogamente, el INDECI (2013) expone el riesgo de desastres como la probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro.

En base a las definiciones descritas, es de notarse que el segundo grupo definido por Narváez et al., donde se enfocan los posibles efectos a ocurrir, ha venido tomando mayor posicionamiento. Esto ha desembocado en una serie de trabajos orientados a la estimación del riesgo. Según el INDECI (2006), ello hace referencia al conjunto de acciones y procedimientos que se realizan en un área geográfica a fin de levantar información sobre la identificación y análisis de los factores de riesgo para determinar o calcular sus probables efectos dañinos. La bibliografía consultada coincide en indicar dos tipos de factores: los eventos físicos potencialmente dañinos y la vulnerabilidad.

En tal sentido, para poder estimar el riesgo será necesario evaluar y analizar cada uno de los factores para luego integrarlos. Dicha composición, es representada matemáticamente por el INDECI (2006) como un producto entre los factores.

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad}$$

Será entonces que el riesgo siempre está en función de la magnitud de las amenazas y las vulnerabilidades, las cuales, de igual manera que el riesgo, constituyen condiciones latentes en la sociedad.

2.2.4. Gestión del riesgo de desastres

Saber actuar frente al riesgo no implica únicamente la intervención durante o después de que el evento detonante haya ocurrido, pues ello no permitiría a la comunidad afectada mejorar sus capacidades de preparación y reacción frente a la amenaza. En tal sentido, a partir de la última mitad de los años noventa del siglo pasado se formó el concepto de Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) enfatizando el análisis del riesgo propiamente dicho antes que la reacción y mitigación posterior al desastre. Sin embargo, no se puede simplificar este concepto a la reducción de la vulnerabilidad o atenuación de amenazas, sino que también pretende el planteamiento y la toma de decisiones colectivas sobre los niveles y formas de riesgo que se pueden asumir como aceptables (Lavell 2001).

El concepto propuesto por Narváez et al. (2009) define la GRD como el proceso social cuyo fin es la previsión, reducción y control permanente de los factores que intervienen. Esto deja ver que el énfasis de responsabilidad recae en la sociedad. Ella necesitará establecer un sistema articulado de instancias partícipes en los diversos estratos, sectores de interés y grupos representativos de modos de vida de tal forma que se formulen e implementen políticas y estrategias en distintos niveles de intervención.

Sausen (2015) indica la gestión del riesgo como el conocimiento en prevención, reducción, respuesta y recuperación, cuyo objetivo es reducir las consecuencias negativas o las pérdidas potenciales derivadas de esos eventos. Este proceso no se restringe a cuestiones técnicas, incluye también un espectro de acciones en diversas áreas, como educación, planeamiento territorial e innovación tecnológica.

2.3. CONFLICTOS DE USO DE LA TIERRA

El conflicto de uso del territorio es explicado por Rossiter, citado por Maytín y Rodríguez (2009) como la situación en que las clases de tierra no son aprovechadas de acuerdo a la vocación, determinada ésta por clasificaciones técnico-académicos. Entonces, se hace necesario desglosar los dos factores relacionados: el aprovechamiento denominado uso actual y la vocación referida como capacidad de uso mayor.

2.3.1. Capacidad de uso mayor

Partiendo del concepto de vocación de la tierra mencionado en la definición de conflicto de uso, la FAO, citada por Maytín y Rodríguez (2009) lo define como indicativo de sus potencialidades para el desarrollo de distintos usos según un nivel tecnológico y sin degradar sus capacidades a mediano ni largo plazo. A ello asociamos la “capacidad de Uso mayor de una superficie geográfica” referida a la aptitud natural para producir bajo tratamientos continuos y usos específicos propiciando a su vez el uso sostenible. Es un sistema técnico - interpretativo que asigna a cada unidad de suelo su uso y manejo más apropiado en un lenguaje práctico dirigido al usuario final. Así, se tiene los siguientes grupos: A: cultivos en limpio; P: actitud para pastos; F: actitud para producción forestal; y X: destinados a protección.

2.3.2. Uso actual y cobertura vegetal

El inventario del uso actual de la tierra constituye un material de suma utilidad que proporciona información específica referente a los usos predominantes en ella. Este tipo de análisis y su representación cartográfica ha permitido, desde década pasadas, identificar las áreas de tierras en las que se desenvuelve alguna actividad humana sirviendo de punto de partida para la realización de planes de desarrollo y particularmente de programas de conservación y/o recuperación de tierras como en el Proyecto Especial Huallaga Central y Bajo Mayo (1983).

La Unión Geográfica Internacional (UGI), en función de múltiples estudios previos, consensuó y generó un sistema de nueve categorías de clasificación para el uso actual de los suelos. Éste, adoptó un carácter internacional que se conserva hasta el presente permitiendo que los estudios realizados con dicho sistema sean compatibles con otros proyectos culminados o en ejecución. En diversos estudios de impacto ambiental aprobados por el MINAM se destaca que el sistema UGI es muy flexible y permite incorporar caracterizaciones específicas referidas a las particularidades de cada área (CESEL Ingenieros 2013).

En el Cuadro 1 se presentan las nueve categorías del Sistema UGI ordenadas descendientemente de acuerdo a la intensidad de uso de la tierra.

Cuadro 1: Categorías de uso actual de tierras según el sistema UGI

Categorías de Uso Actual de la Tierra	Descripción de las categorías
Centros Poblados	Terrenos urbanos y/o instalaciones gubernamentales y privadas
Horticultura	Terrenos con cultivos de hortalizas
Árboles y otros cultivos permanentes	Terrenos con cultivos de frutales
Tierras de Cultivo	Terrenos con vegetación cultivada
Pastos mejorados permanentes	Terrenos con pastos introducidos
Praderas naturales	Terrenos con praderas naturales
Tierras boscosas	Terrenos con bosques. Bosques húmedos y matorrales
Pantanos y ciénagas	Terrenos mal drenados
Tierras improductivas	Terrenos sin uso y/o improductivos

FUENTE: Unión Geográfica Internacional (UGI)

2.4. RIESGO Y VULNERABILIDAD POR EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN

Estudios realizados por Gonzáles Hidalgo (2005) sobre los eventos extremos de precipitación refieren al concepto de un suceso poco probable de ocurrir que supone la superación de un umbral determinado; sumado a ello, toma en cuenta la adaptación de la sociedad afectada ante el suceso para considerarlo normal o extremo. Se menciona, la concentración de la lluvia como un factor importante para desencadenar procesos como las avenidas, inundaciones, deslizamientos en laderas y erosión. Sin embargo, como refiere el autor, existen dos problemas para su análisis: la definición adecuada del evento pluvial y la accesibilidad de datos para dicho intervalo temporal.

2.4.1. Análisis de consistencia pluviométrica

Este análisis permite conocer si las variaciones en la tendencia de la precipitación son independientes de la medición debiéndose exclusivamente a condiciones meteorológicas (Paulini Palacios 2005). Una serie de datos es llamada consistente u homogénea si es de una única población, caso contrario, se deben hacer ajustes o correcciones para volverla homogénea, de manera que las estimaciones estadísticas muestrales sean estimaciones válidas de los parámetros poblacionales (Chávarri 2013).

Para analizar la homogeneidad se realizan pruebas estadísticas donde una hipótesis nula se acepta o rechaza según en base a la probabilidad de ocurrencia de una regla: probabilidad pequeña concluye que la serie no es homogénea, si es grande la decisión es que es homogénea (Chávarri 2013). La evaluación espacial de la precipitación será la primera en ser verificada a través del método de Curva de Doble Acumulación (CDA):

- Entre todos los registros de la región se selecciona el registro más largo tomado en un periodo en común, preferentemente de los años más recientes y/o aquellos que se consideren mejor observadas.
- Para cada año se calcula el promedio de las precipitaciones anuales (PPA) de cada estación según la siguiente fórmula

$$PPA = \frac{1}{N} * \Sigma(Px)$$

Donde:

PPA Patrón de precipitaciones de un año

Px Precipitación anual de la estación X

N Número de estaciones

- Luego, se generan los acumulados cronológicamente de los valores anuales de PPA y de cada estación.
- A continuación, se grafica la relación entre los valores de los acumulados de PPA y los acumulados anuales de cada estación como se muestra en la gráfica siguiente.

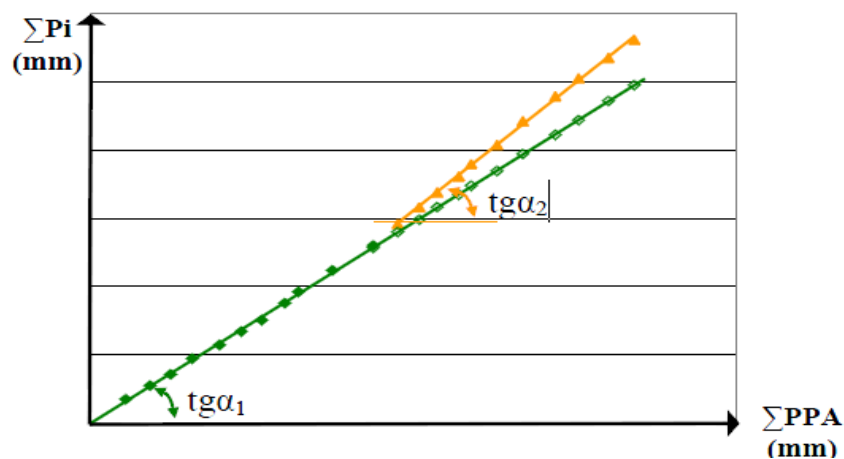


Figura 1: Relación $\sum P_i$ - $\sum PPA$

FUENTE: Paulini Palacios (2005)

- La consistencia de los registros es verificada trazando una recta sin quiebres a través de los registros ploteados o mediante una regresión lineal con poca dispersión; es decir, un coeficiente de determinación R^2 cercano a 1. Caso contrario, la hipótesis de no homogeneidad de la estación respectiva es aceptada y debe ser separada del PPA.
- Con las estaciones restantes se recalcula el PPA repitiéndose el proceso de acumulación y análisis gráfico.
- Para las correcciones a las estaciones separadas se asume que el último periodo es el mejor observado; sin embargo, será necesario realizar análisis independientes

pues otros motivos podrían afectar los registros (Paulini Palacios 2005). Luego, las precipitaciones de los periodos con pendientes diferentes se ajustan empleando el factor β_i

$$\beta_i = \frac{tg(\alpha_1)}{tg(\alpha_i)}$$

- Al aplicar este método, debe tenerse en cuenta que el cambio de pendiente debe estar bien definido y determinado al menos por un período de 5 años consecutivos, ya que generalmente los puntos presentan suaves ondulaciones respecto a la tendencia media, debido a las dispersiones lógicas que se producen en este tipo de observaciones (Paulini Palacios 2005).

Como pruebas estadísticas que permitan corroborar fehacientemente la homogeneidad de la muestra se tiene:

- **Prueba de la T de Student:** para analizar si la causa de la pérdida de consistencia es probablemente un abrupto cambio en la media. Siendo:

$$td = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\left[\frac{n_1 * s_1^2 + n_2 * s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} * \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}}$$

Donde:

$\bar{x}_1 ; \bar{x}_2$ Medias de cada muestra

$s_1^2 ; s_2^2$ Varianzas de cada muestra

$n_1 ; n_2$ Número de elementos de cada muestra

Para una distribución T de Student de dos colas con $v=n_1+n_2-2$ grados de libertad y con 5% de nivel de significancia.

Si y sólo si $|td| > T_{\text{tabla}} \rightarrow$ Falta de homogeneidad

- **Prueba de F de Fisher:** se utiliza para probar la consistencia en la variancia de una muestra respecto de la otra. Siendo:

$$\begin{cases} F_{cal} = \frac{s_1^2}{s_2^2} \rightarrow s_1^2 > s_2^2 \\ F_{cal} = \frac{s_2^2}{s_1^2} \rightarrow s_2^2 > s_1^2 \end{cases}$$

Para $\alpha=0.05$; Grados de libertad del numerador = n_1-1 ; Grados de libertad del denominador = n_2-1

Si $F_{cal} \leq F_{tabla}$ $S_1 \approx S_2$: Existe consistencia

$F_{cal} > F_{tabla}$ $S_1 \neq S_2$: No existe consistencia

2.5. TELEDETECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL

El Instituto Geográfico Nacional de España (2016) define la teledetección como la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre enfatizando el empleo de sensores instalados en plataformas espaciales. En la bibliografía brasilera, se desglosa la “detección remota” (traducido del portugués *sensoriamento remoto*) donde el primer término refiere a la tecnología que permite obtener distintos tipos de datos por medio de sensores indistintamente donde se encuentren instalados; mientras que el término “remoto” hace mención a la obtención sin contacto físico entre el sensor y el objetivo (Florenzano 2011).

Florenzano (2011) hace mención que el proceso de detección remota se realiza por medio de la captación y del registro de la energía reflejada o emitida por la superficie. Sumado a ello, Chuvieco (2010) indica de que en sentido amplio, la teledetección implica también el posterior tratamiento e interpretación de los datos. Entonces, El IGN (2016) resume que la interacción electromagnética entre el terreno y el sensor genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable.

Para poder desarrollar el proceso completo de detección remota, se necesita un sistema compuesto de los siguientes elementos (Chuvieco 2010):

- Fuente de energía: el origen de la radiación electro-magnética que detecta el sensor. Puede tratarse de un foco externo a éste (teledetección activa) o proveniente del mismo (teledetección pasiva).

- Cubierta terrestre: formada por distintas masas de vegetación, suelos, agua o construcciones humanas que reciben la señal energética y la reflejan de acuerdo a sus características físico-químicas.
- Sistema sensor: compuesto por el sensor y la plataforma que lo alberga. Sirve para captar la energía reflejada, codificarla y grabarla o enviarla al sistema de recepción.
- Sistema de recepción - comercialización: recibe la información transmitida por el sensor grabándola en un formato apropiado, aplicar correcciones y distribuirla a los interesados.
- Intérprete: quien convierte los datos en información temática de interés.
- Usuario final: quien analiza y dictaminar consecuencias a partir del documento proveniente del intérprete.

2.5.1. Obtención de imágenes satelitales

La interacción mencionada existente entre los sistemas sensores y la superficie en estudio, tal como se mencionó anteriormente al definir “teledetección”, es posible gracias a los distintos resultados de la interacción entre los objetivos y la radiación electro-magnética. Como lo indica Florenzano (2011), dichos objetos de la superficie terrestre reflejan, absorben y transmiten radiación en proporciones que varían con la longitud de onda, sus características biofísicas y químicas lo cual permite distinguirlos y obtener de ellos información diversa según el rango del espectro con el que se le haga interactuar. El comportamiento espectral de la energía reflectada de los objetos se representa en las denominadas curvas espectrales.

- Reflexión: usando principalmente la energía solar, la energía reflejada en la superficie es recogida por el sensor. Entre la superficie y el sistema se interpone la atmósfera que dispersa y absorbe parte de la señal original.
- Emisión: empleando la energía emitida por la propia cubierta
- Reflexión - emisión: empleando la energía enviada desde un sensor que sería capaz también de recoger posteriormente la reflexión generada.

Los sensores remotos son equipos que captan y registran la energía reflejada o emitida por los elementos de la superficie terrestre. Su clasificación depende de qué característica se considere. Una de las más habituales formas de clasificarlos considera su procedimiento de recibir la energía. Según ello se tiene: (a) pasivos, cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior; (b) activos, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía; siendo el más conocido el radar (Chuvieco 2010).

a) Resoluciones

Como lo define Estes y Simonett, citados por Chuvieco (2010) definen la “resolución de un sistema sensor” como su habilidad para discriminar información de detalle. De ello, el autor desglosa y analiza cada uno de los términos concluyendo la implicancia de diversas manifestaciones involucradas en su funcionamiento como son la resolución espacial, referida a la capacidad del sensor para discriminar objetos en función de su tamaño (Florenzano 2011); la espectral, indicando el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor (Chuvieco 2010); la radiométrica, referida a la capacidad del sensor para discriminar la intensidad de energía reflejada o emitida por los objetos (Florenzano 2011); la temporal, aludiendo a la frecuencia de adquisición de imágenes de la misma porción de la superficie terrestre que logra el sensor (Chuvieco 2010); y la angular, refiriéndose a la capacidad de un sensor para observar la misma zona desde distintos ángulos (Diner et al., citado por Chuvieco 2010).

b) Plataformas de teledetección

Las plataformas de teledetección han venido desarrollándose a grandes pasos a la par de la tecnología espacial. Éstos sirven de motor para la innovación tecnológica y el desarrollo de materiales, máquinas y productos que benefician a la sociedad (Florenzano 2011). A partir de 1972 con el inicio del ERTS-1, posteriormente rebautizado como Landsat-1, la oferta de imágenes con características cada vez de mejor resolución fue evolucionando con diversos programas en distintos países.

Por otro lado, White y Minang (2011) proponen considerar sensores alternativos como una solución para superar los vacíos en imágenes recientes. En dicho camino, la nueva versión 8 del Landsat es una opción viable, tomando en cuenta su fácil acceso por los geoservidores virtuales y el progreso en resoluciones logrado.

2.5.2. Interpretación de imágenes satelitales

a) Análisis de imágenes satelitales

Chuvieco (2010) plantea de forma general tres tipos de interpretación a los que puede someterse una imagen adquirida por teledetección:

- **Cartografía temática:** Buscando asignar cada elemento de la imagen en una categoría homogénea, por interpretación visual o digital. Ella implica en cierta medida una partición más o menos rígida del espacio.
- **Análisis de variable continua:** Considerando las imágenes satelitales como una matriz de medidas numéricas de una variable de interés.
- **Detección de cambios:** aprovechando la cobertura cíclica que proporciona la detección remota permitiendo así seguir fenómenos dinámicos y estimar los cambios de categorías.
- **Medición de relaciones geográficas:** de los elementos que componen el territorio escaneado; midiendo así textura, diversidad espacial de ocupación, formas y conexiones, entre otros.

Entonces, desglosando los procesos para generar cartografía temática se tiene:

- **Interpretación visual:** Consiste en el trazado de polígonos directamente marcando las diferencias visibles de las imágenes (Puig et al., citado por White y Minang 2011). Para ello, se toma en cuenta una serie de criterios aplicados de acuerdo al grado de complejidad que amerite el análisis tal como se muestra en la Figura 2. Tiene como ventaja la posibilidad de trabajar actualizaciones a partir de mapas base; sin embargo, depende en gran medida de la subjetividad del analista pudiendo no ser práctica y requiriendo tiempo en demasía

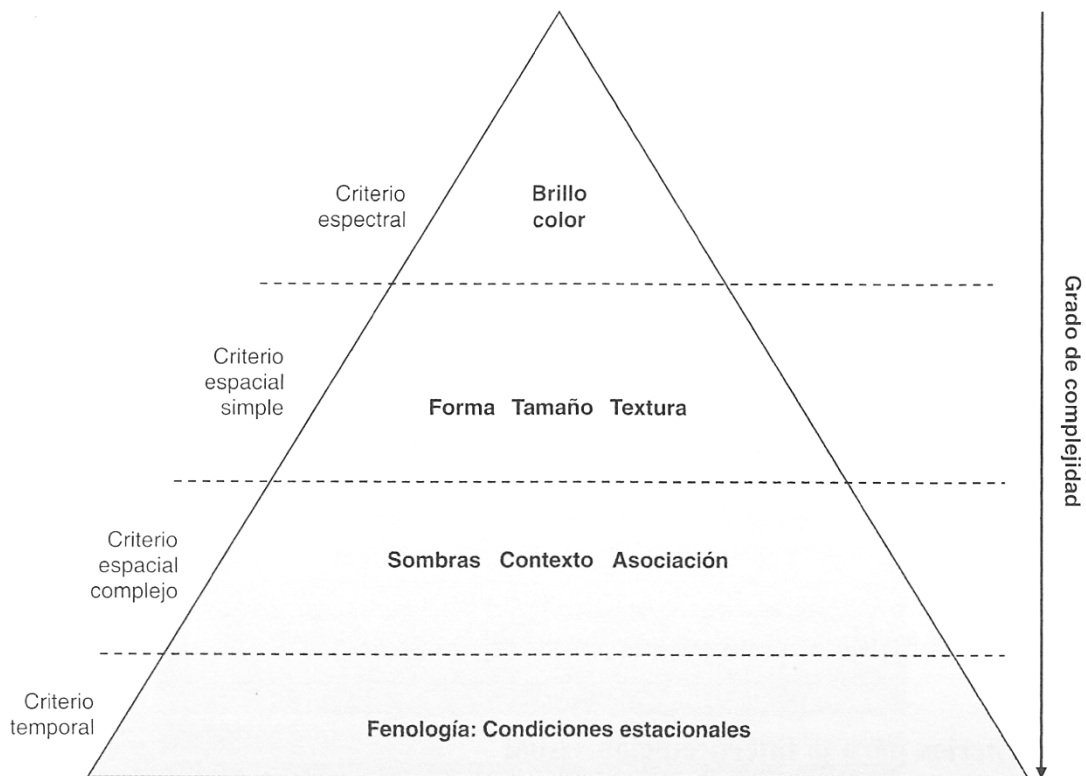


Figura 2: Organización jerárquica de los criterios de interpretación visual

FUENTE: Chuvieco (2010)

- **Procesamiento digital de imágenes a nivel de píxeles:** Los algoritmos informáticos son utilizados para realizar clasificaciones no supervisadas y supervisadas. En el primero los píxeles, considerados una unidad de suelo, son agrupados tomando en cuenta que sus números digitales sean similares según el número de grupos deseados. Por otra parte, el proceso supervisado necesita que un analista asigne píxeles que representen una cobertura terrestre para definir una clase; por ello, es necesario un buen conocimiento de la superficie en estudio por parte del analista. Un buen desarrollo permitirán resultados más objetivos por el empleo de algoritmos informáticos en la asignación de clases a los píxeles (White y Minang 2011).
- **Segmentación de imágenes:** Consiste en reunir grupos de píxeles mediante un algoritmo que evalúa sus respuestas espectrales junto a algunas reglas establecidas por el analista. Sin embargo, el autor hace hincapié en el cuidado a tomarse en cuenta para la vinculación entre la información de la imagen y la verificación de campo (White y Minang 2011).

b) Clasificación digital de imágenes

Partiendo de que cada pixel es identificado por su respectivo nivel digital (ND), la técnica de clasificación digital de imágenes consiste en categorizar dichos ND en escalas nominales o categóricas; de manera que cada pixel no se mantenga independiente, sino que pertenezca a una categoría que exprese patrones y objetos homogéneos (Yébenes Gómez y Giner Sotos 2014). Como resultado de ello, se obtendrá información temática de las categorías de estudio donde la imagen de insumo se convertirá en otra de características similares con etiquetas que identifiquen las clases asignadas (Chuvieco 2010). Éstas serán definidas previamente en función de los intereses del usuario; ya sea para determinación de distintos tipos de coberturas o clasificación en distintos niveles de intensidad de una característica en particular (Yébenes Gómez y Giner Sotos 2014). De ello se determina que la utilización de imágenes con una banda (imagen en pancromático) o de una combinación de bandas (imagen en falso color o pseudocolor) dependerá exclusivamente de los objetivos de cada estudio.

Si bien la clasificación digital se beneficia con procesos de corrección y realce; conviene considerar que puede abordarse un proceso exclusivamente con los ND; pues, el objetivo no es conseguir una definición absoluta de cada cubierta, sino, una caracterización relativa válida para una determinada imagen y un territorio concreto (Chuvieco 2010).

Chuvieco (2010) plantea y explica que en el proceso de clasificación digital se distinguen las siguientes fases:

i.- Fase de entrenamiento: consiste en la definición digital de categorías. Esto se logra seleccionando una muestra de píxeles de la imagen que representan adecuadamente las categorías de interés. A partir de ellos pueden calcularse los ND medios y la variabilidad numérica para cada una de las categorías. Se dividen los métodos en dos grupos: supervisado y no supervisado. El primero amerita un conocimiento previo del terreno para seleccionar las muestras de cada categoría; mientras que, el no supervisado procede a una búsqueda automática de valores homogéneos.

ii.- Fase de asignación: se trata de adscribir cada pixel a una de las clases previamente seleccionadas en función del ND para cada banda que interviene en el proceso. Para discriminar las fronteras de clases se emplean diversos criterios estadísticos siendo los más conocidos los siguientes:

- El **clasificador de mínima distancia** se presenta como uno de los criterios más sencillos y rápidos. Trabaja incluyendo cada pixel en la clase que le resulta más cercana en relación con el centroide de clase. La distancia a la que se hace mención es una comparación de los Niveles Digitales para todas las bandas involucradas determinada por el método euclidiano. La asignación de clases se realiza para todos los pixeles de la imagen, pues, siempre existe una clase más cercana. Sin embargo, su eficiencia mejora al trabajar minimizando solapes entre clases (Bense 2007, Yébenes Gómez y Giner Sotos 2014).
- El de **paralepípedos** trabaja la asignación de pixeles en función a la pertenencia de los ND a un área de dominio prefijada por el usuario. Evalúan para cada categoría sus valores de centralidad y dispersión. Es un algoritmo rápido pero por su misma forma permite la posibilidad de dejar pixeles sin clasificar; ya sea por encontrarse relativamente lejos de un área de dominio o en un área de solapamiento de dos o más de ellas (Bense 2007, Gébenes y Yiber 2014).
- El algoritmo de **máxima probabilidad** considera que los ND de cada clase se ajustarían a una distribución normal a partir de donde se evalúan estadísticamente la probabilidad de que un determinado pixel pertenezca a una categoría. Así, luego de realizar la evaluación para todas las clases, aquella donde la probabilidad sea mayor, será el grupo de asignación del píxel en mención. Su inconveniente radica en que la hipótesis inicial (distribución normal) no siempre es cierta, razón por la cual dicha clasificación puede acumular errores (Bense 2007, Yébenes Gómez y Giner Sotos 2014).

(iii) **Fase de comprobación y verificación de los resultados:** desarrollado en un capítulo aparte.

2.5.3. Validación

Los SIG y la Teledetección han experimentado una creciente convergencia justificada entre otras razones porque responden a demandas de investigación similares tales como son los análisis de errores, la estructura y acceso a los datos, el desarrollo del entorno informático y la metodología de interpretación (Star et al., citado por Chuvieco 2010). De ello, se desarrolla el presente ítem referido al análisis de resultados producidos por ambos campos.

Chuvienco (2010) refiere que la verificación de resultados permite al usuario valorar sus resultados comparándolos con la realidad; es decir, valora el riesgo que se asume al tomar decisiones sobre la información generada. Como fue mencionado, será requerido siempre una fuente externa considerada representante fiel de la realidad lo cual puede ser dificultoso en grandes extensiones. Por tal motivo se recomienda la aplicación de técnicas de muestreo para estimar con la mayor precisión y menor coste posible el error generado.

Congalton y Green, citado por Chuvienco (2010) exponen una generalización de los procesos de validación en los siguientes pasos: (1) diseño del muestro, (2) recolección de datos de referencia; (3) comparación de datos de referencia y resultados; y (4) análisis de errores y validación de la calidad del proceso.

Para realizar el diseño del muestreo será necesario definir qué tipo de metodología se usará. Como lo expone Chuvienco (2010), no existe un consenso sobre cuál es la mejor elección, por lo que expone los esquemas más regularmente empleados:

- Aleatorio simple: todos los elementos cuentan con la misma probabilidad de ser seleccionados. Sin embargo ello puede suponer en el terreno dificultades para desplazamiento del grupo de trabajo o que algunas categorías poco frecuentes no sean consideradas en la muestra.
- Aleatorio estratificado: la muestra se selecciona aleatoriamente para cada región en que se ha dividido la población total. Las regiones estarán en estrecha relación con las categorías esperadas.
- Sistemático: a partir de un punto de origen definido aleatorio por el analista se definen muestras a intervalos regulares. Garantiza una cobertura completa de la superficie pero es propenso a errores cuando existen patrones periódicos.
- Sistemático no alineado: una variante del esquema anterior, se permite aleatoriedad en la ubicación específica de la muestra respetando un cierto patrón de filas y columnas.
- Por conglomerados: la unidad de muestra es un conglomerado de observaciones cercanas entre sí de acuerdo a un esquema prefijado.

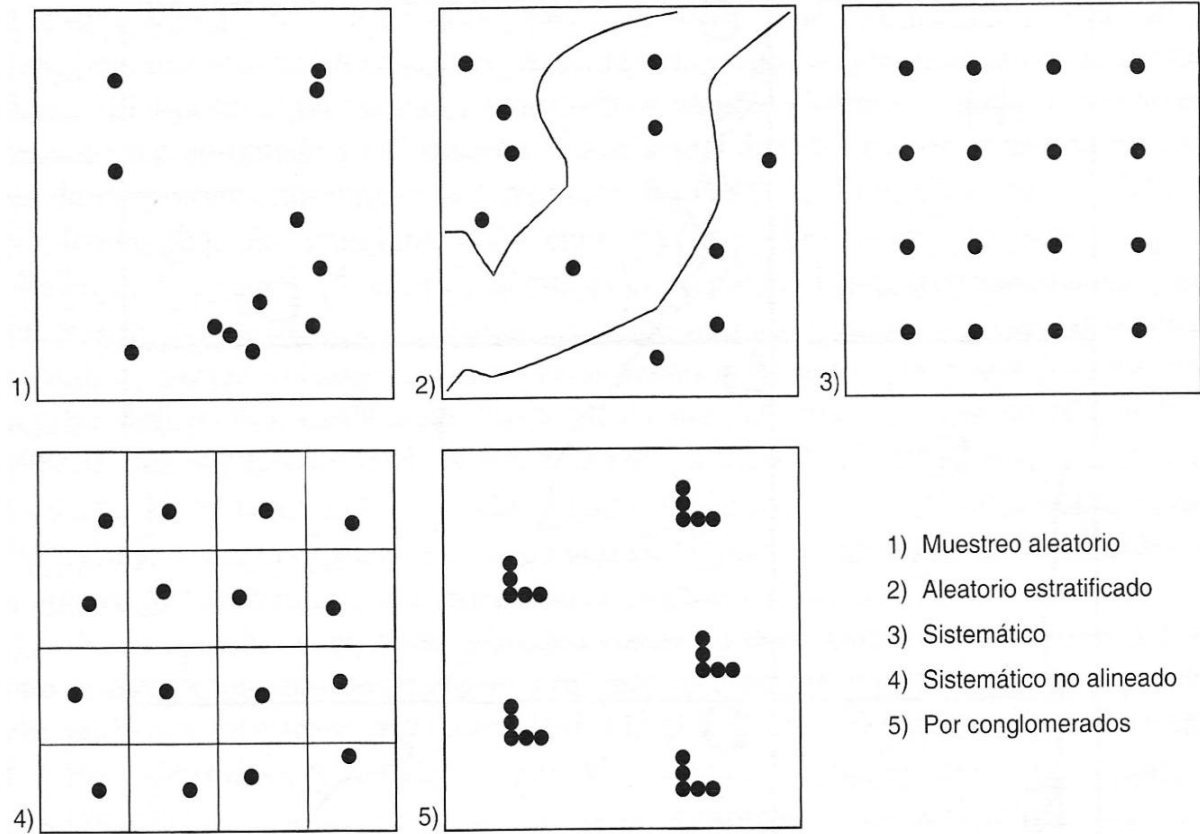


Figura 3: Esquemas de muestreo regularmente usados

FUENTE: Chuvieco (2010)

En cuanto a la precisión de los resultados, dependerá de una serie de factores como la complejidad del terreno, las resoluciones espaciales y espectrales, el algoritmo de clasificación, la leyenda y el conjunto de datos que representa la realidad. Normalmente, es expresada mediante índices calculados a partir de una matriz de confusión (Meneses et al. 2012). El interés ellas proviene de su capacidad para plasmar tanto la fiabilidad global como la exactitud por categorías para cada una de las clases (Chuvieco 2010).

Se muestra en el Cuadro 2 la estructura de una matriz de confusión donde la diagonal expresa el número de puntos donde se verificó correspondencia entre las dos fuentes, mientras los marginales suponen errores, ya sean de omisión (exclusión) o de comisión (inclusión) (Chuvieco 2010, Meneses et al. 2012); estos últimos orientados a la teledetección.

Cuadro 2: Estructura de matriz de confusión

	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase n	Total
Clase 1	x_{11}				x_{+1}
Clase 2		x_{22}			x_{+2}
Clase 3			x_{33}		x_{+3}
Clase n				x_{nn}	x_{+n}
Total	x_{+1}	x_{+2}	x_{+3}	x_{+n}	$\sum x_{ij}$

FUENTE: Chuvieco (2010)

A partir de la matriz de confusión puede estimarse una serie de valoraciones numéricas de los resultados. La más simple consiste en calcular la fiabilidad global del mapa según lo expuesto por Chuvieco (2010):

$$\hat{F} = \frac{\sum_{i=1,n} x_{ii}}{\sum_{i=1,n} \sum_{j=1,n} x_{ij}}$$

Seguidamente, el intervalo de confianza donde se situará la fiabilidad real alcanzada estará expresada por:

$$F = \hat{F} \pm z * EM$$

Donde “z” es el nivel de probabilidad que queremos darle a la estimación y el Error de Muestreo (EM) se halla:

$$EM = \sqrt{p * \frac{q}{n}}$$

Donde

p porcentaje estimado de aciertos

q porcentaje estimado de errores: $q = 1 - p$

2.5.4. Elaboración de información temática de cobertura vegetal y uso actual

Los usos de la tierra pueden variar rápida o lentamente, en ocasiones por motivos obvios y en ocasiones debido a fuerzas ocultas (White y Minang 2011). Por ello, será necesario realizar actualizaciones a los mapas generados en periodos no muy prolongados, permitiendo no sólo conocer tendencias en el uso del territorio, sino también evaluar y analizar los fenómenos que motivan la continuidad o la merma de los procesos que se desarrollan en éste ámbito. Los progresos técnicos alcanzados con la accesibilidad a fotografías multiespectrales obtenidas desde los primeros proyectos Landsat 1, 2 y 3 combinados con procedimientos de campo facilitaron el mapeo de cobertura vegetal y uso actual con mayor rapidez y exactitud, en función de la resolución de la imagen (Proyecto Especial Huallaga Central y Bajo Mayo 1983). White y Minang (2011) presentan una propuesta metodológica para la elaboración de mapas de cobertura terrestre y usos actuales del territorio en el contexto de la gestión sostenible de los bosques y el aumento de las reservas de carbono de los bosques. La metodología está basada en las técnicas de teledetección.

- Identificar el estado actual del mapeo del uso de la tierra a través de consultas bibliográficas de estudios previos realizados. Con ello, verificar la disponibilidad de mapas disponibles que puedan necesitar únicamente modificaciones menores para su uso.
- Para las tareas de teledetección a desarrollar, se establecerán reglas de correspondencia entre las clases de cobertura terrestre a uso de la tierra basadas mayormente en conocimientos de expertos locales. El número de categorías a desglosar dependerá de la disponibilidad de datos geográficos y su análisis en conformidad con el rigor deseado del mismo.

Seguidamente, se recolectará información en campo de las actividades de uso de tierra para la verificación de las reglas de correspondencia anteriormente definidas y las categorías identificadas por teledetección. Las actividades de monitoreo, reporte y verificación constituyen una oportunidad para esta fase. Se verificará entonces la precisión de los resultados obtenidos siguiendo el proceso de validación expuesto en el apartado de Teledetección.

2.6. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) Y GEOPROCESAMIENTO

A partir de la década del sesenta, se inició el uso de computadoras para manipular datos y generar información; éste es el inicio de lo que hoy conocemos como Sistema de Información Geográfica (SIG). A pesar de que durante su desarrollo mantuvo controversias en cuanto a la correcta denominación que debería tener, el concepto que abarcaba y su alcance de aplicación; Meaden y Kapetsky (1992) indicaron tempranamente que los SIG comprenden un conjunto de hardware y software integrados que permiten introducir, almacenar, manipular y presentar datos geográficos para una enorme gama de aplicaciones.

Por su parte Rojas Lazo (1999) define de manera más global las capacidades del SIG mencionando que su diseño pretende soportar la captura, procesamiento y recuperación de datos referenciados espacialmente. Aunado a ello, los SIG deben ser capaces de expresar localización, condición, tendencia, distribución y modelización.

Recientemente, Brenes (2015?) expone una definición más actualizada e integral de los procesos que engloba el trabajo con SIG; así, los define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica con el fin de satisfacer múltiples propósitos.

2.6.1. Componentes de un SIG

En el entendimiento más difundido, Olaya (2014) expone dos formas de entender el sistema. La primera formada por una serie de subsistemas, lo cual viene siendo materia de análisis y discusión en nuevas visiones basadas también en subsistemas; y la segunda, la más tradicional, formada por cinco elementos interrelacionados.

- **Datos:** como la materia prima necesaria para trabajar, y los que contienen la información geográfica para la propia existencia del SIG.
- **Métodos:** referidos al conjunto de formulaciones y metodologías a aplicar.
- **Software:** engloba toda aplicación informática que trabaje con los datos e implemente los métodos anteriores.

- **Hardware:** el equipo necesario para ejecutar el software
- **Personas:** encargadas de diseñar y utilizar el software para el manejo de los datos.

Sin embargo, el autor propone una evolución del esquema clásico tras un análisis de los SIG donde los componentes son:

- **Datos:** Haciendo referencia nuevamente a los datos de entrada a partir de los cuales se construirá y trabajará los SIG. Involucra distintas fuentes de ingreso y en distintas y amplias ramas de estudio.
- **Análisis:** Término que engloba los métodos y procesos enfocados al análisis de datos.
- **Visualización:** Referido a los métodos y fundamentos relacionados con la representación de los datos.
- **Tecnología:** Engloba tanto el software y el hardware de manejo de los SIG
- **Factor organizativo:** Engloba los elementos relativos a la coordinación entre personas, datos y tecnología, o la comunicación entre ellos, entre otros aspectos.

2.6.2. Funciones de los SIG

La bibliografía consultada hace mención de la evolución que los Sistemas de Información Geográfica han venido experimentando desde su nacimiento; pero que, como menciona Olaya (2014), se orientan a mantener su capacidad de integrar bajo un marco común una serie completa de elementos y disciplinas. En ese sentido, Meaden y Kapetsky (1992) hicieron una revisión para la FAO a fin de establecer las principales funciones de los SIG mostradas en el Cuadro 3. Éstas han evolucionado mejorando resultados e incluyendo nuevas tecnologías.

Cuadro 3: Funciones de los SIG

A) INTRODUCCION Y CODIFICACION DE LOS DATOS
Adquisición de datos (digitalización e integración de datos externos).
Validación y edición de datos, es decir, verificación y corrección.
Estructuración y almacenamiento de datos

Continuación

B) MANIPULACION DE LOS DATOS
<p>Conversión de estructura, por ejemplo de vectores a cuadrículas.</p> <p>Conversión geométrica: superposición de mapas, cambios de escala, diversas transformaciones, cambios de proyección cartográfica, etc.</p> <p>Generalización y clasificación: reclasificación de datos, agregación o desglose de datos, etc.</p> <p>Integración, por ejemplo combinación de estratos de diferentes superficies.</p> <p>Cálculos abstractos: centroides de las áreas y polígonos de Thiessen.</p>
C) RECUPERACION DE LOS DATOS
<p>Recuperación selectiva de información sobre la base de temas o criterios definidos por los usuarios, incluidos servicios de consulta rápida.</p>
D) ANALISIS DE LOS DATOS
<p>Análisis espacial: asignación de rutas, cálculos de pendientes y aspectos, etc.</p> <p>Análisis estadístico: histogramas, análisis de frecuencias, medidas de dispersión.</p> <p>Mediciones, como la longitud de líneas, cálculos de superficies y volúmenes, distancias y direcciones.</p>
E) PRESENTACION VISUAL DE LOS DATOS
<p>Representación gráfica, por ejemplo mapas y gráficos.</p> <p>Presentación descriptiva, como informes escritos o cuadros.</p>
F) GESTION DE LA BASE DE DATOS
<p>Apoyo y vigilancia del acceso multiusuario a la base de datos.</p> <p>Enlaces de comunicación con otros sistemas.</p> <p>Actualización de las bases de datos.</p> <p>Organización de la base de datos para almacenamiento y recuperación eficientes.</p> <p>Mantenimiento de la seguridad e integridad de la base de datos.</p> <p>Provisión de una visión de la base de datos “independiente de los datos”.</p>

FUENTE: Meaden, G y Kapetsky, JM 1992

2.6.3. Bases de datos (BD)

Una preocupación recurrente para todo tipo de organización es la necesidad de almacenar información a la que se pueda acceder para consultar y realizar tareas propias de la empresa. Ante ello, la aparición de la informática significó el ingreso de nuevas herramientas para administrar eficientemente los datos buscando satisfacer las necesidades que puedan generarse tras el incremento exponencial de la información disponible y la necesidad de acceder a ellos paralelamente por distintos usuarios. En relación a lo expuesto, Date (2001) define la base de datos como un conjunto de datos a los cuales puede accederse para su edición únicamente por un sistema informático especializado para tal fin, denominado Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD) del cual más adelante nos explayaremos. Sin embargo; Ramos et al. (2006) expanden el concepto mencionando la necesidad de reconocer en la colección de datos sus relaciones para conseguir estructurarlos y organizarlos de manera tal que expresen la realidad. En conclusión, Sánchez (2004) conceptualiza una base de datos como una serie de datos relacionados que forman una estructura lógica que contiene, además de los datos, la forma en que se relacionan.

En la actualidad, existe una necesidad de estudiar y entender problemas de la realidad mediante un sistema que permita valorar la información espacial y no limitar su procesamiento a estudios estadísticos. Por esto, la utilización de un SIG incorpora la capacidad de trabajar con la información en su dimensión espacial; sin embargo, genera al mismo tiempo la imperiosa necesidad de adaptar el manejo de base de datos a dicha realidad. Bajo este contexto nace el concepto de Base de Datos Geográfica (BDG) referido a 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 atributos o datos no espaciales. (ESRI, citado por Morales Xique 2001)

a) Ventajas y desventajas de las bases de datos

El manejo de bases de datos ha evolucionado la forma de administrar información otorgando al usuario una serie de ventajas. Como lo argumenta Sánchez (2004) y Morales Xique (2001), las BD permiten:

- Independencia de datos y los programas y procesos; permitiendo modificar datos sin necesidad de variar la estructura de las aplicaciones.
- Menor redundancia
- Mantenimiento de la calidad e integridad de los datos
- Mayor seguridad en los datos, al imponer restricciones de seguridad para su acceso
- Datos más documentados por la descripción de metadata.
- Acceso más eficiente a los datos
- Menor espacio de almacenamiento a causa de una correcta estructuración de entidades y vínculos entre ellas.

A ello, podemos adicionar lo antes mencionado para las BDG que permiten almacenar y vincular atributos no espaciales con las implicancias que las relaciones espaciales puedan aportar. Facilitan entonces el análisis espacial de la información.

Sin embargo, como toda tecnología, presenta también desventajas que a cada usuario le corresponde evaluar a fin de optimizar su trabajo. Sánchez (2004) rescata la necesidad de contar con personal cualificado en el manejo de BD, lo que significa a su vez una implementación dificultosa si no se cuenta con un grupo de profesionales capacitados y/o equipamiento adecuado. Luego, por parte de las BDG, el principal inconveniente se presenta en el mantenimiento de los datos espaciales y otros componentes geográficos (Morales Xique 2001).

b) Sistema Gestor De Base De Datos (SGBD)

Conocido también por las siglas DBMS provenientes del inglés *Data Base Managment System*, para algunos autores involucra un concepto similar al de base de datos (como colección de datos interrelacionados) al que adicionan la actuación de un conjunto de programas que acceden y gestionan la información (Alonso Sarría 2006, Ramos et al 2006). Sin embargo, coincidiendo con Date (2001) y Sánchez (2004), consideramos más preciso referirnos por SGBD al sistema computarizado que permite al usuario procesar, describir, administrar, recuperar y actualizar los datos de la BD en base a peticiones.

Arquitectura de los SGBD

El comité ANSI-SPARC (*American National Standard Institute – Standard Planning and Requirements Committee*) propuso tres niveles de abstracción en la arquitectura de una BD, explicado según Date (2001), Sánchez (2004) y Ramos et al. (2006):

- Nivel interno o físico

Mediante un esquema interno, se describe y representa los datos según la forma en que están almacenados físicamente (en el ordenador). Así, se describen: los archivos que contienen la información, su organización, los métodos de acceso a los registros, los tipos de registros, la longitud, los campos que los componen.

- Nivel conceptual

Describe la estructura de toda la BD para un grupo de usuarios mediante un esquema conceptual. Aquí se representa teóricamente los datos y sus vínculos: entidades, atributos, relaciones, operaciones de los usuarios y restricciones; ocultando los detalles de las estructuras físicas de almacenamiento. Representa la lógica de la BD.

- Nivel externo o de visión

Es el más próximo al usuario; es decir, tiene que ver con la forma particular en que se visualizan los datos según cada grupo de interés. Cada esquema de visión describe la parte de la BD que interesa a el(los) interesado(s), por ende, varía según la aplicación que éstos manejen.

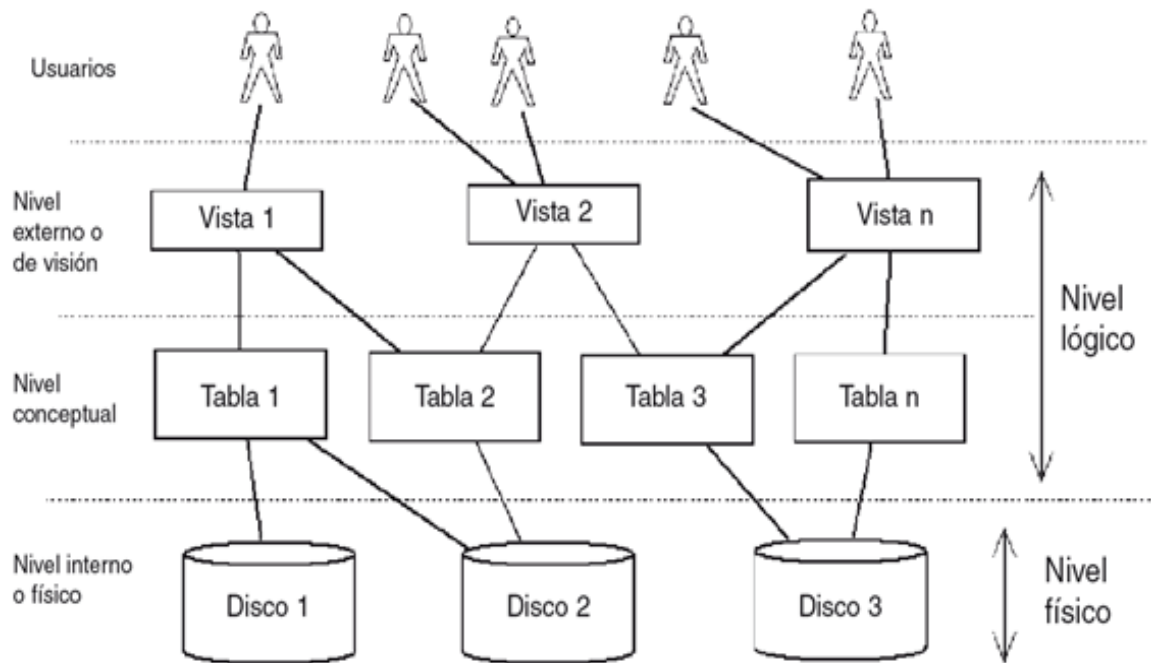


Figura 4: Niveles de abstracción de la arquitectura ANSI

FUENTE: Ramos et al. (2006)

c) **Diseño de bases de datos**

Como se indicó anteriormente, los modelos simbolizan una parte de la realidad de forma que su manipulación sea más fácil. Para el caso en particular, se busca manipular información real para almacenarla en un sistema informático (Sánchez 2004). Por otra parte, denominaremos esquema a la descripción de una BD mediante un modelo de datos. Este esquema se especifica durante el diseño de la misma (Ramos et al. 2006)

Análogo a la estructura de los SGBD, Ramos et al. (2006) expone el siguiente esquema para representar la clasificación de los modelos de datos:

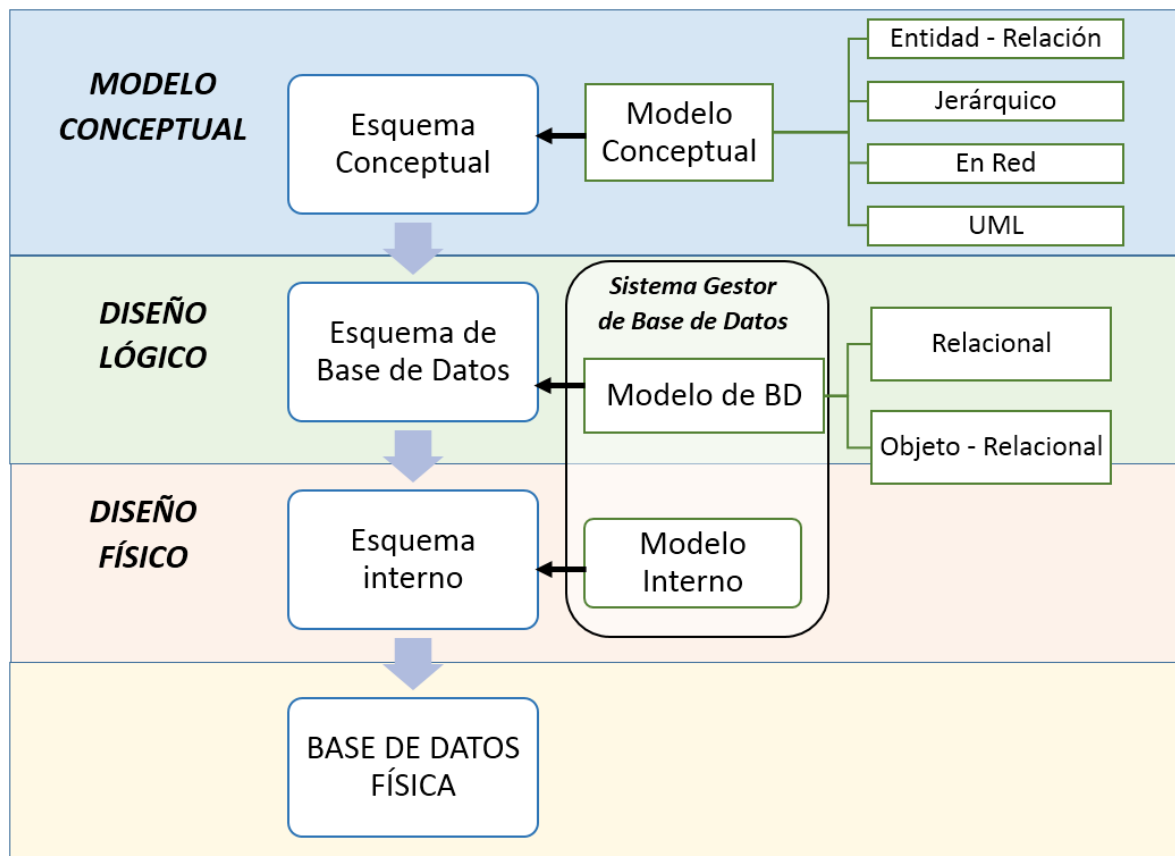


Figura 5: Relación entre los modelos lógicos y conceptuales de datos

FUENTE: Ramos et al. (2006)

Para explicar las implicancias de los elementos presentados, Costa (2007) los presenta como etapas del proceso de diseño de BD, explicación aunada a las definiciones de Lo y Teung, citados por García Ruiz y Otálvaro Arango (2009):

- Etapa del diseño conceptual

En esta etapa se obtiene una estructura de la información de la futura BD independiente de la tecnología a emplear. No se tiene en cuenta qué tipo de base de datos se utilizará; en consecuencia, tampoco se tiene en cuenta con qué SGBD ni con qué lenguaje concreto se implementará la base de datos Costa (2007). El propósito es definir en términos amplios y genéricos el ámbito y requerimientos, entidades, atributos, relaciones y realizando el esquema conceptual (Lo y Teung, citados por García Ruiz y Otálvaro Arango 2009). Algunos de los modelos más conocidos para esta etapa son el modelo E/R (Entidad/Relación), modelo de red, modelo jerárquico y el modelo UML (Lenguaje de Modelado Unificado - *Unified Modeling Language*) (Costa 2007).

- Etapa del diseño lógico

En esta etapa se parte del resultado del diseño conceptual (una estructuración lograda en un ámbito conceptual), que se adapta a la tecnología, con el que se desea implementar la base de datos (Costa 2007). Esto a través de tres pasos: i. Proyectar el esquema conceptual al esquema lógico; ii. Identificar las claves principales y foráneas; y iii. Normalizar las tablas de atributos; para el caso de bases de datos geoespaciales se realiza adicionalmente el diseño de capas o coberturas. El propósito es representar la BD e identificar los problemas potenciales que podrían existir en el modelo conceptual (Lo y Teung, citados por García Ruiz y Otálvaro Arango 2009). Algunos de los modelos lógicos más difundidos son el modelo relacional, y el modelo objeto – relacional (Costa 2007).

- Etapa del diseño físico

En esta etapa se transforma la estructura obtenida en la etapa del diseño lógico, con el objetivo de conseguir una mayor eficiencia; además, se completa con aspectos de implementación física que dependerán del SGBD. Éstos consisten normalmente en la elección de estructuras físicas de implementación de las relaciones, la selección del tamaño de las memorias intermedias (buffers) o de las páginas, etc. (Costa 2007). El resultado es un esquema físico conocido como diccionario de datos que contiene las características de los ítems y las especificaciones de la base de datos física (Lo y Teung, citados por García Ruiz y Otálvaro Arango 2009).

d) Modelos de base de datos

En la actualidad, los modelos de mayor presencia son el de datos relacionales y el modelo orientado a objetos, ambos fácilmente explicados en la amplia bibliografía que existe del tema, léase Ramos et al. (2006). Sin embargo, durante la primera década del siglo XXI, nace un modelo híbrido denominado modelo Objeto-Relacional (OR), éste busca mantener el esquema de tablas entre las que se establecen relaciones pero permitiendo atributos más complejos, denominados tipos abstractos de datos (ATD), que admiten objetos geométricos. Para ello, el lenguaje SQL (*Structured Query Language*) se extiende para manipular los datos espaciales; sin embargo, sigue siendo necesaria la presencia de herramientas de SIG para representar dicha información (Alonso Sarría 2006).

Ramos et al. (2006) recomienda el empleo del Lenguaje de Modelado Unificado (*Unified Modeling Language* – UML) para desarrollar la etapa de diseño conceptual de las BD, pues, las relaciones que permite (generalización, asociación, multiplicidad, realización y dependencia) asemejan las capacidades de relacionamiento del modelo OR.

- **Tipos de relaciones**

Como lo presenta el resumen del Departamento de Informática de la Universidad de Fasta (2012) para este ítem:

- Relación uno a uno: aquella en que cada registro de una entidad A puede tener un solo registro coincidente en la tabla de atributos de B y viceversa.
- Relación uno a varios: aquí, un registro de A puede tener muchos registros coincidentes en B; pero, un registro de B únicamente coincide con un registro de A. Es el tipo más común.
- Relación varios a varios: en este caso un registro de A puede tener muchos registros coincidentes en B y viceversa. Una relación de varios a varios no es sino dos relaciones de uno a varios con una tercera tabla

e) **Bases de datos geospaciales - Geodatabase**

Alonso Sarría (2006) la define en su sentido más simple como una base de datos que almacena, administra y automatiza toda la información relativa a un conjunto de entidades espaciales tales como geometría, topología, identificadores, datos temáticos, entre otros. ESRI (2012) indica que la geodatabase, como fuente de datos nativa para ArcGIS, se implementa utilizando la misma arquitectura de aplicación de varios niveles que se encuentra en otras SGBD avanzados conocida como modelo relacional de objetos.

2.7. MODELAMIENTO GEOESPACIAL PARA ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

El conocimiento de la realidad implica conocer las múltiples y variadas interrelaciones existentes entre los innumerables factores que la componen, razón por la cual para realizar distintos análisis es necesario remitirnos al empleo de modelos. Chapa, citado por Radilla

López (2008) define modelo como una representación simplificada de un objeto de investigación para propósitos de: descripción, explicación, pronóstico o planeación.

Parte importante en el trabajo con los SIG es la capacidad de realizar modelamientos espaciales, reflejados en la creación de información temática y el consiguiente análisis espacial a partir de la información con la que se le alimente. Para ello, es necesario asumir simplificaciones y conocer las relaciones existentes entre las variables a considerar según el análisis que desea realizarse. Por lo tanto, en el contexto de un SIG, un modelo de datos es la abstracción y la representación de los fenómenos del mundo real de acuerdo a un esquema conceptual formalizado que es aplicado generalmente usando las primitivas geográficas (Xuetong, citado por Radilla López 2008).

Centralizando la información bibliográfica al análisis de vulnerabilidad, mediante el empleo del SIG, Maskrey (1998) indicó que con ello es posible ahorrar tiempo en la integración multivariable de datos y facilitar la evaluación de diferentes estrategias de desarrollo, referente a usos de tierra existentes y potenciales. Además, un SIG puede descubrir información nueva que permita evaluar el impacto de las amenazas en actividades de desarrollo existente y propuestas.

A pesar de que no existen metodologías universalizadas para los análisis de vulnerabilidad, en los últimos años se han venido desarrollando distintas aplicaciones tanto en el territorio latinoamericano como europeo. En muchas de ellas se indica que la información producida puede utilizarse para apoyar medidas convencionales de gestión de riesgos; sin embargo, las estrategias formuladas del análisis con SIG, a menudo, no logran los resultados esperados básicamente por problemas políticos, sociales y económicos. Ello puede verse reflejado en imposición de medidas de gestión de riesgo que atentan contra las prioridades y necesidades de la población. Frente a ello, una alternativa más apropiada para el desarrollo del SIG sería el diseño e implementación de aplicaciones articuladas a las estrategias participativas de gestión de riesgos (Maskrey 1998).

2.7.1. Análisis espacial - Geoprocesamiento

ESRI (2012) define el análisis espacial como el proceso de modelar información de diversos orígenes, ejecutar el procesamiento informático de diversos operadores espaciales y luego examinar e interpretar los resultados analíticos del modelo. El análisis espacial

resulta útil para evaluar, calcular, predecir, interpretar y tomar decisiones de los fenómenos en estudio.

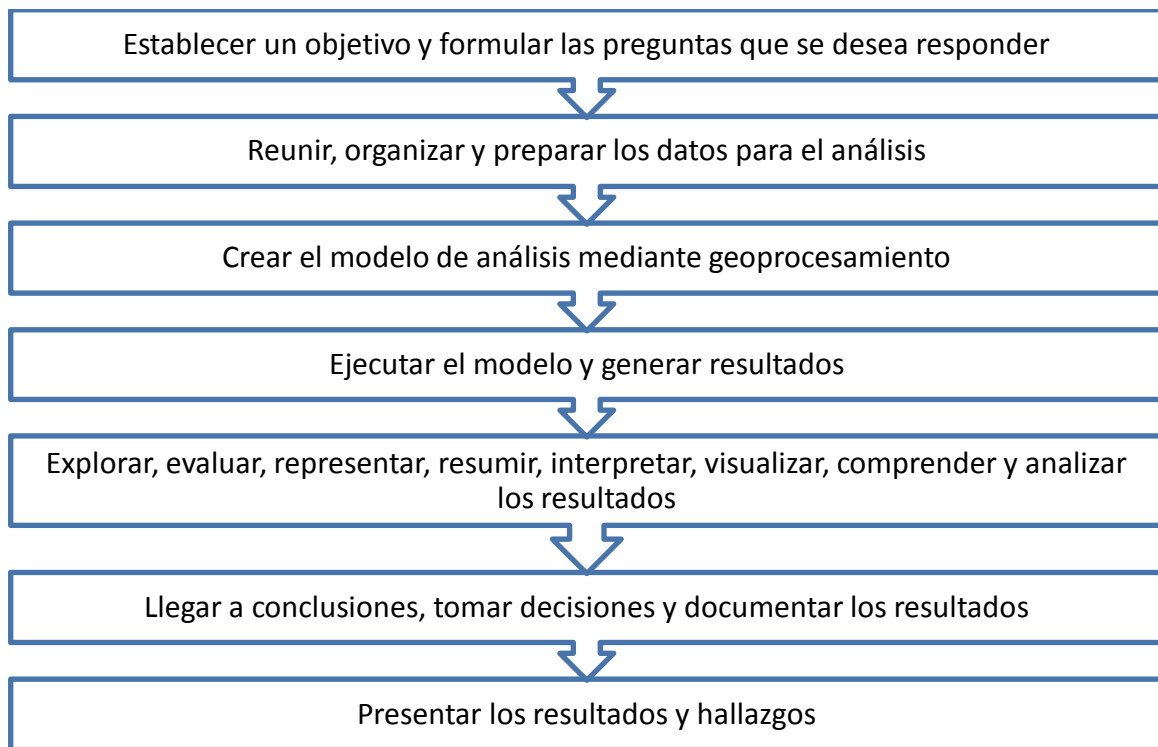


Figura 6: Proceso de análisis espacial

FUENTE: Adaptado de ESRI (2012)

En la práctica, este proceso de análisis es iterativo; pues, se va reincorporando conocimiento obtenido durante el proceso. Para los análisis correspondientes los datos a de salida son representados espacialmente (mapas, informes de resumen, gráficos científicos y estadísticos, y resúmenes de análisis) a fin de facilitar comparaciones, calibraciones, iteraciones, entre otros.

El geoprocésamiento es la ejecución metódica de una secuencia de operaciones en los datos geográficos para crear nueva información con la finalidad de realizar el modelado, el análisis y la automatización de las tareas del SIG. Como parte del proceso de análisis, esta automatización de tareas puede iterativa y permitir retroalimentación (ESRI 2012).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

El presente estudio se desarrolló teniendo como ámbito de trabajo el distrito Leimebamba (conocido también como Leymebamba), en la provincia Chachapoyas al sur de la región Amazonas. Ubicado en la zona norte del Perú entre los 6.656° Latitud Sur a 6.9125° Latitud Sur y del 77.711° Longitud Oeste al 77.938° Longitud Oeste. Cuenta con zonas de vida de bosque húmedo y muy húmedo, bosque pluvial, bosque montano tropical y páramo pluvial distribuidas en un área total de 36899.79 Ha entre los 2000 y 4300 m.s.n.m.

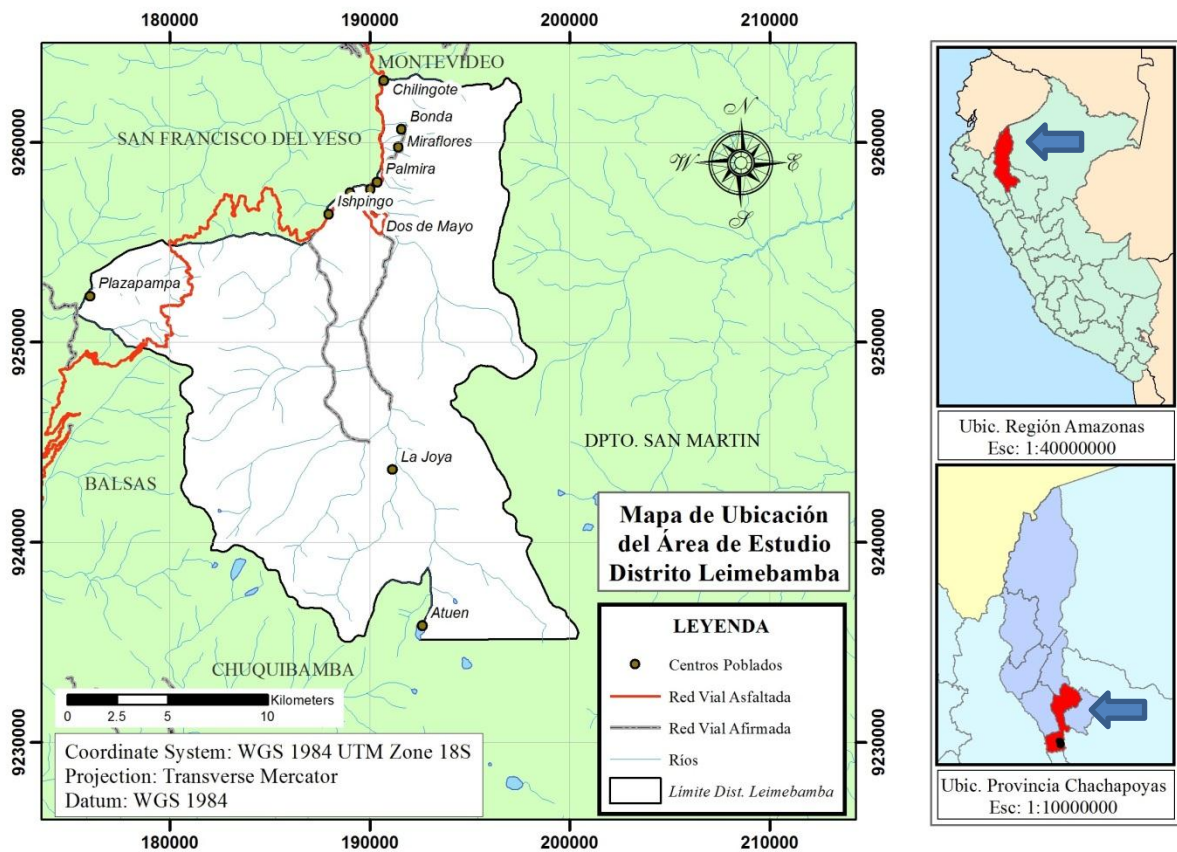


Figura 7: Mapa de ubicación del área de estudio (distrito Leimebamba)

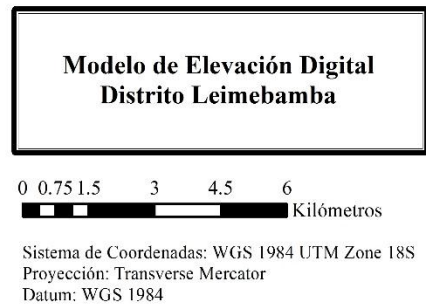
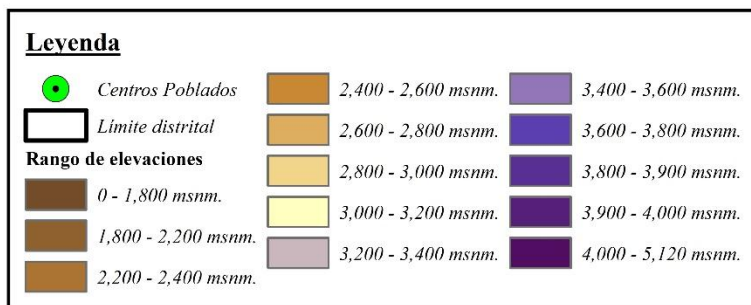
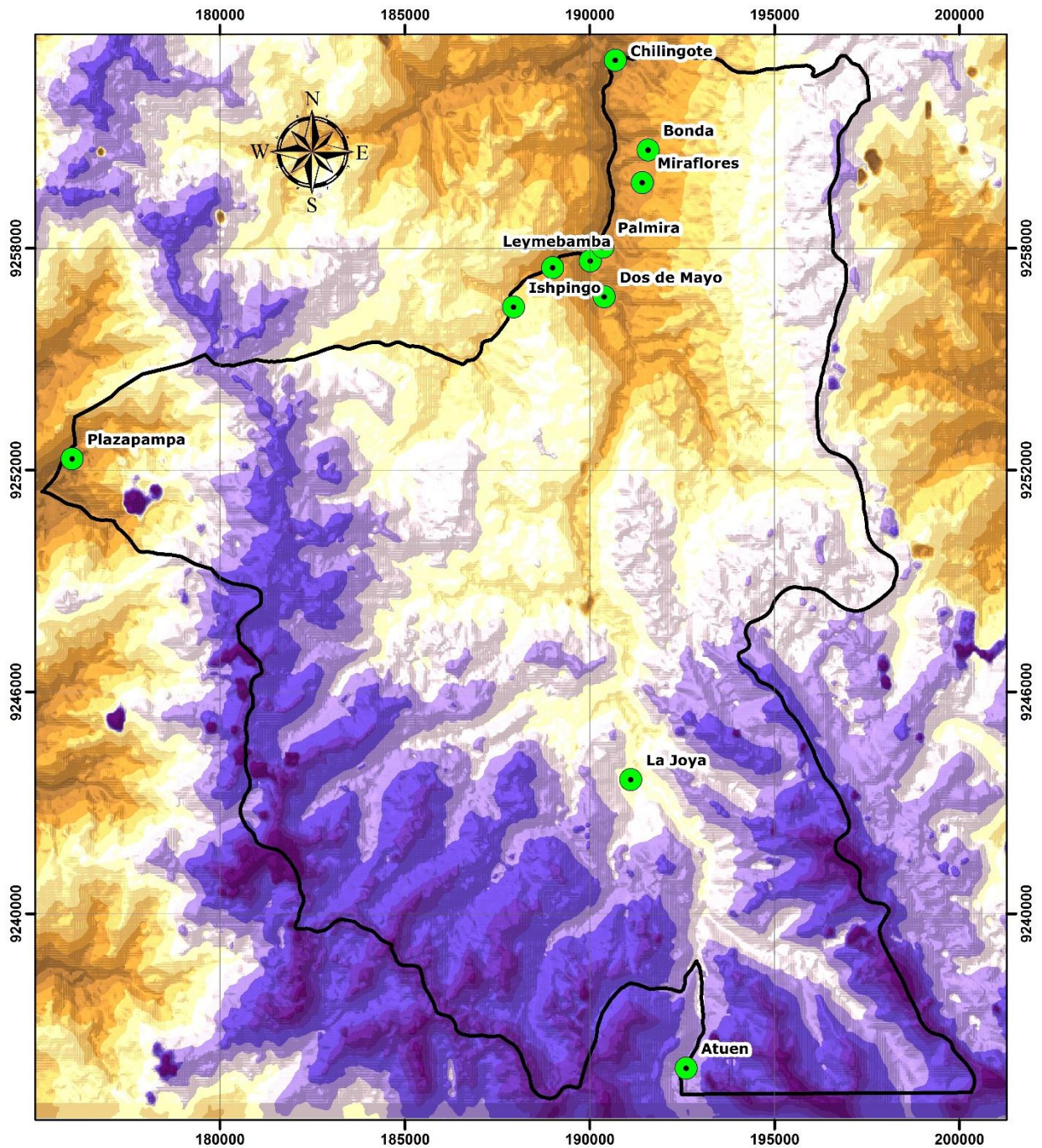


Figura 8: Modelo de Elevación Digital del ámbito de estudio

3.1.1. Características físicas

a) Climatología

Presentan climas andinos que van desde el templado cálido de las regiones Yungas hasta el templado frío en las Jalcas o Punas. Existe una uniformidad en los porcentajes de humedad permitiendo regularidad en los años agrícolas y ausencia casi total de sequías. El promedio mensual se encuentra entre 72 por ciento y 92 por ciento, siendo los meses de marzo y abril los de mayor precipitación. La variación fisiográfica generada por la influencia de la Cordillera de los Andes, que en esta parte del país disminuye su altura por debajo de los 4000 msnm., interactúa con los factores climáticos de vientos y precipitaciones causando algunas veces efectos negativos en las actividades de la población.

En promedio mensual, los rangos de precipitaciones se encuentran entre los 1200 mm. a 1600 mm. En cuanto a la distribución de la temperatura, ésta varía entre los pisos altitudinales siendo mayor para las zonas de vida de bosque muy húmedo - montano bajo tropical con 16°C medio anual; y menor para el páramo pluvial cuyo promedio anual esta entre los 3°C y 6°C (SENAMHI).

b) Geología

Existe una diversidad de formaciones líticas cuyas edades se encuentran entre el paleozoico y mesozoico tal como se describe a continuación (INADE 2006):

- **Paleozoico**

Se tiene el complejo del marañón donde predominan rocas metamórficas conformadas por esquistos, gneises, esquistos micáceos y metasedimentitas (pizarras, cuarcitas, filitas y areniscas cuarcíticas). El grupo mitu cuya composición se encuentra conformada por aglomerados, areniscas y limo arcillitas intercaladas con vulcanitas (lavas andesíticas) y piroclastos de color verde violáceo, cuyos espesores varían rápidamente de un lugar a otro.

- **Mesozoico**

La formación Sarayaquillo compuesta principalmente de lodolitas, limolitas y areniscas rojas intercaladas en estratos medios. En la parte superior se intercalan areniscas en estratos de grosores variables desde algunos centímetros hasta un metro.

El grupo oriente está conformado de areniscas cuarzosas de grano grueso en estratos gruesos bastante resistentes que generan escarpas muy empinadas. Sobre las areniscas cuarzosas se encuentran areniscas, intercaladas con limoarcillitas, limolitas y areniscas de grano fino en estratos medios a delgados de 10 a 40 cm. de grosor; ocasionalmente se encuentran capas de areniscas cuarzosas de grano fino que alcanzan grosores hasta de 4 m.

La formación Chonta está conformada por una secuencia de calizas, areniscas y limoarcillitas. Genera relieves abruptos en su parte inferior y un relieve suave en su porción superior. Se le distingue por que da lugar a suelos arcillosos y fangosos con algunos niveles calcáreos.

c) Fisiografía

En el territorio se identificaron paisajes montañosos que varían desde accidentadas laderas montañosas escarpadas en los valles bajos mientras que otros de pendiente poco pronunciada en la parte de cabecera de cuenca. Las formaciones montañosas presentan composición entre sedimentaria calizas (zona oriental), sedimentarias areniscas (zona central) y metamórficas (zona occidental) (INADE 2006).

d) Características de los suelos

Las unidades de suelo identificadas para el distrito se encuentran entre superficiales y moderadamente profundas. En su mayoría, de aptitud para protección debido a la superficialidad de los suelos o su localización en áreas de fuerte pendiente; seguidos de tierras aptas para producción forestal, de calidad agrológica baja a media con limitaciones por pendiente, superficialidad, fertilidad o erosión del suelo; y finalmente, suelos con aptitud para pastos, de baja calidad agrológica, con limitaciones por pendiente y fertilidad.

Según el estudio de Macrozonificación ecológica económica realizado por el INADE en el 2006, se clasificaron las unidades de suelo según su origen en:

- Los derivados de materiales coluvio – aluviales: formados a partir de materiales transportados a través de la pendiente y que caen sobre paisajes de pie de monte. Resalta la presencia de fragmentos gruesos de borde anguloso, siendo de muy superficiales a moderadamente profundos.

- Aquellos suelos derivados de materiales aluviales: desarrollados a partir de materiales transportados por los ríos y depositados en sus márgenes, formando terrazas de diferente altura. El desarrollo del suelo estará en función de la cantidad y velocidad de deposición de materiales.
- Suelos derivados de materiales residuales de la alteración "in situ" de las rocas. Presentes en montañas de naturaleza determinada por el tipo de origen de la roca: sedimentario, metamórfica y volcánica. Son moderadamente profundos, de textura moderadamente fina a gruesa.

Por otra parte, en base al sistema del *Soil Taxonomy* (2003), se identificaron cuatro unidades taxonómicas a nivel de subgrupo como se muestra en el Cuadro 4. Las unidades cartográficas generadas en la representación espacial de las unidades taxonómicas fueron identificadas como consociaciones, donde un componente se presenta dominante que cubre más del 85% de su superficie; y asociaciones, donde dos o más componentes no predominantes en mayor proporción cubren más del 85% de la superficie. A continuación se detallan las características de cada unidad cartográfica identificada.

Cuadro 4: Clasificación natural de los suelos

ORDEN	SUBORDEN	GRAN GRUPO	SUBGRUPO	SUELO
Entisols	Orthents	Ustorthents	Lithic Ustorthents	Leymebamba
Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Humic Dystrustepts	Pajonal
			Typic Dystrustepts	Totora
		Haplustepts	Typic Haplustepts	Pericos Rojos

FUENTE: *Soil Taxonomy* (2003)

- Lithic Ustorthents (Leymebamba)

Agrupar suelos desarrollados a partir de materiales residuales de naturaleza sedimentaria (calizas) localizados en ladera de montaña y colinas altas con pendiente de 15 a más de 70%. Son suelos superficiales, con presencia de un contacto lítico a menos de 30 cm el cual limita con material rocoso consolidado. Presenta un perfil de tipo ACR, con textura franco arenosa, La presencia de grava gruesa en todo el perfil es evidente. El drenaje es bueno. Sus características químicas están expresadas por una reacción ligeramente alcalina, con una alta saturación de bases y una fertilidad natural media a baja.

- Humic Dystrustepts (Pajonal)

Agrupación de suelos desarrollados a partir de materiales de naturaleza sedimentaria (arcillas) localizados en cimas y laderas de montaña con pendientes de 15-70%. Son suelos moderadamente profundos a profundos con perfil de tipo ABwC. Con una textura que varía con la profundidad desde franca a franco arenosa para el horizonte más profundo, tiene un buen drenaje. Los valores de materia orgánica, fósforo disponible y potasio disponible indican baja fertilidad natural para estos suelos.

- Typic Haplustepts (Pericos Rojos)

Agrupación de suelos desarrollados sobre materiales residuales de naturaleza metamórfica (cuarcitas y granodioritas), localizados en cimas y laderas de montaña con pendientes de 15 % a más de 70%. Son suelos superficiales a moderadamente profundos, con perfil ABwCr, textura de franco arenosa a textura franca. El drenaje es bueno. Sus características químicas están indicadas por una reacción neutra a ligeramente ácida con una saturación de base alta y fertilidad natural media a baja.

- Typic Dystrustepts (Totora)

Agrupación de suelos desarrollados a partir de materiales de naturaleza residual (areniscas) localizados en laderas de montaña con pendientes de 30 a más de 70%. Son suelos moderadamente profundos a profundos con perfil de tipo ABwC de textura arenoso franco. La presencia de grava fina, media y gruesa es evidente en los estratos C llegando a cubrir un volumen de 40%. El drenaje es bueno. Sus valores de materia orgánica, fósforo disponible y potasio disponible indican una fertilidad natural media a baja para estos suelos.

- Áreas misceláneas

Constituido por afloramientos rocosos donde la presencia de suelo es efímera o no evidente. Generalmente, se le encuentra asociado, en zonas de fuerte pendiente, a algunos suelos del subgrupo Lithic Ustorthents (Leymebamba) y Typic Haplustepts (Pericos Rojos). En ellas, representa el 30-50% de la asociación.

3.1.2. Características socioeconómicas

a) Uso actual del suelo

En general, el territorio distrital presenta en mayor proporción áreas de Herbazales y Bosques perennifolios. Éstos últimos se encuentran en estrecha relación con Bosques secundarios que vienen recuperándose de la intrusión antrópica ya sea para retomar su uso forestal o agrícola. Sin embargo, existen zonas donde las actividades agrícolas y ganaderas han deteriorado el suelo por erosión y sobreuso.

b) Demografía y economía

Según la proyección de población para el 2015 realizada por el INEI para la elaboración del Mapa de pobreza Provincial y Distrital 2013, el distrito Leimebamba tendrá aproximadamente 4190 pobladores. De ello, se estimó un intervalo de incidencia de la pobreza entre 34.8% y 50.8% ubicándolo en el puesto 952 del listado de pobreza distrital. Con ello, Leimebamba es catalogado como “pobre”.

Demográficamente el INEI (2015) proyectó una relativa mayoría de población masculina sobre la femenina con aproximadamente 2288 hombres, 54.6% de la población, frente a 1902 mujeres, que representan el 45.4%. Sin embargo, en los cuadros estadísticos presentados por la mencionada institución, se aprecia una disminución en el tamaño de la población del distrito.

3.1.3. Características de los recursos naturales

De la Macrozonificación ecológica económica realizado por el INADE (2006), se conoce un gran potencial en el desarrollo de la acuicultura para la confluencia de los ríos Pomacochas y Atúen, que forman el Uctubamba. Aquí las condiciones climáticas y la temperatura de sus aguas son frías, las que aguardan cierto tipo de especies por ejemplo la “trucha” que es adaptada a criaderos artesanales propios de los pobladores siendo este recurso un aporte fundamental de proteínas a la dieta alimenticia y por ello el interés comercial de comercio que genere ingresos para su desarrollo. Asociado a ello, el trabajo realizado por el INADE (2006) permitió identificar en el distrito amplias regiones con alto valor bioecológico en parte por la variabilidad amplia de las especies forestales, la vegetación, la fauna y las especies hidrobiológicas; y por otro lado la no intervención del hombre explotándolas, lo abrupto de su relieve y, la captación natural de neblinas que la

convierte en áreas muy húmedas con el consecuente escurrimiento superficial de agua, siendo ésta última característica la más importante de una cabecera de cuenca hidrográfica.

La red hídrica del distrito está en marcada casi en su totalidad en la cuenca del río Atuén, teniendo a dicha entidad como corriente principal a la que aportan diversos cursos constantes de agua y otros cauces temporales presentes en época lluviosa. Entre los aportantes perennes destacan el Sicsi, Timbambo y Agua Blanca. Además, se localizan dentro del territorio en estudio tres cuerpos de agua, destacando la Sierpe Ccocha y la Yana Ccocha.

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

Para el desarrollo de la investigación se empleó una serie de insumos que se mencionan a continuación seguidos de los elementos que nos permitieron trabajarlos:

- Imágenes satelitales multiespectrales *Landsat 8* del servidos *Earth Explorer* del Servicio Geológico de los Estados Unidos (*United States Geological Survey – USGS*)
- Imágenes de alta resolución espacial disponibles para el área de estudio del Google Earth descargadas por el *software* SAS Planet
- Mapas temáticos obtenidos del geoservidor del Ministerio del Ambiente (MINAM)
- Información geoespacial, descriptiva y cartográfica del Proyecto Macrozonificación Ecológica Económica de la Región Amazonas realizado por del INADE (Instituto Nacional de Desarrollo) como entidad adscrita al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento por encargo del Gobierno Regional de Amazonas (GRA).
- Información cartográfica básica descargada del geoservidor del Ministerio de Educación (MINEDU).
- Modelo de Elevación Digital del proyecto ASTER *Global Digital Elevation Model* (ASTER GDEM) producido conjuntamente por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (*Ministry of Economy, Trade and Industry – METI*) y la Administración Nacional Aeronáutica y Espacial (*National Aeronautics and Space Administration – NASA*).

- Información histórica de pluviometría compartida por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de las estaciones meteorológicas cercanas al territorio distrital.
- Plataforma ArcGIS 10.1 y Software ENVI 5.0
- Plataforma Microsoft Office 2013
- Computador Personal Windows 7. Procesador Intel Core i7.
- Impresora y Plotter A1

3.3. METODOLOGÍA

El proceso desarrollado para el análisis de vulnerabilidad consistió en cuatro fases según se muestra en el siguiente esquema metodológico:

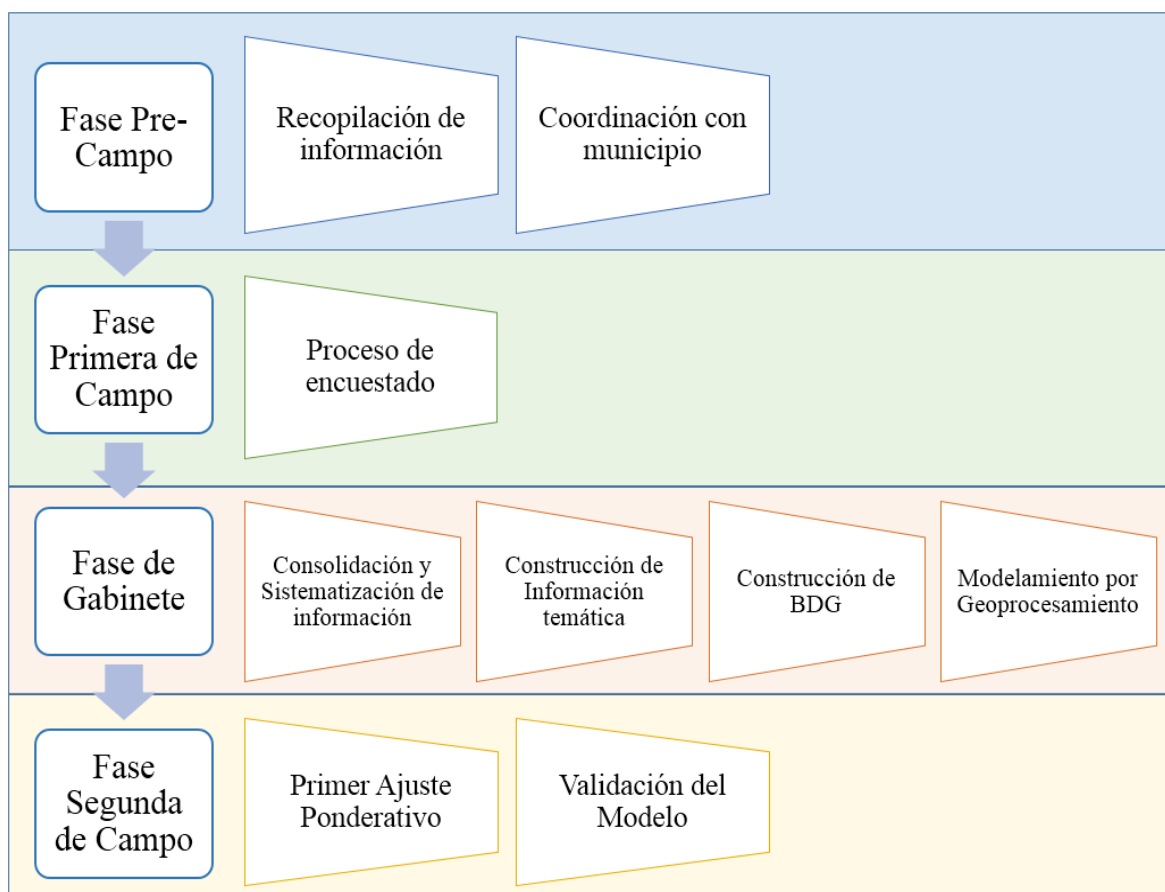


Figura 9: Esquema metodológico desarrollado

3.3.1. Fase Pre-Campo

En esta fase se consideró la recopilación de información de estudios precedentes que involucren la zona de estudio a fin de conocer sus características físicas y socioeconómicas. Se discriminaron los datos a fin de conseguir información de fuentes confiables, focalizar ésta a los objetivos de análisis del proyecto y revisar el tiempo de antigüedad y actualización de los mismos. Como resultado se obtuvo información estadística, descriptiva y analítica de las características del distrito Leimebamba. Del geoservidor del Ministerio de Educación se extrajo información temática de locales escolares e instituciones educativas, información temática de centros poblados, cartografía base referida a hidrografía y topografía (curvas de nivel cada 50 metros); mientras que, del geoservidor del Ministerio del Ambiente se obtuvo la información temática del mapa de susceptibilidad física del Perú elaborado por dicha institución.

En paralelo, se realizaron conversaciones de acercamiento con el municipio distrital consiguiendo su respaldo ante la población involucrada. Esto fue concretado en un convenio de cooperación entre la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina y el Municipio Distrital de Leimebamba.

3.3.2. Fase primera de campo

En esta fase se utilizó un proceso de encuestado por la capacidad de desagregación que permite para complementar y actualizar información con mayor posibilidad de cambios en el tiempo como las características demográficas, características económicas de la población, cantidad y calidad de la infraestructura pública, características de uso del territorio, entre otros. En ese sentido, el diseño de encuestas (léase Marbán Gallego 2013) tuvo como objetivos la obtención de datos de las características demográficas actualizadas y de la situación de abastecimiento de las necesidades básicas en el distrito según las implicancias descritas por la bibliografía referida (léase Feres y Mancero 2001). De lo expuesto, la ficha del cuestionario (Anexo 1) consideró los siguientes tópicos y sus respectivas variables:

- Sexo: agrupado en Femenino / Masculino
- Edad: ingreso numérico para ser luego estratificado.

- Grado de Instrucción: estratificado por niveles Sin Estudios / Jardín / Primaria Completa / Primaria Incompleta / Secundaria Completa / Secundaria Incompleta / Técnico Superior
- Ocupación: siendo un tópico que admite una amplia gama de variables, fue recogida por respuesta libre. Sin embargo, para el proceso se identificaron las actividades más recurrente siendo estratificadas las respuestas en: Ama de Casa / Agricultor / Estudiante / Comerciante / Oficios en general / Profesional
- Vivienda
 - Situación: referido a si es Alquilada / Propia
 - Material de Vivienda: evaluando para Techo y Paredes. Se recogió respuesta libre identificando luego como variables para el procesamiento de la data:
 - Techo: Ladrillo / Teja / Calamina / Paja
 - Pared: Ladrillo / Tapial / Adobe / Madera / Estera
- Programas Sociales: Identificando los programas implementados en la zona se tiene: Juntos / Vaso de Leche / Pensión 65 / Qali Warma / Cuna Mas / Beca 18
- Salud:
 - Seguro de Salud: teniendo como opciones de respuesta el Seguro Integral de Salud / EsSalud / Seguro Privado
 - Discapacidad: identificar personas con habilidades diferentes sean físicas o mentales

La administración de las fichas se realizó teniendo las unidades familiares como puntos de toma de datos desagregada a nivel de cada poblador. Fue realizado para una muestra de los centros poblados que representen mejor la situación actual del distrito. El corrido del equipo de apoyo fue aprovechado a su vez para documentar áreas identificadas por los pobladores como zonas de ocurrencia frecuente de deslizamientos, derrumbes y flujo de lodos o detritos.

3.3.3. Fase primera de gabinete

a) Consolidación y sistematización de información temática geoespacial

En esta fase, la información de carácter espacial y no espacial recolectada de distintas instituciones fue consolidada, uniformizada y sistematizada en función de los requerimientos del proceso emprendido para analizar la vulnerabilidad distrital. En tal sentido, se uniformizó el sistema de referencia espacial para todo proceso al Datum WGS – 84, proyección UTM en la Zona 18 tomando como escala de trabajo 1:100000.

b) Construcción de información temática

En esta fase se reconstruyeron y actualizaron mapas temáticos de pendientes, precipitación y se actualizaron los mapas de cobertura vegetal y uso actual:

- Información Temática de Pendientes:

Teniendo como insumo la cartografía base (curvas de nivel) descargada del servidor web del Ministerio de Educación a partir del cual se generó una superficie TIN y su consiguiente superficie Raster. Con ello se generó la información temática de pendientes con unidades de medición el *tanto por ciento* (%) clasificadas en rangos similares a los trabajados en la ZEE Amazonas (INADE 2006) por ser de utilidad en el análisis fisiográfico del territorio:

Cuadro 5: Fases por pendiente

Símbolo	Rango	Descripción
A	0 - 5 %	Plano a ligeramente inclinado.
B	5 - 15 %	Moderadamente a fuertemente inclinado
C	15 - 30 %	Ligeramente empinado
D	30 - 50 %	Moderadamente empinado
E	50 - 70 %	Fuertemente empinado
F	> 70 %	Extremadamente empinada

FUENTE: INADE (2006)

- Información temática de precipitaciones:

El insumo utilizado fue la información solicitada y proporcionada por el SENAMHI para el periodo 2005-2015 de las siguientes estaciones:

Cuadro 6: Estaciones meteorológicas cercanas a Leimebamba

Estación	Latitud (°S)	Longitud (°O)
Chachapoyas	-6.2086	-77.88111
Rodríguez de Mendoza	-6.300278	-77.41694
Leimebamba	-6.550278	-77.80028
Alao	-6.518889	-76.73
Saposoá	-6.915	-76.77944
Rioja	-6.046667	-77.16694
Soritor	-6.135278	-77.08444
Pachiza	-7.281111	-76.7775
Celendín	-6.864167	-78.11833

FUENTE: SENAMHI

Se procedió completando los datos faltantes empleando el Método Racional Deductivo; desarrollando el consiguiente análisis de consistencia por el método comparativo de Curva de Doble Acumulación y las pruebas estadísticas de T de Student y F de Fisher aceptándose la consistencia de la muestra. Para generar la información temática de precipitaciones se revisaron las distintas metodologías de interpolación que existen, pues, su elección depende de varios factores tales como el tipo de parámetro a trabajar, la disponibilidad, la densidad y la distribución de los datos. Entre los métodos más trabajados en investigaciones pluviométricas se tienen el IDW (Distancia inversa ponderada, de sus siglas en inglés *Inverse Distance Weigth*) y el de Curvas *spline*. Mientras el primero determina los valores desconocidos ponderando la influencia que los datos tendrán sobre su entorno en función inversa a la distancia entre ellos; por su parte, el método *spline* consiste en el ajuste local de ecuaciones polinómicas con X e Y como variables independientes identificando así los valores intermedios entre dos puntos conocidos mediante la composición de partes de funciones polinómicas que se ajusten mejor a los puntos conocidos. Child (2004) hace una revisión de los métodos y sus aplicaciones indicando para el método IDW que se logran mejores correspondencias cuando se cuenta

con una red de información densa y distribuida en la extensión del ámbito; mientras que, la metodología *Spline*, por su capacidad de predecir máximos y mínimos, es recomendada para representar variables meteorológicas. En el ámbito de investigación del presente trabajo, no se contó con una distribución uniforme de la información pluviométrica, pues, existe sólo una estación dentro del distrito, razón por la cual se decidió emplear el método *spline* para generar la información temática de precipitaciones. Sin embargo, cabe precisar que en última instancia la mejor correspondencia para la aplicación de uno u otro método dependerá de trabajos de comparación, validación y correspondencia entre resultados propios de un proceso específico de análisis pluviométrico el cual no es objetivo de la investigación realizada.





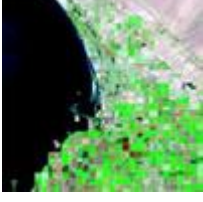
Con ello, la información temática de precipitaciones máximas anuales fue generada a partir de la interpolación de los datos por el método *Spline*, considerado como el de mejores resultados para representar las curvaturas de las superficies de variación para variables meteorológicas (Child 2004).

- Información temática de Cobertura Vegetal - Uso Actual:

Siguiendo el proceso explicado por White y Minang (2011), se decidió mantener la clasificación de coberturas terrestres empleada por el INADE la cual adaptó a la realidad de la región el Sistema de Clasificación propuesto por la UGI. La verificación de la disponibilidad de mapas ya existentes definió la necesidad de realizar modificaciones menores para su uso mediante el procesamiento digital de imágenes satelitales basado en píxeles considerando las siguientes etapas:

- Prueba de combinaciones de bandas para imágenes multiespectrales del Landsat 8 a fin de discriminar correctamente las clases de uso del territorio según las recomendaciones de USGC (2013) (Cuadro 7 y 8).
- Procesos de clasificación supervisada por el método de máxima probabilidad a fin de obtener una primera aproximación de las áreas cubiertas por las distintas clases

Cuadro 7: Recomendaciones de combinaciones de banda para imágenes Landsat 8

Ejemplo de visualización	Aplicación recomendada	Combinación de bandas Landsat 8
	Color infrarrojo (vegetación)	5,4,3
	Color natural	4,3,2
	Análisis de vegetación	6,5,4
	Falso color (urbano)	7,6,4
	Natural con remoción atmosférica	7,5,3

FUENTE: USGC (2013)

Cuadro 8: Distribución de las bandas del satélite Landsat 8 en OLI y TIRS

Bandas	Sensor	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
<i>Banda 1 – Aerosol costero</i>	<i>OLI</i>	<i>0.43 – 0.45</i>	<i>30</i>
<i>Banda 2 – Azul</i>	<i>OLI</i>	<i>0.45 – 0.51</i>	<i>30</i>
<i>Banda 3 – Verde</i>	<i>OLI</i>	<i>0.53 – 0.59</i>	<i>30</i>
<i>Banda 4 – Rojo</i>	<i>OLI</i>	<i>0.64 – 0.67</i>	<i>30</i>
<i>Banda 5 – Infrarrojo cercano (NIR)</i>	<i>OLI</i>	<i>0.85 – 0.88</i>	<i>30</i>
<i>Banda 6 – Longitud de onda corta del infrarrojo (SWIR) 1</i>	<i>OLI</i>	<i>1.57 – 1.65</i>	<i>30</i>
<i>Banda 7 – Longitud de onda corta del infrarrojo (SWIR) 2</i>	<i>OLI</i>	<i>2.11 – 2.29</i>	<i>30</i>
<i>Banda 8 – Pancromática</i>	<i>OLI</i>	<i>0.50 – 0.68</i>	<i>15</i>
<i>Banda 9 – Cirrus</i>	<i>OLI</i>	<i>1.36 – 1.38</i>	<i>30</i>
<i>* Banda 10 – Infrarrojo térmico 1</i>	<i>TIRS</i>	<i>10.60 – 11.19</i>	<i>100</i>
<i>* Banda 11 – Infrarrojo térmico 2</i>	<i>TIRS</i>	<i>11.50 – 12.51</i>	<i>100</i>

FUENTE: USGS (2013)

** Las bandas TIRS se adquieren a una resolución de 100 metros, pero se vuelven a remuestrear a 30 metros.*

- Procesos complementarios de clasificación supervisada por el método *Máximo Likelihood* para imágenes de alta resolución espacial (IARE) de satélites Quickbird (0.60 m. en pancromático y 2.74 m. en multiespectral) e IKONOS (1 m. en pancromático y 4 m. en multiespectral) disponibles con frecuencia en el mapamundi virtual Google Earth dispuestas en sus bandas ópticas (alcanzando una resolución espacial para el color natural a partir de 0.60 m. a 2 m. dependiendo de la región) siendo descargadas como ortofotos por el software SAS Planet.
- Para el caso de bofedales, por presentar ND similares a otras coberturas, transposición de áreas identificadas en la primera clasificación como posibles cubiertas de dicha vegetación (léase García y Llellish 2012) y las áreas habitad identificadas (según INADE 2006). El área intersectada fue sometida a una tercera clasificación supervisada (*Máximo Likelihood Classification*).
- Demarcación manual con polígonos del sector antrópico urbano alrededor de los pequeños centros poblados.

c) **Construcción de la base de datos geoespacial**

Como se expuso en la revisión bibliográfica, el diseño de la BDG procedió en tres etapas: conceptual, lógica y física. Adicional a ello, la integración de información de los factores socio-económicos recopilada en campo (no espacial) y de los mapas temáticos (información espacial) se realizó en dos partes: generación y vinculación de BD de Microsoft Access a la plataforma ArcGIS y Diseño de BDG en esta última.

- **Base de Datos de Factores Sociales**

- Determinación de la finalidad de los datos

La finalidad del diseño de la Base de Datos en esta etapa fue la de aportar al análisis socioeconómico de vulnerabilidad mediante la vinculación con una BD de expresión geoespaciales los datos obtenidos en campo a través de procesos de encuestado. De ello, se decidió trabajar en todos los casos con los mismos modelos de esquema recomendados para el manejo de BDG por motivos de uniformidad.

- Búsqueda y Organización de la información

La data sobre la cual se llevó a cabo el diseño, fue la recopilada por el proceso de encuestado. A su vez, se contrastó con información existente en el geoservidor del Ministerio de Educación y proveniente de la Autoridad Nacional del Agua respecto a la infraestructura del distrito y cobertura de redes en el mismo.

- Diseño Conceptual

- Selección de entidades o temas principales: Se identificaron como entidades de estudio los centros poblados, centros de salud, centros educativos, viviendas (puntos de obtención de data) y pobladores encuestados. Adicionalmente se separaron cuadros de estudio de las viviendas y de los pobladores: servicios con los que cuentan, programas sociales, opinión de servicios e infraestructura y necesidad de ejecución de obra. Cada una de las entidades generó un registro tabular.
- Identificación de atributos de las entidades: Se definieron los atributos a considerar para cada entidad conseguidos a partir de las encuestas realizadas y en función de las características a evaluar:
- Definición de relaciones y cardinalidades entre tablas: Se definieron relaciones entre cada entidad de estudio en función de las características que lo permitan. Se trabajó con las recomendaciones de Ramos et al. (2006) para el empleo del Lenguaje Unificado de Modelado (UML).

Se presenta a continuación el esquema conceptual según las características requeridas (entidades, atributos y relaciones) para la BD a trabajar:

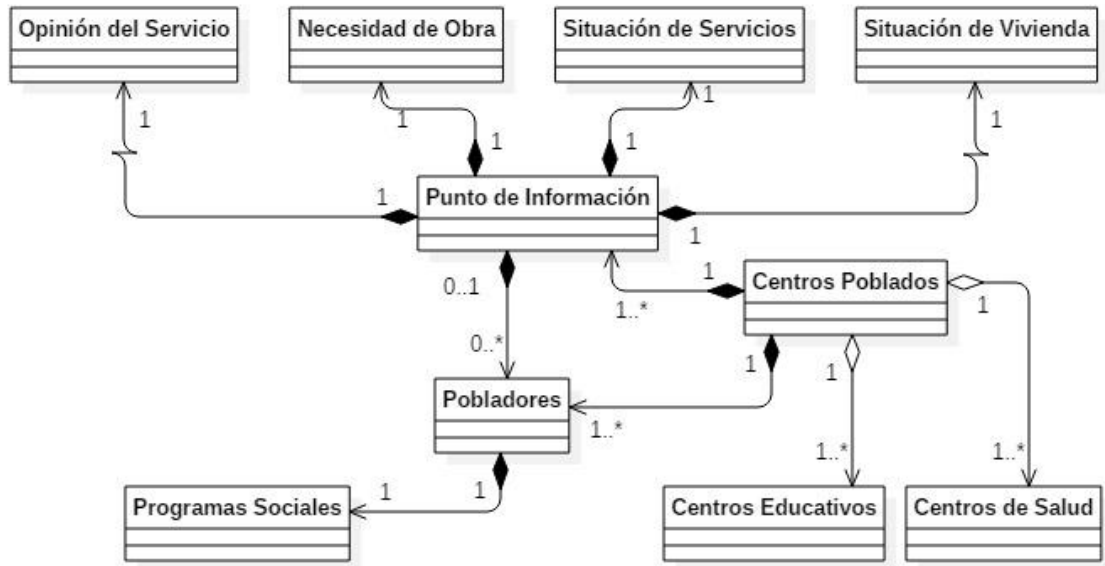


Figura 10: Esquema conceptual (UML) base de datos de factores sociales

- Diseño Lógico

Seguidamente, se decidió emplear como gestor de base de datos la plataforma Microsoft Access. En ella, según el esquema conceptual previamente diseñado, se estructuró el esquema lógico siguiendo las propiedades y características que admite el modelo objeto - relacional. Seguidamente se trabajaron las reglas de normalización a fin de asegurar la inexistencia de dependencias no deseadas entre atributos.

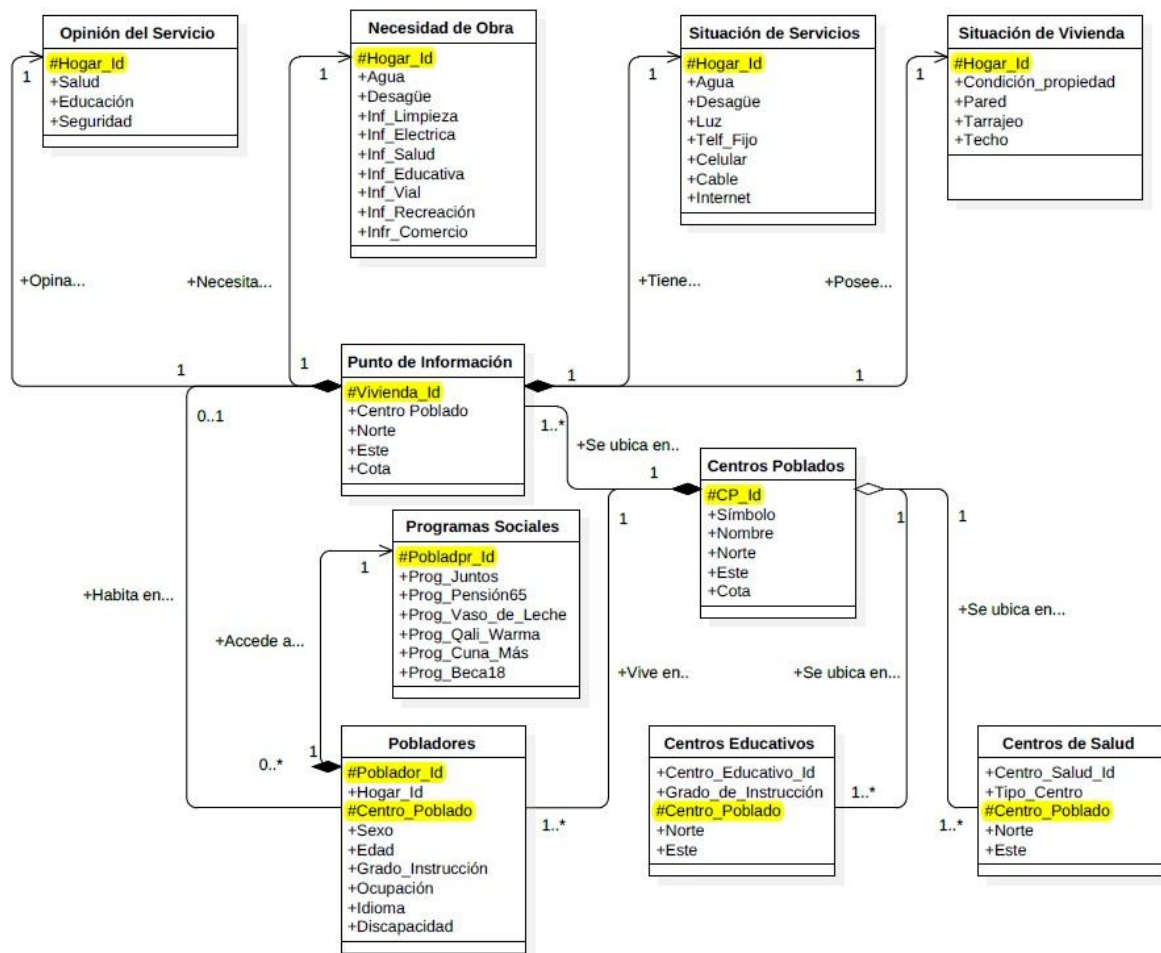


Figura 11: Esquema Lógico base de datos de factores sociales

Cuadro 9: Llaves de relaciones entre entidades

Entidad	Llave Primaria	Entidad	Llave Foránea
Centro poblado	CP_Id	Punto de información	Centro Poblado
Centro poblado	CP_Id	Pobladores	Centro Poblado
Centro poblado	CP_Id	Centros Educativos	Centro Poblado
Centro poblado	CP_Id	Centros de Salud	Centro Poblado
Punto de información	Vivienda_Id	Pobladores	Hogar_Id
Punto de información	Vivienda_Id	Opinión del Servicio	Hogar_Id
Punto de información	Vivienda_Id	Necesidad de Obra	Hogar_Id
Punto de información	Vivienda_Id	Situación de Servicios	Hogar_Id
Punto de información	Vivienda_Id	Situación de Vivienda	Hogar_Id
Pobladores	Poblador_Id	Programas Sociales	Poblador_Id

- Diseño Físico

Finalmente, el resultado del modelo físico de la base de datos generado en la plataforma Microsoft Access es un esquema físico conocido como diccionario de datos que contiene las características de los ítems y las especificaciones de la base de datos física (García Ruiz y Otálvaro Arango 2009) (Anexo 2)

- **Base de Datos Integrada para Análisis Geoespacial de Vulnerabilidad**

- Determinación de la finalidad de los datos

La base de datos generada en esta etapa fue aquella sobre la cual se desarrollaron los análisis de vulnerabilidad. En tal sentido, el objetivo fue representar los distintos factores a calificar teniendo en cuenta la vinculación de los datos sociales como argumento del submodelo socio económico.

- Búsqueda y Organización de la información, correspondiente a los recopilados y construidos anteriormente.
- Diseño Conceptual
 - Selección de entidades o temas principales: Se seleccionaron para el aspecto físico los siguientes factores: precipitación, pendiente del terreno, fisiografía y geomorfología, suelos, geología, y cobertura vegetal. Para el aspecto socio económico las entidades identificadas fueron: la capacidad de uso mayor de los suelos, características de uso actual, frentes económicos, necesidades básicas insatisfechas, presencia de programas sociales del gobierno e infraestructura tanto de salud como educativa. Para argumentar los valores de calificación a asignar se vincularon como tablas las consultas realizadas previamente a la base de datos en Access. Los submodelos y modelos de análisis para cada aspecto fueron también considerados como entidades para el diseño.
 - Identificación de atributos de las entidades: Se revisaron las tablas de atributos asociados a cada entidad espacial existente definiendo los campos que

perdurarían y aquellos de los que se prescindió por el objetivo del modelamiento.

- Definición de relaciones y cardinalidades entre objetos: Las relaciones fueron diseñados para argumentar los criterios de evaluación a asignar en el geoprocresamiento en función a las características del territorio y su incidencia en la vulnerabilidad. En tal sentido, se consideró la formación de relaciones entre modelos y sus respectivos factores evaluados. Se procedió trabajando el lenguaje UML en la plataforma Star UML (versión de prueba) a fin de permitir las características de diseño propias del modelo OR:

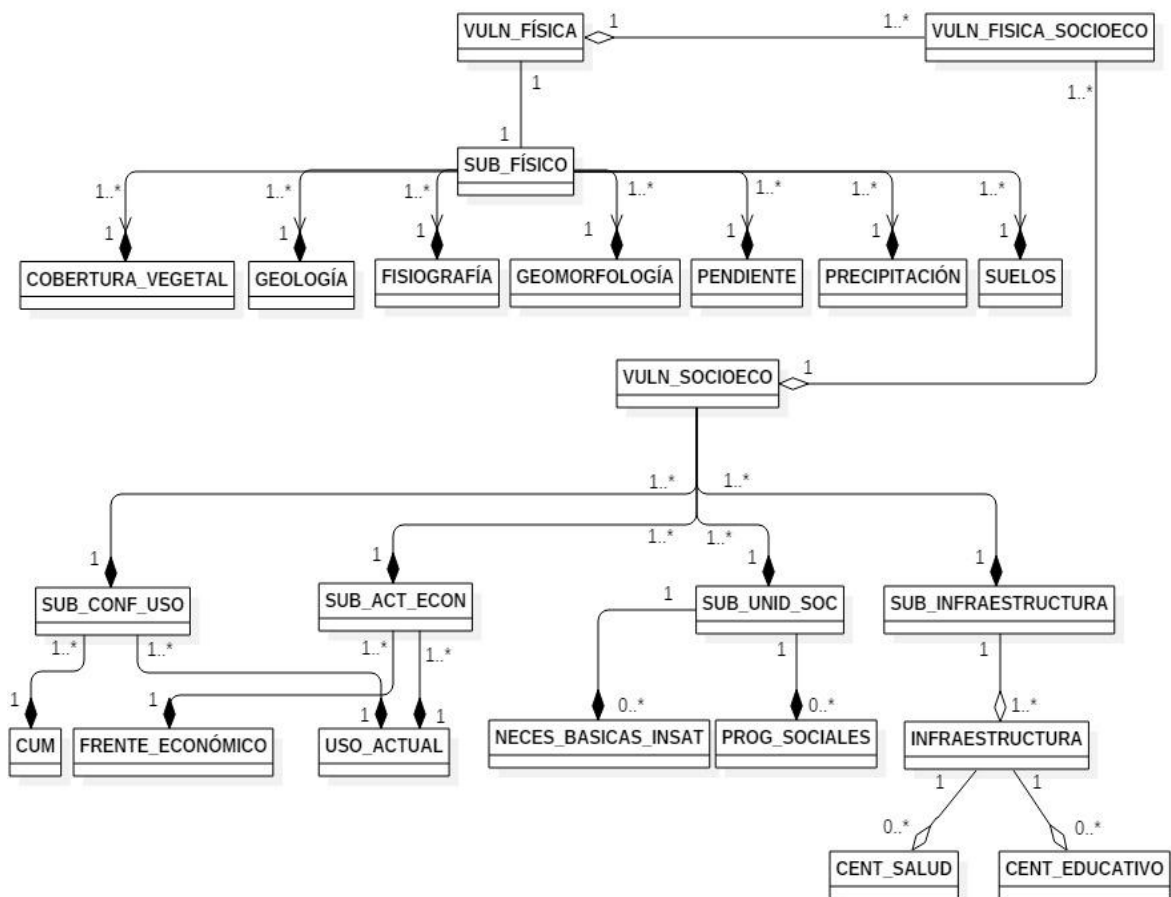


Figura 12: Esquema conceptual UML de BDG integrada

- Diseño Lógico

Se decidió emplear la plataforma ArcGIS para manejar los objetos y relaciones propuestas siguiendo el modelo objeto-relación (García Ruiz y Otálvaro Arango 2009) mediante el empleo del software ArcGIS Diagrammer: (a) se proyectó el esquema conceptual al esquema lógico; (b) se seleccionaron los campos a ser empleados como identificadores de cada registro a crear; (c) se aplicaron las reglas de normalización a las tablas de atributos a fin de garantizar la no generación de dependencias no deseadas entre atributos. Adicionalmente, se definieron las características de las entidades que formarán parte de la BDG. En la Figura 13 se presenta el esquema lógico trabajado.

- Diseño Físico

Luego de ser implementado como Geodatabase en la plataforma ArcGIS 10.X, se presenta el diccionario de datos donde se detallan las características de los objetos constituyentes (Anexo 3). La facilidad que ofrece ArcGIS 10.X para crear, consultar y editar una geodatabase radica en que no requiere programación alguna (ESRI 2012)

d) MODELAMIENTO POR GEOPROCESAMIENTO DE LA BASE DE DATOS

Se automatizaron los procesos de integración de factores y actualización de las relaciones de la BDG. Los factores identificados como elementos de la base de datos previamente diseñada fueron repartidos en cinco grupos de integración entre el ámbito físico y el socioeconómico según las características que involucraban construyéndose los respectivos submodelos. Para la integración física se consideraron los criterios de la cobertura vegetal, la fisiografía relacionada y explicada por la geomorfología, la geología, la pendiente, los valores de precipitación, y las características de los suelos. Por su parte, la integración de las características de uso actual de los suelos y la capacidad de uso mayor permitió generar el submodelo de conflicto de uso. Así mismo, la información temática de uso actual y los frentes económicos del distrito dieron origen al submodelo de actividades económicas; luego, al agrupar la información de necesidades básicas insatisfechas y la presencia de programas sociales se consiguió el submodelo de unidades sociales. Finalmente, los criterios de valoración e integración de la infraestructura de salud, de educación, infraestructura sanitaria, redes eléctricas, redes de telecomunicaciones y la red vial originó la información temática del submodelo de infraestructura.

A su vez, la información temática de cada submodelo fue integrada componiendo modelos de vulnerabilidad para los dos grandes grupos de análisis según las dimensiones valoradas: el modelo de vulnerabilidad física surge a partir del submodelo físico; mientras que, el modelo de vulnerabilidad socioeconómica fue generado a partir de la integración del submodelo de conflicto de uso, el de actividades económicas, el de unidades sociales y el de infraestructura.

Para todos los casos, las unidades geográficas de cada factor fueron sometidas a calificación valorando el grado de incidencia que tendrían en cuanto a la susceptibilidad del territorio que representan según su ámbito de análisis (físico, detallado en los Cuadros 10 al 16; o socioeconómico, detallados en los Cuadros 17 al 28). Luego, la integración de la información temática se realizó tomando en cuenta el grado de incidencia que aportaría cada variable a la vulnerabilidad; ello fue reflejado en la afectación de factores ponderativos los cuales permitieron en última instancia asemejar el resultado del modelo a la situación real del territorio. Finalmente se actualizaron las relaciones existentes entre cada objeto de la base de datos geoespacial.

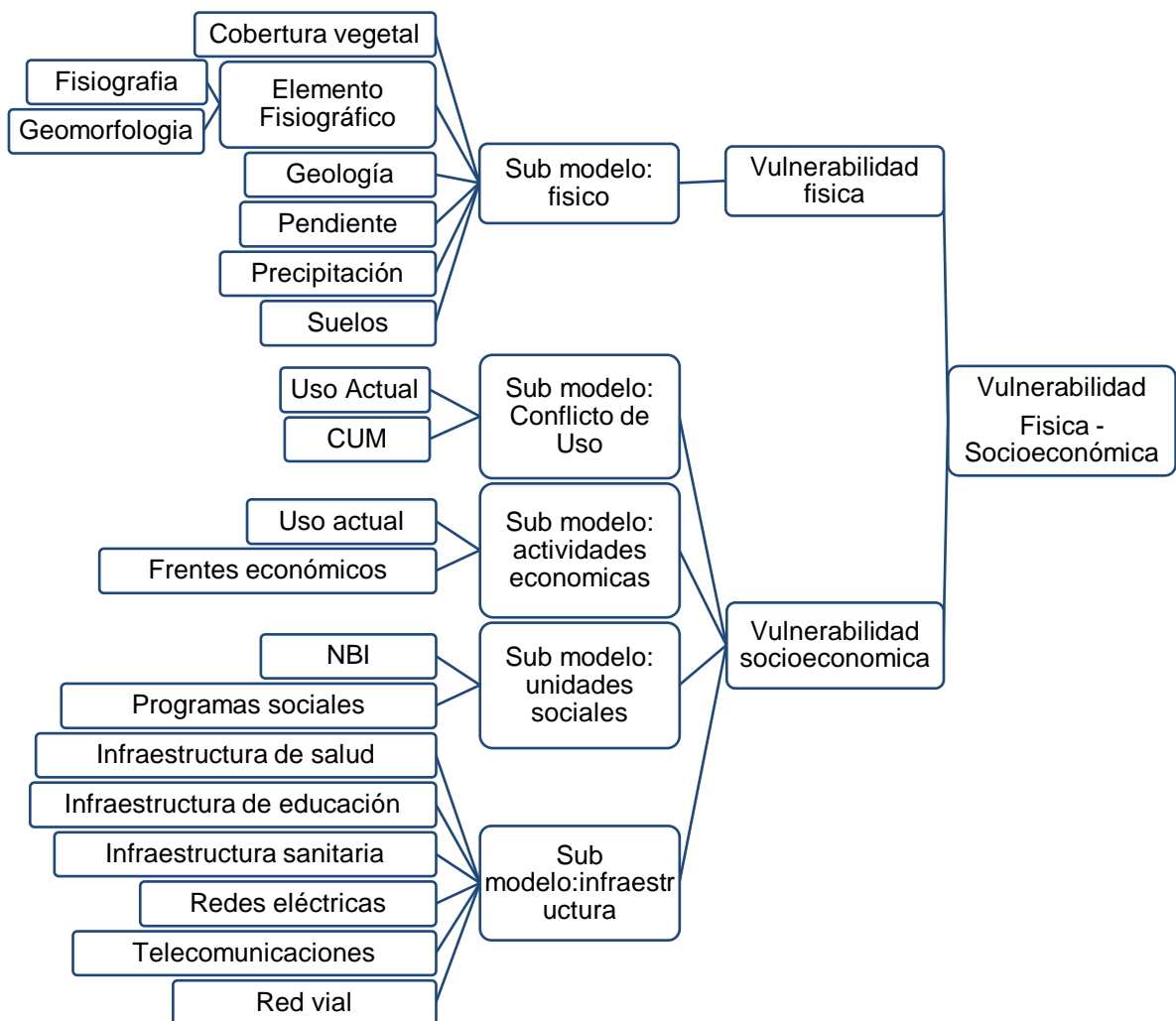


Figura 14: Flujograma de Geoprocesamiento

FUENTE: Adaptado de Ochoa Janampa (2014)

- **Modelo de análisis de vulnerabilidad física**

La integración de los factores físicos involucrando sus grados de incidencia en la vulnerabilidad es representada mediante la siguiente fórmula.

$$MVF = A * Pend + B * Prec + C * CV + D * Sue + E * Fis + F * Gmf + G * Geo$$

Donde:

Pend Pendiente

Prec Precipitación

CV Cobertura Vegetal

Sue Suelos

Fis Fisiografía

Gmf Geomorfología

Geo Geología

A, B, C, D, E, F, G Factores de ponderación del grado de incidencia en la vulnerabilidad

La ecuación de integración ponderativa presentada para el análisis de vulnerabilidad física fue trabajado por Ochoa Janampa (2014) en el análisis similar realizado para la cuenca hidrográfica Jequetepeque, aquí se expone el objetivo de analizar la acción de los agentes externos e internos como influencia en la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes y flujos de lodos y detritos. A su vez, se toma como referencia los estudios realizados por el MINAM (2011) en la elaboración del Mapa de Vulnerabilidad Física del Perú. En él se tomaron como factores de análisis para el aspecto físico la información temática de cobertura vegetal, precipitaciones, características de los suelos, rangos de pendientes, características geológicas y fisiográficas. Los factores ponderativos mostrados permiten representar los grados de incidencia que cada factor mantiene sobre la vulnerabilidad del aspecto analizado.

Para definir los valores de calificación asociados a cada variable temática se trabajó en base a los criterios de valoración establecidos por el Ministerio del Ambiente en la elaboración del mapa de Vulnerabilidad Física del Perú tomando una escala del 1 al 10 en función de qué atributos condiciona las unidades como más o menos vulnerables:

- Información Temática de Precipitación

La energía cinética de la lluvia está estrechamente vinculada con la capacidad de la lluvia para causar erosión; así, la energía cinética varía directamente proporcional con la intensidad de precipitación (FAO, citado por MINAM 2011). En tal sentido, se trabajó la siguiente calificación según la distribución del rango de valores máximos mensuales obtenidos de los registros históricos de estaciones aledañas.

Cuadro 10: Valoración de la información temática de precipitaciones máximas

Rango	Vulnerabilidad	Valor de Calificación
< 1200 mm.	Baja	2
1200 - 1300 mm.	Media	4
1300 - 1400 mm.	Media	5
1400 - 1500 mm.	Media Alta	7
1500 - 1600 mm.	Alta	9
> 1600 mm.	Muy Alta	10

- Información Temática de Pendientes

La perspectiva de análisis incorporó el concepto de erosión del suelo. En tal sentido, cuanto mayor es la pendiente, mayor es el peligro a la erosión y pérdida del suelo; es decir, con pendientes bajas, la erodabilidad es baja mientras que a pendientes mayores, la erodabilidad guarda relación directa (MINAM 2011).

Cuadro 11: Valoración de la información temática de pendientes

Rango	Vulnerabilidad	Valor de Calificación
0 - 5%	Baja	2
5 - 15%		4
15 - 30%	Media	6
30 - 50%		8
50 - 70%	Alta	9
> 70%	Muy Alta	10

○ Información Temática de Suelos

Las unidades edáficas identificadas del Proyecto de Zonificación Ecológica Económica de la Región Amazonas (INADE 2006) para el ámbito de estudio fueron evaluadas tomando en consideración sus características de pendiente, profundidad efectiva, textura y pedregosidad. Pues, como lo indicó Ochoa Janampa (2014), una interacción de pendiente empinada, profundidad efectiva muy superficial, textura gruesa y alto porcentaje de pedregosidad predispondrían la inestabilidad de la unidad de suelo para derrumbes, deslizamientos, huaycos.

Cuadro 12: Valoración de la información temática de suelos

Unidad Taxonómica	Descripción	Vulnerabilidad	Valor de Calificación
Humic Dystrustepts (Pajonal)	Materiales de naturaleza sedimentaria (arcillas) Suelos moderadamente profundos a profundos, textura franca a franco arenoso. El drenaje es bueno.	Media	4
Lithic Ustorthents (Leymebamba)	Materiales residuales de naturaleza sedimentaria (calizas) Suelos superficiales, contacto lítico a menos de 30 cm, limita con material rocoso consolidado. Perfil ACR, franco arenoso, presencia de grava gruesa en todo el perfil. Drenaje bueno.	Alta	7
Lithic Ustorthents (Leymebamba) - Áreas Misceláneas	Similar a Leymebamba, pero constituido por afloramientos rocosos donde la presencia de suelo es efímera o no evidente y mesetas	Alta	7.5

Continuación

Unidad edáfica	Descripción	Vulnerabilidad	Valor de Calificación
Typic Haplustepts (Pericos rojos) - Áreas Misceláneas	Materiales residuales de naturaleza metamórfica (cuarcitas y granodioritas), Suelos superficiales a moderadamente profundos, perfil ABwCr, epipedón 15 cm de espesor y textura franco arenosa y un horizonte de textura franca. Este perfil descansa sobre un estrato gravoso-guijarroso a 60 cm de profundidad. El drenaje es bueno.	Alta	8
Typic Dystrustepts (Totora)	Materiales de naturaleza residual (areniscas). Suelos moderadamente profundos a profundos, perfil AbwC, textura arenosa franco. Presencia de grava fina, media y gruesa en C. Drenaje bueno.	Alta	9

○ Información Temática de Fisiografía - Geomorfología

Sánchez Espinosa (2013) expone que la geomorfología es la ciencia encargada de la interpretación científica y el desarrollo del relieve de la corteza terrestre enfocando el análisis de sus orígenes; mientras que la fisiografía describe de una manera más amplia la interacción de todas las entidades que componen la naturaleza. Así, continúa el especialista, mientras la geomorfología clasifica los paisajes según su origen, desarrollo, forma exterior, rasgos y edad; la fisiografía correlaciona teniendo en cuenta además el clima, la geología, hidrología, vegetación y a los procesos y agentes modeladores como el hombre. En base a ello, se empleó la información temática geomorfológica del distrito como soporte explicativo para la información de fisiografía distrital.

Apoyados en los criterios de valoración del MINAM (2011) empleados en la elaboración del Mapa de Vulnerabilidad Física del Perú, el presente factor se analizó tomando en consideración que el relieve expresa su modelado a través del tiempo y por acción de diversos agentes sobre materiales estables o inestables y acelerados por una mayor o menor pendiente.

■ Información Temática de Fisiografía

Cuadro 13: Valoración de la información temática de fisiografía

Gran Paisaje	Paisaje	Sub Paisaje	Elemento de Paisaje	Vulnerabilidad	Valor de Calificación
Montaña	Montaña Sedimentaria (areniscas)	Ladera de Montaña	Pendiente entre 0 - 15 %	Baja	4
Montaña	Montaña Sedimentaria (calizas)	Ladera de Montaña	Pendiente entre 15 - 30 %	Baja	4
Montaña	Montaña Metamórfica	Ladera de Montaña	Pendiente entre 50 - 75 %	Media	6
Montaña	Montaña Sedimentaria (areniscas)	Ladera de Montaña	Pendiente entre 30 - 50 %	Media	7
Montaña	Montaña Sedimentaria (calizas)	Ladera de Montaña	Pendiente entre 50 - 75 %	Media	7
Montaña	Montaña Sedimentaria (areniscas)	Ladera de Montaña	Pendiente entre 50 - 75 %	Alta	8
Montaña	Montaña Metamórfica	Ladera de Montaña	Pendiente >75%	Alta	8
Montaña	Montaña Sedimentaria (calizas)	Ladera de Montaña	Pendiente >75%	Alta	9

■ Información Temática de Geomorfología

Cuadro 14: Valoración de la información temática de geomorfología

Tipo de Paisaje	Origen	Unidad Geomorfológica	Característica principal	Vulnerabilidad	Valor de Calificación
Domos y mesas estructurales	Estructural	Cima de montaña	Formas redondeadas que conforman las divisorias de vertientes	Baja	3
Aluvio - Gravitacional	Deposición	Piedemonte	Material de depósito acarreado por el agua y la gravedad	Baja	4
Colinoso	Denudacional	Colina alta moderadamente disectada	Formas discontinuas disectadas con alturas menores a 300 metros	Media	5
Montañoso	Denudacional - Estructural	Vertiente montañosa moderadamente empinada	Formas estructurales empinadas con elevaciones entre 300 y 1000 metros	Media	6
Montañoso	Denudacional - Estructural	Ladera de montaña moderadamente empinada	Formas elevadas denudacionales con fuerte pendiente	Media	7
Montañoso	Denudacional - Estructural	Vertiente montañosa fuertemente empinada	Formas estructurales muy empinadas con elevaciones entre 300 y más de 1000 metros	Alta	8

Continuación

Tipo de Paisaje	Origen	Unidad Geomorfológica	Característica principal	Vulnerabilidad	Valor de Calificación
Montañoso	Denudacional - Estructural	Ladera de montaña fuertemente empinada	Formas elevadas de origen estructural con muy fuerte pendiente	Alta	10

○ Información Temática de Geología

Se toma en cuenta las características litológicas de las unidades con la finalidad de entender el comportamiento del relieve y el grado de resistencia física de la roca ante agentes erosivos, tectónicos y ante procesos desestabilizadores (MINAM 2011).

Cuadro 15: Valoración de la información temática de geología

Era	Sistema	Serie	Unidad Estratigráfica	Descripción	Vulnerabilidad	Valor de Calificación
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Grupo Oriente	Areniscas cuarzosas blancas de grano grueso en estratos gruesos bastante resistentes que generan escarpas muy empinadas	Baja	3
Mesozoico	Jurásico	Superior	Formación Sarayaquillo	Lodolitas, limolitas y areniscas rojas intercaladas en estratos medios y un relieve suave	Media	5
Neo - Protero Zoico			Complejo del Marañón	Rocas metamórficas conformadas por esquistos, gneises, esquistos micáceos y metasedimentitas (pizarras, cuarcitas, filitas y areniscas cuarcíticas)	Media	6
Paleo - Zoico Superior			Grupo Mitu	Aglomerados, areniscas y limo arcillitas intercaladas con vulcanitas (lavas andesíticas) y piroclastos.	Alta	8
Mesozoico	Cretáceo	Medio	Formación Chonta	Conformada por secuencia de calizas, areniscas y limoarcillitas gris a pardo verdosa. Da lugar a suelos arcillosos y fangosos con algunos niveles calcáreos.		9

- Información Temática de Cobertura Vegetal

La Cobertura Vegetal es calificada tomando en consideración características de densidad de vegetación y la capacidad de protección del suelo que ella pueda proporcionar (MINAM 2011). En tal sentido, vegetación menos densa y de menor tamaño incrementará la susceptibilidad del territorio frente a procesos físicos; mientras que zonas con vegetación abundante, boscosa y de mayor cobertura proporciona mejor protección de la superficie.

Cuadro 16: Valoración de la información temática de cobertura vegetal

Unidad	Descripción	Vulnerabilidad	Valor Calificación
Bosque húmedo montano	Densa cobertura y exuberante vegetación; compuesto de una gran diversidad. Influencia antrópica lo ha diezmado replegándolo a las partes altas de montaña	Baja	2
Bosque secundario	Zonas donde existió bosque primario y fue talado para cultivos agropecuarios y luego de su uso se encuentran en regeneración natural	Baja	3
Bofedales	Vegetación pegada al piso, de porte cespitoso o almohadillado; ubicado en áreas depresionadas de mal drenaje (acumulación permanente de humedad)	Media	4
Matorrales húmedos	Siempre verdes, conformados por arbustos menores de 3 m de altura. Crecen de manera dispersa excepto en el área de influencia de quebradas donde la densidad y desarrollo es mayor.	Media	4
Cobertura antrópica	Referido a las zonas afectadas por el hombre para la implementación de actividades agrícolas o ganaderas	Media	5

Continuación

Unidad	Descripción	Vulnerabilidad	Valor Calificación
Pajonales	Vegetación compuesta por comunidades de hierbas en forma de manojos que crecen hasta 1 m de alto, con hojas aciculares hasta punzo-cortante. Es común la inclusión de elementos arbustivos	Alta	7
Zona Urbana	Englobando los centros poblados y aledaños donde se ha desprovisto de cubierta vegetal.	Alta	8

- **Modelo de análisis de vulnerabilidad socioeconómica**

La integración de los factores físicos involucrando sus grados de incidencia en la vulnerabilidad es representada mediante la siguiente fórmula.

$$MVSE = A * SCU + B * SUS + C * SE + D * SI$$

Donde:

SCU Submodelo de Conflicto de Uso

SUS Submodelo de Unidades Sociales

SE Submodelo Económico

SI Submodelo de Infraestructura

A, B, C, D Factores de ponderación del grado de incidencia en la vulnerabilidad

La integración multivariable presentada para analizar la vulnerabilidad de los aspectos sociales y económicos fue trabajada por diversos autores con adaptaciones según la situación del ámbito analizado. Ochoa (2014) aplicó la fórmula polinómica para analizar la vulnerabilidad de la cuenca Jequetepeque en los factores económicos, influenciados por la

situación de conflictos de uso del territorio, las características de calidad de vida y finalmente lo referido a infraestructura pública como elementos expuestos a eventos en masa o como elementos que permitan acciones efectivas de acción frente al desastre. Durán Gil (2012) indica para una situación similar de análisis en Colombia que la elección de variables pretenden describir factores sociales demográficos, educacionales, económicos y de impacto en concepto de desarrollo social y crecimiento económico.

Para ello, paralelamente se trabajaron los factores de evaluación socioeconómica integrados en los submodelos Conflicto de Uso, Actividades Económicas, Unidades Sociales e Infraestructura sometidos previamente a calificación en función de sus grados de incidencia en la vulnerabilidad de la sociedad involucrada:

- Sub Modelo Conflicto de Uso

Rossiter, citado por Maytín y Rodríguez (2009), señala que los conflictos de uso de la tierra se refieren a situaciones en las que las diferentes clases de tierra que conforman un territorio, no son aprovechadas de acuerdo con su vocación, determinada esta última por la aplicación de sistemas de clasificación técnicos-académicos fundamentados esencialmente en la ciencia del suelo. En tal sentido, el análisis distrital de la situación de uso se logró sobreponiendo los mapas de capacidad de uso de los suelos y el de uso actual.

El resultado de la integración lógica permitió visualizar una serie de situaciones las cuales fueron agrupadas en tres categorías: Sobre Uso, Uso Conforme y Sub Uso. Luego, las categorías fueron calificadas numéricamente a fin de facilitar su adición al modelo de geoproceto. Los valores asignados a cada una de las situaciones se muestran en la Cuadro 17; nótese que se asume un rango de valoración para situaciones de sobreutilización, pues, al calificar se diferenció entre casos de conflicto leve o severo. Finalmente, el criterio de calificación fue que cuando existe discrepancia entre los usos actual y potencial o se presenta desequilibrio, debido a que el uso actual no es el más adecuado, suele acelerar los procesos de erosión y degradación de las tierras, volviéndose más vulnerables ante las amenazas de índole hídrica, pudiendo producirse pérdidas de vidas humanas y económicas (Baltodano Fuentes 2012).

Cuadro 17: Valoración de la información temática de conflicto de uso

Capacidad de Uso Mayor	Uso Actual	Situación	Valor Calificación
Forestal de calidad agrológica media con limitaciones por suelo y topografía - riesgo de erosión	Bosque perennifolio	Conforme	2
	Bosque secundario	Conforme	2
	Cultivos agro pecuarios/Vegetación secundaria	Sobre Uso	8
	Herbazales	Sobre Uso	9
	Matorrales	Conforme	2
	Zona Urbana	Sobre Uso	8
Forestal de calidad agrológica baja con limitaciones por suelo y topografía - riesgo de erosión	Bosque perennifolio	Conforme	2
	Bosque secundario	Conforme	2
	Cultivos agro pecuarios/Vegetación secundaria	Sobre Uso	8
	Herbazales	Sobre Uso	9
	Matorrales	Conforme	2
	Zona Urbana	Sobre Uso	9
Forestal de calidad agrológica baja con limitaciones por suelo, topografía - riesgo de erosión y clima	Bosque perennifolio	Conforme	2
	Bosque secundario	Conforme	2
	Cultivos agro pecuarios/Vegetación secundaria	Sobre Uso	8
	Herbazales	Sobre Uso	9
	Matorrales	Conforme	2
	Zona Urbana	Sobre Uso	8

Continuación

Capacidad de Uso Mayor	Uso Actual	Situación	Valor Calificación
Pastos de calidad agrológica baja con limitaciones por suelo y topografía - riesgo de erosión	Bosque perennifolio	Sub Uso	1
	Bosque secundario	Sub Uso	1
	Cultivos agro pecuarios/Vegetación secundaria	Sobre Uso	7
	Herbazales	Conforme	2
	Matorrales	Conforme	2
Protección con limitaciones por suelo y topografía - riesgo de erosión	Bosque perennifolio	Conforme	2
	Bosque secundario	Sobre Uso	8
	Cultivos agro pecuarios/Vegetación secundaria	Sobre Uso	9
	Herbazales	Conforme	2
	Matorrales	Conforme	2
	Zona Urbana	Sobre Uso	10

- Sub Modelo Actividades Económicas

Se agruparon las características de Uso Actual y Frentes Económicos desarrollados en el distrito a fin de medir en ellos el grado de incidencia en la vulnerabilidad de la población. Según Pérez de Armiño (2000), se considera como criterio de evaluación para ambos factores que:

- Ante un posible evento desastroso, un determinante clave de vulnerabilidad será la situación del sistema de sustento, independiente de qué actividad proporcione más o menos ingresos. Entonces, los sistemas más inseguros son: (a) lo más sensibles al

impacto perturbador; (b) los menos flexibles, con menor capacidad de recuperación; y (c) los menos sostenibles o perdurables en el tiempo.

- Un sistema de sustento es más vulnerable en la medida en que dependa de pocas fuentes de ingreso.

- Frentes Económicos

Cuadro 18: Valoración de la información temática de frentes económicos

Categoría	Descripción	Valor de Calificación
Otros	Considerando una mayor variedad de actividades complementarias entre sí tales como la agricultura de subsistencia, fruticultura, comercio y actividad pecuaria. Aunado a ello, las zonas implicadas se ven favorecidas por el acceso para distribuir sus productos.	4
Frente Económico Turismo, Investigación, Conservación.	Tomando en cuenta la facilidad de ser perturbados y su capacidad de recuperación limitada para zonas de investigación en campo y turismo vivencial y de aventura. La sostenibilidad dependerá de la implementación de mejores servicios ofertados para la accesibilidad.	7
Frente Económico Pecuario	A pesar de ser la actividad de mayor difusión y práctica en el distrito, su capacidad de recuperación es limitada en cuanto sea el caso de pérdida de cabezas de ganado, merma por afectación de las áreas relacionadas directa (echaderos y zonas de pastoreo naturales) o indirectamente (cultivos forrajeros) a la actividad.	8

- Uso Actual

Cuadro 19: Valoración de la información temática de uso actual

Categoría	Descripción	Valor de Calificación
Zona Urbana	Considerando las ciudades y pueblos principales	2
Cultivos agropecuarios / Vegetación secundaria	Se comparte las actividades agrícolas con las actividades pecuarias en diferentes proporciones, influenciando la topografía, tamaño, la tradición local y la cercanía de las vías de comunicación y CP importantes.	5
Bosque Secundario	Áreas donde existió bosque primario y fue talado para cultivos agropecuarios; luego de su uso han sido conservadas para su regeneración natural, cuyo destino puede ser nuevamente para convertirlas en chacras o en bosque natural.	6
Matorrales	Conformados por comunidades arbustivas (caducifolias o perennifolias), suculentas (cactáceas) y herbáceas de carácter temporal. Se incluyen algunos elementos arbóreos de porte bajo. En las porciones altas las especies presentan morfología especializada que le permite contrarrestar las condiciones del clima.	7
Bosque perennifolio	Comprende los bosques siempre verdes y densos aun existentes cuya conservación se ve amenazada por el avance antrópico siendo poca su capacidad de recuperación por ser ecosistemas frágiles	9
Herbazales	Comprende los pajonales ubicados en la cima del macizo andino sobre los 3000 msnm y aquellos herbazales ubicados más abajo. Éste último incluye áreas abandonadas por la actividad agropecuaria, por la erosión severa de los suelos, sosteniendo apenas un tapiz herbáceo y observándose en muchos casos el afloramiento rocoso. Por otro lado, es producto de los fenómenos naturales (deslizamientos en maza) ocasionados en áreas con pendientes muy fuertes y con suelos muy superficiales, y que actualmente no es usado por el hombre.	10
Lagos	No se toma en cuenta para el análisis	99

- Sub Modelo Unidades Sociales

Se optó por evaluar cualitativamente las condiciones sociales y demográficas de la población en base a la data recopilada tras el proceso de campo. Se plantea entonces como criterio de valoración que una población cuyas necesidades básicas (considerando calidad de vivienda, servicios sanitarios, educación y capacidad económica) no se ven cubiertas ni satisfechas, su capacidad de respuesta y recuperación frente a un evento de riesgo se verá mermada. En tal sentido, la presencia del estado a través de asistencia social a las poblaciones vulnerables será relevante en cuanto a mitigar efectos perjudiciales y asistir en la recuperación del ciudadano.

- Necesidades Básicas Insatisfechas

Cuadro 20: Valoración de la información temática de NBI

Zona Antrópica	Vivienda	Serv. Sanit.	Educ.	Capac. Económica	Valor de Calificación de NBI	Vulnerabilidad
Zona Norte	2	2	1	2	1.75	Baja
Zona Oeste	5	3	4	3	3.75	Baja
Zona Centro	7	9	3	7	6.5	Media
Zona Sur	8	8	3	7	6.5	Media

- Programas Sociales

Cuadro 21: Valoración de la información temática de programas sociales

Zona Antrópica	Pensión 65 (25%)	Qali Warma (20%)	Vaso de Leche (30%)	JUNTOS (25%)	Valor de Calificación de Programas Sociales	Vulnerabilidad
Zona Norte	5	8	5	3	5.1	Media

Continuación

Zona Antrópica	Pensión 65 (25%)	Qali Warma (20%)	Vaso de Leche (30%)	JUNTOS (25%)	Valor de Calificación de Programas Sociales	Vulnerabilidad
Zona Oeste	8	10	3	2	5.4	Media
Zona Centro	10	10	10	5	8.75	Alta
Zona Sur	10	10	10	5	8.75	Alta

- Sub Modelo Infraestructura

Como lo indica la SUBDERE (2011), el análisis de vulnerabilidad debe incluir la evaluación de los denominados “sistemas estratégicos”, denominados así porque son necesarios para el bienestar de la comunidad y en caso de ser afectados por alguna amenaza natural se incrementarían las consecuencias negativas. De la situación distrital se identificaron y evaluaron los siguientes sistemas:

Cuadro 22: Sistemas estratégicos en situación de riesgo de desastre

Instalaciones Esenciales	Redes de Transporte	Redes Vitales
Escuelas	Red Nacional	Sistemas Sanitarios
Hospitales	Red Provincial	Sistema Eléctrico
Oficinas Públicas	Caminos Vecinales	Sistema de Comunicación

FUENTE: SUBDERE (2011)

La lógica seguida para el análisis fue asignar un valor en el rango del 1 al 10 evaluando con menor valor aquellos sistemas cuya situación los haga menos susceptibles a amenazas naturales y con mayor valor en caso el sistema se encuentre en estado opuesto.

- Infraestructura de Salud

Los hospitales y postas de salud distribuidos en el territorio deberán desarrollar una labor esencial en la atención de afectados en situaciones desastrosas, por ello se tomó en consideración el estado estructural de los establecimientos, el número de centros para cada

centro poblado y la eficiencia de atención del personal. En función de estos criterios se calificó de la siguiente manera:

Cuadro 23: Valoración de la información temática de infraestructura de salud

Zona Antrópica	Infraestructura de Salud	Valor de Calificación	Vulnerabilidad
Zona Norte	1 Centro de Salud Distrital	2	Baja
Zona Oeste	1 Centro de Salud	3	Baja
Zona Centro	Sin Posta	10	Alta
Zona Sur	1 Centro de Salud	4	Media

○ **Infraestructura de Educación**

Se tomó en cuenta las instituciones educativas de todos los niveles por dos factores: el número considerable de personas que puede albergar en horarios de funcionamiento y al mismo tiempo pueden servir de albergue o refugio para personas afectadas por eventos extremos. En tal sentido, se evaluó para cada centro poblado proponiendo la siguiente calificación:

Cuadro 24: Valoración de la información temática de infraestructura de educación

Zona Antrópica	Infraestructura de Educación	Valor de Calificación	Vulnerabilidad
Zona Norte	3 Iniciales, 7 Primarias, 1 Secundaria, 1 Técnicos	0	Baja
Zona Oeste	1 Inicial	9	Alta
Zona Centro	1 Primaria	7	Media
Zona Sur	1 Inicial, 1 Primaria	5	Media

- Red Vial

Las redes de transporte son sistemas que facilitan la gestión de emergencia permitiendo la movilidad de personas e insumos que ayuden a superar las situaciones de crisis; en caso de inhabilitarse, los territorios se verían afectados por aislamiento (SUBDERE 2011). Sin embargo, la falta de conectividad entre centros poblados no se materializará como inconveniente únicamente en situaciones de riesgo, por el contrario, se evaluará la situación de intercomunicación interna y externa del distrito lo cual contribuiría o perjudicaría el fortalecimiento de la sociedad económica y organizativamente.

Así, se construyó la siguiente tabla de valoración en función de las características conocidas de cada zona antrópica:

Cuadro 25: Valoración de la información temática de red vial

Zona Antrópica	Red Vial	Valor de Calificación	Vulnerabilidad
Zona Norte	Carretera asfaltada comunica mayoría de CP, Caminos vecinales comunican CP más pequeños	1	Baja
Zona Oeste	Carretera asfaltada en buen estado comunica CP	4	Media
Zona Centro	Carretera afirmada, estado medio, afectado por lluvias y falta de mantenimiento; camino vecinal comunica CP	6	Media
Zona Sur	Carretera en construcción, afirmada, se espera mantenimiento y mejoramiento	8	Alta

- **Infraestructura Sanitaria**

La situación de las redes sanitarias influirá en el nivel de preparación y protección de la población frente a escenarios de desastre, pues, permitirá o no la continuidad del abastecimiento y con ello mermar la posible propagación de enfermedades infecciosas tras sucesos extremos. Se evaluó entonces cada sector de influencia antrópica según el grado de abastecimiento de la red:

Cuadro 26: Valoración de la información temática de infraestructura sanitaria

Zona Antrópica	Infraestructura Sanitaria	Valor de Calificación	Vulnerabilidad
Zona Norte	Los CP cercanos a la capital cuentan con servicio de agua y alcantarillado, sin embargo en precipitaciones extremas el drenaje colapsa en la capital. CP aledaños servicio limitado	2	Baja
Zona Oeste	CP cuenta con alto suministro de servicios de agua y desagüe	5	Media
Zona Centro	Suministro ínfimo de servicios de agua, no hay desagüe	9	Alta
Zona Sur	Suministro de agua no potabilizada con mediana accesibilidad, servicio de desagüe inexistente	8	Alta

- **Infraestructura Eléctrica**

Si bien, las redes vitales no necesariamente son causantes directos de daños físicos, pero el efecto de la inhabilitación de estas redes puede ser catastrófico debido a interrupciones del servicio, pérdidas económicas o suspensión de labores (SUBDERE 2011). Por tal motivo, se evaluó la cobertura de la red en los centros poblados tomando en consideración que una

mejor distribución otorgará a la sociedad mayor fortaleza para afrontar un evento de desastre.

Cuadro 27: Valoración de la información temática de infraestructura eléctrica

Zona Antrópica	Infraestructura Eléctrica	Valor de Calificación	Vulnerabilidad
Zona Norte	Tendido de red en los CP	2	Baja
Zona Oeste	Tendido de red en los CP	5	Media
Zona Centro	No se cuenta con suministro de Red eléctrica; sin embargo, algunas viviendas emplean paneles solares.	9	Alta
Zona Sur	No se cuenta con suministro de Red eléctrica; sin embargo, algunas viviendas emplean paneles solares.	9	Alta

○ **Infraestructura de Telecomunicaciones**

Aunado a las características mencionadas para la infraestructura eléctrica que permiten a su vez reconocer a las telecomunicaciones como un servicio crítico, se conoce que la inhabilitación de este servicio proporciona de aislamiento social que causa: desconocimiento de situación de la zona, demora en coordinaciones para acciones de respuesta, demora en beneficios a damnificados, entre otros. A partir de ello se evaluó la cobertura de la red de telecomunicaciones y las herramientas con las que cuenta cada centro poblado; tomando como criterio que a mayor precariedad de la red, la susceptibilidad frente a eventos de desastre se incrementará.

Cuadro 28: Valoración de la información temática de infraestructura de telecomunicaciones

Zona Antrópica	Infraestructura de Telecomunicaciones	Valor de Calificación	Vulnerabilidad
Zona Norte	Acceso a líneas de telefonía celular y fija; sin embargo, internet sólo satelital y limitado	3	Baja

Continuación

Zona Antrópica	Infraestructura de Telecomunicaciones	Valor de Calificación	Vulnerabilidad
Zona Oeste	Acceso a líneas de telefonía, no internet	5	Media
Zona Centro	No hay acceso a líneas de telefonía, únicamente funcionaría teléfono satelital	9	Alta
Zona Sur	No hay acceso a líneas de telefonía, únicamente funcionaría teléfono satelital	9	Alta

Por último, se trabajó la conservación de las relaciones existentes entre las entidades de estudio mediante la creación y/o actualización de las relaciones de clases definidas en el modelo lógico inicial a fin de mantener una administración óptima de la data y organizar la geodatabase resultante.

3.3.4. Fase segunda de campo

a) Ajuste ponderativo de las variables

En esta fase se asignaron valores ponderativos a cada factor considerado en el análisis en base al grado de incidencia de cada uno sobre la vulnerabilidad del territorio. Para ello aportaron el conocimiento del investigador, consultas en la literatura relacionada y el juicio del asesor con experiencia en trabajos de Zonificación Ecológica Económica y Planes de Ordenamiento Territorial. El Cuadro 29 presenta los factores ponderativos para cada variable.

Cuadro 29: Factores de ponderación de variables

VARABLES FÍSICAS		FACTOR PONDERATIVO
Cobertura Vegetal		15 %
Fisiografía y Geomorfología		20 %
Geología		10 %
Pendiente del terreno		20 %
Precipitación		20 %
Características del Suelo		15 %
VARIABLES SOCIOECONÓMICAS		FACTOR PONDERATIVO
Submodelo Unidades Sociales		
- NBI:	60 %	25%
- Prog. Sociales:	40%	
Submodelo Infraestructura		
- Red Vial:	30%	
- Infr. Telecomunicaciones:	20%	
- Infr. de Salud:	20%	20%
- Infr. de Educación:	15%	
- Infr. Eléctrica:	10%	
- Infr. Sanitaria:	5%	
Submodelo Conflicto de Uso		30%
Submodelo Económico		25%

Luego de ejecutar los procesos del modelo geoespacial, los resultados fueron agrupados en categorías de vulnerabilidad, para el análisis socio-económico ante riesgo de desastres fueron de Grado Bajo, Grado Medio y Grado Alto; mientras que el ámbito físico permitió estratificar en Grado Bajo, Grado Medio, Grado Alto y Grado Muy Alto. La estructura metodológica del modelo desarrollado se presenta a continuación esquematizado en las Figuras 15 a la 19.

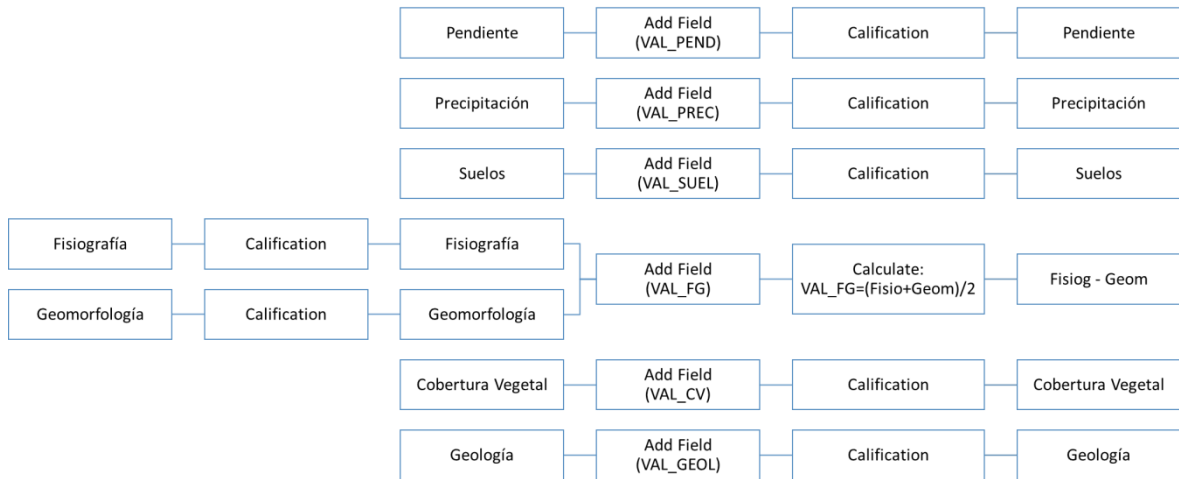


Figura 15: Modelo de geoproceso para información temática física

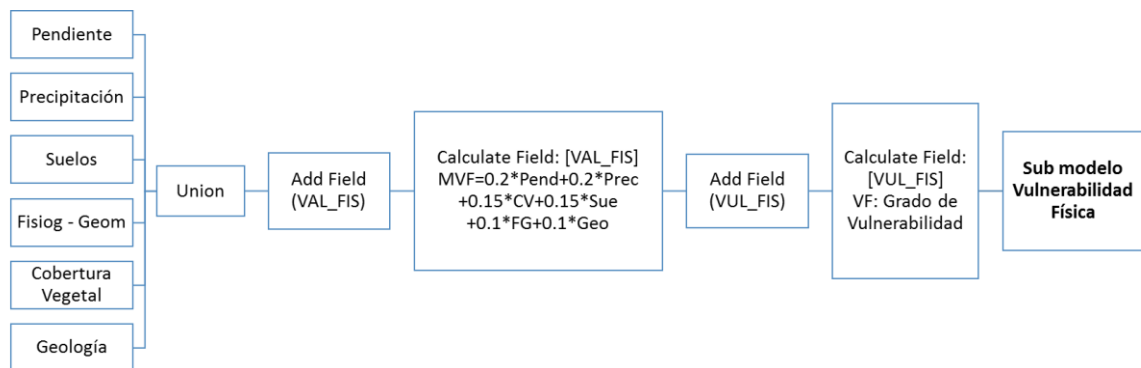


Figura 16: Modelo de geoproceso para el submodelo de vulnerabilidad física

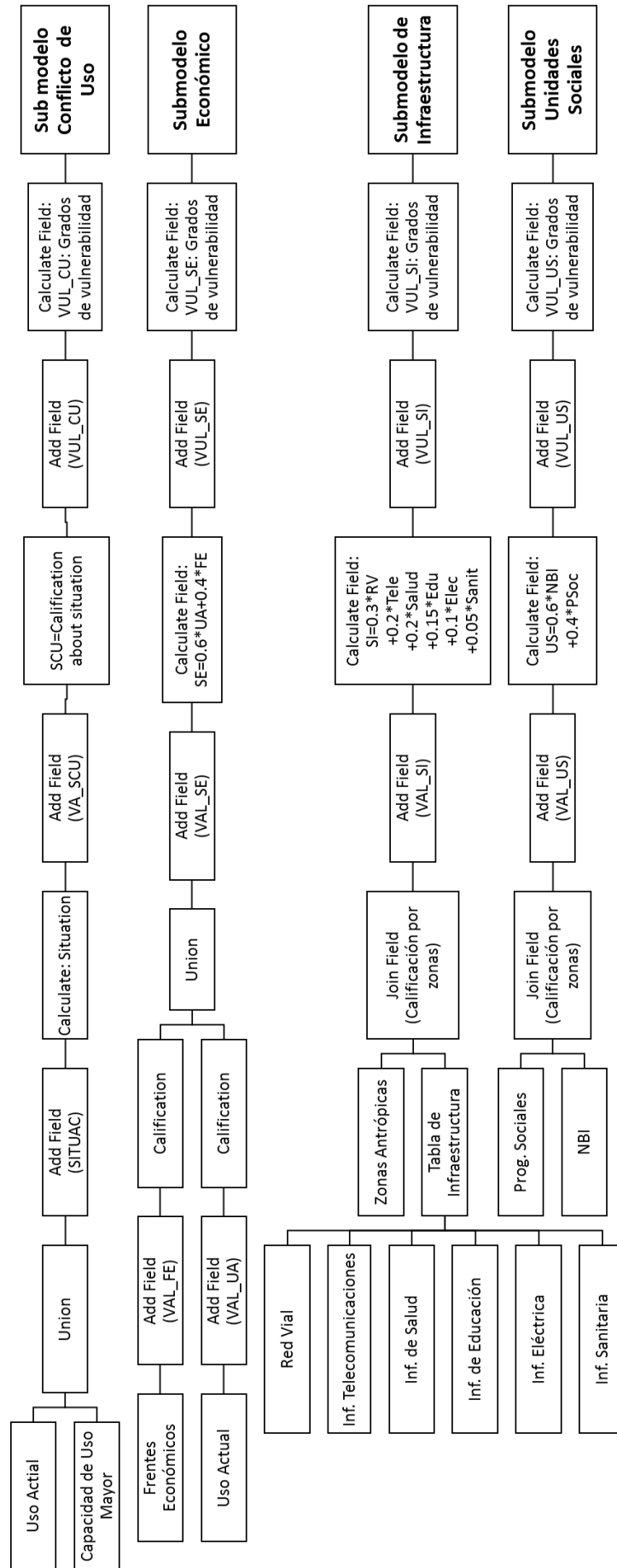


Figura 17: Modelo de geoprocreso para información temática socioeconómica

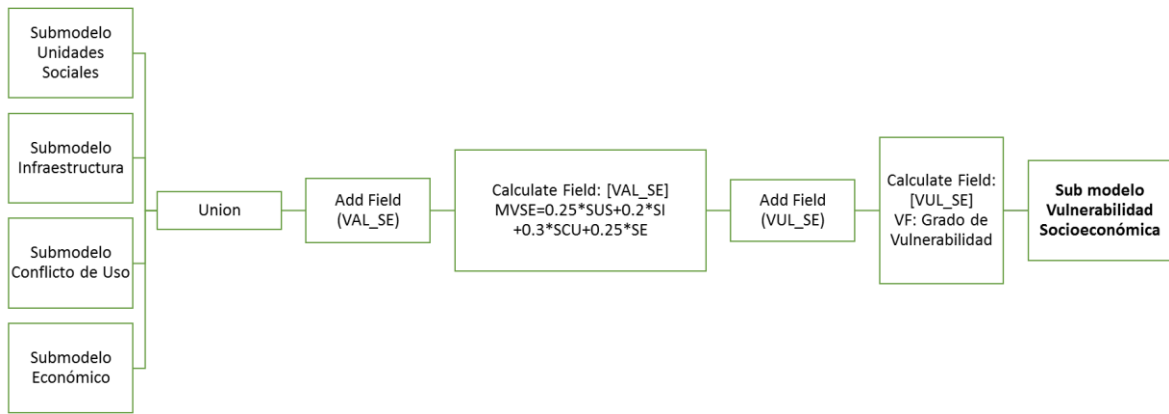


Figura 18: Modelo de geoprocreso para el submodelo de vulnerabilidad socioeconómica

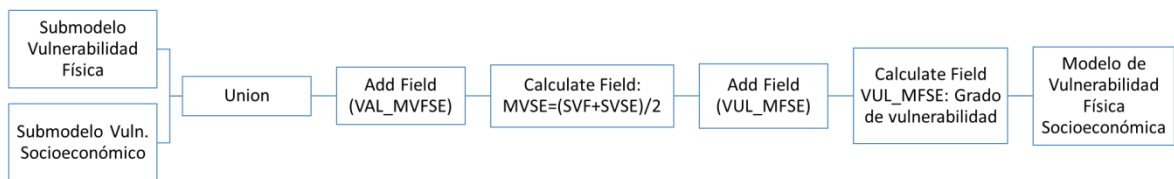


Figura 19: Modelo de geoprocreso para el modelo de vulnerabilidad física – socioeconómica

b) Validación del modelo

En esta fase se empleó el enfoque metodológico de validación expuesto por Chuvieco (2010) analizando correspondencia entre los resultados obtenidos mediante el modelo y la situación del territorio para determinar la fiabilidad de las predicciones:

- i) Diseño del Muestreo: Con una primera aproximación del modelo, se procedió a identificar zonas de evaluación de correspondencia tomando en cuenta dos criterios:
 - Empleando la información documentada en la primera visita de campo como fuente de conocimiento de la realidad.
 - Definiendo en gabinete puntos de muestreo con distribución por metodología aleatoria estratificada para cada grado de vulnerabilidad categorizado y otros designados por el investigador en conformidad con el juicio del asesor en la medida que: permitan

evaluar primordialmente las características de las zonas críticas identificadas, de aquellas en las que se esperaba su localización, y en menor prioridad para los lugares cuyas características observadas por IARE corroboran en primera instancia los resultados. Se tomó en consideración la accesibilidad práctica y a bajo costo para el equipo de investigación.

- ii) Recolección de datos de referencia: Se llevó a cabo un plan de visita para el muestreo anteriormente diseñado para lo cual se contó con apoyo logístico de la Municipalidad Distrital de Leimebamba. Se obtuvo registro fotográfico y escrito de las zonas visitadas.
- iii) Comparación de datos de referencia y resultados: Con la información de campo se definieron los grupos a los que cada punto de muestreo debe pertenecer; ello fue comparado por superposición con el modelo generado construyendo así una matriz de error en la que se muestra las cantidades de puntos de validación para cada grado de vulnerabilidad definido de acuerdo con el modelo generado y lo recopilado de campo.
- iv) Análisis de errores y validación de la calidad del proceso: Se estimó el índice de fiabilidad global del modelo propuesto para identificar los grados de vulnerabilidad física y socioeconómica del distrito Leimebamba.

Cuadro 30: Matriz de error para el modelo de vulnerabilidad física - socioeconómica

		Modelo Vulnerabilidad Física - Socioeconómica					Totales
		V. Estable	V. Baja	V. Media	V. Alta	V. Muy Alta	
Validación	V. Estable	2	-	-	-	-	2
	V. Baja	-	9	-	-	-	9
	V. Media	-	7	23	-	-	30
	V. Alta	-	-	5	7	1	13
	V. Muy Alta	-	-	-	1	3	4
Totales		2	16	28	8	4	58
Fiabilidad global		Fg= 76%					
Fiabilidad real		Fr= 75.86 +/- 11.01					

Cuadro 31: Matriz de error para el modelo de vulnerabilidad física

		Modelo Vulnerabilidad Física				Totales
		V. Baja	V. Media	V. Alta	V. Muy Alta	
Validación	V. Baja	1	3	-	-	4
	V. Media	-	21	4	-	25
	V. Alta	-	3	23	1	26
	V. Muy Alta	-	-	1	2	3
Totales		1	27	27	3	58
		Fiabilidad global		Fg= 81%		
		Fiabilidad real		Fr= 81.03 +/- 10.09		

Cuadro 32: Matriz de error para el modelo de vulnerabilidad socioeconómica

		Modelo Vulnerabilidad Socioeconómica			Totales	
		V. Baja	V. Media	V. Alta		
Validación	V. Baja	17	1	-	18	
	V. Media	1	34	1	36	
	V. Alta	-	-	4	4	
Totales		18	35	5	58	
		Fiabilidad global		Fg= 95%		
		Fiabilidad real		Fr= 94.83 +/- 5.7		

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. BASE DE DATOS GEOESPACIAL CONSTRUIDA

Se sistematizó y uniformizó la información temática obtenida y construida, relacionando información espacial y no espacial, para los distintos aspectos analizados. Con ello, se construyó la base de datos geoespacial teniendo como proyección de trabajo las UTM en la Zona 18 Sur para el datum WGS - 84. Ésta permitió realizar el geoprocesamiento descrito en la metodología para determinar los grados de vulnerabilidad tanto del aspecto físico como del socio económico obteniéndose resultados satisfactorios analizados en el siguiente ítem. Así, la geodatabase construida fue distribuida en cuatro *feature dataset* organizada de la siguiente manera:

- Temáticos Físico: contiene siete *feature class* con información referente a la información temática del aspecto físico para el distrito Leimebamba como son características de precipitaciones, pendientes, cobertura vegetal, características de las unidades edáficas, características fisiográficas y geomorfológicas, y características de las unidades geológicas identificadas para el ámbito.
- Temáticos Socioeconómico: conteniendo ocho *feature class* que representan la información temática involucrada en los análisis de vulnerabilidad del aspecto socioeconómico. Así, los factores considerados fueron uso actual, capacidad de uso mayor del territorio, situación de necesidades básicas insatisfechas, frentes económicos establecidos, información temática cualitativa de infraestructura, centros de salud y centros educativos dentro del distrito, así como la información temática cualitativa sobre presencia de programas sociales.
- Submodelos: este *feature dataset* incluye los cinco submodelos generados para cada aspecto de análisis de vulnerabilidad que compusieron los modelos de análisis global. Así, se agruparon los *feature class* de submodelo de conflicto de uso, información temática del submodelo de actividades económicas, submodelo físico,

submodelo de las unidades sociales e infraestructura pública, todos ellos orientados a la vulnerabilidad física, social y económica.

- Modelos de vulnerabilidad: aquí se agruparon los tres feature class de cada modelo de análisis de vulnerabilidad en los que se determinaron los grados de susceptibilidad física, socioeconómica, y el análisis conjunto de ambos aspectos.

A estos feature dataset se suman las relaciones generadas entre entidades según el diseño seguido para la base de datos geoespacial.

4.2. INFORMACIÓN TEMÁTICA GENERADA

La metodología descrita para el manejo de información recopilada de diversas fuentes permitió generar información temática uniformizada y compatibilizada a una misma escala y datum WGS – 84 para los diferentes aspectos de análisis. Dichos resultados se muestran a continuación.

4.2.1. Información temática de precipitación

A partir de la data proporcionada por el SENAMHI para la precipitación máxima, se obtuvo la información temática estratificada en 5 intervalos como se muestra en la Figura 20. Se observa un patrón de incremento en la precipitación para la región sureste del distrito observándose un rango casi uniforme para la zona central del territorio.

No se cuenta con una red de estaciones meteorológicas espacialmente distribuidas; pues se identificó sólo una estación meteorológica instalada en el territorio distrital, sin embargo, ésta no se encuentra actualmente en funcionamiento. De ello se desprende el hecho de que la interpolación realizada para generar información temática de precipitaciones pudo variar si se contase con una mayor densidad espacial de registros.

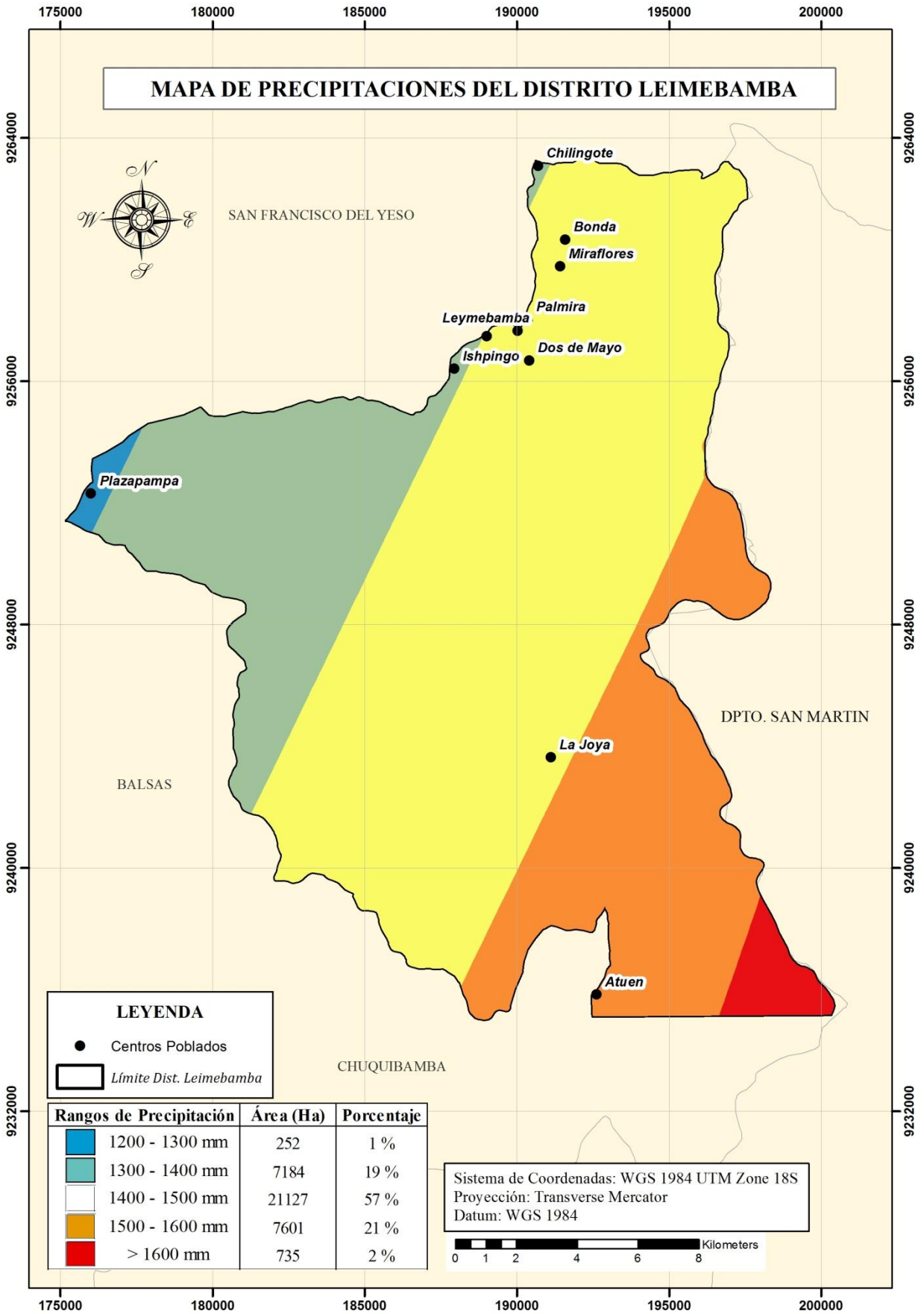


Figura 20: Mapa de precipitaciones

4.2.2. Información temática de pendiente

Se generó el mapa de pendientes según la metodología descrita obteniéndose información temática estratificada en 8 rangos para los valores porcentuales tal como se muestra en la Figura 21. En orden ascendente para los valores de pendientes se tiene 5659 Ha bajo el rango de 0 a 5% catalogadas como terreno plano a ligeramente inclinado; 1645 Ha se caracterizan por inclinaciones moderadas a fuertes, es decir entre 5 y 15%; superficies ligeramente empinadas, entre los 15 y 30% se tienen 9018 Ha; mientras que más de la tercera parte del territorio (13943 Ha) se caracteriza por pendientes moderadamente empinadas en un intervalo de 30 a 50%; superficies fuertemente empinadas (50 a 70%) abarcan 5485 Ha mientras que extremadamente empinadas (mayores a 70%) únicamente 1148 Ha.

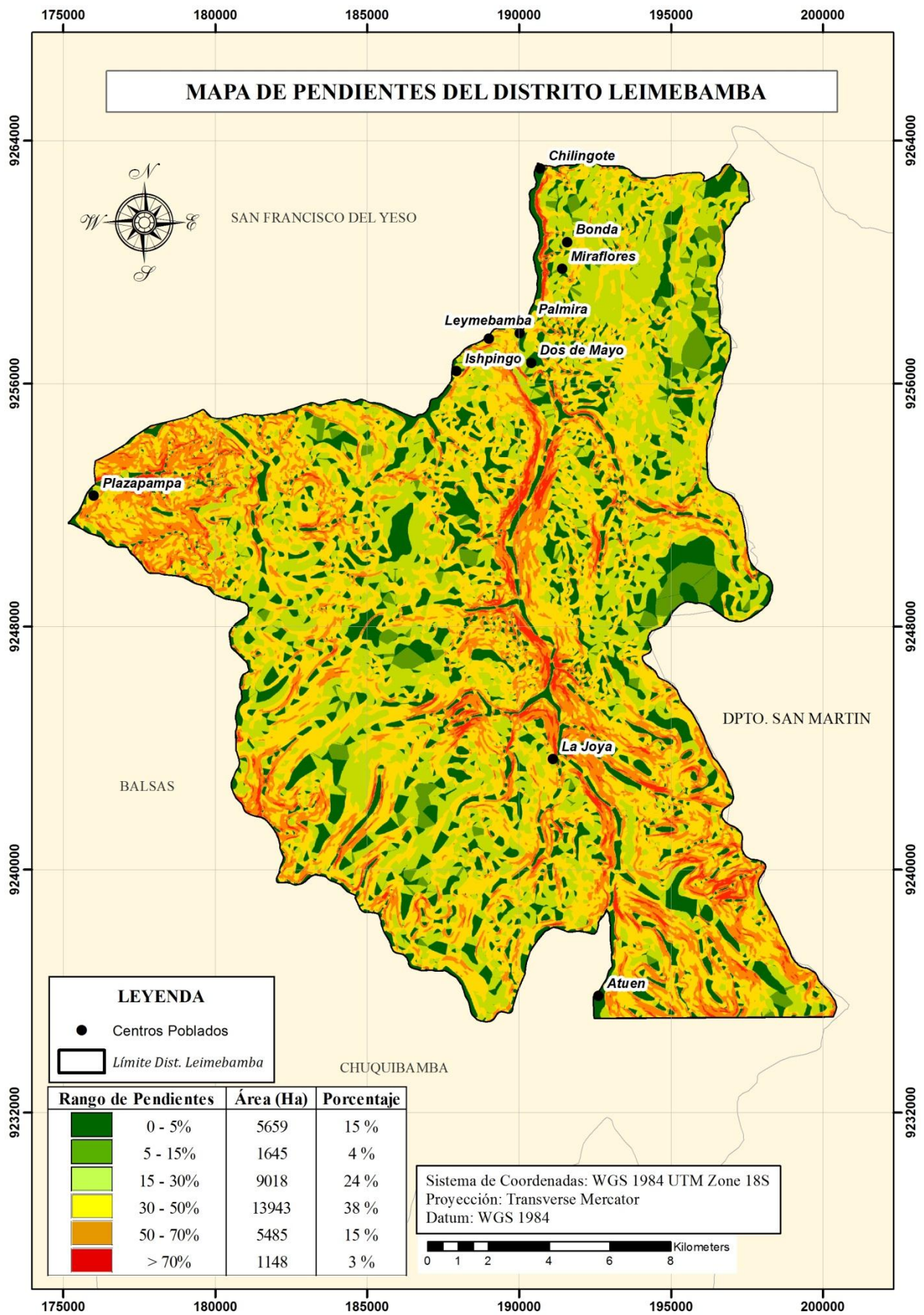


Figura 21: Mapa de pendientes

4.2.3. Información temática de cobertura vegetal

El procedimiento detallado en la metodología para consolidar, sistematizar y actualizar la información de cubierta general dio como resultado información temática como se muestra en la Figura 22 la que a continuación es descrita:

- Se identificaron 07 categorías de cubierta cuya variabilidad comprende desde cobertura boscosa en las áreas de menor altitud hasta herbazales en las zonas altas o en áreas propiciadas por la sobre explotación de los suelos.
- En total, las áreas boscosas se encuentran distribuidas en 12990 Ha del distrito divididos en 11108 Ha de bosque húmedo de montaña principalmente al noreste del distrito y 1891 Ha de bosque secundario. La cobertura de vegetación boscosa primaria es la segunda de mayor extensión sobre el distrito.
- Regiones con matorrales se encuentran 996 Ha distribuidos principalmente en la región norte central cercanos al eje del río Atuén o sus afluentes y cauces auxiliares; y para la zona sur, además de la cercanía al cauce de agua representan parte de la vegetación arbustiva de las partes altas.
- Los bofedales incluyen 2254 Ha esencialmente en la regiones superiores a los 3000 m.s.n.m.
- La cubierta definida como pajonales caracteriza la mayor amplitud del territorio abarcando 16469 Ha. Su ubicación, como se explica en la metodología, corresponde no sólo a zonas de gran altitud, sino que caracteriza patrones donde la ocupación antrópica ha depredado el suelo. Como ejemplo de esto último se identifican regiones aledañas a los centros poblados norteños rodeadas de vegetación secundaria sobre cubierta boscosa; ello representa la afectación por intrusión de actividad antrópica.
- La mencionada influencia de la población sobre la cubierta primigenia fue caracterizada para un área aproximada de 4058 Ha. Se incluyen cultivos agrícolas y pecuarios distribuidos en las cercanías de los centros poblados y direccionadas a las zonas de pajonal y las de bosque húmedo de montaña.

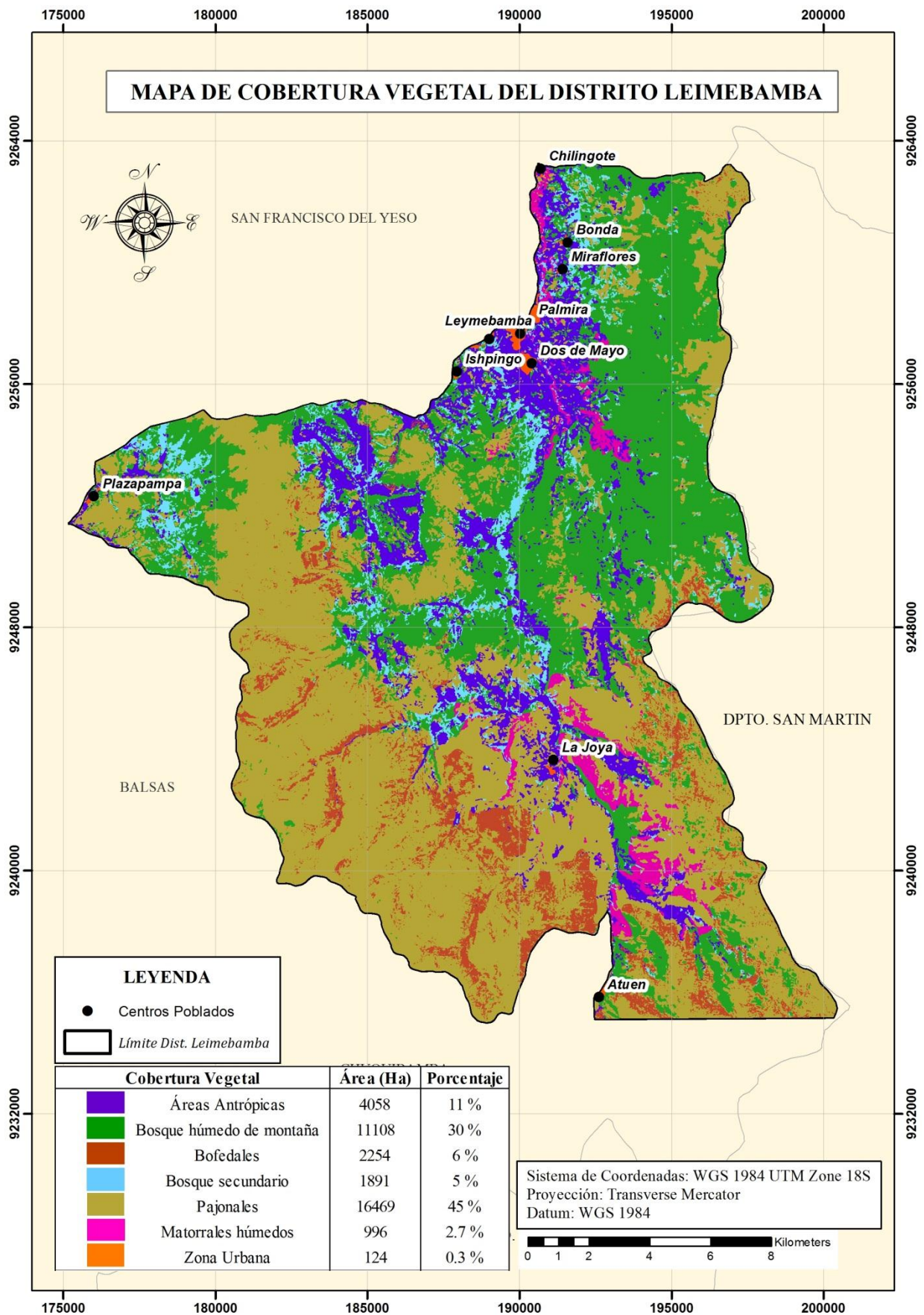


Figura 22: Mapa de cobertura vegetal

4.2.4. Información temática de suelos

De la sistematización descrita en la metodología se obtuvo el consolidado para geología resultando 05 unidades cartográficas distribuidas como se muestra en la Figura 23. En total, 1920 Ha del distrito se vienen desarrollando sobre la consociación Lithic Ustorthents (Leymebamba); 16383 Ha tienen las características de la consociación Pajonal, la de mayor extensión; 3371 Ha pertenecen a la consociación Tatora; mientras que para las asociaciones se tiene 1855 Ha en Pericos Rojos – Áreas misceláneas y 13409 Ha en Leymebamba – Áreas misceláneas.

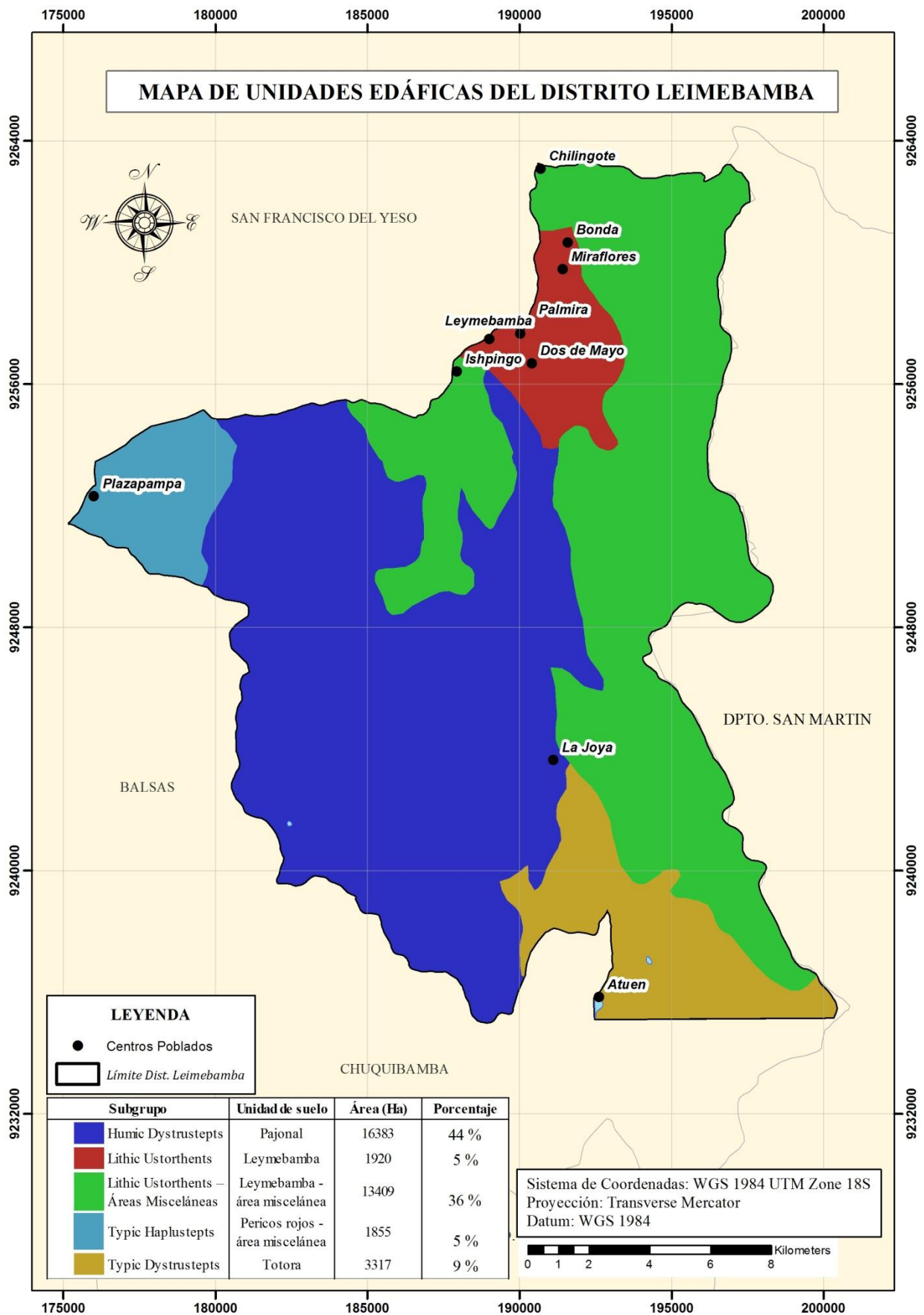


Figura 23: Mapa de unidades de suelos

4.2.5. Información temática de geología

La información obtenida del proyecto Macrozonificación Ecológica Económica fue uniformizada al Datum y escalas de trabajo en conformidad a la metodología descrita lográndose identificar las 5 unidades geológicas. Se resalta la presencia mayoritaria del Grupo Oriente ocupando 11268 Ha distribuidos a lo largo de los márgenes y cercanías al eje del río Atuén.

4.2.6. Información temática de fisiografía – geomorfología

Como se detalla en la metodología, la interacción entre la información fisiográfica y geomorfológica es complementaria. Así, la concepción fisiográfica define el territorio distrital en toda su extensión como un gran paisaje de Montaña dividido en paisajes de distinto origen:

- Los metamórficos se encuentran localizados en la región oeste del distrito, en los alrededores del centro poblado Plazapampa significando 1855 Ha. A su vez, caracterizando el paisaje se definieron regiones fuertemente empinadas ocupando 475 Ha y áreas extremadamente empinadas para 1380 Ha en esta zona.
- Paisajes sedimentarios areniscos fueron definidos para la región media alta del distrito. En total ocupa 19701 Ha del distrito siendo el subpaisaje más amplio caracterizado. Esta región presenta relieves variados pasando desde las áreas planas a ligeramente empinadas ubicadas en la zona de cabecera de cuenca; aquellas moderadamente empinadas en la transición media de la cuenca; y las zonas fuertemente empinadas identificadas en una sección del margen derecho del río Atuén y en las áreas circundantes al centro poblado Atuén.
- El paisaje sedimentario calizo representa 15329 Ha ubicado en la región este del distrito sobre las áreas del valle montañoso y cubierta boscosa. Incluye territorio de relieve ligeramente empinado donde se ubican los centros poblados Leimebamba, Palmira, Dos de Mayo, Parajillo – Aumuch, Miraflores y Bonda; zonas fuertemente empinadas principalmente al este del distrito; y otras de relieve extremadamente empinado al sur este.

Por su parte, según la geomorfología, se caracterizaron predominantemente regiones de vertiente montañosa moderadamente empinada de origen denudacional – estructural al sur del distrito ocupando 9724 Ha e incluyendo los CP Atuén y La Joya. Seguidamente la unidad Cima de montaña se distribuye para las zonas más elevadas del territorio incluyendo 8457 Ha; las laderas de montaña fuertemente empinadas abarcan 7000 Ha en la zona central del distrito, mientras que las moderadamente empinadas incluyen 6398 Ha al este; la unidad de pie de monte, caracterizado por material de deposición fluvial y coluvial, comprenden 1920 Ha ubicándose en ella los principales CP como la capital Leimebamba, Palmira y Dos de Mayo. Por otro lado, la región oeste, 1855 Ha circundantes al CP Plazapampa, se caracterizan como vertiente montañosa fuertemente empinada; y 1531 Ha son colinas altas moderadamente disectadas.

4.2.7. Información temática socioeconómica

La información obtenida y la generada a partir de las actividades en campo fueron sistematizadas e integradas consolidando información temática referida a la infraestructura de salud, educación, sanitaria, de la red eléctrica y de telecomunicaciones así como la red vial existente entre cada región de influencia antrópica definida para el distrito; así mismo, se obtuvo información temática uniformizada en cuanto a uso actual y capacidad de uso mayor de los suelos y las características demográficas cualitativas de las necesidades básicas insatisfechas y las presencia de programas sociales en cada centro poblado.

4.3. GRADO DE VULNERABILIDAD FÍSICA

4.3.1. Información temática de incidencia a la vulnerabilidad por la precipitación

Tras la valoración desarrollada en la metodología para el factor precipitación, se muestra en la Figura 24 el grado de incidencia a la vulnerabilidad que el territorio de Leimebamba tendría de considerar únicamente la tasa máxima de precipitación como factor desencadenante de deslizamientos, erosión y/o flujos de barros y detritos.

La mayor parte del territorio se encuentra caracterizado por un grado de afectación media alta abarcando aproximadamente 21127 Ha. Bajo dichas características se encuentran las zonas aledañas a los centros poblados norteños, entre los que destacan la capital: Leimebamba; y la región centro caracterizada por el CP La Joya. Esta valoración

concuenda con las alertas y datos de emergencias recogidas por parte del INDECI (2016) quien ha registrado la activación de las quebradas de Chilingote y Los Chilchos por las precipitaciones generándose huaycos. Por otra parte, la región con mayor grado de incidencia (entre alta y muy alta) es la correspondiente a la parte sur encontrándose incluido el CP Atuén y sus zonas aledañas.

Cuadro 33: Grados de incidencia resultantes por precipitación

Rango de prec. Máx.	Valoración	Grado de incidencia	Área (Ha)
1200 - 1300 mm	4	Media	252
1300 - 1400 mm	5	Media	7184
1400 - 1500 mm	7	Alta	21127
1500 - 1600 mm	9	Alta	7601
> 1600 mm	10	Muy alta	735

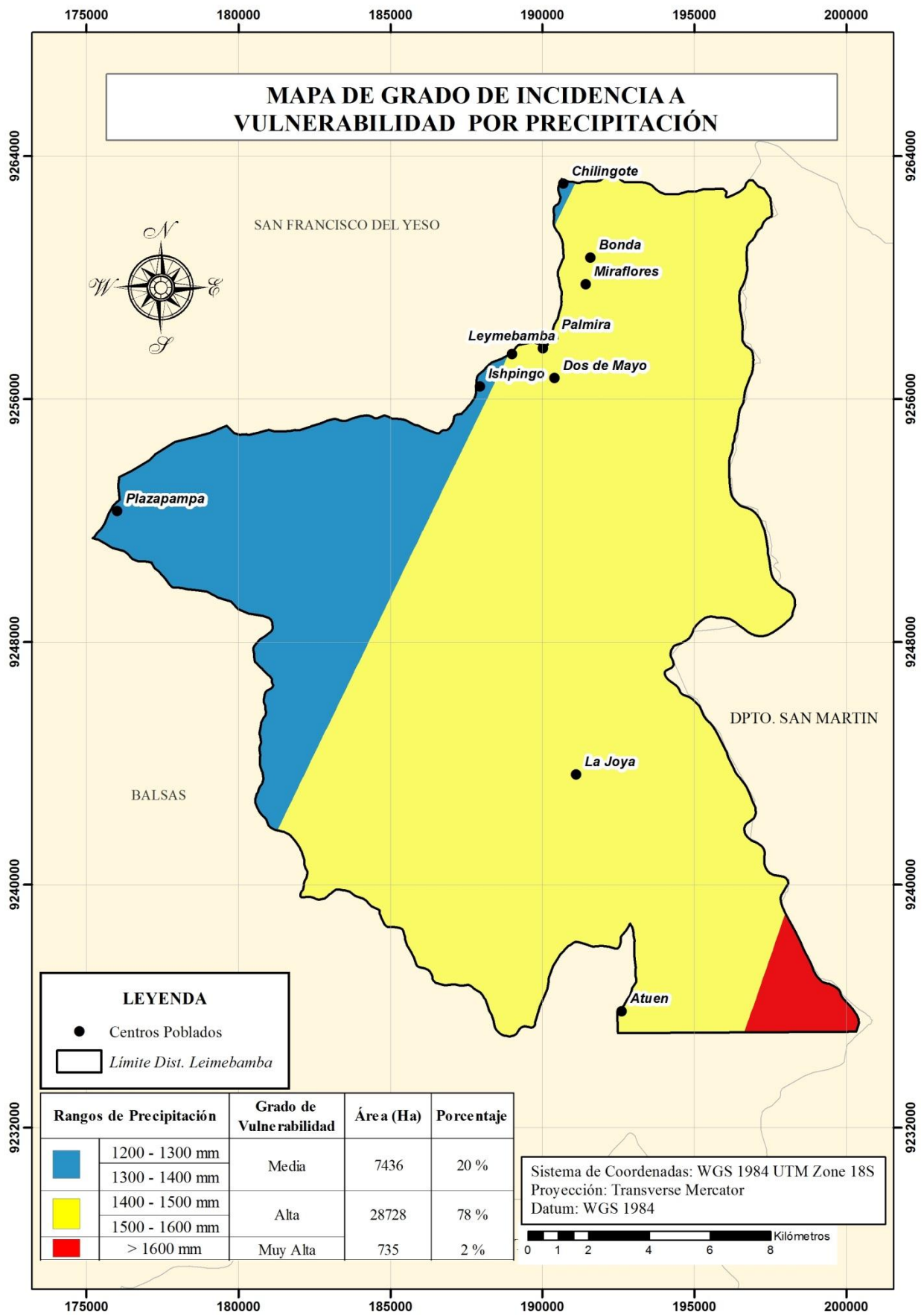


Figura 24: Mapa de grado de incidencia a vulnerabilidad por precipitación

4.3.2. Información temática de incidencia a la vulnerabilidad por la pendiente

La información temática muestra la predominancia de la vulnerabilidad Alta y Muy alta sobre el territorio sumando un total de 20576 Ha. Los patrones más resaltantes incluidos en esta región del territorio corresponde a las quebradas fuerte y extremadamente empinadas existentes en los márgenes del río Atuén en su parte media extendiéndose además a los causes aportantes perennes y ocasionales. Aunado a ello, la zona oeste del distrito, aledaña al centro poblado Plazapampa, muestra también pendientes de moderadas, fuertes y extremadamente empinadas con alto y muy alto grado de vulnerabilidad.

Cuadro 34: Grados de incidencia resultantes por pendiente

Descripción	Rango	Grado de incidencia	Valoración	Área (Ha)
Plano a ligeramente inclinado.	0 - 5%		2	5659
Moderadamente a fuertemente inclinado	5 - 15%	Baja	4	1645
Ligeramente empinado	15 - 30%	Media	6	9018
Moderadamente empinado	30 - 50%		8	13943
Fuertemente empinado	50 - 70%	Alta	9	5485
Extremadamente empinada	> 70%	Muy alta	10	1148

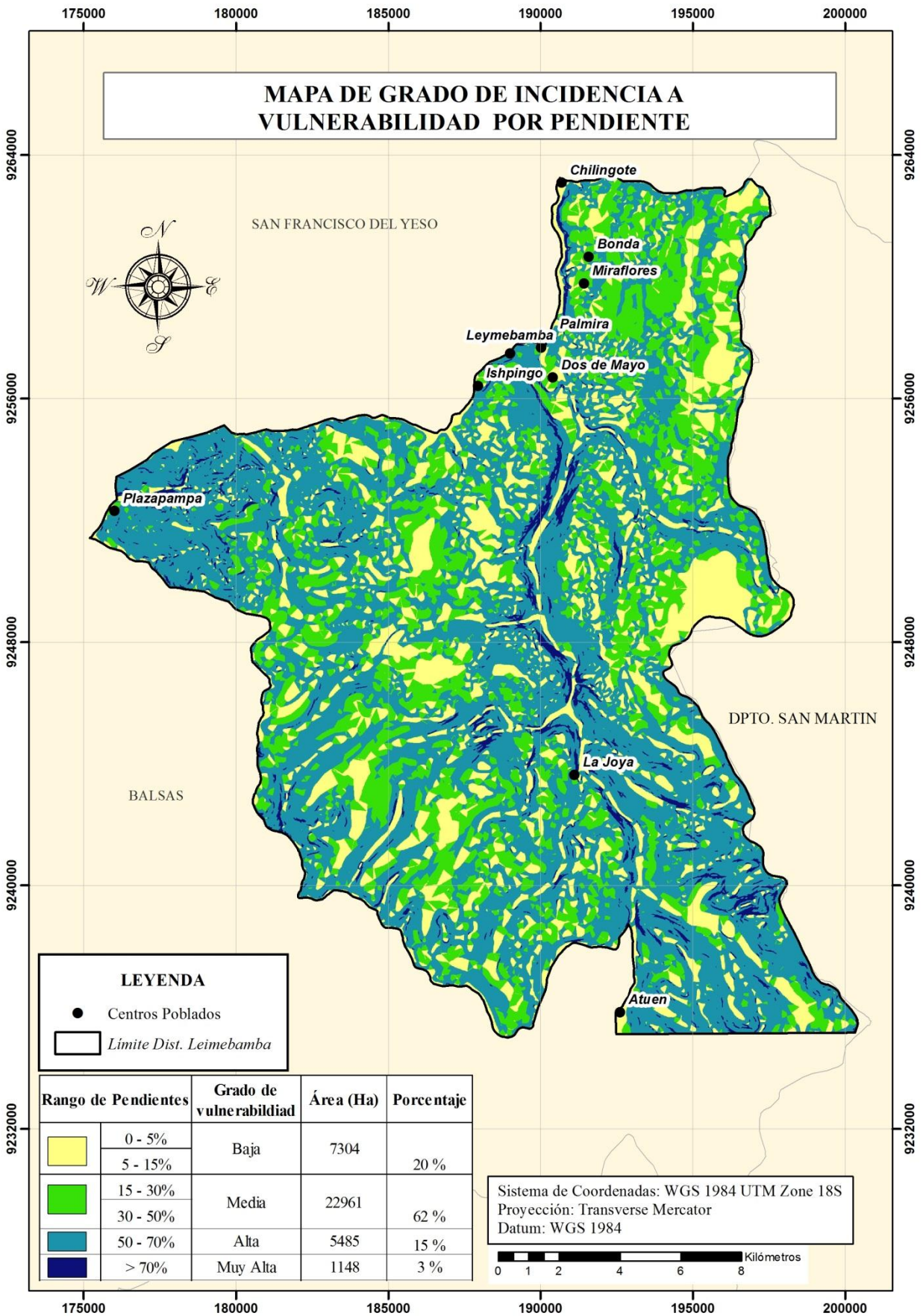


Figura 25: Mapa de grado de incidencia a vulnerabilidad por pendiente

4.3.3. Información temática de incidencia a la vulnerabilidad por la cobertura vegetal

La metodología descrita para la valoración del nivel de vulnerabilidad descrita en la metodología generó la información temática de incidencia por parte del factor cubierta vegetal. Destaca que 16592 Ha se encuentran catalogados como de alto grado incluyendo las partes altas cubiertas por pajonales, susceptibles a erosión por el bajo nivel de protección que brinda la vegetación; las zonas descritas como suelos degradados considerados en la clase anteriormente mencionada; y las zonas urbanas donde el grado de protección del suelo es mínimo si es que no ha sido cubierto. A pesar de ello, la segunda categoría de vulnerabilidad definida es la de grado bajo, con 12999 Ha incluidos. Esto se debe a la presencia, todavía amplia, de regiones arborizadas y presencia arbustiva densa principalmente para la zona central, y noreste. En menor proporción, 7308 Ha, se identificaron zonas de mediana incidencia en la vulnerabilidad cuyo patrón de ubicación abarca principalmente los cultivos y zonas de mayor presencia ganadera aledaña a los centros poblados.

Cuadro 35: Grados de incidencia resultantes por cobertura vegetal

Unidad	Grado de incidencia	Valoración	
		Valoración	Área (Ha)
Bosque húmedo montano	Baja	2	11108
Bosque secundario		3	1891
Bofedales		4	2254
Matorrales húmedos	Media	4	996
Cobertura antrópica	Alta	5	4058
Pajonales		7	16469
Zona urbana		8	123

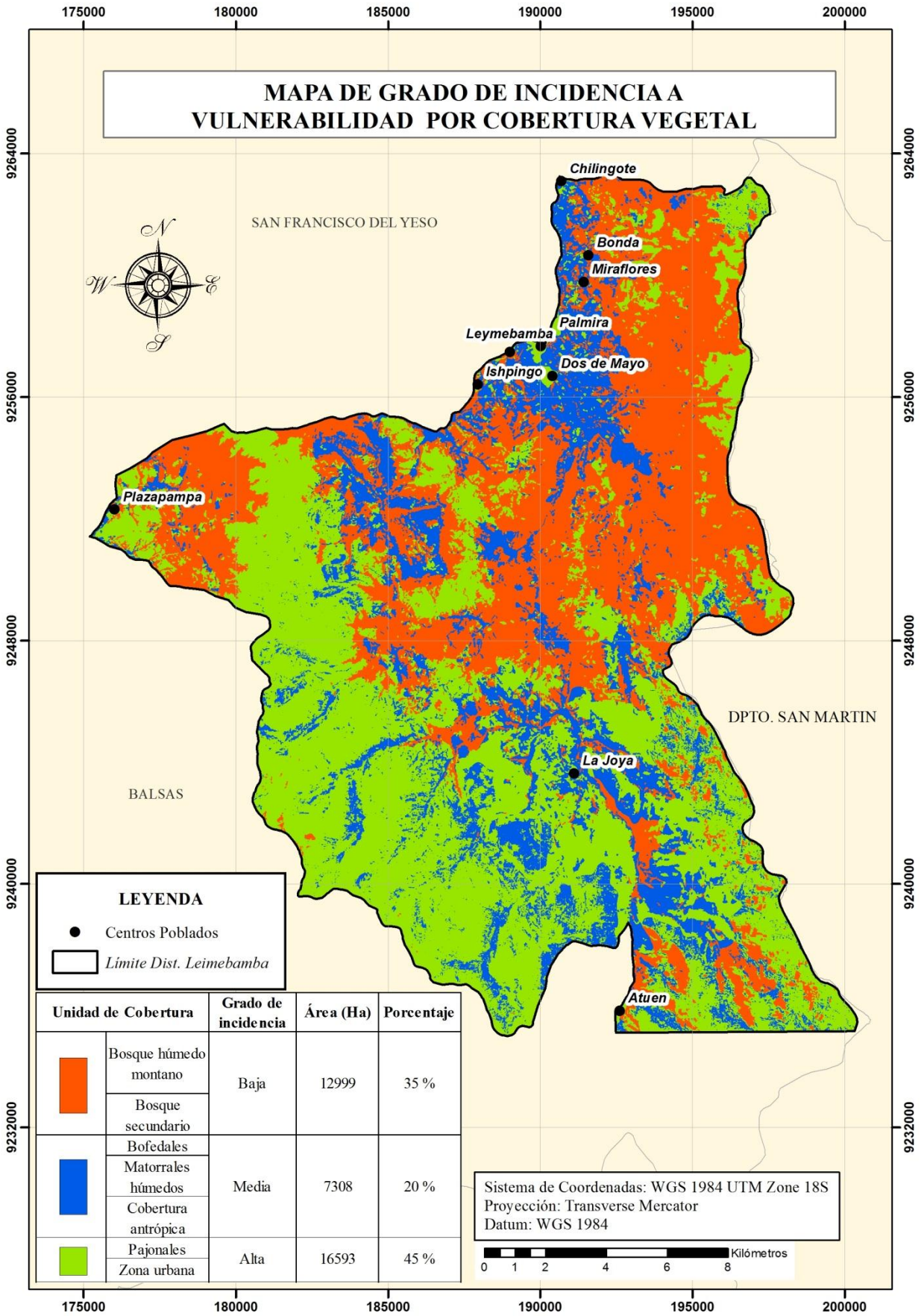


Figura 26: Mapa de grado de incidencia a vulnerabilidad por cobertura vegetal

4.3.4. Información temática de incidencia a la vulnerabilidad por la característica de los suelos

Tras desarrollar los pasos descritos para la información temática de los suelos en relación con el grado de vulnerabilidad que podrían originar, se obtuvo que la mayor parte del territorio, aproximadamente 16383 Ha se encuentran catalogados con un grado medio. Seguidamente las unidades que representan un grado alto de vulnerabilidad agrupan 15329 Ha. Las situaciones más críticas a partir de las características edáficas fueron consideradas para 5172 Ha distribuidas en la región sur y del oeste. Nótese que no se han valorado unidades cartográficas de suelo con bajo grado de incidencia, con lo cual en cualquier parte del territorio se consideraría como mínimo la posibilidad media de que el suelo sea susceptible a riesgo de erosión o deslizamiento.

Cuadro 36: Grados de incidencia resultantes por características de los suelos

Subgrupo	Unidad de suelo	Grado de vulnerabilidad	Valoración	Área (ha)
Humic Dystrustepts	Pajonal	Medio	4	16383
Lithic Ustorthents	Leymebamba		7	1920
Lithic Ustorthents – Áreas Misceláneas	Leymebamba - área miscelánea	Alta	7.5	13409
Typic Haplustepts	Pericos rojos - área miscelánea		8	1855
Typic Dystrustepts	Totora	Muy Alta	9	3317

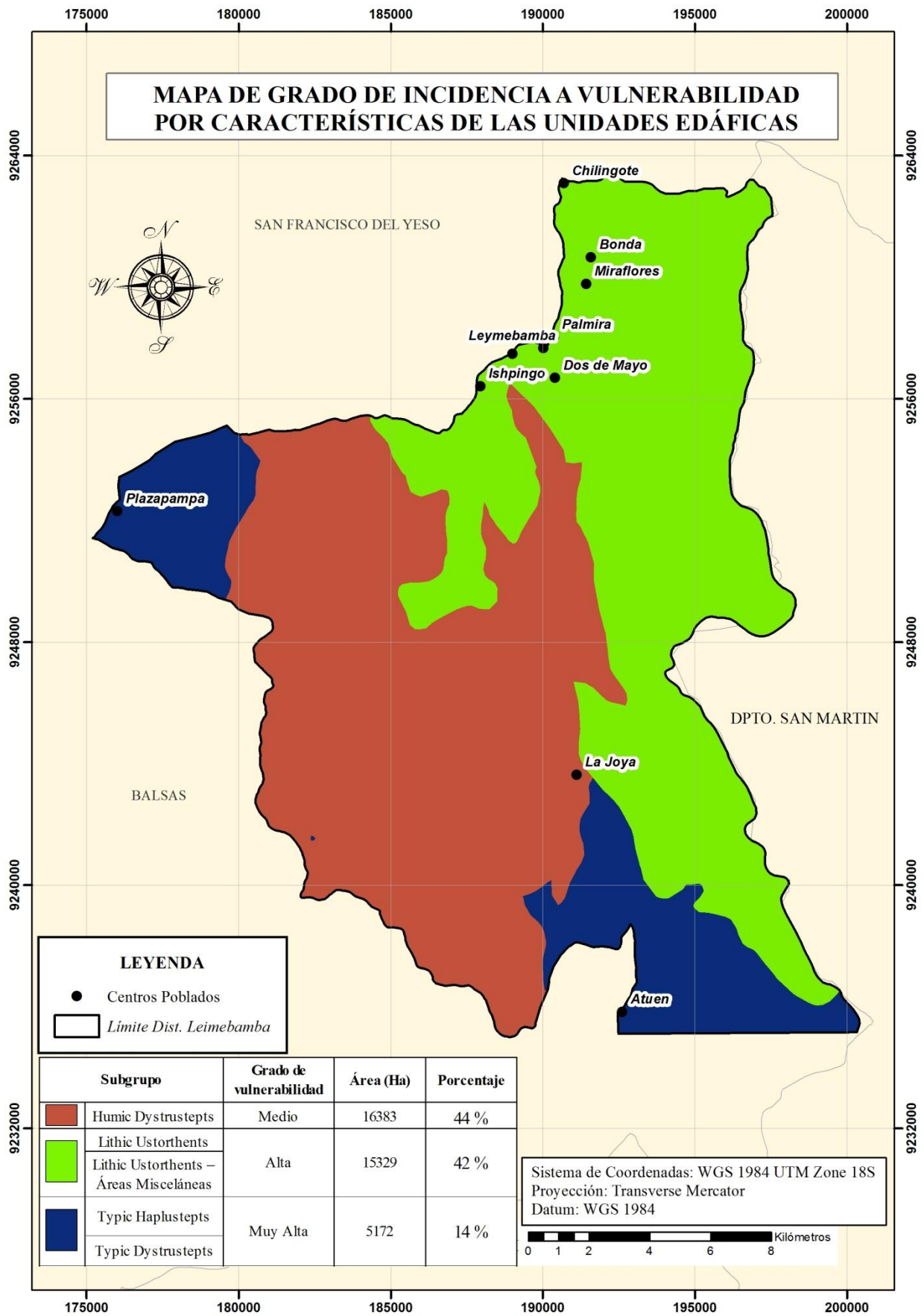


Figura 27: Mapa de grado de incidencia a vulnerabilidad por características de suelos

4.3.5. Información temática de incidencia a la vulnerabilidad por la geología

Se identificaron 5 unidades geológicas valoradas en función de su predisposición a la erosión, flujo de tierras o deslizamientos. Como se muestra en la Figura 28 geológicamente existe una predisposición media de la región central y circundante al eje del río Atuén a sufrir volcamientos o deslizamientos ocupando un área total de 22102 Ha al incluir la formación Sarayaquillo y el complejo del Marañón

Cuadro 37: Grados de incidencia resultantes por geología

Descripción	Grado de vulnerabilidad	Valoración	Área (Ha)
Grupo oriente	Baja	3	11268
Formación Sarayaquillo	Media	5	12107
Complejo del Marañón		6	9996
Grupo Mitu	Alta	8	1442
Formación chonta		9	2072

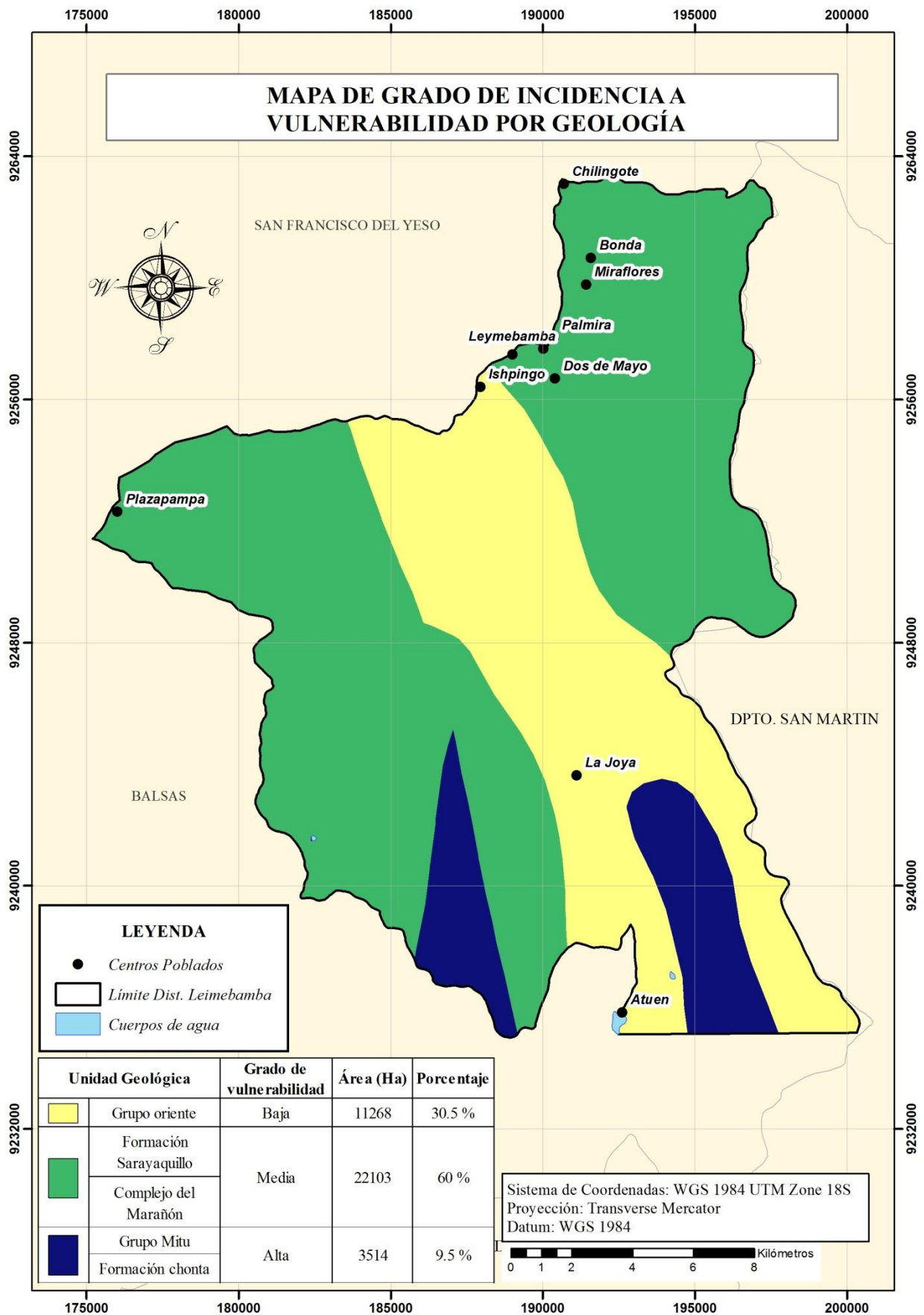


Figura 28: Mapa de grado de incidencia a vulnerabilidad por geología

4.3.6. Información temática de incidencia a la vulnerabilidad por la fisiografía y geomorfología

Como fue descrito en la metodología, los factores fisiografía y geomorfología fueron complementarios por lo cual la integración de ambos permitió evaluar la vulnerabilidad del distrito. Así, se obtuvo que 20448 Ha fueron catalogados de alta incidencia a la vulnerabilidad por sus características fisiográficas – geomorfológicas; ello principalmente debido a la presencia en dichas zonas de laderas de montaña de moderada a fuertemente empinadas sobre paisajes sedimentarios tipos montañosos. Las zonas de bajo grado de vulnerabilidad, 8143 Ha, se ubican en las zonas altas del distrito ocupando los domos y mesetas de origen estructural. Finalmente 8294 Ha de grado medio de vulnerabilidad incluyen principalmente paisajes colinosos y/o montañosos que conforman vertientes o colinas moderadamente empinadas, se incluyen además las zonas de pie de monte susceptibles a recibir el material de derrumbes, deslizamientos o caídas.

Cuadro 38: Grados de incidencia resultantes por fisiografía-geomorfología

Paisaje	Tipo de Paisaje	Origen	Unidad Geomorfológica	Grado de vulnerabilidad	Área (Ha)	Valoración
Montaña sedimentaria (areniscas)	Domos y mesas estructurales	Estructural	Cima de montaña	Baja	8143	3.5
Montaña sedimentaria (calizas)	Aluvio - gravitacional	Depositacional	Piedemonte		1920	4
Montaña sedimentaria (areniscas)	Domos y mesas estructurales	Estructural	Cima de montaña		315	5
Montaña sedimentaria (areniscas)	Montañoso	Denudacional - estructural	Vertiente montañosa moderadamente empinada	Media	552	5
Montaña sedimentaria (calizas)	Colinoso	Denudacional	Colina alta moderadamente disectada		1531	6
Montaña sedimentaria (areniscas)	Montañoso	Denudacional - estructural	Vertiente montañosa moderadamente empinada		3977	6.5
Montaña sedimentaria (calizas)	Montañoso	Denudacional - estructural	Ladera de montaña moderadamente empinada		5660	7
Montaña sedimentaria (areniscas)	Montañoso	Denudacional - estructural	Ladera de montaña fuertemente empinada	Alta	236	7

Continuación

Montaña metamórfica	Montañoso	Denudacional - estructural	Vertiente montañosa fuertemente empinada		475	7
Montaña sedimentaria (areniscas)	Montañoso	Denudacional - estructural	Vertiente montañosa moderadamente empinada		1672	7
Montaña sedimentaria (calizas)	Montañoso	Denudacional - estructural	Vertiente montañosa moderadamente empinada		3523	7.5
Montaña metamórfica	Montañoso	Denudacional - estructural	Vertiente montañosa fuertemente empinada		1380	8
Montaña sedimentaria (calizas)	Montañoso	Denudacional - estructural	Ladera de montaña moderadamente empinada	Alta	738	8
Montaña sedimentaria (calizas)	Montañoso	Denudacional - estructural	Ladera de montaña fuertemente empinada		1063	8.5
Montaña sedimentaria (areniscas)	Montañoso	Denudacional - estructural	Ladera de montaña fuertemente empinada		3903	8.5
Montaña sedimentaria (areniscas)	Montañoso	Denudacional - estructural	Ladera de montaña fuertemente empinada		904	9
Montaña sedimentaria (calizas)	Montañoso	Denudacional - estructural	Ladera de montaña fuertemente empinada		895	9.5

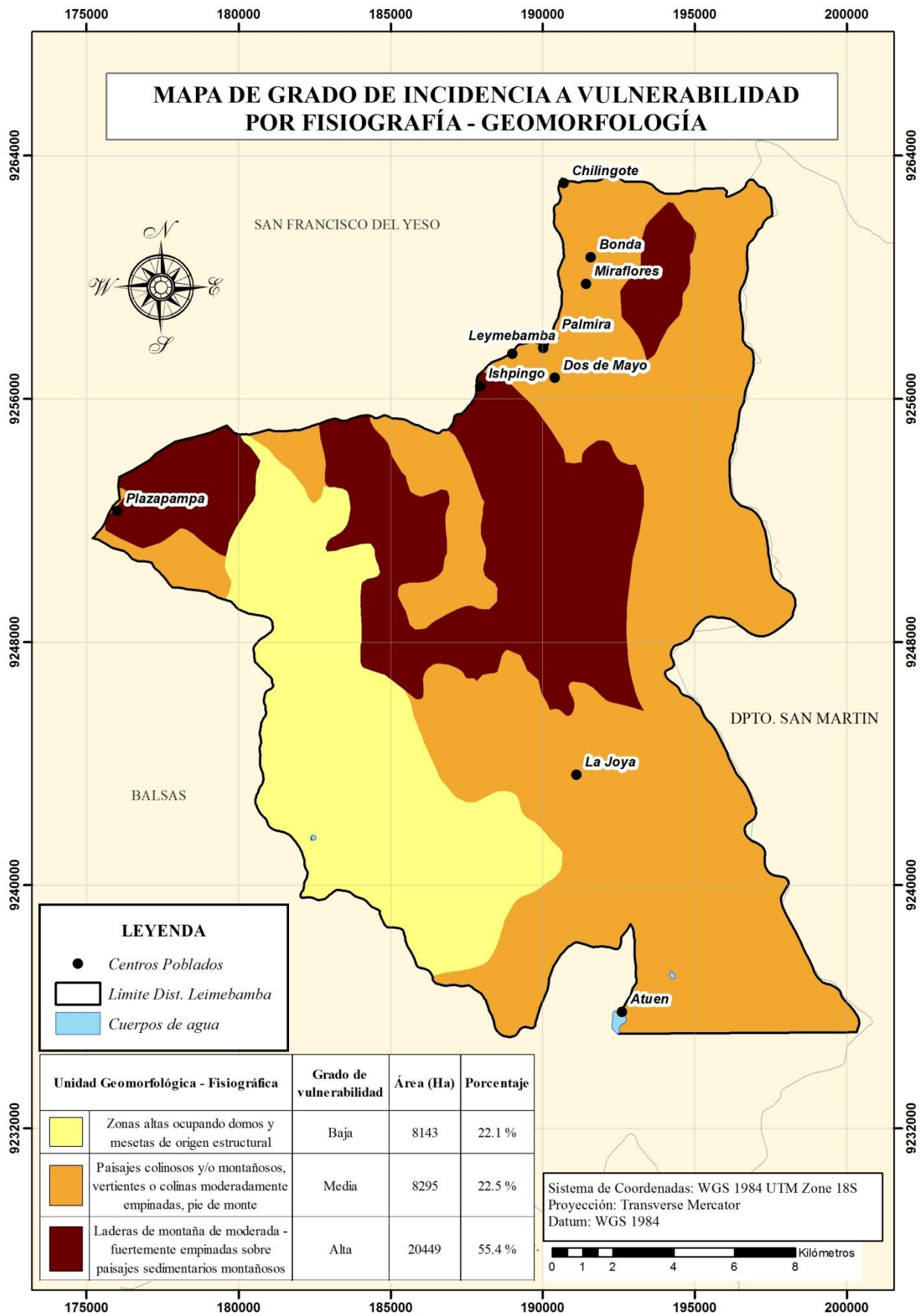


Figura 29: Mapa de incidencia a vulnerabilidad por fisiografía-geomorfología

4.3.7. Análisis de información temática del modelo geoespacial de vulnerabilidad física

El modelo geoespacial de integración para el análisis respectivo resultó expresado matemáticamente mediante la siguiente fórmula polinómica (adaptado de Ochoa Janampa (2014) y MINAM (2011) como se explica en la metodología referida a la valoración de las unidades cartográficas de los factores del presente modelo) tomando en consideración los grados de influencia del factor al ámbito de estudio:

$$MVF = 0.2 * Pend + 0.2 * Prec + 0.15 * CV + 0.15 * Sue + 0.1 * Geo + 0.1 * Fis + 0.1 * Gmf$$

Donde:

Pend Pendiente

Prec Precipitación

CV Cobertura Vegetal

Sue Suelos

Geo Geología

Fis Fisiografía

Gmf Geomorfología

Los factores de ponderación aplicados a cada variable fueron tomados según los siguientes criterios:

- Precipitación: agente erosivo y de importante incidencia en eventos en masa por humedecimiento y desprendimiento de los planos de falla en derrumbes y deslizamientos, o en huaycos por exceso no infiltrable. En tal sentido tiene un grado de incidencia relativamente importante de 20%

- Pendiente: factor determinante por influir en porcentaje de infiltración, estar relacionado a los ángulos de reposo de las partículas y tener incidencia directa a los grados de erodabilidad del suelo. De manera similar al agente precipitación, su incidencia en los eventos es importante representada en un factor de 20%
- Cobertura vegetal: factor cuyo papel es relevante al modular erosividad de precipitaciones, influir en erodabilidad por pendientes y mejorar las características de los suelos en cuanto a capacidad de infiltración y cohesión. Por ello, mantiene una incidencia media en la susceptibilidad física, expresada en un factor ponderativo de 15%
- Características de los suelos: en él confluyen los agentes de erosividad y factores de erodabilidad dependiendo en última instancia de las características propias de cada unidad edáfica identificada. Se corresponde un grado de incidencia similar al de cobertura vegetal por su interacción constante y dependiente, es decir, 15%
- Geología: factor del cual dependerá en gran medida las características de las masas de tierra susceptibles. Sin embargo su influencia se muestra en periodos largos de tiempo, por ello corresponde un factor ponderativo relativamente bajo de 10%.
- Fisiografía: tratando el territorio por sus características como paisajes, refiere a las relaciones de los elementos antes tratados para cada unidad, en ese sentido mantiene una relación de menor relevancia para el análisis desarrollado. Se aplica un factor de 10%.
- Geomorfología: como se desarrolló en la metodología, guarda una estrecha relación con la fisiografía explicando la formación y origen del material edáfico y sus formas, por ello corresponde un factor ponderativo similar de 10%.

Con una fiabilidad del modelo de 81.03 (+/- 10.09) %, al 95% de probabilidad, se identificaron 19180 Ha catalogados con alto grado de vulnerabilidad física. Dicho territorio se encuentra distribuido en cuatro patrones:

- En primer lugar, las zonas circundantes al centro poblado Plazapampa fueron identificadas como de alta vulnerabilidad respondiendo en gran medida a la

influencia de las variables “pendiente” y “cobertura vegetal”. Por un lado, esta zona del distrito se caracteriza por laderas escarpadas cuya topografía, con pendientes desde moderadamente empinadas hasta extremadamente empinadas, se distribuyen en todo el paisaje de valle interandino que lo conforma. Aunado a ello, se observa un avance de la cubierta de vegetación secundaria y sobre la flora primigenia. En este caso, el grado alto de vulnerabilidad proviene de la combinación perjudicial entre cobertura vegetal y las características edáficas; pues, la presencia de vegetación secundaria representa el avance de actividades agrícolas / ganaderas sobre suelos de baja profundidad efectiva y por ende baja capacidad agrológica, desembocando fácilmente en degradación por erosión. Siendo así, el proceso laminar propio de la fase inicial se vería favorecido por la pendiente pronunciada y la disminución de cubierta protectora generando probablemente erosión por surcos y cárcavas.

- En segundo lugar, se identificó un patrón de alta vulnerabilidad para las zona central de Leimebamba y distribuidas a lo largo de las riberas. El principal factor causante sería las pendiente mayores a 30 prevaleciendo las fuertemente (50-70%) y extremadamente (>70%) empinadas. Sin embargo, a pesar de ello, no fueron catalogadas como terrenos de muy alta vulnerabilidad debido a dos factores: la cobertura vegetal presente en algunas zonas corresponde a flora arbustiva e incluso arbórea la cual incrementa la capacidad adhesiva del suelo en las laderas; y por otro lado, el grupo geológico Oriente permite la formación de escarpas muy empinadas al conformarse en estratos gruesos bastantes resistentes.
- Seguidamente, ubicamos en la zona noreste del territorio áreas de alta vulnerabilidad física. Esta situación obedece principalmente a la interacción entre las características de los suelos cuya calidad agrológica es baja, las precipitaciones del sector son de moderadas a altas entre 1400 y 1500 mm/mes; y pendientes ligeramente empinadas y en algunos casos moderadamente empinados. Pues, a pesar de estar cubierta aún en gran parte por vegetación boscosa que protege el suelo, su misma conformación lo hace vulnerable teniendo como agente potenciador a la precipitación. Sin embargo, cabe mencionar que existen zonas donde la cobertura vegetal ha sido depredada en avance de la intrusión antrópica

ocasionando zonas descubiertas altamente susceptibles a erosión, pérdida de suelo y deslizamientos potenciados por los factores nombrados inicialmente.

- Finalmente, se observa un patrón de alta vulnerabilidad en gran parte de la región sur. El factor determinante es la alta tasa de precipitación, desde los 1500 mm hasta sobrepasar los 1600 mm como valores máximos mensuales, lo cual disminuye la adhesión de las partículas del suelo. Además, las características intrínsecas de las unidades edáficas que conforman la región sur muestran alta vulnerabilidad por su naturaleza arenisca y profundidad media a baja; suma también la cubierta entre herbácea y arbustiva pequeña dispersa en las zonas altas disminuyendo la protección de la superficie del suelo ante la energía cinemática de la lluvia, este arrinconamiento a las zonas elevadas se viene propiciando por el avance de las actividades pecuarias. Destacan así como zonas vulnerables las cimas de montañas y colinas fuertemente disectadas donde las areniscas y terrenos con alto grado de meteorización sufren procesos erosivos importantes como derrumbes y deslizamientos a partir de la mencionada alta tasa de precipitación.
- Sin embargo, se ha identificado además zonas en la región sur cuyo alto grado de vulnerabilidad viene dado por la interacción entre la unidad geológica conformada en estratos gruesos y los suelos de poca profundidad efectiva. En estos casos el factor precipitación humedece la superficie de interacción disminuyendo la adhesión entre la capa de suelo y el material parental propiciando deslizamientos traslacionales y flujos de tierra.

A lo expuesto, se le suman en primer lugar las áreas catalogadas de muy alta vulnerabilidad en la zona sur de Leimebamba comprendiendo 407 Ha, donde a los factores ya mencionados para dicha región se ven potenciados por las características fisiográficas de laderas accidentadas de pendientes extremadamente empinadas. En tercer lugar, cabe notar que casi la totalidad del terreno distrital restante ha sido identificado de vulnerabilidad física media, aproximadamente 17214 Ha. Esta última categoría engloba la zona oeste de cabecera de cuenca que cuenta con herbazales y bofedales como cubierta vegetal y pendientes bajas a moderadas; zonas de cima de montaña; y bosques primarios cuyo equilibrio puede verse fácilmente resquebrajado dando pie a degradación y riesgos por erosión.

Cuadro 39: Grados de vulnerabilidad física del distrito Leimebamba

Vulnerabilidad	Área (Ha)	Porcentaje de área
Muy alta	407	1.10%
Alta	19180	51.98%
Media	17214	46.65%
Baja	83	0.23%

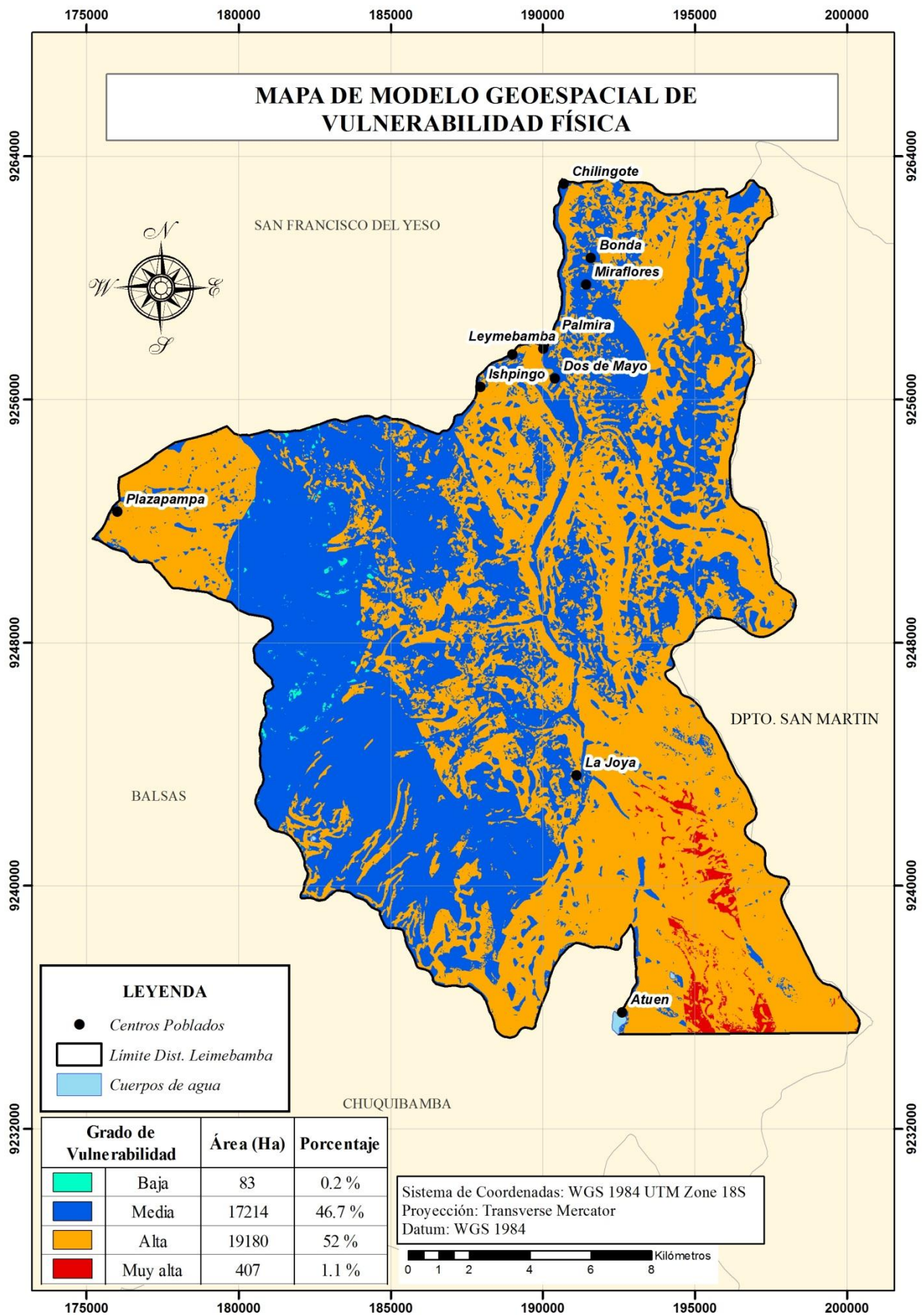


Figura 30: Mapa del modelo geoespacial de vulnerabilidad física

4.4. GRADO DE VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA

4.4.1. Información temática del submodelo geoespacial de conflicto de uso

La integración lógica entre el la información temática de capacidad de uso mayor de los suelos y el uso actual del territorio como se describe en la metodología permitió generar el submodelo de conflicto de uso. Sobre él se valoraron las situaciones de sub-uso, uso conforme o sobre-uso en relación con la incidencia en la vulnerabilidad que cada situación aportaría. En total se identificaron 28034 Ha en uso conforme incluyendo áreas forestales, destinadas al pastoreo o la conservación por diferentes limitaciones. Sin embargo, 8460 Ha fueron identificados en sobre utilización causada en cierta medida por la deforestación de las regiones boscosas y actividad sobre áreas de protección para establecer cultivos, zonas de pastoreo y/o asentamientos antrópicos.

Cuadro 40: Situación de conflicto de uso del territorio distrital

Situación	Porcentaje del territorio	Área (Ha)
Conforme	76%	28033.94
Sub uso	1%	405.19
Sobre uso	23%	8459.67

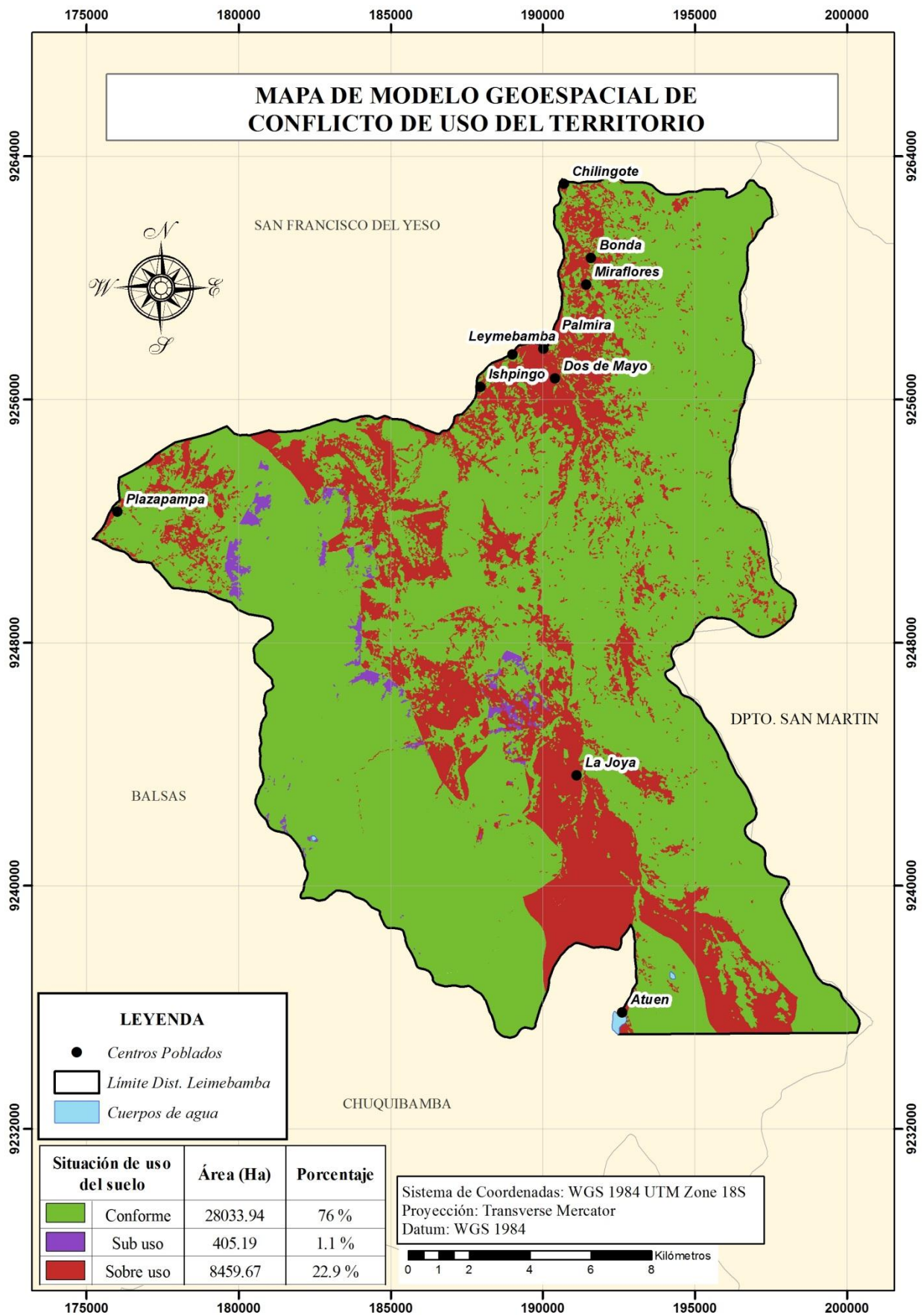


Figura 31: Mapa de submodelo geoespacial de conflicto de uso

4.4.2. Información temática del submodelo geoespacial de actividades económicas

Este submodelo corresponde a la integración de dos variables: el uso actual del territorio y los frentes económicos del distrito en base a los cuales se valoró el nivel de incidencia de la vulnerabilidad con respecto a este indicador según la siguiente fórmula polinómica adaptada de la integración multivariable trabajada por Ochoa Janampa (2014) para analizar grados de vulnerabilidad en la cuenca Jequetepeque, y la identificación de factores trabajada por Durán Gil (2012) para análisis de vulnerabilidad en Colombia:

$$SE = 0.5 * UA + 0.5 * FE$$

Donde:

UA Uso Actual

FE Frentes Económicos

La integración de las variables uso actual y frentes económicos se encuentra explicado en la metodología previo a la valoración de cada unidad. En general se tomó en consideración que Ante un posible evento desastroso, un determinante clave de vulnerabilidad será la situación del sistema de sustento, independiente de qué actividad proporcione más o menos ingresos (Pérez de Armiño 2000). Por ello, los factores ponderativos similares aplicados a cada variable responden a la opción de analizar en igual medida cada actividad desarrollada y consolidada en el territorio.

Las zonas de alta vulnerabilidad, aproximadamente 29635 Ha, incluyen los CP La Joya y Atuén donde las actividades agrícolas y ganaderas son de subsistencia; además, se encuentran en las cabeceras de cuenca y regiones de bosque primario donde la actividad de conservación, investigación y turismo se encuentran implementadas ínfimamente. Las zonas de susceptibilidad media, 7079 Ha, se deben a la interacción entre la presencia de actividades ganaderas y agrícolas apoyadas en el frente ganadero, se incluyen los centros poblados del norte como Chilingote, Bonda, Miraflores y Parajillo – Aumuch. Finalmente, las zonas circundantes al CP Plazapampa donde se desarrollan fruticultura, ganadería y comercio de ambos se presenta como de baja incidencia en cuanto a las actividades

económicas, a ello se les suman Leimebamba y Palmira, los CP más desarrollados del distrito donde se realiza en pequeña proporción la transformación de productos lácteos y su comercio. Sin embargo es de notar que las zonas aledañas a esta son catalogadas como de media vulnerabilidad en cuanto la contradicción entre la implementación del sector primario sobre uso silvo pastoril.

Cuadro 41: Situación de vulnerabilidad por actividades económicas

Frentes económicos	Uso actual	Área (Ha)	Vulnerabilidad
Turismo investigación conservación	Herbazales	13373	Alta
Turismo investigación conservación	Bosque perennifolio	4828	Alta
Pecuario	Herbazales	4939	Alta
Pecuario	Bosque perennifolio	5982	Alta
Pecuario	Matorrales	497	Alta
Otros	Cultivos agrícolas pecuarios	106	Baja
Otros	Zona urbana	6	Baja
Turismo investigación conservación	Zona urbana	9	Baja
Otros	Herbazales	411	Media
Otros	Bosque perennifolio	297	Media
Otros	Bosque secundario	136	Media
Turismo investigación conservación	Bosque secundario	363	Media
Turismo investigación conservación	Cultivos agrícolas pecuarios	538	Media
Turismo investigación conservación	Matorrales	498	Media
Pecuario	Bosque secundario	1392	Media
Pecuario	Cultivos agrícolas pecuarios	3414	Media
PECUARIO	Zona urbana	109	Media

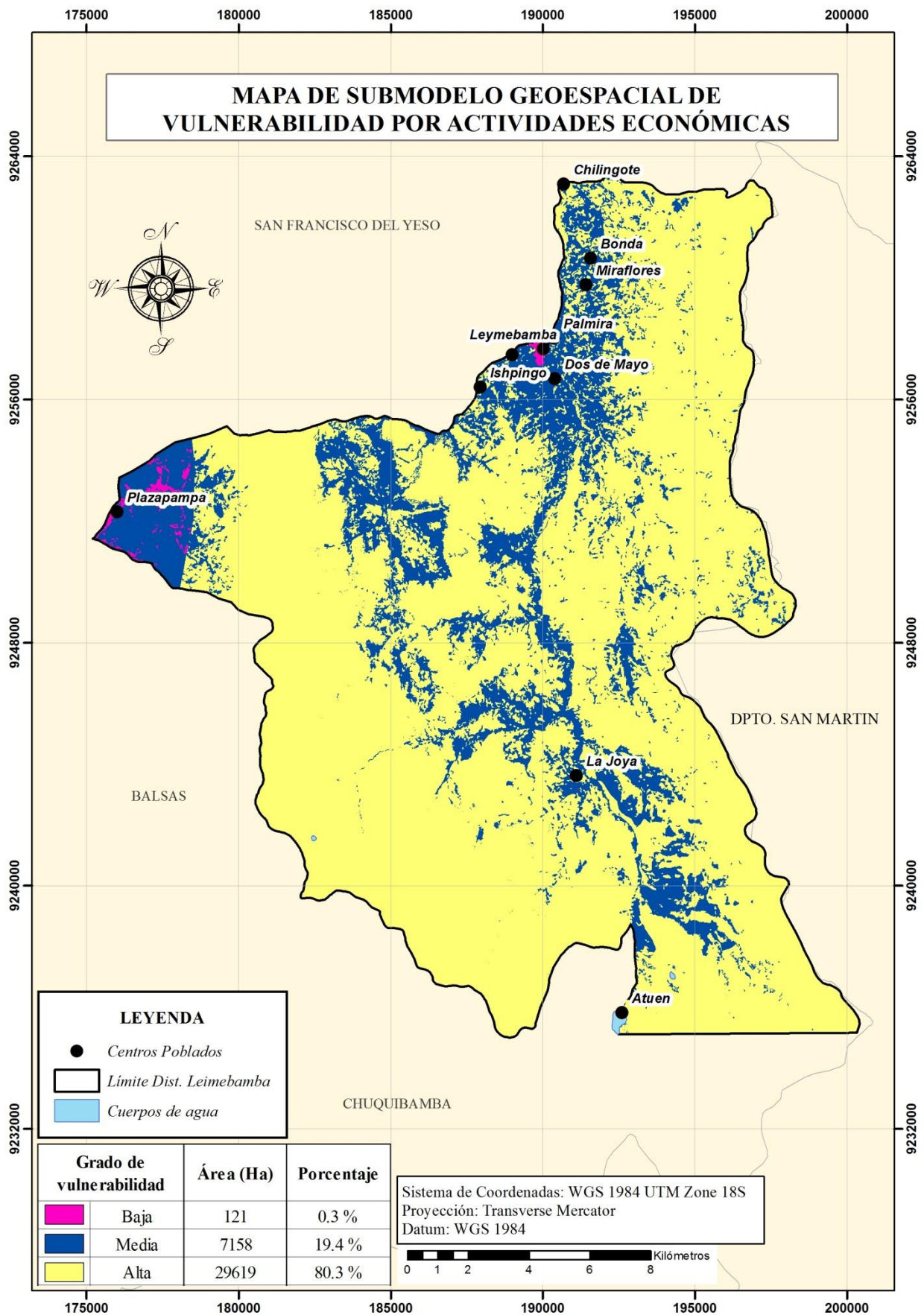


Figura 32: Mapa de submodelo geoespacial de actividades económicas

4.4.3. Información temática del submodelo geoespacial de unidades sociales

La integración de la data de Necesidades Básicas Insatisfechas y la implementación de programas sociales según lo descrito en la metodología permitió conocer el grado de vulnerabilidad de las zonas antrópicas en cuanto acción frente y posterior a alguna situación de riesgo. Los factores ponderativos del grado de incidencia de cada factor al submodelo obedecen a la siguiente fórmula polinómica de integración adaptada de la integración multivariable trabajada por Ochoa Janampa (2014) para analizar grados de vulnerabilidad en la cuenca Jequetepeque, y la identificación de factores trabajada por Durán Gil (2012) para análisis de vulnerabilidad en Colombia:

$$SUS = 0.6 * NBI + 0.4 * PS$$

Donde:

NBI Valoración de Necesidades Básicas Insatisfechas

PS Valoración de Programas Sociales

El empleo de las variables integradas se encuentra explicado en la metodología previo a la valoración de cada unidad cartográfica identificada. En líneas generales se plantea la necesidad de evaluar las necesidades básicas no cubiertas ni satisfechas por su influencia en mermar la capacidad de preparación y respuesta del poblador frente a un evento de riesgo; mientras que, la presencia de programas sociales en el territorio indica la capacidad de presencia del estado en cuanto asistencia social a poblaciones vulnerables se refiere. En función a lo expuesto, la situación actual de insatisfacción en calidad de vivienda, servicios sanitarios, educación y capacidad económica son las características que inciden en gran medida en la capacidad de reacción antes y después de la amenaza; esta situación se ve representada en el factor ponderativo de 60%. Por su parte, el porcentaje restante de incidencia, un 40%, lo representa la capacidad del gobierno local, regional y central de asistir al ciudadano en su recuperación frente a desastres.

Se tomó en consideración únicamente valoraciones para las zonas circundantes a los centros poblados más representativos por. La región norte, incluyendo los CP Leimebamba (capital), Palmira, Chilingote, Dos de Mayo y considerando un área de influencia de 1585

Ha, presenta un grado bajo en cuanto las necesidades de vivienda, educación y capacidad económica son cubiertas positivamente por gran parte de la población. Seguidamente la zona de influencia al CP Plazapampa, aproximadamente 145 Ha mantiene un nivel medio básicamente por la mediana cobertura de los estándares de vivienda considerados. Finalmente, los asentamientos de la zona centro y sur, cubriendo aproximadamente 173 Ha, fueron categorizados como de alto grado de vulnerabilidad por sus bajos niveles en cobertura de necesidades sanitarias de calidad y de vivienda.

4.4.4. Información temática del submodelo geoespacial de infraestructura

La generación del submodelo mediante la integración de la información temática correspondiente a los factores y sus valoraciones en el grado de incidencia prosiguió según la metodología descrita, tomando en consideración la aplicación de factores ponderativos, se adaptó la integración multivariable trabajada por Ochoa Janampa (2014) para analizar grados de vulnerabilidad en la cuenca Jequetepeque, y la identificación de infraestructura pública susceptible como elementos expuestos a eventos en masa o como elementos que permitan acciones efectivas de acción frente al desastre, realizado por la SUBDERE (2011):

$$SI = 0.3 * RV + 0.2 * Tel + 0.2 * Sal + 0.15 * Edu + 0.1 * Elec + 0.05 * San$$

Donde:

RV Red Vial

Tel Infr. Telecomunicaciones

Sal Infr. de Salud

Edu Infr. de Educación

Elec Infr. de Electricidad

San Infr. Sanitaria

El empleo de las variables mostradas en la fórmula polinómica se encuentra explicado en la metodología, previo a la valoración de cada unidad cartográfica. De manera resumida,

como lo indica la SUBDERE (2011), se incluyen el análisis de los denominados “sistemas estratégicos” por ser necesarios para el bienestar de la comunidad incidiendo en las consecuencias negativas que podrían generarse en un evento en masa. Dicho grado de incidencia fue representado en los factores ponderativos mostrados tomando en consideración:

- Red vial: abarcando las vías asfaltadas, las afirmadas y los caminos vecinales, tienen un alto grado de incidencia sobre la vulnerabilidad en la medida que a través de ellas se movilizará asistencia médica, ayuda social, asistencia técnica, repartición de donaciones, entre otras tareas de recuperación y mitigación del desastre. Dicha importancia se ve reflejada en un factor de 30%.
- Telecomunicaciones: de manera similar a la red vial, este sistema permite conocer la situación de distintos puntos del territorio, comunicar e intercambiar información para priorizar zonas críticas, entre otras tareas. Por estas razones se le aplica un factor ponderativo de 20%.
- Infraestructura de salud: involucra por una parte la atención de emergencias y la asistencia a la población damnificada, y por otra parte, la capacidad de brindar refugio a personas afectadas. Por esta razón se le asigna un valor ponderación de 20%.
- Infraestructura de educación: su incidencia corresponde a que gran parte del año alberga un número considerable de personas, es decir un número considerable de afectados en un mismo punto; sin embargo, representa a su vez la capacidad de ser usado como refugio para damnificados. Por estas funciones se le asigna una incidencia media, factor de 15%.
- Infraestructura eléctrica: si bien corresponde a un servicio no difundido ampliamente en todo el territorio, aplica tomar en consideración su incidencia como posible causa de accidentes para caída de postes y a su vez indicar que en centros de salud será de importancia su empleo para una serie de equipos posiblemente usados en la situación de riesgo. Se le asigna un factor bajo de 10%
- Infraestructura sanitaria: su incidencia obedece al abastecimiento de servicios sanitarios, sin embargo, se considera las características del distrito donde su

incidencia como factor social no es ampliamente significativa otorgándole un factor ponderativo de 5%.

Los resultados fueron estratificados en tres grados. Nuevamente, considerando únicamente las zonas de influencia antrópica alrededor de los asentamientos más representativos se tiene que la zona norte y oeste del distrito, sumando un área aproximada de 1730 Ha, mantienen un grado bajo de vulnerabilidad potenciada por la red vial en buen estado que las mantiene interconectadas, los servicios de telecomunicaciones y electricidad de amplia cobertura, la influencia positiva de los centros de salud y educativos relativamente cercanos y de fácil accesibilidad para la población. Por otro lado, la zona centro con el CP La Joya, aproximada 173 Ha mantiene un grado medio de vulnerabilidad. Esto debido a la presencia de centros de salud y educativos en cada uno de ellos pero afectados por la inexistencia de redes de electricidad o telecomunicaciones más allá de casos aislados. Finalmente, la zona sur mantiene grado alto de vulnerabilidad por sus condiciones de desabastecimiento de los distintos sistemas considerados. Cabe resaltar que la actual ejecución del proyecto de ampliación de la carretera desde Leimebamba hasta Atuén afectará positivamente la situación de la zona centro y sur en cuanto interconexión constante se refiere.

4.4.5. Análisis de la información temática del modelo geoespacial de vulnerabilidad socioeconómica

En conformidad con la metodología de integración descrita en la metodología y tomando en consideración la incidencia de cada submodelo en el grado de vulnerabilidad socioeconómica se aplicó la integración según la siguiente fórmula polinómica, adaptada de la integración multivariable trabajada por Ochoa Janampa (2014) para analizar grados de vulnerabilidad en la cuenca Jequetepeque, y la identificación de factores trabajada por Durán Gil (2012) para análisis de vulnerabilidad en Colombia:

$$MVSE = 0.3 * SCU + 0.25 * SUS + 0.25 * SE + 0.2 * SI$$

Donde:

SCU Submodelo de Conflicto de Uso

SUS Submodelo de Unidades Sociales

SE Submodelo Económico

SI Submodelo de Infraestructura

Los grados de influencia representados en factores ponderativos respondieron al siguiente criterio:

- Submodelo de Conflicto de Uso: el ámbito de estudio involucra una gran parte de zonas cuyas limitaciones las califican para conservación u actividades con limitaciones; por ello, es de esperar que alteraciones en el uso recomendado incidirán en gran medida en la formación de escenarios propicios para eventos de riesgo. Por ello, se le asigna un grado de incidencia porcentual de 30%.
- Submodelo Unidades sociales: corresponden a la incidencia que tienen las características de la sociedad involucrada en situaciones de riesgo. Lógicamente la calidad de necesidades que logren alcanzar tendrá una relación directa importante con la susceptibilidad ante desastres. Así, se aplica un factor ponderativo de 25%.
- Submodelo Económico: las características de las actividades económicas que se vienen desarrollando y consolidando en el distrito tienen similar incidencia en la vulnerabilidad que las características sociales por ser complementarias, Se representa así un factor ponderativo similar al submodelo previo, 25%.
- Submodelo de Infraestructura: guardan una relación importante en la vulnerabilidad de la sociedad al dotarla de las herramientas para afrontar adecuadamente el evento de riesgo. Por ello, el factor de incidencia ponderativo no se aleja de los submodelos previos tomando 20%.

El modelo, con una fiabilidad de 94.83 (+/- 5.7) % (nivel de significancia de 0.05), identificó gran parte del territorio como de baja vulnerabilidad, 27814 Ha. Sin embargo, ello es debido a que el territorio no cuenta con una distribución demográfica uniforme ante lo cual se decidió limitar la valoración de los factores sociales a zonas de influencia cercanas circundantes a los centros poblados más representativos de la situación distrital dejando regiones influenciadas únicamente por el componente económico de las

actividades desarrolladas en ellas y la situación favorable o desfavorable de conflicto de uso que puedan generar.

En total, se identificaron 8944 Ha con grado medio de vulnerabilidad socioeconómica y 127 Ha de alto grado de incidencia. En dichos resultados se identificaron patrones de localización. En primer lugar, la mayoría de las zonas con grado medio de vulnerabilidad socioeconómica mantienen correspondencia con situaciones de conflicto de uso por sobre utilización: ingreso y avance de actividades agrícolas / pecuarias sobre terrenos con aptitud forestal o de protección, actividades forestales sobre áreas destinadas a la protección e influencia urbana sobre capacidad forestal o destinada a la conservación del terreno por limitaciones de suelo, riesgo de erosión y factores climáticos. Por otra parte, las zonas de asentamiento antrópico se desenvuelven en un patrón de diferenciación donde los centros poblados pertenecientes a la región norte del distrito han sido evaluados con grado medio (entre ellos Palmira, Dos de Mayo, Chilingote, Plazapampa, Parajillo – Aumuch e Ishpingo) y grado bajo de vulnerabilidad socioeconómica (CP capital Leimebamba), situación distinta a la baja capacidad de prevención, respuesta y recuperación que tendrían los CP sureños (La Joya y Atué) evaluadas en función de las variables consideradas.

Cuadro 42: Grado de vulnerabilidad socioeconómica del distrito Leimebamba

Vulnerabilidad	Área (Ha)	Porcentaje de área
Alta	127	0.34%
Media	8944	24.24%
Baja	27814	75.38%

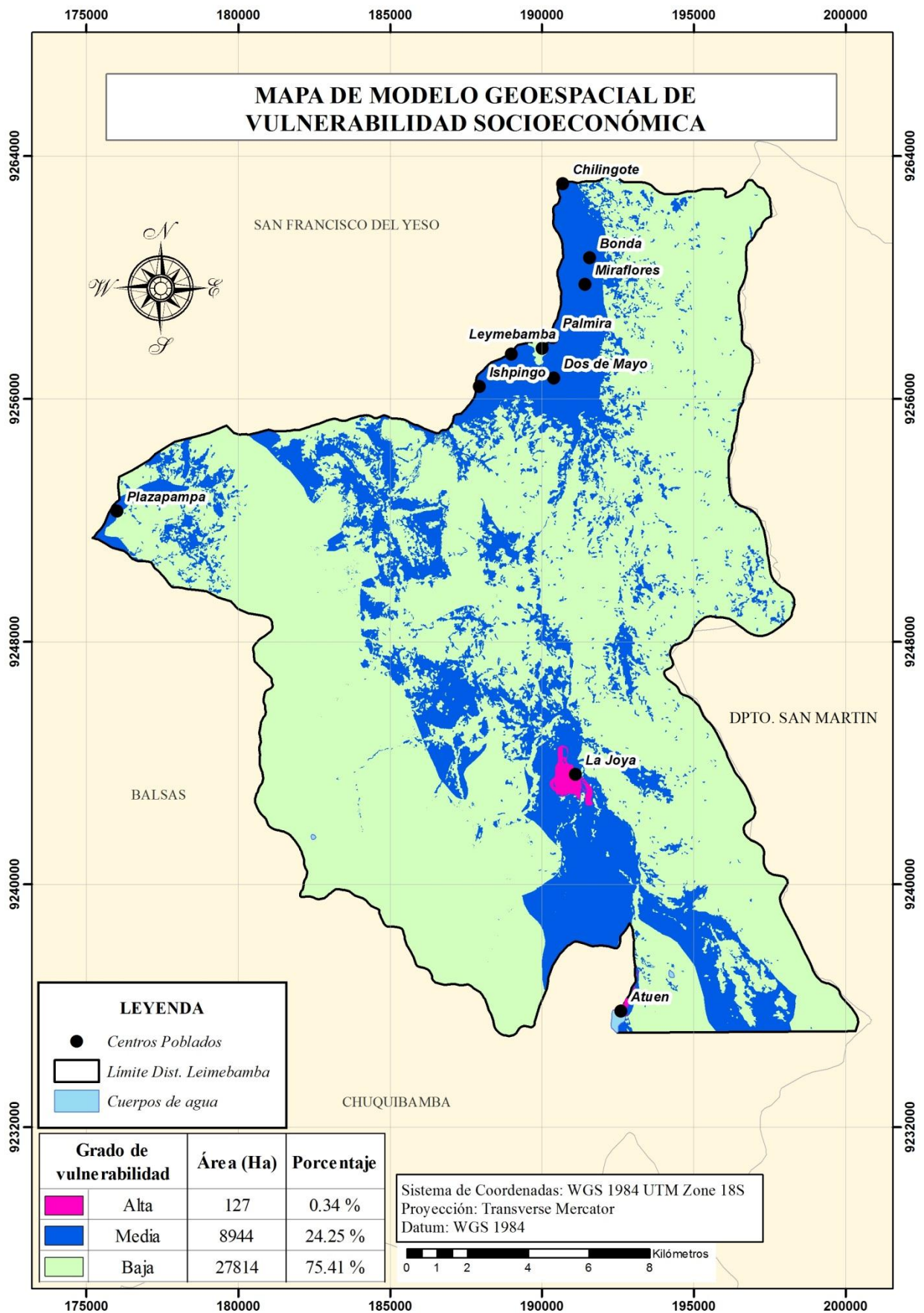


Figura 33: Mapa de submodelo geoespacial de vulnerabilidad socioeconómica

4.5. ANÁLISIS DEL GRADO DE VULNERABILIDAD FÍSICA - SOCIOECONÓMICA

Tras los análisis individuales de los ámbitos físico y socioeconómico, el modelo integrado obedeció a la suma promedio de ambos modelos de vulnerabilidad como se muestra en la siguiente fórmula:

$$MVSE = (MVF + MVSE)/2$$

Donde:

MVF Modelo de Vulnerabilidad Física

MVSE Modelo de Vulnerabilidad Socio-Económica

La aplicación de esta integración promedio de ambos modelos se realizó siguiendo la línea metodológica de integración de modelos de análisis desarrollado por Durán Gil (2012) en estudios similares para analizar la vulnerabilidad socio-ambiental en los municipios de Colombia por modelamiento espacial. Así, se le asigna igual grado de importancia a los factores físicos como socioeconómicos en la vulnerabilidad existente en el territorio de Leimebamba.

El modelo tiene un nivel de fiabilidad de 75.86 (+/- 11.01) % (0.05 nivel de significancia) con lo cual los resultados para el distrito Leimebamba fueron estratificados en cinco niveles de vulnerabilidad resultando en mayor proporción zonas de grado bajo abarcando 22967 Ha; en segundo lugar 9743 Ha caracterizados como de incidencia media; 2042 Ha en grado alto; 2080 Ha de grado estable y únicamente 53 Ha en categoría muy alta. Analizando los resultados se identificaron los siguientes patrones:

- Se ha determinado predominantemente un grado medio de vulnerabilidad física – socioeconómica en la región norte del distrito donde, si bien se categorizaron zonas con susceptibilidad media y alta para el ámbito físico, ha sido el factor socio económico quien permite fortalecer las zonas en respuesta y recuperación de situaciones de riesgo. Resalta entonces que la cercanía en la ubicación de los

centros poblados y alrededor de la capital permite una mayor interacción positiva entre las características de cada uno con la población aledaña.

- En sentido opuesto, en la región sur se presenta un patrón de vulnerabilidad media a alta llegando incluso a la categoría muy alta para las zonas de influencia de los CP considerados. Dichas condiciones obedecen a la interacción entre terrenos susceptibles a riesgos físicos y una sociedad que no cuenta con las herramientas adecuadas (tales como vías de acceso en buen estado, redes de telecomunicaciones, infraestructura de salud bien implementados, entre otros) para prevenir, responder y recuperarse de situaciones de riesgo.
- En cuanto a las zonas identificadas con susceptibilidad baja, si bien integran regiones de vulnerabilidad física media (regiones boscosas en el centro y al este; y regiones altas de pajonales al oeste), en ellas no viene desarrollándose intrusión antrópica que sobre exija el terreno o que exponga a los ciudadanos a situaciones de riesgo.

Cuadro 43: Grado de vulnerabilidad física y socioeconómica del distrito Leimebamba

Vulnerabilidad	Área (Ha)	Porcentaje de área
Estable	2080	5.64%
Baja	22967	62.24%
Media	9743	26.40%
Alta	2042	5.53%
Muy Alta	53	0.14%

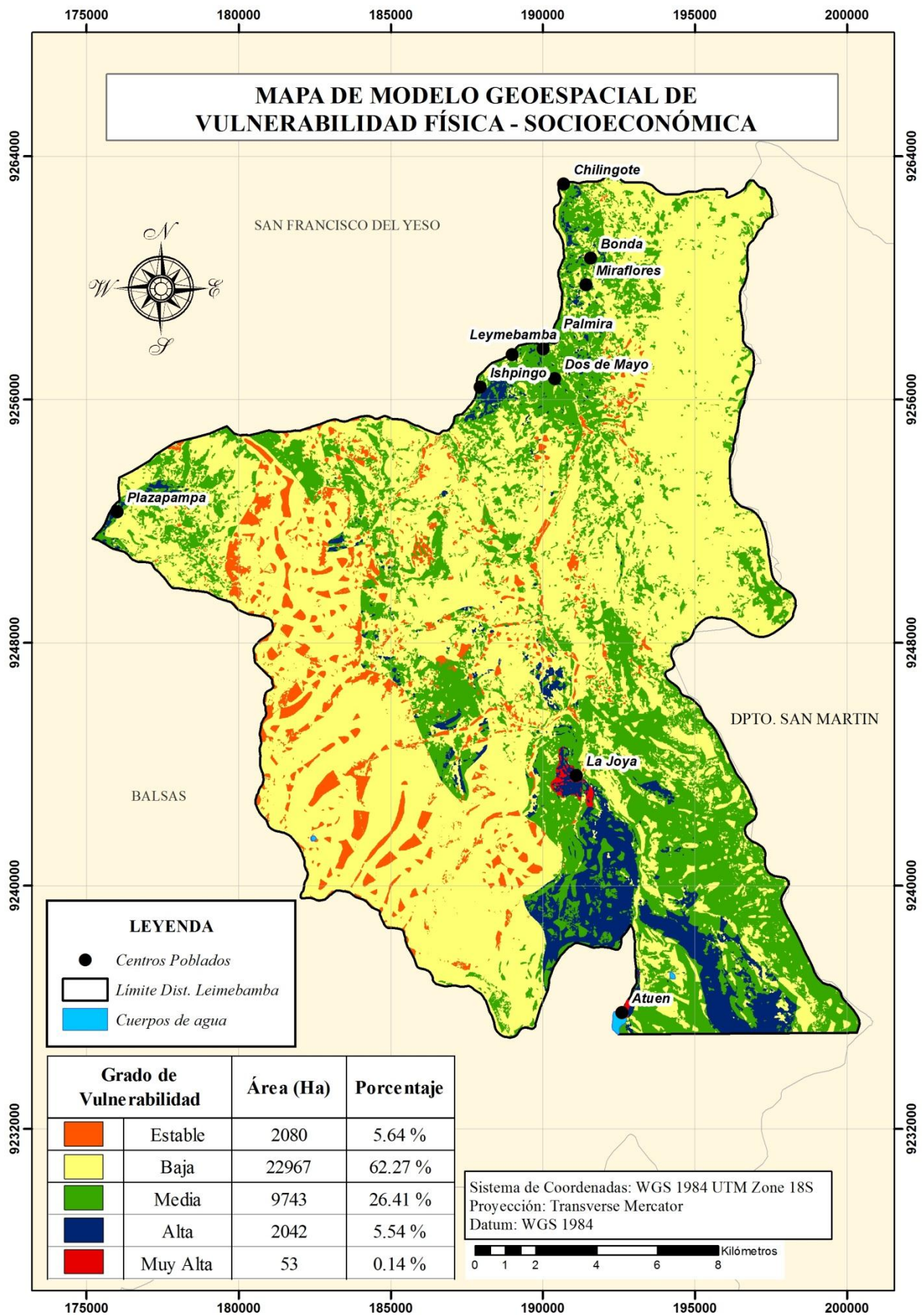


Figura 34: Mapa de modelo geoespacial de vulnerabilidad física-socioeconómica

V. CONCLUSIONES

El modelamiento geoespacial mediante una plataforma de Sistemas de Información Geográfica (SIG) permitió identificar los grados de vulnerabilidad física y socioeconómica del distrito Leimebamba categorizando el territorio en los siguientes grados y sus respectivos porcentajes de área de un total de 36899.79 Ha: territorio estable (5.64%), baja vulnerabilidad (62.24%), de grado medio (26.40%), alto (5.53%) y muy alto (0.14%). Se identificaron 2080 Ha de territorio estable y 22967 Ha catalogados como de nivel bajo de vulnerabilidad. Se incluyen aquí regiones de bosque primario y herbazales en cabecera de cuenca, que, si bien en la actualidad no se encuentran ampliamente utilizadas, la presencia de actividad antrópica podría incidir fácilmente en su degradación erosiva. Se identificó 9743 Ha como de grado medio de vulnerabilidad incluyendo los centros poblados Leimebamba, Dos de Mayo, Palmira, Parajillo – Aumuch y Chilingote; 2042 Ha del distrito de incidencia alta como en las zonas aledañas a los CP Ishpingo, Bonda y Miraflores; y únicamente 53 Ha definidos como de muy alta vulnerabilidad física socioeconómica en las zonas circundantes a los CP La Joya y Atué.

Se diseñó y construyó la base de datos geoespacial en la cual se almacenaron los factores físicos y socioeconómicos involucrados en el análisis de vulnerabilidad; los submodelos de análisis para los aspectos físico, conflicto de uso de la tierra, actividades económicas, características de las unidades sociales e infraestructura; así como los modelos globales de integración. Se incluyeron además las relaciones existentes entre las entidades mencionadas. De esta forma se logró organizar la información primaria y secundaria mediante una estructura dinámica, que permite consultas y admite actualización de información como es la base de datos geoespacial.

Se determinó que el 22.93% (8460 Ha) del territorio se encuentra en sobreutilización debido principalmente por el avance de actividades agrícolas / ganaderas sobre tierras de capacidad de uso de menor exigencia. Se identificaron 28034 Ha en situación conforme de uso, lo que representa 75.98% del distrito dirigida principalmente al pastoreo en zona de

herbazales.; mientras que únicamente 405 Ha fueron catalogados en sub-uso, esto representa el 1.10% del territorio.

Se identificaron patrones de vulnerabilidad física en los grados muy alto (para un 1.10%), alto (con 51.98% del territorio), medio (en 46.65%) y bajo (únicamente en 0.23%) mediante la ejecución del modelo geoespacial correspondiente evaluando la predisposición a la afectación negativa por eventos de riesgo y desembocar en desastres ya sea de deslizamientos, de erosión o de flujo de tierras, barro y detritos. Así 19180 Ha son altamente vulnerables en el ámbito físico distribuidos en la zona de influencia del CP Plazapampa, en las zonas ribereñas, incluyendo el eje vial Leimebamba – Atuén; al noreste, donde se ubican los CP Leimebamba, Palmira, Ishpingo y Parajillo – Aumuch; y en la región sureña. Luego, 17214 Ha fueron catalogados de vulnerabilidad media en las cercanías a los CP Chilingote, Bonda, Miraflores y Dos de Mayo

Se identificaron por modelamiento geoespacial los siguientes grados de vulnerabilidad socioeconómica y sus respectivos porcentajes de área: zonas de alta vulnerabilidad (0.34%), de media susceptibilidad (24.24%) y baja vulnerabilidad (75.38%) teniendo como criterio general la capacidad de prevención, respuesta y recuperación que la sociedad tendría frente a eventos de riesgo. Las regiones de alta susceptibilidad, 127 Ha, incluyen los CP La Joya y Atuén; las de media susceptibilidad reúnen 8944 Ha en gran medida influenciadas por el sobre uso incluyendo los CP norteños de, Palmira, Ishpingo, Parajillo – Aumuch, Chilingote, Bonda, Miraflores y Dos de Mayo; mientras que corresponde al grado bajo de vulnerabilidad el centro poblado Leimebamba, como capital del distrito.

Se concluye que los bajos niveles de organización social frente a escenarios riesgosos multiplican el grado de vulnerabilidad, principalmente en la zona sur de Leimebamba.

VI. RECOMENDACIONES

En base a la información generada en este proyecto, en las zonas de alta y muy alta vulnerabilidad se recomienda realizar acciones conservacionistas como reforestación, zanjas de infiltración, surcos de contorno, sistemas silvo-pastoriles, trabajos de planificación y uso de la tierra a nivel rural mediante asesoramiento técnico (cultivos en contorno en laderas), señalización de las zonas vulnerables a deslizamientos, derrumbes o caídas (principalmente en los alrededores a los centros poblados y circundantes a la red vial). Considerar establecer mecanismos de monitoreo que permitan generar un sistema de alerta temprana; mejoras del sistema de telecomunicaciones priorizando los CP La Joya y Atuén.

Con la información generada en la investigación, propiciar los planes de gestión del riesgo de desastres en el distrito Leimebamba.

Considerando la información climática como una de las variables fundamentales en la determinación de la vulnerabilidad de las zonas, se recomienda fortalecer y ampliar las estaciones hidrométricas y pluviométricas para permitir mayor densidad de datos temporal y espacialmente.

Teniendo en cuenta la base de datos geoespacial de la presente investigación, implementar y ampliar un sistema gestor de base de datos para el municipio a fin de que pueda actualizarse periódicamente los estudios, la información temática se encuentre integrada – en especial para los factores sociales, y permita así la actualización de los planes de gestión de riesgos en base a evaluación de resultados.

Con la finalidad de impulsar la ejecución de obras en las zonas críticas se recomienda desarrollar estudios a detalle de las interacciones físicas y sociales que conlleven a la valoración de alternativas de protección o control.

Para trasladar los valores de calificación y factores de ponderación aplicados a las distintas variables en el análisis de vulnerabilidad, se recomienda aplicarlos en ámbitos de estudio de características similares al del presente estudio y además se realicen los ajustes según las singularidades de cada uno.

Las bondades del sistema de información geográfica son de suma importancia por la capacidad de integración holística que permite un análisis general, por ello se recomienda su aplicación como tecnología de avanzada en la realización de planes y proyectos que busquen ser sostenibles.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso Sarría, F. 2006. Sistemas de Información Geográfica. (en línea). España, Universidad de Murcia. Consultado 01 oct. 2015. Disponible en <http://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/temariohtml.html>

AMA (Agencia de Medio Ambiente, CU). 2014. Metodologías para la determinación de riesgos de desastres a nivel territorial. Eds. J Serrano Méndez; I Pedroso Herrera; O Pérez López; S Chang Fentes; R Pérez Aragón; E Fonseca Arcalla ; A Santiago Errasti. s.l., PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo). v. 1, 114 p.

Baltodano Fuentes, A. 2012. Sistematización de estudios de vulnerabilidad al cambio climático en El Salvador.

Bense, T. 2007 Tutorial: Introducción a la percepción remota. (en línea). Consultado 05 ene. 2015. Disponible en <http://www.teledet.com.uy/tutorial-imagenes-satelitales/imagenes-satelitales-tutorial.htm>

Brenes, C. 2015? Sistemas de información geográfica. (en línea). San Salvador, SV, SERIO-PREPAC. 2 p. Consultado 28 ene. 2015. Disponible en <http://www.oirsa.org/aplicaciones/subidoarchivos/BibliotecaVirtual/sistemasinfgeog.pdf>

CELADE (Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía, CL). 2002. Vulnerabilidad social y sociodemográfica: aproximaciones conceptuales, teóricas y empíricas. . (en línea) In Vulnerabilidad sociodemográfica: viejos y nuevos riesgos para comunidades, hogares y personas. Brasilia, BR. p. 3-21. Consultado 27 ene. 2015. Disponible en http://www.cepal.org/publicaciones/xml/4/10264/LCR2086_I.pdf

CESEL Ingenieros. 2013. Uso actual de la tierra. In R Salgado Montoya ; T Almedia eds. Estudio de impacto ambiental de la línea de transmisión en 220 kV S.E. Oroya Nueva - S.E. Pachachaca. Abancay, PE.

Chávarri Velarde, EA. 2013. Análisis de consistencia de datos meteorológicos e hidrométricos. In Curso: Hidrología aplicada. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina-Facultad de Ingeniería Agrícola. Cap. 4. p. 1-8

Child, C. 2004. Interpolating surfaces in ArcGIS Spatial Analyst. (en línea). ESRI (Environmental Systems Research Institute,US). Consultado 13 ene. 2016. Disponible en <http://www.esri.com/news/arcuser/0704/files/interpolating.pdf>

Chuvieco, E. 2010. Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio. Barcelona, ES, Ariel. 591 p.

COEN (Centro de Operaciones de Emergencia Nacional, PE). 2016. Huayco afecta distrito de Leimebamba - Amazonas: Informe de emergencia N° 018 - 15/01/2016/COEN-INDECI/15:00 Horas. (en línea). INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil,PE). 5 p. Consultado 15 ene. 2016. Disponible en <http://www.indeci.gob.pe/objetos/alerta/MTgyMA==/20160115181735.pdf>

Costa, DC. 2007. Introducción al diseño de bases de datos. . (en línea) In Bases de datos. Barcelona, ES, Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya. v. 10, Cap. 4. p. 60. Consultado 01 oct. 2015. Disponible en http://ocw.uoc.edu/computer-science-technology-and-multimedia/bases-de-datos/bases-de-datos/P06_M2109_02150.pdf

Date, CJ. 2001. Introducción a los sistemas de bases de datos. Trad. S Ruiz ; S Kourchenko. 7 ed. México, Pearson Educación. 936 p. p. 1-438.

Dirección General del Observatorio Ambiental, SV. 2012. Metodología para el análisis de la vulnerabilidad. El Salvador.

Durán Gil, CA. 2012. Modelamiento espacial de vulnerabilidad socioambiental en los municipios de Colombia. Revista de la Información Básica Estadística (2): 43-53.

ESRI (Environmental Systems Research Institute, US). 2012 (Biblioteca de ArcGIS para profesionales). (en línea). Consultado 01 oct. 2015. Disponible en <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/00r900000092000000/>

Feres, JC; Mancero, X. 2001. El método de las necesidades básicas insatisfechas (NBI) y sus aplicaciones en América Latina. Santiago de Chile, CEPAL. 53 p. (Serie Estudios Estadísticos y Prospectivos).

Florenzano, TG. 2011. Iniciação em sensoriamento remoto. Oficina de Textos.

García, E; Llellish, M. 2012. Cartografiado de bofedales usando imágenes de satélite Landsat en una cuenca altoandina del Perú. Revista de Teledetección 38: 92-108.

García Ruiz, LA; Otálvaro Arango, DM. 2009. Diseño de un modelo de datos geográfico que soporte la gestión en organizaciones ambientales. Especialista en Medio Ambiente y Geoinformática. Medellín, CO, Universidad de Antioquía. 105 p. Disponible en <http://hdl.handle.net/10495/57>

Gaspari, F; Rodriguez Vagaría, A; Delgado, M; Senisterra, G; Denegri, G. 2011. Vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas serranas mediante SIG. MULTEQUINA (20): 3-13.

González Hidalgo, JC; Peña Monné, JL; Luis Arrillaga, Md. 2005. Los eventos extremos de precipitación, la variabilidad del clima y la erosión del suelo: reflexiones ante el cambio del clima en los sistemas mediterráneos. Cuaternario y geomorfología: Revista de la Sociedad Española de Geomorfología y Asociación Española para el Estudio del Cuaternario 19(1): 49-62.

IGN (Instituto Geográfico Nacional, ES). 2016. Teledetección. (en línea) Madrid, ES. Consultado 8 ene. 2016. Disponible en <http://www.ign.es/ign/layoutIn/teledeteccionQueEs.do>

INADE (Instituto Nacional de Desarrollo, PE); Gobierno Regional Amazonas, PE. 2006. Macrozonificación ecológica económica de la región Amazonas. v. 1, 776 p.

INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil, PE). 2014. Compendio Estadístico del INDECI 2013 en la preparación, respuesta y rehabilitación ante emergencias y desastres. Lima, PE. p. 198-201.

INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil, P. 2006. Manual básico para la estimación del riesgo. Lima, PE.

INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil, P. 2007. Compendio estadístico de prevención y atención de desastres 2006. Lima, PE. p. 567-570.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, PE). 2015. Mapa de pobreza provincial y distrital 2013. Lima, PE.

Lavell, A. 2001. Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición. (en línea). Scripta Nova-Revista. Consultado 07 ago. 2015. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/riesgo-apuntes.pdf>

Lozano Cortijo, O. 2008. Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, del as edificaciones en centros urbanos. 1° ed. Perú, PREDES. 30 p.

Marbán Gallego, V. 2013. La encuesta estadística. (en línea). Consultado 06 ene. 2016. Disponible en http://www3.uah.es/vicente_marban/ASIGNATURAS/SOCIOLOGIA%20ECONOMICA/TEMA%205/tema%205.pdf

Maskrey, A. 1998. La aplicación de los SIG al análisis de riesgos. (en línea) In A Maskrey ed. Navegando entre brumas: La aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgo en América Latina. Lima, PE, LA RED. p. 4-12. Consultado 28 Ene. 2015. Disponible en http://www.desenredando.org/public/libros/1998/neb/neb_todo_nov-09-2002.pdf

Maytín, C; Rodríguez, G. 2009. Conflictos de uso de la tierra en las subcuencas altas de los ríos Ure y Negro, Municipio Piar del Estado Bolívas, República Bolivariana de Venezuela. Terra Nueva Etapa 25(38): 89-109.

Meaden, GJ; Kapetsky, JM. 1992. Los sistemas de información geográfica y la telepercepción en la pesca continental y la acuicultura. Roma, IT, Food & Agriculture Org. v. 318,

Meneses, P; Almedia, T; Santa Rosa, A; Sano, E; Souza, E; Baptista, G; Brites, R. 2012. Principios do sensoriamento remoto. (en línea) In Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília, BR, Universidade de Brasília–CNPq. v. 11,

Cap. 1. p. 1-31. Consultado 06 ene. 2016. Disponible en <http://cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>

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 p. Consultado 28 Dic. 2015. Disponible en <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/handle/minam/537>

Morales Xique, A. 2001. Base de Datos Geografica para el Soporte de Toma de Decisiones en la Zona del Volcan Popocatepetl. Lic. en Ingeniería en Sistemas Computacionales. MX, Universidad de las Américas Puebla. 126 p. Disponible en http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/morales_x_a/portada.html

Narváez, L; Lavell, A; Pérez Ortega, G. 2009. La gestión del riesgo de desastres: un enfoque basado en procesos. Lima, PE, PREDECAN (Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina).

Ochoa Janampa, JM. 2014. Modelamiento geoespacial para la determinación del grado de vulnerabilidad - cuenca hidrográfica Jequetepeque. Ing. Agrícola. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 195 p.

Olaya, V. 2014. Sistemas de información geográfica. (en línea). 854 p. Consultado 09 ene. 2016. Disponible en <http://volaya.github.io/libro-sig/>

Paulini Palacios, AM. 2005. Evaluación de disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del río Quiroz. Tesis Ing. Civil. PE, Universidad de Piura. 168 p. Disponible en http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1176/ICI_137.pdf?sequence=1

Pérez de Armiño, K. 2000. Vulnerabilidad. (en línea) In Diccionario de acción humanitaria y cooperación al desarrollo. Barcelona, ES, Instituto de Estudios sobre Desarrollo y Cooperación Internacional. Disponible en <http://www.dicc.hegoa.ehu.es/listar/mostrar/228>

Ponzoni, FJ; Shimabukuro, YE; Kuplich, TM. 2015. Sensoriamento remoto da vegetação. Oficina de Textos.

Proyecto Especial Huallaga Central y Bajo Mayo. 1983. Estudio de evaluación de recursos naturales y plan de protección ambiental. Consultado 29 Dic. 2005. Disponible en http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/proteccion_ambiental_I/parteVIII.pdf

Radilla López, F. 2008. Modelado de datos para base de datos espaciales. Caso de estudio: sistemas de información geográfica. Mgs. Sc. Ingeniería eléctrica. México, D.F., Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. 134 p. Disponible en <http://www.cs.cinvestav.mx/Estudiantes/TesisGraduados/2008/tesisFlorRadilla.pdf>

Ramos, MJ; Ramos, A; Montero, F. 2006. Sistemas gestores de bases de datos. In Grado superior. España, McGraw-Hill. p. 7-92

RIMISP (Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural, SV). s.f. Informe final: vulnerabilidad socioeconómica ante el cambio climático en El Salvador. Consultado 21 Ene. 2015. Disponible en http://www.rimisp.org/wp-content/files_mf/136631627343173583.pdf

Rojas Lazo, O. 1999. Sistemas de información geográfica. (en línea). Industrial Data. 2(2): 65-68. Consultado 28 ene. 2015. Disponible en http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v02_n2/sistemas.htm

Salgado Montoya, R. 2005. Análisis integral del riesgo a deslizamientos e inundaciones en la microcuenca del río Gila, Copán, Honduras. Mag. Sc. en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 172 p.

Sánchez Espinosa, JA. 2013. La zonificación ecológica en el marco del proceso de ordenamiento territorial en Colombia. (en línea) Lima, PE, BioCAN.(diapositivas). 88 diapositivas. (Serie Taller Regional de Capacitación sobre “Zonificación y Planeamiento Territorial” para integrar la biodiversidad en el ordenamiento territorial). Consultado 07 ene. 2016. Disponible en <http://biocan.comunidadandina.org/biocan/images/documentos/OT/Taller-lima/Presentaciones%20dia%202%20PDF/Zonificaci%C3%B2n%20Ecologica.%20Jorge%20Sanchez.pdf>

Sánchez, J. 2004. Diseño conceptual de bases de datos: guía de aprendizaje. (en línea). Consultado 01 oct. 2015. Disponible en <http://www.jorgesanchez.net/bd/disenioBD.pdf>

Sausen, TM; Lacruz, MSP. 2015. Sensoriamento remoto para desastres. Oficina de Textos.

Servicio Geológico Colombiano. 2015. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá, Imprenta Nacional de Colombia. 182 p. (Serie Colección Guías y Manuales).

SINAGERD (Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, PE) 2014. Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2014-2021. Lima. 63 p.

SUBDERE (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, CL). 2011. Guía de análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial. 1° ed. 147 p. Consultado 21 ene. 2015. Disponible en http://www.cepal.org/dmaah/noticias/paginas/6/44966/guia_gestion_riesgos_naturales.pdf

UNISDR (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas, CH). 2009. Terminología sobre reducción del riesgo de desastres. Trad. UNISDR, Panamá. Consultado 25 ene. 2015. Disponible en http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

Universidad de Fasta. Departamento de Informática, AR. 2012. Diseño de bases de datos. (en línea) Buenos Aires.(diapositivas). 16 diapositivas. (Serie Módulo de curso: PC05 - MS Access 2010). Consultado 01 oct. 2015. Disponible en <http://www.ufasta.edu.ar/wp-content/uploads/04-Dise%C3%B1o-de-bases-de-datos.pdf>

USGS (United States Geological Survey). 2013 Frequently asked questions about the Landsat Missions. (en línea). Consultado 13 ene. 2016. Disponible en http://landsat.usgs.gov/L8_band_combos.php

White, D; Minang, P. 2011. Uso la tierra suelo y cambio en el uso de la tierra. In Estimación de los Costos de Oportunidad de REDD+ Manual de capacitación. Washington. Cap. 4. p. 3-22

Yébenes Gómez, Á; Giner Sotos, Á. 2014. Clasificación digital de imágenes por satélite: Sistemas de teledia. (en línea). Consultado 11 ene. 2016. Disponible en <http://mural.uv.es/gislo/teledia.pdf>

Anexo 2: Diccionario de datos de la base de datos socioeconómica

Nombre del objeto: CENTRO POBLADO		Fuente:	MINEDU		
Definición: Información sobre la ubicación de los centros poblados					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
SÍMBOLO	Texto corto	2		Siglas que representan el nombre de Centro poblado al que pertenece	No
NOMBRE	Texto corto	20		Nombre de Centro poblado al que pertenece	No
NORTE	Entero Largo	4		Coordenada UTM Norte	No
ESTE	Entero Largo	4		Coordenada UTM Este	No
COTA	Entero Largo	4		Cota del centro poblado	No

Nombre del objeto: CENTROS DE SALUD		Fuente:	MINEDU / Actualización		
Definición: Información sobre la ubicación de los centros de salud					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
TIPO	Texto corto	15		Categoría del centro de salud	Sí
CP	Texto corto	2		Siglas que representan el nombre de Centro poblado al que pertenece	No
NORTE	Entero Largo	4		Coordenada UTM Norte	No
ESTE	Entero Largo	4		Coordenada UTM Este	No

Nombre del objeto: CENTROS EDUCATIVOS		Fuente:	MINEDU / Actualización		
Definición: Información sobre la ubicación de los centros educativos					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo

GRADO	Texto corto	15		Grado de instrucción brindada por el centro educativo	Sí
CP	Texto corto	2		Siglas que representan el nombre de Centro poblado al que pertenece	No
NORTE	Entero Largo	4		Coordenada UTM Norte	No
ESTE	Entero Largo	4		Coordenada UTM Este	No

Nombre del objeto: OPINIÓN		Fuente:	Elaboración propia		
Definición: Información sobre la opinión sobre los servicios públicos, valoración cualitativa estratificada en tres niveles de conformidad: Bueno / Regular / Malo					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
PUNTOId	Entero Largo	4		Identificador de cada punto de levantamiento de información: domicilios	No
SALUD	Texto corto	1		Valoración cualitativa del servicio según estratificación	Sí
EDUC	Texto corto	1		Valoración cualitativa del servicio según estratificación	Sí
SEGUR	Texto corto	1		Valoración cualitativa del servicio según estratificación	Sí
NO_HAB	Si/No	1		Identificación de viviendas deshabitadas para completar total del universo encuestado	No

Nombre del objeto: NECESIDAD DE OBRA		Fuente:	Elaboración propia		
Definición: Información sobre opinión de priorización en necesidad de obra propuesta por opinión del poblador					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
PUNTOId	Entero Largo	4		Identificador de cada punto de levantamiento de información: domicilios	No
AGUA	Si/No	1		Información sobre perspectiva de necesidad de obra en infraestructura hidráulica	No
DESAGÜE	Si/No	1		Información sobre perspectiva de necesidad de obra en infraestructura de desagüe	No
INF_LIMP	Si/No	1		Información sobre perspectiva de necesidad de obra en el aspecto infraestructura de limpieza pública	No
INF_ELECT	Si/No	1		Información sobre perspectiva de necesidad de obra en el aspecto infraestructura eléctrica	No

INF_SALUD	Si/No	1		Información sobre perspectiva de necesidad de obra en el aspecto infraestructura de salud	No
INF_EDUC	Si/No	1		Información sobre perspectiva de necesidad de obra en el aspecto infraestructura educativa	No
INF_VIAL	Si/No	1		Información sobre perspectiva de necesidad de obra en el aspecto infraestructura vial	No
RECREAC	Si/No	1		Información sobre perspectiva de necesidad de obra en el aspecto recreación	No
INF_COM	Si/No	1		Información sobre perspectiva de necesidad de obra en el aspecto infraestructura para el comercio	No
NO_NEC	Si/No	1		Información sobre la perspectiva de no necesidad de obras	No

NO_HABT	Si/No	1		Identificación de viviendas deshabitadas para completar total del universo encuestado	No
---------	-------	---	--	---	----

Nombre del objeto: POBLADORES		Fuente:	Elaboración propia		
Definición: Información demográfica sobre los centros poblados más representativos de la realidad del distrito					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
POBId	Entero Largo	4		Identificador del poblador encuestado	No
PUNTO	Entero Largo	4		Identificador de la vivienda	No
CP	Texto corto	2		Siglas que representan el nombre de Centro poblado al que pertenece	No
SEXO	Texto corto	2		Información sobre sexo del poblador	No
EDAD	Simple	4		Edad del poblador encuestado	No
GRAD_INST	Texto corto	2		Siglas del grado de instrucción alcanzado por el poblador al momento de la encuesta	No
OCUP	Texto corto	2		Siglas de la ocupación del poblador	No
IDIOMA	Texto corto	10		Idioma de mayor habla del poblador	Sí

DISCAPACIDAD	Si/No	1		Información sobre la presencia o no de discapacidad física/mental en el poblador	No
SEGURO	Texto corto	3		Siglas que identifican el tipo de seguro del poblador	Sí

Nombre del objeto: PROGRAMA SOCIAL		Fuente:		Elaboración propia	
Definición: Información sobre el acceso y beneficio de programas sociales del estado por los pobladores					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
POBIId	Entero Largo	4		Identificador del poblador encuestado	No
JUNTOS	Si/No	1		Información sobre acceso o no al programa social mencionado	No
PENSIÓN65	Si/No	1		Información sobre acceso o no al programa social mencionado	No
VASO_LECHE	Si/No	1		Información sobre acceso o no al programa social mencionado	No
QALI_WARMA	Si/No	1		Información sobre acceso o no al programa social mencionado	No
CUNA MAS	Si/No	1		Información sobre acceso o no al programa social mencionado	No

BECA 18	Si/No	1		Información sobre acceso o no al programa social mencionado	No
NT	Si/No	1		Información sobre personas que no accede a ningún programa social	No

Nombre del objeto: PUNTOS DE INFORMACIÓN		Fuente:		Elaboración propia	
Definición: Información sobre ubicación de los puntos de levantamiento de información socioeconómica: domicilios					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
PUNTOId	Entero Largo	4		Identificador de cada punto de levantamiento de información	No
CP	Texto corto	2		Síglas que representan el nombre de Centro poblado al que pertenece	No
NORTE	Doble	8		Coordenada UTM Norte	No
ESTE	Doble	8		Coordenada UTM Este	No
COTA	Doble	8		Cota del centro poblado	No


Nombre del objeto: SERVICIOS		Fuente:		Elaboración propia	
Definición: Información sobre acceso o no a los servicios públicos					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
PUNTOId	Entero Largo	4		Identificador de cada punto de levantamiento de información: domicilios	No


AGUA	Si/No	1		Acceso o Carencia del servicio agua potable	No
DESAGÜE	Si/No	1		Acceso o Carencia del servicio de desague	No
LUZ	Si/No	1		Acceso o Carencia del servicio de alumbrado	No
TELF_FIJO	Si/No	1		Acceso o Carencia a la telefonía fija	No
CEL	Si/No	1		Acceso o Carencia del servicio telefonía celular	No
CABLE	Si/No	1		Acceso o Carencia del servicio de cable	No
INTERNET	Si/No	1		Acceso o Carencia del servicio de internet	No
NO_HABT	Si/No	1		Identificación de viviendas deshabitadas para completar total del universo encuestado	No

Nombre del objeto: VIVIENDA		Fuente:		Elaboración propia	
Definición: Información sobre características de las viviendas observadas					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
PUNTOId	Entero Largo	4		Identificador de cada punto de levantamiento de información: domicilios	No


VIV_COND	Texto Corto	3		Siglas de información sobre la condición de propiedad de la vivienda	Sí
VIV_PARED	Texto Corto	3		Siglas de información sobre el tipo de material de las paredes	No
TARRAJEO	Si/No	1		Paredes tarrajeadas o no	No
VIV_Techo	Texto Corto	3		Siglas de información sobre el tipo de material de las paredes	Sí


Anexo 3: Diccionario de datos de la base de datos geoespacial integrada

Grupo de Objetos: Temático Socioeconómico					
Nombre del objeto: CENTROS_DE_SALUD		Escala:	1:150000	Tipo:	Puntos
		Fuente:	MINEDU / Actualización	Representación gráfica:	
Definición: Ubicación de los centros de salud del distrito					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
TIPO	String	15		Tipo de centro de salud	Sí
CP	String	2		Nombre de Centro poblado al que pertenece	Sí
NORTE	Integer	4		Coordenada UTM Norte	Sí
ESTE	Integer	4		Coordenada UTM Este	Sí


Grupo de Objetos: Temático Socioeconómico					
Nombre del objeto: CENTROS_EDUCATIVO S		Escala:	1:150000	Tipo:	Puntos
		Fuente:	MINEDU / Actualización	Representación gráfica:	
Definición: Ubicación de los centros educativos del distrito y sus categorías					


Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
GRADO	String	15		Grado de instrucción dictado	Sí
CP	String	2		Nombre de Centro poblado al que pertenece	Sí
NORTE	Integer	4		Coordenada UTM Norte	Sí
ESTE	Integer	4		Coordenada UTM Este	Sí

Grupo de Objetos: Temático Socioeconómico					
Nombre del objeto: CUM		Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono
		Fuente:	INADE	Representación gráfica:	
Definición: Información temática sobre capacidad de uso mayor de los suelos					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
CUM_SIMB	String	10		Símbolo de la unidad de Uso mayor del suelo	Sí


Grupo de Objetos: Temático Socioeconómico					
Nombre del objeto: FRENTESECONOMICO S		Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono
		Fuente:	INADE	Representación gráfica:	
Definición					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
DESCRIBE_	String	55		Descripción de los frentes económicos como unidades cartográficas identificadas	Sí
VALUE_FE	Double	8		Valoración de la unidad según su incidencia en la vulnerabilidad	Sí

Grupo de Objetos: Temático Socioeconómico


Nombre del objeto: INFRAESTRUCTURA	Escala:	1:150000	Tipo:	Punto	
	Fuente:	Elaboración Propia	Representación gráfica:		
Definición: Información temática de la infraestructura presente en cada zona de influencia antrópica en el distrito					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
CP	String	2		Nombre del CP descrito	Sí
ZONA	String	2		Zona de influencia antrópica	Sí
SALUD	Single	4		Calificación de situación de infraestructura en salud	Sí
EDU	Single	4		Calificación de situación de infraestructura en educación	Sí
INF_SANIT	Double	8		Calificación de situación de infraestructura sanitaria	Sí
INF_ELECTRICA	Double	8		Calificación de situación de infraestructura eléctrica	Sí
INF_TEL	Double	8		Calificación de situación de infraestructura en telecomunicación	Sí
RED_VIAL	Double	8		Calificación de situación de la red vial	Sí


Grupo de Objetos: Temático Socioeconómico					
Nombre del objeto: NBI	Escala:	1:150000	Tipo:	Puntos	
	Fuente:	Elaboración Propia	Representación gráfica:		
Definición: Información temática sobre la situación de las necesidades básicas insatisfechas					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo


CP	String	2		Nombre del CP descrito	Sí
ZONA	String	2		Zona de influencia antrópica	Sí
VIV	Double	8		Situación de calidad de vivienda	Sí
EDU	Double	8		Situación de acceso a educación	Sí
SS	Double	8		Situación cualitativa de los servicios sanitarios	Sí
C_ECO	Double	8		Situación cualitativa de capacidad económica	Sí

Grupo de Objetos: Temático Socioeconómico					
Nombre del objeto: PROG_SOC		Escala:	1:150000	Tipo:	Puntos
		Fuente:	Elaboración Propia	Representación gráfica:	
Definición: Información temática sobre la situación de acceso a programas sociales					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
CP	String	2		Nombre del CP descrito	Sí
ZONA	String	2		Zona de influencia antrópica	Sí
JUN	Double	8		Situación de acceso al programa Juntos	Sí
VL	Double	8		Situación de acceso al programa Vaso de Leche	Sí
P65	Double	8		Situación de acceso al programa Pensión 65	Sí


QW	Double	8		Situación de acceso al programa QaliWarma	Sí
NP	Double	8		Situación de no acceso a programas sociales	Sí


Grupo de Objetos: Temático Socioeconómico					
Nombre del objeto: USO_ACTUAL		Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono
		Fuente:	INADE	Representación gráfica:	
Definición: Información temática sobre el uso actual del territorio en el distrito					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
SIMB_UA	String	10		Símbolo de uso actual del territorio	Sí
VALUE_UA	Double	8		Valoración de la unidad según su incidencia en la vulnerabilidad	Sí

Grupo de Objetos: Temático Físico					
Nombre del objeto: COB_VEG		Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono
		Fuente:	INADE	Representación gráfica:	
Definición					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
SIMB_CV	String	10		Símbolo de cobertura vegetal	Sí
VALUE_CV	Double	8		Valoración de la unidad según su incidencia en la vulnerabilidad	Sí


Grupo de Objetos: Temático Físico					
Nombre del objeto: FISIOGRAFÍA		Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono
		Fuente:	INADE	Representación gráfica:	
Definición: Información temática sobre las unidades fisiográficas identificadas					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo


SUE_SIMB	String	10		Símbolo de unidad de suelo interactuante	Sí
PEND	String	5		Símbolo de unidad de pendiente promedio interactuante	Sí
SIMB_FISIO	String	20		Símbolo de unidad fisiográfica	Sí
GRAN_PAISA	String	50		Gran paisaje identificado	Sí
PAISAJE	String	100		Paisaje identificado	Sí
SUB_PAISAJ	String	100		Sub paisaje identificado	Sí
ELEM_PAISA	String	120		Elemento característico del paisaje identificado	Sí

Grupo de Objetos: Temático Físico					
Nombre del objeto: GEOLOGÍA		Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono
		Fuente:	INADE	Representación gráfica:	
Definición: Información temática de las unidades geológicas identificadas					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
SIMB_GEOL	String	10		Símbolo de unidad cartográfica de geología	
DESCRIP	String	60		Descripción	
VALUE_GEO L	Double	8		Valoración de la unidad según su incidencia en la vulnerabilidad	


Grupo de Objetos: Temático Físico					
Nombre del objeto: GEOMORFOLOGÍA		Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono
		Fuente:	INADE	Representación gráfica:	
Definición: Información temática sobre las unidades geomorfológicas identificadas					


Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
SIMB_GMF	String	20		Símbolo de unidad geomorfológica	Sí
TIPO_PSJE	String	100		Tipo de paisaje identificado	Sí
ORIGEN	String	50		Origen de la unidad geomorfológica identificada	Sí
UNIDAD_GMF	String	100		Unidad Geomorfológica	Sí
CRACK_PRIN	String	200		Característica principal de la unidad cartográfica	Sí

Grupo de Objetos: Temático Físico					
Nombre del objeto: PENDIENTE		Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono
		Fuente:	Elaboración Propia	Representación gráfica:	
Definición: Información temática sobre los valores de pendiente del terreno identificadas					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
SIMB_PEND	String	1		Símbolo de unidad cartográfica en función del grado de pendiente	Sí
VALUE_PEND	Double	8		Valoración de la unidad según su incidencia en la vulnerabilidad	Sí


Grupo de Objetos: Temático Físico					
Nombre del objeto: PRECIPITACIÓN		Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono
		Fuente:	SENAMHI	Representación gráfica:	
Definición: Información temática sobre las precipitaciones máximas mensuales identificadas por interpolación para el territorio del distrito					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo

SIMB_PREC	String	1		Símbolo de unidad cartográfica en función del grado de precipitación	Sí
DESC_PREC	String	20		Descripción de las unidades identificadas	Sí
VALUE_PRE S	Double	8		Valoración de la unidad según su incidencia en la vulnerabilidad	Sí


Grupo de Objetos: Temático Físico					
Nombre del objeto: SUELOS		Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono
		Fuente:	INADE	Representación gráfica:	
Definición					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
UNID_SUELO	String	20		Unidad cartográfica de suelo identificada	Sí
SIMB_SUE	String	20		Símbolo de la unidad cartográfica	Sí
PENDIENTE	String	6		Símbolo de pendiente promedio característica	Sí
VALUE_SUE L	Double	8		Valoración de la unidad según su incidencia en la vulnerabilidad	Sí


Grupo de Objetos: Submodelos					
Nombre del objeto: SUB_ACT_ECON		Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono
		Fuente:	Elaboración propia	Representación gráfica:	
Definición: Información temática integrada de la valoración de los grados de incidencia de variables económicas en la vulnerabilidad del territorio					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo

DESCRIBE_	String	55		Descripción de los frentes económicos como unidades cartográficas identificadas	Sí
SIMB_UA	String	10		Símbolo de uso actual del territorio	Sí
SAE_ID	Small Integer	2		Código de unidad cartográfica del Submodelo	Sí
VUL_AE	String	10		Grado de vulnerabilidad según el aspecto analizado	Sí


Grupo de Objetos: Submodelos					
Nombre del objeto: SUB_CONF_USO		Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono
		Fuente:	Elaboración propia	Representación gráfica:	
Definición					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
CUM_SIMB	String	10		Símbolo de la unidad de Uso mayor del suelo	Sí
SIMB_UA	String	10		Símbolo de uso actual del territorio	Sí
SITUAC	String	10		Situación de conflicto de uso entre la capacidad y el actual	Sí
VUL_CU	String	10		Grado de vulnerabilidad según el aspecto analizado	Sí
SCU_ID	Small Integer	2		Código de unidad cartográfica del Submodelo	Sí


Grupo de Objetos: Submodelos					
Nombre del objeto:		Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono

SUB_FÍSICO		Fuente:	Elaboración propia	Representación gráfica:	
Definición					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
SIMB_CV	String	10		Símbolo de cobertura vegetal	Sí
SIMB_FISIO	String	20		Símbolo de unidad fisiográfica	Sí
SIMB_GEOL	String	10		Símbolo de unidad cartográfica de geología	
SIMB_GMF	String	20		Símbolo de unidad geomorfológica	Sí
SIMB_PEND	String	1		Símbolo de unidad cartográfica en función del grado de pendiente	Sí
SIMB_SUE	String	20		Símbolo de la unidad cartográfica	Sí
SIMB_PREC	String	1		Símbolo de unidad cartográfica en función del grado de precipitación	Sí
VAL_SUB_FIS	Double	8		Valoración ponderativa de la incidencia en la vulnerabilidad analizada	Sí
VUL_FIS	String	10		Grado de vulnerabilidad según el aspecto analizado	Sí

Grupo de Objetos: Submodelos				
Nombre del objeto: SUB_INFR	Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono
	Fuente:	Elaboración propia	Representación gráfica:	
Definición				


Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
SIMB_ANT	String	2		Símbolo de la zona de influencia antrópica	Sí
VAL_SUB_INFR	Double	4		Valoración ponderativa de la incidencia en la vulnerabilidad analizada	Sí
SUB_INF	String	10		Grado de vulnerabilidad según el aspecto analizado	Sí

Grupo de Objetos: Submodelos					
Nombre del objeto: SUB_UND_SOC		Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono
		Fuente:	Elaboración propia	Representación gráfica:	
Definición					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
SIMB_ANT	String	2		Símbolo de la zona de influencia antrópica	Sí
SUB_US	String	10		Grado de vulnerabilidad según el aspecto analizado	Sí


Grupo de Objetos: Modelos de Vulnerabilidad					
Nombre del objeto: VULN_F_SE		Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono
		Fuente:	Elaboración propia	Representación gráfica:	
Definición					
Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
SIMB_ANT	String	2		Símbolo de la zona de influencia antrópica	Sí

CUM_SIMB	String	10		Símbolo de la unidad de Uso mayor del suelo	Sí
SIMB_UA	String	10		Símbolo de uso actual del territorio	Sí
SITUAC	String	10		Situación de conflicto de uso entre la capacidad y el actual	Sí
SCU_ID	Small Integer	2		Código de unidad cartográfica del Submodelo	Sí
DESCRIBE_	String	55		Descripción de los frentes económicos como unidades cartográficas identificadas	Sí
SAE_ID	Small Integer	2		Código de unidad cartográfica del Submodelo	Sí
VAL_MODE_SE	Double	8		Valoración ponderativa de la incidencia en la vulnerabilidad analizada	Sí
VUL_SE	String	10		Grado de vulnerabilidad según el aspecto analizado	Sí
MVSE_ID	Small Integer	2		Código de unidad cartográfica del modelo	Sí
SIMB_CV	String	10		Símbolo de cobertura vegetal	Sí
SIMB_FISIO	String	20		Símbolo de unidad fisiográfica	Sí
SIMB_GEOL	String	10		Símbolo de unidad cartográfica de geología	

SIMB_GMF	String	20		Símbolo de unidad geomorfológica	Sí
SIMB_PEND	String	1		Símbolo de unidad cartográfica en función del grado de pendiente	Sí
SIMB_SUE	String	20		Símbolo de la unidad cartográfica	Sí
SIMB_PREC	String	1		Símbolo de unidad cartográfica en función del grado de precipitación	Sí
VAL_SUB_FIS	Double	8		Valoración ponderativa de la incidencia en la vulnerabilidad analizada	Sí
VUL_FIS	String	10		Grado de vulnerabilidad según el aspecto analizado	Sí
MVF_ID	Small Integer	2		Código de unidad cartográfica del modelo	Sí
VAL_MFSE	Double	8		Valoración ponderativa de la incidencia en la vulnerabilidad física y socioeconómica	Sí
VUL_FSE	String	10		Grado de vulnerabilidad física y socioeconómica	Sí

Grupo de Objetos: Modelos de Vulnerabilidad				
Nombre del objeto: VULN_FISICA	Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono
	Fuente:	Elaboración propia	Representación gráfica:	
Definición				

Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/nulo
SIMB_CV	String	10		Símbolo de cobertura vegetal	Sí
SIMB_FISIO	String	20		Símbolo de unidad fisiográfica	Sí
SIMB_GEOL	String	10		Símbolo de unidad cartográfica de geología	
SIMB_GMF	String	20		Símbolo de unidad geomorfológica	Sí
SIMB_PEND	String	1		Símbolo de unidad cartográfica en función del grado de pendiente	Sí
SIMB_SUE	String	20		Símbolo de la unidad cartográfica	Sí
SIMB_PREC	String	1		Símbolo de unidad cartográfica en función del grado de precipitación	Sí
VAL_SUB_FIS	Double	8		Valoración ponderativa de la incidencia en la vulnerabilidad analizada	Sí
VUL_FIS	String	10		Grado de vulnerabilidad según el aspecto analizado	Sí
MVF_ID	Small Integer	2		Código de unidad cartográfica del modelo	Sí

Grupo de Objetos: Modelos de Vulnerabilidad				
Nombre del objeto: VULN_SOCECO	Escala:	1:150000	Tipo:	Polígono
	Fuente:	Elaboración propia	Representación gráfica:	
Definición				

Atributos	Tipo	Longitud	Comportamiento	Descripción	Único/ nulo
SIMB_ANT	String	2		Símbolo de la zona de influencia antrópica	Sí
CUM_SIMB	String	10		Símbolo de la unidad de Uso mayor del suelo	Sí
SIMB_UA	String	10		Símbolo de uso actual del territorio	Sí
SITUAC	String	10		Situación de conflicto de uso entre la capacidad y el actual	Sí
SCU_ID	Small Integer	2		Código de unidad cartográfica del Submodelo	Sí
DESCRIBE_	String	55		Descripción de los frentes económicos como unidades cartográficas identificadas	Sí
SAE_ID	Small Integer	2		Código de unidad cartográfica del Submodelo	Sí
VAL_MODE_SE	Double	8		Valoración ponderativa de la incidencia en la vulnerabilidad analizada	Sí
VUL_SE	String	10		Grado de vulnerabilidad según el aspecto analizado	Sí
MVSE_ID	Small Integer	2		Código de unidad cartográfica del modelo	Sí