

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Forestal



**“MODELAMIENTO GEOESPACIAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS
CRÍTICAS VULNERABLES A PELIGROS MÚLTIPLES, DISTRITO DE HUABAL
- JAEN - CAJAMARCA”**

TESIS

PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR:

JOAN ENRIQUE PARDO PINEDO

ASESOR

DR. WILFREDO POMA ROJAS

Jaén – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Fundada por Ley N° 14015 del 13 de febrero de 1,962

"Norte de la Universidad Peruana"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

FILIAL JAÉN

Bolívar N° 1342 - Plaza de Armas - Telfs. 431907 - 431080

JAÉN - PERÚ



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Jaén, a los **veintiún** días del mes de **octubre** del año dos mil veintidós, se reunieron en el **Ambiente de la Sala de Docentes de Ingeniería Forestal-Filial Jaén**, los miembros del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N°175-2022-FCA-UNC, de fecha 14 de junio del 2022, con el objetivo de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulada: "**MODELAMIENTO GEOESPACIAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS VULNERABLES A PELIGROS MÚLTIPLES, DISTRITO DE HUABAL, JAÉN - CAJAMARCA**", ejecutado por el Bachiller en Ciencias Forestales, **Don JOAN ENRIQUE PARDO PINEDO**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las **doce** horas y **cero** minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y, luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **MAYORÍA** con el calificativo de **catorce (14)**; por tanto, el Bachiller queda expedito para que inicie los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

A las **trece** horas y **veinte** minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Jaén, 21 de octubre de 2022.

Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo
SECRETARIO

Ing. M. Sc. Francisco Fernando Aguirre de los Ríos
VOCAL

Dr. Wilfredo Poma Rojas
ASESOR

DEDICATORIA

Dedico esta tesis principalmente a mis padres, quienes me apoyaron incondicionalmente en todo momento. A todas las personas que me apoyaron y han hecho que el presente trabajo se realice con éxito, en especial a aquellos que tuvieron la paciencia de escuchar y compartir sus conocimientos.

AGRADECIMIENTO

A mis asesores: Dr. Wilfredo Poma Rojas y el Ing. Dennis Alvarino Cieza Tarrillo, por su dedicación, tiempo y experiencia brindada para poder llevar a cabo y culminar el presente trabajo de investigación. A todas aquellas personas que de alguna u otra manera me apoyaron desinteresadamente para poder culminar con este estudio.

ÍNDICE

	Pág.
CAPÍTULO I	12
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO II	14
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. Antecedentes de la investigación	14
2.2. Bases teóricas	15
2.1.1. Marco normativo	15
2.1.2. Caídas y deslizamientos	16
2.1.3. Flujos y erosión de laderas	17
2.1.4. Movimientos complejos	17
2.1.5. Erosión fluvial e inundaciones y reptaciones	17
2.2. Definición de términos básicos	17
2.2.1. Movimientos de masa.....	17
2.2.2. Análisis de vulnerabilidad	18
2.2.3. Desastre	19
2.2.4. Gestión de riesgo de desastre.....	20
2.2.5. Deslizamientos	20
2.2.6. Flujo.....	21
2.2.7. Erosión de laderas.....	22
2.2.8. Riesgo	22
2.2.9. Bases de Datos.....	22
2.2.10. Sistema gestor de base de datos.....	23
2.2.11. Análisis espacial	23

2.2.12. Sistemas de Información Geográfica.....	24
2.2.13. Componentes de los sistemas de información geográfica.....	24
2.2.14. Interpolación.....	26
2.2.15. Evaluación multicriterio.....	27
2.2.16. SIG en movimientos de masa.....	28
2.2.17. Factores condicionantes y detonantes para los movimientos en masa.....	28
CAPÍTULO III.....	32
MARCO METODOLÓGICO.....	32
3.1. Ubicación.....	32
3.2. Metodología.....	34
3.2.1. Fase de gabinete.....	34
3.2.2. Fase de campo.....	56
3.2.3. Fase final de gabinete.....	56
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	57
4.1. Modelamiento geoespacial de Movimientos de Masa.....	57
4.1.1. Mapa de pendientes.....	57
4.1.2. Mapa de geomorfología.....	60
4.1.3. Mapa de precipitación.....	62
4.1.4. Mapa de Cobertura Vegetal.....	64
4.1.5. Mapa de Geología.....	67
4.1.6. Modelo de Movimientos en Masa.....	70
CAPÍTULO IV.....	80
CONCLUSIONES.....	80
RECOMENDACIONES.....	81
CAPÍTULO V.....	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

ANEXO O APÉNDICE.....	88
------------------------------	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información recolectada	34
Tabla 2. Clasificación de pendientes	36
Tabla 3. Valores de precipitación (mm) en estaciones	37
Tabla 4. Características de la imagen obtenida	39
Tabla 5. Clasificación de unidades de cobertura vegetal con la Metodología Corine Land Cover	41
Tabla 6. Valoración para el modelo de Movimientos de Masa	47
Tabla 7. Valoración Pendientes Modelo de Movimientos en Masa	48
Tabla 8. Valoración Geología Modelo Movimientos en Masa	50
Tabla 9. Valoración Precipitación Modelo de Movimientos de Masa	51
Tabla 10. Valoración Cobertura vegetal Modelo de Movimientos de Masa	52
Tabla 11. Valoración Geomorfología Modelo de Movimientos de Masa	53
Tabla 12. Ponderación de variables del Modelo de Movimientos de Masa	55
Tabla 13. Resultados del mapa de pendientes	58
Tabla 14. Resultados del mapa de Geomorfología	60
Tabla 15. Resultados del mapa de precipitación	62
Tabla 16. Resultados del mapa de Cobertura Vegetal	64
Tabla 17. Resultados del mapa de Geología	67
Tabla 18. Resultados del Modelo de Movimientos de Masa	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del distrito de Huabal.....	33
Figura 2. Modelo conceptual para el Modelo de Movimientos en Masa	45
Figura 3. Base de datos para el Modelo de Movimientos de Masa.....	46
Figura 4. Modelo geoespacial para la identificación de zonas vulnerables a Movimientos de Masa	56
Figura 5. Mapa de Pendientes del distrito de Huabal.....	59
Figura 6. Mapa de Geomorfología del distrito de Huabal.....	61
Figura 7. Mapa de Precipitación del distrito de Huabal.....	63
Figura 8. Mapa de Cobertura Vegetal del distrito de Huabal.....	66
Figura 9. Mapa de Geología del distrito de Huabal	69
Figura 10. Mapa de Movimientos de Masa.....	72
Figura 11. Porcentaje de vulnerabilidad a Movimientos de Masa	73
Figura 12. Verificación de consistencia en el centro poblado de San Francisco de Asis.....	75
Figura 13. Verificación de consistencia en el centro poblado La esperanza.....	77
Figura 14. Verificación de consistencia en el centro poblado de San Cristobal	77
Figura 15. Verificación de consistencia en el centro poblado de San Miguel de Chinchique	79
Figura 16. Descarga de datos de precipitación del archivo raster (PISCO).....	88
Figura 17. Precipitación diaria acumulada estación Jaén.....	88
Figura 18. Validación de los datos obtenidos en la estación Jaén Vs PISCO.....	89
Figura 19. Verificación en campo de la consistencia del mapa	89
Figura 20. Verificación de la cobertura vegetal	90

Figura 21. Mapa de valoración Pendientes	91
Figura 22. Mapa de valoración Geomorfología	92
Figura 23. Mapa de valoración de Precipitación	93
Figura 24. Mapa de valoración de cobertura vegetal	94
Figura 25. Mapa de valoración Geología	95
Figura 26. Mapa de estaciones Meteorológicas	96

RESUMEN

La evaluación de peligros naturales y el análisis de vulnerabilidad forman parte de la Gestión de Riesgo, como una herramienta para adoptar medidas que permitan reducir los efectos de un desastre. Actualmente, el modelamiento geoespacial con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) es un método integral para la identificación de peligros naturales y para el análisis espacial de la susceptibilidad a estos.

El presente trabajo se desarrolló mediante tres fases; fase de gabinete que consistió en la recopilación y generalización de la información junto con el Modelo de Movimientos de Masa, fase de campo se realizó la identificación y validación del mapa obtenido, en la fase final de gabinete se corroboró la coincidencia de las zonas vulnerables con el mapa.

Los resultados obtenidos de la integración de las variables permitieron identificar el grado de vulnerabilidad clasificándolo en 3 niveles (Alto, Medio y Bajo), obteniendo que el 57.55 % del distrito de Huabal presenta una vulnerabilidad a Movimientos de Masa Alto, por otro lado, el 41.23 % presenta una vulnerabilidad Media a Movimientos de Masa, el 1.22 % presenta una vulnerabilidad Baja a Movimientos de Masa

Palabras clave: Vulnerabilidad, Modelamiento geoespacial, Movimientos de Masa, Sistemas de Información Geográfica, Modelamiento Geoespacial.

ABSTRACT

The assessment of natural hazards and the analysis of vulnerability are part of Risk Management, as a tool to adopt measures to reduce the effects of a disaster. Currently, geospatial modeling with Geographic Information Systems (GIS) is a comprehensive method for the identification of natural hazards and for the spatial analysis of their susceptibility.

The present work was developed through three phases; Cabinet phase that consisted of the compilation and generalization of the information together with the Model of Mass Movements, field phase the identification and validation of the map obtained was carried out, in the final phase of the cabinet the coincidence of the vulnerable areas with the map.

The results obtained from the integration of the variables allowed identifying the degree of vulnerability classifying it into 3 levels (High, Medium and Low), obtaining that 57.55 % of the Huabal district presents a vulnerability to High Mass Movements, on the other hand, the 41.23% present a Medium vulnerability to Mass Movements, 1.22 % present a Low vulnerability to Mass Movements

Keywords: Vulnerability, Geospatial Modeling, Mass Movements, Geographic Information Systems, Geospatial Modeling.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El Perú, por su ubicación geográfica y principalmente a la presencia de la Cordillera de los Andes, presenta características geológicas, tectónicas, topográficas, meteorológicas y oceanográficas, que desencadenan fenómenos naturales de gran magnitud que facilitan el desarrollo de movimientos en masa (Choudhary et al., 2018 p. 2-3). El movimiento en masa más grande suscitado en la historia del Perú ocurrió en el siglo diecinueve, año 1970, en el valle del río Santa, ocasionando daños considerables a infraestructuras y generando la pérdida de 18,000 vidas (Vilchez, 2013 p. 1).

Según los estudios de movimientos en masa realizados por el MINAM (2015 p. 33) atribuyen como resultado que la región de Piura, ante la probabilidad de movimiento en masa, más de 2,025 centros poblados afectados por deslizamientos y 531,712 viviendas quedarían afectados por la ocurrencia de dicho fenómeno, en cuanto a infraestructura de salud y Educación, 193 centros de salud afectados por deslizamientos y 1153 instituciones educativas serían afectados por ubicarse en zonas susceptibles a deslizamientos. Así mismo, 1, 400,000 habitantes se encuentran expuestos a la ocurrencia de movimientos en masa (MINAM, 2015 p. 29).

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

En base a lo expuesto, ésta investigación tiene como objetivo general “Identificar zonas susceptibles a la ocurrencia de vulnerabilidad física; mediante el análisis y modelamiento geoespacial en una plataforma SIG, en el ámbito del distrito de Huabal”; mismo que fue logrado gracias a los objetivos específicos planteados los cuales fueron “Establecer una base de datos geoespacial del distrito de Huabal; orientada al análisis de movimientos en masa” y “Generar el modelo geoespacial para determinar el nivel de peligros a movimientos en masa, en el distrito de Huabal”.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la investigación

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

En los años 80 antes de la disponibilidad informática, los análisis de riesgos se realizaban utilizando técnicas analógicas, como la superposición manual de mapas. Esa técnica fue utilizada durante muchos años para elaborar mapas de peligros naturales; por ejemplo, para identificar terrenos apropiados para la construcción, en zonas que no sean propensas a inundaciones. La superponían de mapas de manera manual fue utilizada en 1982 para producir el Plan de Protección Sísmica de Lima Metropolitana, cruzando los mapas de vulnerabilidad física de las construcciones, con información sobre la vulnerabilidad social y económica (Rivas, 2019 p. 40).

Modelamiento Geoespacial Para La Determinación Del Grado De Vulnerabilidad Distrito Leimebamba – Amazonas, realizado mediante una plataforma de Sistemas de Información Geográfica (SIG) la misma que 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 Atuén (Flores, 2016 p. 136).

2.2.Bases teóricas

2.1.1.Marco normativo

- Ley N° 29332 y modificatorias, Ley que crea el Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal.
- Decreto Supremo N° 400-2015-EF, aprueban los procedimientos para el cumplimiento de metas y la asignación de los recursos del Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal del año 2016.
- Ley N° 29664 y su Reglamento aprobado con Decreto Supremo N° 048-2011-PCM, mediante su Artículo 1° crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) como sistema interinstitucional, sinérgico, descentralizado, transversal y

participativo, asimismo, define la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) como un proceso social cuyo fin último es la prevención, la reducción y el control permanente de los factores de riesgo de desastre en la sociedad, así como la adecuada preparación y respuesta ante situaciones de desastre. Resalta que la GRD está basada en la investigación científica y de registro de informaciones, estos últimos aspectos son de gran relevancia en las actuales Evaluaciones de Riesgo.

- Resolución Ministerial N° 088-2012-PCM de fecha 13 de abril de 2012 se aprobó los “Lineamientos Técnicos Generales para implementación del Proceso de Estimación de Riesgos de Desastres en el Marco de la Ley N° 29664 y su Reglamento”.
- Decreto Supremo N° 111-2012-PCM que incorpora la Política Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres como Política Nacional de obligatorio cumplimiento.
- Resolución Ministerial N° 334-2012-PCM de fecha 28 de diciembre de 2009 que aprueba los “Lineamientos Técnicos del Proceso de Estimación del Riesgo de Desastres”.
-

2.1.2. Caídas y deslizamientos

El desprendimiento de rocas y colapso (derrumbes) tanto en rocas como el suelo y deslizamientos (rotacionales y traslacionales) son fenómenos naturales comunes en laderas naturales, cortes de carreteras, etc. en la que la deforestación tiene una influencia directa ocasionando gran número de deslizamientos y colapsos que algunos de ellos han sido inventariados como procesos antiguos, que en muchos casos han originado cierres de valles principales o tributarios; generalmente las caídas y deslizamientos representan el mayor número de procesos cartografiados en movimientos de masa (Zabala & Rosado, 2011 p. 106).

2.1.3. Flujos y erosión de laderas

Es común en muchos sectores de la región, principalmente en formaciones rocosas de fácil susceptibilidad a la erosión pluvial (rocas del batolito andino en el sector occidental, secuencias volcánicas tobáceas en el sector central, capas rojas sedimentarias distribuidas en el lado oriental) (Proyecto multinacional andino: geociencias para las comunidades andinas, 2007 p. 13).

2.1.4. Movimientos complejos

Agrupar las ocurrencias combinadas de deslizamientos y flujos, derrumbes y flujos, deslizamiento y reptación u otro movimiento en masa de carácter complejo (Proyecto multinacional andino: geociencias para las comunidades andinas, 2007 p.16).

2.1.5. Erosión fluvial e inundaciones y reptaciones

La erosión fluvial generalmente se genera en los valles principales y tributarios mayores. Las inundaciones se encuentran generalmente asociadas a las avenidas estacionales de los ríos de la vertiente pacífica, así como algunos sectores de los ríos afluentes al Marañón (Proyecto multinacional andino: geociencias para las comunidades andinas, 2007 p.23).

2.2. Definición de términos básicos

2.2.1. Movimientos de masa

Son procesos geológicos que involucran desplazamiento o remoción de masas rocosas (fracturadas y/o meteorizadas), depósitos inconsolidados, o ambos, por efecto de la gravedad (Sato, 2012 p. 49).

Como parte de los procesos a los que está expuesta la corteza terrestre por la continua acción de variables como temperatura, vientos, precipitaciones, etc. el relieve formado por el plegamiento tectónico siendo permanentemente desgastado por los agentes climáticos lo cual crea las condiciones para los movimientos en masa. Se ha considerado un conjunto de eventos de geodinámica externa, como los derrumbes, deslizamientos, hundimientos, erosión, reptación, volcamientos, caída de rocas, flujos de detritos, flujos de lodo, aluviones, avalanchas. El término “movimientos en masa” es equivalente y viene a sustituir a “procesos de remoción en masa”. Los movimientos en masa pueden ser de desarrollo lento o rápido, y pueden referirse al movimiento de pequeñas, medianas o grandes porciones de roca y suelo desencadenados por la acción directa del agua (Sato, 2012, p. 49).

2.2.2. Análisis de vulnerabilidad

Abarca diferentes dimensiones que se vinculan a las características de un territorio expuesto a determinada amenaza. Si bien existen múltiples amenazas como son social, física, económica, social, ambiental, institucional, cultural, política, entre otras que se vinculan entre sí (Renda et al., 2017 p. 18).

2.2.2.1. Vulnerabilidad física

Hace referencia a la localización de las ciudades que se encuentran en peligro constante y a las deficiencias en la estructura física para "absorber" los efectos de las amenazas. La vulnerabilidad física es también conocida como exposición y puede estar determinada por aspectos como la densidad de la población, la localización, el diseño y los materiales usados en una construcción. Tanto la ubicación física como las deficiencias de la infraestructura de construcción, pueden provenir en parte de las condiciones económicas y la falta de opciones

para una ubicación en zonas menos peligrosas, y por otra, debido a la gran extensión territorial que ocupan las múltiples amenazas en un territorio (Renda et al., 2017 p. 18) .

2.2.2.2. Vulnerabilidad social

Se relaciona con las formas de vida generales de una comunidad e incluye los niveles de educación, acceso a salud, equidad social, seguridad, etc. (Renda et al., 2017 p. 18).

2.2.3. Desastre

Es una afectación grave en el desarrollo de una comunidad, teniendo como consecuencias de un desastre grandes pérdidas a nivel humano, material o ambiental, siendo esto suficientes para que la comunidad afectada no pueda salir adelante por sus propios medios, necesitando apoyo externo (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIDR), 2009 p. 13).

El desastre consiste en el impacto, en las perniciosas consecuencias humanas, sociales y económicas de la crisis. La perturbación y desestructuración socioeconómicas en qué consisten los desastres, que suelen ser más graves en caso de conflicto que de catástrofe natural, pueden plasmarse en diferentes fenómenos: hundimiento de las fuentes de ingreso, hambrunas, epidemias, aumento de la mortalidad, éxodo poblacional (con el consiguiente abandono de las casas y actividades económicas, y con la fragmentación de comunidades y familias), la desestructuración de la sociedad y la alteración de sus normas éticas y sociales, etc. (Pérez de Armiño, 1999 p. 19).

2.2.4. Gestión de riesgo de desastre

Es el conjunto de decisiones administrativas, de organización y conocimientos operacionales desarrollados por sociedades y comunidades para implementar políticas y estrategias, fortaleciendo sus capacidades, con el objetivo de reducir el impacto de amenazas naturales y de desastres ambientales. Esto involucra todo tipo de actividades que se realizan con el fin de prevenir los desastres naturales esto incluye medidas estructurales, construcción de defensas ribereñas para evitar el desbordamiento de un río y no estructurales, la reglamentación de los terrenos para fines habitacionales, para evitar o limitar los efectos adversos de los desastres (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIDR), 2009 p. 19).

2.2.5. Deslizamientos

Es el movimiento de masa del suelo o rocas, cuyo desplazamiento ocurre a lo largo de una superficie o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante (Varnes, 1978 p. 27).

a. Deslizamiento Traslacional

Es un tipo de deslizamiento que generalmente ocurre en superficies con falla plana u ondulada. Por lo general estos movimientos suelen ser más superficiales que los deslizamientos rotacionales, el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden & Varnes, 1996 p. 9).

b. Deslizamiento Rotacional

Los deslizamientos rotacionales generalmente inician en las superficies con fallas cóncavas. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distinta caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contra pendiente de la superficie. La deformación interna de la masa desplazada es usualmente mínima, teniendo en cuenta que el mecanismo rotacional es bajo a excepción si hay presencia de suelos con materiales arcillosos (Cruden & Varnes, 1996 p. 10).

c. Derrumbe

Los derrumbes son un fenómeno de movimiento en masa, que consiste en el brusco movimiento de un talud o escarpe. Es un repentino desprendimiento de una porción significativa de material rocoso, también denominado depósito residual, al perder su cohesión interna ya sea por saturación (presencia de agua) o efecto de un movimiento sísmico u otro agente externo incluida la acción humana (Cabrejos, 2016).

2.2.6. Flujo

Los flujos son movimientos de tipo viscoso, los cuales involucran mezclas de agua y material suelo, los cuales se desplazan de manera lenta o rápida a lo largo de canales o depresiones naturales o artificiales generalmente angostas, provocando desastres naturales evaluados en grados de devastación. Los materiales pueden avanzar desde algunos metros hasta varios cientos de metros (Ibañez, 2008 p. 3).

2.2.7. Erosión de laderas

Por influencia de los procesos geológicos se genera la destrucción de los materiales de la corteza terrestre. La erosión implica los procesos: alteración física y/o química, fracturamiento, fisuramiento, hasta el momento de desprendimiento de los materiales sin considerar el transporte. Los agentes erosivos son el agua, el viento, el hielo, la acción del sol dilatando las rocas durante el día y contrayéndolas durante la noche la humedad, etc (Sosa, 2016 p. 13).

2.2.8. Riesgo

Es la estimación o evaluación de probables pérdidas de vidas y daños a los bienes materiales, a la propiedad y la economía, para un periodo específico y un área conocida. Se evalúa en función de la relación entre el peligro y la vulnerabilidad (INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil) 2009 p. 20).

2.2.9. Bases de Datos

Es el formato más reciente que permite almacenar datos espaciales de manera ordenada, se basa en un modelo de datos orientado a objetos. A diferencia de los formatos (shapefile y raster) basados en archivos directorios que guardan las coordenadas y los atributos en archivos separados, el geodatabase almacena estos dos tipos de información (Feature dataset y Feature Fichur Classe) en una única base de datos (Puerta et al., 2011 p. 53).

(Date 2001, pp. 9-10), la base de datos es un tipo de almacenamiento que tiene como finalidad permitir al usuario tener un acceso rápido y fácil como también permitir actualizar dicha

información. La información que se desee almacenar puede ser cualquier cosa que se considere importante para un estudio.

Una base de datos tiene origen en los datos que derivan de interacciones con eventos del mundo real y un público que esta activamente interesado en su contenido. De aquí la importancia de la creación de una base de datos geográfica en formato abierto para poder ser accesible al público que desee obtener y/o mejorar dicha información. Se define una base de datos (BDG) o también denominado Geodatabase como 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 datos atributo (Castellanos & Bustos, 2011 p. 80).

2.2.10. Sistema gestor de base de datos

Sistema gestor de bases de datos o SGBD (Data Base Management System) como el software que permite a los usuarios procesar, describir, administrar y recuperar los datos almacenados en una base de datos (Rodriguez, 2007).

2.2.11. Análisis espacial

El análisis espacial utilizando la calculadora de mapas nos permite superponer las variables consideradas para el desarrollo de un estudio. Además, está la herramienta de Model Builder que nos permite hacer la combinación de diversas capas espaciales a fin de obtener un resultado específico de acuerdo con un diseño establecido (ESRI (Environmental Systems Research Institute) 2012 p. 17) .

2.2.12. Sistemas de Información Geográfica

Los sistemas de información geográfica también son conocidos con la abreviatura SIG, siendo este un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes como usuarios, hardware, software, procesos que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procesados del mundo real que se vinculan a una referencia espacial, facilitando la incorporación de diferentes aspectos como sociales, culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz (Berry, 1987).

2.2.13. Componentes de los sistemas de información geográfica

a. Equipos

La computadora en donde se ejecutan los sistemas de información geográfica es conocida como Hardware. Actualmente los SIG se pueden ejecutar en diferentes plataformas las cuales pueden variar de servidores (computador central) a computadores desktop (escritorio) o Laptop (portátil) que se utilizan en las configuraciones de red o desconectado (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 2006 p. 9).

b. Software

Según (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 2006, p. 12), los programas de SIG proveen las funciones y las herramientas que se requieren para almacenar, analizar y desplegar información geográfica. Los componentes principales son:

- Herramientas para la entrada y manipulación de la información geográfica.

- Sistema de administración de base de datos
- Herramientas que permitan realizar búsquedas geográficas, análisis y visualización de datos.
- Interface gráfica para el usuario (GUI) para acceder fácilmente a las herramientas.
-

c. Datos

Los componentes más importantes en los SIG son los datos. Los datos geográficos y tabulares puede ser recolectados en el terreno o también adquiridos a través de descargas de datos que ya han sido trabajados anteriormente. Con la ayuda de los SIG podemos integra los datos espaciales con otros recursos de datos y puede incluso utilizar administradores de base de datos (DBMS) más comunes para organizar, mantener y manejar los datos espaciales y toda la información geográfica (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 2006 p. 16).

d. Recurso humano

La tecnología de los SIG es limitada si no se cuenta con un personal calificado con la capacidad de operar una base de datos, desarrollar nueva información (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 2006 p. 18).

e. Metodología y procedimiento

Para poder tener éxito al momento de procesar la información se debe contar con un plan de trabajo estructurado y acorde con las reglas de la empresa o institución, que son los modelos y prácticas operativas características de cada organización. (FAO, 2006 p. 20).

2.2.14. Interpolación

La interpolación se define como el proceso que permite calcular el valor de una variable en una posición del espacio (punto sin información, con un valor estimado), conociendo los valores de esa variable en otras posiciones del espacio (puntos con información medida, con valores reales).

Si contamos con un conjunto de punto distribuidos irregularmente los métodos de interpolación más utilizados son: ponderación en función inversa de la distancia (IDW), superficies de tendencia y kriging (Puerta, 2013 p. 26).

a. IDW

El método IDW combina el concepto de vecindad entre sitios con disponibilidad de datos con un cambio gradual de las superficies definidas con una tendencia. Se supone que el valor del atributo Z en una posición donde el valor del atributo no es conocido es un promedio de los valores de sus vecinos, pero donde los vecinos más cercanos tienen más peso o importancia que los más alejados (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 2003).

b. Kriging

Kriging tiene como base los métodos geo-estadísticos ya que estos se basan en la correlación que existe tanto espacialmente como temporal entre los valores de un atributo. Tradicionalmente se ha utilizado en las llamadas geo-ciencias (geofísica, hidrogeología, etc.), sin embargo, sus principios se aplican en diferentes campos científicos, facilitado interpolar la información (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 2003 p. 21).

Con la geo-estadística podemos asumir que los datos tienen una correlación cuya continuidad se puede establecer para puntos, bloques o volúmenes. Kriging utiliza un método de cálculo de una variable regional en un punto que se en cuenta al interior de un área usando un criterio de minimización en la estimación de la varianza. Para la obtención de la interpolación se resuelve un conjunto de ecuaciones con información presente en un gráfico denominado variograma y las distancias relativas entre los datos y la ubicación del punto, donde el valor interpolado es requerido (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 2003 p. 21).

c. Splines

La interpolación por spline o segmentaria, es que, en vez de usar un solo polinomio para interpolar los datos, podemos usar segmentos de polinomios y unirlos de la mejor forma posible para formar nuestro polinomio de interpolación (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 2003 p. 24).

2.2.15. Evaluación multicriterio

Según (Gomez y Barredo 2005), los distintos métodos o técnicas de EMC se diferencian básicamente en los procedimientos aritmético-estadísticos que se realizan sobre las matrices de evaluación y de prioridades, con lo cual se obtiene una evaluación final de las alternativas. Adicionalmente posee ciertas ventajas al ser comparada con las herramientas de decisión unidimensionales en la medida en que hace posible considerar un número amplio de datos, relaciones, criterios y propósitos, los cuales se presentan dentro de un problema de decisión

dado en el mundo real que se estudia según un modelo multidimensional (Toskano, 2005 p. 16).

2.2.16. SIG en movimientos de masa

La evaluación de la susceptibilidad a movimientos de masa dentro de un SIG, integra factores condicionantes de la inestabilidad de laderas, basadas en jerarquías analíticas y sumas lineales ponderadas de pesos de factores y clases.

Los SIG desarrollan un método indirecto de evaluación de la susceptibilidad a movimientos de masa, integrando factores condicionantes de la inestabilidad de laderas, el factor de cobertura vegetal es extraído a partir del análisis de imágenes de satélite multiespectrales y multitemporales, basadas en variables y sumas lineales ponderadas de factores y clases. El método permite evaluar cuantitativamente la consistencia en la ponderación, con lo que se reduce la equidad inherente a ésta, que es típica de los métodos de indexación. Dicho método es considerado especialmente útil para la evaluación de la susceptibilidad a escalas intermedias (1:25.000 y 1:50.000) en zonas donde apenas existen datos geotécnicos e hidrogeológicos, y en las que además no es factible realizar muestreos estadísticos adecuados (Hervas, 2001).

2.2.17. Factores condicionantes y detonantes para los movimientos en masa.

a. Precipitación

La precipitación es considerada como un factor importante en la detonación para los movimientos en masa ya que los suelos presentan ciertas limitaciones con respecto al drenaje

y filtración del agua. El principio radica en la permeabilidad relacionada con las intensidades y duraciones de lluvia y del régimen de los periodos lluviosos. Existe un valor crítico de lluvia que activa un deslizamiento, pero su cuantificación previa es muy difícil. Generalmente los valores por encima del promedio de lluvias son los que generan la mayoría de los problemas de morfoclimáticos (Estacio & Rodríguez, 2012, p. 74).

La proporción escorrentía-infiltración depende directamente de la intensidad de la lluvia, la pendiente, la cobertura vegetal y la permeabilidad del suelo sub superficial (Suarez, 1998 p. 237).

b. Litología

Según (Abramson et al. 2001 p. 16), desde el punto de vista litológico los materiales se clasifican de acuerdo a su génesis o formación diferenciándose dos grupos de materiales diversos que son:

Rocas Ígneas intrusivas

Las rocas Ígneas intrusivas se generan a partir del enfriamiento del Magma, antes de aflorar este a la superficie. Las rocas ígneas forman el 98% del volumen de la corteza terrestre, en la superficie son más comunes las rocas sedimentarias y en menor proporción las ígneas y metamórficas.

Rocas Volcánicas o ígneas extrusivas

A partir de la cristalización de los materiales expulsado por los volcanes se obtiene como producto las rocas volcánicas o piroclásticas que también son conocidas como rocas ígneas extrusivas.

Las propiedades de resistencia y permeabilidad de estas rocas dependen del grado de solidificación. El principal problema en este tipo de rocas es la desintegración al secarse y humedecerse.

Rocas Metamórficas

Las rocas metamórficas se forman a partir de la recristalización de rocas ígneas y sedimentarias. Las rocas ígneas son sometidas a cambios texturales y mineralógicos generando la alteración o pérdida completa de sus características. Como consecuencia de esto, las rocas metamórficas tienen propiedades muy útiles como para materiales de construcción.

Rocas Sedimentarias

Las rocas sedimentarias están compuestas por la sedimentación y cementación de materiales como arcilla, arena, grava o cantos rodados. Las rocas sedimentarias más comunes son el Conglomerado, Breccia, las Lutitas, Areniscas, Limolitas, Calizas, Dolomitas y Evaporitas.

c. Pendiente

Para (Silva 2015 p. 119), los mapas de pendientes muestran el grado de inclinación que existe en las laderas dentro de una cierta distancia y elevación.

La Pendiente se refiere al grado de inclinación de los terrenos y se define como el ángulo formado por dos lados, siendo la unidad de medición un ángulo utilizando el sistema sexagesimal (grados, minutos y segundos). Generalmente los terrenos agrícolas no superan los 45° de inclinación por razones agronómicas, de conservación y manejo de suelos (G. Alcántara, 2011 p. 8).

d. Uso actual de la tierra

El uso actual de la tierra tiene como característica principal las actividades que la población realiza para producir o mantener el tipo de cobertura de la tierra; definición que lleva a entender el vínculo directo entre la cobertura de la tierra y las acciones de la población en su ambiente (Cieza, 2017 p. 5).

e. Geomorfología

Incluye sus características geológicas, tectónicas, pendiente y forma de los coluviones (Dietrich et al., 1986 p. 364).

CAPÍTULO III

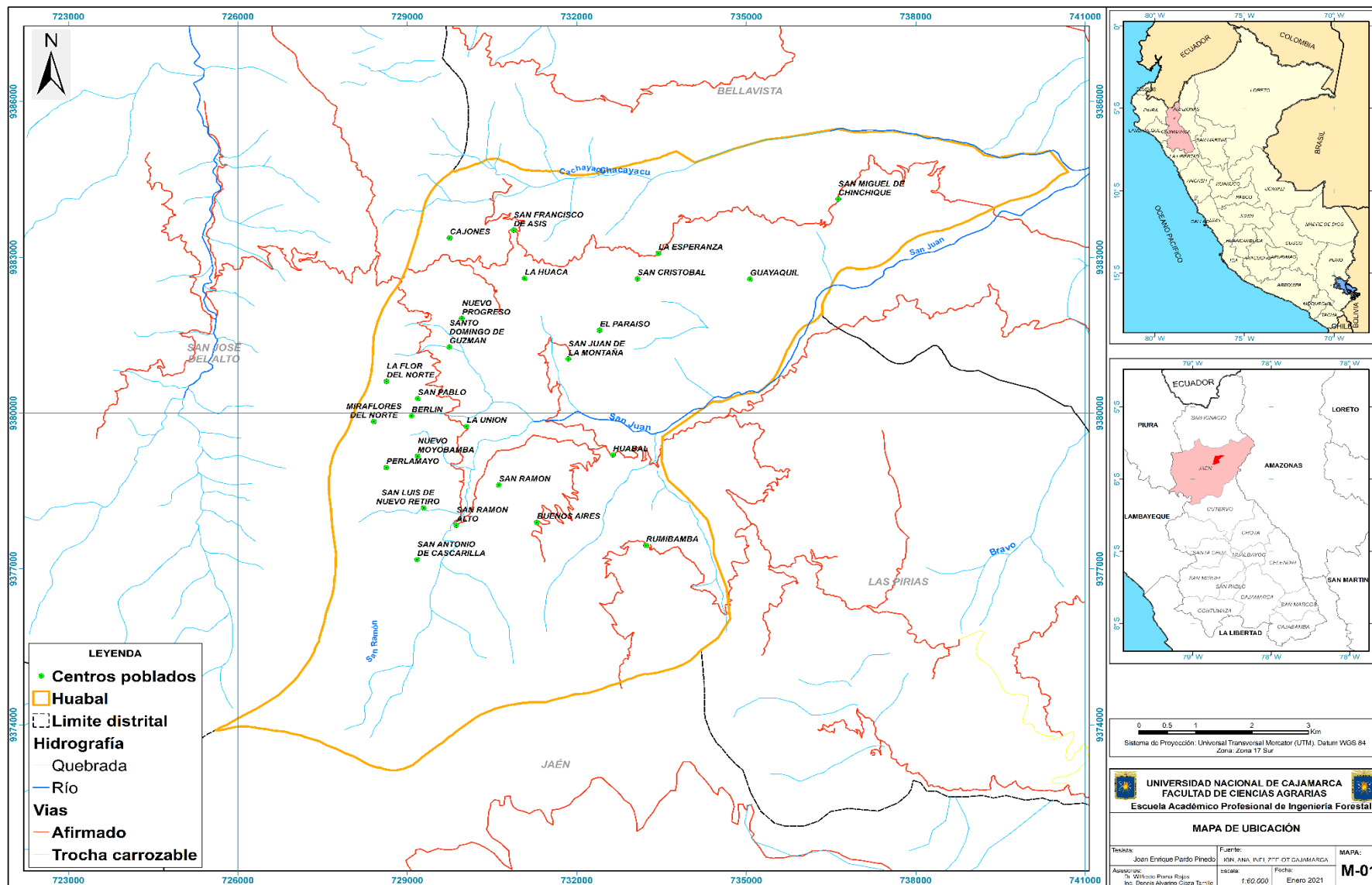
MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

El distrito de Huabal (figura 1), geográficamente se encuentra ubicado entre las coordenadas UTM 671012 y 859700 m Este y 9488543 y 9140917 m Norte, limita por el Norte con el distrito de Bellavista, por el Oeste con el distrito de San José del Alto, por el Este limita con el distrito de Bellavista y Las Pirias, por el Sur con los distritos de Chontali y Jaén, tiene una superficie de 8178.20 ha, la altitud varía entre 750 y 2550 msnm, el punto más alto se ubica en el centro poblado San Antonio de Cascarilla y el Punto más bajo en el centro poblado San Miguel de Chinichique.

Figura 1.

Ubicación del distrito de Huabal



3.2. Metodología

La metodología desarrollada en el presente estudio, se ha dividido en tres fases, las cuales se describen a continuación:

3.2.1. Fase de gabinete

Esta fase consistió en la revisión, recopilación, sistematización y consolidación de información básica (Tabla 1), especializada y temática oficial, con el objetivo de conocer sus características físicas. La obtención de la información tuvo como principal criterio, el análisis de la fiabilidad y la antigüedad de la mencionada, a fin de validar la precisión de los objetivos planteados.

De la misma manera involucró la elaboración de la metodología a seguir y el desarrollo e implementación de herramientas operativas como los sistemas de información geográfica, herramientas de teledetección, entre otras.

Como resultado de esta fase se obtuvo la siguiente información:

Tabla 1.

Información recolectada

Insumo	Escala	Fuente
Límites: Nacional, regional, provincial y nacional	1: 100 000	Presidencia de Consejos de Ministros
Red vial	1: 100 000	Ministerio de Transportes y comunicaciones
Hidrografía	1: 100 000	Autoridad Nacional del Agua

Cobertura y uso actual	1: 100 000	Zonificación	Ecológica	Económica	-
		Cajamarca			
Pendiente (DEM)	1: 100 000	Zonificación	Ecológica	Económica	-
		Cajamarca			
Geología	1: 100 000	Zonificación	Ecológica	Económica	-
		Cajamarca			
Geomorfología	1: 100 000	Zonificación	Ecológica	Económica	-
		Cajamarca			
Precipitación	0.1° * 0.1°	SENAMHI (PISCO)			

a. Consolidación y sistematización de la información

Luego de haber recopilado la información espacial y no espacial, procedentes de distintas instituciones; estas fueron consolidadas y sistematizadas en función de los requerimientos que implica el modelo a generar.

Con la finalidad de estandarizar la información, se desarrolló procedimientos para la adecuación y ajuste cartográfico entre los mapas digitales y la base de datos, con el fin de eliminar inconsistencias geométricas y tabulares de cada uno de los mapas temáticos considerados para el análisis de vulnerabilidad a movimientos de masa. Asimismo, la información temática se uniformizó a una misma escala 1: 100 000 y a un mismo Sistema de Referencia Espacial Datum WGS – 84, proyección UTM, Zona 17S.

b. Generación de información temática

En esta etapa se generaron y actualizaron los mapas temáticos

i. Pendientes

El primer paso fue descargar el DEM (Modelo Digital de Elevación) del área en estudio, el cual se descargó de la plataforma ASTER GDEM, y mediante la herramienta 3D Analyst Tools > Raster Surface > Slope, se generó el mapa de pendientes en valores de porcentaje (%) en formato raster, siendo reclasificado en 7 rangos según la Guía de Clasificación de los Parámetros Edáficos (Tabla 2), del Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (2009), ello mediante la herramienta 3D Analyst Tools > Raster Reclass > Reclassify.

Por último, con la ayuda de la herramienta Conversion Tools > From Raster > Raster to Polygon se convirtió este de formato raster a vectorial para poder ser trabajado.

Tabla 2.

Clasificación de pendientes

Rango de pendiente en %	Descripción
0-4	Nula o casi a nivel
4-8	Ligeramente inclinada
8-15	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada
15-25	Moderadamente empinada
25-50	Empinada
50-75	Muy empinada

Fuente: D.S. N° 017-2009-AG.

ii. Precipitación

Se utilizó el raster de SENAMHI, Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations (PISCO), con una resolución angular de $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ en donde se han creado 24 estaciones para la obtención de los datos en una serie mensual en el periodo 1981 – 2016. A partir de los valores de precipitación mensual, en las estaciones se ha calculado la precipitación promedio anual los cuales se muestran en la tabla 3 y figura 24.

Tabla 3.

Valores de precipitación (mm) en estaciones.

Estación	Coordenadas UTM			Precipitación (mm)
	Norte	Este	Altitud	
Estación1	9386217	9386217	1394	1890.70
Estación2	9386284	9386284	875	1843.33
Estación3	9386136	9386136	629	1833.13
Estación4	9385349	9385349	1777	2105.76
Estación5	9385445	9385445	1821	2185.46
Estación6	9384851	9384851	1101	1727.24
Estación7	9382776	9382776	717	1663.56
Estación8	9381657	9381657	1817	2496.96
Estación9	9381688	9381688	1836	2105.46
Estación10	9381390	9381390	1239	1727.24

Estación11	9380818	9380818	1442	1737.14
Estación12	9378857	9378857	1946	2583.35
Estación13	9378754	9378754	1852	2276.54
Estación14	9378995	9378995	1409	2256.54
Estación15	9377877	9377877	1550	1917.61
Estación16	9376562	9376562	2130	2583.35
Estación17	9376445	9376445	1760	2246.14
Estación18	9376021	9376021	2154	2256.54
Estación19	9375301	9375301	1773	1927.91
Estación20	9373854	9373854	2446	2434.01
Estación21	9373832	9373832	2136	2271.51
Estación22	9373512	9373512	2095	2287.21
Estación23	9372464	9372464	2099	2434.01
Estación24	9372307	9372307	2118	2281.41

Fuente: (SENAMHI, 2016)

iii. Cobertura vegetal

La actualización y reducción de escala de la variable de Cobertura vegetal se realizó con una imagen Landsat8, la superficie del ámbito en estudio fue cubierta por 1 escena (Path 009 y Row 064), la cual fue seleccionada y descargada de la plataforma de GloVis (<https://glovis.usgs.gov/app?fullscreen=1>), cabe precisar que la búsqueda se hizo preferentemente para los meses secos (junio a setiembre) y cuyo criterio era que la cobertura de nubes sea inferior al 5 % de la superficie de interés.

Tabla 4.

Características de la imagen obtenida

Id	Fecha	Path	Row
LC08_L1TP_009064_20201226	26/12/2020	009	064

- Conversión de Nivel digital a Radiancia

Las imágenes del satélite Landsat8, consisten en una serie cuantificada, calibrada y escalada de niveles digitales ND, los cuales representan los datos de una imagen multispectral adquirida por los sensores: i) OLI (Operational Land Imagen) y ii) TIRS (Thermal Infrared Sensor). Los datos de las bandas están derivados en 16 bits en formato no cifrado y pueden ser reescalados a valores de reflectancia y/o radiancia en el techo de la atmosfera TOA.

Este proceso se ha hecho usando la información contenida en el archivo del metadato (*_MTL.txt), en el cual se encuentran los coeficientes radiométricos, la ecuación que nos ha permitido hacer la conversión es la siguiente:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

Donde:

L_λ: Es el valor de radiancia espectral en el techo de la atmosfera (TOA) medida en valores de (Watts /m² * srad * μm)

M_L: Banda; es el factor multiplicativo de escalado específico obtenido del metadato (RADIANCE_MULT_BAND_x, donde x es el número de la banda)

AL: Banda; es el factor aditivo de escalado específico obtenido del metadato (RADIANCE_ADD_BAND_x, donde x es el número de la banda)

Qcal: Producto estándar cuantificado y calibrado por valores de pixel (DN). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen. Para esta imagen el valor máximo es 65355 y el mínimo es 1.

- Conversión de Radiancia a Reflectancia (corrección atmosférica)

Este proceso se realiza con el objetivo de corregir el efecto de dispersión de energía electromagnética por las partículas de agua suspendidas en la atmósfera, permitiendo de esta manera, restar de la imagen los valores que éstas agregan a los datos de la misma.

Para la corrección atmosférica hemos utilizado el método DOS (Dark Object *Subtraction*) o también conocido como el método de Chávez que consiste en extraer píxeles oscuros para lo cual se utilizó la siguiente ecuación que convierte la Radiancia a Reflectancia.

$$p(\lambda) = \frac{L * \pi * d^2}{E_i(\lambda) * \cos Q}$$

Donde:

P(λ) : Reflectancia al tope de la atmosfera

L : Radiancias

D : Distancia tierra-sol

E_i(λ) : Irradiancia solar

Q : Ángulo cenital solar

- Fusión de imágenes

En el método de fusión de imágenes Gram-Schmidt, el primer paso es crear una banda de desplazamiento panorámico de baja resolución calculando un promedio ponderado de las bandas MS. A continuación, estas bandas no tienen relación entre sí utilizando el algoritmo de ortogonalización Gram-Schmidt, al tratar a cada banda como un vector multidimensional. La banda de desplazamiento panorámico de baja resolución simulada se utiliza como el primer vector, que no se rota ni se transforma. La banda de desplazamiento panorámico de baja resolución se reemplaza después con la banda de desplazamiento panorámico de alta resolución y todas las bandas se transforman de nuevo en alta resolución.

Esta fusión de la imagen nos permite fusionar las bandas multiespectrales con la pancromática, obteniendo de esta manera una resolución espacial de 15 metros, lo cual permitirá delimitar las unidades de cobertura vegetal de una mejor manera.

La clasificación de las unidades de cobertura vegetal y uso actual se realizó con el Sistema de Clasificación Corine Land Cover Adaptada para Perú, a continuación, se muestra la tabla de clasificación,

Tabla 5.

Clasificación de unidades de cobertura vegetal con la Metodología Corine Land Cover

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Descripción
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Las áreas urbanizadas incluyen los espacios cubiertos por infraestructura urbana y todas aquellas áreas verdes y redes de

			comunicaciones asociadas con ellas, que configuran un tejido urbano.
2. Áreas agrícolas	2.1. Áreas agrícolas heterogéneas	2.1.1. Cultivos transitorios	Tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo. Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es generalmente corto (hasta 2 años), llegando incluso a ser de sólo unos pocos meses, como por ejemplo los cereales
	2.3. Pastos		Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dedicadas a pastoreo permanente por un período de dos o más años. Algunas de las categorías definidas pueden presentar anegamientos temporales o permanentes cuando están ubicadas en zonas bajas o en depresiones del terreno. Una característica de esta cobertura es que en un alto porcentaje su presencia se debe a la acción antrópica, referida especialmente a su plantación, con la introducción de especies no nativas principalmente, y en el manejo posterior que se le hace.

	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	Estas comprenden áreas de cultivos asociadas con espacios naturales (áreas sin intervenir)
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque abierto bajo	se encuentran unidades de arbustos, principalmente helechos, helechos arbóreos de altura menor a 5 metros
		3.1.3. Bosque fragmentado	Esta unidad comprende presencia de intervenciones como, por ejemplo, tala, siembra de pastos, cultivos,
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.3.1. Herbazal	Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos, los cuales forman una cobertura densa o abierta

c. Construcción de la base de datos geoespacial – Geodatabase

Para el diseño y creación de la base de datos SIG, se agrupó en función a la cartografía que esta va alojar.

Con el fin de crear el diseño de la base de datos se revisó la familia de las normas ISO 19100, que nos permitió entender y así estandarizar la denominación de la información geográfica; entre las Normas ISO utilizadas se tienen las siguientes:

- **ISO 19101:** Modelo de referencia
- **ISO 19103:** Lenguaje de modelado conceptual

- **ISO 19104:** Terminología
- **ISO 19107: El moldeo espacial**
- **ISO 19111:** Referenciación espacial por coordenadas

En seguida se eligió el gestor de base de datos en el cual se creó la base de datos SIG que fue alojada en el gestor asociado al Software ArcGIS, para este caso se utilizó una “File Geodatabase (Base de datos tipo archivo)”.

Finalmente se definió el sistema de proyección que se usará para la base de datos, cabe precisar que la proyección elegida está acorde a las Resoluciones Jefaturales N° 079-2006-IGN/OAJ/DGC, N° 112-2006-IGN/OAJ/DGC/J y N° 086-2011-IGN/OAJ/DGC del Instituto Geográfico Nacional-IGN, ente rector de la cartografía nacional en el Perú, entre las características espaciales se tienen a las siguientes:

- Sistemas de coordenadas: UTM
- Datum: WGS84
- Zona o Huso horario: 17 Sur
- Esferoide: Internacional 1909
- Información vectorial que alojará: Punto, Línea y Polígono

Luego de definir estos criterios, se procedió a crear la base de datos SIG, cuyo nombre asignado es el siguiente:

BDSIG_Movimientos_de_Masa

d. Valoración de las variables a utilizar en el Modelo de Movimientos de Masa

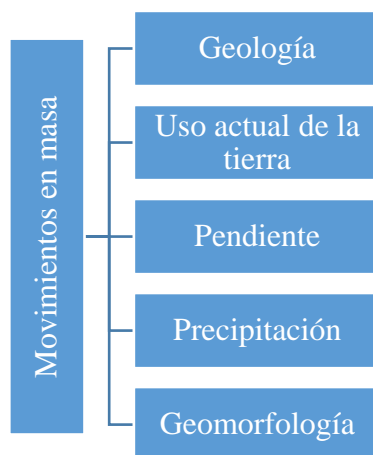
Para la generación del modelo de Movimientos en Masa se seleccionó las variables pendientes, fisiografía, precipitación, cobertura vegetal y geología.

La pendiente y fisiografía sirven como insumos para la morfología del terreno, que conjuntamente con la precipitación incentiva la ocurrencia de este fenómeno, tomando en cuenta el tipo de cobertura vegetal y unidad geológica; influyen en la infiltración, velocidad de la escorrentía superficial y la alteración que puede sufrir el terreno, reduciendo o agravando el nivel de peligro.

En base a lo anterior, se construyó la base de datos geoespacial del Modelo de Movimientos de Masa con la ayuda de los Sistema de Información Geográfica, diseñándose, en primer lugar, un modelo conceptual el cual permitió modelar cual será la realidad operacional del SIG, de acuerdo con las variables consideradas e implementadas y previa definición de los objetivos que pretende el modelo. El modelo conceptual se presenta en la figura 2:

Figura 2.

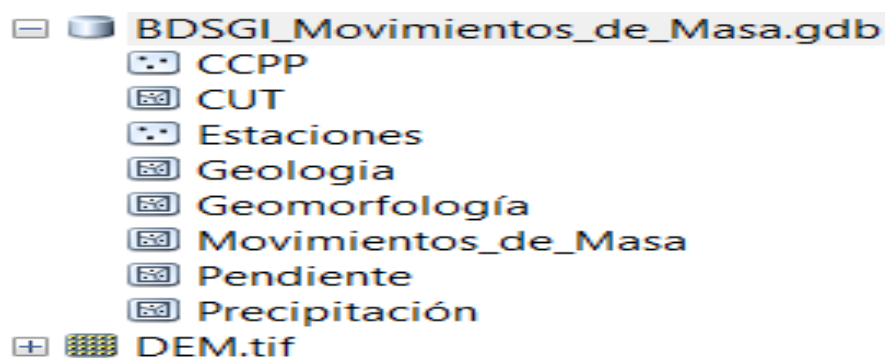
Modelo conceptual para el Modelo de Movimientos en Masa



Por último, se desarrolló el modelo físico, en el cual se implementó el modelo en los programas y equipos necesarios con los que se desarrolló el estudio y determinar así la forma que se debe almacenar los datos y poder manipularlos en formato digital mediante el sistema de información geográfico (Figura 3).

Figura 3

Base de datos para el Modelo de Movimientos de Masa



e. Modelamiento geoespacial

El modelamiento geoespacial se realizó tomando como guía la estructura del modelo conceptual, permitiendo la integración y especialización de las diferentes variables, que finalmente, definieron la propuesta cartográfica del Modelo a Movimientos de Masa, el que representa los espacios con mayor o menor nivel de peligro de acuerdo a las amenazas existentes.

f. Criterios para la valoración de las unidades de cada variable

La valoración de las unidades de cada variable se realizó en función de que atributos condicionan la ocurrencia al movimiento de masa y definen el grado de vulnerabilidad; asignándoles valores numéricos, para determinar la vulnerabilidad respectivamente.

g. Criterios para la integración ponderativa de las variables

La valoración se realizó asignando un determinado grado de participación (%) a cada variable; el cual represente el grado de incidencia de estas. Para lo cual se ha tenido en cuenta las características del distrito, el nivel de escala de la información disponible, complementando con la visita a campo, estudios relacionados y el conocimiento tanto del investigador como del asesor.

h. Aplicación de los criterios de valoración de las unidades de cada variable para la generación del Modelo de Movimientos de Masa

Consistió en asignar valores numéricos en una escala del 1 al 3 a cada atributo, en función al grado de importancia que reflejan sobre la influencia a los movimientos de masa; lo que permitió posteriormente jerarquizar espacialmente los niveles Alto, Medio y Bajo respecto a los movimientos de masa (Tabla 6).

Tabla 6.

Valoración para el modelo de Movimientos de Masa

Descripción	Valoración
Bajo	1
Medio	2
Alto	3

i. Modelo de movimientos de masa

El modelo de geodinámica externa, está conformado por variables biofísicas más influyentes sobre la ocurrencia de las Movimientos en Masa, siendo las siguientes: Pendiente, geología, geomorfología, precipitación y cobertura vegetal.

i.Pendiente

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

En consideración a estos criterios, los atributos de esta variable fueron valorados, asignándoles valores en función a la influencia que estos tienen, en los deslizamientos y huaycos, el resultado se detalla en la tabla 7 y figura 21:

Tabla 7

Valoración Pendientes Modelo de Movimientos en Masa

Pendientes (%)	Descripción	Valoración pendientes
0-4	Nula o casi a nivel	1
4-8	Ligeramente inclinada	1
8-15	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada	2
15-25	Moderadamente empinada	2
25-50	Empinada	3

ii. Geología

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

La variable geología es de importancia, puesto que, en función de la composición de las rocas, se comportarán de una manera ante los empujes tectónicos, los agentes de erosión y los diferentes climas de la tierra; es decir, la geología, tiene que ver con las características de las formaciones geológicas, con la dureza de las rocas; esto repercute en las diferentes formas y características del relieve que condicionan la ocurrencia de distintos procesos relacionados con la geodinámica externa.

En la tabla 8 y figura 25, se presenta la litología del distrito, clasificado por tipo de rocas, que permitió aplicar los criterios de valoración de los atributos.

Tomando en cuenta lo expuesto, se ha llevado a cabo la valoración de los atributos de esta variable; asumiendo que las rocas como calizas, margas, lutitas ofrecen una estabilidad media por lo cual se asignó un valor de 2 equivalente a una vulnerabilidad de Movimientos en Masa “Medio”, las rocas areniscas, cuarcitas y conglomerados ofrecen una estabilidad más baja por lo cual se asignó un valor 3 equivalente a nivel de movimientos de masa “Alto”.

Tabla 8*Valoración Geología Modelo Movimientos en Masa*

Simbología	Formación	Litología	Valoración Geología
Ki-chu	Formación Chulec	Calizas, lutitas, margas	2
Ki-g	Grupo Goyllarisquizga	Cuarcitas, areniscas	3
Ki-tgd	Tonalita-Granodiorita	Tonalita Granodiorita	3
Ks-pu	Grupo Pulluicana	Calizas, lutitas, margas	2
Ji-o	Formación Oyotun	Andesita	2
Qp-fa	Depósitos Fluvioaluviales	Gravas, arenas, arcillas, limos	2

iii. Precipitación

Las variaciones de precipitación, depende de la temperatura y la altitud, la precipitación influye en el drenaje superficial generando flujos de lodo y huaycos; a su vez genera inestabilidad en masas rocosas y en los depósitos inconsolidados; sus efectos, sobre todo de lluvias intensas y de larga duración que a su vez generan grandes cantidades de agua que modifican de manera constante las formas del relieve, asimismo se incrementa el cauce de los ríos y lagunas provocando inundaciones, produce deslizamientos, derrumbes, huaycos. Según lo mencionado y en función a la precipitación, se asignó valores a los respectivos atributos conforme se muestra en la tabla 9 y figura 23:

Tabla 9*Valoración Precipitación Modelo de Movimientos de Masa*

Precipitación (mm)	Área		Valoración Precipitación
	ha	%	
1600-1900	1691.72	20.69	1
1900 - 2200	882.69	10.79	2
2200-2600	5603.80	68.52	3

iv. Cobertura vegetal

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

Desde el punto de vista de la geodinámica externa, la importancia del tipo y densidad de cobertura vegetal depende el grado de erosión de los suelos que se encuentran sobre todo en pendientes pronunciadas; así un suelo con escasa vegetación brinda una escasa protección a las laderas, acelera el desplazamiento y/o la velocidad del agua de escorrentía superficial producto de las fuertes precipitaciones pluviales, propiciando el fenómeno de la erosión hídrica; en cambio, la abundante vegetación, tiene mayor capacidad de proteger a los suelos de los efectos erosivos, dándoles mayor estabilidad y manteniendo la forma del relieve.

En consecuencia, la valoración de los atributos de esta variable se ha realizado en función al tipo de cobertura vegetal y uso actual (tabla 10 y 24), el resultado se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10

Valoración Cobertura vegetal Modelo de Movimientos de Masa

Simbología	Descripción	Valoración Cobertura Vegetal
Ar	Arbustal	2
Bb	Bosque abierto bajo	1
Ct	Cultivos transitorios	3
He	Herbazal	2
Mc	Mosaico de cultivos y espacios naturales	2
Tu	Tejido urbano	1
Bf	Bosque fragmentado	1

v. Geomorfología

Las características morfológicas del terreno influyen de manera significativa, ya que estas aumentan o disminuyen su equilibrio, las cuales sirven como indicadores de inestabilidad debido a que son el resultado de un proceso evolutivo. De este modo, tomando en cuenta la

forma del relieve que presenta la superficie territorial se asignó valores a los respectivos atributos; el resultado se muestra en la tabla 11 y figura 22:

Tabla 11

Valoración Geomorfología Modelo de Movimientos de Masa

Simbología	Paisaje	Unidad Geomorfológica	Valoración Geomorfológica
Ct-ini	Planicie	Complejo de terrazas inundable y no inundable	1
LME-ri		Ladera de montaña empinada en rocas intrusivas	2
LMFE-rji	Montañoso	Montaña fuertemente empinada en rocas del jurásico inferior	3
LME-rjics		Ladera de montaña empinada en rocas del jurásico inferior y del cretáceo superior	2
CAE-rjic	Colinoso	Colina alta empinada en rocas del jurásico inferior, del cretáceo inferior y del cuaternario	3

j.Integración ponderativa de las variables para la generación del Modelo de Movimientos de Masa

Se pondero con un determinado grado de participación (%) a cada una de las variables que integran el modelo, que represente el grado de incidencia que tienen sobre la manifestación de Movimientos de Masa, teniendo en cuenta las características del distrito y la escala de la información disponible. Dicho análisis se respaldó en el conocimiento del investigador,

consultas de literatura relacionada y la experiencia del asesor en trabajos de Zonificación Ecológica Económica y Planes de Ordenamiento Territorial.

Asimismo, tanto el proceso de valoración y la integración ponderativa de variables, fueron automatizados en modelos geospaciales, mediante la herramienta Model Builder de ArcGIS, los cuales fueron ejecutados con diferentes alternativas de ponderación; los grados de participación fueron ajustados con el fin de aproximar a la realidad que existe en el área de estudio.

k. Modelo de Movimientos en Masa

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

$$MMM = f(\text{Pend}, \text{Geomo}, \text{Geol}, \text{CobVe}, \text{Preci})$$

$$MMM = g * \text{Pend} + h * \text{Geomo} + i * \text{Geol} + j * \text{CobVe} + k * \text{Preci}$$

Donde:

MMM: Modelo de Movimientos de Masa

Pend: Pendiente

Geomo: Geomorfología

Geol: Geología

CobVe: Cobertura vegetal

Preci: Precipitación

G, h, i, j, k: Grados de participación de cada variable

En dicho análisis se consideró a la variable pendiente como condicional de la ocurrencia de estos peligros naturales, por esta razón se le asignó un 20 % de influencia; seguido por la Geología con un 20 % por cuanto explica las diferentes formaciones geológicas y de quienes depende el comportamiento del suelo ante un agente externo (erosivo, clima, etc.) e interno (sismos); así también se le asignó un 25 % a la Cobertura Vegetal, siendo en conjunto con las dos primeras quienes condicionan el grado de erosión del suelo. Asimismo, la precipitación, como factor detonante en este tipo de fenómenos y la Geomorfología que sufre modificaciones por efectos de esta, se les asignó 20 % y 15 % de influencia respectivamente. Dichas ponderaciones se pueden observar en la tabla 12

Tabla 12

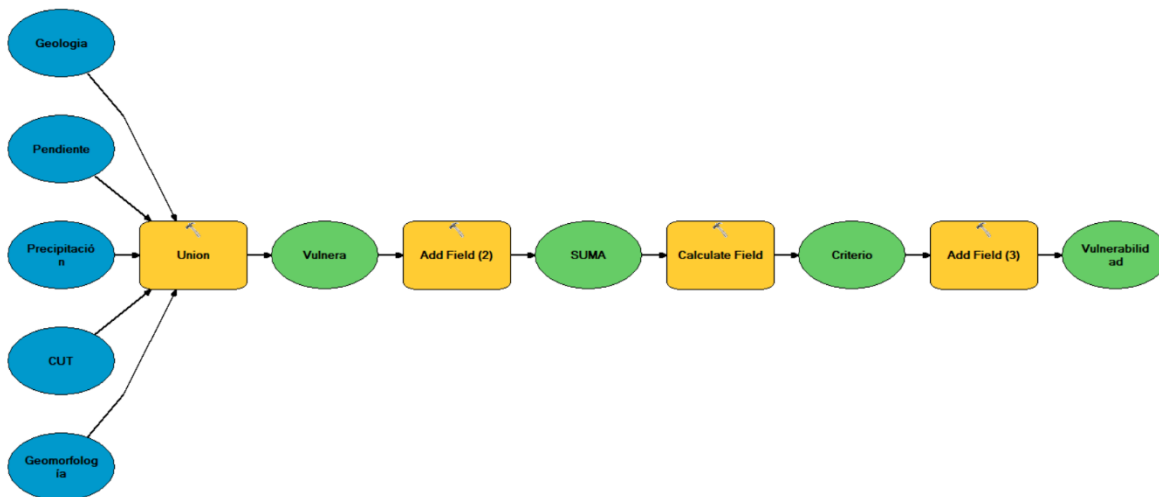
Ponderación de variables del Modelo de Movimientos de Masa

Variables	Ponderación (%)
Pendiente	20
Geomorfología	15
Cobertura Vegetal	25
Precipitación	20
Geología	20

La figura 4 muestra, el modelo geoespacial que permitió, el cruce de las variables y la obtención de las áreas con peligros a movimientos de masa

Figura 4.

Modelo geoespacial para la identificación de zonas vulnerables a Movimientos de Masa



3.2.2. Fase de campo

Las áreas obtenidas fueron contrastadas y verificadas In Situ, teniendo en cuenta los criterios establecidos.

3.2.3. Fase final de gabinete

Después de haber realizado la verificación In Situ, se elaboró el mapa final validando las zonas según la clasificación obtenida de vulnerabilidad a Movimientos de Masa.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Modelamiento geoespacial de Movimientos de Masa

4.1.1. Mapa de pendientes

El presente mapa se generó de acuerdo a la metodología anteriormente mencionada, clasificándolo en 7 rangos según la Guía de Clasificación de los Parámetros Edáficos, del Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (2009), cuya distribución espacial se aprecia en la tabla 13 y figura 5, simbolizado por colores, y para el cual se calculó la superficie y el porcentaje que cubre cada rango de pendiente.

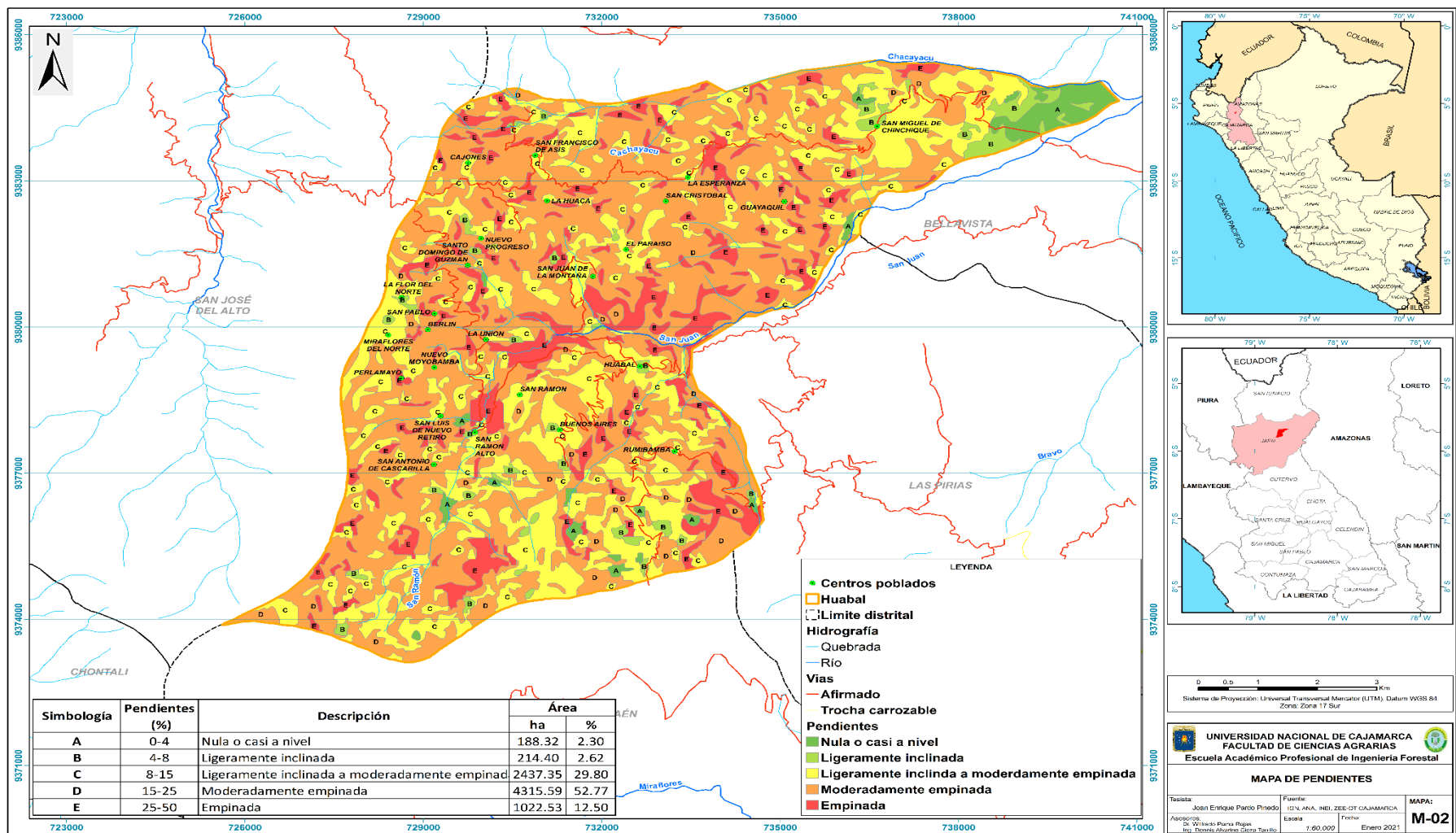
La gran parte del territorio está representado por pendientes moderadamente empinadas (52.77 %), asimismo encontramos a la pendiente ligeramente inclinada a moderadamente empinada que representa el 29.80 %, seguido de la pendiente empinada que abarca el 12.50% y por último se encuentran las pendientes ligeramente inclinada y nula o casi a nivel las cuales representan el 2.62 % y el 2.30 % respectivamente. Esta variable es importante en los procesos de remoción en masa detonados por factores tanto naturales como antrópicos que causan daños importantes en lugares de altas pendientes (Ramos et al., 2015 p. 64), debido a que el agua arrastra con mayor facilidad el material existente, en cambio en lugares donde la pendiente es baja permite que al agua se infiltre con mayor facilidad, por lo que este factor es determinante tanto en la escorrentía superficial y la velocidad del agua que influyen en los procesos de remoción de masas (Cao et al., 2019 p. 5).

Tabla 13*Resultados del mapa de pendientes*

Simbología	Pendientes (%)	Descripción	Área	
			ha	%
A	0-4	Nula o casi a nivel	188.32	2.30
B	4-8	Ligeramente inclinada	214.40	2.62
C	8-15	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada	2437.35	29.80
D	15-25	Moderadamente empinada	4315.59	52.77
E	25-50	Empinada	1022.53	12.50

Figura 5.

Mapa de Pendientes del distrito de Huabal



4.1.2. Mapa de geomorfología

El relieve del distrito de Huabal (tabla 14 y figura 6), está expresado en tres grandes paisajes como unidades mayores: Planicie, Colinoso y Montañoso; categorías que contienen unidades geomorfológicas caracterizados según el relieve dominante, siendo la Ladera de montaña empinada en rocas del jurásico inferior y del cretáceo superior la unidad geomorfológica de mayor extensión en el distrito (59.09 %), ésta pertenece al paisaje montañoso; la cual representa el 81.48 % del departamento de Cajamarca (G. H. Alcántara, 2011). La geomorfología de un lugar está relacionada con el clima y la variación climática que son los principales factores que controlan los procesos superficiales (movimientos de masa) (Gutiérrez, 2008).

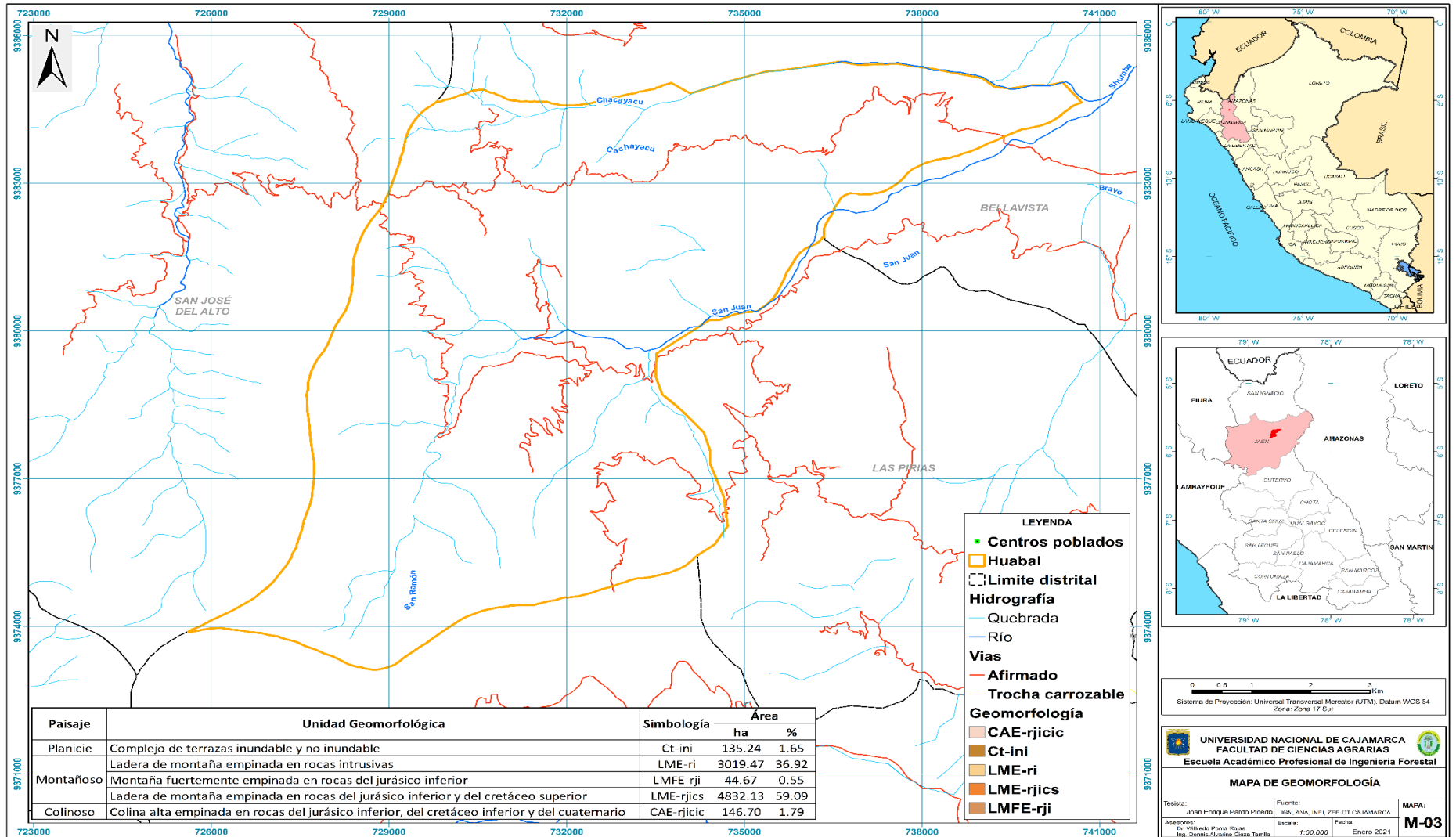
Tabla 14

Resultados del mapa de Geomorfología

Paisaje	Unidad Geomorfológica	Simbología	Área	
			ha	%
Planicie	Complejo de terrazas inundable y no inundable	Ct-ini	135.24	1.65
Montañoso	Ladera de montaña empinada en rocas intrusivas	LME-ri	3019.47	36.92
	Montaña fuertemente empinada en rocas del jurásico inferior	LMFE-rji	44.67	0.55
	Ladera de montaña empinada en rocas del jurásico inferior y del cretáceo superior	LME-rjics	4832.13	59.09
Colinoso	Colina alta empinada en rocas del jurásico inferior, del cretáceo inferior y del cuaternario	CAE-rjicic	146.70	1.79

Figura 6

Mapa de Geomorfología del distrito de Huabal



4.1.3. Mapa de precipitación

El mapa de precipitación (tabla 15 y figura 7), se generó de acuerdo a la metodología mencionada anteriormente, clasificándolo según la distribución que van desde 940 hasta 1180 mm, con intervalos de 20 mm y cuya distribución espacial se aprecia en el mapa respectivo, simbolizado por colores, y para el cual se calculó la superficie y el porcentaje que cubre cada rango de precipitación. La precipitación es un factor causante de los movimientos de masa, pues en las regiones montañosas la gran parte de deslizamientos son provocados por lluvias intensas o eventos de larga duración (Aristizábal et al., 2015 p. 33), que están controlados por el perfil de meteorización y la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo (Aristizábal et al., 2018 p. 34).

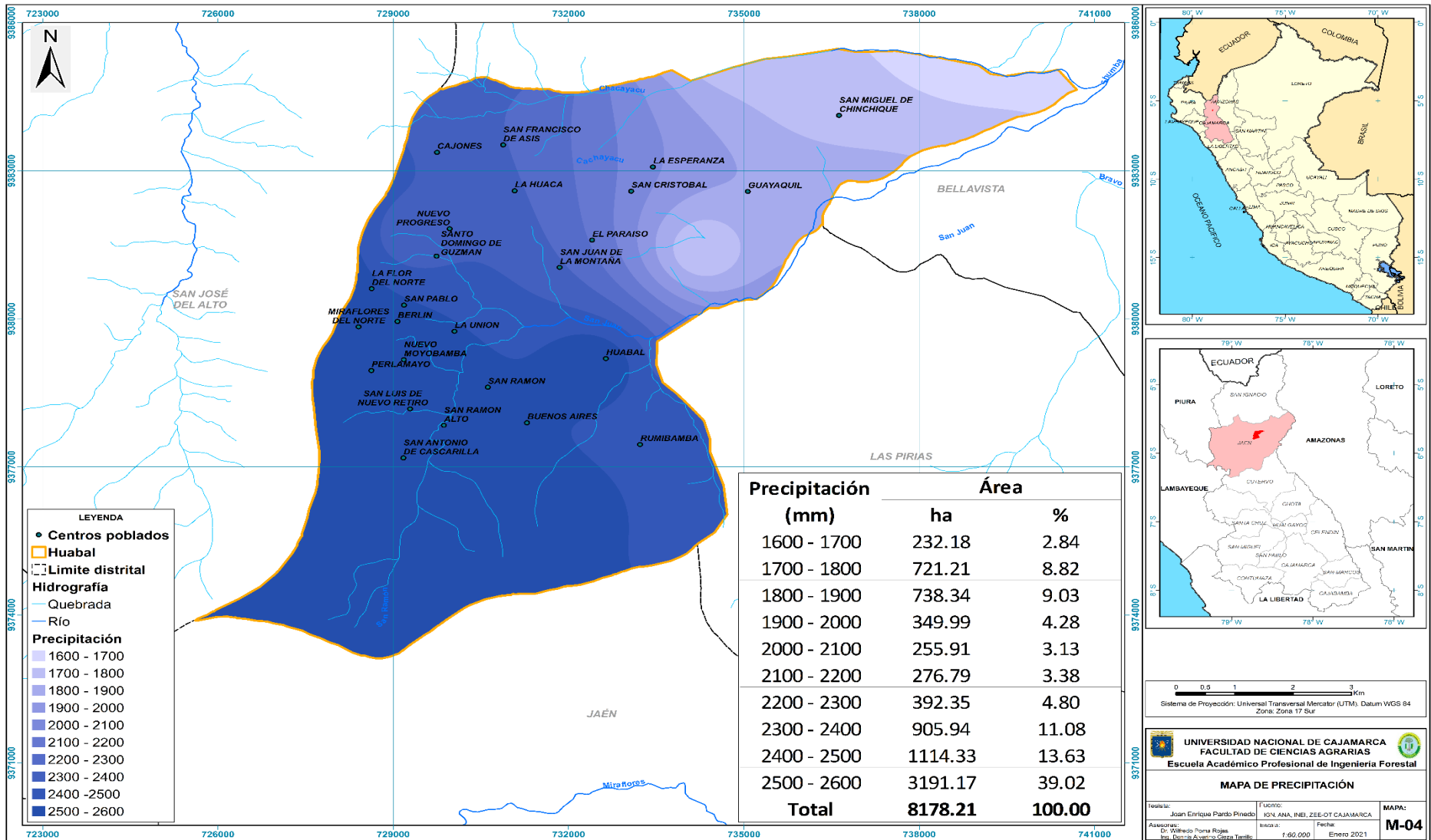
Tabla 15

Resultados del mapa de precipitación

Precipitación (mm)	Área	
	ha	%
1600 - 1700	232.18	2.84
1700 - 1800	721.21	8.82
1800 - 1900	738.34	9.03
1900 - 2000	349.99	4.28
2000 - 2100	255.91	3.13
2100 - 2200	276.79	3.38
2200 - 2300	392.35	4.80
2300 - 2400	905.94	11.08
2400 - 2500	1114.33	13.63
2500 - 2600	3191.17	39.02
Total	8178.21	100.00

Figura 7

Mapa de Precipitación del distrito de Huabal



4.1.4. Mapa de Cobertura Vegetal

El mapa cobertura vegetal se generó de acuerdo a la información proporcionada por la ZEE-Cajamarca, con la ayuda de la imagen landsat8 y SasPlanet se actualizó al año 2020, clasificándolo según el tipo de vegetación existente en el distrito (tabla 16 y figura 8). Asimismo, se calculó las áreas de cada formación vegetal, con el propósito de conocer a mayor detalle la forma como estas se distribuyen cuantitativamente.

La cobertura vegetal juega un papel muy importante en los deslizamientos de tierras, debido a que controla la erosión de los suelos (Pérez et al., 2012), por lo que su análisis es importante para modelar los movimientos de masa. El distrito de Huabal, el 46.58 % (3809.55 ha) está cubierto por mosaico de cultivos y espacios naturales, los cultivos transitorios ocupan 1.43 % (117.35 ha), el arbustal ocupa 22.10 % (1807.16 ha), bosque abierto bajo ocupa 15.83 % (1294.64), herbazal ocupa 10.12 % (827.24 ha), tejido urbano ocupa 0.16% (13.49 ha) y bosque fragmentado ocupa 3.78 % (308.78 ha). Según los resultados, la gran parte del territorio se encuentra cubierto por mosaicos de cultivos los cuales son producto de las actividades antrópicas que realiza el ser humano, que influyen en gran medida en las condiciones de la superficie del suelo y la cubierta vegetal (Chuang & Shiu, 2018).

Tabla 16

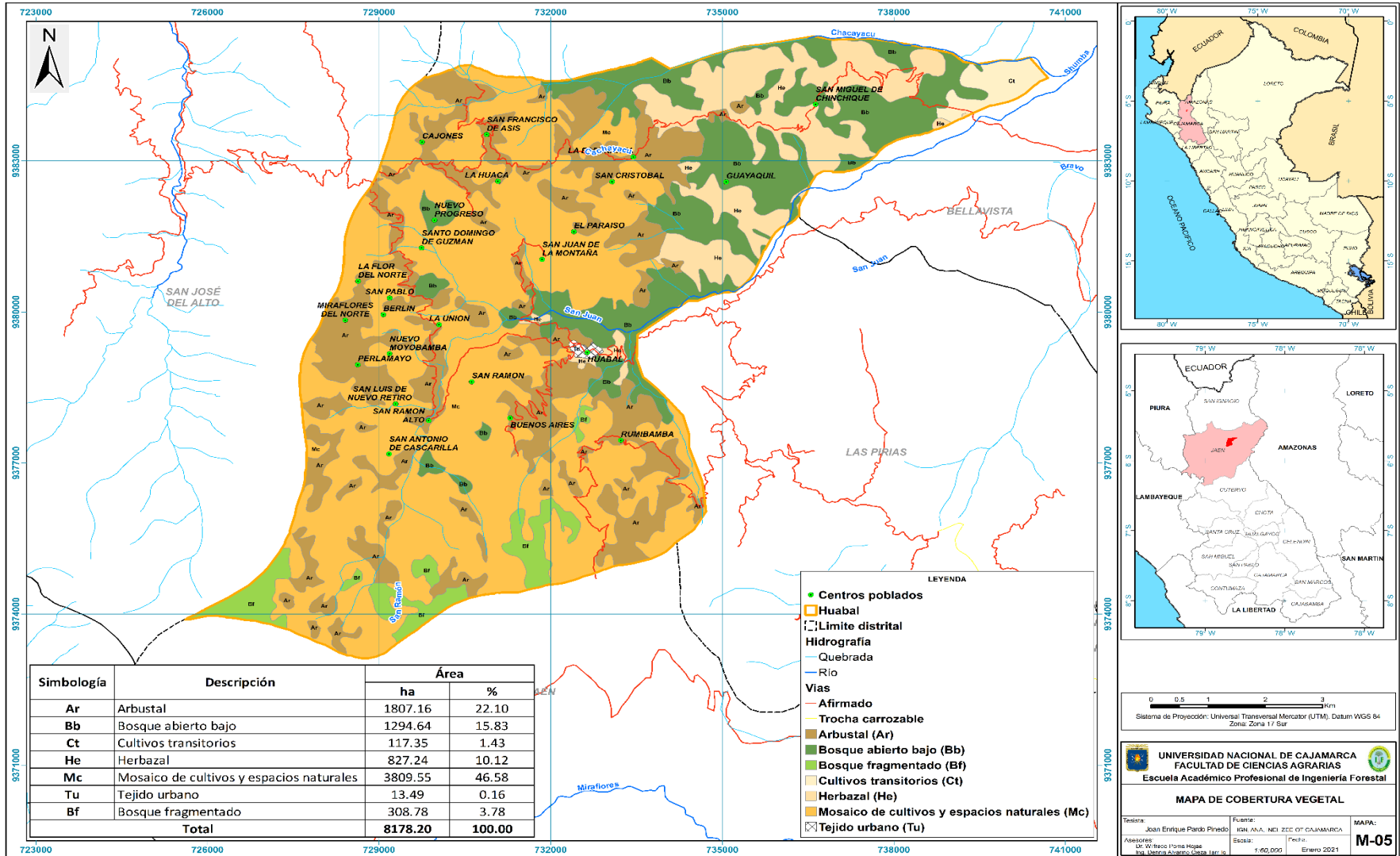
Resultados del mapa de Cobertura Vegetal

Simbología	Descripción	Área	
		ha	%
Ar	Arbustal	1807.16	22.10

Bb	Bosque abierto bajo	1294.64	15.83
Ct	Cultivos transitorios	117.35	1.43
He	Herbazal	827.24	10.12
Mc	Mosaico de cultivos y espacios naturales	3809.55	46.58
Tu	Tejido urbano	13.49	0.16
Bf	Bosque fragmentado	308.78	3.78

Figura 8.

Mapa de Cobertura Vegetal del distrito de Huabal



4.1.5. Mapa de Geología

La geología de la zona de estudio se clasificó en función a las Unidades Geológicas presentes, entre las unidades geológicas más representativas del distrito de Huabal, se encuentra las Tonalita Granodiorita 48.82 % (3992.82 ha), Formación Oyotun conformada por andesitas ocupa 27.25 % (2228.26 ha), Grupo Pulluicana conformada por rocas como calizas, lutitas y margas ocupando 15.99 % (1307.31 ha). La formación Chulec conformada por calizas, lutitas y margas ocupa 4.60 % (375.85 ha), Grupo Goyllarisquizca conformada por cuarcitas y areniscas ocupa 1.70 % (138.72 ha), Depósitos Flucioaluviales conformado por Gravas, arenas, arcillas y limos ocupa 1.65 % (135.24) del territorio. Dicha información se muestra en la tabla 17 y figura 9

La geología es la variable más influyente en los movimientos de masa, debido a que de esta depende el desprendimiento de rocas que generalmente suceden en zonas donde se han realizado profundos cortes en las pendientes de las rocas (Elias & Alderton, 2020).

Tabla 17

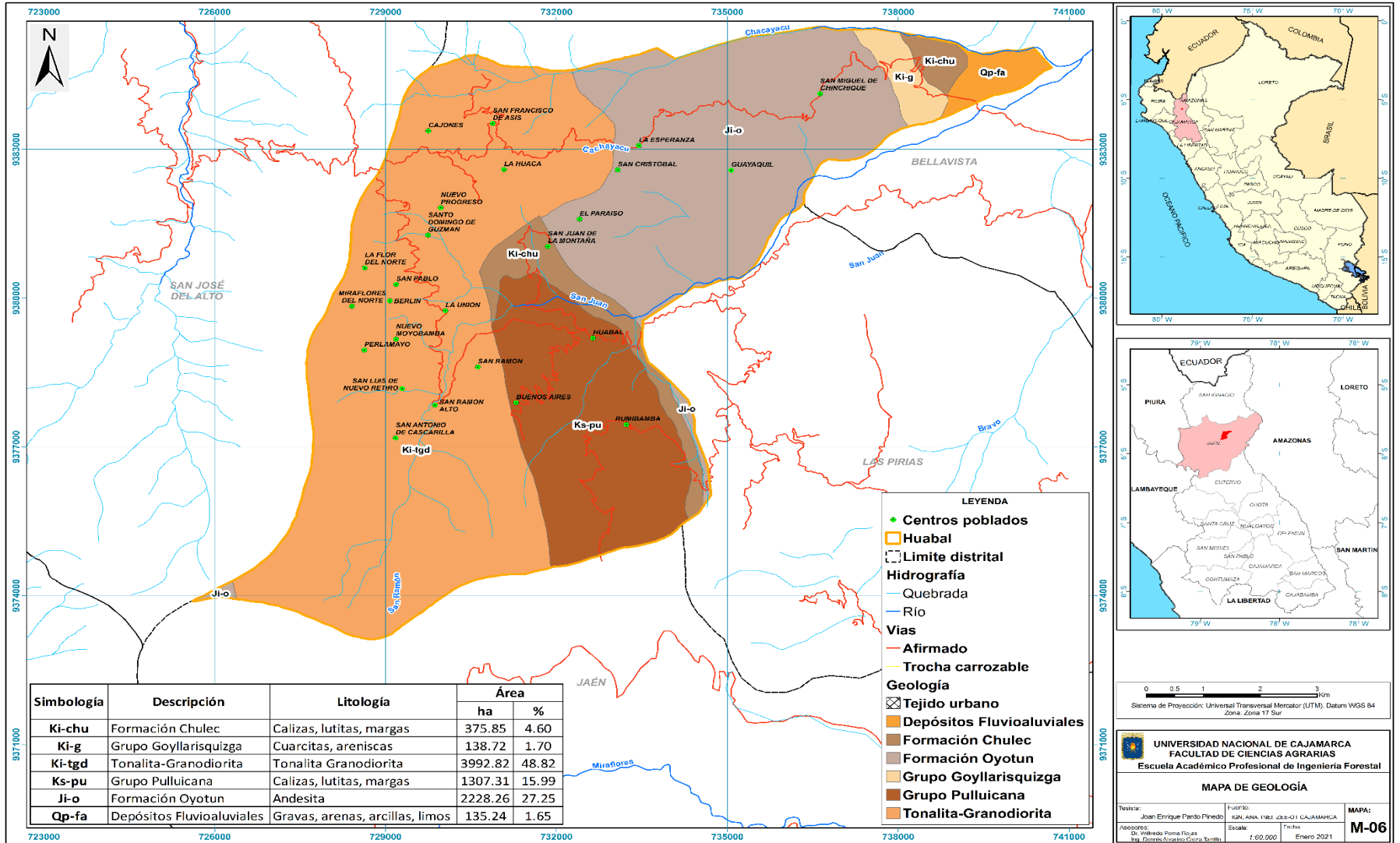
Resultados del mapa de Geología

Simbología	Formación	Litología	Área	
			ha	%
Ki-chu	Formación Chulec	Calizas, lutitas, margas	375.85	4.60
Ki-g	Grupo Goyllarisquizga	Cuarcitas, areniscas	138.72	1.70
Ki-tgd	Tonalita-Granodiorita	Tonalita Granodiorita	3992.82	48.82
Ks-pu	Grupo Pulluicana	Calizas, lutitas, margas	1307.31	15.99
Ji-o	Formación Oyotun	Andesita	2228.26	27.25

Qp-fa	Depósitos Fluvioaluviales	Gravas, arenas, arcillas, limos	135.24	1.65
-------	---------------------------	------------------------------------	--------	------

Figura 9

Mapa de Geología del distrito de Huabal



4.1.6. Modelo de Movimientos en Masa

El resultado del presente modelo se muestra en la tabla 18 y figura 10, el cual permite identificar como una primera aproximación, zonas donde potencialmente se presenta vulnerabilidad a Movimientos en Masa, expresado sobre todo a través de la manifestación de derrumbes, deslizamientos y huaycos; clasificados mediante niveles Alto, Medio y Bajo; que es el resultado de la integración espacial de las variables ponderadas, representado por la siguiente ecuación:

$$MMM = f(\text{Pend}, \text{Geomo}, \text{Geol}, \text{CobVe}, \text{Preci})$$

$$MMM = 0.2 * \text{Pend} + 0.15 * \text{Geomo} + 0.20 * \text{Geol} + 0.25 * \text{CobVe} + 0.20 * \text{Preci}$$

Donde:

MMM: Modelo de Movimientos de Masa

Pend: Pendiente

Geomo: Geomorfología

Geol: Geología

CobVe: Cobertura vegetal

Preci: Precipitación

G, h, i, j, k: Grados de participación de cada variable

La siguiente tabla detalla el área y el porcentaje de los espacios expuestos a diferentes niveles de Movimientos en Masa, expresa la distribución porcentual de los mismos en el territorio del distrito de Huabal

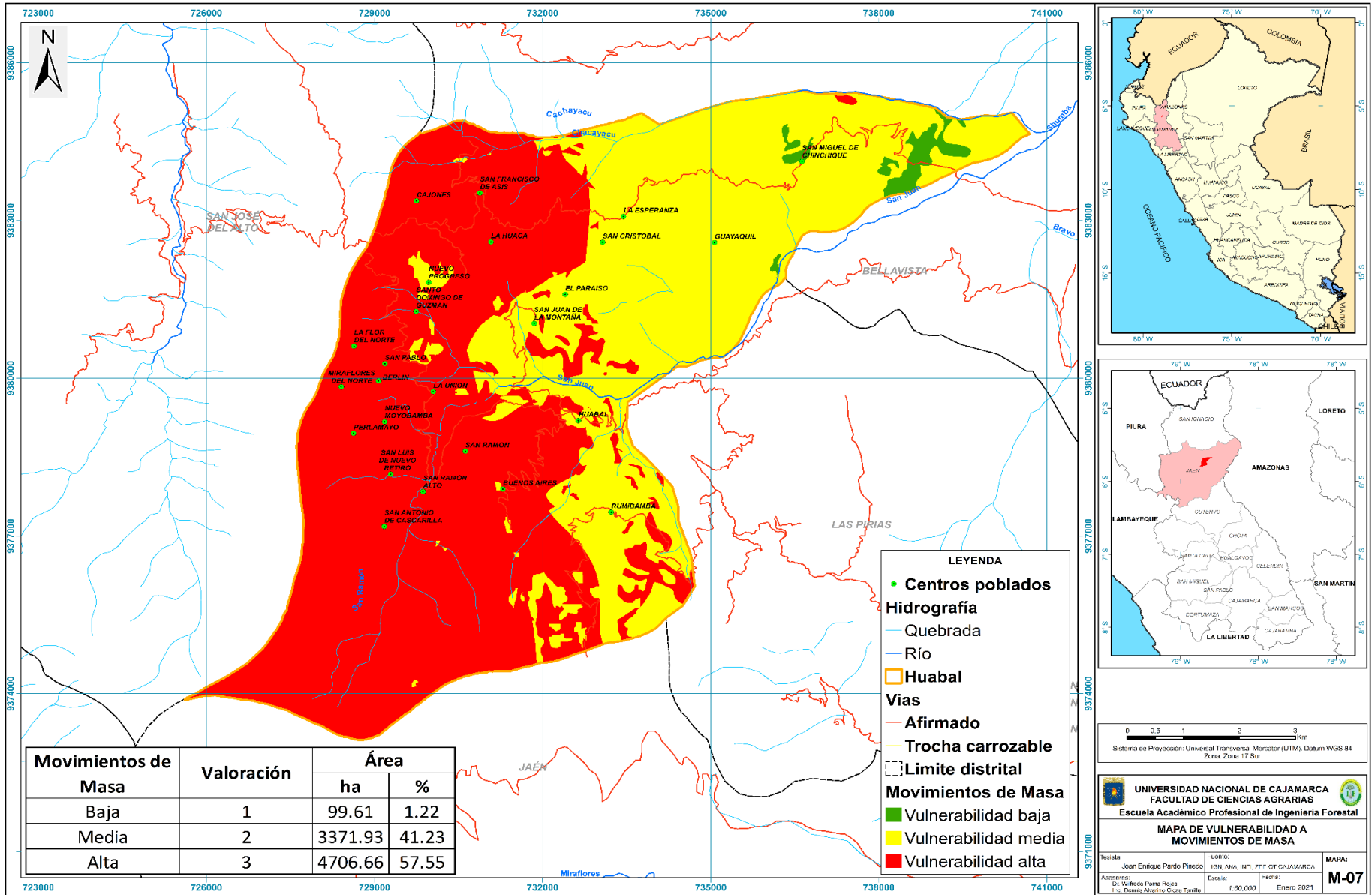
Tabla 18

Resultados del Modelo de Movimientos de Masa

Movimientos de Masa	Valoración	Área	
		ha	%
Baja	1	99.61	1.22
Media	2	3371.93	41.23
Alta	3	4706.66	57.55

Figura 10

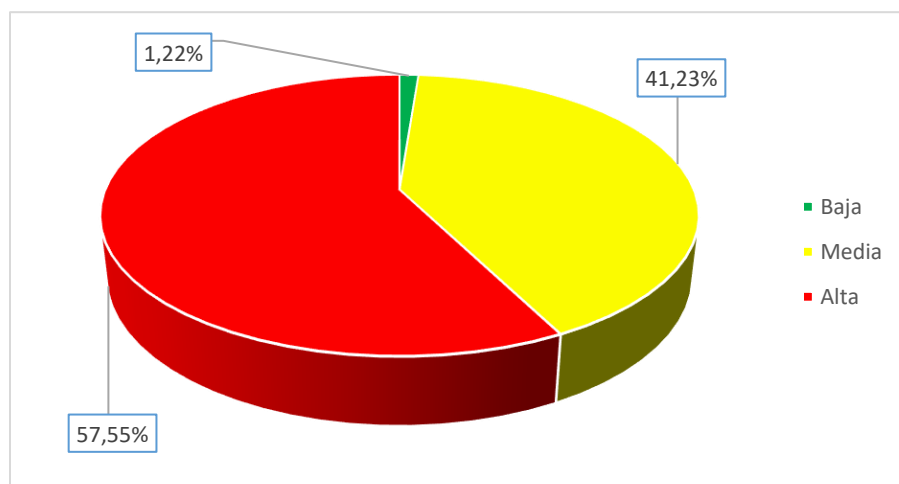
Mapa de Movimientos de Masa



La figura 11, muestra que el 57.55% del distrito está expuesto a un nivel de peligro alto por efectos de los Movimientos en Masa; el 41.23 % del territorio presenta una vulnerabilidad media y el 1.22 % presenta una vulnerabilidad baja. Según estos resultados, la gran parte del territorio del distrito de Huabal se encuentra expuesto a deslizamientos de tierras, desprendimiento de rocas, etc. las cuales dependen de factores naturales como la geología, clima, cobertura de la tierra, pendiente y geomorfología (Mergili et al., 2015). Estos fenómenos naturales generan formas del relieve modificando condiciones originales de las laderas por medio de desplazamientos con diferente intensidad y velocidad, lo que representa un peligro para zonas habitadas (Paz et al., 2017). Con estas situaciones, las esferas social, económica y ambiental, se ven seriamente afectadas en diferente medida, obstaculizando el desarrollo sustentable de la zona.

Figura 11

Porcentaje de vulnerabilidad a Movimientos de Masa



En el modelo se puede observar que los de niveles de peligro a Movimientos de Masa Alto ocupan un área de 4706.66 ha equivalente al 57.55% del distrito, se localiza en zonas con una precipitación que superan los 940 mm hasta 1180 mm promedio mensual anual, la cual influye en la estabilidad de los taludes ya que el agua que entra en contacto con el talud a través de la precipitación interactúa con los materiales geológicos y puede disminuir sus propiedades mecánicas o puede aumentar las fuerzas de cuerpo que desestabilizan el talud (Ramos et al., 2015 p. 64).

Por otro lado, la gran parte de la zona vulnerable Alta se encuentra en una pendiente predominante de 25 – 50% (Empinada) seguida de una pendiente que presenta una inclinación de 15-25 % (Moderadamente empinada). Los movimientos de masa generalmente se producen donde el porcentaje de inclinación del terreno es elevado, lo cual facilita que los materiales se desprenda originando diferentes tipos de estos movimientos (Hernández & Ramírez, 2016, p. 115), en el campo de geomorfología hay una predominación del Gran Paisaje Montañoso que se encuentra conformado por ladera de montaña empinada, ladera muy fuerte empinada, según (Borja y Alcántara 2004 p. 8), el relieve montañoso favorece la ocurrencia de procesos de remoción en masa conjuntamente con la interacción entre las características geológicas y de las actividades humanas que han alterado el medio. La geología está conformada principalmente por rocas granodioritas, tonalita, calizas, lutitas y margas, la cobertura vegetal se encuentra conformada por su gran mayoría por Mosaico de cultivos y espacios naturales, seguidos por una cobertura vegetal de herbazal y Arbustal, los centros poblados que se encuentran en un nivel de peligro alto al Movimiento de masa son los siguientes: La Huaca, La Unión, San Francisco de Asis (Figura 12), San Ramón Alto, La Flor del Norte, Nuevo Moyobamba, Cajones, Buenos Aires, San Antonio de la Cascarilla,

San Pablo, Berlin, Santo Domingo de Guzmán, Miraflores del Norte, Perlamayo, San Luis de Nuevo Retiro y San Ramón, haciendo un total de 16 centros poblados vulnerables a peligros de Movimientos de Masa Alto.

Figura 12

Verificación de consistencia en el centro poblado de San Fransisco de Asis



El nivel medio de peligro a Movimientos de Masa se encuentra ocupando un área de 3371.93 ha equivalente al 41.23% del área total del distrito, en este nivel de peligro se encuentra una precipitación mínima de 940 mm y una precipitación máxima de 1100 mm. La influencia de la lluvia sobre los procesos de remoción en masa depende fuertemente de las dimensiones y del tipo de deslizamiento. Se reconoce que los deslizamientos superficiales (flujos de lodos o flujos de detritos) son asociados a lluvias intensas de corta duración (Coe et al., 2008 p. 7), por otro lado la pendiente predominante tiene una inclinación de 4-8 % (Moderadamente empinada) de inclinación seguida por una inclinación de 0-4 % (Nula o casi a nivel), en

menor área se encuentra las pendientes de Ligeramente inclinada a moderadamente empinada (8-15%) y pendiente empinada (25-50 %), en la geomorfología el Paisaje predominante es el Montañoso pero también se cuenta con presencia de los paisajes planicie y colinoso, las principales unidades geomorfológicas son ladera de montaña empinada en rocas del jurásico inferior y cretáceo superior seguido por una unidad geomorfológica de ladera de montaña empinada en rocas intrusivas, en la geología se encuentra predominando las formaciones geológicas Oyotun, Chulec, la litología está conformada principalmente por calizas, lutitas y margas, andesita encontrándose en menor cantidad la litología compuesta por tonalita granodiorita, gravas, arenas, arcillas y limos, las principales coberturas son Arbustal, Bosque abierto bajo, herbazal y mosaico de cultivos y espacios naturales. Los centros poblados que se encuentran en un peligro medio de vulnerabilidad a movimientos de masa son La Esperanza (figura 13), El Paraiso, Huabal, San Cristobal (figura 14), Guayaquil, Nuevo Progreso, San Juan de la Montaña y Rumibamba.

Figura 13

Verificación de consistencia en el centro poblado La esperanza



Figura 14.

Verificación de consistencia en el centro poblado de San Cristobal



Por otro lado, el peligro bajo a Movimientos de Masa ocupa un área de 99.61 ha equivalente al 1.22 % del territorio del distrito de Huabal se encuentra distribuido en la zona baja y media del distrito, se tiene una precipitación de 940 mm – 980 mm. La relación de los eventos de remoción en masa del régimen de lluvia, según (Ramos et al. 2015 p. 72), las precipitaciones como la menor cantidad de movimientos en masa coinciden en meses donde la precipitación es baja en la pendiente se encuentra una inclinación de 0-8 % que se encuentra conformada por una pendiente Nula o casi a nivel (0-4%) y pendiente Ligeramente inclinada (4-8%), en la geología se encuentra los paisajes de Montañoso y Planicie, predominando una unidad geomorfológica conformada por Ladera de montaña empinada en rocas de jurásico inferior y cretáceo superior, complejo de terrazas inundables y no inundable, la geología se encuentra conformada por Formación Chulec, Depósitos Fluvioaluviales, Formación Oyotun y Grupo Goyllarisquizga, la litología se encuentra conformada principalmente por gravas, arenas, arcillas, limos, calizas, lutitas, margas, la litología andesita y cuarcitas ocupan una menor área en el nivel de peligro bajo, la cobertura se encuentra conformada por Bosque abierto bajo, este nivel de peligro ocupa la mayor parte de territorio del centro poblado San Miguel de Chinchique (figura 15) y una menor área en el centros poblados de Huayaquil.

Figura 15

Verificación de consistencia en el centro poblado de San Miguel de Chinchique



CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

Se identificaron zonas vulnerables a peligros de movimientos en masa; categorizando el distrito en los siguientes niveles: Alto, que representa el 57.55 % en donde se encuentran los siguientes centros poblados, La Huaca, La Unión, San Fransico de Asis, San Ramón Alto, La Flor del Norte, Nuevo Moyobamba, Cajones, Buenos Aires, San Antonio de la Cascarilla, San Pablo, Berlin, Santo Domingo de Guzmán, Miraflores del Norte, Perlamayo, San Luis de Nuevo Retiro y San Ramón. Nivel medio representa 41.23 % en donde se encuentran los centros poblados: La esperanza, El Paraiso, Huabal, San Cristobal, Guayaquil, Nuevo Progreso, San Juan de la Montaña y Rumibamba. El nivel bajo representa el 1.22 % en donde se encuentran los centros poblados de San Miguel de Chinchique y Huayaquil.

Se diseñó y construyó la Base de Datos Geoespacial, en el cual se almacenaron 5 variables temáticas: Pendiente, Geomorfología, Geología, Precipitación y Cobertura Vegetal.

Se generó el Modelo geoespacial para la identificación de zonas vulnerables a Movimientos de Masa mediante la integración de variables físicas; el cual revela que 4706.66 ha del distrito se encuentran en Niveles Altos de vulnerabilidad a peligros de movimientos en masa, 3371.93 ha del territorio se encuentra en un nivel medio de vulnerabilidad a peligros de movimientos en masa, en un nivel bajo de vulnerabilidad a peligros de movientes en masa se encuentra 99.61 ha del territorio.

RECOMENDACIONES

La información que proporciona esta investigación, nos ayudará en la toma de decisiones en cuanto a las zonas alta, media y baja; lo cual se recomienda para las zonas altas por estar expuestas a vulnerabilidad, ejecutar 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; en cuanto a la zona media se recomienda los cultivos en contorno, terrazas de formación lenta.

Así mismo se recomienda generar bases de datos que permita la identificación de áreas vulnerables, además realizar estudios más exhaustivos para implementar proyectos que conlleven a la valoración de alternativas de protección y control de peligros a movimientos en masa.

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

Se recomienda continuar con los estudios de investigación mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica, con el fin de verificar la metodología, de modo que estos proporcionen información actualizada y detallada que contribuyan en la toma de decisiones con la finalidad de minimizar los impactos.

CAPÍTULO V

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S., & Boyce, G. M. (2001). *Slope Stability and Stabilization Methods* (segunda).
- Alcántara, G. (2011). Pendiente de los suelos del departamento de cajamarca. In *Gobierno Regional de Cajamarca*.
- Alcántara, G. H. (2011). *Geomorfología departamento de Cajamarca*.
- Aristizábal, E., Vélez, J. I., Martínez, H. E., & Jaboyedoff, M. (2015). SHIA_Landslide: a distributed conceptual and physically based model to forecast the temporal and spatial occurrence of shallow landslides triggered by rainfall in tropical and mountainous basins. *Landslides*, 13(3), 497–517. <https://doi.org/10.1007/s10346-015-0580-7>
- Aristizábal, E., Vélez, J., & Martínez, H. (2018). Influences of Antecedent Rainfall and Hydraulic Conductivity on Landslides Triggered By Rainfall Occurrence Using the Model Shia_Landslide. *Revista EIA*, 13(26), 31–46.
- Berry, J. K. (1987). Fundamental operations in computer assisted map analysis. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1(1), 119–136. <https://doi.org/10.1080/02693798708927799>
- Borja, R. C., & Alcántara, I. (2004). *Procesos de remoción en masa y riesgos asociados en Zacapoaxtla , Puebla*. 53(October 1999), 7–26.

- Cabrejos, M. N. (2016). *Modelamiento geoespacial en la determinación del riesgo, vulnerabilidad y de la cuantificación de la erosión hídrica en la microcuenca del río Atuen – Amazonas*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Cao, C., Chen, J., Zhang, W., Xu, P., Zheng, L., & Zhu, C. (2019). Geospatial analysis of mass-wasting susceptibility of four small catchments in mountainous area of miyun county, Beijing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(15), 1–19. <https://doi.org/10.3390/ijerph16152801>
- Castellanos, A., & Bustos, J. (2011). Modelo de datos agrarios espaciales bajo el enfoque orientado a objetos (O-O) para el Instituto Nacional de Tierras (INTI). *Terra*, 27(42), 73–94.
- Choudhary, K., Boori, M. S., & Kupriyanov, A. (2018). Spatial modelling for natural and environmental vulnerability through remote sensing and GIS in Astrakhan, Russia. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(2), 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.05.003>
- Chuang, Y. C., & Shiu, Y. S. (2018). Relationship between landslides and mountain development—Integrating geospatial statistics and a new long-term database. *Science of the Total Environment*, 622–623, 1265–1276. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.039>
- Cieza, D. A. (2017). *Análisis de cambio de Cobertura y Uso Actual de la Tierra con imágenes satelitales del distrito de Matara 1991 – 2003 – 2016*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Coe, J. A., Kinner, D. A., & Godt, J. W. (2008). Initiation conditions for debris flows generated by runoff at Chalk Cliffs, central Colorado. *Geomorphology*, 96(3–4), 270–297. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.03.017>

- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). LANDSLIDE TYPES AND PROCESSES. In *Landslides: Investigation and Mitigation* (pp. 36–75).
- Date, C. (2001). Introducción a los sistemas de bases de datos. In *Pearson Education*.
- Dietrich, W. E., Wilson, C. J., & Reneau, S. L. (1986). Hollows, colluvium, and landslides in soil-mantled landscapes. *Hillslope Processes*, 361–388. <https://doi.org/10.4324/9781003028840-17>
- Elias, S., & Alderton, D. (2020). *New Zealand: New Zealand* (Segunda).
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). (2012). *Tutorial de Spatial Analyst*. Engineering.Survey.
- Estacio, J., & Rodríguez, G. (2012). Los eventos morfoclimáticos en el DMQ: una construcción social y recurrente. *Revista Letras Verdes*, 53(9), 73–99.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIDR). (2009). 2009 UNISDR Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. *Estrategia Internacional Para La Reducción de Desastres de Las Naciones Unidas (UNISDR)*, 43.
- Flores Marquez, R. (2016). *Modelamiento Geoespacial Para La Determinación Del Grado De Vulnerabilidad, Distrito Leimebamba - Amazonas*. 171.
- Gomez, M., & Barredo, J. I. (2005). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio* (RA-MA S.A.).
- Gutiérrez, M. (2008). *Geomorfología* (Segunda).

- Hernández, A., & Ramírez, H. (2016). Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca Cay, Ibagué, Tolima, Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26(2), 3. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1800>
- Hervas, G. (2001). *Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa*.
- Ibañez, J. (2008). *Concepto de Deslizamientos, Avalanchas y Movimientos de Tierra: Desastres Naturales en los que interviene el suelo*. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/06/20/95171>
- INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil). (2009). *Gestión del riesgo de desastres para la planificación del desarrollo local*.
- Mergili, M., Marchant Santiago, C. I., & Moreiras, S. M. (2015). Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24(2), 113–131. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v24n2.50211>
- MINAM. (2015). *Mapa de susceptibilidad física del Perú: zonas propensas a inundaciones y deslizamientos en la costa y sierra frente a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos*. 1–70.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2003). *Manual Curso Análisis Espacial Arcview 8.2* (p. 73).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2006). *Los Sistemas de Información geográfica y la Telepercepción en la pesca continental y la acuicultura*.

- Paz, J. A., González, R., Gómez, M., & Velasco, J. A. (2017). Metodología para elaborar mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa, análisis del caso ladera sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Investigaciones Geográficas*, 92, 128–143. <https://doi.org/10.14350/rig.52822>
- Pérez de Armiño, K. (1999). Vulnerabilidad y desastres: Causas estructurales y procesos de la crisis de África. *Chegoa*, 24, 1–64.
- Pérez, J., Valdés, E., & Ordaz, V. (2012). Vegetal Cover and Soil Erosion in Shaded Coffee Agroforestry Systems. *Terra Latinoamericana*, 30(3), 249–259.
- Proyecto multinacional andino: geociencias para las comunidades andinas. (2007). Movimientos de masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. In *Publicación geológica multinacional* (Vol. 4).
- Puerta, R. (2013). *Manual de ArcGIS 10 Nivel Intermedio*.
- Puerta, R., Rengifo, J., & Bravo, N. (2011). *ARCGIS BÁSICO 10*.
- Ramos, A., Germán, M., Trujillo-vela, L., & Prada, L. F. (2015). *Análisis descriptivos de procesos de remoción en masa en Bogotá*. 18, 63–75.
- Renda, E., Rozas, M., Moscardini, O., & Torchia, N. P. (2017). *Manual para la elaboración de mapas de riesgo*.
- Rivas, N. W. (2019). *Identificación de zonas vulnerables, aplicando el sistema de información geográfica, Unidad hidrográfica Chira-Piura*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Rodriguez, A. (2007). *Introducción a bases de datos*.
<http://www.thecoldsun.com/es/content/introducción-bases-de-datos?page=2#toc5>
- Sato, J. (2012). La Gestión del riesgo de desastres en el Peru documento país Perú 2012. In *Instituto Nacional de defensa Civil - IINDECI*.
- Silva, L. A. (2015). *Sistemas de información geográfica y la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos: propuesta para la provincia de Huánuco*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Sosa, N. L. (2016). *Análisis de Suceptibilidad a los peligros Geológicos por Movimientos en Masa- Poblados de Pampamarca y Acobamba, Región Huanuco*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Antiplano.
- Suarez Diaz, J. (2012). *Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. 520.
- Toskano, G. (2005). *El Proceso de análisis jerárquico como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. *TRB Special Report. Washington*, 11–33.
- Vilchez, M. (2013). Casos históricos de movimientos en masa que causaron grandes daños en Perú. *Ingemmet*, 57–60.
- Zabala, B., & Rosado, M. (2011). *Riesgo geológico en la región Cajamarca*.

ANEXO O APÉNDICE

Figura 16

Descarga de datos de precipitación del archivo raster (PISCO)

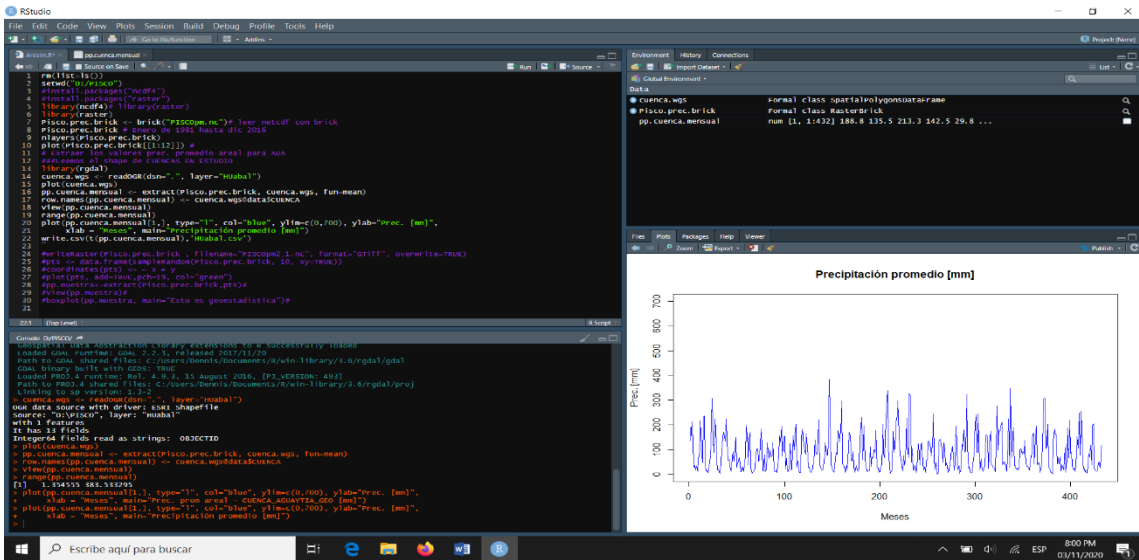


Figura 17

Precipitación diaria acumulada estación Jaén

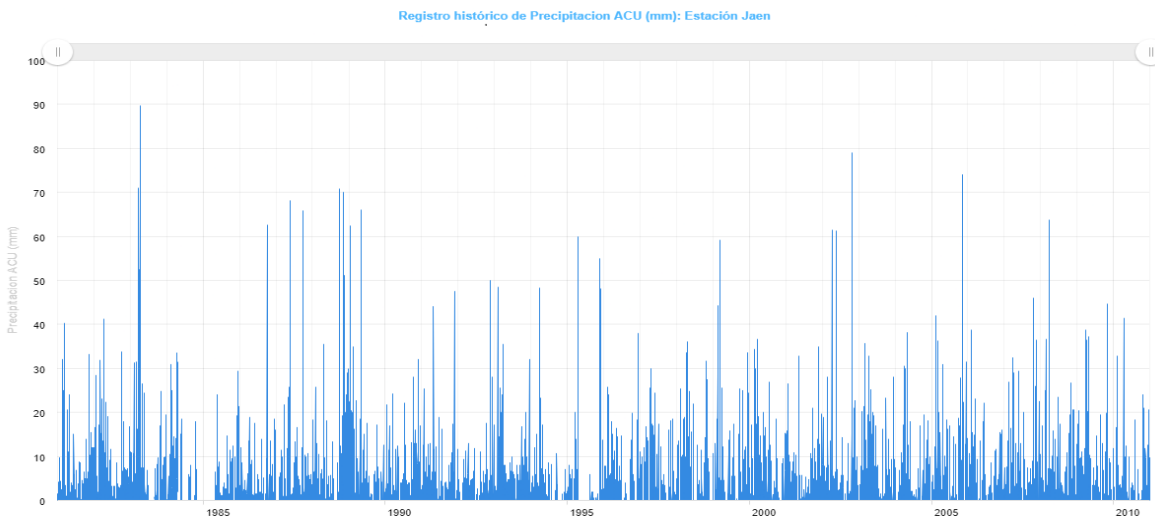


Figura 18

Validación de los datos obtenidos en la estación Jaén Vs PISCO

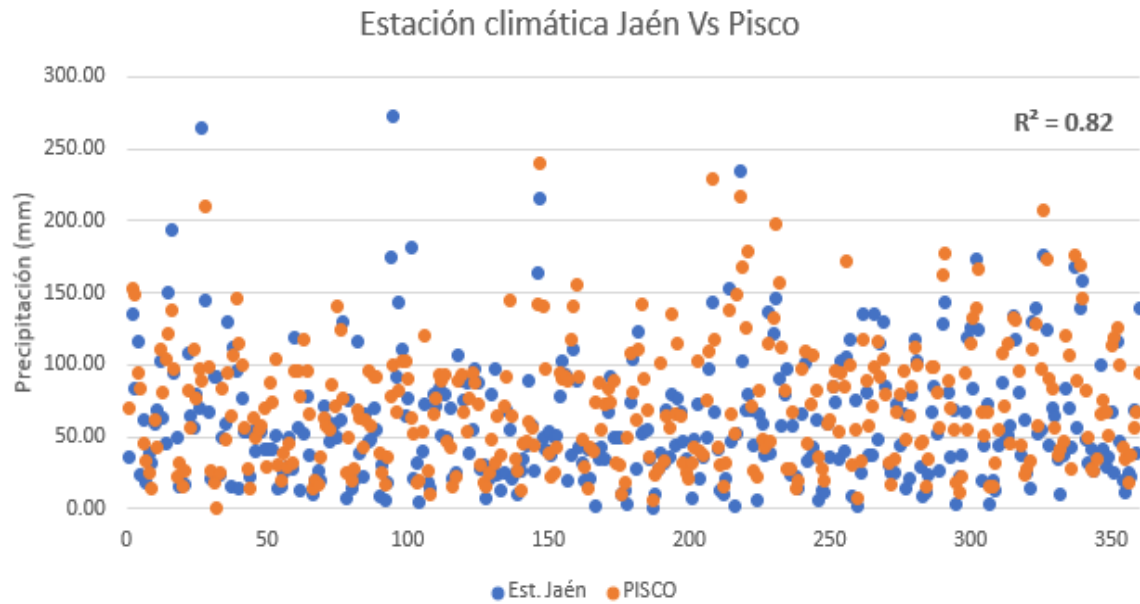


Figura 19

Verificación en campo de la consistencia del mapa



Figura 20.

Verificación de la cobertura vegetal



Figura 21

Mapa de valoración Pendientes

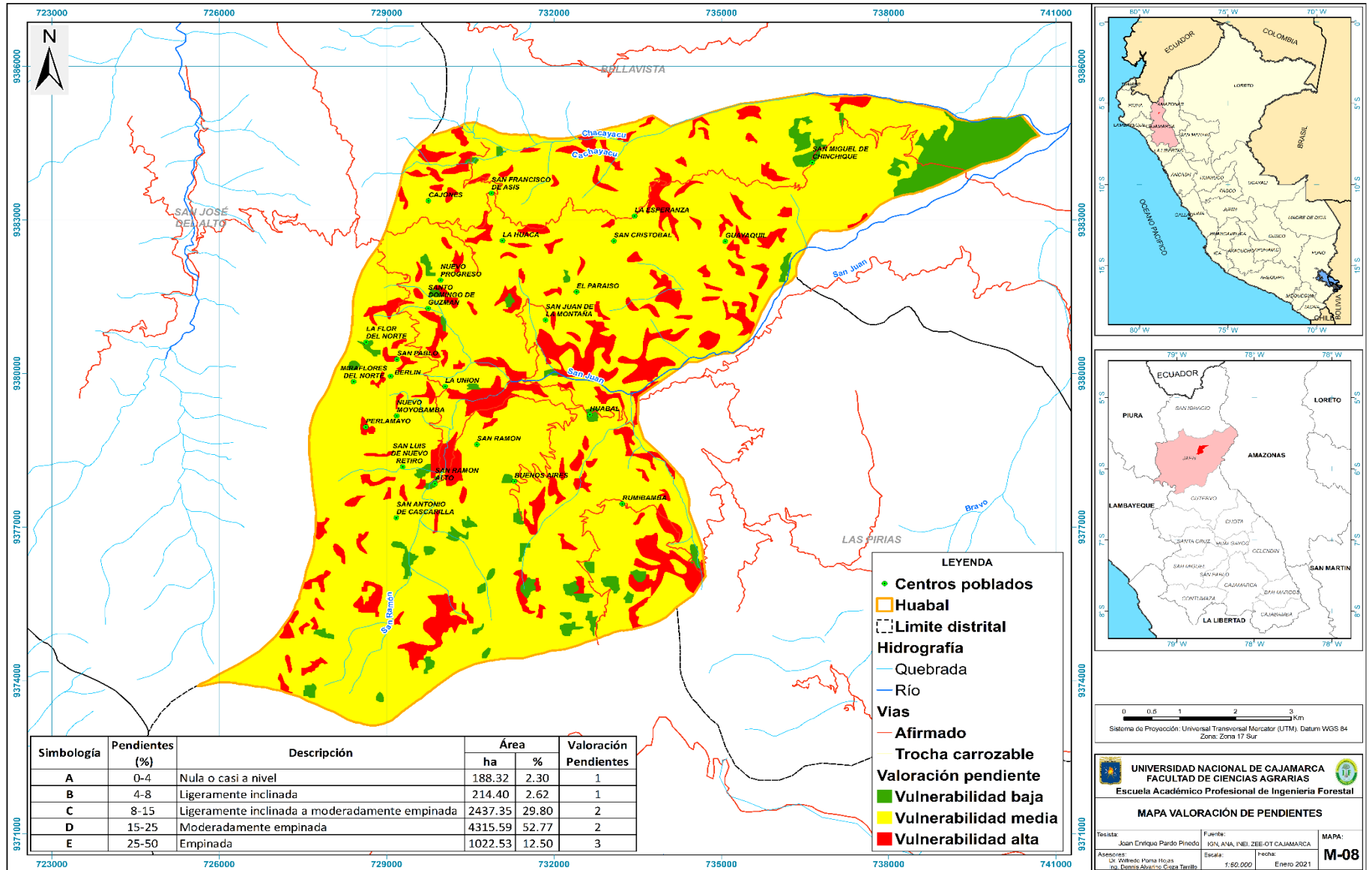


Figura 22

Mapa de valoración Geomorfológica

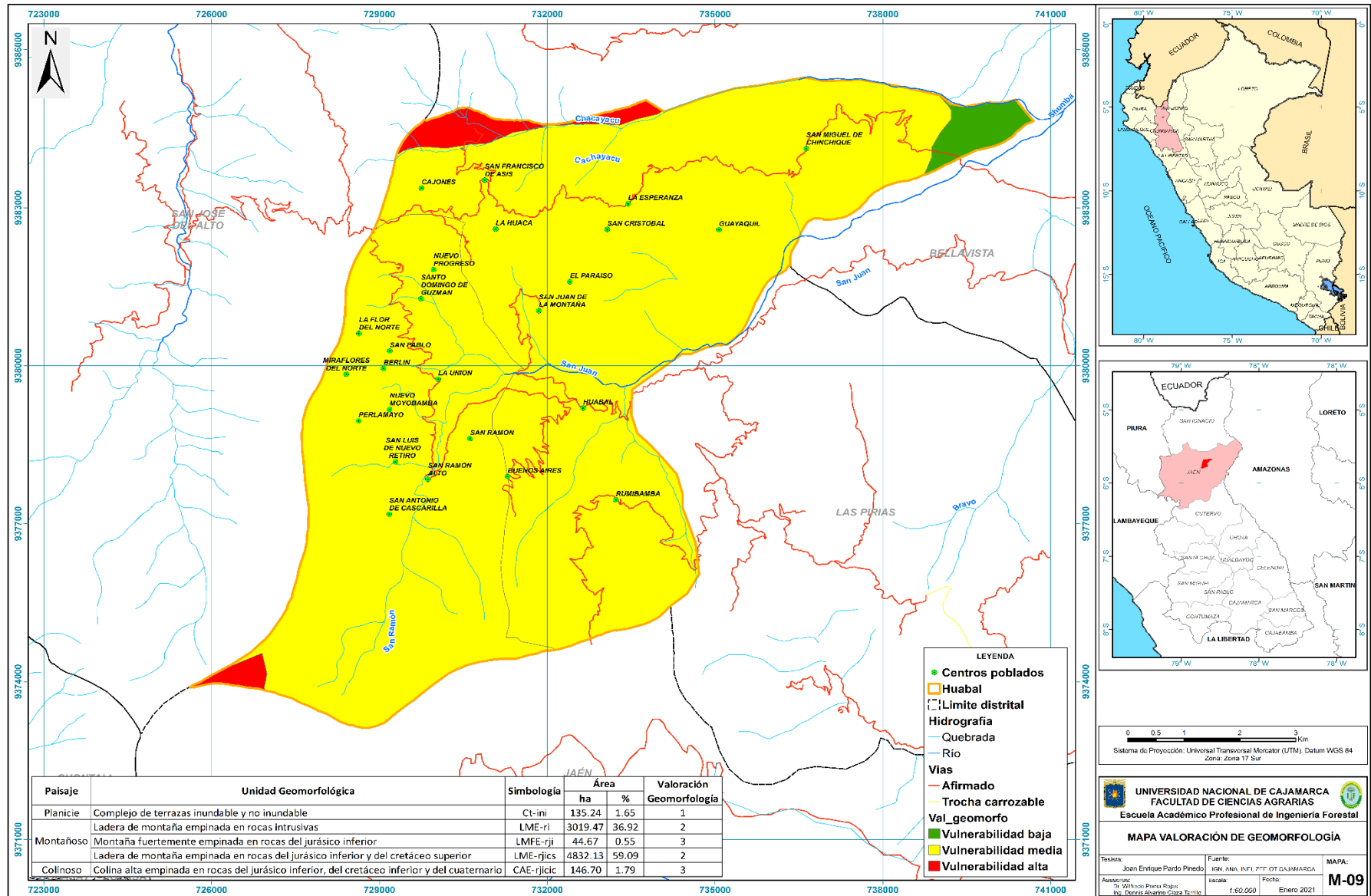


Figura 23

Mapa de valoración de Precipitación

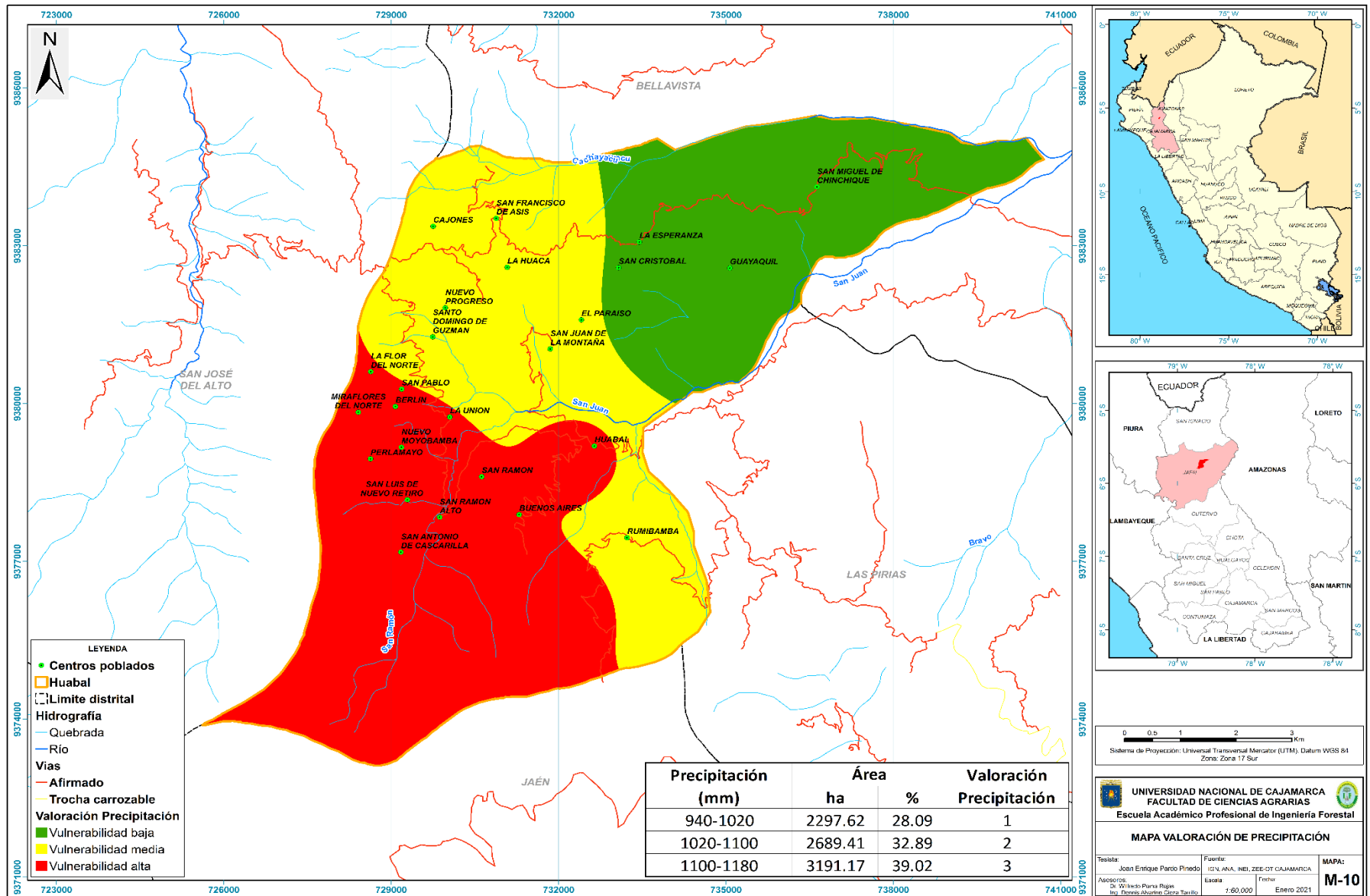


Figura 24

Mapa de valoración de cobertura vegetal

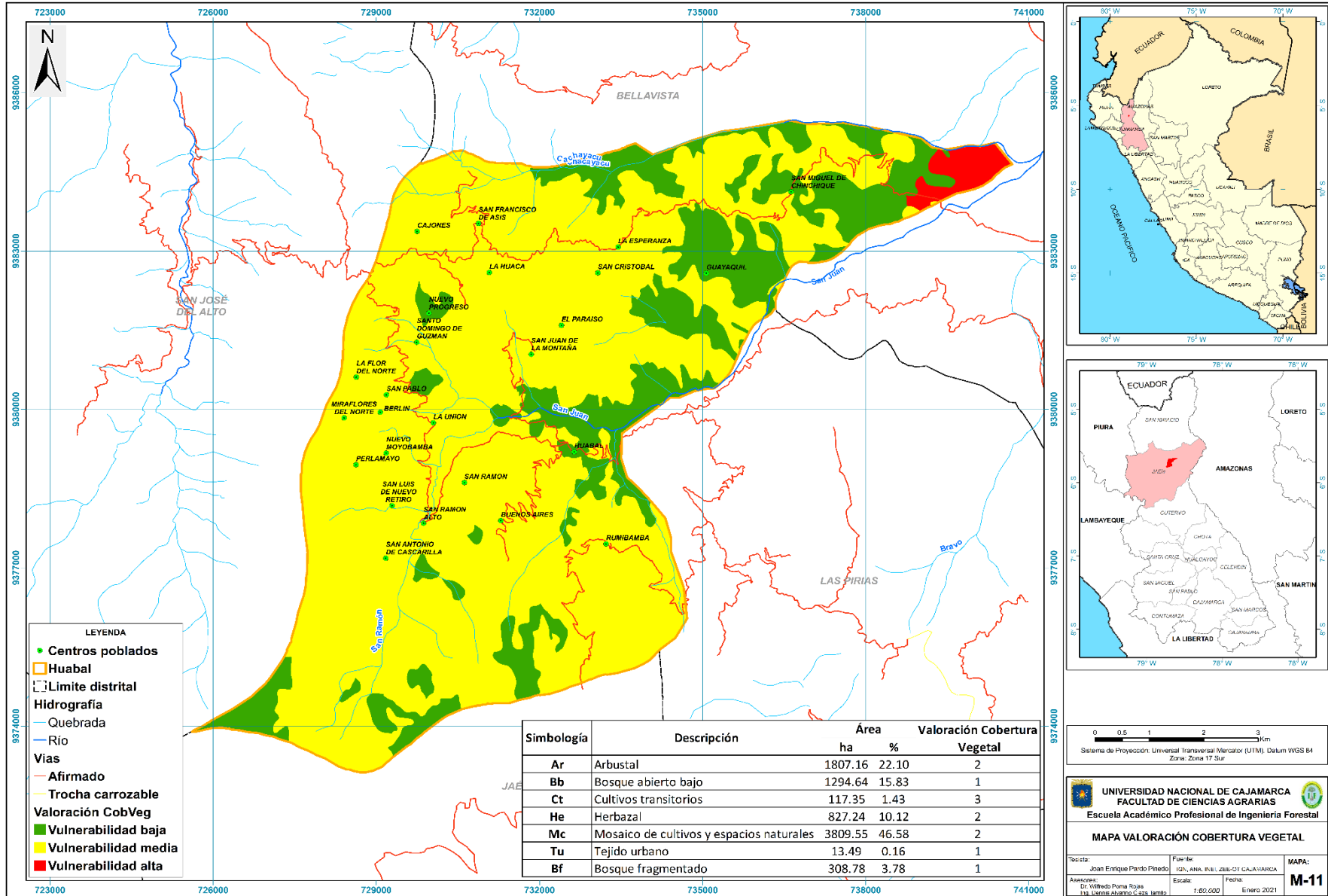


Figura 25.

Mapa de valoración Geológica

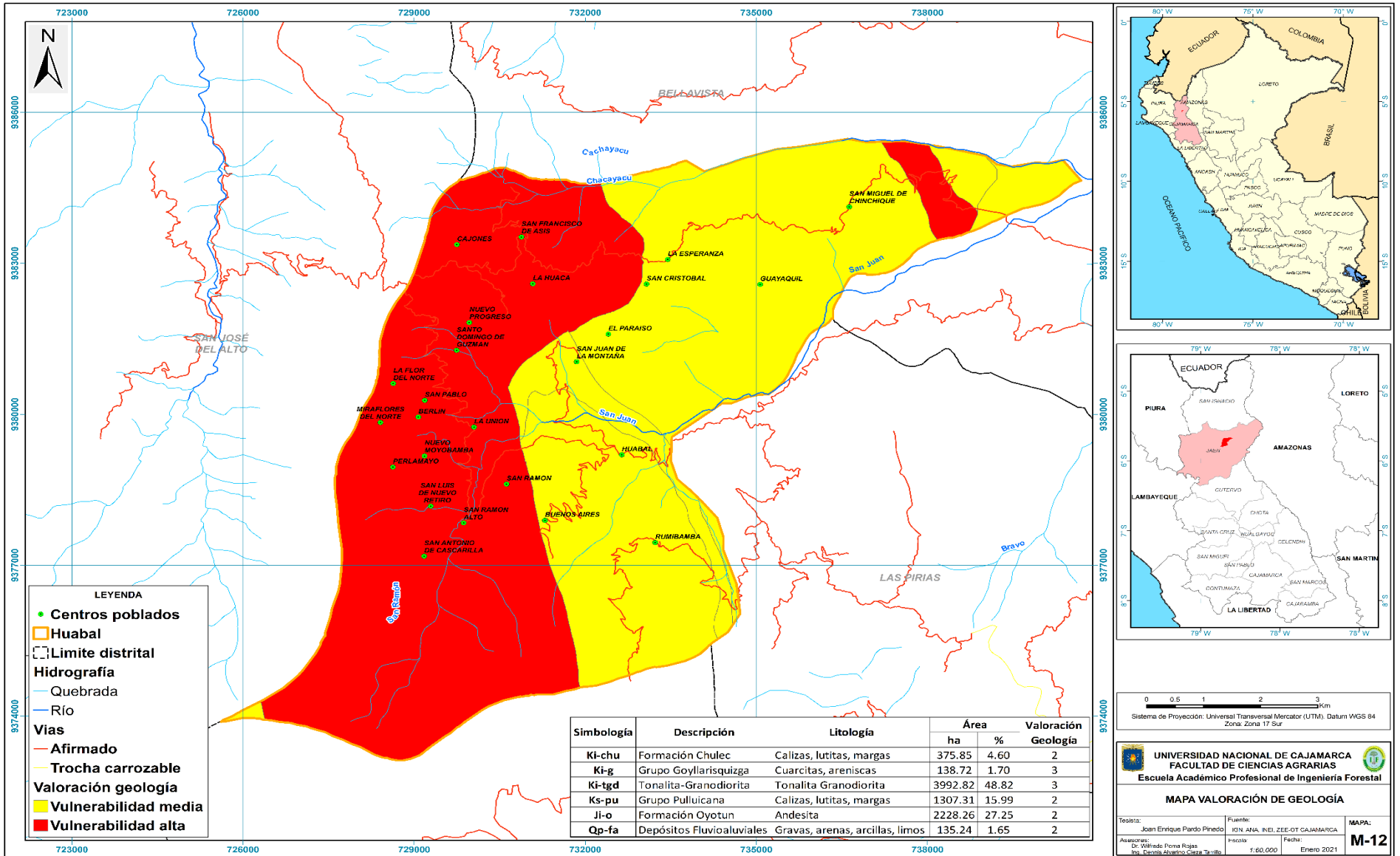


Figura 26

Mapa de estaciones Meteorológicas

