

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
JAÉN - CAJAMARCA”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR:

ELMER JOAN RAMOS QUIROZ

ASESOR

Dr. WILFREDO POMA ROJAS

Jaén – Perú

2022



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°174-2022-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 JAÉN - CAJAMARCA"**, ejecutado por el Bachiller en Ciencias Forestales, **Don ELMER JOAN RAMOS QUIROZ**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las **once** 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 **once** horas y **cincuenta** 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. Francisco Fernando
Aguirre de los Ríos
SECRETARIO


Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo
VOCAL


Dr. Wilfredo Poma Rojas
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres Luis y María, mi hermano.

Por el enorme e inagotable esfuerzo y sacrificio en estos años, por estar en todo momento, y darme todas las fuerzas para obtener unos de mis anhelos.

A mi pequeña hija Sofia.

Por ser la razón, motivo de inspiración y superación de cada día, dándome las fuerzas de seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, quisiera agradecer a Dios por su bendición en todas las cosas necesarias que me otorga y permitirme continuar y concluir con mis objetivos.

A todos mis familiares, por estar siempre presentes y apoyarme en cada momento, que con su amor y respaldo me ayudan a trazar mi camino.

A mis Maestros y Universidad Nacional de Cajamarca, gracias por otorgarme los conocimientos y la orientación en todos los años de formación de la carrera. Así mismo hacer llegar el agradecimiento especial al Dr. Wilfredo Poma Rojas y al Ing. Dennis Alvarino Cieza Tarrillo, por su paciencia y apoyo en el presente trabajo de investigación.

ÍNDICE

	Pág.
CAPÍTULO I.	
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO II . REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1. Antecedentes	14
2.2. Bases teóricas	15
2.2.1. Marco normativo.....	15
2.2.2. Teledetección	16
2.2.3. Sistemas de información geográfica (SIG).....	17
2.2.6. Movimiento de masas en laderas	19
2.2.7. Deslizamientos.....	19
2.2.8. Movimientos complejos.....	21
2.3. Definición de términos	21
2.3.1. Movimientos de masa	21
2.3.2. Desastre natural.....	21
2.3.3. Riesgo	22
2.3.4. Vulnerabilidad ante desastres naturales	22
2.3.5. Vulnerabilidad natural	22
2.3.6. Vulnerabilidad física.....	23

2.3.7.	Vulnerabilidad social	23
2.3.8.	Derrumbe	23
2.3.9.	Erosión	23
2.3.10.	Base de datos.....	24
2.3.11.	Sistema gestor de base de datos	24
2.3.12.	Análisis espacial de datos	25
2.3.13.	Interpolación	25
2.3.14.	Evaluación multicriterio.....	26
2.3.15.	SIG en movimientos de masa	27
2.3.16.	Factores condicionantes y detonantes para los movimientos en masa	27
CAPÍTULO III . MARCO METODOLÓGICO.....		30
3.1.	Ubicación.....	30
3.2.	Hidrología	32
3.3.	Metodología.....	34
3.3.1.	Fase de gabinete.....	34
3.3.2.	Fase de campo.....	57
3.3.3.	Fase final de gabinete.....	57
CAPÍTULO IV . RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		58
4.1.	Modelamiento geoespacial de Movimientos de Masa	58
4.1.1.	Mapa de pendientes.....	58

4.1.1.	Mapa de Geología.....	61
4.1.2.	Mapa de precipitación.....	64
4.1.3.	Mapa de Uso actual de la tierra.....	67
4.1.1.	Mapa de geomorfología	70
4.1.2.	Modelo de Movimientos en Masa.....	74
CAPÍTULO V . CONCLUSIONES.....		79
RECOMENDACIONES.....		80
CAPÍTULO VI.....		81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		81
CAPÍTULO VII . ANEXOS.....		88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información recolectada.....	34
Tabla 2. Clasificación de pendientes.....	36
Tabla 3. Pricipitación promedio anual	37
Tabla 4. Descripción de la imagen satelital	39
Tabla 5. Clasificación de las unidades de cobertura vegetal metodología Corine Land Cover...	42
Tabla 6. Valoración para el modelo de Movimientos de Masa	48
Tabla 7. Valoración Pendientes para el modelo de Movimientos en Masa	49
Tabla 8. Valoracion geológica para el modelo de movimiento de masa	50
Tabla 9. Valoración de la cobertura vegetal para el modelo de movimientos de masa	51
Tabla 10. Valoración de la precipitación para el modelo de movimientos de masa	52
Tabla 11. Valoración geomorfológica para el modelo de movimiento de masa.....	53
Tabla 12. Ponderacion de variables para el modelo de movimiento de masa	56
Tabla 13. Resultados del mapa de pendientes.....	59
Tabla 14. Resultados del mapa de Geología.....	61
Tabla 15. Resultados del mapa de precipitación.....	64
Tabla 16. Resultados del mapa de Uso actual de la tierra.....	67
Tabla 17. Resultados del mapa de geomorfología	70
Tabla 18: Resultados del Modelo de Movimientos de Masa.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del distrito de Jaén	31
Figura 2. Hidrografía del distrito de Jaén	33
Figura 3. Modelo geoespacial para la identificación de zonas vulnerables a Movimientos de Masa	57
Figura 4. Mapa de pendientes del distrito de Jaén	60
Figura 5. Mapa de geología del distrito de Jaén	63
Figura 6. Mapa de precipitación del distrito del Jaén	66
Figura 7. Mapa de Cobertura Vegetal del distrito de Jaén.....	69
Figura 8. Mapa de geomorfología del distrito de Jaén	73
Figura 9. Mapa de Movimientos de Masa	76
Figura 10: Porcentaje de vulnerabilidad a Movimientos de Masa	77
Figura 11. Descarga de datos de precipitación del archivo raster (PISCO)	88
Figura 12. Precipitación diaria acumulada estación Jaén	88
Figura 13: Validación de los datos obtenidos en la estación Jaén Vs PISCO	89
Figura 14. Selección y descarga de la imagen satelital.....	89
Figura 15. Mapa de estaciones meteorológicas	90
Figura 16. Mapa de valoración Pendientes	91
Figura 17. Mapa de valoración geológica.....	92
Figura 18. Mapa de valoración de precipitación.....	93
Figura 19. Mapa de valoración de la cobertura vegetal	94
Figura 20. Mapa de valoración Geomorfología.....	95
Figura 21: Verificacion de la consistencia del mapa en el caserío de San Andrés.....	96

Figura 22: Verificación de la consistencia del mapa en el caserío de San Andrés.....	96
Figura 23: Verificación en campo en el caserío de Loma Santa	97
Figura 24: Verificación de campo en el caserío de Loma Santa	97
Figura 25: Verificación de campo en el caserío de Nueva Esperanza.....	98
Figura 26: Verificación de campo en el caserío Vista Hermosa	98

RESUMEN

El estudio se desarrolló en el distrito y provincia de Jaén región Cajamarca, con el fin de evaluar y analizar la vulnerabilidad a peligros múltiples siendo parte de gestión de los riesgos ante desastres naturales, es por eso que esta investigación consistió en realizar un modelamiento geoespacial para la identificación de zonas críticas vulnerables a peligros múltiples, para lo cual se utilizó los sistemas de información geográfica los mismos que nos permitieron lograr el objetivo trazado en esta investigación. El modelamiento geoespacial realizado es un método integral que permitió identificar los fenómenos naturales los cuales son determinantes en la vulnerabilidad ante los desastres naturales; en tal sentido se diseñó y construyó una base de datos geoespacial en la que se consideró 5 variables las cuales son: pendiente, cobertura vegetal, precipitación, geomorfología y geología, todas estas fueron valoradas en función del nivel de peligro y grado de vulnerabilidad y posteriormente ser integradas para lo cual se asignó coeficientes ponderativos a cada una de ellas y así es como se identificaron las zonas vulnerables a peligros de movimientos en masa; las cuales fueron categorizadas como nivel alto y medio; obteniéndose que la gran parte del territorio del distrito de Jaén está representado por vulnerabilidad con nivel alto, esta ocupa una extensión de 50658.06 ha (91.03 %) y en menor extensión se encuentran zonas con vulnerabilidad media las cuales abarcan un área de 4991.42 ha (8.97 %).

Palabras claves: peligro, vulnerabilidad, modelamiento geoespacial, sistema de información geográfica

ABSTRACT

The study was developed in the district and province of Jaén, Cajamarca region, with the purpose of evaluating and analyzing the vulnerability to multiple hazards as part of the management of risks to natural disasters, which is why this research consisted of conducting a geospatial modeling for the identification of critical areas vulnerable to multiple hazards, for which we used the same geographic information systems that allowed us to achieve the objective outlined in this research. The geospatial modeling carried out is an integral method that allowed identifying the natural phenomena which are determinant in the vulnerability to natural disasters; in that sense, a geospatial data base was designed and built considering 5 variables, which are slope, vegetal cover, precipitation, geomorphology and geology, all these were valued according to the level of danger and degree of vulnerability and later to be integrated for which weighting coefficients were assigned to each one of them and thus the vulnerable zones to dangers of mass movements were identified; which were categorized like high and average level; being obtained that the great part of the territory of the district of Jaén is represented by vulnerability with high level, this one occupies an extension of 50658.06 ha (91.03 %) and in smaller extension are zones with medium vulnerability which cover an area of 4991.42 ha (8.97 %).

Key words: hazard, vulnerability, geospatial modeling, geographic information system

CAPÍTULO I . INTRODUCCIÓN

El Perú, debido a su variada y diversa geografía, es considerado uno de los 12 países del mundo con mayor biodiversidad (Maguiña Vargas & Astuvilca Cupe, 2017 p. 3), pues esto se debe principalmente a que se encuentra ubicado en la cordillera de los andes, lo cual hace que las características geológicas, tectónicas, topográficas, meteorológicas y oceanográficas permitan la ocurrencia de fenómenos naturales de gran magnitud los cuales provocan pérdidas humanas y económicas. En los últimos cuarenta años, la cantidad de víctimas por catástrofes naturales se ha quintuplicado, esto es a causa del aumento incontrolado de la población, especialmente de la urbana, así como la situación socioeconómica, medioambiental y política de algunas regiones (Capacci & Mangano, 2015 p. 35).

La región andina está conformada por agentes geomorfológicos que producen desastres cuya ocurrencia y propiedades son determinadas por la interacción de factores geológicos, topográficos y climáticos. Por lo que el territorio que pertenece a esta región se caracterizan por su abrupta topografía con pronunciadas diferencias de elevación en pequeñas distancias que resultan en una alta energía del relieve, además posee una gran variedad de procesos geomorfológicos que contribuyen a la reducción de estos desequilibrios energéticos, erosión y transporte de sedimentos de los ríos (Mergili, et al. 2015 p. 115).

En tal sentido los fenómenos naturales son procesos que provocan daños físicos y pérdidas de vidas humanas y de capital, al tiempo que alteran la vida de comunidades y personas, y la actividad económica de los territorios afectados, por lo que es importante tener un plan de manejo adecuado ante el riesgo de desastres naturales, es por eso que es de sutil importancia realizar una investigación para identificar las áreas vulnerables a diversos peligros que puedan suscitarse en el

distrito de Jaén, es así que los resultados obtenidos servirán como información base para la implementación de un plan de prevención y gestión de desastres naturales.

Bajo este contexto el objetivo alcanzado en esta investigación fue identificar zonas susceptibles a la ocurrencia de peligros múltiples y expuestos a condiciones de vulnerabilidad física; mediante el análisis y modelamiento geoespacial en una plataforma SIG, en el ámbito del distrito de Jaén.

CAPÍTULO II . REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes

Con mucha frecuencia los desastres se han entendido y tratado como sinónimo de la ocurrencia de fenómenos naturales, es decir, a consecuencia del impacto de la naturaleza en las sociedades que han causado una serie de impactos ambientales, sociales y económicos. En tal sentido según un estudio realizado por (Alcántara-Ayala, 2019 p. 1) afirma que en México, como en muchos países de América y el mundo, los desastres naturales desencadenados han ocasionado una serie de impactos negativos, en esta investigación se obtuvo como resultado que durante el periodo 1900 a 2018 se registraron 231 desastres en los que más de 20 000 personas perdieron la vida y aproximadamente 18 millones de habitantes fueron afectados.

El Perú es un país que ha experimentado una serie de desastres naturales en los últimos tiempos, uno de ellos fue el desastre que provocó las intensas lluvias en el año 2017, afectando a muchas regiones del país (Maguiña-Vargas & Astuvilca-Cupe, 2017). Por lo que se han realizados estudios con la finalidad de identificar zonas vulnerables dentro del territorio peruano, uno de ellos es la investigación denominada “Modelamiento geoespacial para la identificación de zonas críticas vulnerables a peligros múltiples, cuenca hidrográfica Camana-Majes-Colca, Arequipa” en la que se obtuvo que el 18.8 % del territorio presenta un nivel de peligro Muy Alto, el 47.9 % pertenece a Nivel Alto, un 17.0 % pertenece al nivel Medio y finalmente el 16.2 % del territorio pertenece a un nivel Bajo (Calderon-Mendoza, 2017 p. 163).

De igual forma una investigación realizada en el distrito de Leimebamba- Amazonas el cual consistió hacer un modelamiento geoespacial para la determinación del grado de vulnerabilidad, con el objetivo de determinar el grado de vulnerabilidad físico y

socioeconómico mediante el análisis y modelamiento geoespacial en plataforma SIG. Los resultados obtenidos muestran patrones de vulnerabilidad física-socioeconómica media representando el 26.40 % del territorio, asimismo existe área donde la vulnerabilidad es alta, la cual es considerada un 5.53 %, también se encuentran áreas donde la vulnerabilidad es muy alta, estas representan el 0.14 % del territorio estudiado y por último el 62.24 % del territorio pertenece a áreas donde la vulnerabilidad es baja. Se llegó a la conclusión de que los bajos niveles de organización social frente a escenarios de riesgo multiplican el grado de vulnerabilidad (Flores-Marquez, 2016 p. 137).

Ante todo, ello, el departamento de Cajamarca no es ajeno a los problemas ocasionados por los desastres naturales, debido a que existen áreas críticas o de mayor riesgo las cuales permiten del desarrollo de estos sucesos.

2.2.Bases teóricas

2.2.1.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° 048-2011PCM, 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”.

2.2.2. Teledetección

La Teledetección se basa en un sistema de adquisición de datos a distancia sobre la biosfera, que está basado en las propiedades de la radiación electromagnética y en su interacción con los materiales de la superficie terrestre, esto se debe a que todos los elementos de la naturaleza tienen una respuesta espectral propia que se denomina *signatura espectral*; en tal sentido teledetección estudia las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas, y pone de manifiesto las correlaciones existentes entre éstas y las características de los diferentes materiales terrestres en la que el objetivo es la identificación de los materiales de la superficie terrestre y los fenómenos que en ella se operan a través de su *signatura espectral* (Sacristán-Romero, 2005 p. 4).

Por otro lado la teledetección es una ciencia en la que permite estudiar los diferentes fenómenos de la naturaleza mediante el estudio de imágenes captadas desde un sensor que observa la tierra desde una órbita estable y repetitiva (Chuvieco-Salinero, 1998 p. 1).

2.2.3. Sistemas de información geográfica (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) representan una herramienta para explicar y hacer frente a los principales problemas como la deforestación, el cambio de uso del suelo y para poder determinar áreas vulnerables a los desastres naturales; los resultados que se obtienen mediante su implementación son básicos para la toma de decisiones de una manera eficaz en la planeación del uso de suelo con fines de conservación, protección y/o restauración de ecosistemas degradados (Sáenz-Reyes, et al. 2019 p. 3) .

En tal sentido los SIG son un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar de forma coordinada y lógicamente donde el objetivo es capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos. Los SIG son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato (Humboldt, 2006 p. 108).

2.2.4. Componentes de un SIG

- Hardware

Los SIG corren en un amplio rango de tipos de computadores desde equipos centralizados hasta configuraciones individuales o de red, una organización requiere de

hardware suficientemente específico para cumplir con las necesidades de aplicación (Humboldt, 2006 p. 111).

- **Software**

Los programas SIG proveen las herramientas y funcionalidades necesarias para almacenar, analizar y mostrar información geográfica (Gonzales, et al. 2003 p. 2) .

- **Información**

El componente más importante para un SIG es la información. Se requieren de buenos datos de soporte para que el SIG pueda resolver los problemas y contestar a preguntas de la forma más acertada posible (Stallman, 2019 p. 12).

- **Personal**

Las tecnologías SIG son de valor limitado sin los especialistas en manejar el sistema y desarrollar planes de implementación del mismo (Humboldt, 2006 p. 112).

- **Métodos**

Para que un SIG tenga una implementación exitosa debe basarse en un buen diseño y reglas de actividad definidas, que son los modelos y practicas operativas exclusivas en cada organización (Richard, 2020 p. 3).

2.2.5. Levantamiento geomorfológico

Una herramienta valiosa que se complementa con el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) es el levantamiento geomorfológico que proporciona una información precisa y concreta de los procesos geomorfológicos, de las formas resultantes y los fenómenos naturales asociados, como es el caso de los deslizamientos. A partir del análisis de la cartografía topográfica y geológica, imágenes satelitales y modelos de

elevación digital del terreno, se determinan las áreas susceptibles a peligros por procesos gravitacionales (Quesada, et al. 2016 p. 45).

2.2.6. Movimiento de masas en laderas

Son fenómenos asociados al mecanismo de rotura o fallo de las rocas y suelos y al tipo de desplazamiento de los volúmenes de masas de rocas o de sus partes móviles unidas entre sí, que componen un cuerpo de deslizamiento, o de un flujo, cuando ocurre una corriente viscosa de la masa de roca bajo la influencia de ciertas y determinadas fuerzas. Las causales y condicionales de la rotura, su movilidad y dinámica en las laderas quedan determinados por el tipo de mecanismo que origina el proceso de movimiento de la masa de rocas (desprendimientos, deslizamientos, flujos, etc) (Almaguer-Carmenates y Guardado-lacaba, 2006 p. 7).

2.2.7. Deslizamientos

Son fenómenos gravitacionales que consisten en el movimiento de cierto tipo de material (roca, detritos o derrumbos, suelo o tierra) sobre un plano o superficie de deslizamiento (Alcántara-Ayala, 2000 pp. 7-8). En tal sentido los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año, para que este suceso ocurra, existen cuatro elementos importantes tales como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas (Suarez-Diaz, 2012 p. 1).

2.2.7.1.Deslizamientos traslacionales

Se le llama deslizamiento traslacional o planar a aquellos que se producen a través de una única superficie plana u ondulada. Este tipo de movimiento generalmente es

producido en las cortezas lateríticas residuales o redepositadas, en las cuales la superficie de deslizamiento se encuentra en el contacto roca/suelo, donde el material presenta menos resistencia y a través del cual se mueven las aguas subterráneas. Las condiciones para la ocurrencia de este tipo de rotura se ponen de manifiesto en el territorio siendo los rumbos del plano del talud o ladera y del plano de deslizamiento son paralelos o casi paralelos, formando entre sí un ángulo máximo de 20 grados, también depende de los límites laterales de la masa deslizante producen una resistencia al deslizamiento despreciable (Almaguer-Carmenates & Guardado-Lacaba, 2006 p. 10).

2.2.7.2. Deslizamientos a través de una superficie circular

Los materiales de suelo laterítico se desplazan a través de una superficie de rotura curvilínea o cóncava. Generalmente la masa desplazada se divide en bloques o escalones los cuales experimenta un giro según un eje situado por encima del centro de gravedad de esta. El material de la cabecera de los escalones se inclina contra la ladera, generando depresiones paralelas a la corona del talud o ladera y a través de la cual se infiltran las aguas superficiales y pueden lograr reactivaciones. Como generalmente hay presencia de agua en estos tipos de movimientos en cortezas lateríticas, la parte frontal del cuerpo del deslizamiento evoluciona como una colada de suelo (Almaguer-Carmenates y Guardado-lacaba, 2006 p. 10).

2.2.7.3. Deslizamientos en cuña

Se llama rotura por cuña a aquella producida a través de dos discontinuidades dispuestas oblicuamente a la superficie del talud o ladera, con la línea de intersección de

ambas aflorando en la superficie del mismo y buzando en sentido desfavorable (Almaguer-Carmenates & Guardado-lacaba, 2006 p. 10).

2.2.7.4. Flujos y erosión de laderas

Estos se presentan en diferentes sectores de la región andina, esto se debe a que en estas zonas están conformado por materiales como rocas del batolito andino en el sector occidental, secuencias volcánicas tobáceas en el sector central, capas rojas sedimentarias distribuidas en el lado oriental, las cuales son muy susceptibles a la erosión hídrica (GEMMA, 2007 p. 12).

2.2.8. Movimientos complejos

Son los que agrupa las ocurrencias combinadas de deslizamientos-flujos, derrumbes-flujos, deslizamiento-reptación u otro movimiento en masa de carácter complejo (C. & Barrantes, 2007 p. 11).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Movimientos de masa

Son procesos gravitatorios que es producido por fenómenos naturales como sismos y lluvias intensas, estos fenómenos pueden producir movimientos en masa, que se encuentran mayoritariamente asociados a la susceptibilidad del terreno a ser afectado por desplazamientos frente a estos eventos desencadenantes (Rodríguez-Valdivia, et al. 2014 p. 25)

2.3.2. Desastre natural

Es un evento natural identificable en el tiempo y el espacio, en el cual una comunidad ve afectado su funcionamiento normal, con pérdidas de vidas y daños de magnitud en sus

propiedades y servicios, que impiden el cumplimiento de las actividades esenciales y normales de la sociedad (Wilches-Chaux, 2017 p. 3).

2.3.3. Riesgo

Cualquier fenómeno de origen natural o humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a ese fenómeno (Wilches-Chaux, 2017 p. 7).

2.3.4. Vulnerabilidad ante desastres naturales

Es el resultado de la combinación de la exposición a una amenaza, las condiciones de vulnerabilidad y capacidades o medidas insuficientes para reducir o hacer frente a las posibles consecuencias negativas, que a su vez, es entendida como las características y circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIDR), 2009 pp. 34-35).

La vulnerabilidad es la incapacidad de una comunidad para absorber, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, ósea su inflexibilidad o incapacidad para adaptarse a ese cambio, que para la comunidad constituye, por las razones expuestas, un riesgo (Wilches-Chaux, 2017 p. 7).

2.3.5. Vulnerabilidad natural

Todo ser vivo, por el hecho de serlo, posee una vulnerabilidad intrínseca determinada por los límites ambientales dentro de los cuales es posible la Vida, y por las exigencias internas de su propio organismo (Wilches-Chaux, 2017 p. 13).

2.3.6. Vulnerabilidad física

Se refiere especialmente a la localización de los asentamientos humanos en zonas de riesgo, y a las deficiencias de sus estructuras físicas para "absorber" los efectos de esos riesgos (Wilches-Chaux, 2017 p. 14).

2.3.7. Vulnerabilidad social

La vulnerabilidad social se refiere al nivel de cohesión interna que posee una comunidad. Una comunidad es socialmente vulnerable en la medida en que las relaciones que vinculan a sus miembros entre sí y con el conjunto social, no pasen de ser meras relaciones de vecindad física, en la medida en que estén ausentes los sentimientos compartidos de pertenencia y de propósito, y en la medida en que no existan formas de organización de la sociedad civil que encarnen esos sentimientos y los traduzcan en acciones concretas (Wilches-Chaux, 2017 p. 17).

2.3.8. Derrumbe

Es la caída brusca de bloques o masas rocosas que se desprenden del mato rocoso, ocasionando problemas en el lugar donde se produce este suceso, este fenómeno se da generalmente en afloramientos alterados (Serna-Quintana, 2011 p. 3).

2.3.9. Erosión

Es la remoción del suelo por agentes del medio físico, en el ámbito mundial constituye uno de los problemas ambientales más severos (Tlaxcala, 2007 p. 317). En tal sentido la erosión consiste en el desgaste y deterioro del suelo a través del cual se produce la remoción progresiva y selectiva de las partículas del mismo, debido a la acción individual

y/o combinada de los agentes climáticos (lluvia, viento o hielo), afectada por la biota (vegetación, actividad humana), y el relieve (pendiente: longitud, forma y grado de inclinación) actuando en el tiempo, sobre el recurso suelo (Toledo-Bruzual, 2013 p. 118).

2.3.10. Base de datos

Una base de datos de un sistema de Información es la representación integrada de los conjuntos de entidades instancia correspondiente a las diferentes entidades tipo del Sistema de Información y de sus interrelaciones. Esta representación informática (o conjunto estructurado de datos) debe poder ser utilizada de forma compartida por muchos usuarios de distintos tipos. En otras palabras, una base de datos es un conjunto estructurado de datos que representa entidades y sus interrelaciones, en la que su representación será única e integrada, a pesar de que debe permitir utilizaciones varias y simultáneas (Maegraith, 1968).

Se entiende por base de datos un conjunto de datos no redundantes, almacenados en un soporte informático, organizado de forma independiente de su utilización y accesible simultáneamente por distintos usuarios y aplicaciones (Qintas-Ripoll 2008 p. 10).

2.3.11. Sistema gestor de base de datos

Es un software que convierten el acceso a los datos y su gestión en una aplicación cerrada ("caja negra"), interponiéndose entre los usuarios y los ficheros, y haciéndose cargo de todos los problemas de explotación, mantenimiento y comprobación de los datos. De esta manera el usuario pierde de vista todos los detalles relativos al almacenamiento físico de los de los datos tratando con ellos sólo a través de un lenguaje conceptual sencillo (Qintas-Ripoll 2008 p.11).

2.3.12. Análisis espacial de datos

Es un conjunto de técnicas y modelos que utilizan explícitamente la referencia espacial de cada caso de datos. El análisis espacial requiere establecer supuestos o sacar conclusiones sobre los datos que describen las relaciones espaciales o las interacciones espaciales entre casos. Los resultados de cualquier análisis no serán los mismos con una reordenación de la distribución espacial de los valores o bajo una reconfiguración de la estructura espacial (Chorley, 2019). Por otro lado según (Goodchild & Haining, 2005 p. 177), afirman que el análisis de datos espaciales se refiere a aquellas ramas de análisis de datos en los que la referencia geográfica de los objetos contiene información importante. En muchas áreas de la recogida de datos, y en especial en algunas de las ciencias experimentales, los índices que distinguen los diferentes casos pueden intercambiarse sin pérdidas de información.

2.3.13. Interpolación

Se definen como un conjunto de herramientas y técnicas que sirven para analizar y predecir los valores de una variable distribuida en el espacio o en el tiempo de forma continua (Johnston, et al. 2001 p. 51).

2.3.13.1. IDW

Este método interpola los datos de una muestra dándole mayor peso a los valores que se ubican más cerca y menos a los lejanos (Rodríguez, 2000 pp. 5-6).

2.3.13.2. Kriging

Este método se caracteriza por tener en cuenta no sólo la distancia entre las muestras, sino también la estructura espacial de los datos, se centra en minimizar la varianza del error esperado (diferencia entre el valor real y el valor estimado), además de esto ofrece dos tipos de estimación: puntual o en bloque y permitir la incorporación de variables auxiliares, establece la calidad de la predicción en cada punto, mediante el cálculo de la respectiva varianza de la estimación [Valero], método que al compararlo con IDW presenta más propiedades para delimitar las áreas de predicción y de error (Rodríguez, 2000 p. 6).

2.3.13.3. Splines

Este método estima valores usando una función matemática que se encarga de minimizar la curvatura de la superficie total, en donde se ubican los datos puntuales para dar como resultado una superficie lisa que pasa exactamente a través de los puntos de entrada y reduce al mínimo la curvatura total de la superficie. El interpolador Spline se recomienda para estudios de caso donde las variables deriven de fenómenos como la temperatura (Jacobs, et al. 2010).

2.3.14. Evaluación multicriterio

Esta metodología ha sido ampliamente utilizada en estudios socio ambientales, en evaluación de riesgos naturales y en determinación de localización idónea para instalaciones de servicios (entre otras, aquellas que están vinculadas a la incorporación de servicios en educación). La forma en que opera es a través de la selección de objetivos que agrupan las variables presentes de manera similar a una factorización de conjunto de datos.

Para ello, las publicaciones científicas indican, de forma congruente y consistente, que los marcos teóricos que instrumentalicen la definición de los objetivos deben ser robustos, puesto que en ellos se sostiene la adecuada operación y entendimiento de los resultados en las unidades de análisis territoriales versus los educacionales (SIDEROV, 2005).

2.3.15. SIG en movimientos de masa

Los SIG aplicado en los movimientos de masa constituyen una adecuada herramienta al permitirnos trabajar con el análisis cruzado de capas, a través de operaciones de geo procesamiento en formato raster y la manipulación de sus atributos, en la que el análisis de variables dependen ampliamente del conocimiento y experiencia por parte de los investigadores que son los que deciden que parámetros son importantes a tomar en cuenta para la generación de movimientos de laderas, y qué pesos atribuirles. Dependiendo del nivel de detalle, se puede utilizar varios mapas de entrada, entre los cuales los más utilizados son: mapa geológico, geomorfológico, hidrogeológico, de pendientes, cobertura vegetal, uso de suelos, etc. (Obregón & Lara, 2013 p. 52).

2.3.16. Factores condicionantes y detonantes para los movimientos en masa

2.3.16.1. Precipitación

La precipitación es factor externo detonante que desencadena un movimiento en masa, debido a que la lluvia ejerce presión de poros o por la pérdida de componente de cohesión aparente (Aristzábal, et al. 2016 p. 33).

2.3.16.2. Geología

Las condiciones geológicas en los movimientos de masa determinan la susceptibilidad a los deslizamientos. Los planos de estratificación, discontinuidades o zonas de contacto de estructuras geológicas, se convierten con frecuencia en potenciales superficies de fallas del cuerpo deslizante. La composición litológica determina las propiedades físico mecánicas de las rocas y por consiguiente su susceptibilidad al desarrollo de los deslizamientos. La presencia de rocas muy foliadas con planos de debilidad facilita la inestabilidad de las laderas (Cueto-Gil, et al. 2019 p. 14).

2.3.16.3. Pendiente

Los procesos de laderas están controlados por la fuerza de gravedad y mientras mayor sea la pendiente y la posición hipsométrica del cuerpo rocoso mayor será la susceptibilidad a deslizarse (Cueto-Gil ,et al. 2019 p. 14).

2.3.16.4. Cobertura vegetal

Es una clase de las coberturas de la tierra que corresponde al manto vegetal de un territorio determinado. Es muy importante por su capacidad de asimilar la energía solar, por ser productor primario de casi todos los ecosistemas, y por la relación con los otros componentes del subsistema biofísico como el control de la erosión, la estabilización de pendientes, control hídrico, definición de microclimas locales y hábitat de especies (Castañeda, et al. 2006 pp. 4-5).

2.3.16.5. Uso actual de la tierra

El término uso hace referencia a los tipos de cobertura desarrollados por el hombre, como la agricultura, la ganadería, el uso urbano o el recreativo, las condiciones socioeconómicas y culturales de un núcleo poblacional son las que determinan las formas de aprovechamiento de los recursos básicos del territorio, y a su vez estos recursos influyen directamente en la sociedad que hace uso de ello (Rico-Calvano & Rico-Fontalvo, 2019 p. 213).

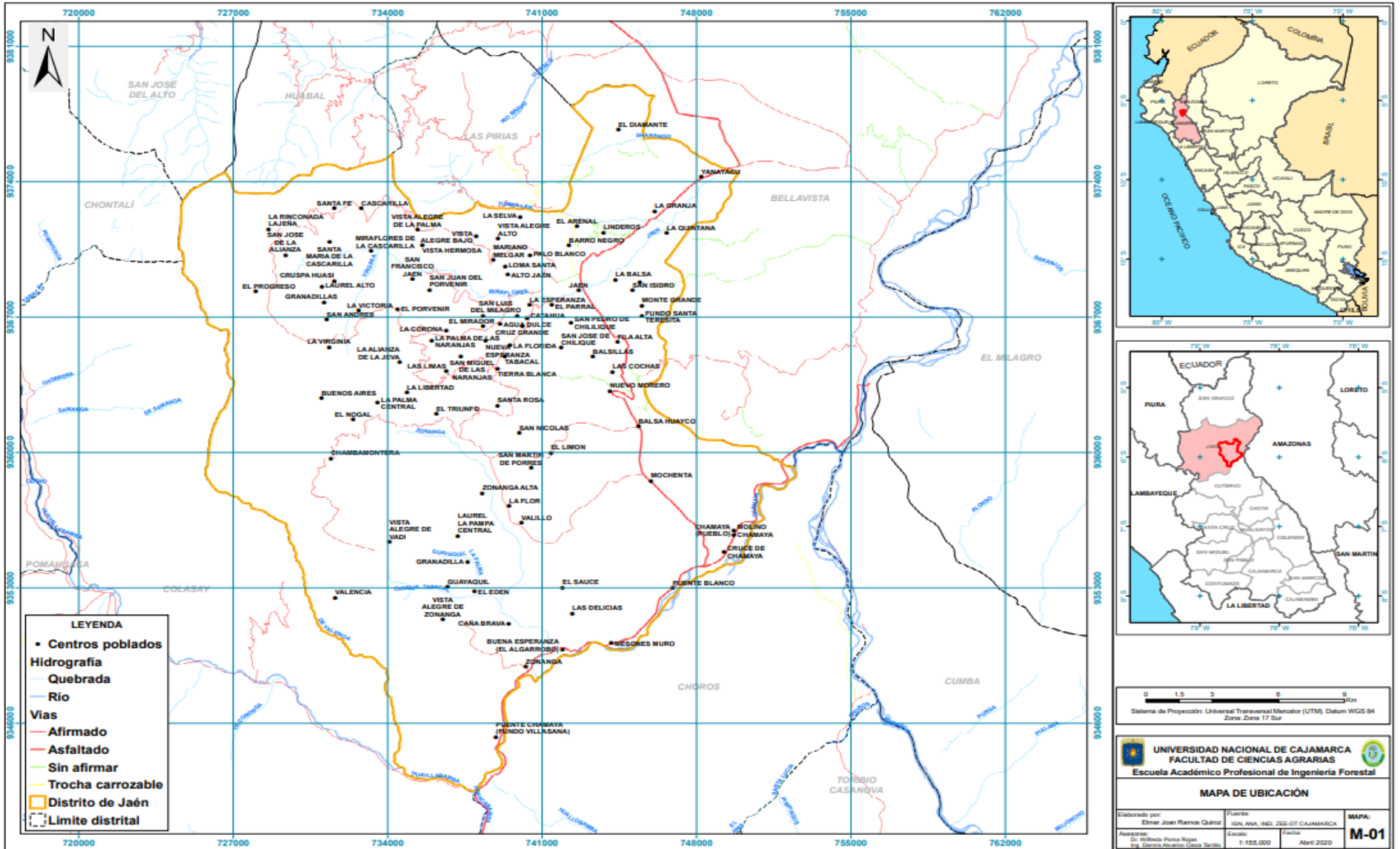
CAPÍTULO III . MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

Esta investigación se realizó en el ámbito del distrito del Jaén perteneciente a la provincia de Jaén del departamento de Cajamarca- Perú, el cual tiene una extensión de 55 649.48 ha, geográficamente se ubica entre las coordenadas 9378985 y 9342470 m Norte; 724531 y 752506 m Este. El distrito comprende los límites altitudinales entre 420 y 3220 msnm, el mismo que por el norte limita con los distritos de San José de Alto, Huabal y Las Pirias, por el este limita con el distrito de Bellavista, por el sur con los distritos de Choros y Colasay y por el oeste limita con el distrito de Chontali. La Figura 01 representa la ubicación geográfica del área de estudio.

Figura 1.

Ubicación del distrito de Jaén.

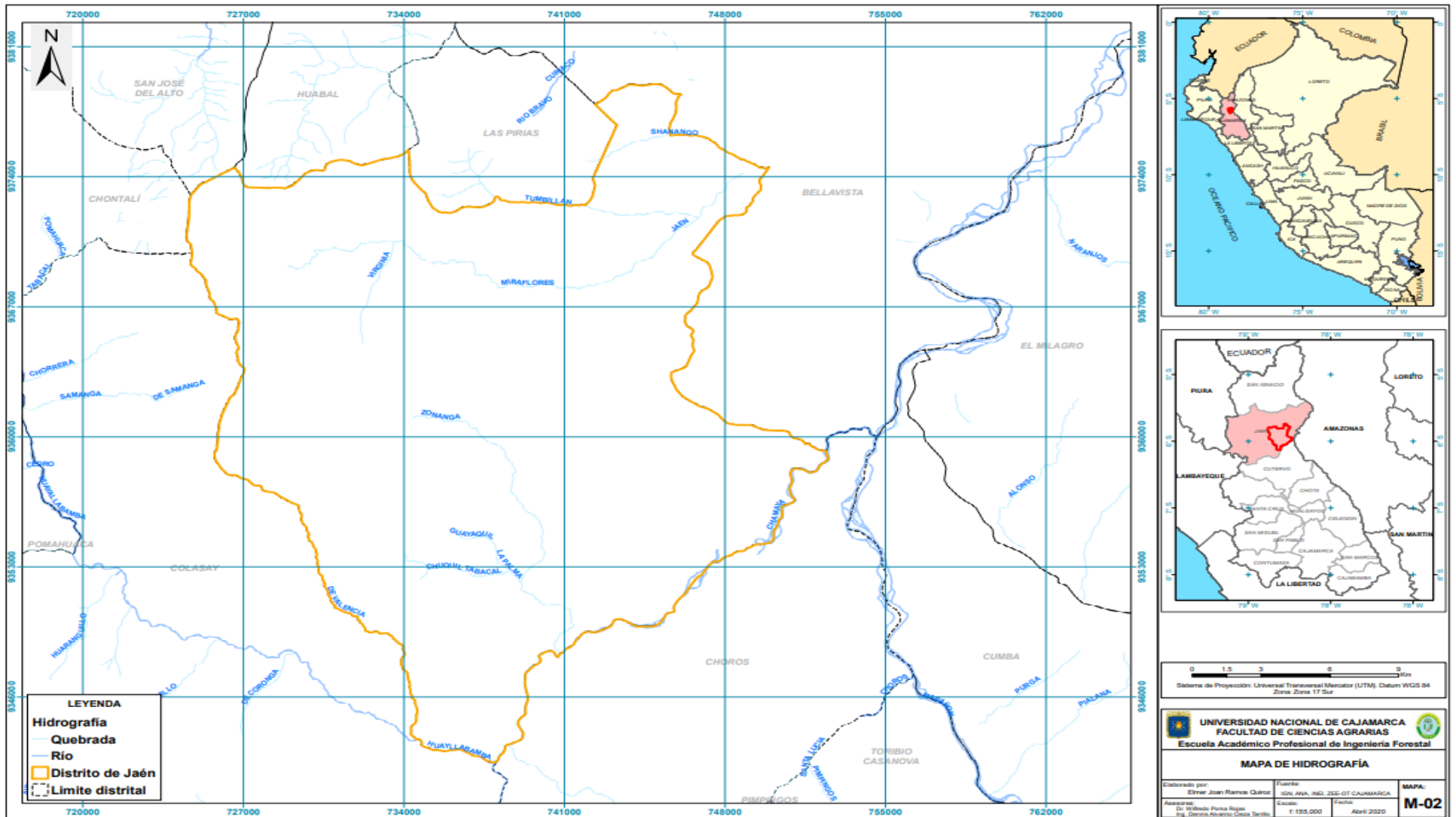


3.2. Hidrología

La hidrología (Figura 2), del distrito del Jaén está conformada por las quebradas Tumbilla, Shanango, Jaén, Miraflores, Virginia, Zonanga, Guayaquil, La Palma y Chuquil Tabacal; además existen 2 ríos los cuales son el río Chamaya y el río Huayllabamba.

Figura 2.

Hidrografía del *distrito* de Jaén.



3.3. Metodología

Para la realización de esta investigación consistió en el desarrollo de 3 fases las cuales son: fase de gabinete, fase de campo, y fase final de gabinete.

3.3.1. Fase de gabinete

En esta fase se realizó la recopilación y revisión de la información temática (Tabla 1), en la que se obtuvo información descriptiva, cartográfica y analítica a través de los geoservidores del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Zonificación Ecológica Económica- Cajamarca (ZEE), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Presidencia de Consejos de Ministros (PCM), Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

Asimismo, se implementó las herramientas operativas correspondientes a los Sistemas de Información Geográfica y Teledetección.

En el desarrollo 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	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
Geomorfología	1: 100 000	Zonificación Ecológica Económica - Cajamarca
Precipitación	0.1° * 0.1°	SENAHMI (PISCO)
Curvas de nivel	1: 100 000	Zonificación Ecológica Económica - Cajamarca

3.3.1.1. Consolidación y sistematización de la información

Luego de recopilar la información espacial de diferentes instituciones, esta fue estandarizada y consolidada con el fin de eliminar las inconsistencias geométricas y tabulares de cada capa necesaria para el modelamiento de Movimientos en Masa, posteriormente esta fue almacenada en una base de datos (Geodatabase). Asimismo, la información temática se uniformizó a una misma escala 1: 100 000 y Sistema de Referencia Espacial WGS 84, Zona 17 Sur.

3.3.1.2. Consolidación y generación de la información temática.

En esta etapa se generaron y actualizaron los mapas temáticos

3.3.1.2.1. Pendientes

El mapa de pendientes se obtuvo a partir de las curvas de nivel obtenidas de la ZEE-Cajamarca, en la que las curvas de nivel fueron convertidas a Modelos de Elevación Digital (DEM), para lo cual se siguió lo siguientes pasos: 1) Conversión de curvas de nivel a TIN con la herramienta 3D Analyst Tools > Data Management > Tin > Create Tin, 2) Convertir de TIN a DEM con la herramienta 3D Analyst Tools > Conversión > From TIN > TIN to Raster, 3) Conversión de DEM a Pendientes mediante

la herramienta 3D Analyst Tools > Raster Surface > Slope, se generó las pendientes en valores de porcentaje (%), 4) Reclasificación 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 (MINAGRI, 2009, p. 2), ello mediante la herramienta 3D Analyst Tools > Raster Reclass > Reclassify. 5) Con la herramienta Conversion Tools > From Raster > Raster to Polygon se convirtió este de formato raster a vectorial.

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
>75	Extremadamente empinada

Fuente: Reglamento de clasificación de Tierras por capacidad de Uso Mayor D.S. N°

017-2009-AG

3.3.1.2.2. Precipitación

El mapa de precipitación se obtuvo a partir del raster Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations (PISCO), disponible

en (<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAHMI/.HSR/.PISCO/index.html?Set-Language=es>), generado por SENAMHI en una resolución angular $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ con datos históricos de 1981 -2016, con este fin se generaron 40 estaciones que servirán para la extracción de los datos (Tabla 3 y figura 14).

Tabla 3

Precipitación promedio anual.

Estación Meteorológica	Coordenadas			
	Norte	Este	z	Pp
Estación 1	736803.53	9377797.21	1354	1465.66
Estación 2	751327.50	9382698.51	881	1180.02
Estación 3	725552.21	9375651.40	2157	1892.04
Estación 4	730105.54	9377344.34	1659	1673.95
Estación 5	739714.88	9374656.21	1396	1358.26
Estación 6	732080.54	9372901.11	1892	1771.95
Estación 7	723614.58	9368689.58	2684	1953.72
Estación 8	729626.15	9367175.95	2155	1756.23
Estación 9	736007.59	9370136.61	1495	1571.6
Estación 10	748797.48	9366787.99	773	1210.09
Estación 11	725213.36	9363611.43	2570	1945.75
Estación 12	741965.33	9366357.38	1118	1576.64
Estación 13	733937.40	9363053.57	2314	1987.86
Estación 14	748713.73	9361950.03	838	1415.21
Estación 15	727670.64	9360253.98	2433	1958.23
Estación 16	744911.14	9371951.88	671	1134.81

Estación 17	744821.86	9379951.84	760	1166.82
Estación 18	730182.66	9346454.57	845	1615.79
Estación 19	743046.68	9361866.76	989	1763.41
Estación 20	737936.55	9367395.86	1387	1919.99
Estación 21	727777.98	9355629.86	2015	2016.81
Estación 22	733458.82	9358963.25	2723	1987.86
Estación 23	738670.17	9359385.79	1706	1763.41
Estación 24	743036.43	9357601.73	1042	1751.38
Estación 25	748576.42	9358212.06	619	1408.04
Estación 26	753083.53	9358681.55	665	1123.36
Estación 27	730594.93	9350277.67	1535	1746.08
Estación 28	736041.02	9354643.93	1453	1877.27
Estación 29	736463.56	9350888.01	1710	1748.27
Estación 30	741487.11	9354972.58	1560	1751.38
Estación 31	745947.27	9355019.53	748	1408.04
Estación 32	741534.06	9351967.84	1410	1561.23
Estación 33	747308.79	9351028.86	648	1451.78
Estación 34	741768.80	9345160.22	1362	1517.3
Estación 35	736557.46	9346897.34	1539	1557.42
Estación 36	734679.50	9342390.23	1104	1567.24
Estación 37	727543.24	9371498.65	2083	1771.95
Estación 38	748717.27	9376287.45	639	1166.82
Estación 39	731956.45	9355911.56	1967	2016.81
Estación 40	738998.81	9342484.13	662	1517.3

Fuente: (SENAMHI, 2016)

3.3.1.2.3. Cobertura vegetal

El mapa de cobertura vegetal se obtuvo a partir de una imagen *Landsat8* (Tabla 4 y figura 13), la cual el ámbito de estudio fue cubierto por 1 escena (*Path* 009 y *Row* 064), esta fue seleccionada y descargada de la plataforma de *Earthexplorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), los principales filtros para la selección de la imagen fueron: los meses secos abril - junio y una nubosidad mínima o nula en el ámbito de estudio.

Se uso de la imagen landsa8 por la disponibilidad de cubrir el área de estudio sin nubosidad, actualmente se cuenta con imágenes Sentinel y Landsat9, en el caso de Sentinel no se encontró una imagen limpia de nubosidad, landsat9 aun no dispone de imágenes liberadas en el área de estudio.

Tabla 4

Descripción de la imagen satelital.

ID	Satélite	Fecha
LC08_L1TP_009064_20210623	Landsat8	23/06/2021

Para digitalizar mejor la cobertura vegetal se realizó algunos procesos que permitan aumentar la nitidez de la imagen. El proceso realizado se detalla a continuación.

- Conversión de Nivel digital a Radiancia

Las imágenes satelitales Landsat8, consisten en una serie cuantificada, calibrada y escalada de niveles digitales ND, los cuales representan los datos de una

imagen multiespectral 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 los valores de reflectancia y/o radiancia en el techo de la atmosfera TOA.

Este proceso se ha hecho usando la información contenida 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)
- A_L: Banda; es el factor aditivo de escalado específico obtenido del metadato (RADIANCE_ADD_BAND_x, donde x es el número de la banda)
- Q_{cal}: 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 pixeles 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:

$P(\lambda)$: Reflectancia al tope de la atmosfera

L : Radiancias

D : Distancia tierra-sol

$E_i(\lambda)$: Irradiancia solar

Q : Ángulo cenital solar

- Fusión de imágenes

El método de refinado pancromático IHS convierte la imagen multispectral de RGB a intensidad, tono y saturación. La intensidad de baja resolución se ve reemplazada por la imagen pancromática de alta resolución. Si la imagen multispectral contiene una banda infrarroja, se toma en cuenta sustrayéndola usando un factor de peso

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 las unidades de cobertura vegetal metodología Corine Land Cover.

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	Área	
			Área	%
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	693.58	1.25
	2.1 Áreas agrícolas heterogéneas	2.1.1 Cultivos transitorios	2329.20	4.19
2. Áreas Agrícolas	2.3 Pastos	2.3 Pastos	178.92	0.32
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	27878.54	50.10
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo	430.23	0.77
		3.1.2. Bosque abierto bajo	4182.52	7.52
		3.1.3. Bosque denso alto	329.47	0.59

	3.1.4. Bosque abierto alto	939.39	1.69
3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.2 Arbustal 3.3.4 Vegetación arbustiva / herbácea	18191.32 496.31	32.69 0.89

Descripción de las unidades de cobertura vegetal, digitalizadas en el área de estudio.

Tejido urbano continuo: Está constituido por el casco urbano, abarcando un área total de 693.58 ha, que representa el 1.25 del total. Esta unidad de uso actual incluye; centro de aglomeraciones, casas, áreas deportivas, áreas verdes urbanas, edificios, cementerios, infraestructura vacacional y recreativa, edificios y áreas de recreación.

Cultivos transitorios: Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año, llegando incluso a ser de sólo unos pocos meses, la mayor parte de las hortalizas y algunas especies de flores a cielo abierto. Tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo. Esta unidad de cobertura vegetal y uso actual abarca un área de 2329.20 ha equivalente al 4.19 % del total del área de estudio.

Pastos: Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dominada principalmente por las familias Poaceae y Fabaceae, dedicadas a pastoreo permanente por un periodo de 2 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 hace. Esta unidad de cobertura abarca un área de 178.92 ha, equivalente al 0.32 %.

Áreas agrícolas heterogéneas: Son unidades que se reúnen dos o más clases de cobertura agrícolas y naturales. Están, dispuestas en un patrón intrincado de mosaicos geométricos que hace difícil su separación en coberturas individuales; los arreglos geométricos están relacionados con el tamaño reducido de los predios, las condiciones locales de los suelos, las prácticas de manejo utilizadas y las formas locales de tendencia de la tierra.

Bosque denso bajo: esta unidad de cobertura vegetal ocupa un área de 420.23 ha equivalente al 0.77 %. La fisonomía de esta vegetación se caracteriza por ser bosques altamente diversos de estructura baja a mediano que se desarrollan sobre las montañas.

Bosque abierto bajo: se encuentran unidades de arbustos, principalmente helechos, helechos arbóreos de altura menor a 5 metros. Esta unidad ocupa un área de 4182.52 ha equivalente al 7.52 %

Bosque denso alto: Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo, cuya área de cobertura arbórea representa más de 70 % del área total de la unidad, con altura del dosel superior a cinco metros, pero inferior a 15 metros. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999). Esta unidad de cobertura se encuentra ocupando un área de 329.47 ha que equivale al 0.59 %.

Bosque abierto alto: Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo, con altura del dosel superior a cinco metros e inferior a 15 metros, y cuya área de cobertura arbórea representa entre 30 % y 70 % del área total de la unidad. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales. Esta unidad de cobertura vegetal abarca un área de 939.39 ha equivalente al 1.69 % del distrito de Jaén.

Arbustal: Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso, con una altura entre 0,5 y 5 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida (FAO, 2001). Comprende un área de 18191.32 ha equivalente al 32.69 %,

Vegetación arbustiva/ Herbácea: Estas comprenden áreas de cultivo que están asociados con arbustos/herbazal. Esta unidad tiene un área de 496.31 ha, equivalente al 0.89 %.

3.3.1.3. Diseño de la base de datos geoespacial – Geodatabase

Dentro del sistema de información geográfica se construyó la base de datos geoespaciales teniendo en cuenta las normas ISO 19100, esto se realizó con la finalidad de estandarizar la denominación de la información geográfica. Las Normas ISO utilizadas son 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

Finalmente se definió el Sistema de Proyección que se usará para la Base de datos, 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

3.3.1.4. Generación del Modelo de Movimientos de Masa

La generación del modelo de Movimientos en Masa se generó a partir de 5 variables: pendientes, geomorfología, precipitación, geología y cobertura vegetal, para el cálculo e integración de los factores involucrados se utilizó la siguiente formula:

$$MMM = A * Pen + B * Geo + C * CV + D * Pre + E * Geom$$

Dónde:

Pen = Pendiente en %

Geo = Geología

CV = Cobertura vegetal

Pre = Precipitación

Geom = Geomorfología

Para la obtención del Modelos de Movimientos en Masa se utilizó porcentajes de participación de las variables lo cuales en la ecuación están representados por A, B, C, D, E.

La ecuación de integración ponderativa presentada para el análisis de vulnerabilidad física fue trabajada por Ochoa Janampa (2014) en el análisis realizado para la cuenca hidrográfica Jequetepeque.

3.3.1.5. Modelamiento geoespacial

Este fue realizado mediante la estructura del modelo conceptual, el cual nos permitió integrar y especializar las diferentes variables que nos permitieron definir la propuesta cartográfica del modelo a movimientos de masa, logrando representar los espacios con mayor o nivel de peligro de acuerdo a las amenazas existentes.

3.3.1.6. Valoración de las unidades de cada variable

La valoración de las unidades de cada variable se realizó teniendo en cuenta los atributos condicionantes que producen los movimientos de masas; de estos depende el grado de vulnerabilidad, para lo cual se asigna valores numéricos con el fin de determinar la vulnerabilidad del área estudiada.

3.3.1.7. Integración ponderativa de las variables

Se realizó asignando un determinado grado de participación (%) a cada una de las variables la cual representa el grado de incidencia de estas, en la que se consideró las características del distrito y el nivel de escala de la información disponible, estudios relacionados y el conocimiento tanto del investigador como del asesor las mismas que fueron complementadas con las verificaciones en campo.

3.3.1.8. 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 a cada atributo en una escala del 1 al 3, dependiendo del grado de influencia sobre los movimientos de masa, para posteriormente jerarquizarlos en niveles alto, medio y bajo. Las valoraciones se muestran en la tabla 6.

Tabla 6

Valoración para el modelo de Movimientos de Masa.

Descripción	Valoración
Bajo	1
Medio	2
Alto	3

3.3.1.9. 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.

3.3.1.9.1. Pendiente

Los valores de calificación del factor pendiente (Tabla 7 y figura 15), han sido establecidos en función a los rangos de pendiente en el distrito. Toma importancia en cuanto a la relación que tiene con el grado de resistencia de los suelos, frente a la ocurrencia de deslizamientos y en procesos de erosión del suelo, el resultado se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7.

Valoración Pendientes para el modelo de Movimientos en Masa.

Pendiente %	Descripción	Valoración pendiente
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
50-75	Muy empinada	3
>75	Extremadamente empinada	3

3.3.1.9.2. Geología

Esta variable permitirá estudiar las características que presentan los diferentes tipos de rocas que conforman las diversas formaciones geológicas, por lo que conocer las propiedades físicas y químicas de cada tipo de roca nos permite identificar las formaciones geológicas existentes en el área de estudio, en tal sentido conocer la geología es fundamental, debido a que nos permite entender el relieve y así poder saber el comportamiento de las rocas con respecto a las diferentes factores de la naturaleza.

Tomando en cuenta todas estas características, se llevó a cabo la valoración de los atributos que pertenecen a esta variable teniendo (Tabla 8 y figura 16).

Tabla 8*Valoración geológica para el modelo de movimiento de masa.*

Simbología	Formación geológica	Litología	Valoración Geología
Ki-chu	Formación Chulec	Calizas, lutitas, margas	2
Ki-tgd	Tonalita-Granodiorita	Tonalita Granodiorita	2
Ks-ca	Formación Cajamarca	Calizas, margas	2
Ks-ce	Formación Celendín	Calizas, lutitas, margas	2
Ks-pu	Grupo Pulluicana	Calizas, lutitas, margas	2
Ks-qm	Formación Quilquiñan/Mujarrun	Calizas, lutitas, margas	2
Ji-o	Formación Oyotun	Andesita	3
Ki-g	Grupo Goyllarisquizga	Cuarcitas, areniscas	3
Nm-be	Formación Bellavista	Conglomerados, areniscas, lutitas	3
Qp-ta	Formación Tamborapa	Conglomerados, areniscas, lutitas	3
Qp-fa	Depósitos Fluvioaluviales	Gravas, arenas, arcillas, limos	3

3.3.1.9.3. Cobertura Vegetal

La cobertura vegetal es la cobertura biofísica de un determinado territorio, está conformada por los matorrales, los cultivos agrícolas, los pastizales y los bosques. Su grado de importancia depende del tipo y densidad de cobertura vegetal lo cual influye en la erosión de los suelos que se encuentran sobre todo en pendientes pronunciadas; por lo que un suelo con escasa vegetación favorece el desplazamiento y/o la velocidad del agua de escorrentía superficial producto de las fuertes precipitaciones pluviales,

ocasionando 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 tal sentido, la valoración de los atributos de esta variable se ha realizado en función al tipo de cobertura vegetal existente, siendo el resultado el que se muestra en la tabla 9 y figura 17:

Tabla 9

Valoración de la cobertura vegetal para el modelo de movimientos de masa.

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	Valoración Cobertura Vegetal
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	1
	2.1 Cultivos transitorios	2.1 Cultivos transitorios	2
2. Áreas Agrícolas	2.3 Pastos	2.3 Pastos	2
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo	1
		3.1.2. Bosque abierto bajo	1
		3.1.3. Bosque denso alto	1
		3.1.4. Bosque abierto alto	1
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.2 Arbustal	2
		3.3.4 Vegetación arbustiva / herbácea	2

3.3.1.9.4. Precipitación

La precipitación es una variable que incide directamente sobre los deslizamientos, derrumbes, inundaciones y huaycos; por lo que el grado de destrucción de estos depende de la intensidad y frecuencia de las precipitaciones. Según lo mencionado y en función a la cantidad de agua de lluvia que cae a la superficie de la tierra, se asignó valores a los respectivos atributos conforme se muestra en la tabla 10 y figura 18:

Tabla 10

Valoración de la precipitación para el modelo de movimientos de masa.

Precipitación mm	Área		Valoración de precipitación
	ha	%	
1150 - 1200	1722.09	3.09	1
1200 - 1250	1723.52	3.10	1
1250 -1300	945.50	1.70	1
1300 - 1350	1009.15	1.81	1
1350 - 1400	1124.96	2.02	1
1400 - 1450	1523.53	2.74	2
1450 -1500	1662.11	2.99	2
1500 - 1550	2035.69	3.66	2
1550 - 1600	2357.97	4.24	2
1600 -1650	4873.3	8.76	2
1650 - 1700	2857.44	5.13	2
1700 - 1750	2736.34	4.92	3

1750 - 1800	3349.04	6.02	3
1800 - 1850	7887.99	14.17	3
1850 - 1900	4664.23	8.38	3
1900 - 1950	4623.31	8.31	3
1950 - 2000	10553.3	18.96	3

3.3.1.9.5. Geomorfología

Las características morfológicas del terreno influyen significativamente en los movimientos de masa, por lo que según como sea el comportamiento de esta variable, dependerá el aumento o disminución de su equilibrio. En tal sentido una topografía abrupta, con valles profundos, alto gradiente hidráulico, relieve escarpado, red de drenaje densa y encajada, formas acarcavadas y laderas con morfología cóncava, es indicativa de zonas con alto potencial de inestabilidad. De este modo, tomando en cuenta la forma del relieve que presenta la superficie territorial se asignó valores a los respectivos atributos; el resultado se muestra en la tabla 11 y figura 19:

Tabla 11

Valoración geomorfológica para el modelo de movimiento de masa.

Paisaje	Geomorfología	Simbología	Valoración Geomorfológica
Planicie	Complejo de terrazas inundable y no inundable	Ct-ini	1
	Colina alta empinada en rocas del jurásico inferior	CAE-rji	2

	Colina alta empinada en rocas del cretáceo inferior	CAE-rci	2
	Colina alta moderadamente empinada en rocas del neógeno	CAME-rn	2
	Colina alta empinada en rocas del jurásico inferior y del cuaternario	CAE-rjic	2
	Colina baja fuertemente inclinada en rocas del neógeno	CBFI-rn	3
Colinoso	Colina baja moderadamente inclinada en rocas del cuaternario	CBMI-rc	1
	Colina baja fuertemente inclinada en rocas del neógeno	CBFI-rn	3
	Colina alta fuertemente empinada en rocas del jurásico inferior	CAFE-rji	3
	Colina baja fuertemente inclinada en rocas del cretáceo superior	CBFI-rsc	3
	Montaña fuertemente empinada en rocas del jurásico inferior	MFE-rji	3
	Ladera de montaña empinada en rocas intrusivas y del cretáceo superior	LME-rjics	3
Montañoso	Montaña fuertemente empinada en rocas del jurásico inferior	LMFE-rji	3
	Ladera de montaña empinada en rocas intrusivas	LME-ri	3
	Ladera de montaña empinada en rocas del jurásico inferior y del cretáceo superior	LME-rjics	3

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

Se asignó un grado de participación (%) a cada una de las variables consideradas, dependiendo del grado de incidencia que tienen estas en la generación de peligros, para lo cual se consideró las características de la cuenca y la escala de la información disponible. Posteriormente, la valoración de atributos y la integración ponderativa de variables, fueron automatizados en modelos geoespaciales mediante la herramienta Model Builder del ArcGis, los cuales fueron ejecutados con diferentes alternativas de ponderación; es decir, los grados de participación fueron ajustados a fin de aproximar los resultados a la realidad del territorio.

3.3.1.11. Modelo de Movimientos en Masa

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

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

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 este análisis, la cobertura vegetal es considerada como la variable de mayor influencia sobre peligros naturales, a la cual se asignó una ponderación del 25 %, en segundo lugar, se consideró a las variables de la pendiente, precipitación y geología, todas ellas con una ponderación del 20 % y por último a la geomorfología con una ponderación del 15 %. La ponderación de todas estas variables (Tabla 12), nos permitió determinar el grado de vulnerabilidad que presenta el distrito del Jaén ante los movimientos de masa.

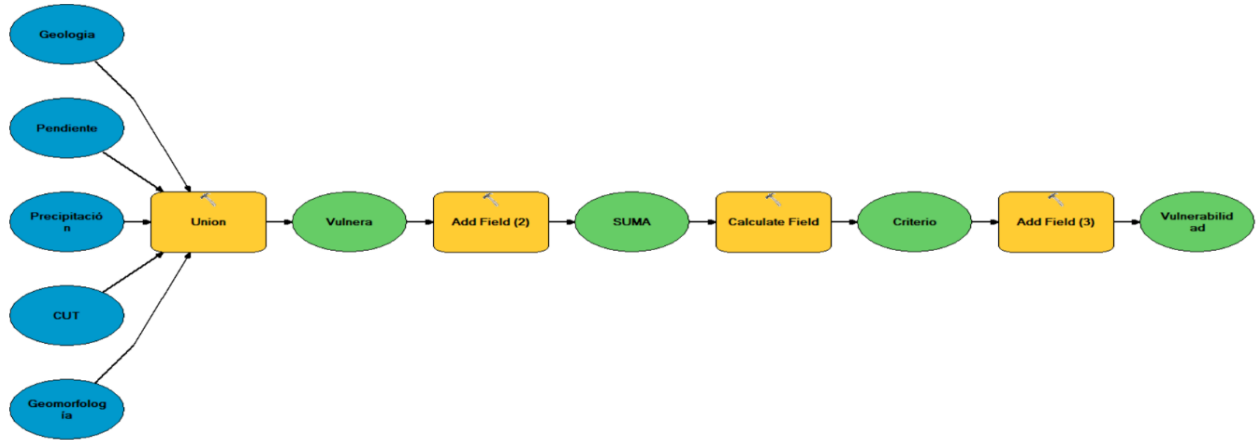
Tabla 12

Ponderación de variables para el modelo de movimiento de masa.

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

Figura 3

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



3.3.2. Fase de campo

En esta fase se contrastó la información obtenida de las áreas obtenidas en la fase inicial de gabinete, para lo cual se verificó In Situ las variables consideradas para el modelo de movimiento de masa, lo cual permitió identificar las zonas más vulnerables y las menos vulnerables del distrito del Jaén, las mismas que fueron georreferenciadas con la finalidad de validar la información y obtener los resultados finales.

3.3.3. 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, para esto se consolidó y sistematizó la información obtenida en la fase inicial de gabinete y en la fase de campo. Posterior a esto se generaron y actualizaron los mapas temáticos de pendientes, geomorfología, cobertura vegetal, precipitación y geología.

CAPÍTULO IV . RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Modelamiento geoespacial de Movimientos de Masa

4.1.1. Mapa de pendientes

Este mapa fue generado teniendo en cuenta la clasificación de los 7 rangos de pendientes establecidos en la guía de clasificación de los parámetros edáficos (MINAGRI, 2009 p. 12). La distribución espacial de las pendientes obtenidas para el distrito de Jaén se muestra en la tabla 13, figura 4, en la que se encuentra la superficie en hectáreas y el porcentaje que representa con respecto a el área total del distrito.

Se obtuvo que, en el distrito de Jaén la pendiente que más predomina es la empinada, cuya extensión es de 32321.01 ha (58.08 %), seguido de la pendiente muy empinada con 12782.14 ha (22.97 %), luego se encuentra la pendiente extremadamente empinada con 3554.12 (6.395 %), posteriormente encontramos a la pendiente moderadamente empinada con 3 263.09 ha (5.86 %), seguido se encuentra la pendiente ligeramente empinada a moderadamente empinada con 2059. 28 ha (3.70 %) y por último encontramos a las pendientes que corresponden a nula o casi a nivel y ligeramente inclinada con 958.59 ha (1.72 %) y 711.25 ha (1.28 %) respectivamente.

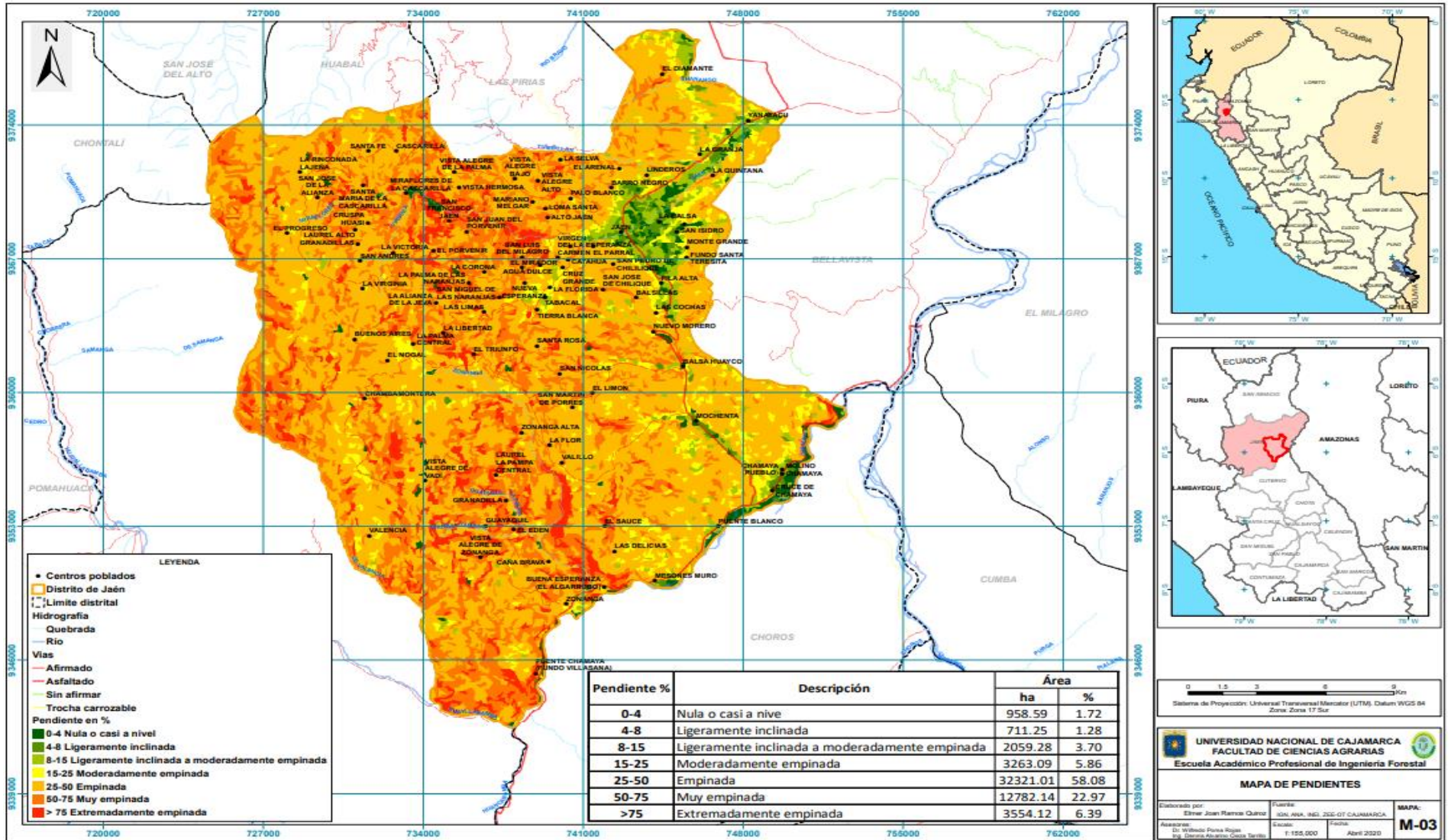
Tabla 13*Resultados del mapa de pendientes.*

Pendiente %	Descripción	Área		Valoración pendiente
		ha	%	
0-4	Nula o casi a nivel	958.59	1.72	1
4-8	Ligeramente inclinada	711.25	1.28	1
8-15	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada	2059.28	3.70	2
15-25	Moderadamente empinada	3263.09	5.86	2
25-50	Empinada	32321.01	58.08	3
50-75	Muy empinada	12782.14	22.97	3
>75	Extremadamente empinada	3554.12	6.39	3

Según los resultados obtenidos, en el distrito del Jaén predominan las pendientes cuya valoración es de 3 (empinada, muy empinada y extremadamente empinada), estas pendientes ocupan el 87.44 % del distrito, lo que indica la gran parte del distrito son áreas con relieve accidentado. Según (Mergili, et al. 2015 p. 119) indica que las áreas en donde existe pendientes pronunciadas son las más susceptibles a los movimientos de masa, debido que estas favorecen los procesos erosivos provocados por el agua, los cuales conllevan a la ocurrencia de desastres naturales. Por lo que en este distrito la influencia de esta variable es significativa para el modelamiento de masa, debido a que la gran parte del territorio tiene pendientes empinadas y extremadamente empinadas.

Figura 4

Mapa de pendientes del distrito de Jaén



4.1.1. Mapa de Geología

En la tabla 14 y figura 5, se muestra los resultados de las formaciones geológicas que se encuentran en el distrito del Jaén y la extensión que abarca cada una de ellas; se determinó que este distrito está conformado por once formaciones geológicas, estas son la formación chulec (5.13 %), tonalita-granodiorita (13.32 %), formación Cajamarca (0.41 %), formación Celendín (0.44 %), Grupo Pulluicana (9.33 %), formación Quilquiñan/Mujarrun (2.84 %), Formación Oyotun (35.76 %), Grupo Goyllarisquizga (9.51 %), Formación Bellavista (2.35 %), Formación Tamborapa (13.45 %) y los depósitos fluvioaluviales (7.46 %).

Tabla 14

Resultados del mapa de Geología.

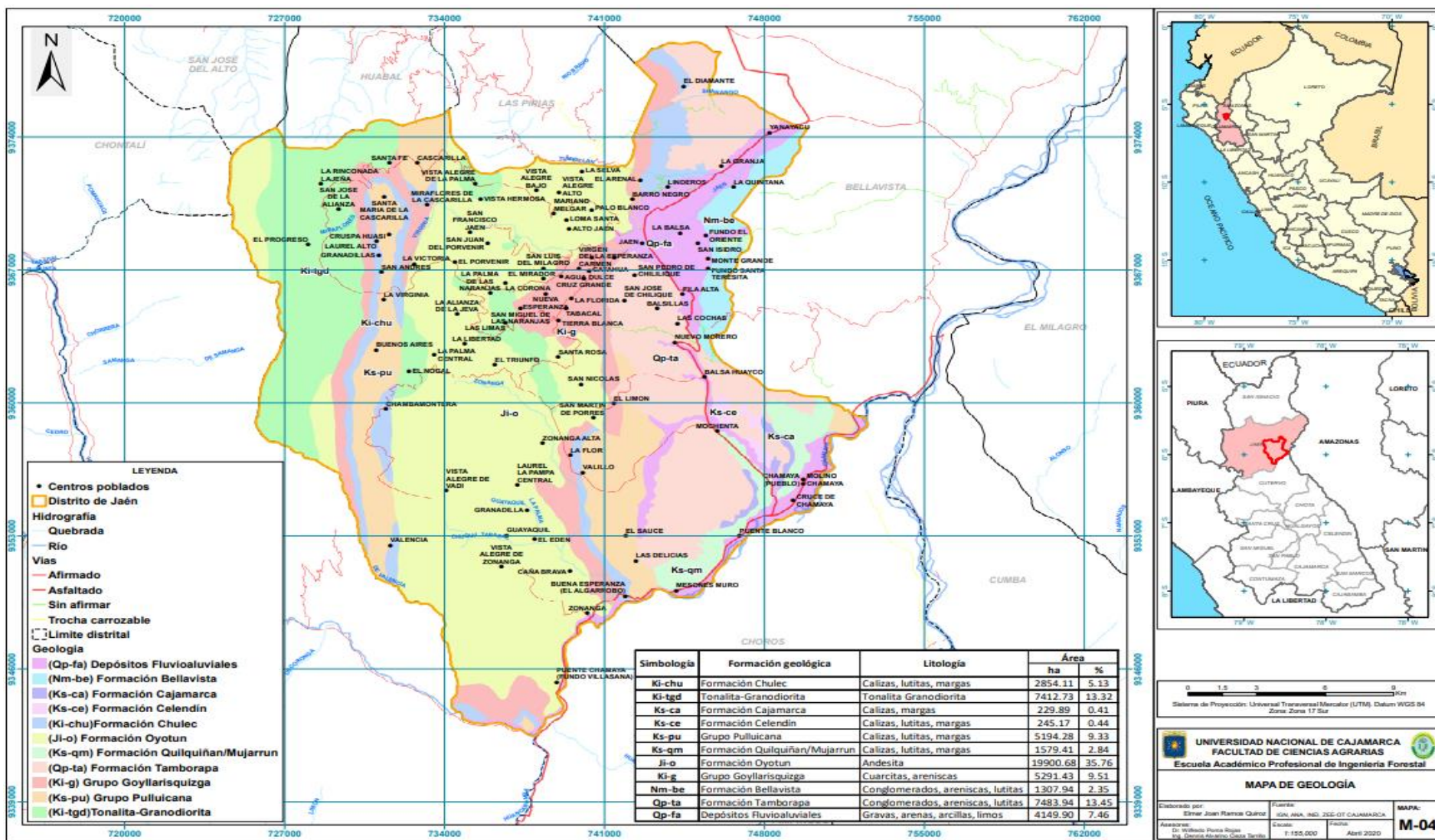
Simbología	Formación geológica	Litología	Área		Valoración Geología
			ha	%	
Ki-chu	Formación Chulec	Calizas, lutitas, margas	2854.11	5.13	2
Ki-tgd	Tonalita-Granodiorita	Tonalita Granodiorita	7412.73	13.32	2
Ks-ca	Formación Cajamarca	Calizas, margas	229.89	0.41	2
Ks-ce	Formación Celendín	Calizas, lutitas, margas	245.17	0.44	2
Ks-pu	Grupo Pulluicana	Calizas, lutitas, margas	5194.28	9.33	2
Ks-qm	Formación Quilquiñan/Mujarrun	Calizas, lutitas, margas	1579.41	2.84	2
Ji-o	Formación Oyotun	Andesita	19900.68	35.76	3
Ki-g	Grupo Goyllarisquizga	Cuarcitas, areniscas	5291.43	9.51	3

Nm-be	Formación Bellavista	Conglomerados, areniscas, lutitas	1307.94	2.35	3
Qp-ta	Formación Tamborapa	Conglomerados, areniscas, lutitas	7483.94	13.45	3
Qp-fa	Depósitos Fluvioaluviales	Gravas, arenas, arcillas, limos	4149.90	7.46	3

Según los resultados obtenidos, se determinó que la formación geológica más representativas del distrito del Jaén corresponde a la Formación Oyotun, esta ocupa 199900.68 ha lo que equivale al 35.76 % del total del distrito, lo sigue la formación Tamborapa con 7483.94 ha equivalente al 13.45 %, asimismo encontramos a la formación geológica Tonalita-Granodiorita, esta abarca 7412.73 ha equivalente al 13.32 % del total del área del distrito. De las once formaciones geológicas identificadas, estas tres formaciones geológicas son las más representativas las cuales representan el 62.53 % del área total del distrito. Según (Quesada-Román, et al. 2018 pp. 42-43) la geología es una variable condicionante para la ocurrencia de movimientos en masa, ya que estos sucesos dependen de la resistencia de las rocas y el suelo, es decir de la propiedades físico-mecánicas regionales, así como la estructura tectónica regional o local. Por lo que la geología juega un papel importante sobre los movimientos de masa, debido a que, según el tipo de formación geológica dependerá la resistencia a los movimientos de masa.

Figura 5

Mapa de geología del distrito de Jaén.



4.1.2. Mapa de precipitación

En la tabla 15 y figura 6, se muestra los resultados de la precipitación (mm) obtenida en el distrito Jaén, la misma que fue clasificada según la distribución que va desde los 780 hasta 1240 mm. Se obtuvo que 32530.68 ha (58.46 %) la precipitación es de 1080-1240 mm, asimismo 14579.45 ha (26.20 %) su precipitación es de 940 a 1080 mm y 8539.35 ha (15.34 %) tiene una precipitación que se encuentra entre los 780 a 940 mm.

Tabla 15

Resultados del mapa de precipitación.

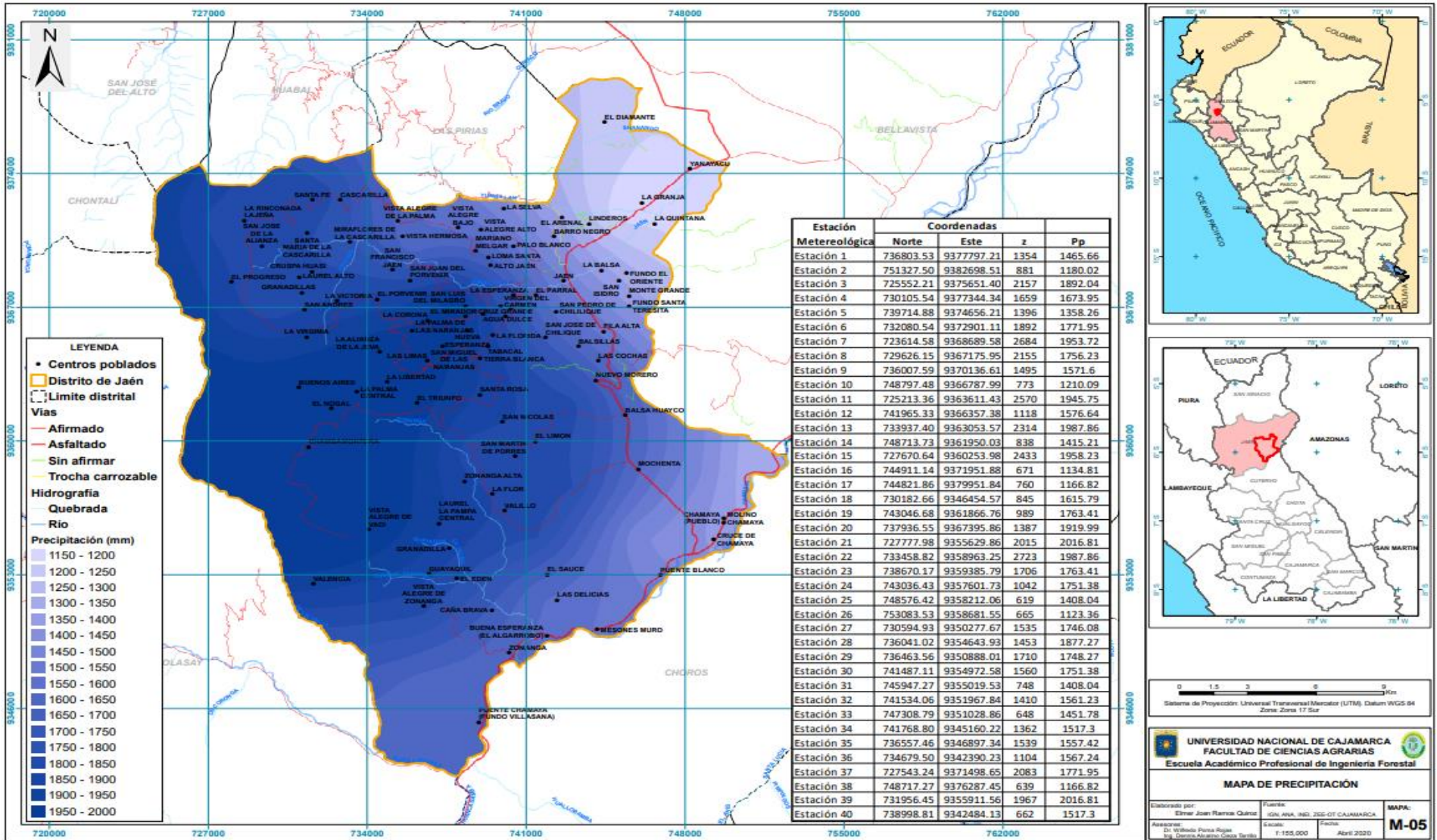
Precipitación mm	Área		Valoración
	ha	%	Precipitación
1150 - 1200	1722.09	3.09	1
1200 - 1250	1723.52	3.10	1
1250 -1300	945.50	1.70	1
1300 - 1350	1009.15	1.81	1
1350 - 1400	1124.96	2.02	1
1400 - 1450	1523.53	2.74	2
1450 -1500	1662.11	2.99	2
1500 - 1550	2035.69	3.66	2
1550 - 1600	2357.97	4.24	2
1600 -1650	4873.3	8.76	2
1650 - 1700	2857.44	5.13	2
1700 - 1750	2736.34	4.92	3
1750 - 1800	3349.04	6.02	3

1800 - 1850	7887.99	14.17	3
1850 - 1900	4664.23	8.38	3
1900 - 1950	4623.31	8.31	3
1950 - 2000	10553.3	18.96	3

Generalmente, lo movimientos de masa están directamente ligados a la cantidad de agua que se precipita sobre un área determinada, por lo que, según los resultados mostrados, se pudo obtener que más del 58.46 % de territorio del distrito del Jaén existen precipitaciones que van desde los 940 a 1080 mm. Según (Ramos, et al. 2015 p. 64) indica que la mayor cantidad de movimientos de masa son producidos durante las épocas donde las precipitaciones son intensas, estas interactúan con los materiales geológicos y puede disminuir sus propiedades mecánicas o puede aumentar las fuerzas de cuerpo que desestabilizan el talud.

Figura 6

Mapa de precipitación del distrito del Jaén.



4.1.3. Mapa de Uso actual de la tierra

El mapa de uso actual de la tierra se generó de acuerdo a la información proporcionada por la ZEE-Cajamarca, con la ayuda de la imagen landsat8 se actualizo al año 2021, clasificándolo según el tipo de vegetación existente en el distrito. Asimismo, se calculó las áreas de cada formación vegetal, con el propósito de conocer a mayor detalle la forma como estas se distribuyen cuantitativamente.

Los usos actuales de la tierra obtenidos en el distrito del Jaén son 9, como se muestra en la tabla 16 y figura 7, los cuales son el tejido urbano continuo este uso ocupa el 1.25 % del área total del territorio, cultivos transitorios ocupan el 4.19 %, los pastos abarcan el 0.32 %, las áreas agrícolas heterogéneas ocupan el 50.10 %, el bosque denso bajo ocupa el 0.77 %, el bosque abierto bajo ocupa el 7.52 %, el bosque denso alto ocupa el 0.59 %, el bosque abierto alto ocupa el 1.69 %, el arbustal ocupa el 32.69 % y la vegetación arbustiva herbácea/herbácea ocupa el 0.89 %.

Tabla 16

Resultados del mapa de Uso actual de la tierra.

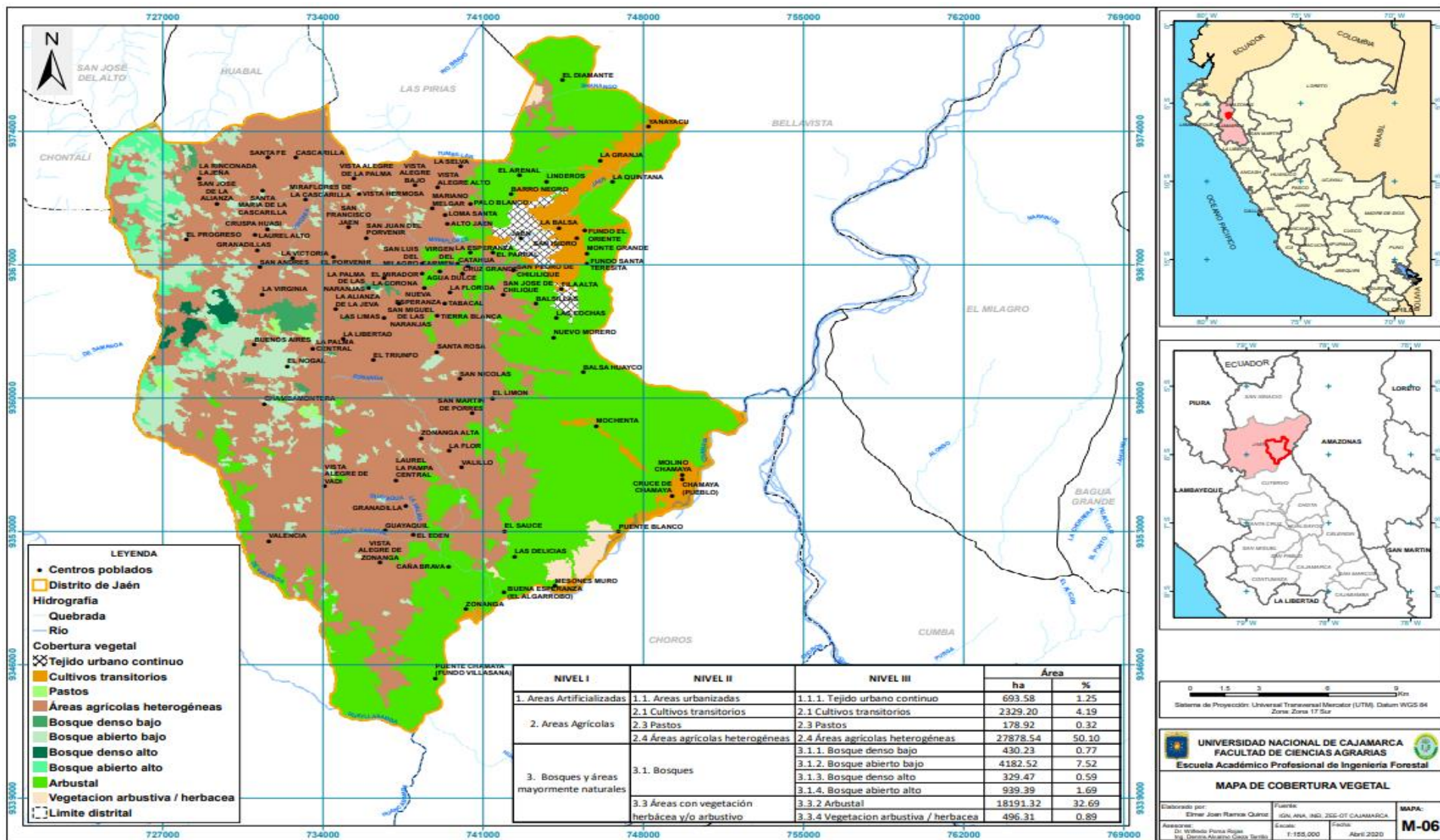
NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	Área		Valoración Cobertura Vegetal
			ha	%	
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	693.58	1.25	1
	2.1 Cultivos transitorios	2.1 Cultivos transitorios	2329.20	4.19	2

2. Áreas Agrícolas	2.3 Pastos	2.3 Pastos	178.92	0.32	2
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	27878.54	50.10	2
		3.1.1. Bosque denso bajo	430.23	0.77	1
		3.1.2. Bosque abierto bajo	4182.52	7.52	1
		3.1.3. Bosque denso alto	329.47	0.59	1
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.4. Bosque abierto alto	939.39	1.69	1
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.2 Arbustal	18191.32	32.69	2
		3.3.4 Vegetación arbustiva / herbácea	496.31	0.89	2

Según los resultados obtenidos las áreas agrícolas heterogéneas son las que ocupan la mitad del territorio del distrito, es decir que la gran parte de este distrito se dedica a la agricultura, lo que indica que existe la labranza de la tierra y si esta no se maneja adecuadamente ocasiona los procesos erosivos, otro uso de la tierra con mayor extensión es el arbustal, este ocupa el 32.69 %. Según (Mendoza, 2011 p. 82) el uso de la tierra es una variable que influye indirectamente en los movimientos de masa; las áreas de la tierra que se encuentra cubiertas con vegetación ofrece gran protección física al suelo frente al impacto de la lluvia y la escorrentía y reduce la velocidad del agua al aumentar la resistencia hidráulica del terreno, por lo tanto, disminuye la capacidad erosiva del agua.

Figura 7.

Mapa de Cobertura Vegetal del distrito de Jaén



4.1.1. Mapa de geomorfología

La geomorfología es la representación cartográfica del relieve, por lo que en este mapa se muestra los resultados obtenidos de esta variable para el distrito de Jaén, la misma que está representada por tres grandes paisajes como unidades mayores (Planicie, Colinoso y Montañoso) que contienen unidades geomorfológicas caracterizados según el relieve dominante.

Los resultados obtenidos (tabla 17 y figura 8), muestran que la unidad geomorfológica de mayor extensión en el distrito del Jaén corresponde a la “Montaña fuertemente empinada en rocas del jurásico inferior”, esta ocupa un área de 14438.61 ha (25.95 %) cuya valoración geomorfológica es 3; posteriormente la “Colina alta empinada en rocas del jurásico inferior”, es la segunda unidad geomorfológica de mayor extensión, esta abarca 9973.69 ha (17.92 %), la valoración geomorfológica considerada para esta unidad es 2; asimismo, dentro de las unidades geomorfológicas de mayor extensión en el distrito, encontramos a la “ladera de montaña empinada en rocas intrusivas y del cretáceo superior”, esta ocupa 6829.15 ha (12.27 %).

Tabla 17

Resultados del mapa de geomorfología.

Paisaje	Geomorfología	Simbología	Área		Valoración
			ha	%	
Planicie	Complejo de terrazas inundable y no inundable	Ct-ini	4149.90	7.46	1
Colinoso	Colina alta empinada en rocas del jurásico inferior	CAE-rji	9973.69	17.92	2

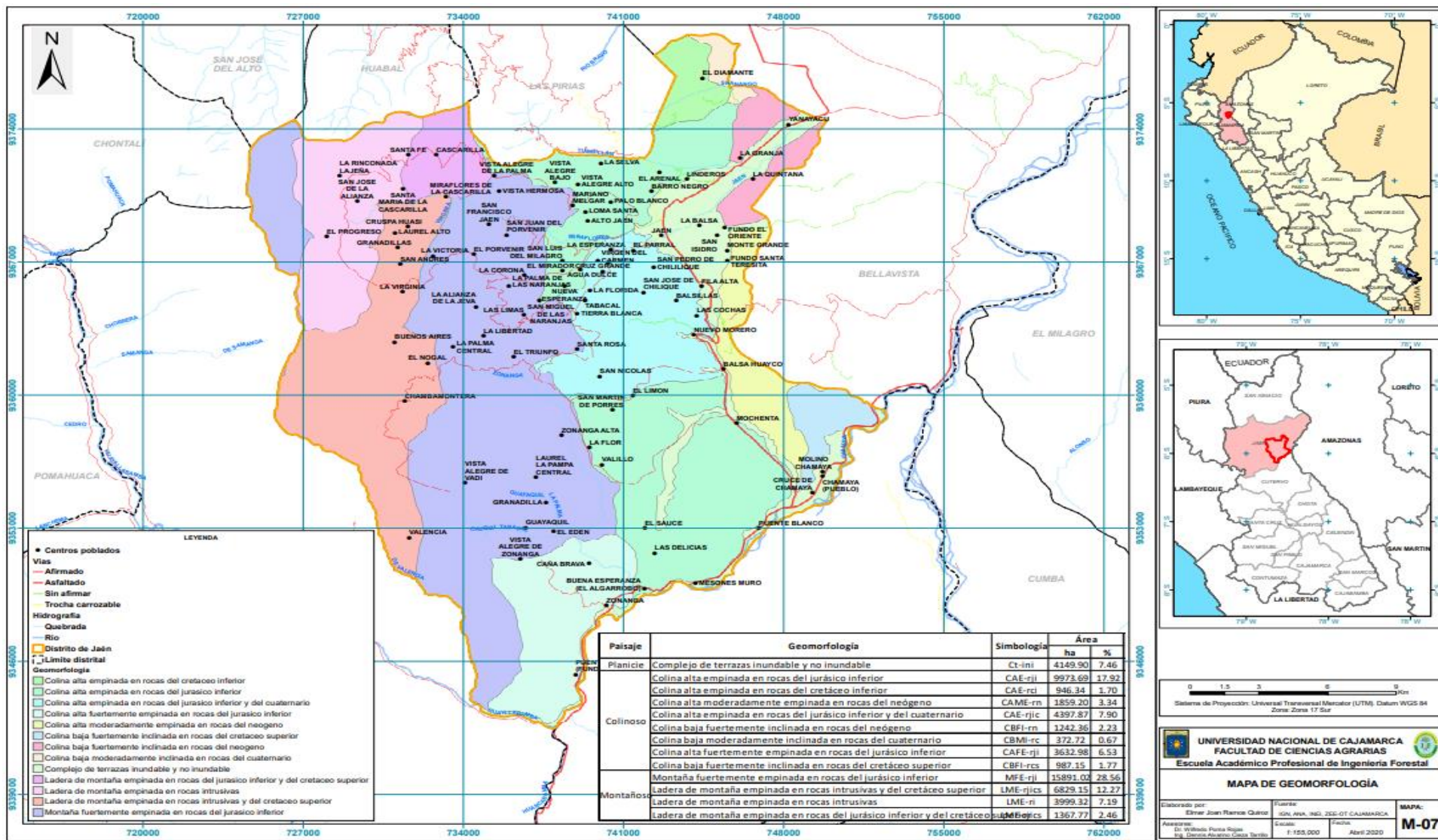
	Colina alta empinada en rocas del cretáceo inferior	CAE-rci	946.34	1.70	2
	Colina alta moderadamente empinada en rocas del neógeno	CAME-rn	1859.20	3.34	2
	Colina alta empinada en rocas del jurásico inferior y del cuaternario	CAE-rjic	4397.87	7.90	2
	Colina baja fuertemente inclinada en rocas del neógeno	CBFI-rn	1242.36	2.23	3
	Colina baja moderadamente inclinada en rocas del cuaternario	CBMI-rc	372.72	0.67	1
	Colina alta fuertemente empinada en rocas del jurásico inferior	CAFE-rji	3632.98	6.53	3
	Colina baja fuertemente inclinada en rocas del cretáceo superior	CBFI-rsc	987.15	1.77	3
	Montaña fuertemente empinada en rocas del jurásico inferior	MFE-rji	15891.02	28.56	3
Montañoso	Ladera de montaña empinada en rocas intrusivas y del cretáceo superior	LME-rjics	6829.15	12.27	3
	Ladera de montaña empinada en rocas intrusivas	LME-ri	3999.32	7.19	3
	Ladera de montaña empinada en rocas del jurásico inferior y del cretáceo superior	LME-rjics	1367.77	2.46	3

Según los resultados obtenidos, de las quince unidades geomorfológicas consideradas para este estudio nueve de ellas corresponden a la valoración geomorfológica 3, cuatro a la valoración geomorfológica 2 y solamente dos unidades geomorfológicas corresponden a la valoración 1. En tal sentido se puede decir que, del área total del distrito,

33949.75 ha (61 %) corresponden a la valoración geomorfológica 3, 17177.11 ha (30.87 %) a la valoración 2 y solo 4522.63 (8.13 %) ha a la valoración geomorfológica 1, lo que indica que, en el distrito del Jaén, esta variable influye de manera significativa en la modelación de los movimientos de masa. Las consideraciones geomorfológicas son esenciales en el análisis de la ocurrencia de deslizamientos (Aristizábal y Yokota, 2006 p. 5). El relieve montañoso en su mayor parte, favorece la ocurrencia de procesos de remoción en masa, la cual provoca los movimientos del terreno en grandes extensiones (Borja y Alcántara, 2004 p. 7).

Figura 8

Mapa de geomorfología del distrito de Jaén.



4.1.2. Modelo de Movimientos en Masa

El presente modelo se muestra en la Figura 9, 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 atributos debidamente valorados y variables ponderadas, representado por la siguiente ecuación:

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

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

Donde:

MMM: Modelo de Movimientos de Masa

Pend: Pendiente

Geomo: Geomorfología

Geol: Geología

CobVe: Cobertura vegetal

Preci: Precipitación

Las valoraciones de todos estos factores permitieron realizar el modelo de movimiento de masa, es así que en su mayoría del área del distrito el grado de vulnerabilidad de la pendiente es alto, lo cual favorece considerablemente en la ocurrencia de desastres naturales.

Por otro lado, los resultados sobre la vulnerabilidad geomorfológica muestran que en su mayoría presentan un nivel alto, seguido de una vulnerabilidad media y por último el nivel medio, del mismo modo el nivel de vulnerabilidad predominante a la variable geología está claramente representado por un nivel alto y las variables de precipitación y cobertura vegetal su nivel de vulnerabilidad determinado es medio.

En la tabla 18 y figura 9, detalla el área y el porcentaje de los espacios expuestos a diferentes niveles de Movimientos en Masa, asimismo se expresa la distribución porcentual de estos en el territorio del distrito de Jaén

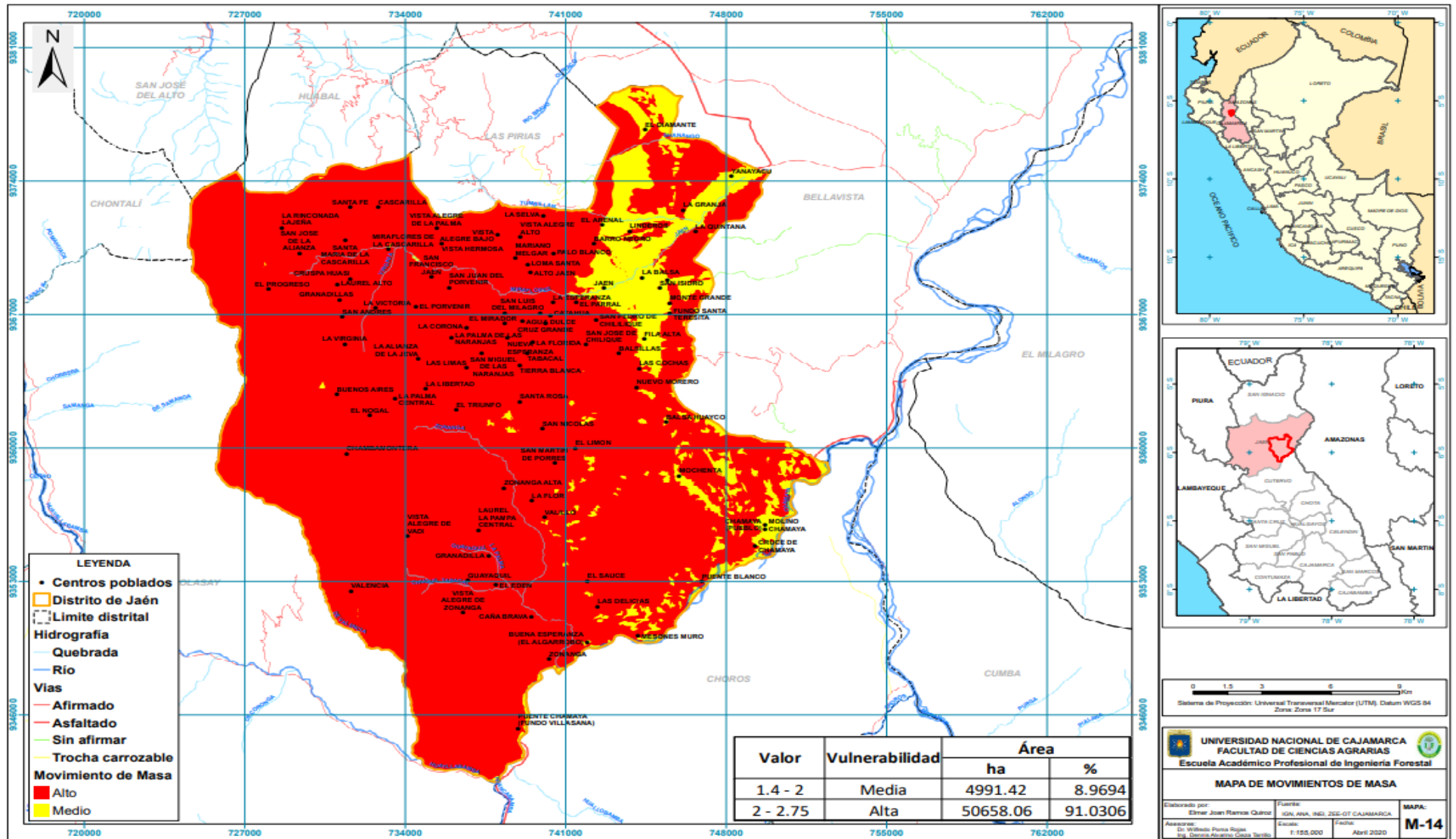
Tabla 18

Resultados del Modelo de Movimientos de Masa.

Valor	Vulnerabilidad	Área	
		ha	%
1.4-2	Media	4991.42	8.97
2 - 2.75	Alta	50658.06	91.03

Figura 9

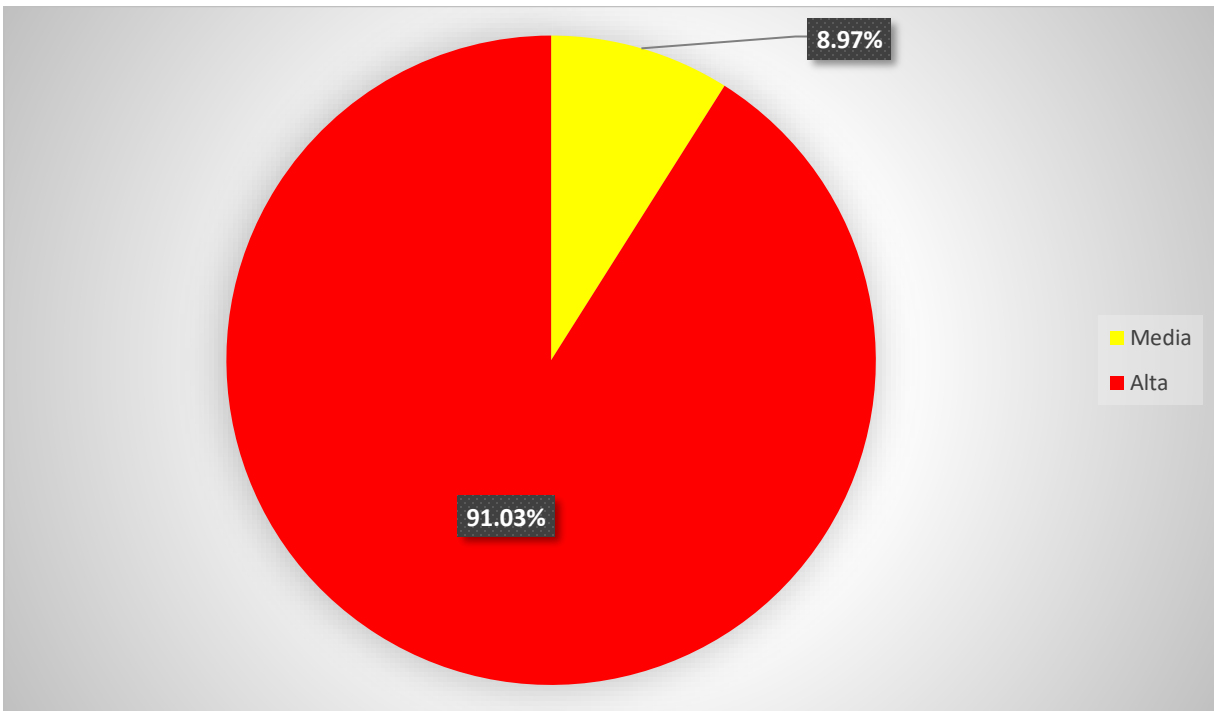
Mapa de Movimientos de Masa.



La figura 10, revela que el 91.03 % del distrito está expuesto a un nivel de peligro alto por efectos de los Movimientos en Masa y el 8.97 % del territorio presenta una vulnerabilidad media.

Figura 10

Porcentaje de vulnerabilidad a Movimientos de Masa.



En el modelo se puede observar que los niveles de peligro a Movimientos de Masa Alto es el que mayor área ocupa, este tiene un área de 50658.06 ha equivalente al 91.03 % del distrito, estas áreas tienen este nivel de vulnerabilidad debido a que los factores determinantes que inciden en el suceso de los desastres naturales son considerados altamente relevantes, según los resultados obtenidos encontramos que las precipitaciones son de 940 mm hasta los 1240 mm promedio mensual anual, además existen pendientes empinadas (25-50 %), muy empinadas (50-75 %) y extremadamente empinada (>75 %), lo cual influye en la erosión hídrica; por otro lado la geomorfología predominante pertenece al paisaje montañoso, la cual en gran parte está representada por montañas fuertemente empinadas y laderas de montaña empinada, del mismo modo la geología

está conformada principalmente por rocas de andesita, cuarcitas, areniscas, calizas, lutitas, margas, grava, arenas, arcillas y limo; la cobertura vegetal se encuentra conformada en su gran mayoría por áreas agrícolas heterogéneas(50.10 %) y arbustales (32.69 %), estas son las dos coberturas que mayor área ocupan en el distrito seguidos por una cobertura vegetal de herbazal y Arbustal.

El nivel medio de peligro a Movimientos de Masa se encuentra ocupando un área de 4991.42 ha equivalente al 8.97 % del área total del distrito, en este nivel de peligro se encuentra una precipitación mínima de 940 mm y una precipitación máxima de 1040 mm, las pendientes predominantes en las zonas con este nivel de vulnerabilidad se encuentran pendientes Nula o casi a nivel (0-4 %), ligeramente inclinada (4-8 %) y ligeramente inclinada a moderadamente empinada (8-15 %); 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 los depósitos fluviales, los cuales contienen gravas, arena, arcilla y limo, además las coberturas de la tierra que predominan son el tejido urbano continuo, arbustales y áreas agrícolas heterogéneas.

CAPÍTULO V . CONCLUSIONES

Se identificaron zonas vulnerables a Movimientos de Masa; las cuales fueron categorizadas como nivel alto y medio; y se obtuvo como resultado que la gran parte del territorio del distrito de Jaén está representada por vulnerabilidad con nivel alto, esta ocupa una extensión de 50658.06 ha (91.03 %) y en menor extensión se encuentran zonas con vulnerabilidad media las cuales abarcan un área de 4991.42 ha (8.97 %).

Se diseñó y construyó la Base de Datos Geoespacial, en la que se almacenaron 5 variables temáticas, las cuales pertenecen a Pendiente, Geomorfología, Geología, Precipitación y Cobertura Vegetal, estas fueron predominantes para la generación del modelo geoespacial.

Se generó el Modelo geoespacial para la identificación de zonas vulnerables a Movimientos de Masa mediante la integración de variables físicas (Pendiente, geomorfología, Precipitación, Cobertura vegetal y geología).

RECOMENDACIONES

- Utilizar la base de datos geoespacial generada en esta investigación con la finalidad de planificar y ejecutar proyectos que ayuden a la gestión de riesgos por desastres naturales.
- Emplear los sistemas de información geográfica y la Teledetección como herramientas útiles para caracterizar un territorio ante los diferentes peligros que puedan suscitarse dentro del mismo.
- Se debe aprovechar los recursos naturales de manera sostenible y sustentable, y así evitar la degradación de nuestros ecosistemas, con la finalidad de disminuir los riesgos ante desastres naturales.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceves Quesada, J. F., Legorreta Paulín, G., Lugo Hubp, J., Umaña Romero, J., & Legorreta Cuevas, H. A. (2016). Sistemas de información geográfica y cartografía geomorfológica aplicados al inventario de deslizamientos y cartografía de susceptibilidad en la cuenca del río El Estado, Pico de Orizaba, México. *Investigaciones Geograficas*, 2016(91), 43–55. <https://doi.org/10.14350/rig.46503>
- Alcántara Ayala, L. (2000). *Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definicion, clasificaciones y terminologia. Investigaciones Geográficas*, 1(41). <https://doi.org/10.14350/rig.59101>
- Alcántara-Ayala, I. (2019). Disasters in Mexico: Maps and notes around an unfinished story. *Investigaciones Geograficas*, 100. <https://doi.org/10.14350/rig.60025>
- Almaguer-Carmenates, Y. A., & Guardado-lacaba, R. (2006a). *TIPOLOGIA DE MOVIMIENTOS DE MASAS DESARROLLADOS EN EL TERRITORIO DE MOA, CUBA*. 22(1), 17.
- Almaguer-Carmenates, Y. A., & Guardado-lacaba, R. (2006b). *TIPOLOGIA DE MOVIMIENTOS DE MASAS DESARROLLADOS EN EL TERRITORIO DE MOA, CUBA*. 22(1), 17.
- Aristizábal, E., & Yokota, S. (2006). *Deslizamientos En El Valle De Aburra Geomorphology Applied To Landslide Occurrence in the Aburrá Valley*. 149, 5–16.
- Aristzábal, E., Vélez, J., & Martinez, H. (2016). Influencia De La Lluvia Antecedente Y La Deslizamientos Detonados Por Lluvias Utilizando El Modelo Shia _ Landslide Influences of

- Antecedent Rainfall and Hydraulic Conductivity on Landslides Triggered By Rainfall Occurrence Using the Model Shia _ Landslid. *Eia*, 13(65), 31–46.
- Borja, R. C., & Alcántara, I. (2004). *Procesos de remoción en masa y riesgos asociados en Zacapoaxtla , Puebla*. 53(October 1999), 7–26.
- C., B. Z., & Barrantes, R. (2007). *Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geohidrológicos en la Región Cajamarca*. 2003(21), 23–26.
- Calderon Mendoza, J. (2017). *Modelamiento geoespacial para la identificación de zonas críticas vulnerables a peligros múltiples, cuenca hidrográfica Camaná-Majes-Colca, Arequipa*. 184.
- Capacci, A., & Mangano, S. (2015). Las catástrofes naturales. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24(2), 35–51. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v24n2.50206>
- Castañeda, D., Montoya, R., & Escobar, C. (2006). Prototipo de un sistema integrado digital para la clasificación de coberturas y usos de la tierra a nivel de finca bananera. *Revista de La Facultad Nacional de Agronomía*, 59(1), 3167–3199.
- Chorley, R. J. (2019). Spatial analysis in geomorphology. In *Spatial Analysis in Geomorphology* (Vol. 6). <https://doi.org/10.4324/9780429273346-1>
- Chuvieco Salinero, E. (1998). El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. *Revista de Teledetección: Revista de La Asociación Española de Teledetección*, 10, 4.
- Cueto Gil, C. J., Estévez Cruz, E., & Ordaz Hernández, A. (2019a). Zonificación de la susceptibilidad a los deslizamientos en la Cordillera de Guaniguanico, Cuba. Un aporte al

- ordenamiento del territorio. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 39(1), 11–38. <https://doi.org/10.5209/aguc.64675>
- Cueto Gil, C. J., Estévez Cruz, E., & Ordaz Hernández, A. (2019b). Zonificación de la susceptibilidad a los deslizamientos en la Cordillera de Guaniguanico, Cuba. Un aporte al ordenamiento del territorio. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 39(1), 11–38. <https://doi.org/10.5209/aguc.64675>
- 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.
- GEMMA. (2007). *Movimientos en masa en la región Andina: una guía para la evaluación de amenazas*. 404.
- Gonzales, I., Gonzales, J., & Gomes, F. (2003). Hardware libre: clasificación desarrollo de hardware reconfigurable en entornos GNU/Linux. *SCIELO*, 1–13.
- Goodchild, M., & Haining, R. (2005). SIG y análisis espacial de datos: perspectivas convergentes. *Investigaciones Regionales: Journal of Regional Research*, 6, 175–202.
- Humboldt, I. de I. de R. B. A. Von. (2006a). Geoenseñanza. *Geoenseñanza*, 11(1), 107–116.
- Humboldt, I. de I. de R. B. A. Von. (2006b). Geoenseñanza. *Geoenseñanza*, 11(1), 107–116.
- Jacobs, D. E., Brown, M. J., Baeder, A., Sucusky, M. S., Margolis, S., Hershovitz, J., Kolb, L., & Morley, R. L. (2010). A Systematic Review of Housing Interventions and Health. *Journal of*

Public Health Management and Practice, 16, S5–S10.
<https://doi.org/10.1097/phh.0b013e3181e31d09>

Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., & Lucas, N. (2001). Using ArcGIS geostatistical analyst. *Analysis*, 300, 300.

Maegraith, B. (1968). Tropical diseases. 2. Malaria. (II). Management and treatment. In *Nursing times* (Vol. 64, Issue 12).

Maguiña Vargas, C., & Astuvilca Cupe, J. (2017a). Desastres naturales y prevención de enfermedades. *Acta Medica Peruana*, 34(1), 3–5. <https://doi.org/10.35663/amp.2017.341.282>

Maguiña Vargas, C., & Astuvilca Cupe, J. (2017b). Desastres naturales y prevención de enfermedades. *Acta Medica Peruana*, 34(1), 3–5. <https://doi.org/10.35663/amp.2017.341.282>

Mendoza, C. D. (2011). *Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales , no convencionales y revegetalización*. 31(3), 80–90.

Mergili, M., Marchant Santiago, C. I., & Moreiras, S. M. (2015a). 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>

Mergili, M., Marchant Santiago, C. I., & Moreiras, S. M. (2015b). 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>

- MINAGRI, M. de agricultura. (2009). Reglamento de Clasificación de Tierras por su capacidad de uso Mayor. In *El Peruano* (pp. 401820–401837).
- Obregón, C., & Lara, J. (2013). El mapa de susceptibilidad a movimientos en masa: una herramienta para la gestión sostenible del territorio. *Espacio y Desarrollo*, 64(25), 49–64.
- Quesada-Román, A., Moncada-López, R., & Paz-Tenorio, J. A. (2018). Las investigaciones sobre movimientos de laderas en Costa Rica, Honduras, México y Nicaragua: enseñanzas desde la academia, las agencias de cooperación y las instituciones públicas. *Revista Geográfica de América Central*, 1(60), 26. <https://doi.org/10.15359/rgac.60-1.1>
- Ramos, A., Germán, M., Trujillo-vela, L., & Prada, L. F. (2015). *Análisis descriptivos de procesos de remoción en masa en Bogotá*. 18, 63–75.
- Richard, L. (2020). *Métodos y técnicas de la investigación científica*.
- Rico Calvano, F., & Rico Fontalvo, H. M. (2019). El uso del suelo, ¿Un problema de capacidad productiva y de políticas públicas? *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 5(2). <https://doi.org/10.22335/rlct.v5i2.121>
- Rodríguez, S. J. M. (2000a). Aplicación De Metodos De Interpolación Para El Cálculo De Precipitación Por Modelamiento Geoestadístico Y Análisis Espacial Para El Departamento De Cundinamarca. *Universidad Militar Nueva Granada*, 16. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Rodríguez, S. J. M. (2000b). Aplicación De Metodos De Interpolación Para El Cálculo De Precipitación Por Modelamiento Geoestadístico Y Análisis Espacial Para El Departamento

De Cundinamarca. *Universidad Militar Nueva Granada*, 16.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Rodríguez Valdivia, A., Tapia Tosetti, A., & Albornoz Espinoza, C. (2014). Susceptibilidad De Movimientos En Masa En El Valle De Socoroma, Precordillera Andina De Arica Y Parinacota. *Diálogo Andino*, 44, 25–39. <https://doi.org/10.4067/s0719-26812014000200004>

Sacristán Romero, F. (2005). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Civilizar*, 5(9), 1. <https://doi.org/10.22518/16578953.701>

Sáenz-Reyes, J., Castillo-Quiroz, D., Castillo Reyes, F., Muñoz-Flores, H., & Rueda-Sánchez, A. (2019). Potential areas for silvopastoral systems with pino lacio (*Pinus devoniana* Lind.) and introduced grasses (*Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees or *Chloris gayana* Kunth) in Michoacan, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 6(9515), 1–14. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e494>

Serna Quintana, C. A. (2011). La naturaleza social de los desastres asociados a inundaciones y deslizamientos en Medellín (1930-1990). *Historia Crítica*, 43, 198–223. <https://doi.org/10.7440/histcrit43.2011.11>

SIDEROV, K. (2005). Spatial Data Analysis: Theory and Practice. *Austral Ecology*, 30(2), 240–241. https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2005.1414_4_4.x

Stallman, R. (2019). La definición de Software libre. *COMMUNIARS STALLMAN*, 1–4.

Suarez Diaz, J. (2012). *Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. 520.

Tlaxcala, E. De. (2007). *En Un Contexto Ambiental , En El. 14*, 317–326.

Toledo Bruzual, V. (2013). Cuantificación de la erosión regresiva en cabeceras y pérdida de suelo en cárcavas en el sector de Susucal, estado Lara Venezuela. *Revista de Investigación*, 37(80), 117–138.

Wilches-Chaux, G. (2017a). Vulnerabilidad Global. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 8(9), 1–58. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Wilches-Chaux, G. (2017b). Vulnerabilidad Global. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 8(9), 1–58. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

CAPÍTULO VII . ANEXOS

Figura 11

Descarga de datos de precipitación del archivo raster (PISCO).

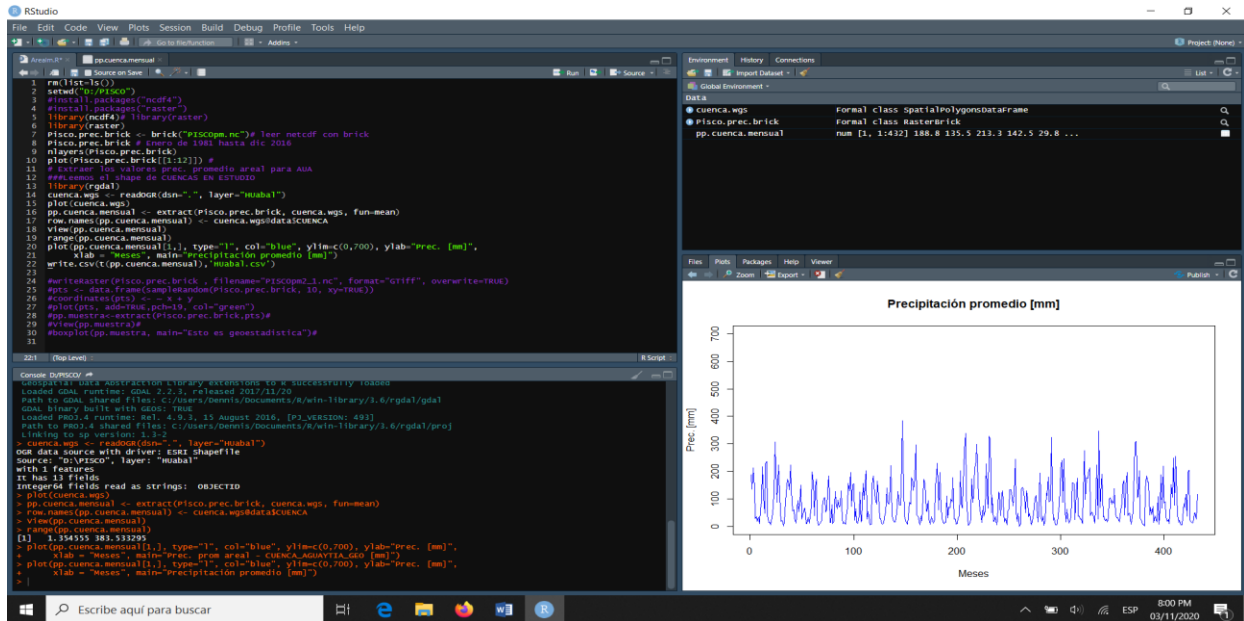


Figura 12

Precipitación diaria acumulada estación Jaén.

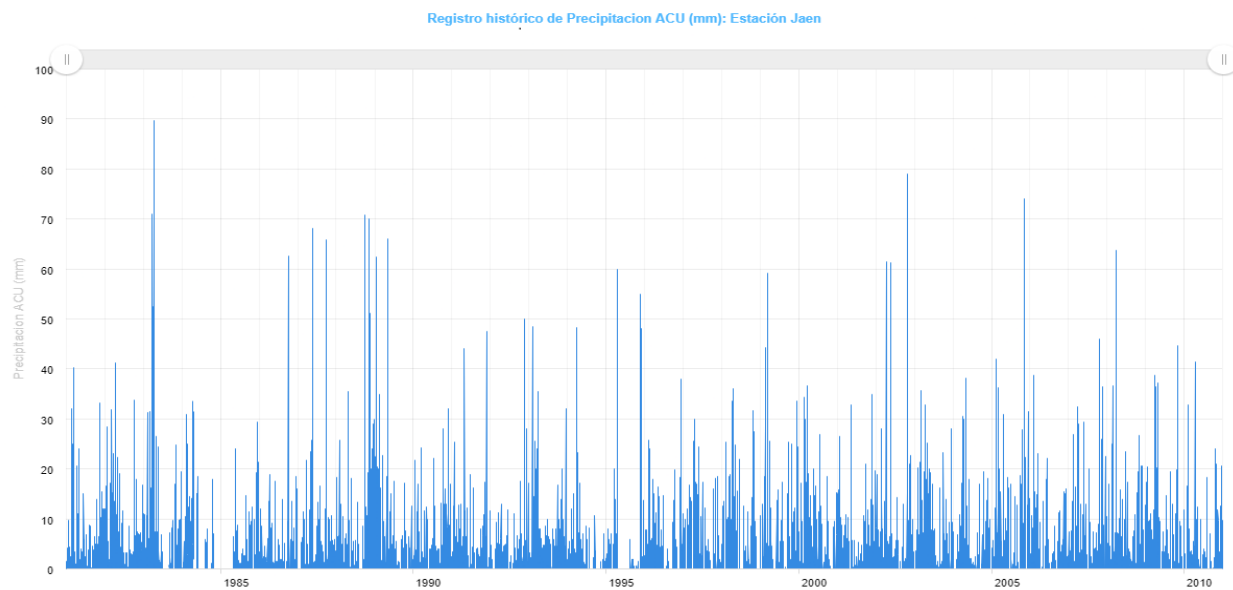


Figura 13

Validación de los datos obtenidos en la estación Jaén Vs PISCO.

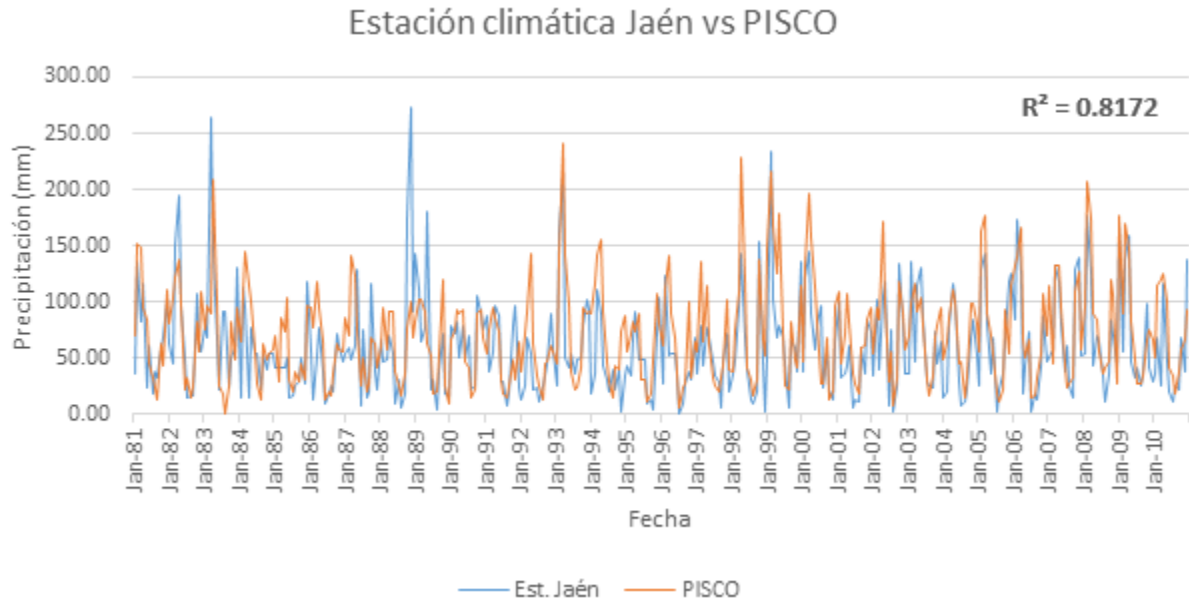


Figura 14

Selección y descarga de la imagen satelital.

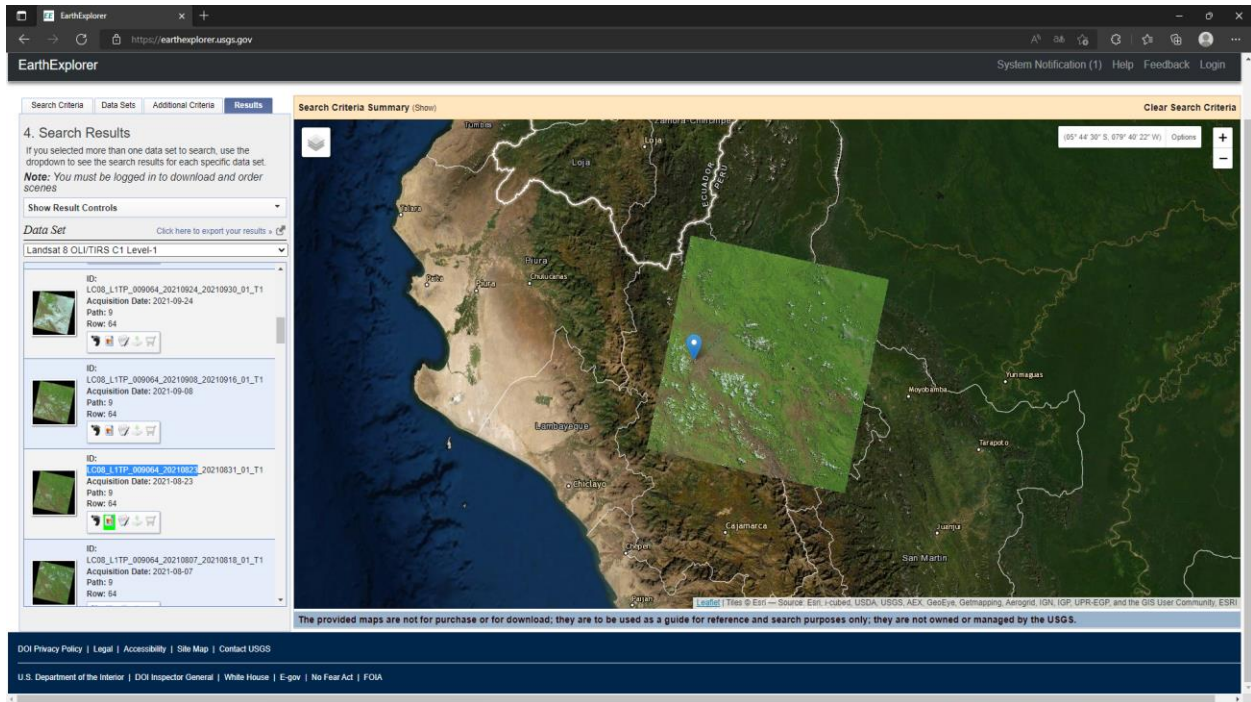


Figura 15

Mapa de estaciones meteorológicas.

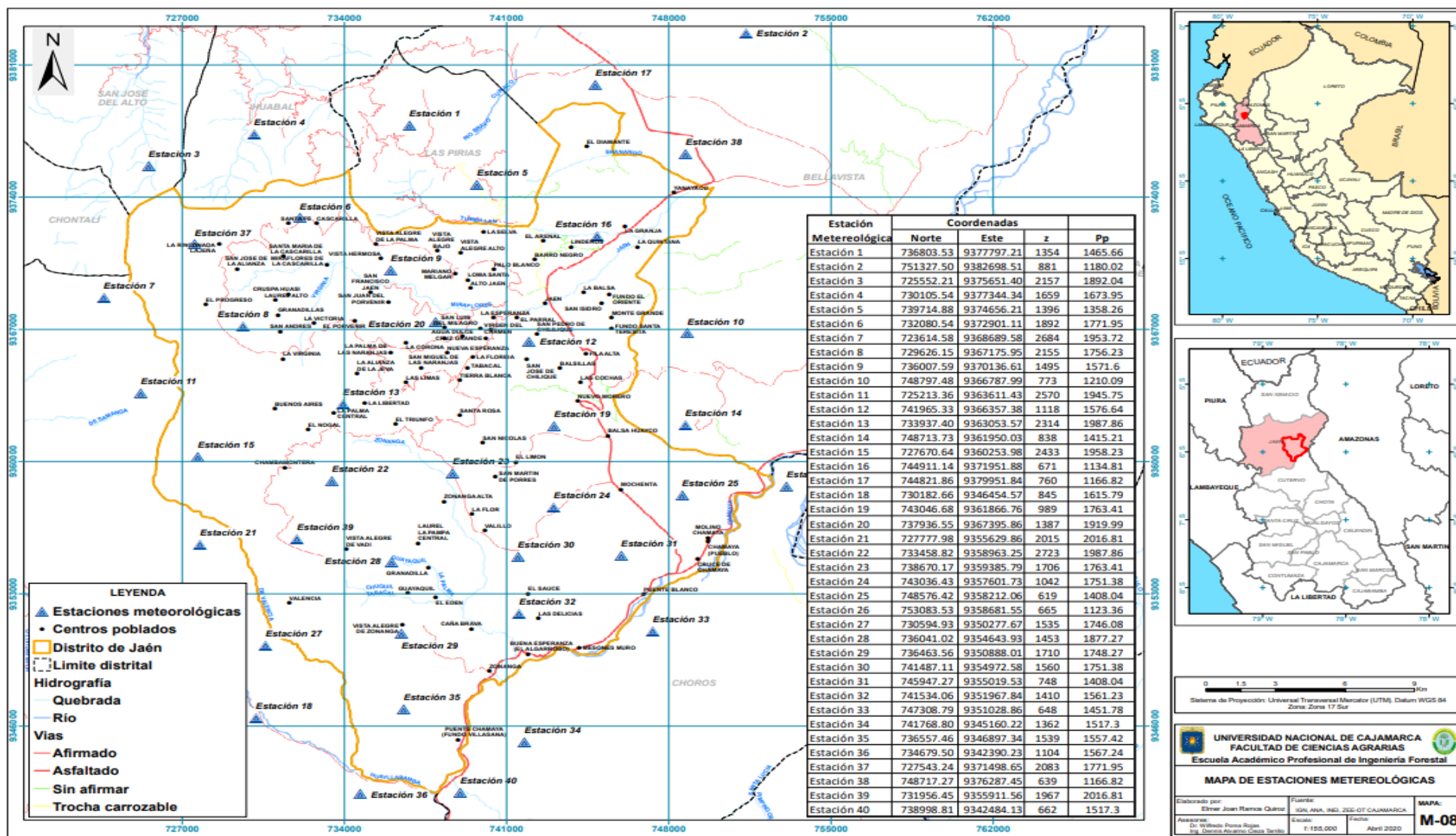


Figura 16

Mapa de valoración Pendientes

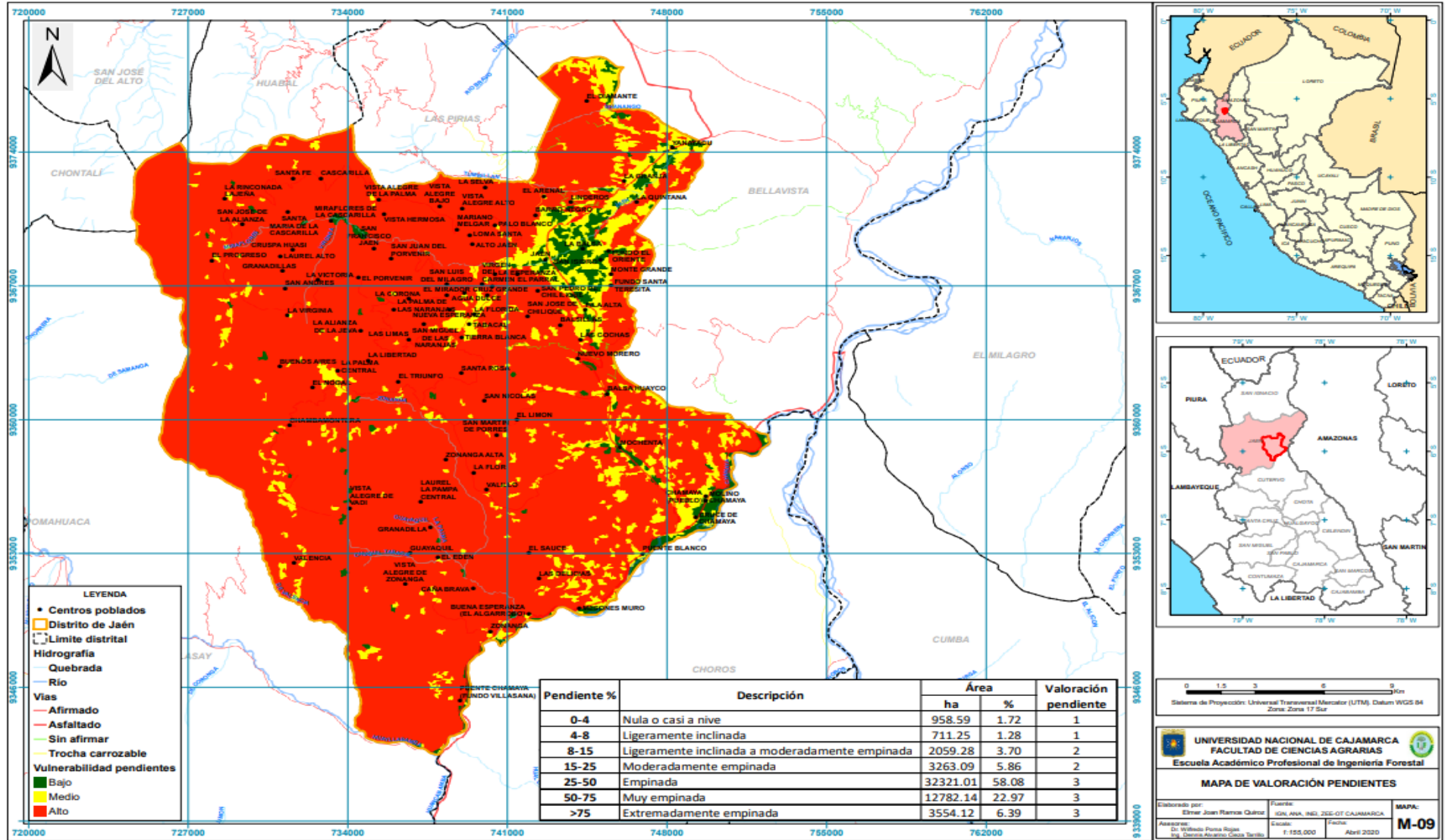


Figura 17

Mapa de valoración geológica.

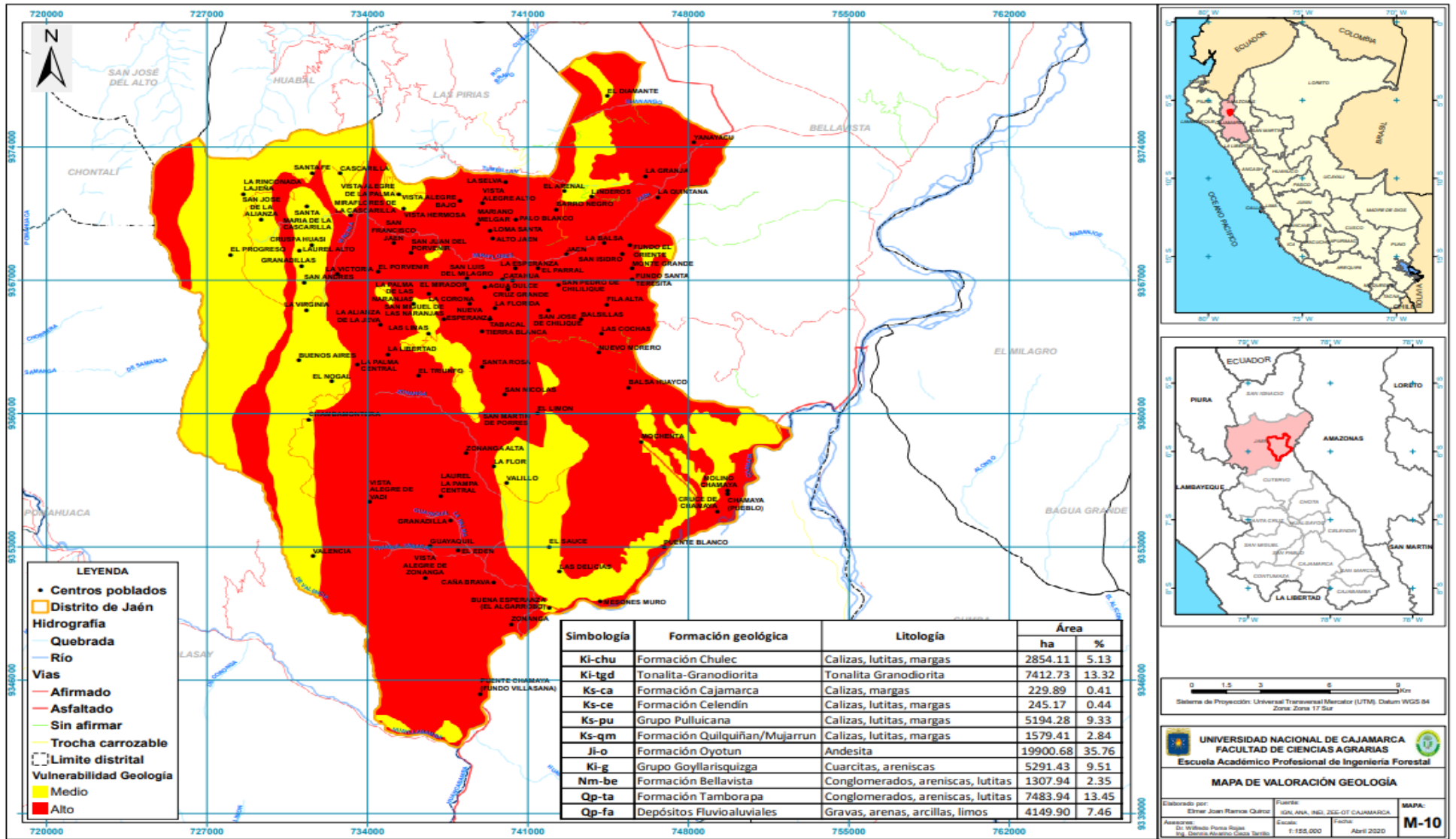


Figura 18

Mapa de valoración de precipitación.

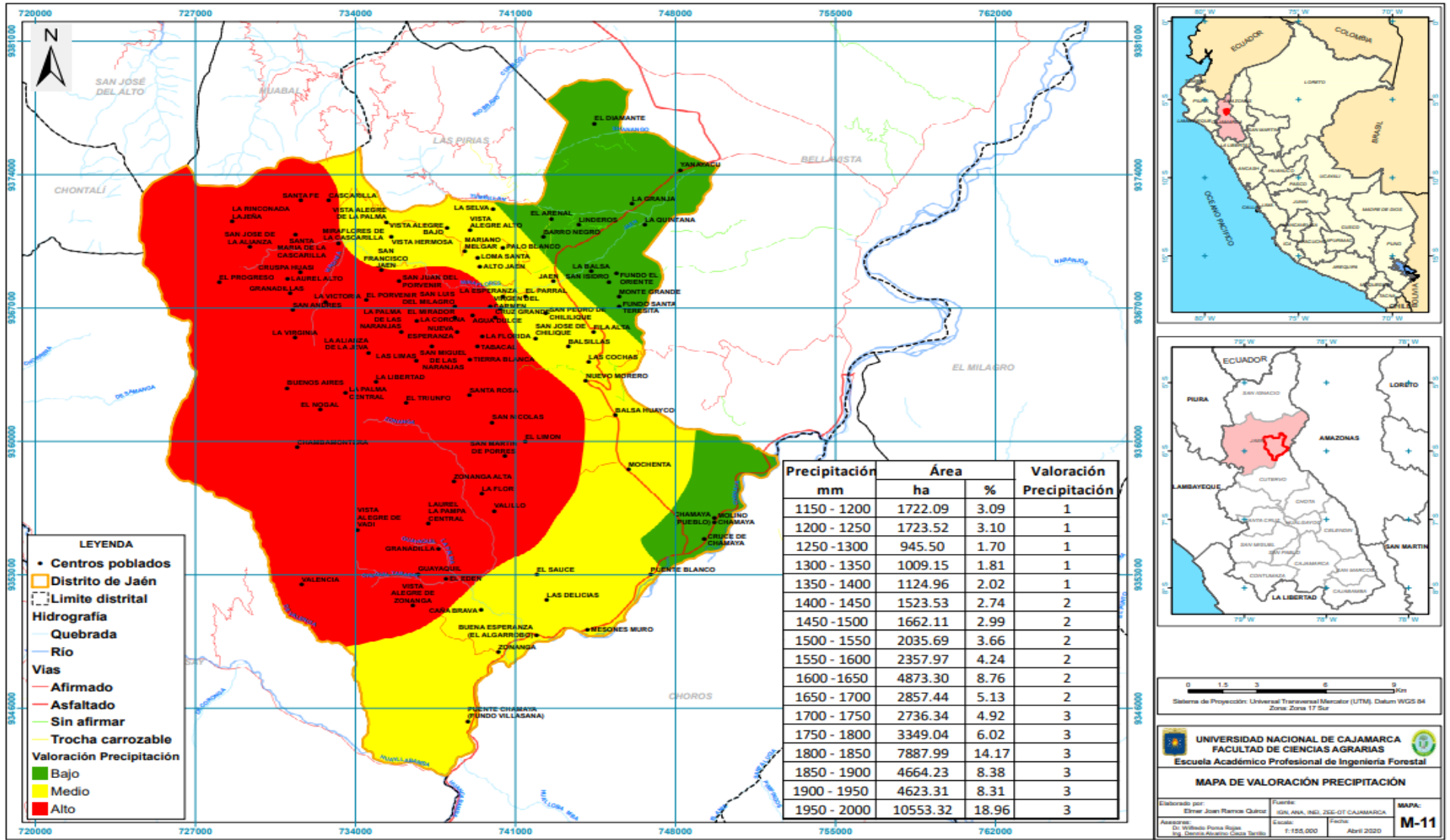


Figura 19

Mapa de valoración de la cobertura vegetal.

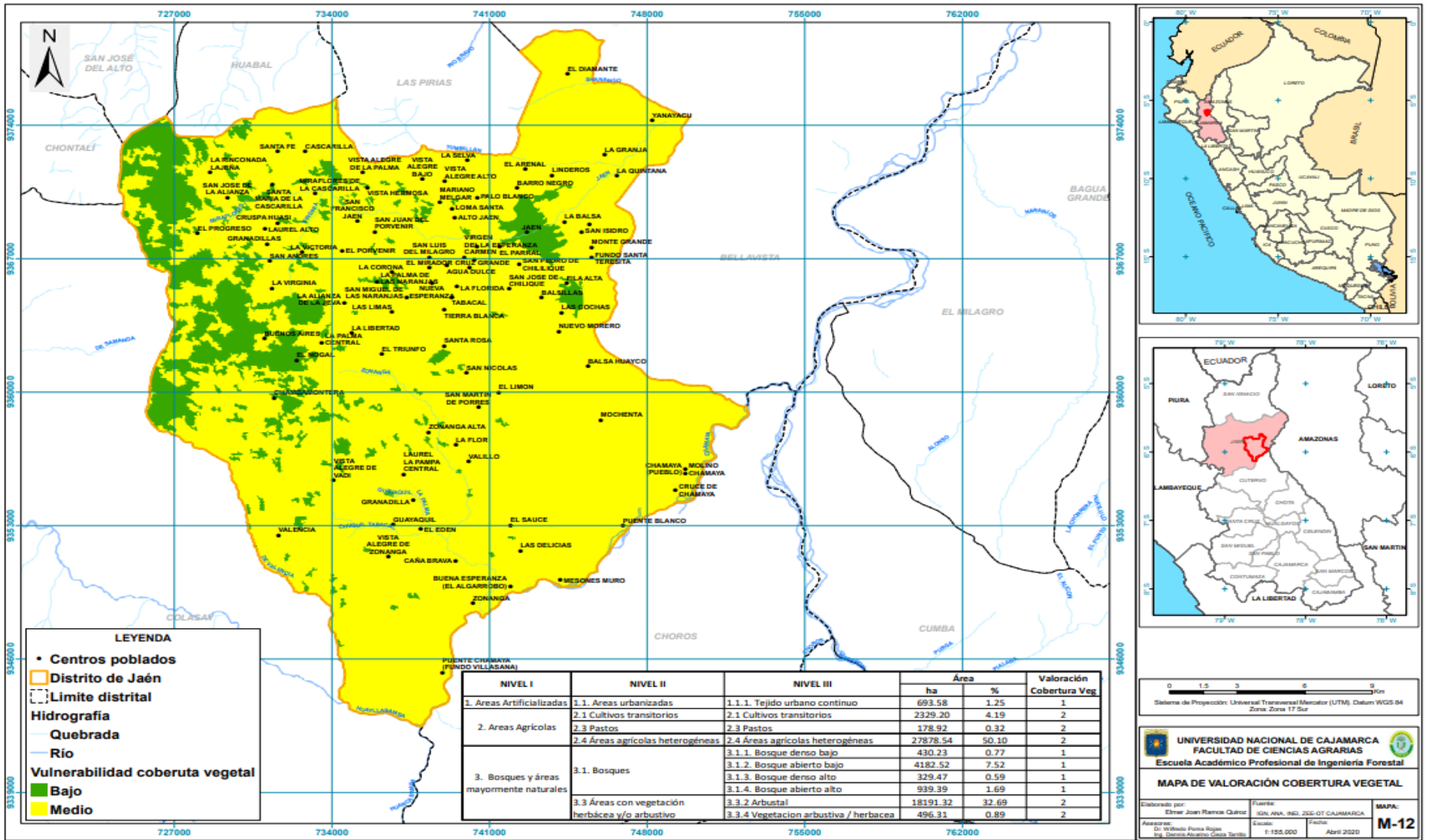
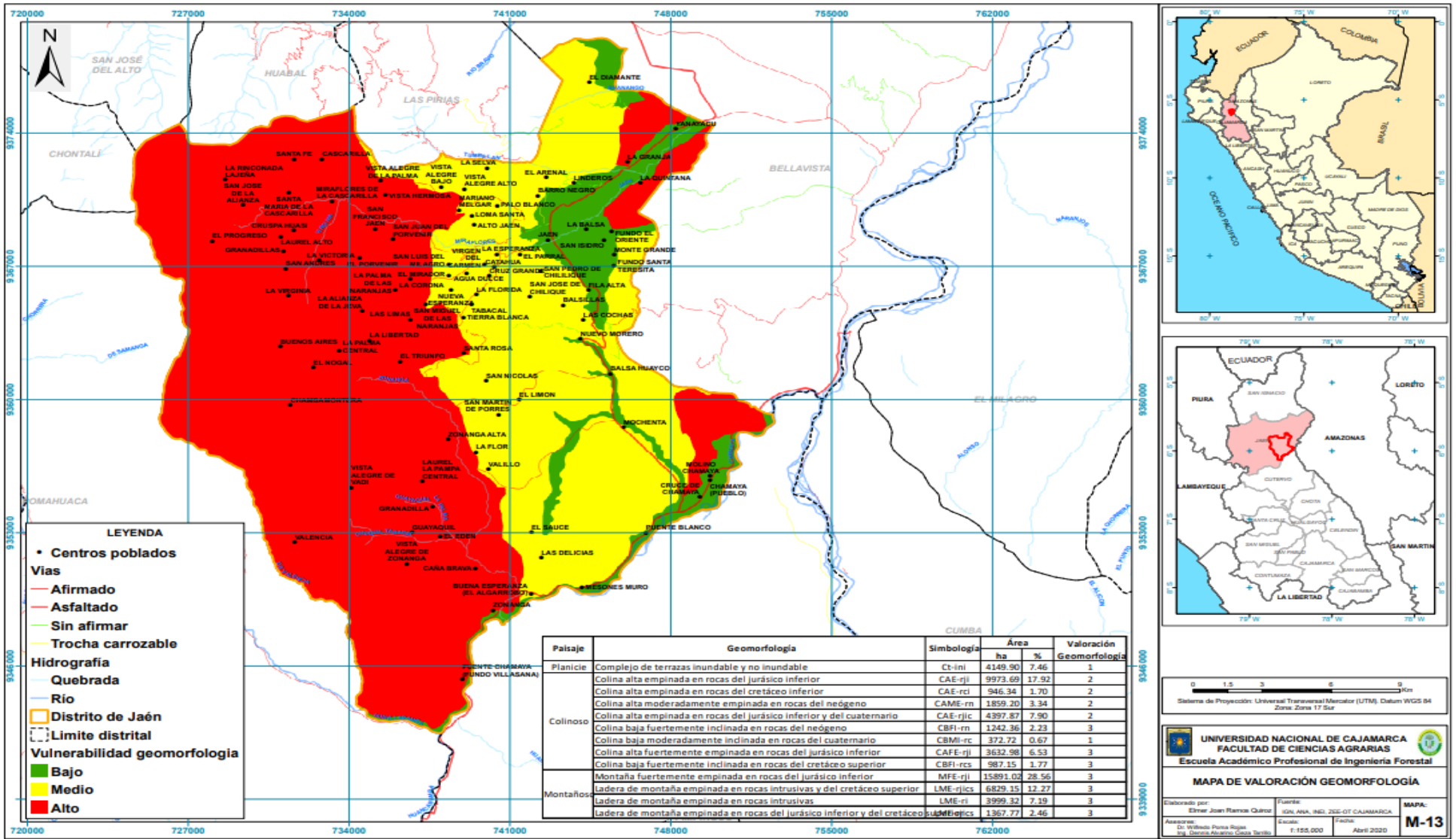


Figura 20.

Mapa de valoración Geomorfología.



PANEL FOTOGRÁFICO SOBRE LA VERIFICACIÓN EN CAMPO

Figura 21

Verificación de la consistencia del mapa en el caserío de San Andrés.



Figura 22

Verificación de la consistencia del mapa en el caserío de San Andrés.



Figura 23

Verificación en campo en el caserío de Loma Santa.



Figura 24

Verificación de campo en el caserío de Loma Santa.



Figura 25

Verificación de campo en el caserío de Nueva Esperanza



Figura 26

Verificación de campo en el caserío Vista Hermosa.

