

Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

“SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADO A LA LOCALIZACIÓN
ÓPTIMA DE INSTALACIONES PARA RESIDUOS SÓLIDOS EN LA PROVINCIA DE
JAÉN – CAJAMARCA”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓGRAFO

AUTORA

RUBY ELENA RODRÍGUEZ LARREÁTEGUI

ASESOR

MG. CARMEN LUZ VENTURA BARRERA

JURADO

DR. ARGUEDAS MADRID CESAR JORGE

MG. MENDOZA GARCIA JOSE TOMAS

MG. MARTINEZ CABRERA RUBEN

LIMA - PERÚ

2020

DEDICATORIA

Al creador de todas las cosas, el que me ha brindado la fortaleza para continuar cuando pase por momentos difíciles y darme las herramientas para cumplir mis metas.

A mis padres y hermanos que han formado con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante. Sobre todo, por ser mi gran motivación que me ayuda a superarme cada día más.

A mi familia en general y amistades, porque me han brindado su apoyo incondicional, consejos, ánimos y por compartir conmigo buenos y malos momentos

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Federico Villarreal por ser mi casa de estudios, a la Facultad de Ingeniería Geográfica Ambiental y Ecoturismo por la formación profesional de Ingeniero Geógrafo.

A mi asesora, Mg. Carmen Ventura Barrera, por dirigirme y aconsejarme con sus amplios conocimientos y experiencia, por su apoyo incondicional en el desarrollo de la presente tesis, por su amistad y consideración a mi persona.

A mis padres Dina y Aniceto, por sus enseñanzas y consejos en todas las etapas de mi vida, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación, por ser mi motivación para superarme cada día que con perseverancia, dedicación y constancia se pueden lograr todos los objetivos trazados. Sé que mi mamita desde el cielo estará orgullosa por ese logro realizado.

A mis amigos en general, que estuvieron pendientes de este proceso, agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por todo lo que me han brindado.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1. Descripción y formalización del problema.....	17
1.1.1. Problema general	22
1.1.2 Problemas específicos:.....	23
1.2. Antecedentes	23
1.2.1. Internacionales	23
1.2.2. Nacionales.....	24
1.2.3. Local.....	27
1.3. Objetivos.....	27
1.3.1. Objetivo general.....	27
1.3.2. Objetivos específicos	27
1.4. Justificación	28
1.5. Hipótesis.....	29
II. MARCO TEÓRICO.....	30
2.1. Bases teóricas.....	30
2.1.1. Sistema de información geográfica.....	30
2.1.1.1. Componentes del sistema de información geográfica.	31
2.1.2. Residuos sólidos.....	35
2.1.3. Infraestructura de disposición final.....	51
2.2. Base legal.....	54
2.3. Definición de términos básicos	57
2.3.1. Botadero	57
2.3.2. Contaminación	57
2.3.3. Contaminante ambiental	57

2.3.4. Contaminación ambiental	57
2.3.5. Daño ambiental	58
2.3.6. Declaración de manejo de residuos sólidos	58
2.3.7. Disposición final	58
2.3.8. Gestión de residuos sólidos.....	58
2.3.9. Impacto ambiental.....	58
2.3.10. Infraestructura de disposición final.....	59
2.3.11. Manejo de residuos sólidos	59
2.3.12. Manejo integral de residuos sólidos.....	59
2.3.13. Residuos sólidos.....	59
2.3.14. Relleno sanitario	60
III. MÉTODO	61
3.1. Tipo de investigación.....	61
3.2. Ámbito temporal y espacial	61
3.2.1. Temporalidad	61
3.2.2. Ámbito espacial	61
3.3. Variables.....	62
3.3.1. Variable independiente	62
3.3.2. Variable dependiente	62
3.3.3. Tabla de variables	62
3.4. Población y muestra.....	66
3.4.1. Población.....	66
3.4.2. Muestra	66
3.5. Materiales e Instrumento.....	66
3.5.1. Materiales.....	66

3.5.2. Instrumentos.....	68
3.6. Procedimiento	69
3.6.1. Etapa I: Diseño del modelo geoespacial para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos	69
3.6.2. Etapa II: Aplicación del modelo geoespacial para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la provincia de Jaén – Cajamarca.....	69
3.6.3. Etapa III: Localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la provincia de Jaén – Cajamarca	70
3.7. Análisis de datos	71
3.7.1. Análisis para determinar la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos.....	71
3.7.2. Análisis para determinar el sistema de información geográfica para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos	72
IV. RESULTADOS	75
4.1. Descripción de área de estudio	75
4.2. Características físicas, geográficas y los recursos naturales de la provincia	77
4.2.1. Relieve.....	77
4.2.2. Características ecológicas	77
4.2.3. Zonas de vida	78
4.2.4. Recurso Suelo	80
4.2.5. Recursos hídricos	81
4.3. Diseño del modelo geoespacial para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos.....	82
4.3.1. Esquema aplicativo	82

4.4. Aplicación del modelo geoespacial para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la provincia de Jaén- Cajamarca.....	88
4.4.1. Fase I: Recopilación de información y elaboración de mapas temáticos.	88
4.4.1.2. Elaboración de mapas temáticos.....	89
4.4.2. Fase II: Integración y evaluación de mapas temáticos.....	121
4.4.2.1. Criterios evaluados para la identificación de áreas óptimas	122
4.4.3. Fase III: Resultado del proceso	151
4.4.3.1. Localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la provincia de Jaén – Cajamarca.....	151
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	159
5.1. Concordancias y diferencias que se presentan con otras investigaciones.....	159
5.1.1. Criterios de selección para posibles zonas de disposición final de residuos sólidos ...	159
5.1.2. Aplicación del sistema de información geográfica para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos.	160
5.1.3. Resultados obtenidos aplicando los SIG para la localización de posibles zonas de instalación de residuos sólidos.....	161
VI. CONCLUSIONES.....	163
VII. RECOMENDACIONES	165
VIII. REFERENCIAS.....	167

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Instalaciones de disposición final a nivel nacional.....	37
Tabla 2 Instalaciones de rellenos de seguridad.....	40
Tabla 3 Población y generación de residuos sólidos domiciliarios por distrito de la provincia de Jaén.....	43
Tabla 4 Tabla de variables	63
Tabla 5 Insumos cartográficos	67
Tabla 6 Tipos de climas según clasificación de Köppen	91
Tabla 7 Unidades geológicas	94
Tabla 8 Geomorfología (unidades geomorfológicas)	97
Tabla 9 Rango de pendientes según grados	100
Tabla 10 Red hídrica.....	102
Tabla 11 Cuenca hidrografica.....	102
Tabla 12 Sistema de fallas	104
Tabla 13 Tipos de Suelo	106
Tabla 14 Hidrografía.....	109
Tabla 15 Zonas de vida según clasificación de Holdridge	111
Tabla 16 Niveles del uso de la tierra.....	115
Tabla 17 Socio- estructurales.....	117
Tabla 18 Cantidad de centros poblados	118
Tabla 19 Fenómenos ocurridos según distrito	118
Tabla 20 Fenómenos ocurridos según distrito	119
Tabla 21 Comunidades campesinas de la provincia de Jaén	119
Tabla 22 Ponderación binaria según tipo de clima	122
Tabla 23 Ponderación binaria según tipo de geología	124

Tabla 24 Ponderación binaria según unidades geomorfológicas	125
Tabla 25 Ponderación binaria según rango de pendientes	127
Tabla 26 Ponderación binaria según fallas	128
Tabla 27 Ponderación binaria según red hídrica.....	129
Tabla 28 Ponderación binaria según suelo.....	130
Tabla 29 Ponderación binaria según hidrografía	132
Tabla 30 Ponderación binaria según zonas de vida	138
Tabla 31 Ponderación binaria según coberturas	139
Tabla 32 Criterios de exclusión	145
Tabla 33 Clasificación del modelo final	152
Tabla 34 Características ambientales del área 1	156
Tabla 35 Características ambientales del área 2	157
Tabla 36 Análisis comparativo con otras investigaciones según criterios de selección	159
Tabla 37 Análisis comparativo con otras investigaciones según aplicación SIG.....	160
Tabla 38 Análisis comparativo con otras investigaciones según resultados obtenidos.	161

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Municipalidades que realizan el servicio de recojo de residuos sólidos, periodo 2016 2017.....	18
Figura 2 Municipalidades que no disponen de instrumentos de gestión de residuos sólidos.	20
Figura 3 Ganado vacuno y porcino alimentándose de restos orgánicos en el botadero de residuos de la ciudad de Jaén.....	21
Figura 4 Vista del botadero de residuos de la ciudad de Jaén.....	21
Figura 5 Clasificación de los tipos de residuos.....	36
Figura 6 Mapa nacional de infraestructura de disposición final.....	41
Figura 7 Gráfico de generación de residuos sólidos domiciliarios (Ton/día) a nivel de cada distrito de la provincia de Jaén.....	45
Figura 8 Gráfico de porcentaje de generación de residuos sólidos domiciliarios (Ton/día) a nivel de cada distrito de la provincia de Jaén.....	45
Figura 9 Diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos (distritos Santa Rosa y Colasay).....	46
Figura 10 Diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos (distritos San José del Alto, Bellavista y Huabal).....	47
Figura 11 Diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos (distritos las Pirias, Sallique y San Felipe).....	48
Figura 12 Diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos (distritos Pucara, Pomahuaca y Chontali).....	49
Figura 13 Mapa de ubicación de botaderos en la provincia de Jaén.....	50
Figura 14 Aprobaciones y autorizaciones para relleno sanitario manual.....	52

Figura 15 Instituciones competentes.....	53
Figura 16 Esquema aplicativo del modelo espacial usando SIG.....	74
Figura 17 Mapa de ubicación de la provincia de Jaén.....	76
Figura 18 Esquema aplicativo del modelo espacial para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos	83
Figura 19 Recolección de información y elaboración de mapas temáticos.....	89
Figura 20 Estructura del geodatabase.....	90
Figura 21 Modelo conceptual de la variable clima.....	91
Figura 22 Mapa de tipos de clima.....	92
Figura 23 Modelo conceptual de la variable geología.....	93
Figura 24 Mapa geológico	96
Figura 25 Modelo conceptual de la variable geomorfología.....	97
Figura 26 Mapa geomorfológico.....	99
Figura 27 Modelo conceptual de la variable pendientes	100
Figura 28 Mapa de pendientes.....	101
Figura 29 Modelo conceptual de la variable red hídrica.....	102
Figura 30 Mapa de cuenca y red hídrica.....	103
Figura 31 Modelo conceptual de la variable distancia a fallas geológicas.....	104
Figura 32 Mapa de sistema de fallas	105
Figura 33 Modelo conceptual de la variable suelos.....	106
Figura 34 Mapa de suelos.....	108
Figura 35 Modelo conceptual de la variable hidrogeológico.....	109
Figura 36 Mapa hidrogeológico.....	110
Figura 37 Modelo conceptual de la variable zonas de vida.....	111
Figura 38 Mapa de zonas de vida.....	113

Figura 39 Modelo conceptual de la variable cobertura.....	114
Figura 40 Mapa de coberturas.....	116
Figura 41 Modelo conceptual de la variable socio-estructural.....	117
Figura 42 Mapa de socio estructural.....	120
Figura 43 Integración de mapas temáticos	121
Figura 44 Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0) y (1), según variable clima...	123
Figura 45 Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0) y (1), según variable geología	124
Figura 46 Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0) y (1), según variable geomorfología.....	126
Figura 47 Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0) y (1), según variable pendientes	127
Figura 48 Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (1), según variable falla.....	128
Figura 49 Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (1), según red hídrica.....	129
Figura 50 Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0,1), según suelo.....	131
Figura 51 Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0,1), según hidrogeología.....	132
Figura 52 Sumatoria de las variables, físico.....	133
Figura 53 Multiplicación del criterio por el peso, físico.....	134
Figura 54 Datos de la sumatoria según criterio físico.....	134
Figura 55 Diseño del modelo espacial según el criterio físico.....	136
Figura 56 Mapa de zonas óptimas y aceptables considerando criterio físico.....	137
Figura 57 Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0,1), según zonas de vida.....	139
Figura 58 Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0,1), según coberturas.....	140
Figura 59 Sumatoria de las variables, biológico.....	141
Figura 60 Multiplicación del criterio por el peso, biológico.....	141

Figura 61 Datos de la sumatoria según criterio biológico.....	142
Figura 62 Diseño del modelo espacial según el criterio biológico.....	143
Figura 63 Mapa de zonas óptimas y aceptables considerando criterio biológico.....	144
Figura 64 Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0,1), según criterio socio- estructural.....	146
Figura 65 Sumatoria de las variables, social.....	147
Figura 66 Multiplicación del criterio por peso, social.....	147
Figura 67 Datos de la sumatoria según criterio socio-estructural.....	148
Figura 68 Diseño del modelo espacial según el criterio socio-estructural.....	149
Figura 69 Mapa de zonas óptimas y aceptables considerando criterio socio-estructural.....	150
Figura 70 Suma de la ponderación de los criterios para el modelo final.....	151
Figura 71 Clasificación del modelo final.....	152
Figura 72 Mapa de zonas óptimas y aceptables para instalar infraestructuras de disposición final de residuo sólidos.....	153
Figura 73 Área de estudio vista desde Google Earth.....	154
Figura 74 Área 1 y 2 de alto potencial para la instalación de relleno sanitario, vista	154
Figura 75 Área 1 para la instalación de relleno sanitario.....	155
Figura 76 Área 2 para la instalación de relleno sanitario.....	157

RESUMEN

La investigación tuvo como propósito diseñar un modelo geoespacial de localización óptima de instalaciones para la disposición final de residuos sólidos aplicando los SIG en la provincia de Jaén – Cajamarca.

Dentro de los aspectos metodológicos se tiene que es enfoque cuantitativo, se utilizó herramientas de geoprocésamiento y el Software ArcGIS 10.3, para la elaboración de los mapas y diseños cartográficos. Dentro de las conclusiones se señala que 2% del total del área son consideradas potenciales para el establecimiento de rellenos sanitarios en la provincia de Jaén, todo esto mediante la utilización de álgebra de mapas en Sistema de Información Geográfica (SIG), donde se realizó el proceso de interpretación del espacio mediante ponderaciones binarias a las múltiples variables analizadas, donde “1” eran las áreas que descartan el sitio para esta actividad y “0” potenciaba el espacio para la ubicación de la propuesta, asimismo se realizó la evaluación multicriterio de las variables teniendo en cuenta los criterios físico, biológico y socio-estructural, luego de los diferentes geoprocésos se pudo atender a la necesidad de hallar un sitio potencial para disposición de residuos para ello se tuvo en consideración Guía de diseño construcción, operación, mantenimiento y cierre del relleno sanitario manual y el D.S. 014-2017 –MINAM.

Finalmente, se pudo evidenciar, que los SIG contribuyen como herramientas eficientes para la solución de situaciones sociales reales.

Palabras claves: Sistema de información geográfica, localización óptima e instalaciones para residuos sólidos.

ABSTRACT

The purpose of the research was to design a geospatial model for the optimal location of facilities for the final disposal of solid waste by applying geographic information systems in the province of Jaén - Cajamarca.

Within the methodological aspects, it is a quantitative approach, geoprocessing tools and ArcGIS 10.3 Software were used to prepare the maps and cartographic designs. Within the conclusions, it is pointed out that 2% of the total area are considered potential for the establishment of sanitary landfills in the province of Jaén, all this through the use of map algebra in the Geographic Information System (GIS), where the process of interpretation of the space through binary weights to the multiple variables analyzed, where "1" were the areas that discarded the site for this activity and "0" enhanced the space for the location of the proposal, also the multi-criteria evaluation of variables taking into account the physical, biological and socio-structural criteria, after the different geoprocesses it was possible to attend to the need to find a potential site for waste disposal. For this, it was taken into consideration Design guide, construction, operation, maintenance and closure of the manual landfill and the DS 014-2017 -MINAM.

Finally, it was possible to show that GIS contribute as efficient tools for solving real social situations.

Key words: Geographic information system, optimal location and facilities for solid waste

I. INTRODUCCIÓN

El Perú al igual que muchos países del mundo enfrenta retos en el manejo de sus residuos sólidos municipales, debido a que no cuentan con un adecuado manejo integral de residuos sólidos, el cual debe ser desde la generación hasta su disposición final, sanitaria y ambientalmente idónea. Sin embargo, el déficit de servicios y la ausencia de infraestructuras sanitarias para la disposición final de los residuos sólidos municipales, han originado la formación de botaderos de residuos sólidos en las ciudades, donde se disponen los residuos sólidos sin las mínimas medidas sanitarias y de seguridad, propiciando la proliferación de vectores, prácticas insalubres de segregación y alimentación de animales con residuos sólidos. Una herramienta esencial para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos, es el sistema de información geográfica (SIG). Este sistema, es un medio valioso en el ámbito de la gestión y la ordenación del territorio, por su ayuda en el análisis, modelización y predicción de fenómenos con carácter espacial.

El análisis inicio con la sistematización de las variables temáticas recopiladas de las Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) – Cajamarca, para ello se realizó una exclusión de las características de cada capa empleando la ponderación binaria (0,1), donde “0” representaron zonas aptas para la localización de instalaciones de disposición final, en base a las consideraciones técnico, físicos y sociales cumpliendo con los criterios mínimos, establecidos en el D.S. 014-2017 –MINAM y la “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre del relleno sanitario manual”; asimismo los valores “1” representaron zonas que no cumplen con los requisitos. Seguidamente se desarrolló la evaluación multicriterio a todas las variables integradas en tres criterios; físico, biológico y socio-estructural ponderando según la importancia que influye una respecto a otra. Todo ello desarrollado en un modelo espacial utilizando el model builder y las herramientas de geoprociamiento del Software ArcGIS 10.3.

1.1. Descripción y formalización del problema

Organización Mundial de la Salud ([OMS], 2018), en su investigación titulada “Cómo la basura afecta al desarrollo de América Latina”, sostiene lo siguiente:

Con respecto a la generación de residuos, este se ha convertido en un problema global, se estima que un tercio de residuos que se han generado en América Latina y el Caribe, aun son acumulados en diversos espacios denominados basurales a cielo abierto o esparcidos en el medio ambiente; sin pensar, en cómo puede afectar la salud de los habitantes, además de contaminar el suelo, aire y agua. Se observa también la poca capacidad de reciclar como medida se convierte en otro reto para la región. Se observa también que, el problema central se la disposición de manera no controlada, o disposición incorrecta, por lo general en cualquier parte, en arroyos, espacios abandonado; sin ningún tipo de control, además de producir quemas, generando así más contaminación.

En este mismo orden de ideas, se puede mencionar que el Banco Mundial (2018) en su publicación titulada “Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos” nos indica lo siguiente:

La gestión de desechos sólidos es un problema de índole universal, que involucra a todos los habitantes del planeta, debido a que, el 90% de los desechos se queman o vierten a fuego abierto, por lo general esta realidad se evidencia en los países en desarrollo o los más pobres, quienes resultan ser los más vulnerables ante esta problemática, dentro de los problemas más graves que surgen de esta situación se tiene, contaminación de los océanos, producción de enfermedades, afecciones respiratorias debido a la quema indiscriminada, animales afectados por consumo de desperdicios, también de forma directa e indirecta se perjudica la economía, el

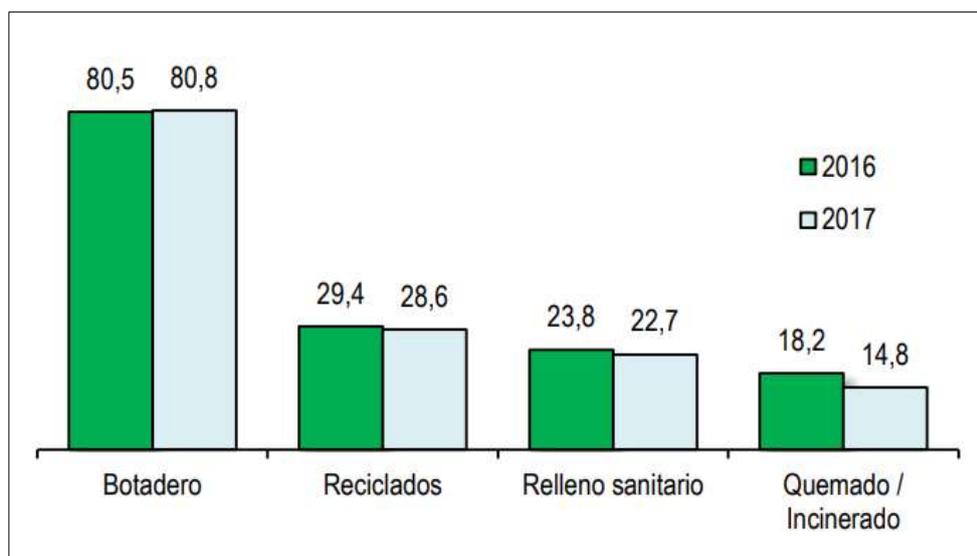
turismo por ejemplo; asimismo, el efecto invernadero se incrementa motivado a esta actividad.

En el Perú también se presentan problemas similares para la disposición de los residuos sólidos, de acuerdo con Instituto Nacional de Estadística e Informática ([INEI], 2018), nos indica lo siguiente:

Los gobiernos locales realizan el recojo de residuos sólidos: El 80.8% (1 484) de municipios depositan todo o parte de los mismos en botadero, el 28.6% (525) lo disponen para reciclaje, el 22.7% (416) los destinan a un relleno sanitario y el 14.8% (271) lo disponen al quemado o incinerado. Contrastando el año 2016 con el 2017, se observa una disminución en el número de municipalidades que registran como destino final de los residuos sólidos el reciclaje (0.8 puntos porcentuales), relleno sanitario (1.1 puntos porcentuales) y quemado o incinerado (3.4 puntos porcentuales); a pesar de esto último, alrededor de 98 toneladas diarias son tratadas bajo este tipo de proceso (p. 133).

Figura 1

Municipalidades que realizan el servicio de recojo de residuos sólidos, periodo 2016 -2017



Nota. El gráfico de barras representa la comparación de cantidades de residuos sólidos que las municipalidades a nivel nacional han recolectado teniendo en cuenta su destino final en el periodo 2016-2017. Tomado de INEI (2018).

Es importante definir que es un residuo sólido, de acuerdo con el Ministerio del Ambiente ([MINAM], 2016), nos indica lo siguiente:

Puede ser considerados residuos sólidos, “las sustancias o productos en diferentes estados, de los cuales la persona que los genera está obligada a disponer de la mejor manera, aplicando las leyes y normativas establecidas por la Ley, para garantizar la disminución de riesgos para el ambiente o la salud de los seres humanos y todos los seres vivos, también has de considerarse aquellos residuos producto de evento de índole natural” (p. 8).

Es importante comprender la necesidad de la región de Cajamarca para poder abordar la problemática, de disposición adecuado de residuos sólidos, de acuerdo con INEI (2016):

Los departamentos de Áncash (100), Cajamarca (92), Puno (88) y Lima (87) concentran la mayor cantidad de municipalidades que depositan su basura en el botadero a cielo abierto; mientras que en los departamentos de Madre de Dios (9), Tumbes (12) y Ucayali (14), se registró el menor número de municipalidades que depositan la basura en este destino (p. 278).

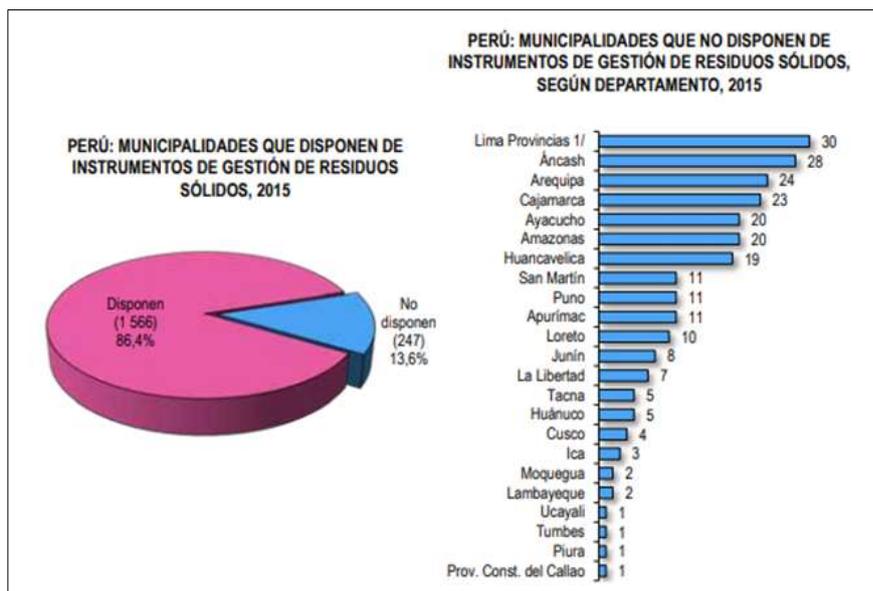
Esta realidad afecta el sector en estudio, el cual se encuentra dentro de aquellas alternativas que no poseen un mecanismo para gestionar los residuos sólidos de acuerdo con INEI (2017):

El 86.4% (1 566) de municipalidades tiene al menos un instrumento de gestión de residuos sólidos. De este total, el 68.3% (1 mil 69) dispone de Sistema de Recojo de Residuos Sólidos, el 63.0% (986) tiene Plan de Manejo de Residuos Sólidos, el 43.7% (685) Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos, el 24.6% (385) cuenta con Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos y el 8.0% (125) dispone de Programa de Transformación de Residuos Sólidos (p. 102).

Es necesario acotar que, aun cuando el Estado ha realizado grandes esfuerzos, algunas municipalidades no cuentan con instrumentos o planes para gestionar los residuos sólidos, dentro de ellas esta Cajamarca como se evidencia en la Figura 2.

Figura 2

Municipalidades que no disponen de instrumentos de gestión de residuos sólidos.



Fuente: INEI (2017)

En la provincia de Jaén, los problemas de contaminación por residuos sólidos son causados por la mayoría de la población en general, que no tiene conciencia ambiental, lo que se manifiesta en hechos tan simples como la falta de utilización de los tachos de basura en plazas y avenidas. Existen otras evidencias del daño que se está realizando en esta zona, en la Figura 3. Se evidencia como los animales acceden y se contaminan consumiendo residuos en mal estado.

Figura 3

Ganado vacuno y porcino alimentándose de restos orgánicos en el botadero de residuos de la ciudad de Jaén.



Fuente: Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos ([PIGARS], 2012)

Como se ha comentado antes en la actualidad la ciudad de Jaén no cuenta con ningún manejo o tratamiento adecuado de residuos sólidos, la disposición final es realizada en un botadero informal a cielo abierto, ubicado a 8 Km. de la ciudad (Sector superior de la Fila Alta), cuya área de terreno no es de propiedad de la municipalidad según PIGARS, (Municipalidad de Jaén, 2012, p. 75), como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Vista del botadero de residuos de la ciudad de Jaén



Fuente: PIGARS (2012)

Otro aspecto significativo a mencionar es que, los residuos que se producen en los domicilios, son tirados a las calles o en terrenos abandonados generando puntos críticos que dañan el paisaje y emiten malos olores que perjudican al vecindario. Según el PIGARS (Municipalidad de Jaén, 2018, p. 6) sostiene lo siguiente:

La población no espera el paso del carro recolector de basura, que pasa de manera inter diaria en horarios establecidos, por lo que los residuos sólidos son esparcidos por perros y gallinazos, dificultando su recolección por parte del personal que trabaja en la División de Gestión de Residuos de la Municipalidad Provincial de Jaén. De igual manera los mercados son una importante fuente de producción de residuos sólidos que en la actualidad necesitan ser monitoreados, para su correcto manejo y almacenaje.

Actualmente muchos de los botaderos suelen estar ubicados de manera inadecuada cerca de del área urbana. Este problema adopta características particulares en localidades, debido a la falta de recursos, la falta de la tecnología o un sistema de información geográfica que permita a los gobiernos regionales y locales localizar de manera óptima las instalaciones para residuos sólidos sin que ello signifique incurrir en costos mayores de inversión y operación, ausencia de conocimiento acerca de las alternativas para enfrentar el problema de la disposición final inadecuada de los residuos sólidos y falta de información sobre las consecuencias negativas de los botaderos donde se disponen los residuos sin las mínimas medidas sanitarias y de seguridad, generando la proliferación de vectores infecciosos, prácticas insalubres de segregación y alimentación de animales con dichos residuos.

1.1.1. Problema general

¿De qué manera la ausencia de un modelo geoespacial limita la localización óptima de instalaciones para la disposición final de residuos sólidos en la provincia de Jaén – Cajamarca?

1.1.2. Problemas específicos:

- ¿Cómo una adecuada sistematización y análisis de las variables físicas, biológicas y socio-estructurales contribuye en la localización óptima de instalaciones para disposición final de residuos sólidos?
- ¿Cuáles son los criterios de selección que nos permita determinar zonas prioritarias para la disposición final de residuos sólidos en la provincia de Jaén – Cajamarca?
- ¿En qué medida la ausencia de un modelo geoespacial de localización dificulta conocer la ubicación de zonas óptimas y aceptables para instalar infraestructuras de disposición final de residuos sólidos en la provincia de Jaén – Cajamarca?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Internacionales

Atiencia Robles (2018), en su tesis titulada “Propuesta de sitios potenciales para la implementación de un relleno sanitario en el Cantón Esmeraldas”, se concluyó que:

En relación a los residuos sólidos y a su composición, los que más se destacan principalmente sobre los demás son los orgánicos. Siendo estos una gran oportunidad de originar entradas económicas mediante el reciclaje. Durante los próximos 10 años la generación per cápita conllevará a un leve crecimiento del 1% anual. Se pudieron determinar las capacidades de cada sitio analizado mediante las variables identificadas para constituir el lugar más apto para implementar el relleno sanitario. Dado a que cumplen con los criterios ambientales, sociales y técnicos analizados se determinó que son aptos los sitios 2 y 3 para implementar un relleno sanitario. En donde no sería impedimento alguno la opinión pública para el establecimiento de un relleno sanitario en ambos sitios.

Anchía Leitón (2018), en su tesis titulada “Propuesta para el diseño de micro-rutas de recolección de residuos sólidos valorizables en el casco central comercial de la ciudad de San José”, se pudo concluir que:

Se identificó mediante el proyecto que no existe una propuesta a nivel nacional que proyecte una metodología semejante a la planteada, puesto que para brindar el servicio de recolección de los residuos sólidos se diseñaron las rutas ideales usándose como método el georreferenciar, contabilizar y caracterizar. La Municipalidad de San José (MSJ) al implementar la presente propuesta es la primera administración local de Costa Rica, en alcanzar un óptimo diseño de rutas de recolección de residuos sólidos valorizables, partiendo de un estudio y análisis mediante el uso del entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) de habitabilidad, de un estudio de las tazas y caracterización de generación de residuos sólidos valorizables, sin excluir técnicas y herramientas como la observación de campo y el análisis espacial que son de gran importancia para el mencionado diseño.

1.2.2. Nacionales

Paredes Paredes (2018), en su tesis “Identificación de áreas óptimas para relleno sanitario de residuos sólidos de la ciudad de Sandía – Puno”, se concluyó que:

La producción municipal es 4.32 ton/día de residuos, de 1.76 Ton/día alcanza la producción de residuos no domiciliaria, de 2.56 ton/día consigue la producción de residuos domiciliaria y de 0.521 Kg/hab/día en la producción per cápita domiciliaria. En cuanto a los residuos su composición representada por material de reciclaje el 5.8% el cartón, el 6.07% las latas, el 6.69% el papel, el 10.20% bolsas y seguido por el 34.21% de la materia orgánica; alcanzando el 7.67% de los residuos sanitarios; 200 Kg/m³ de la densidad compacta promedio. La estabilidad del terreno se determinó con la superposición ponderada en el ArcGIS 10.3 y se trabajó con tres capas temáticas

(hipsometría, precipitación y pendiente). Se consiguieron los siguientes resultados: Alternativa 3 (Queneque) baja aptitud en la estabilidad del terreno, Alternativa 2 (Aricato) baja aptitud en la estabilidad del terreno y en último lugar Alternativa 1 (Kallpapata) con moderada aptitud en la estabilidad del terreno. En conclusión, la mejor opción para ubicar un relleno sanitario es la Alternativa 2 (Aricato), debido a que presenta vías de acceso en excelentes condiciones, presencia de material de cobertura, dirección del viento en sentido contrario, buena distancia a fuentes de agua superficial, vida útil 10 años, la precipitación es (1000-1050 mm de precipitación media anual), mejor estabilidad física del terreno, topografía (32%-44 %), siendo características favorables al presentar un drenaje moderado, sin riesgo de erosión hídrica y de inundación.

Espejo Pingus (2017), en su tesis titulada “Localización óptima de un relleno sanitario empleando SIG en el distrito de Chachapoyas, Región Amazonas, 2017”, se concluye que:

Empleando SIG se elaboró una metodología de geo-procesos que permitió analizar el territorio estableciendo la localización ambiental y técnica adecuada en cuanto a la instalación de rellenos sanitarios, resultando recomendable cuatro zonas. Se realizó el procesamiento de gran cantidad de datos mediante la aplicación y empleo de sistemas de información permitiendo al profesional experto realizar un análisis de riesgos, mejor toma de decisión geo-ambiental y minimizar posibles problemas medioambientales, para asegurar la pertinencia de un proyecto. En la selección de rellenos sanitarios con SIG esta investigación es un buen ejemplo práctico. Para resolver este tipo de problema se utiliza una metodología eficiente y simple, en todo el departamento de Amazonas se puede aplicar este enfoque. Empleando SIG, se establecieron en el distrito de Chachapoyas cuatro zonas óptimas para la instalación de un relleno sanitario que cumpla todos los requerimientos sociales y

medioambientales. Para la instalación de un relleno sanitario se establecieron siete factores y criterios óptimos de localización; caracterizando en el distrito de Chachapoyas una gestión integral de residuos sólidos. Finalmente se demostró que, con la aplicación de los SIG y sus diversas herramientas, se determinó en el distrito de Chachapoyas la manera óptima donde ubicar la zona para un relleno sanitario que ocasione un menor impacto ambiental.

Javier Silvia (2015), en su tesis titulada “Sistemas de Información Geográfica y la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos: propuesta para la provincia de Huánuco”, se concluye que:

Se encontraron tres áreas óptimas como resultado de la confección de un modelo cartográfico, tomándose en cuenta criterios excluyentes para el logro de mejores resultados. La provincia de Huánuco hasta el 2014, cuenta con 12 distritos, de los cuales para la verificación en la elaboración total de desechos domiciliarios 8 de los distritos no contabilizaron la producción total de desechos. Para una óptima localización y análisis del territorio se elaboraron 3 submodelos para la ubicación de establecimientos para residuos sólidos. De acuerdo al estudio de determinación de suelos se encontraron 3 adecuados lugares con presencia de buen material de cobertura, aptos para su selección, cumpliendo con las particularidades de instalación para un relleno sanitario. Para el estudio de preinversión (prefactibilidad), se precisan valoraciones técnicas detalladas de especialistas en la materia. Para la disposición final de los residuos sólidos se debe aprovechar al máximo las zonas señaladas para la construcción de una planta procesadora, manejando los mismos insumos dentro del proceso productivo.

1.2.3. Local

Loyaga Rivera (2019), en su tesis titulada “Identificación de áreas óptimas para instalar un relleno sanitario utilizando SIG, distrito Las Pirias - provincia de Jaén”, dentro de sus conclusiones señala que:

En el distrito de Las Pirias - provincia de Jaén utilizando el SIG se identificaron 13 áreas aceptables y 2 áreas óptimas para el establecimiento de un relleno sanitario. En la selección de áreas óptimas para la construcción de un relleno sanitario, fue empleado el manual del MINAM, utilizando los criterios que se determinan como guía para la construcción, diseño, mantenimiento, operación y cierre del relleno sanitario. Se utilizó una evaluación multicriterio para establecer los aspectos técnicos por criterio, valores y categorías, instalación del relleno sanitario en áreas aceptables que cumplen con las condiciones “2”, instalación potencial de un relleno sanitario en áreas óptimas “1” y para la instalación del relleno sanitario en áreas consideradas no aptas “0”. Luego de la identificación se confecciono un mapa de áreas aceptables y áreas óptimas para la instalación de un relleno sanitario en el distrito de Las Pirias.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un modelo geoespacial de localización óptima de instalaciones para la disposición final de residuos sólidos aplicando los SIG en la provincia de Jaén – Cajamarca.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar la sistematización y análisis de las variables físicas, biológicas y socio-estructurales mediante la ponderación binaria (0,1) y herramientas de geoprocesamiento del software ArcGIS 10.3.

- Determinar los criterios de selección de zonas prioritarias para la disposición final de residuos sólidos en la provincia de Jaén – Cajamarca mediante la evaluación multicriterio.
- Conocer la ubicación de zonas óptimas y aceptables para instalar infraestructuras de disposición final de residuos sólidos en la provincia de Jaén – Cajamarca.

1.4. Justificación

Desde la perspectiva teórica, este estudio está centrado en la revisión de diversas investigaciones con posturas nacionales e internacionales que permitieron al investigador comprender que, existen tres posturas esenciales la sustentabilidad ecológica, económica y social, las cuales están referidas a garantizar el equilibrio del ecosistema. Asimismo, esta investigación se convertirá en un referente para otras investigaciones que servirá de complemento, del mismo modo, este estudio está basado en metodologías y teorías que van a dar nuevos productos que teóricamente serán pautas para la localización óptima de instalaciones de disposición final de residuos sólidos en la provincia de Jaén – Cajamarca.

Desde la visión aplicativa y práctica, el estudio permite a través del sistema de información geográfica, la ubicación de los puntos esenciales para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la provincia de Jaén – Cajamarca. Lo que implica que estos SIG se convierten en una herramienta esencial que puede ser aplicado en diversas acciones y mejorar los procesos de selección y ubicación, mejorando la toma de decisiones; para abordar la problemática y poder dar la respuesta adecuada, siendo ágiles y permitiendo el acceso a gran cantidad de datos al mismo tiempo.

Desde la visión social, este trabajo contribuye a identificar instalaciones de disposición final de manera óptima basado en los SIG que al aplicarse brindaría una solución a la población ya que este es un problema macro que afecta a muchos países y regiones, asimismo, de esta manera se estaría ofreciendo una alternativa innovadora y moderna que

permitirá establecer un nuevo ordenamiento. Con esta propuesta se disminuye la contaminación de las personas, animales, suelos y agua de la zona, partiendo de la premisa que implica también fomentar una cultura ambiental que le permita a los habitantes de sector comprender el daño que se produce al medio ambiente la disposición de desechos de forma inadecuada.

1.5. Hipótesis

Con la aplicación del modelo geoespacial basado en los SIG permitiría la localización óptima de instalaciones para la disposición final de residuos sólidos en la provincia de Jaén – Cajamarca.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Sistema de información geográfica

Según Sanguino Fortea (2013), en la tesis titulada “Sistema de información geográfica Campus Sur -UPM”, sostiene lo siguiente:

Se entiende por SIG a conjunto de herramientas informáticas que forman parte directa y relacionan una gran cantidad de componentes como son el hardware, el software, los usuarios, así como también los diferentes procesos de almacenamiento de datos que permite el análisis y manipulación de información. Es importante acotar que, el SIG es una cantidad de elementos informáticos dispuestos (software, hardware y datos georreferenciados), diseñados almacenar, mostrar, capturar y editar relativa información geográfica del mundo real.

Olaya (2011), en su libro “Sistema de información geográfica”, manifiesta lo siguiente:

Cabe señalar que lo importante de la información es que debe proceder del mundo real, transformándose en una herramienta de referencias espaciales para agrupar aspectos ambientales, culturales, sociales y económicos, en base a información actual partiendo de la toma de decisiones. Por otra parte, puede ser entendida como la combinación de datos, herramientas y métodos diseñados para proceder lógica y coordinadamente en el almacenamiento, análisis, captura, presentación y transformación de la información geográfica y atributos, con el propósito de satisfacer múltiples fines.

Es oportuno señalar que, partiendo de la información espacial este tipo de sistema permite incorporar una gran diversidad de elementos, basándose en la gestión de la misma

para la toma de decisión y para analizarla, obteniendo de forma rápida para cada interrogante las respuestas agilizando la resolución del problema (Olaya, 2011).

2.1.1.1. Componentes del sistema de información geográfica. Los SIG, son elementos fundamentales integrados que brindan soporte informativo al usuario al hacer consultas de forma interactiva de información, generándose datos específicos sobre diversas ubicaciones de las zonas, datos en forma de mapas, datos numéricos entre otros. Es preciso destacar que el sistema se le debe computar información para que este realice estos procedimientos mediante procesos definidos como datos, igualmente debe contar con el personal adecuado, contar con visualización y el factor organizativo, los cuales mencionamos a continuación.

a) Datos

Los datos SIG simbolizan los elementos procedentes dentro del contexto real, como uso de los suelos, altitudes de los sectores o terreno, así como también las carreteras. Se puede señalar que, como elementos esenciales los datos, son aquellos que dan sentido a la información geográfica del sistema, transformándose en obligatorios. Desde esta perspectiva, los datos geográficos son los que permiten profundizar en las características y en el conocimiento de las propiedades previstas a utilizar en el sistema (Olaya, 2011).

Ciertamente, para poder dar respuestas de forma efectiva a todas las interrogantes propuestas es necesario suministrar al sistema datos de alta confiabilidad. Se debe realizar una inversión porcentual importante dentro del presupuesto para obtener datos confiables a la hora de implementar el sistema, también se hace importante el tiempo como factor al momento de seleccionar y recabar la información. Por consiguiente, se debe considerar que al suministra en el SIG información incompleta o incorrecta es factible un error, generando resultados incorrectos o erróneos que confundan al usuario (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2004).

b) Procesos

El proceso, son todas aquellas acciones involucradas en la recolección de información e introducción de esta al sistema, definiendo el diseño tomando en cuenta la operatividad y la calidad. Por otra parte, para la efectividad del SIG se debe contar con el personal capacitado, así como programas y equipos actualizados para ejecución, organización, planificación y supervisión, partiendo de la calidad de los datos, como garantía de la calidad final del sistema (IGAC, 2004).

Una de las razones primordiales del desarrollo y de las funcionalidades básicas del SIG es el análisis. El computador es una máquina con capacidad de generar cálculos y de ejecutar gran cantidad de datos y obtener resultados precisos de diferentes índoles. El SIG como herramienta incorpora en mayor o en menor medida una serie de fórmulas para la generación de los resultados y facilitar el análisis espacial de los datos.

Olaya (2011), en su libro “Sistema de información geográfica”, señala lo siguiente:

Estos procesos están representados por fórmulas que suelen ser considerablemente complejas o sumamente sencillas, como resultado de la combinación de uno o varios campos, inclusive de forma general. Puede ser muy variado su origen y no necesariamente del puro ámbito de la geografía, yendo de lo simple a lo complejo en cuanto a pequeñas consultas o a generar mediciones donde se empleen diversas variables de datos en modelos preestablecidos, generando resultados complejos. En el SIG se pueden confeccionar un nuevo conjunto de elementos para el análisis de los procesos mediante la estadística u otras ciencias, adaptadas o georreferenciadas al marco de la información.

c) Visualización

En su investigación titulada “Sistema de información geográfica”, manifiesta lo siguiente:

La visualización implica que, este sistema puede representar de forma gráfica, permitiendo la mejor interpretación de la información, ayudando a tomar decisiones con prontitud y con la inmediatez de tiempo requerido. Admite también la presencia de ciertos patrones sistemáticos, los cuales son en la mayoría de los casos más fáciles de estudiar cuando se observan de forma visual, ayuda a ver la situación desde otra perspectiva. Cuando se habla de la geografía, la información visual ayuda a encontrar muchas alternativas de solución ante una misma realidad; debe tenerse presente que está a su vez, a través del tiempo se ha trabajado con mapas e imágenes que permite a la persona desarrollar su imaginación y creatividad. Debe señalarse que, un mapa puede ser interpretado como una imagen visual (Olaya, 2011).

d) Tecnología

En su investigación titulada “Sistema de información geográfica”, sostiene lo siguiente:

El SIG, posee una parte conectada al área tecnológica el software, el cual permite manipular gran cantidad de datos. Estos softwares han ido mejorando con el tiempo haciéndose más ágiles, con mayor capacidad, existen aplicaciones denominadas básicas, las cuales sólo permiten visualizar, análisis, cierta cantidad de datos y análisis muy sencillos; sin embargo, se cuenta también con otros más sofisticados, desarrollados más en un campo en particular, en este contexto entran los SIG, los cuales requieren de un software específico que permita realizar todas las actividades que se necesitan para poder cumplir con los objetivos, además de garantizar la

eficacia y eficiencia del SIG, como la visualización cartográfica, elaboración de mapas, partiendo de las especificaciones de la región, etc. (Olaya, 2011).

Es importante acotar que, este sistema puede adecuarse a una gran cantidad de programas y software, puede incluso utilizarse en sistemas combinados y conectados en redes, debe mencionarse que los equipos en físico o hardware conforman el conjunto de elementos requeridos para dar inicio a un SIG, a su vez, se requieren de otras herramientas que permitan almacenar grandes cantidades de información, así como analizarla y convertirla en información geográfica (IGAC, 2004, p. 5).

e) Factor organizativo

Es imprescindible para implementar un SIG, un equipo de trabajo con suficiente organización, planificación entre todos sus componentes. Evidentemente, la interrelación entre sus componentes marcará la diferencia, para garantizar la calidad del sistema, esta postura cada día cobra más fuerza, esto se relaciona con la complejidad del sistema y los requerimientos de uso, lo cual permite el establecimiento de parámetros para obtener los resultados esperados (Olaya, 2011).

f) Personal

El personal es esencial para cualquier tarea, en este caso específico, es necesario que posean el conocimiento necesario, en diversas áreas, la tecnológica para manejar el sistema y coordinar las interrelaciones entre los elementos. Asimismo, la experiencia es indispensable, para el abordaje de la situación, por ejemplo, tomar decisiones acertadas, disminuir riesgos de fallas, evitar errores. También debe contar con personal de apoyo que maneje el área de la cartografía y mapas, en conjunto se lograría elevar el nivel del producto final. Es necesario acotar que, el especialista puede elevar el potencial del diseño, implementando múltiples herramientas para agilizarlo (IGAC, 2004).

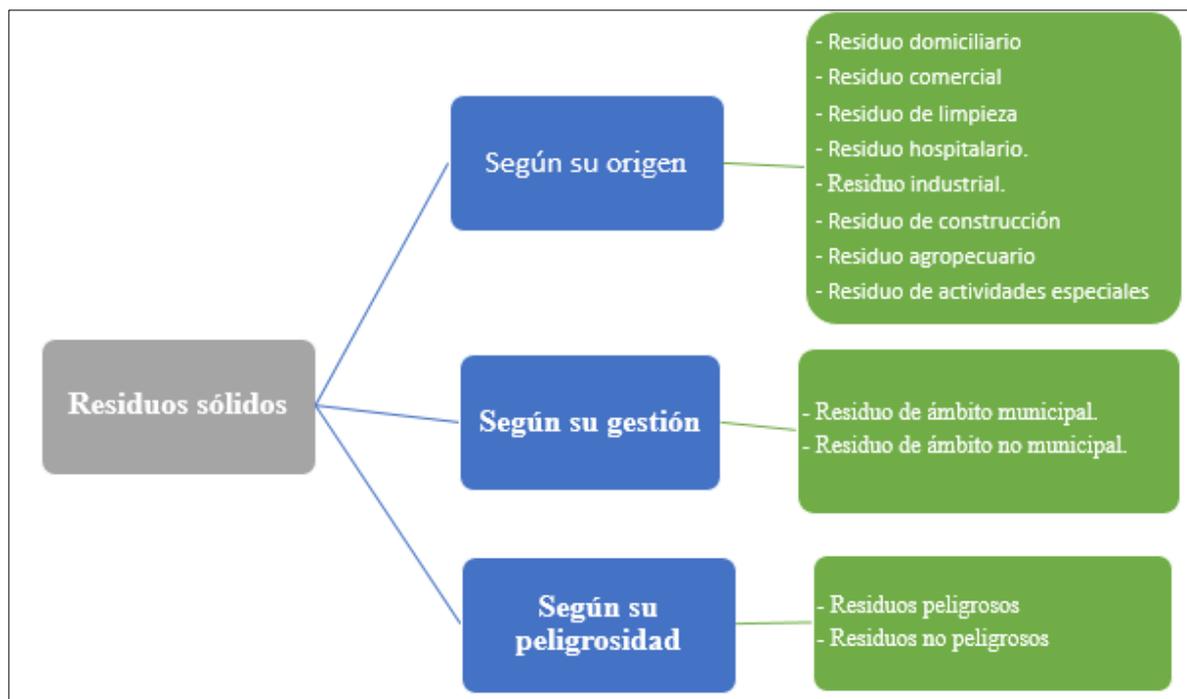
2.1.2. Residuos sólidos

Los residuos sólidos son todas aquellos productos o sustancia, en estado sólido o semisólido de los cuales se dispone, debe resaltarse que, el generador de estos, está obligado a disponer, de acuerdo a lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente. Esta definición incluye a los residuos generados por eventos naturales (MINAM, 2016, p. 8).

Según MINAM (2019), en su “Guía para la caracterización de residuos sólido municipales”, nos indica lo siguiente.

Existen muchos tipos de residuos sólidos dentro de los cuales se puede mencionar los residuos sólidos no aprovechables son todos aquellos materiales o sustancias cuyo origen sea orgánico e inorgánico, que se genera de actividades industriales, domesticas, comerciales, de servicios, institucionales, las cuales son permite que se aproveche de ninguna forma; es decir, no puede ser reutilizada o reincorporada, en ningún procedimiento productivo, pueden ser vistos residuos sin valor comercial, requieren tratamiento específico y la ubicación en un destino final.

2.1.2.1. Clasificación de los residuos sólidos. Es necesario acotar que, los residuos tienen varias clasificaciones, de acuerdo con el origen, pueden ser, comerciales, domiciliarios, limpieza, establecimientos de salud, industrial, actividades de construcción, instalaciones, agropecuarios. La gestión de estos residuos, tiene como propósito, el manejo integral, basándose en la sostenibilidad, a través de diversas políticas, acciones y diversos planes, orientados por los organismos del Estado o las municipalidades, los cuales deben velar por el cumplimiento de todas las actividades planificadas (INEI, 2013).

Figura 5*Clasificación de los tipos de residuos*

Fuente: MINAM (2016)

2.1.2.2. Instalaciones para residuos sólidos a nivel nacional. En la actualidad, la principal dificultad que presenta el Perú en relación a los residuos sólidos es la carencia de sitios idóneos para ser seleccionado como destinos finales de los residuos sólidos, de acuerdo a varios organismos, se estima que se requieren al menos 190 infraestructuras; la realidad indica que para el 2020, sólo se cuenta con 56 instalaciones para la disposición final a nivel nacional (MINAM, 2019).

Tabla 1*Instalaciones de disposición final a nivel nacional*

N°	Nombre de la infraestructura de disposición final	Ubicación		
		Departamento	Provincia	Distrito
1	Relleno sanitario de la provincia de Bagua	Amazonas	Bagua	Bagua
2	Relleno sanitario Magdalena, Tilacancha	Amazonas	Chachapoyas	Magdalena
3	Relleno sanitario Luya, Chillaos	Amazonas	Luya	Luya
4	Relleno sanitario San Carlos	Amazonas	Bongará	San Carlos
5	Relleno sanitario de Mariscal Castilla	Amazonas	Chachapoyas	Mariscal Castilla
6	Planta de tratamiento y disposición final de residuos sólidos	Áncash	Huaraz	Independencia
7	Relleno sanitario de Carhuaz	Áncash	Carhuaz	Carhuaz
8	Relleno sanitario, planta de tratamiento de residuos orgánicos y almacén de material reciclable para la ciudad de Cajacay	Áncash	Bolognesi	Cajacay
9	Planta de tratamiento de residuos sólidos - Relleno sanitario El Ombú	Áncash	Huaylas	Caraz
10	Relleno sanitario, planta de tratamiento de residuos orgánicos y planta de separación de residuos Inorgánicos reciclables para la zona urbana del distrito de Anco Huallo.	Apurímac	Chincheros	Anco Huallo
11	Infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de los distritos de Huancarama y Pocabamba.	Apurímac	Andahuaylas	Huancarama
12	Relleno sanitario manual y planta de aprovechamiento de residuos sólidos municipales en la ciudad de Chuquibambilla	Apurímac	Grao	Chuquibambilla
13	Relleno sanitario Andahuaylas	Apurímac	Andahuaylas	San Jerónimo
14	Relleno sanitario manual y planta de reaprovechamiento de residuos sólidos.	Ayacucho	Parinacochas	Coracora

Fuente: MINAM (2019). Listado de rellenos sanitarios a nivel nacional

Instalaciones de disposición final a nivel nacional (Continuación)

N°	Nombre de la infraestructura de disposición final	Ubicación		
		Departamento	Provincia	Distrito
15	Infraestructura de disposición final de los residuos sólidos de la ciudad de Cangallo y comunidades de Mollebamba, Huahuapuquio del distrito de Cangallo y la ciudad de Pampa Cangallo y las comunidades de Coraspampa, Hualchancca, Jatumpampa Pacopata.	Ayacucho	Cangallo	Cangallo
16	Relleno sanitario manual y planta de aprovechamiento de residuos sólidos de la Ciudad de San Miguel, provincia de La Mar, región Ayacucho	Ayacucho	La Mar	San Miguel
17	Relleno sanitario manual y planta de aprovechamiento de residuos sólidos del distrito de Hualla	Ayacucho	Victor Fajardo	Hualla
18	Relleno sanitario de Huamanga	Ayacucho	Huamanga	Tambillo
19	Relleno sanitario semi mecanizado de la ciudad de Puquio	Ayacucho	Lucanas	Puquio
20	Planta de valorización de residuos orgánicos e inorgánicos de la Municipalidad de Huancapi	Ayacucho	Victor Fajardo	Huancapi
21	Infraestructura de tratamiento y disposición final de Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Jesús
22	Petramas S.AC., Ventanilla, Callao (botadero controlado el modelo)	Callao	Callao	Ventanilla
23	Relleno sanitario manual y planta de tratamiento de Anta	Cusco	Anta	Anta
24	Infraestructura de disposición final y tratamiento de residuos sólidos	Huancavelica	Huancavelica	Yauli
25	Relleno sanitario Ccapaso	Huancavelica	Angaraes	Ccochaccasa
26	Infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos	Huánuco	Huamalíes	Llata
27	Infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de la ciudad de Ambo	Huánuco	Ambo	Ambo

N°	Nombre de la infraestructura de disposición final	Ubicación		
		Departamento	Provincia	Distrito
28	Relleno sanitario ubicado Loma Lodulado municipalidad provincial de Ica	Ica	Ica	Ica
29	Relleno sanitario manual Santa Cruz	Junín	Concepción	Concepción
30	Relleno sanitario de Pampaya	Junín	Tarma	Tarma
31	Relleno sanitario de Yauyos	Junín	Jauja	Yauyos
32	Relleno sanitario semi-mecanizado de los distritos de Coviriali, Llaylla, Río Negro y Satipo. Provincia Satipo.	Junín	Satipo	Río Negro
33	Planta de tratamiento de residuos sólidos para los distritos de la Oroya y Santa Rosa de Sacco	Junín	Yauli	La Oroya
34	Relleno sanitario que cuenta con celdas de seguridad	La Libertad	Ascope	Chicama
35	Relleno sanitario El Zapallal	Lima	Lima	Carabayllo
36	Relleno sanitario Portillo Grande	Lima	Lima	Lurín
37	Relleno sanitario Huaycoloro	Lima	Huarocharí	San Antonio
38	Relleno sanitario manual de la municipalidad provincial de Yauyos	Lima	Yauyos	Yauyos
39	Relleno sanitario de Chancay	Lima	Huaral	Chancay
40	Relleno sanitario “El Treinta”	Loreto	Maynas	San Juan Bautista
41	Relleno sanitario manual y planta de reaprovechamiento de la ciudad de Nauta	Loreto	Loreto	Nauta
42	Relleno sanitario Oxapampa	Pasco	Oxapampa	Oxapampa
43	Relleno sanitario Pozuzo	Pasco	Oxapampa	Pozuzo
44	Relleno sanitario del distrito de Ninacaca	Pasco	Pasco	Ninacaca
45	Relleno sanitario de Villa de Pasco	Pasco	Pasco	Tinyahuarco
46	Relleno sanitario, planta de tratamiento de residuos orgánicos separación de residuos inorgánicos reciclables	Piura	Sullana	Sullana

Fuente: MINAM (2019). Listado de rellenos sanitarios a nivel nacional

Instalaciones de disposición final a nivel nacional (Continuación)

N°	Nombre de la infraestructura de disposición final	Ubicación		
		Departamento	Provincia	Distrito
47	Relleno sanitario, planta de tratamiento de residuos orgánicos y planta de separación de residuos inorgánicos reciclables de la ciudad de Puno.	Puno	Puno	Puno
48	Infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales y no municipales Yacucatina, San Martín	San Martín	San Martín	Juan Guerra
49	Relleno sanitario y planta de valorización de Tarapoto	San Martín	San Martín	Tarapoto
50	Planta de valorización y relleno sanitario en provincia de Bellavista	San Martín	Bellavista	Bellavista

Fuente: MINAM (2019). Listado de rellenos sanitarios a nivel nacional

Tabla 2*Instalaciones de rellenos de seguridad*

N°	Nombre de la infraestructura de disposición final	Ubicación		
		Departamento	Provincia	Distrito
1	Planta de tratamiento de residuos sólidos y relleno de seguridad en Lomas de Huatiana	Ica	Chincha	Chincha Alta
2	Infraestructura de disposición final de residuos sólidos del ámbito de la gestión no municipal	Piura	Talara	La Brea
3	Relleno de seguridad de servicios y relleno sanitario Beraca E.I.R.L.	Piura	Talara	Pariñas
4	Relleno de seguridad de BA servicios ambientales S.A.C	Piura	Talara	Pariñas
5	Infraestructura de disposición final de residuos sólidos no municipales de Are Yaku Pacha S.A.C	Piura	Piura	Catacaos
6	Planta de tratamiento y relleno de seguridad de Befesa - Perú S.A.	Lima	Cañete	Chilca

Fuente: MINAM (2019). Listado de rellenos sanitarios a nivel nacional

2.1.2.3. Instalaciones para residuos sólidos a nivel de la provincia de Jaén. Al realizar una revisión de información referida al sector en estudio, se observó que, sólo los distritos Las Pírias y Jaén cuentan con Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos Domiciliarios, lo que implica la necesidad de realizar estudios para la localización de instalaciones aptas para la disposición final de residuos sólidos (Municipalidad de Jaén, 2012, p. 67).

Según PIGARS (Municipalidad de Jaén, 2012), “La generación Producción Per Cápita (PPC) de residuos sólidos domiciliarios obtenida mediante el estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Jaén 2017, es de 0.63 Kg /persona/día (630 g)” (p.67). Se tomará este dato para los cálculos de generación de residuos domiciliarios a la fecha por distrito debido a la carencia de estudios en los demás distritos.

En la Tabla 3 se muestra a la población y la generación de residuos sólidos domiciliarios por cada uno de los distritos que conforman la provincia de Jaén. Se estimó un total de 127.92 Ton/día de residuos sólidos domiciliarios en la provincia y 64.95 Ton/día en el distrito de Jaén, siendo su proyección de habitantes al año 2027 de una población de 103 098 personas.

Con el promedio general de PPC (producción per cápita = Kg /hab./día) se calculó la producción total de residuos sólidos domiciliarios provincial que es de 127.92 Ton /día, de estos 64.95 (50.77%) se genera en el distrito de Jaén, seguido por el distrito de Bellavista con 10.66 Ton/día (8.33%) y el que genera menos residuos es el distrito de Las Pírias con 2.95 Ton/día (2.31%) como se puede observar en la Tabla 3 y Figura 7 y Figura 8.

Tabla 3*Población y generación de residuos sólidos domiciliarios por distrito de la provincia de Jaén*

Distritos	Población 2007	Población 2017	Población proyección 2027	Generación Per Cápita (Kg/hab/día)	Generación RRSS domiciliarios (Ton/día)
Jaén	86 021	94 153	103 098	0.63	64.95
Bellavista	15 571	15 447	16 914	0.63	10.66
Chontalí	10 118	9 810	10 742	0.63	6.77
Colasay	11 432	10 238	11 211	0.63	7.06
Huabal	7 732	7 642	83 68	0.63	5.27
Las Pirias	4 344	4 275	4 681	0.63	2.95
Pomahuaca	8763	83 44	9 137	0.63	5.76
Pucará	7 110	6 834	7 483	0.63	4.71
Sallique	77 98	7 033	7 701	0.63	4.85
San Felipe	5 664	4 693	5 139	0.63	3.24
San José del Alto	6 936	6 960	7 621	0.63	4.80
Santa Rosa	12 145	10 003	10 953	0.63	6.90
Total	183 634	185 432	203 048	0.63	127.92

Nota. Generación de residuos sólidos domiciliarios teniendo como base el índice per cápita de producción de residuos sólidos en el estudio de caracterización de Jaén 2017, Tomado del INEI - Censos Nacionales de Población y Vivienda 2007 y 2017.

Calculando la proyección de la población 2027

El primer paso para calcular la proyección de la población urbana para un periodo de 10 años, y se necesitan datos oficiales de los censos nacionales del 2007 y 2017 de todos los distritos de la provincia de Jaén.

De acuerdo al XI Censo de Población y VI de Vivienda del 2007 la población urbana total para el distrito de Jaén es 86 021 habitantes; y de acuerdo al XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de comunidades Indígenas del 2017, la población urbana para este distrito fue de 94 153 habitantes.

Entonces, para el cálculo de la tasa anual de crecimiento, según las fórmulas planteadas por López (2019), se calcula teniendo en cuenta la ecuación (1) :

$$r = \left(\sqrt[t]{\frac{N_t}{N_0}} - 1 \right) \times 100 \quad (1)$$

Definición de las variables:

N_t = Población del año 2017 del distrito de Jaén

N_0 = Población del año 2007 del distrito de Jaén

r = Tasa anual de crecimiento

t = N° de años

Reemplazando los datos:

$$N_t = 94153$$

$$N_0 = 86021$$

$$r = ?$$

$$t = 10$$

Como podemos observar, tenemos la población de inicio, la población futura y el periodo de tiempo en años entre ambas, la formula geométrica es la misma, pero esta vez se encuentra en función de la tasa anual de crecimiento, obteniendo el siguiente dato,

$$r = \left(\sqrt[10]{\frac{94153}{86021}} - 1 \right) \times 100$$

$$r = 0.91\%$$

Una vez calculada la tasa anual de crecimiento poblacional, se aplica la ecuación (2), para un nuevo periodo de 10 años, la proyección que se estimará será para el año 2027, de la siguiente manera:

$$N_t = N_0 (1 + r)^t \quad (2)$$

$$N_t = ?$$

$$N_0 = 94153$$

$$r = 0.91\%$$

$$t = 10$$

Obteniendo el siguiente resultado para el 2027,

$$N_t = 94153(1 + 0.91\%)^{10}$$

$$N_t = 103\ 098$$

Como resultado se obtuvo que para el año 2027 en el distrito de Jaén será de 103 098 habitantes. Este procedimiento se realiza para los 12 distritos que pertenecen a la provincia de Jaén como se muestra en la Tabla 3.

Figura 7

Gráfico de generación de residuos sólidos domiciliarios (Ton/día) a nivel de cada distrito de la provincia de Jaén.

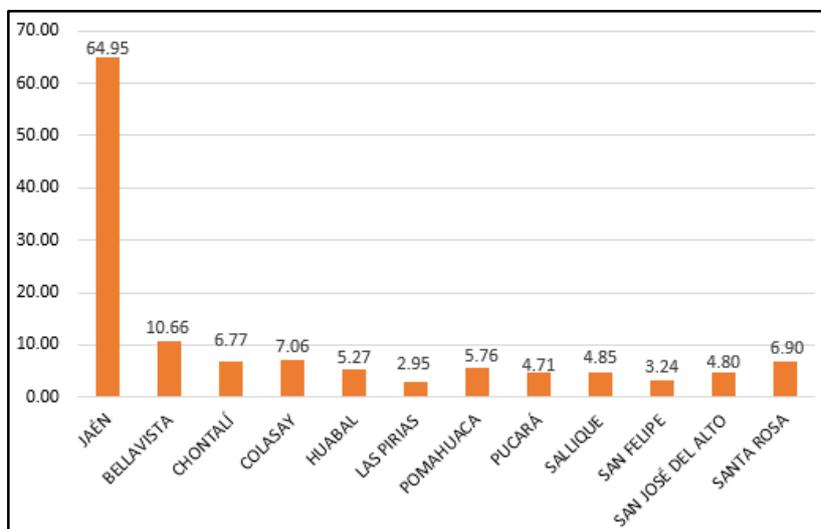
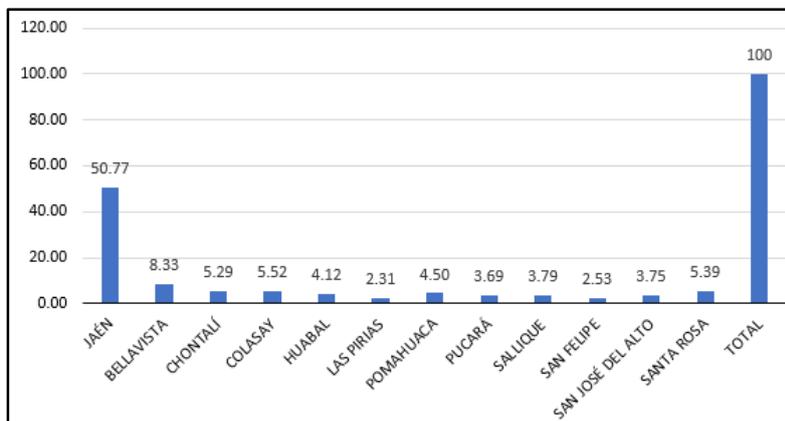


Figura 8

Gráfico de porcentaje de generación de residuos sólidos domiciliarios (Ton/día) a nivel de cada distrito de la provincia de Jaén.



En la Figura 9, se puede visualizar la situación de los residuos sólidos que presenta en cada uno de sus distritos. Teniendo en cuenta que a nivel provincial cuenta con 12 botaderos informales.

Figura 9

Diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos (distritos Santa Rosa y Colasay)

Distrito	Nombre de botadero	Inst. de gestión ambiental	Coordenadas UTM_ Zona 17 sur (sistema de referencias WGS84)		Recojo de residuos (N° de días)
Santa Rosa	Santa Rosa	No tiene	0769422 m E	9397470 m S	3 Lunes, miércoles y viernes
Foto: Vistas del botadero					
Colasay	Churuyacu	No tiene	0714787 m E	9336855 m S	3 Lunes, martes y sábado
	Poza Seca	No tiene	0716168 m E	9334791 m S	
Foto: Vistas del botadero de la ciudad de Colasay					

Fuente: Elaboración propia, adaptado del PIGARS –Jaén (2012)

Figura 10

Diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos (distritos San José del Alto, Bellavista y Huabal)

Distrito	Nombre de botadero	Inst. de gestión ambiental	Coordenadas UTM_Zona 17 sur (sistema de referencias WGS84)		Recojo de residuos (N° de días)	
San José del Alto	Cochalán	No tiene	0720680 m E	9395929 m S	NO	
 <p>Foto: Vistas del botadero</p>						
Bellavista	El pongo	No tiene	0752662 m E	9371042 m S	1	Domingos
 <p>Foto: Vistas panorámica del botadero</p>						
Huabal	Los Incas	No tiene	0733118 m E	9379509 m S	2	Lunes y Jueves
 <p>Foto: Vistas del botadero</p>						

Fuente: Elaboración propia, adaptado del PIGARS – Jaén (2012)

Figura 11

Diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos (distritos las Pirias, Sallique y San Felipe)

Distrito	Nombre de botadero	Inst. de gestión ambiental	Coordenadas UTM_Zona 17 sur (sistema de referencias WGS84)		Recojo de residuos (Nº de días)
Las Pirias	Las Pirias	Si tiene	0735025 m E	9377812 m S	2 Martes y Viernes
 <p>Foto: Vistas fotográficas del botadero</p>					
Sallique	La M	No tiene	0686228 m E	9373700 m S	2 Lunes y Viernes
 <p>Foto: Vistas fotográficas del botadero</p>					
San Felipe	Tasajeras	No tiene	0681024 m E	9354490 m S	2 Martes y Viernes
 <p>Foto: Vistas de la georreferenciación del botadero</p>					

Fuente: Elaboración propia, adaptado del PIGARS – Jaén (2012)

Figura 12

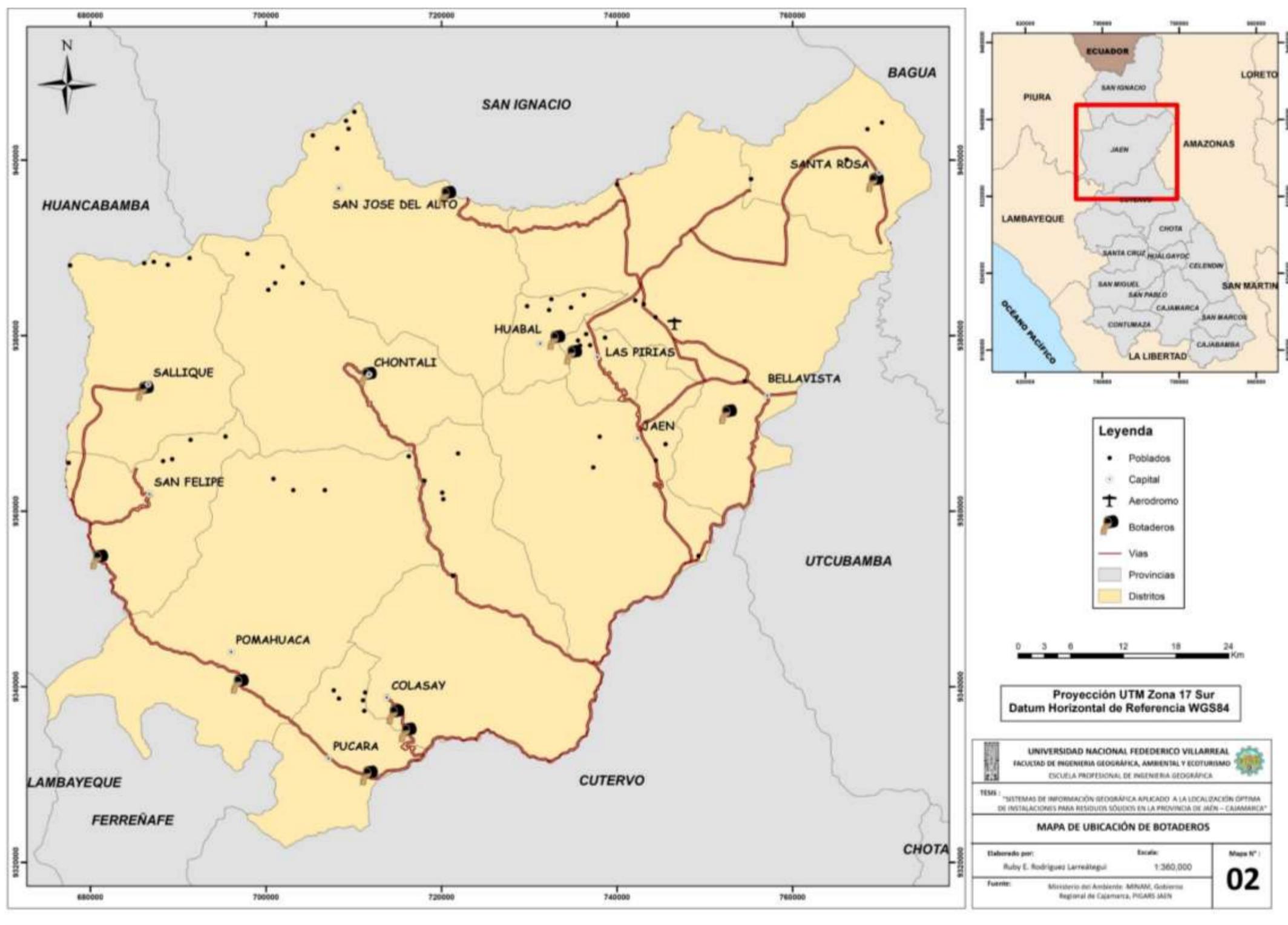
Diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos (distritos Pucara, Pomahuaca y Chontali)

Distrito	Nombre de botadero	Inst. de gestión ambiental	Coordenadas UTM_Zona 17 sur (sistema de referencias WGS84)		Recojo de residuos (N° de días)
Pucara	Lamparán	No tiene	0711764 m E	9329883 m S	3 Lunes, miércoles y viernes
 <p>Foto: Vistas fotográficas del botadero</p>					
Pomahuaca	Piedra Grande	No tiene	0697046 m E	9340332 m S	3 Lunes, miércoles y sábado
 <p>Foto: Vistas fotográficas del botadero</p>					
Chontali	Chontali	No tiene	0711634 m E	9375310 m S	2 Lunes y Viernes
 <p>Foto : Vistas fotográficas del botadero</p>					

Fuente: Elaboración propia, , adaptado del PIGARS – Jaén (2012)

Figura 13

Mapa de ubicación de botaderos en la provincia de Jaén



2.1.3. Infraestructura de disposición final

Según el Artículo N° 108 del DS -014-2017- MINAM, considera infraestructura de disposición final de residuos sólidos los rellenos sanitarios, los rellenos de seguridad y las escombreras (El Peruano, 2017, p. 34).

El relleno sanitario es una técnica de disposición final de residuos sólidos en el suelo, mediante el uso de principios de ingeniería para confinar la basura en un área previamente implementada con los dispositivos para el control y manejo de las emisiones (líquidos y gases) que se generan producto de la descomposición de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos, con la finalidad de prevenir los riesgos a la salud pública y deterioro de la calidad ambiental (MINAM, 2011, p. 14).

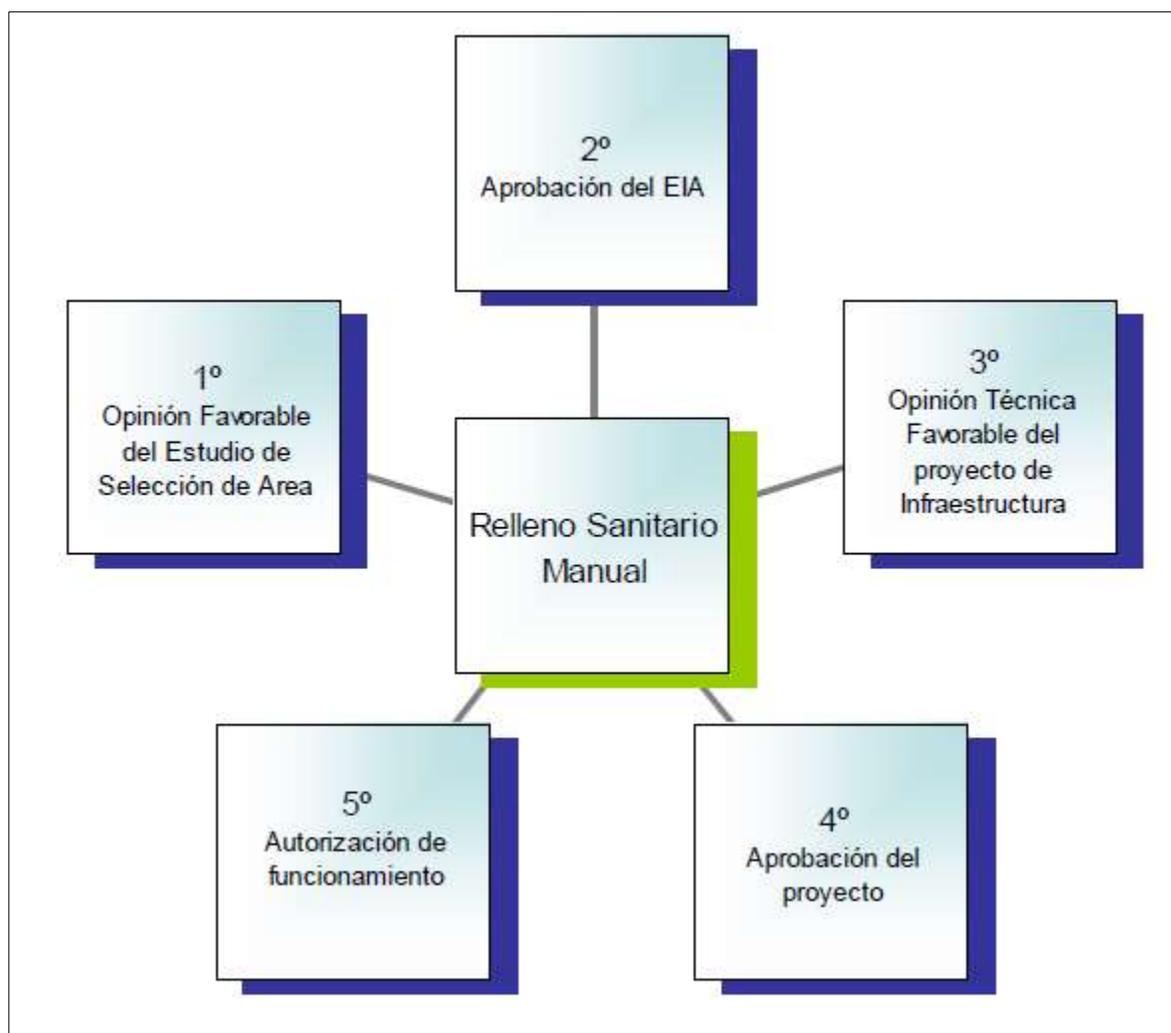
Según el Artículo N°108 del DS -014-2017- MINAM (El Peruano, 2017, p. 34), los rellenos sanitarios de acuerdo al tipo de operación se clasifican en tres:

- **Relleno sanitario manual:** cuya capacidad de operación diaria no excede a seis (06) toneladas métricas (TM).
- **Relleno sanitario semi mecanizado:** Relleno sanitario semi-mecanizado, cuya capacidad de operación diaria es más de seis (06) hasta cincuenta (50) TM.
- **Relleno sanitario mecanizado:** cuya capacidad de operación diaria es mayor a cincuenta (50) TM.

2.1.3.1. Aprobaciones y autorizaciones para la instalación de un relleno sanitario manual. En la Figura 14 se muestra en orden de las aprobaciones y autorizaciones que deben lograr los titulares de los proyectos de relleno sanitario manual, previo a la construcción, según lo establecido en la Ley y su Reglamento (MINAM, 2011, p. 25).

Figura 14

Aprobaciones y autorizaciones para relleno sanitario manual



Fuente: (MINAM, 2011)

Según MINAM (2011, p.26), las instituciones que aprueban los estudios, otorgan opinión técnica favorable y autorizan el funcionamiento de las infraestructuras de disposición final de residuos sólidos son las siguientes:

Figura 15

Instituciones competentes



Fuente: (MINAM, 2011)

2.2. Base legal

Con respecto al marco jurídico se hace referencia a la Ley General del Ambiente - Ley N° 28611, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental - Ley N° 28245, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente-Decreto Legislativo N° 1013, Ley general de Residuos Sólidos – Ley N° 27314 y Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos- Decreto Legislativo N° 1278, las cuales se explican a continuación:

La Ley General del Ambiente - Ley N° 28611 (2005), en su Artículo VI. - Del principio de prevención:

La gestión ambiental tiene como objetivos prioritarios prevenir, vigilar y evitar la degradación ambiental. Cuando no sea posible eliminar las causas que la generan, se adoptan las medidas de mitigación, recuperación, restauración o eventual compensación, que correspondan (p. 21).

Asimismo, la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental - Ley N° 28245 (2004), en su Artículo 4, señala:

h) Promover la investigación ambiental, así como integrar y fortalecer con las entidades competentes del sector público y privado, las acciones en esta materia con el objetivo de dar apoyo científico y técnico a los diferentes organismos involucrados y a la sociedad civil organizada, en general (p. 4).

En el mismo contexto se cita el Reglamento de la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, en su Artículo 6:

Diseño y aplicación de políticas ambientales. - El diseño, formulación y aplicación de las políticas ambientales de nivel nacional deben asegurar la efectiva aplicación de los siguientes mandatos: 1. El respeto de la dignidad humana y el mejoramiento continuo de

la calidad de vida de la población. 2. La protección de la salud de las personas, previniendo riesgos o daños ambientales (p. 6).

La Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente-Decreto Legislativo N° 1013 (2008), la cual señala en su Artículo 3.- Objeto y objetivos específicos del Ministerio del Ambiente:

3.1 El objeto del Ministerio del Ambiente es la conservación del ambiente, de modo tal que se propicie y asegure el uso sostenible, responsable, racional y ético de los recursos naturales y del medio que los sustenta, que permita contribuir al desarrollo integral social, económico y cultural de la persona humana, en permanente armonía con su entorno, y así asegurar a las presentes y futuras generaciones el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida (p. 2).

La Ley general de Residuos Sólidos – Ley N° 27314, Decreto Legislativo 057 (2005), en su Artículo 67, Criterios para la selección de áreas de infraestructuras:

La municipalidad provincial define y establece los espacios geográficos en su jurisdicción para instalar infraestructuras de transferencia, tratamiento y disposición final de residuos. Para ello tendrá en cuenta los siguientes criterios: 1. Compatibilización con el uso del suelo y planes de expansión urbana; 2. Compatibilización con el plan de gestión integral de residuos de la provincia; 3. Minimización y prevención de los impactos sociales y ambientales negativos, que se puedan originar por la construcción, operación y cierre; 4. Considerar los factores climáticos, topográficos, geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, entre otros; 5. Prevención de riesgos sanitarios y ambientales; 6. Preservación del patrimonio arqueológico, cultural y monumental de la zona; 7. Preservación de áreas naturales protegidas por el Estado y conservación de los

recursos naturales renovables; 8. Vulnerabilidad del área a desastres naturales; y, 9.

Otros criterios o requisitos establecidos en este Reglamento y normas que emanen de éste (p. 26).

La Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos-Decreto Legislativo N° 1278 (2017), la cual señala en su Artículo 2, Finalidad de la gestión integral de los residuos sólidos:

La gestión integral de los residuos sólidos en el país tiene como primera finalidad la prevención o minimización de la generación de residuos sólidos en origen, frente a cualquier otra alternativa. En segundo lugar, respecto de los residuos generados, se prefiere la recuperación y la valorización material y energética de los residuos, entre las cuales se cuenta la reutilización, reciclaje, compostaje, coprocesamiento, entre otras alternativas siempre que se garantice la protección de la salud y del medio ambiente. La disposición final de los residuos sólidos en la infraestructura respectiva constituye la última alternativa de manejo y deberá realizarse en condiciones ambientalmente adecuadas (p. 1).

Decreto supremo 014-2017-MINAN (2017), la cual señala en el Capítulo V, Artículo 108 en la cual nos hace referencia a las infraestructuras de disposición final asimismo en el 109 nos habla de la selección de áreas para las infraestructuras de disposición final y en el Artículo 110 de condiciones para la ubicación de infraestructuras de disposición final de residuos sólidos.

Finalmente, Decreto Legislativo N° 1501 (2020) ,que modifica el Decreto Legislativo N° 1278, que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, en el cual se modifica los Artículos 9, 13, 16, 19, 23, 24, 28, 32, 34, 37, 52, 60, 65 y 70 del Decreto Legislativo N° 1278, “A fin de contemplar disposiciones referidas al manejo de los residuos sólidos en situaciones de

emergencia y la correspondiente prestación del servicio de gestión integral de los residuos sólidos” (p. 5).

Es importante acotar que, este estudio tiene como finalidad, contribuir a crear las condiciones necesarias para que, desde los sistemas de información geográfico, se delimiten las zonas más aptas para la creación de lugares de disposición final de residuos sólidos, lo cual contribuye a garantizar sitios adecuados que pueden a través de las diferentes normativas ayudar a disminuir el impacto ambiental.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Botadero

Lugar de acumulación inapropiada de residuos sólidos en vías y espacios públicos, así como en áreas urbanas, rurales o baldías que generan riesgos sanitarios o ambientales. Carecen de autorización sanitaria (MINAM, 2012, p. 52).

2.3.2. Contaminación

Condición que resulta de la introducción de contaminantes al ambiente por encima de las cantidades y/o concentraciones máximas permitidas tomando en consideración el carácter acumulativo o sinérgico de los contaminantes en el ambiente (MINAM, 2012, p. 188).

2.3.3. Contaminante ambiental

Toda materia o energía que al incorporarse o actuar en el ambiente degrada o altera su calidad a niveles no adecuados para la salud y el bienestar humano y/o ponen en peligro los ecosistemas (MINAM, 2012, p. 61).

2.3.4. Contaminación ambiental

Acción y estado que resulta de la introducción por el hombre de contaminantes al ambiente por encima de las cantidades y/o concentraciones máximas permitidas tomando en

consideración el carácter acumulativo o sinérgico de los contaminantes en el ambiente (MINAM, 2012, p. 61).

2.3.5. Daño ambiental

Todo menoscabo material que sufre el ambiente y/o alguno de sus componentes, que puede ser causado contraviniendo o no disposición jurídica, y que genera efectos negativos actuales o potenciales (MINAM, 2012, p. 63).

2.3.6. Declaración de manejo de residuos sólidos

Documento técnico administrativo con carácter de declaración jurada, suscrito por el generador de residuos sólidos de ámbito de gestión no municipal, mediante el cual declara cómo ha manejado los residuos sólidos generados durante el año transcurrido (MINAM, 2012, p. 63).

2.3.7. Disposición final

Proceso u operaciones para tratar o disponer en un lugar los residuos sólidos como última etapa de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura (MINAM, 2011, p. 8).

2.3.8. Gestión de residuos sólidos

Toda actividad técnica administrativa de planificación, coordinación, concertación, diseño, aplicación y evaluación de políticas, estrategias, planes y programas de acción de manejo apropiado de los residuos sólidos del ámbito de gestión municipal o no municipal, tanto a nivel nacional, regional como local (MINAM, 2012, p. 77).

2.3.9. Impacto ambiental

Alteración, positiva o negativa, de uno o más de los componentes del ambiente, provocada por la acción de un proyecto (MINAM, 2012, p. 80).

2.3.10. *Infraestructura de disposición final*

Instalación debidamente equipada y operada que permite disponer sanitaria y ambientalmente segura los residuos sólidos, son los rellenos sanitarios y rellenos de seguridad (MINAM, 2011, p. 8).

2.3.11. *Manejo de residuos sólidos*

Es toda actividad técnica operativa de residuos sólidos que involucre manipuleo, acondicionamiento, transporte, transferencia, tratamiento, disposición final o cualquier otro procedimiento técnico operativo utilizado desde la generación hasta la disposición final (MINAM, 2012, p. 86).

2.3.12. *Manejo integral de residuos sólidos*

Es un conjunto de acciones normativas, financieras y de planeamiento que se aplica a todas las etapas del manejo de residuos sólidos desde su generación, basándose en criterios sanitarios ambientales y de viabilidad técnica y económica para la reducción en la fuente, el aprovechamiento, tratamiento y la disposición final de los residuos sólidos (MINAM, 2012, p. 86).

2.3.13. *Residuos sólidos*

Son residuos sólidos aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente. Esta definición incluye a los residuos generados por eventos naturales (MINAM, 2012, p. 106).

2.3.14. *Relleno sanitario*

Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos en la superficie o bajo tierra, basados en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental (MINAM, 2012, p. 335).

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

En enfoque de la investigación es cuantitativa, debido a que, se recolectarán datos, para ser analizados en forma numérica, como por ejemplo datos numéricos de población, números de botaderos, números y ubicación de centros poblados y otros datos que son cuantificables recopilados de las fuentes de información, asimismo se realizará la comprobación de la hipótesis, aplicación métodos estadísticos (Palomino, *et al*, 2015).

El tipo de investigación es aplicada, debido a que, tiene objetivos prácticos, y utiliza criterios metodológicos, los cuales ayudan a modificar la realidad, a través de cambios que generen beneficios y brinden soluciones a una problemática (Carrasco, 2017). Asimismo, es descriptiva porque se detalla el procedimiento de la propuesta de localización óptima de instalaciones para residuos sólidos aplicando los SIG.

3.2. Ámbito temporal y espacial

3.2.1. Temporalidad

El espacio temporal de esta investigación se desarrolló desde febrero del año 2019 al primer trimestre del año 2020, analizando información temática de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) - Cajamarca aprobada en el año 2011 e información estadística de las infraestructuras de disposición final actualizada abril 2020. Asimismo, se consideró los criterios técnicos de la “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre del relleno sanitario manual” publicado en el año 2011 y el D.S N° 014-2017-MINAM.

3.2.2. Ámbito espacial

En relación al ámbito espacial la investigación se realizará en la provincia de Jaén – Cajamarca, la extensión territorial es de 523 257.00 ha. según INEI.

3.3. Variables

3.3.1. Variable independiente

Sistema de información geográfica.

Es un sistema compuesto por elementos como hardware y software, basado en procedimientos, para obtener información, gestionarla, manipularla y representarla, se centra en datos referenciados, para solventar situaciones de complejidad en diversas áreas (Arancibia, 2008).

3.3.2. Variable dependiente

Localización óptima de instalaciones para residuos sólidos.

Ubicación que reúne las condiciones necesarias para convertirse en una instalación para residuos sólido, basándose en el menor impacto ambiental, económico, de salud y social para los habitantes.

3.3.3. Tabla de variables

En la Tabla 4 se presenta la variable dependiente e independiente; así mismo, se muestra las dimensiones en las cuales se sustenta estas variables, los campos, indicadores, asimismo los criterios que se utilizó según cada indicador, por último, se muestra los instrumentos que se utilizaran en esta investigación.

Tabla 4*Tabla de variables*

Variable Dependiente	Variable Independiente	Dimensiones		Indicadores	Criterios	Instrumentos
		Aspectos	Campos			
Localización óptima de instalaciones para residuos sólidos	Sistema de información geográfica	Aspectos del medio físico	Ámbito territorial	Ubicación geográfica del área de estudio	Ausencia de infraestructura de disposición final de residuos sólidos	INEI (límites)
			Clima	Tipos de clima	Ponderación binaria (0,1) según tipo de clima	Shapefile de ZEE - OT Cajamarca
			Geología	Formación litológica	Ponderación binaria (0,1) según formación litológica	Shapefile de ZEE - OT Cajamarca
			Geomorfología	Tipos de relieve	Ponderación binaria (0,1) según tipos de relieve	Shapefile de ZEE - OT Cajamarca
			Pendientes	Rangos de pendiente	Ponderación binaria (0,1) según rangos de pendiente	Shapefile de ZEE - OT Cajamarca
			Ríos	Distancia a fuente de agua	Buffer < 500 metros	Geoprocesamiento ArcGIS
			Fallas	Distancia a las fallas	Buffer < 2000 metros	Geoprocesamiento ArcGIS
			Suelos	Tipos de suelo	Ponderación binaria (0,1) según tipos de suelo	Shapefile de ZEE - OT Cajamarca

Variable Dependiente	Variable Independiente	Dimensiones		Indicadores	Criterios	Instrumentos
		Aspectos	Campos			
Localización óptima de instalaciones para residuos sólidos	Sistema de información geográfica		Hidrogeología	Presencia de acuíferos	Ponderación binaria (0,1) según tipos de suelo	Shapefile de INGEMET
		Aspectos del medio biológico	Zonas de vida	Tipos de zonas de vida	Ponderación binaria (0,1) según tipos de zonas de vida	Shapefile de ZEE - OT Cajamarca
			Coberturas	Usos de la tierra	Ponderación binaria (0,1) según tipo de usos de tierra	Shapefile de ZEE - OT Cajamarca
		Aspectos del medio socio-económico	Terminal terrestre	Distancia al terminal terrestre	Buffer < 1000 metros	Geoprocesamiento ArcGIS
			Oleoducto	Distancia al oleoducto	Buffer < 2000 metros	Geoprocesamiento ArcGIS
			Aeródromo	Distancia al aeródromo	Buffer < 3000 metros	Geoprocesamiento ArcGIS
			Accesibilidad	Distancia a las vías de acceso	Buffer < 1000 metros	Geoprocesamiento ArcGIS
			Centros poblados	Distancia a los centros poblados	Buffer < 500 metros	Geoprocesamiento ArcGIS
			Zonas urbanas	Distancia a las áreas urbanas	Buffer < 500 metros	Geoprocesamiento ArcGIS
			Comunidades campesinas	Distancia a las comunidades	Buffer < 500 metros	Geoprocesamiento ArcGIS
Eventos naturales	Distancia a los eventos		Buffer < 3000 metros	Geoprocesamiento ArcGIS		
Minas	Distancia a mineras	Buffer < 3000 metros	Geoprocesamiento ArcGIS			

Variable Dependiente	Variable Independiente	Dimensiones		Indicadores	Criterios	Instrumentos
		Aspectos	Campos			
Localización óptima de instalaciones para residuos sólidos	Sistema de información geográfica	Aspectos del medio socio-económico	Conflicto socioambiental	Distancia a conflictos	Buffer < 3000 metros	Geoprociamiento ArcGIS
			Sitio arqueológico	Distancia a sitios arqueológicos	Buffer < 1000 metros	Geoprociamiento ArcGIS

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población es el ámbito superficial de la provincia de Jaén con sus 12 distritos (Jaén, Bellavista, Chontalí, Colasay, Huabal, Las Pirias, Pomahuaca, Pucará, Sallique, San Felipe, San José del Alto, Santa Rosa).

3.4.2. Muestra

Luego de tener el resultado de la aplicación del modelo geoespacial utilizando las herramientas del SIG se procede a elegir dos áreas que estén cercanas o pertenezcan a los distritos que generen más residuos sólidos en la provincia (Municipalidad de Jaén, 2012, p. 68) los distritos de mayor población y por ende de mayor generación de residuos sólidos domiciliarios son Jaén y Bellavista, lo cual se evidencia en el último censo actualizado al 2017, siendo esto la muestra para la investigación.

3.5. Materiales e Instrumento

3.5.1. Materiales

Los materiales que se utilizaron para esta investigación fueron:

a) Insumos Cartográficos

Contiene información técnica y básica para el manejo e interpretación de los productos Cartográficos obtenida de los geoservidores gratuitos de las distintas instituciones públicas. La Tabla 5 presenta los insumos cartográficos, escala, fuente y el método de incorporación cartográfica.

Tabla 5*Insumos cartográficos*

Insumo	Escala	Fuente	Método de Incorporación
Límites: regional, provincial y distrital	1:100 000	Instituto Geográfico Nacional - IGN	Formato digital .shp
Red vial	1:100 000	Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones - MTC	Formato digital .shp
Límites municipales	1:100 000	Instituto Geográfico Nacional - IGN	Formato digital .shp
Centros poblados	1:100 000	Instituto Geográfico Nacional - IGN	Formato digital .shp
Hidrografía	1:100 000	Instituto Geográfico Nacional - IGN	Formato digital .shp
Aeropuertos	1:100 000	Instituto Geográfico Nacional - IGN	Formato digital .shp
Fallas geológicas	1:300 000	Instituto Geológico Minero, Metalúrgico-INGEMMET	Formato digital .shp
Geomorfología	1:100 000	ZEE - OT Cajamarca - Gobierno Regional de Cajamarca - GRC	Formato digital .shp
Suelos	1:100 000	ZEE - OT Cajamarca - Gobierno Regional de Cajamarca - GRC	Formato digital .shp
Clima	1:100 000	ZEE - OT Cajamarca - Gobierno Regional de Cajamarca - GRC	Formato digital .shp
Importancia hídrica	1:100 000	ZEE - OT Cajamarca - Gobierno Regional de Cajamarca - GRC	Formato digital .shp

Insumo	Escala	Fuente	Método de Incorporación
Coberturas	1:100 000	ZEE - OT Cajamarca - Gobierno Regional de Cajamarca - GRC	Formato digital .shp
Zonas de vida	1:100 000	ZEE - OT Cajamarca - Gobierno Regional de Cajamarca - GRC	Formato digital .shp
Pendientes	1:100 000	ZEE - OT Cajamarca - Gobierno Regional de Cajamarca - GRC	Formato digital .shp
Áreas urbanas	-	INEI	Transferencia en formato digital
Áreas naturales protegidas	-	SERNANP-2019	Formato digital .shp
Sitios arqueológicos	1:14 000 000	Ministerio de Cultura- INC	Formato digital .shp
Hidrogeológico	1:14 300 000	Instituto Geológico Minero, Metalúrgico- INGEMMET	Formato digital .shp

Fuente: Instituciones; IGN, INGEMMET, MTC, INEI, INC, GRC (Mapoteca Virtual)

Elaboración propia

3.5.2. Instrumentos

Para la elaboración de la investigación se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Laptop Asus Core i5, para procesar la información obtenida por las instituciones.
- Software ArcGIS 10.3, para realizar el proceso del algebra de mapas.
- Microsoft Word 2013, para la elaboración del informe de investigación.
- Microsoft Excel 2013, para elaborar tablas y gráficos del informe de investigación.
- Google Earth como ayuda para el análisis de accesibilidad y proximidad de centros poblados.

3.6. Procedimiento

El procedimiento para la aplicación del modelo geoespacial de localización basado en los SIG se desarrolla en tres etapas: La primera es el diseño del modelo geoespacial para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos., la segunda es su aplicación en la provincia de Jaén – Cajamarca y por último la obtención del resultado producto de su aplicación.

3.6.1. Etapa I: Diseño del modelo geoespacial para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos

En esta primera etapa se realizó el diseño del modelo geoespacial para la localización óptima de instalaciones de disposición final de residuos sólidos definiendo las variables que estarían presentes, sus dimensiones y alcances, para ello se analizó lo siguiente:

El diseño del esquema aplicativo del modelo: se desarrolla dentro del Sistema de Información geográfica mediante tres (3) fases; la primera es la recopilación de información y elaboración de mapas temáticos, la segunda es la integración y evaluación de mapas temáticos y la tercera fase es la de resultados del proceso, en base a este esquema se plasmó en el model builder utilizando las herramientas de geoprocésamiento del software Arcgis 10.3.

3.6.2. Etapa II: Aplicación del modelo geoespacial para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la provincia de Jaén – Cajamarca

En esta segunda etapa consiste en la puesta en práctica del esquema aplicativo del modelo; es decir, aplicar el modelo a la zona de estudio que es la provincia de Jaén - Cajamarca, para esto se trabajó de la siguiente manera:

Fase 1: Recopilación de información y elaboración de los mapas temáticos, en esta fase se inicia se realizó las revisiones bibliográficas y la recolección de información para ello se visitó el geoportal del Gobierno Regional de Cajamarca (GRC) y se revisó la ZEE y OT- Cajamarca,

enfocándose en el área de estudio que es la provincia de Jaén; asimismo se elabora los mapas temáticos teniendo en cuenta las variables del medio físico, biológico y socio-estructural.

Fase 2: Integración de mapas temáticos, en esta fase se realiza la sistematización y diagnóstico del área de estudio que es la provincia de Jaén, tanto de la información del medio físico, del medio biológico y por último del medio socio estructural.

Evaluación de mapas, se realizó una exclusión de las características de cada capa empleando la ponderación binaria (0,1), donde “0” representaron zonas aptas para la localización de instalaciones de disposición final, en base a las consideraciones técnico, físicos y sociales cumpliendo con los criterios mínimos, establecidos en el D.S. 014-2017 –MINAM y la “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre del relleno sanitario manual”; asimismo los valores “1” representaron zonas que no cumplen con los requisitos. Seguidamente se desarrolló la evaluación multicriterio a todas las variables integradas en tres criterios; físico, biológico y socio-estructural ponderando según la importancia que influye una respecto a otra. Todo ello desarrollado en un modelo geoespacial utilizando el model builder y las herramientas de geoprocesamiento del Software ArcGIS 10.3.

3.6.3. Etapa III: Localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la provincia de Jaén – Cajamarca

Esta etapa coincide con la fase 3 que se plantea en el esquema aplicativo del modelo espacial para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la provincia de Jaén – Cajamarca.

En esta etapa se llega a la obtención del resultado luego de aplicar el modelo espacial, dónde se logra identificar zonas óptimas para establecer instalaciones de disposición final para residuos sólidos.

3.7. Análisis de datos

3.7.1. Análisis para determinar la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos

Para el análisis se utilizó datos de contenido cartográfico de varias Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) entre los datos que se pueden mencionar son los del Ministerio de Ambiente, Instituto Geográfico Nacional de Perú, Instituto Geológico Minero, Metalúrgico (INGEMET) y los datos abiertos del GRC que nos muestra en su plataforma de la ZEE en un total de 21 shapefiles para luego proceder a la integración de información espacial con criterios establecidos en la “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre del relleno sanitario manual” y el D.S N.º 014-2017 -MINAM con consideraciones técnico, físicos y sociales para cumplir con los criterios mínimos.

Para la obtención de estos sitios óptimos de instalaciones de disposición final para residuos sólidos, se realizó una ponderación binaria (0 y 1) en cada una de las subcategorías de las variables estudiadas, asimismo se empleó la evaluación multicriterio a todas las variables integradas en tres criterios; físico, biológico y socio-estructural ponderando según la importancia que influye una respecto a otra con el fin obtener sitios óptimos y aceptables. La consideración de sitio potencial, son las zonas con valores en el rango de (0-1.45) que representan características óptimas para la instalación de relleno sanitario categorizándolas como “muy alto”, valores de (1.45-2.45) representan áreas aceptables categorizados como “alto”, valores de (2.45-3.40) representan medianamente aceptables categorizados como “medio”, valores (3.40-4.30) representan bajo potencial es decir sólo cumplen con algunos de los criterios considerados, finalmente valores (4.30-5.65) representan muy bajo potencial, es decir que no cumplen con los requisitos mínimos para la instalación de un relleno sanitario, es por ello que son descartados, como se puede mostrar en la Figura 72.

3.7.2. Análisis para determinar el sistema de información geográfica para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos

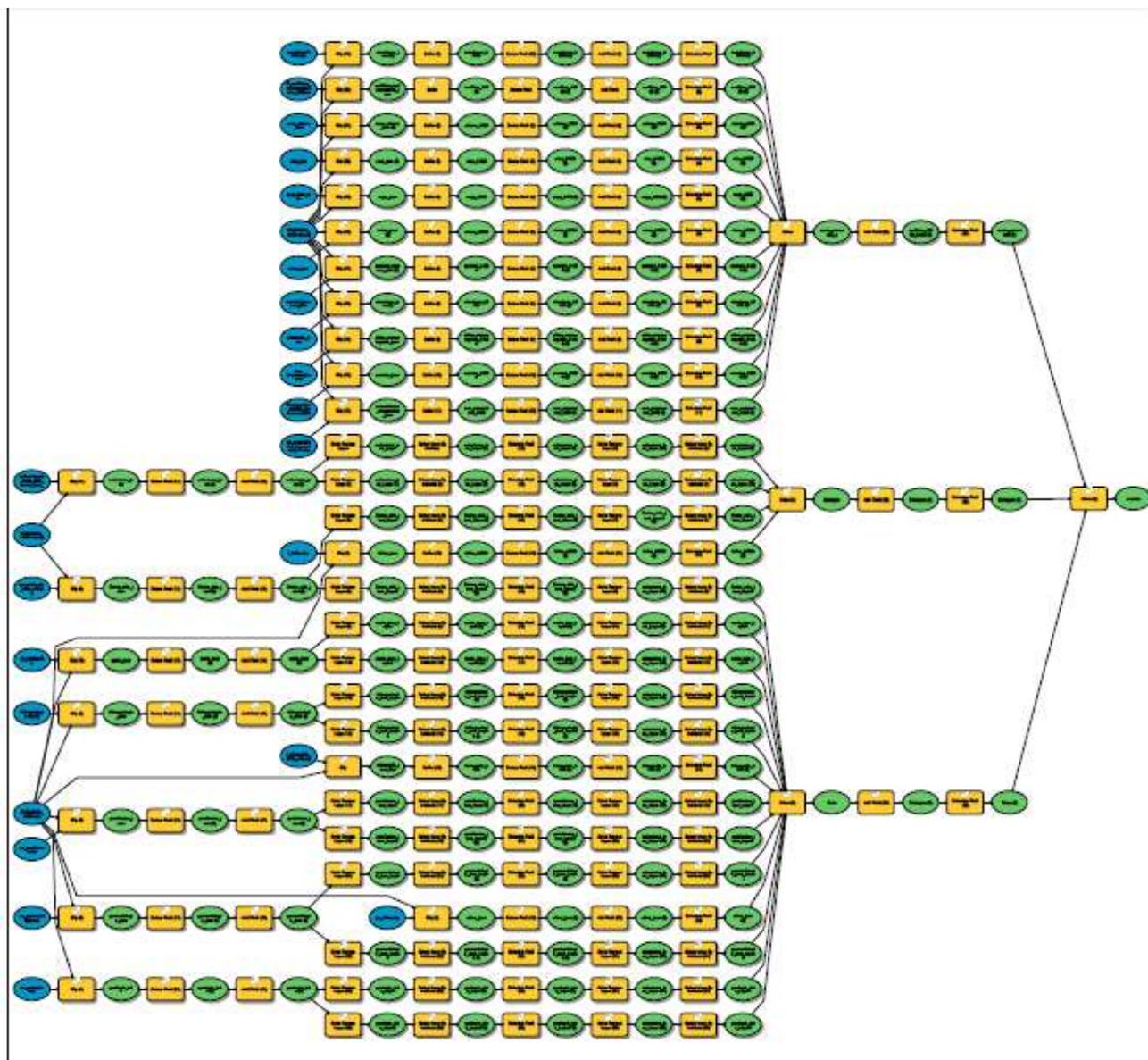
Para el procesamiento de la base de datos se realizó teniendo en cuenta las variables del medio físico (8 shapefile), medio biológico (2 shapefile) y medio socio – estructural (11 shapefile) resultando una suma de 21 shapefiles cada uno de estas capas fueron recortados de acuerdo al límite del área de estudio mediante la herramienta de geoprocésamiento “clip”, luego se procedió a eliminar campos de cada variable de su tabla de atributos que no nos ayudará para nuestro análisis con la finalidad de no sobrecargar nuestra data (herramienta “Delete field”), asimismo se creó un campo para todas las variables en el cual se realizará ponderación binaria de (0,1) teniendo en cuenta que “0” representa zonas óptimas y valores “1” son zonas no aptas, cada una de estas 21 capas fueron evaluadas siguiendo los criterios técnicos de la “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre del relleno sanitario manual” y el D.S N.º 014-2017 -MINAM; para aquellas variables que conforman el medio socio- estructural se realizará “buffer” que representan áreas de influencia que no debería darse la localización de zonas para para la construcción de un relleno sanitario, los cuales serán ponderados con el valor “1”; continuando con el proceso de análisis de datos se realizó “Unión” de las variables según criterio físico, biológico y socio-estructural, se creó un campo dónde se calculará la suma de todas las variables(campos donde se hizo la ponderación binaria) para ello se utilizó “Calculate Field” finalmente se unió estos 3 criterios teniendo en cuenta la evaluación multicriterio, donde se le asignó un peso de 35% para el criterio socio-estructural, un 45% para el criterio físico, y 20% para el criterio biológico, obteniendo un resultado que nos permitió identificar las áreas óptimas para la instalación de un relleno sanitario como se muestra en la Figura 16.

Considerando que las ponderaciones no están establecidas en la “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre del relleno sanitario manual” y el D.S N° 014-2017 -MINAM; asimismo teniendo en cuenta los estudios que investigue y los antecedentes para esta investigación, establecí una ponderación del 45% al criterio físico porque según las variables analizadas como, geología, geomorfología, hidrogeología, fallas, entre otros; son más influyentes debido a que es necesario conocer las características físicas del terreno, pues nos ayudarían a determinar el grado de vulnerabilidad que puede estar expuesto la construcción de un relleno sanitario. La ponderación del 35% al criterio socio-estructural, porque las variables analizadas tienen un menor grado de influencia respecto a la vulnerabilidad que estaría expuesto la construcción de un relleno sanitario, por ejemplo, el buffer de 500 metros para los centros poblados, esto quiere que dentro de esta área de influencia no debe instalarse un relleno sanitario, asimismo considerando que debe existir un mínimo impacto social y ambiental para la construcción, operación y cierre.

Finalmente, la ponderación del 20% al criterio biológico estableciendo que tienen un grado de influencia relativamente bajo ya que aquellos indicadores analizados tienen características que ameritan una estrategia espacial para la conservación de la biodiversidad.

Figura 16

Esquema aplicativo del modelo espacial usando SIG



IV. RESULTADOS

4.1. Descripción de área de estudio

La provincia de Jaén se encuentra en el departamento de Cajamarca con una extensión 523,257.00 ha y una población de 185,432 personas de acuerdo al último Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de comunidades Indígenas – INEI.

Distritos (12): Jaén, Bellavista, Pomahuaca, Pucará, Sallique, San Felipe, Chontali, Las Pirias, Huabal, San José del Alto, Chontali, Santa Rosa.

Límites:

- Por el Norte: con la provincia de San Ignacio del departamento de Cajamarca.
- Por el Sur: con la provincia de Cutervo, de la región Cajamarca y las provincias de Ferreñafe y Lambayeque del departamento de Lambayeque.
- Por el Este: con las provincias de Bagua y Utcubamba, del departamento de Amazonas.
- Por el oeste, con la provincia de Huancabamba del departamento de Piura.

4.2. Características físicas, geográficas y los recursos naturales de la provincia

4.2.1. *Relieve*

El relieve es accidentado, constituido básicamente por los contrafuertes de las cordilleras Occidental y Oriental de los Andes y los valles que descienden de estos contrafuertes hacia la hoya amazónica. Según PIGARS (Municipalidad de Jaén, 2012) las variaciones en el relieve determinan que la morfología de la Provincia de Jaén sea de dos tipos:

- **Morfología de los Andes Septentrionales o Páramo:** Corresponde a los terrenos de elevada altura los que van de 1000 a 4000 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas que oscilan entre los 6 °C y 17 °C como promedio. Son áreas geográficas marcadas por la cadena andina del norte punto de origen o nacimiento del río Huayllabamba (p. 19).
- **Morfología e la región Yunga Tropical (Rupa Rupa):** Corresponde a la zona de los valles de los ríos interandinos con afluencia en ríos selváticos como es el caso del río Chamaya (con origen en Chota) (p. 19).

4.2.2. *Características ecológicas*

Teniendo en cuenta el PIGARS (Municipalidad de Jaén, 2012), la provincia de Jaén, se caracteriza por la diversidad de microclimas con temperaturas absolutas, que oscilan entre 8.5 °C y 36 °C; registrándose temperaturas medias altas en los meses de octubre a diciembre, donde podemos encontrar las siguientes características:

- En la región de los Andes Septentrionales o Páramos el clima es frío y húmedo con neblinas frecuentes, heladas estacionales y precipitaciones que ocurren con menor intensidad de mayo a agosto, la temperatura fluctúa entre los 6 °C a 17 °C.

Corresponde a esta región el extremo Oeste de la provincia de Jaén, colindante con

la provincia de Huancabamba. En esta zona se encuentran: el distrito de Chontalí a 1500 m.s.n.m., Sallique a 1675 m.s.n.m. y San Felipe a 1850 m.s.n.m.

- La zona Yunga Tropical (selva alta) es la zona de bosque montañoso casi permanentemente lluvioso y nublado. El clima es moderadamente templado con intensas lluvias que disminuyen en mayo y agosto. Por encima de los 2500 metros sobre el nivel del mar las temperaturas promedian entre los 6 °C a 12 °C, mientras que en las zonas de los 2000 metros fluctúa entre los 19 °C a 25 °C y en las zonas con alturas menores a 1000 metros fluctúa entre los 25 °C. Los distritos que se encuentran dentro de esta región son los siguientes: Jaén, Colasay, Huabal, La Pírias, Pomahuaca, Pucará, San José del Alto y Santa Rosa (pp. 19-20).

4.2.3. Zonas de vida

La provincia de Jaén por su fisiografía presenta un ambiente heterogéneo lo que da como resultado una variedad de pisos altitudinales con una variedad de climas y microclimas, observándose desde áreas con clima árido hasta sectores con clima muy húmedo. Según indica en el PIGARS (Municipalidad de Jaén, 2012), Jaén presenta 5 unidades bioclimáticas teniendo en cuenta la clasificación de Holdridge.

- Árido a semiárido y cálido.** Esta unidad ocupa gran parte de la depresión tectónica central de la serranía de Bellavista, Jaén y las partes profundas del río Chamaya hasta Pucará; que varía entre los 400 y 1000 m.s.n.m. Se agrupan 3 zonas de vida: monte espinoso – tropical (mte-T), bosque muy seco-tropical (bms-T) y bosque seco-tropical. La precipitación anual promedio varía desde un mínimo de 350 m.s.n.m. hasta 1000 m.s.n.m. en las altitudes superiores y menos áridas, además se tiene un período seco o de menores precipitaciones de mayo a septiembre y el de mayores precipitaciones de octubre a abril, secuencia que no ha sufrido alteraciones, hasta la

actualidad podemos observar que los tiempos de precipitación y de sequía son los mismos de años anteriores (pp. 20-21).

- b. **Seco y semicálido / templado.** Según el PIGARS (Municipalidad de Jaén, 2012), dentro de esta unidad bioclimática encontramos la zona de vida monte espinoso-Premontano Tropical (mte-PT); comprende el sector del extremo suroeste en la cuenca del río Huancabamba. En cuanto a la temperatura, esta estima en un amplio rango que va de 24 °C a 15 °C. En general es una unidad semiárida, con déficit hídrico aún para la vegetación natural y con mayor razón para los cultivos. La cobertura vegetal natural, se caracteriza por ser de porte herbáceo y arbustivo, y gramíneas estacionales que prácticamente desaparecen en la época, pero son muy importantes como forraje de ganado caprino y vacuno. Es notorio también la presencia de cactáceas tanto postradas como columnares. Durante la estación lluviosa vastas áreas de esta unidad se cubren de una vegetación estacional que se aprovecha para el pastoreo de ganado caprino. Esta actividad ha sometido a estas áreas a una fuerte degradación de la vegetación y de los suelos produciéndose derrumbes y avenidas (p. 22).
- c. **Seco y semicálido/templado.** Según el PIGARS (Municipalidad de Jaén, 2012), en el ámbito de esta unidad están los poblados de Sallique, San Felipe y Colasay entre los principales. Comprende las partes bajas y medias de los ríos Chinchipe, Tabaconas, quebrada Shumba y Jaén. Esta unidad bioclimática agrupa al bosque seco-Premontano Tropical (bs-PT) de características semicálidas y al bosque seco-Montano BajoTropical (bs-MBT) de características templadas. El rango de precipitación se estima entre 500 mm a 1500 mm. En cuanto a la vegetación esta presenta una fisionomía intermedia entre las características xeromórficas con arbustos altos y árboles bajos, en los sectores superiores se aprecia lo que se denomina “bosque

andino” combinado en los sectores medios en especies de “montaña”. Estas tierras han sido utilizadas intensamente dadas las condiciones climáticas y topográficas, propicias para hortalizas y maíz con riego suplementario, además de los cultivos de la unidad climática (p. 23).

- d. **Húmedo y cálido/semicálido/templado.** Según el PIGARS (Municipalidad de Jaén, 2012), geográficamente y por características climáticas es dividida en dos sub-unidades: la primera conformada por el bosque húmedo-Tropical y por la transición fría (bh-T a bmh-PT) y la segunda está constituida por los bosques húmedos en el piso Premontano y Montano Bajo (bh-PT y ph-MBT). La cobertura vegetal se caracteriza por presentar un bosque siempre verde, de porte medio a bajo, y algunas estepas de gramíneas (subpáramo) en forma de manchas que se intercalan con el bosque. Entre las especies arbóreas se reportan *Cinchona*, *Delostoma* sp., *Podocarpus* sp. En general es un área de mayor interés para el desarrollo agropecuario; donde la expansión de la frontera agrícola con cultivos como café y la ganadería extensiva generando una mayor presión sobre las áreas de bosque (p. 24).

4.2.4. Recurso suelo

De acuerdo al PIGARS (Municipalidad de Jaén, 2012) el recurso suelo en la provincia se divide de dos tipos por sus condiciones geográficas y naturales; lo cuales son:

- **Suelo del Páramo:** un gran porcentaje son tierras de protección y además dispone de áreas para cultivos en limpio criofílicos (que soportan el frío) de secado (p. 28).
- **Suelo de la Yunga Tropical:** la mayor parte de estos suelos son de escaso desarrollo agrícola, suelos ácidos, en fuerte pendiente (50%-70%) y poco profundo (litología variada) (p. 28).
- Asimismo, nos indica que los suelos aluviales dominan el paisaje de fondo y la morfología superficial. Por el relieve abrupto y las elevadas precipitaciones

fluviales, gran porcentaje de estos terrenos está sujeto a protección asociada con tierras forestales de producción y en su minoría son tierras aptas para cultivos, en limpio y permanentes, ubicados en los valles dilatados de la región, cuyas limitaciones principales son: pendiente pronunciada, erosión y suelo superficial. Las condiciones que presentan los suelos son favorables para el cultivo de café, cacao, arroz, frijoles, yuca, frutales como naranja, plátano, lima y otros; dentro de las áreas bajo riego se cultiva primordialmente el arroz, obteniéndose dos cosechas al año; en las áreas de secano se cultiva el café, cacao y productos de pan llevar; el café constituye el cultivo de mayor preponderancia (pp. 28-29).

4.2.5. Recursos hídricos

Según PIGARS (Municipalidad de Jaén, 2012), los ríos que recorren la provincia de Jaén pertenecen al sistema hidrográfico del río Amazonas; la red hidrográfica desemboca al río Marañón. De acuerdo a su longitud y volumen de escurrimiento, se cuenta con los siguientes ríos:

- **El Marañón:** Nace en la laguna de Lauricocha del departamento de Huánuco a 3838 m.s.n.m. ingresando a la provincia de Jaén en la localidad de Bellavista en un tramo de 180 Km hasta la confluencia con el río Imaza – Chiriaco (provincia de Bagua).
- **El río Chinchipe:** Su origen se da en la República del Ecuador (al norte de Valladolid, con una longitud de 140 Km) confluyendo al río Marañón. Los últimos 80 Km. los recorre en territorio peruano en las zonas de la provincia de San Ignacio y de Jaén. El área del río Chinchipe en territorio peruano es de 4000 Km² y sus principales afluentes son Chirinos (margen izquierda) y Tabaconas (margen derecha).

- **La quebrada Shumba:** Otro afluente de importancia, tiene su nacimiento a 15 Km al norte de la localidad de Jaén, en la unión de las quebradas Chacayacu y Curiyacu. Riega aproximadamente 2000 has. predominando el cultivo de arroz.
- **El río Chamaya:** Afluente del Río Marañón por la margen izquierda, toma esta denominación a partir de la confluencia de los ríos Huancabamba y Chotano (en Pucará). El área de la cuenca es de 8.148 Km² que incluye el río Huancabamba y el río Chotano (p. 29).

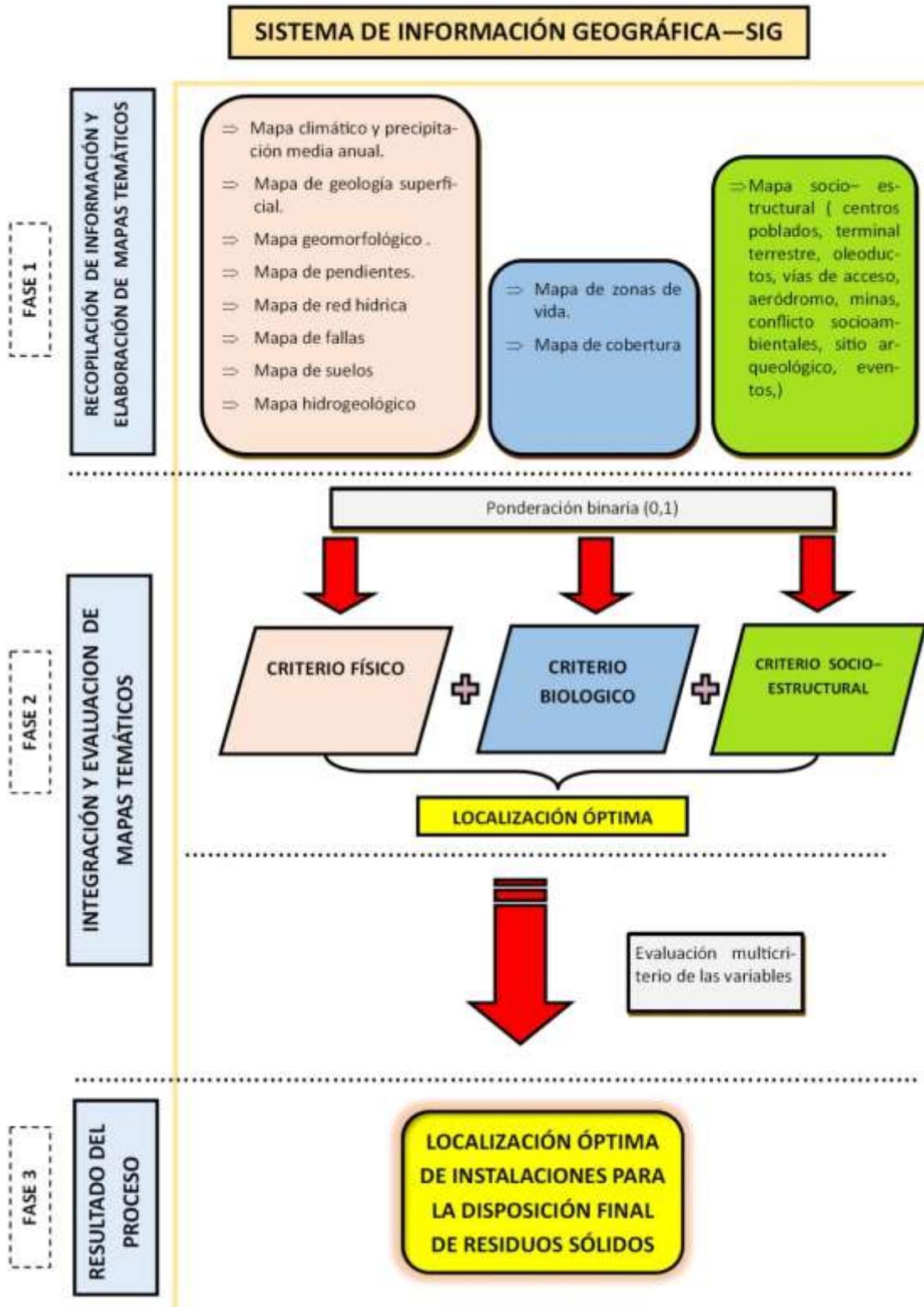
4.3. Diseño del modelo geoespacial para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos

4.3.1. Esquema aplicativo

El diseño aplicativo de la propuesta, todo inicia con la recopilación de información y se procede a la elaboración de mapas temáticos luego se analiza las variables que conforman según el medio físico, biológico y socio- estructural en la cual se realiza la ponderación binaria (0 y 1), donde “0” son condiciones óptimas para la instalación de una infraestructura de disposición final y “1” son descartados; asimismo se realiza el análisis de multicriterio ponderando según la importancia que influye una respecto a otra.; todo ellos analizados según la “Guía de diseño, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario” y el D.S-014-2017 del Ministerio del Ambiente; que estos al realizar un álgebra de mapas obtenemos como resultado de localización óptima de instalaciones de disposición final para residuos sólidos. En la Figura 18 se muestra el esquema aplicativo del modelo desarrollado.

Figura 18

Esquema aplicativo del modelo espacial para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos



4.3.1.1. Fase I: Recolección de información y elaboración de mapas temáticos.

Esta fase es la base para poder alcanzar el resultado y mostrara las características que se centra en tres aspectos básicos estudio biológico, físico y socio- estructural, del lugar y población de la zona estudio, consta de dos partes en la primera lo que se busca es recopilar toda la información de fuentes secundarias o externas (instituciones oficiales) necesaria para las fases siguientes.

En la segunda parte se hará la elaboración de los mapas temáticos con un total de 11 para poder conocer de forma espacial las características del lugar en base a la distribución de centros poblados, sus vías de accesibilidad, características de usos de suelos, zonas de vida; así como de aspectos referidos a características de la zona como clima, pendientes, suelos, geología, geomorfología, hidrología, hidrogeología que serán de mucha ayuda para la fase de evaluación. Los mapas bases elaborados son:

- Mapa N° 3, mapa de tipos de clima y precipitación media anual, se identificará el tipo de clima según la clasificación de Köppen, de esta manera permite conocer las condiciones que pueden o bien desencadenar eventos como inundaciones, deslizamientos, crecidas, asimismo, cuáles son las características de humedad que permiten generar procesos de oxidación o biodegradar elementos dispuestos al aire libre.
- Mapa N° 4, mapa geológico, teniendo en cuenta su litología nos permitirá es entender cómo es el relieve, ya que dependiendo de la naturaleza de las rocas se comportarán de una manera concreta ante los empujes tectónicos, los agentes de erosión y transporte, y los diferentes climas de la Tierra.
- Mapa N° 5 mapa geomorfológico, permite analizar las formas de la superficie terrestre los cuales nos ayudarán explicar los procesos causantes de esas formas, así como la de su evolución.

- Mapa N° 6, mapa de pendientes, permite conocer el grado de pendiente que presentan los relieves evaluados según rangos sabremos si su topografía es ligeramente inclinado, modernamente empinada, empinada, muy empinada o extremadamente empinada.
- Mapa N° 7, mapa de cuencas, red hídrica, identificaremos el área de las corrientes superficiales y cuerpos receptores de agua para evitar posibles contaminaciones por escurrimiento que presenta el área de estudio, asimismo las determinaremos cuencas hidrográficas que abarca.
- Mapa N° 8, mapa del sistema de fallas, permite conocer áreas de terrenos vulnerables a desastres naturales como agrietamientos, desprendimientos, desplazamientos u otros movimientos de masas que pongan en riesgo la seguridad del personal y/o la operación del relleno.
- Mapa N° 9, mapa de suelos, permite identificar los tipos de suelos existentes en el área de estudio, de esa manera conoceremos la capacidad de retención de agua y nutrientes, su permeabilidad (encharcamiento, riesgo de lixiviación de agua y nitrógeno, etc.), su capacidad para descomponer la materia orgánica y también en la forma en que se deben manejar aspectos tan importantes como el riego.
- Mapa N° 10, mapa hidrogeológico, nos permite conocer la existencia de acuíferos sub-superficiales para de esta manera evitar que pueda haber alguna contaminación de los mismos.
- Mapa N° 11, mapa de zonas de vida, permiten analizar en el territorio teniendo en cuenta la clasificación de Holdridge podemos identificar las zonas donde predomina la humedad pues en caso de un relleno sanitario facilitan la biodegradación de materiales.

- Mapa N° 12, mapa de coberturas, es la cubierta biofísica observada en la superficie de la tierra y cuando se considera cobertura forestal en el estricto sentido, ésta debe ser destinada estrictamente a describir vegetación y obras humanas; por consiguiente, áreas en las que la superficie es de roca o suelo desnudos son descritas simplemente como tierra y no como cubierta de la tierra, esto es discutible en el caso de la cobertura con superficie de agua, si realmente es una cobertura. En la ZEE – Cajamarca utilizaron la metodología europea “Corine Land Cover” 1990 (CLC90) para realizar su inventario de la cobertura de la tierra.
- Mapa N° 13, mapa socio estructural, permite identificar las áreas que pertenecen a los centros poblados y sus vías de accesibilidad, pista de aterrizaje, terminal terrestre; sitios arqueológicos, minas, entre otros elementos que se tienen en cuenta para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos.

4.3.1.2. Fase II: Integración y evaluación de mapas temáticos. En esta fase se realizará la integración de los mapas temáticos elaborados teniendo en cuenta tres 3 criterios biológico, físico y socio-estructural, mediante la sistematización y análisis de las variables se realiza la ponderación binaria (0,1) a cada variable, donde “0” son áreas óptimas y “1” no aptas. Asimismo, se evaluará los mapas obtenidos mediante la evaluación multicriterio, otorgando cierta ponderación según el grado de importancia que tiene una sobre la otra; donde luego se procede a unir los tres criterios cuyo resultado nos presentará las áreas óptimas y aceptables para instalaciones de disposición final para residuos sólidos.

Los mapas que corresponden en cada variable son:

- Mapa N° 14, mapa de zonas optimas y aceptables considerando criterio físico, se considera aquellos indicadores que presentan alto riesgo para una instalación futura de disposición final para residuos sólidos por estar expuestas a la erosión, inundación deslizamientos, huaycos entre otros procesos que afectan o hacen

vulnerables al terreno. A continuación, se mencionan los mapas temáticos que lo integran: mapa climático y precipitación media anual, mapa de geología superficial, mapa geomorfológico, mapa de pendientes, mapa de cuencas y red hídrica, mapa del sistema de fallas, mapa de suelos y mapa hidrogeológico.

- Mapa N° 15, mapa de zonas optimas y aceptables considerando criterio biológico, se consideran aquellos indicadores que por sus características ameritan una estrategia espacial para la conservación de la biodiversidad y/o de los procesos ecológicos esenciales. Los mapas bases que lo conforman son: mapa de zonas de vida y mapa de coberturas.
- Mapa N° 16, mapa de zonas optimas y aceptables considerando criterio socio-estructural, se considera aquellos indicadores que poseen mayor aptitud para desarrollar actividad productiva y extractiva. Se consideró el mapa socio estructural.

4.3.1.3. Fase III: Resultado del proceso. En esta etapa se trabaja en base al análisis realizado anteriormente, y se procedió a sumar la ponderación de los criterios y los valores obtenidos de la sumatoria fluctúa desde 0 hasta 5.65, valores en el rango de (0-1.45) representan características óptimas para la instalación de relleno sanitario categorizándolas como “muy alto”, valores de (1.45-2.45) representan áreas aceptables, categorizados como “alto”, valores de (2.45-3.40) representan medianamente aceptables, categorizados como “medio”, valores (3.40-4.30) representan bajo potencial, es decir sólo cumplen con algunos de los criterios considerados y finalmente valores (4.30-5.65) representan muy bajo potencial, es decir que no cumplen con los requisitos mínimos para la instalación de un relleno sanitario, es por ello que son descartados.

- Mapa N° 17, mapa de zonas optimas y aceptables para instalar infraestructuras de disposición final de residuos sólidos en la provincia de Jaén – Cajamarca, este este

mapa se mostrará el resultado final en donde identificaremos las zonas de muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo potencial para la instalación de residuos sólidos.

4.4. Aplicación del modelo geoespacial para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la provincia de Jaén- Cajamarca

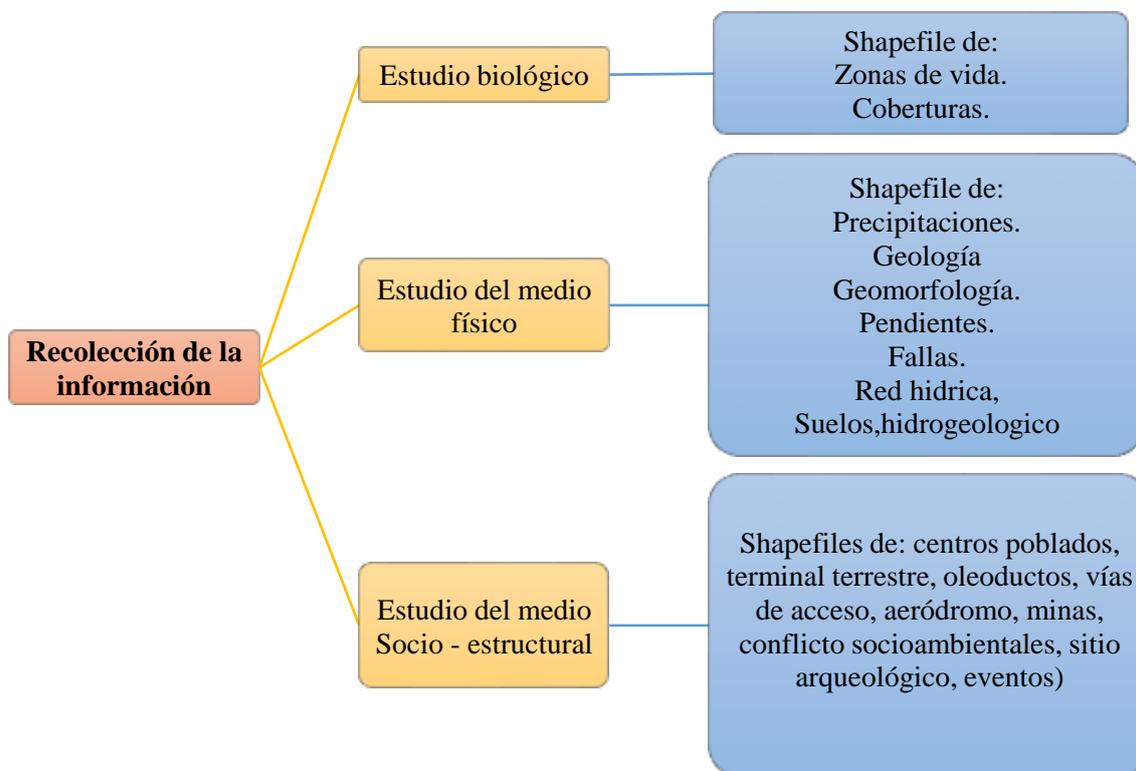
En esta etapa desarrollaremos la aplicación del modelo como área de estudio es la provincia de Jaén - Cajamarca, el procedimiento será aplicado y desarrollado según las fases establecidas en el esquema aplicativo del modelo espacial de localización óptima de instalaciones para residuos sólidos.

4.4.1. Fase I: Recopilación de información y elaboración de mapas temáticos.

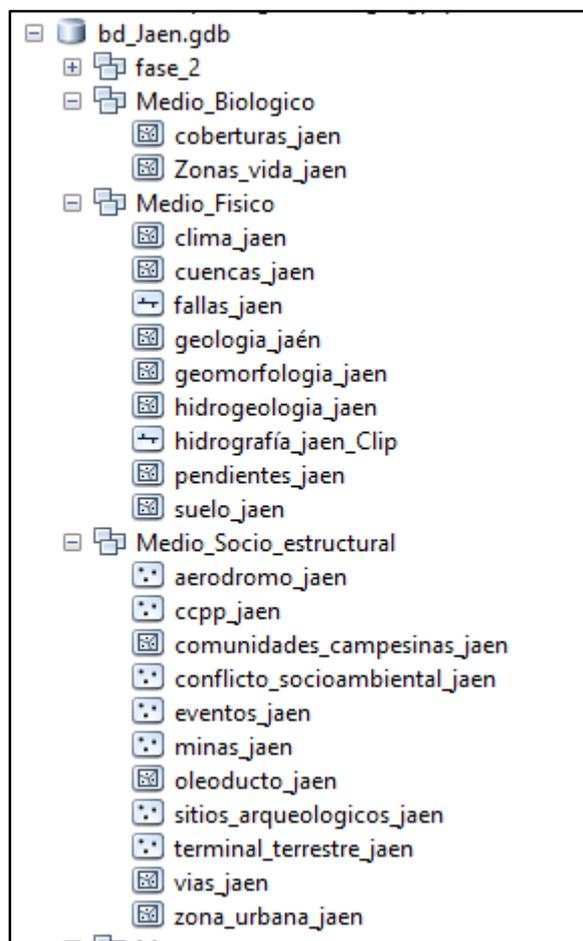
4.4.1.1. Recopilación de información. La recopilación de información se realizó las revisiones bibliográficas y la recolección de información para ello se visitó el geoportal del GRC y se revisó la ZEE y OT- Cajamarca, Instituto Geológico Minero Metalúrgico- INGEMMET, Ministerio de Cultura, entre otros siempre tiene que ser de fuentes oficiales de esta manera se genere la confiabilidad de que esta sea real y que este reconocida por el organismo encargado, para esta fase lo que se hace es buscar toda la información posible tanto física (espacial) como social de la zona o lugar que se encuentra en estudio. En la Figura 19 se puede notar la información que se debe tener para proceder con la elaboración de los mapas temáticos.

Figura 19

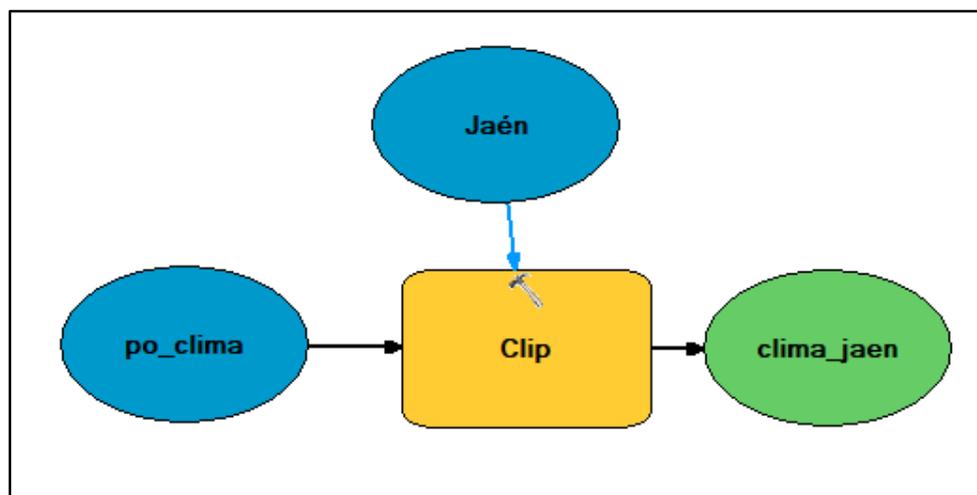
Recolección de información y elaboración de mapas temáticos



4.4.1.2. Elaboración de mapas temáticos. Se comienza con el armado del modelo geoespacial de localización óptima de instalaciones para la disposición final de residuos sólidos aplicando los SIG en la provincia creando un Geodatabase, Feature Dataset y los Feature Class para cada variable del medio físico, medio biológico, medio socio-estructural como se visualiza en la Figura 20.

Figura 20*Estructura del geodatabase*

4.4.1.2.1. Mapa de tipos de clima y precipitación media anual. El clima se obtuvo de la mapoteca del GRC, de donde se descargaron el shapefile(shp) de clima a escala 1:100 000, en el ArcGIS se procedió editar con la herramienta *Geoprocessing*, luego se cortó con el área de estudio, con la herramienta *clip* cómo se muestra en la Figura 21. Obteniendo finalmente las unidades descritas y ordenadas de acuerdo a su similitud y que pueden observarse en la Tabla 6 y en la Figura 22.

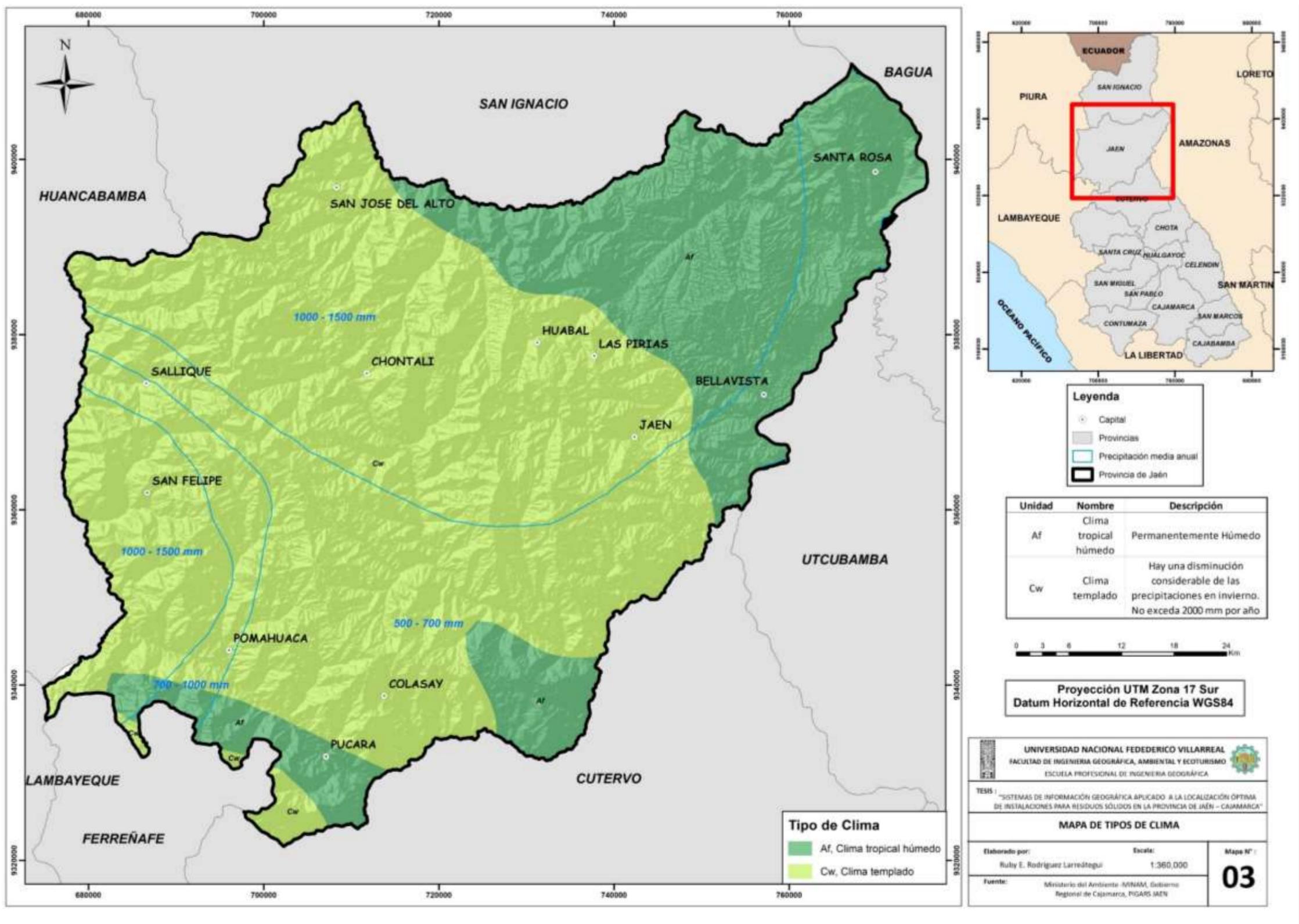
Figura 21*Modelo conceptual de la variable clima***Tabla 6***Tipos de climas según clasificación de Köppen*

Unidad	Nombre	Descripción
Af	Clima tropical húmedo	Permanentemente Húmedo
Cw	Clima templado moderado lluvioso	Hay una disminución considerable de las precipitaciones en invierno. No exceda 2000 mm por año

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Figura 22

Mapa de tipos de clima



4.4.1.2.2. Mapa geológico. Geología superficial se obtuvo de la mapoteca del GRC, de donde se descargaron el shapefile (shp) de geología a escala 1:100 000, en el ArcGIS 10.3 se procedió a cortar con el área de estudio, con la herramienta *Clip*, como se muestra en la Figura 23. Obteniendo finalmente las unidades descritas y ordenadas de acuerdo a sus similitudes, y que pueden observarse en la Tabla 7 y la Figura 24 se puede notar que, en la provincia de Jaén, predomina la unidad geológica Ji-o (165 119.06 ha) que representa el 31.56% del área de estudio y en menor proporción la unidad geológica Ks-di (75.53 ha) con un 0.01%.

Figura 23

Modelo conceptual de la variable geología

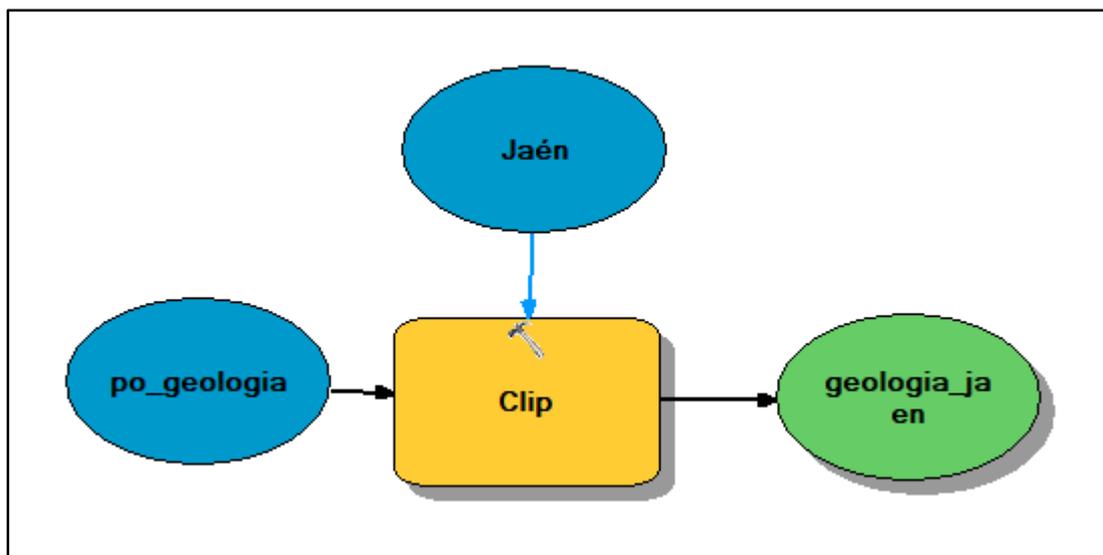


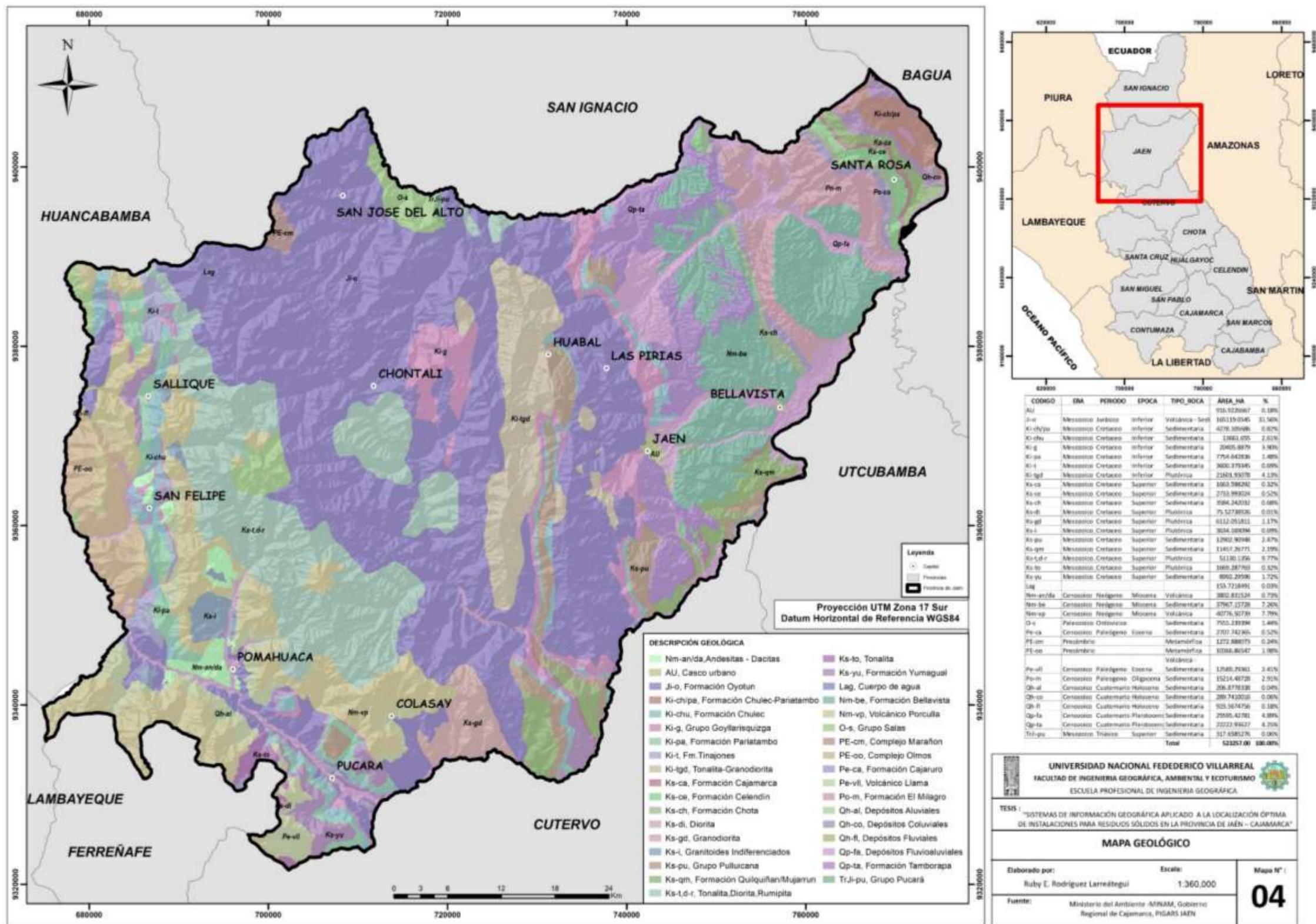
Tabla 7*Unidades geológicas*

Código	Descripción	Era	Época	Tipo de roca	Litología	Área (ha)	%
AU	Casco urbano					916.92	0.18
Ji-o	Formación Oyotun	Mesozoico	Inferior	Volcánica - Sedimentaria	Andesita	165 119.05	31.56
Ki-ch/pa	Formación Chulec- Pariatambo	Mesozoico	Inferior	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas	4 278.11	0.82
Ki-chu	Formación Chulec	Mesozoico	Inferior	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas	13 661.65	2.61
Ki-g	Grupo Goyllarisquizga	Mesozoico	Inferior	Sedimentaria	Cuarcitas, areniscas	20 405.89	3.90
Ki-pa	Formación Pariatambo	Mesozoico	Inferior	Sedimentaria	Dolomitas bituminosas, margas, calizas	7 754.64	1.48
Ki-t	Fm. Tinajones	Mesozoico	Inferior	Sedimentaria	Areniscas, lutitas	3 600.38	0.69
Ki-tgd	Tonalita-Granodiorita	Mesozoico	Inferior	Plutónica	Tonalita Granodiorita	21 601.93	4.13
Ks-ca	Formación Cajamarca	Mesozoico	Superior	Sedimentaria	Calizas, margas	1 663.60	0.32
Ks-ce	Formación Celendín	Mesozoico	Superior	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas	2 733.99	0.52
Ks-ch	Formación Chota	Mesozoico	Superior	Sedimentaria	Areniscas, lutitas, conglomerados	3 584.24	0.68
Ks-di	Diorita	Mesozoico	Superior	Plutónica	Diorita	75.53	0.01
Ks-gd	Granodiorita	Mesozoico	Superior	Plutónica	Granodiorita	6 112.05	1.17
Ks-i	Granitoides Indiferenciados	Mesozoico / Cenozoico	Superior	Plutónica	Granitoides	3 634.17	0.69
Ks-pu	Grupo Pulluicana	Mesozoico	Superior	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas	12 902.91	2.47
Ks-qm	Formación Quilquiñan/Mujarrun	Mesozoico	Superior	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas	11 457.27	2.19
Ks-t,d-r	Tonalita,Diorita,Rumipita	Mesozoico / Cenozoico	Superior	Plutónica	Tonalita, Diorita	51 130.14	9.77
Ks-to	Tonalita	Mesozoico / Cenozoico	Superior	Plutónica	Tonalita	1 669.29	0.32

Código	Descripción	Era	Época	Tipo de roca	Litología	Área (ha)	%
Ks-yu	Formación Yumagual	Mesozoico	Superior	Sedimentaria	Calizas, lutitas, margas	8 992.30	1.72
Lag	Cuerpo de agua					153.72	0.03
Nm-an/da	Andesitas, Dacitas	Cenozoico	Miocena	Volcánica	Andesita	3 802.83	0.73
Nm-be	Formación Bellavista	Cenozoico	Miocena	Sedimentaria	Conglomerados, areniscas, lutitas	37 967.16	7.26
Nm-vp	Volcánico Porculla	Cenozoico	Miocena	Volcánica	Tobas andesíticas, ignimbrita	40 776.51	7.79
O-s	Grupo Salas	Paleozoico		Sedimentaria	Esquistos, gneises, filitas	7 555.24	1.44
Pe-ca	Formación Cajaruro	Cenozoico	Eocena	Sedimentaria	Margas, lutitas, areniscas tobaceas	2 707.74	0.52
PE-cm	Complejo Marañon	Precámbrico		Metamórfica	Esquistos, gneises, filitas	1 272.89	0.24
PE-oo	Complejo Olmos	Precámbrico		Metamórfica	Esquistos	10 366.87	1.98
Pe-vll	Volcánico Llama	Cenozoico	Eocena	Volcánica - Sedimentaria	Andesita, tobas, areniscas, calizas	12 589.29	2.41
Po-m	Formación El Milagro	Cenozoico	Oligocena	Sedimentaria	Conglomerados, areniscas, lodolitas	15 214.49	2.91
Qh-al	Depósitos Aluviales	Cenozoico	Holoceno	Sedimentaria	Arenas, gravas, arcillas	206.88	0.04
Qh-co	Depósitos Coluviales	Cenozoico	Holoceno	Sedimentaria	Bloques subangulosos con matriz areniscosa y limosa	289.74	0.06
Qh-fl	Depósitos Fluviales	Cenozoico	Holoceno	Sedimentaria	Gravas, arenas, limos	923.57	0.18
Qp-fa	Depósitos Fluvioaluviales	Cenozoico	Pleistoceno	Sedimentaria	Gravas, arenas, arcillas, limos	25 595.43	4.89
Qp-ta	Formación Tamborapa	Cenozoico	Pleistoceno	Sedimentaria	Conglomerados, areniscas, lutitas	22 222.94	4.25
TrJi-pu	Grupo Pucará	Mesozoico	Superior	Sedimentaria	Calizas	317.66	0.06
Total						523 257.00	100.00

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca.

Figura 24
Mapa geológico



4.4.1.2.3. Mapa geomorfológico. Geomorfología se obtuvo de la mapoteca del GRC, de donde se descargaron el *shapefile* (shp) de geomorfología a escala 1:100 000, se procedió se cortar con el área de estudio, con la herramienta *Clip*, tal como se muestra en la Figura 25. Obteniendo finalmente las unidades descritas y ordenadas de acuerdo a sus similitudes, y que pueden observarse en la Tabla 8 y Figura 26, se puede notar que, en la provincia de Jaén, predomina Ladera de Montaña Empinada – **LME** que representa un 18.46% del área de estudio, asimismo en menor proporción, la unidad geomorfológica Terraza alta en depósitos aluviales–**T-ni**.

Figura 25

Modelo conceptual de la variable geomorfología

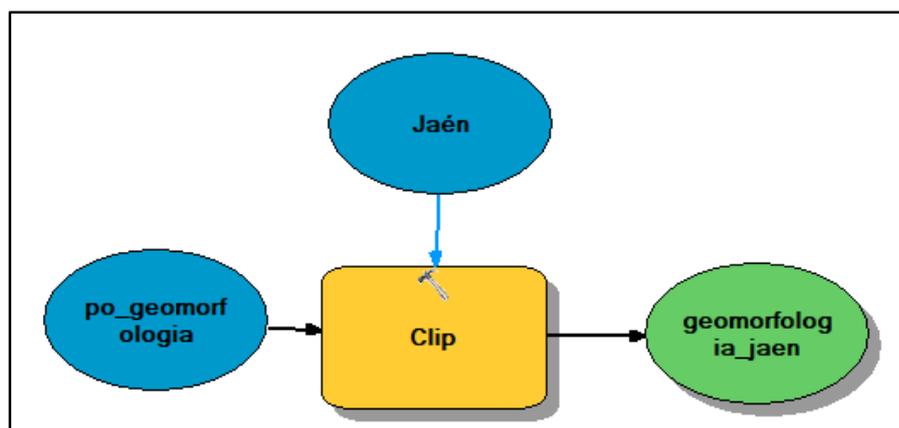


Tabla 8

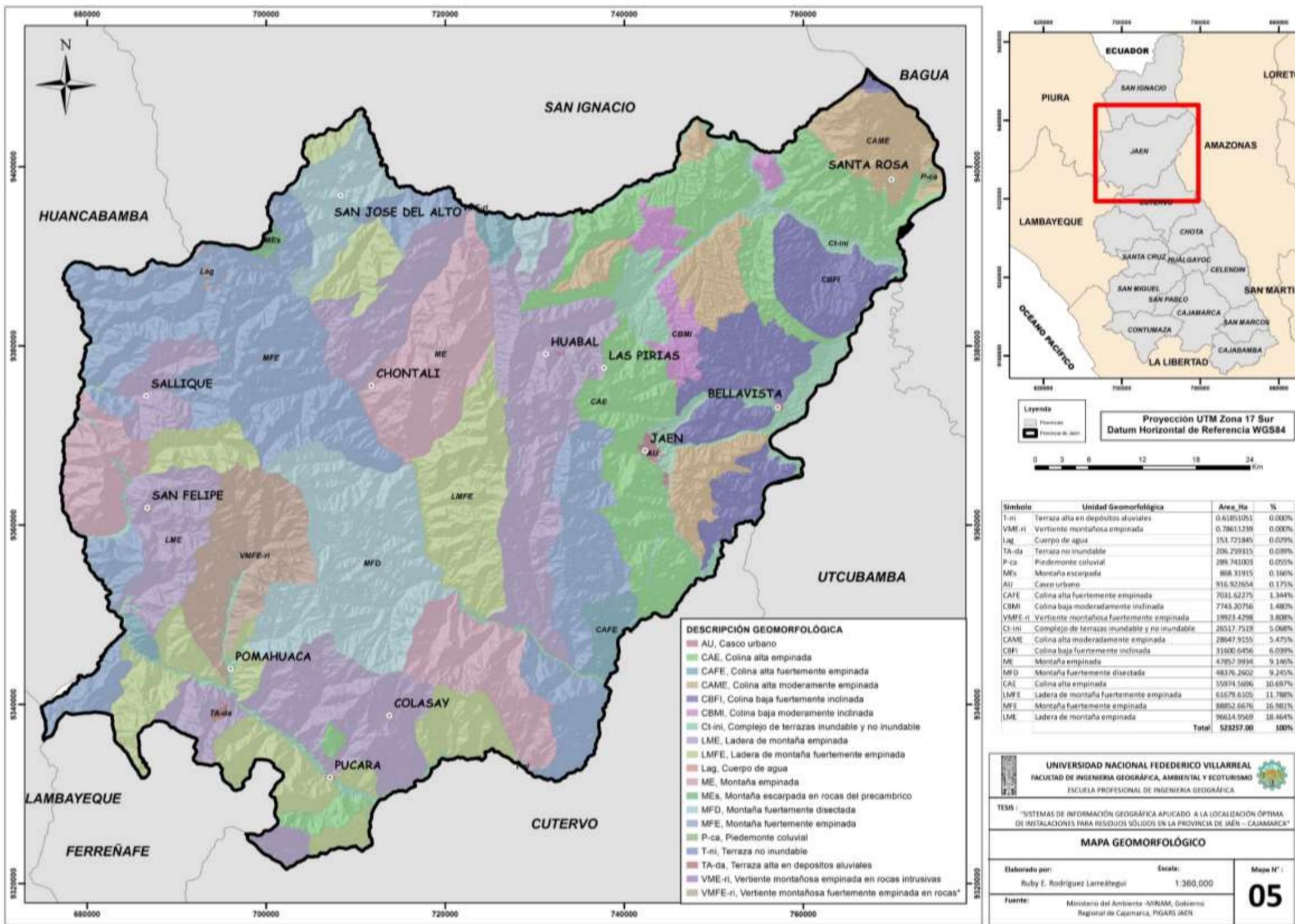
Geomorfología (unidades geomorfológicas)

Símbolo	Unidad geomorfológica	Área (ha)	%
T-ni	Terraza alta en depósitos aluviales	0.62	0.00
VME-ri	Vertiente montañosa empinada	0.79	0.00
Lag	Cuerpo de agua	153.72	0.03
TA-da	Terraza no inundable	206.26	0.04
P-ca	Piedemonte coluvial	289.74	0.06
MEs	Montaña escarpada	868.32	0.17
AU	Casco urbano	916.92	0.18
CAFE	Colina alta fuertemente empinada	7 031.62	1.34
CBMI	Colina baja moderadamente inclinada	7 743.21	1.48
VMFE-ri	Vertiente montañosa fuertemente empinada	19 923.43	3.81

Símbolo	Unidad geomorfológica	Área (ha)	%
Ct-ini	Complejo de terrazas inundable y no inundable	26 517.75	5.07
CAME	Colina alta moderadamente empinada	28 647.92	5.47
CBFI	Colina baja fuertemente inclinada	31 600.65	6.04
ME	Montaña empinada	47 857.99	9.15
MFD	Montaña fuertemente disectada	48 376.26	9.25
CAE	Colina alta empinada	55 974.57	10.70
LMFE	Ladera de montaña fuertemente empinada	61 679.61	11.79
MFE	Montaña fuertemente empinada	88 852.67	16.98
LME	Ladera de montaña empinada	96 614.96	18.46
Total		523 257.00	100.00

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Figura 26
Mapa geomorfológico



4.4.1.2.4. Mapa de pendientes. El relleno puede diseñarse y operarse en cualquier tipo de topografía. Sin embargo, es preferible aquella en que se logre un mayor volumen aprovechable por hectárea (MINAM,2011b).

Pendientes se obtuvo de la mapoteca del GRC, de donde se descargaron el shapefile (shp) de pendientes a escala 1:100 000, como se muestra en la Figura 28, en el ArcGIS se procedió editar con la herramienta *Geoprocessing*, luego se cortó con el área de estudio, con la herramienta *clip*, evidenciándose en la Figura 27. Predomina la pendiente muy empinada (50%-75%) con un área de 259 718.10 ha y en menor proporción la pendiente nula o casi nula (00%-04%). Obteniendo finalmente las unidades descritas y ordenadas de acuerdo a su similitud y que pueden observarse en la Tabla 9.

Figura 27

Modelo conceptual de la variable pendientes

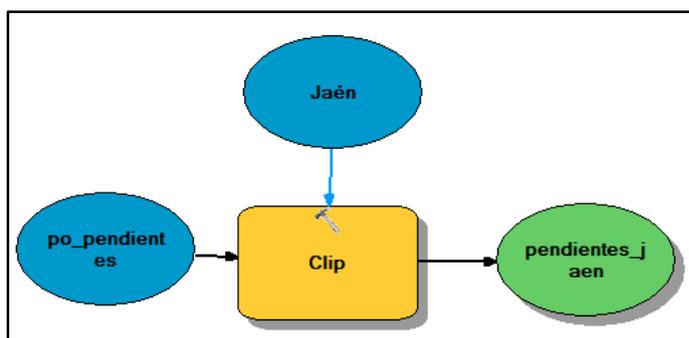


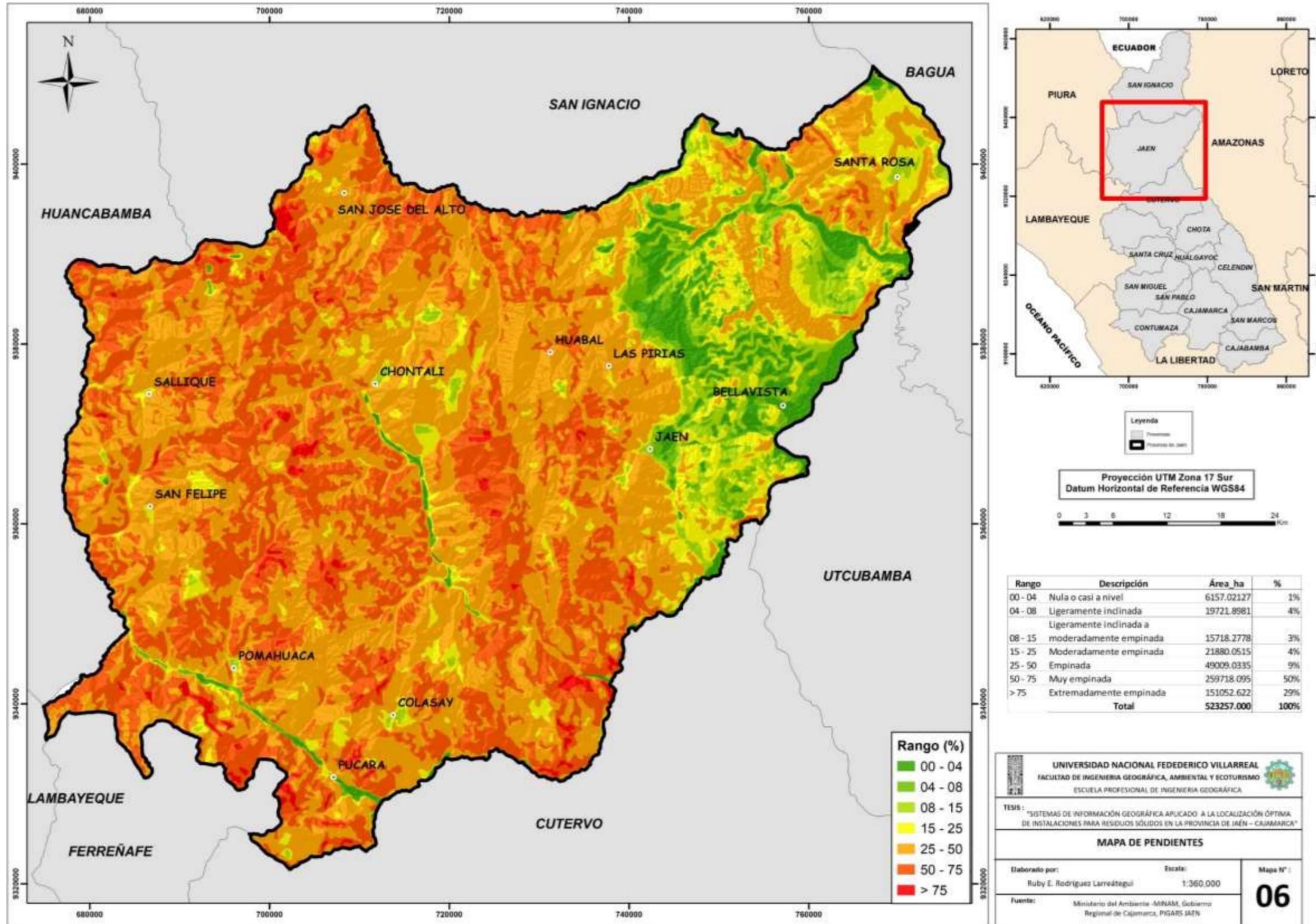
Tabla 9

Rango de pendientes según porcentaje de desnivel

Rango	Descripción	Área (ha)	%
00 - 04	Nula o casi a nivel	6 157.02	1
04 - 08	Ligeramente inclinada	19 721.90	4
08 - 15	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada	15 718.28	3
15 - 25	Moderadamente empinada	21 880.05	4
25 - 50	Empinada	49 009.03	9
50 - 75	Muy empinada	259 718.10	50
> 75	Extremadamente empinada	151 052.62	29
Total		523 257.00	100

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Figura 28
Mapa de pendientes



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA

TEMAS: "SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA APLICADO A LA LOCALIZACION OPTIMA DE INSTALACIONES PARA RESIDUOS SOLIDOS EN LA PROVINCIA DE JAEN - CAJAMARCA"

MAPA DE PENDIENTES

Elaborado por: Ruby E. Rodríguez Larreátegui	Escala: 1:360.000	Mapa N°: 06
Fuente: Ministerio del Ambiente - MINAM, Gobierno Regional de Cajamarca, PIGARS JAEN		

4.4.1.2.5. Mapa de cuencas y red hídrica. Red hídrica se obtuvo de la mapoteca del GRC, de donde se descargaron el shapefile (shp) de hidrología a escala 1:100 000, como se muestra en la Figura 30 y Tabla 10, en el ArcGIS se procedió editar con la herramienta *Geoprocessing*, luego se cortó con el área de estudio, con la herramienta *clip*, notándose en la Figura 29. Obteniendo finalmente las unidades descritas y ordenadas de acuerdo a su similitud y que pueden observarse en la Tabla 11.

Figura 29

Modelo conceptual de la variable red hídrica

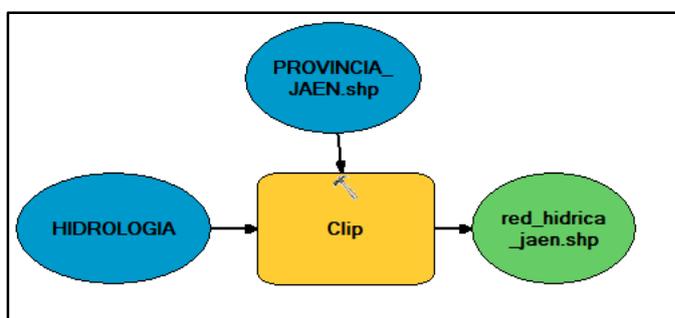


Tabla 20

Red hídrica

Símbolo de tipo de red hídrica	Tipo de red hídrica	Cantidad
QN	Quebrada	314
R	Río	70

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Tabla 31

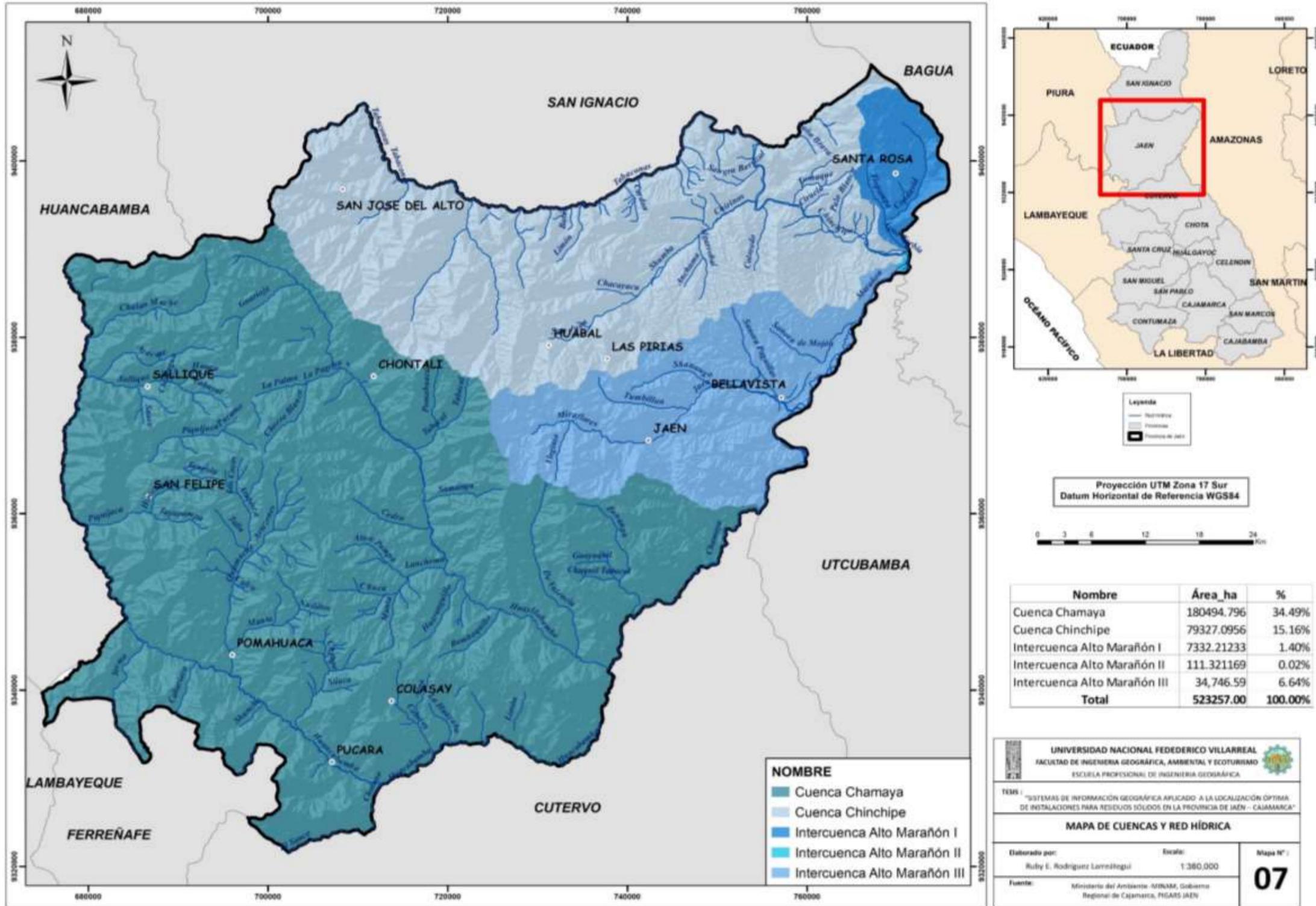
Cuenca hidrográfica

Unidad hidrológica	Nombre	Área (ha)	%
Región Hidrográfica del Amazonas	Cuenca Chamaya	180 494.80	34.49
Región Hidrográfica del Amazonas	Cuenca Chinchipe	79 327.10	15.16
Región Hidrográfica del Amazonas	Intercuenca Alto Marañón I	7 332.21	1.40
Región Hidrográfica del Amazonas	Intercuenca Alto Marañón II	111.32	0.02
Región Hidrográfica del Amazonas	Intercuenca Alto Marañón III	34 746.59	6.64
Total		523 257.00	100.00

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Figura 30

Mapa de cuenca y red hídrica



4.4.1.2.6. Mapa del sistema de fallas. Una falla es una discontinuidad que se forma debido a la fractura de grandes bloques de rocas en la Tierra cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas.

Fallas geológicas se obtuvo de la mapoteca del GRC, de donde se descargaron el shapefile (shp) de fallas a escala 1:100 000, como se muestra en la Figura 32, en el ArcGIS 10.3 se procedió editar con la herramienta *Geoprocessing*, luego se cortó con el área de estudio, con la herramienta *clip*, notándose en la Figura 31. Obteniendo finalmente las unidades descritas y ordenadas de acuerdo a su similitud y que pueden observarse en la Tabla 12.

Figura 31

Modelo conceptual de la variable distancia a fallas geológicas

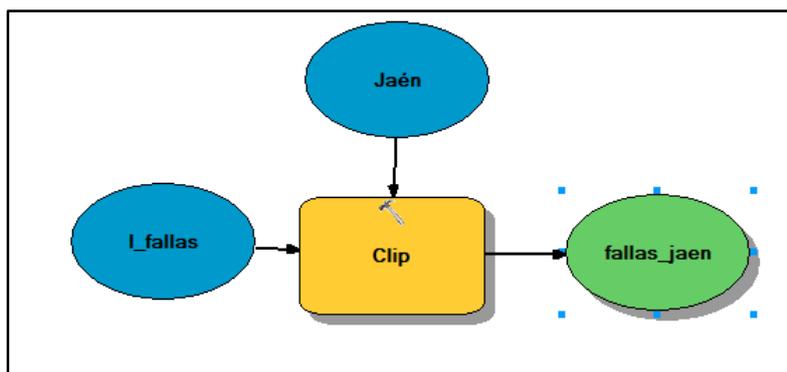


Tabla 12

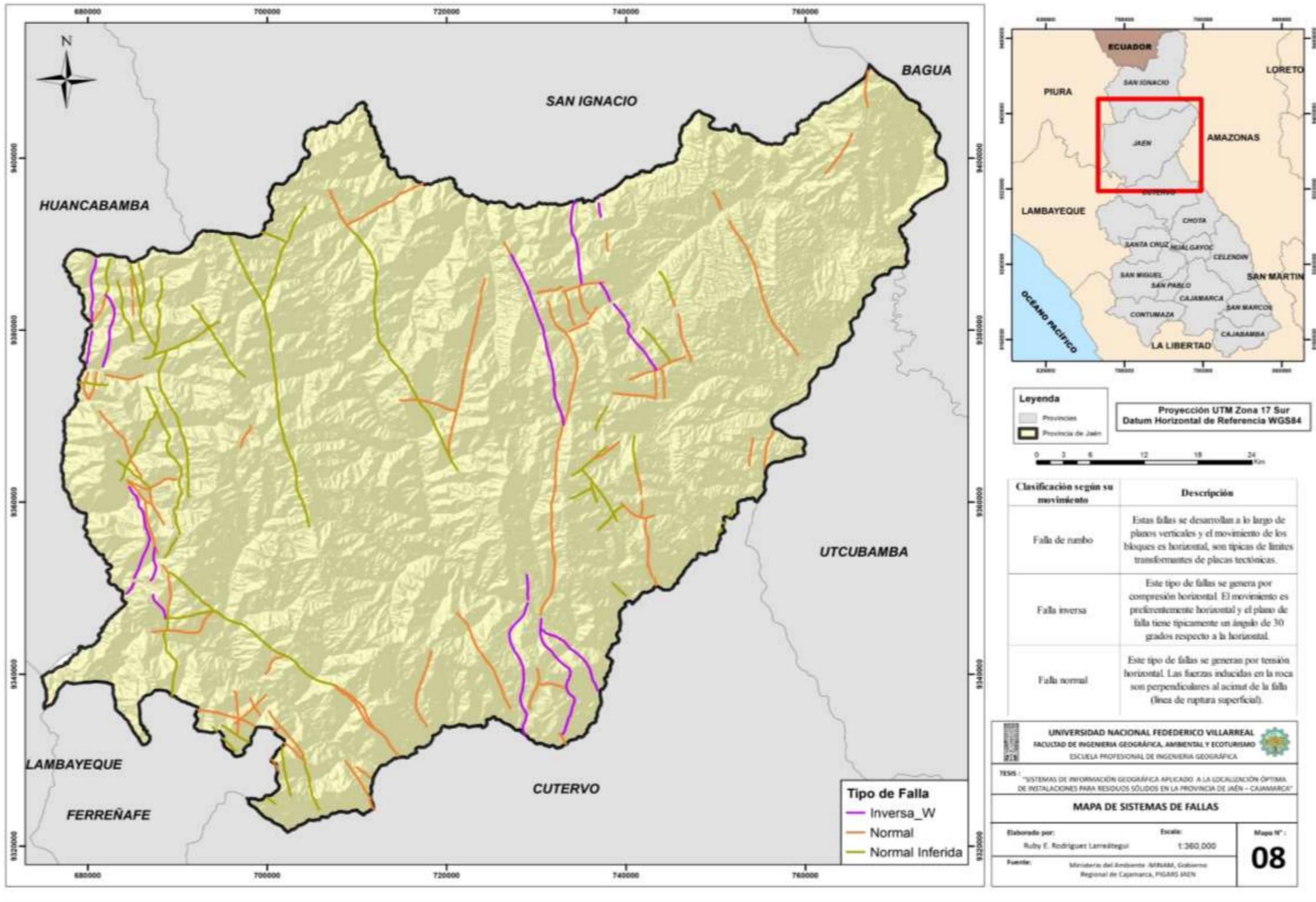
Sistema de fallas

Clasificación según su movimiento	Descripción
Falla de rumbo	Estas fallas se desarrollan a lo largo de planos verticales y el movimiento de los bloques es horizontal, son típicas de límites transformantes de placas tectónicas.
Falla inversa	Este tipo de fallas se genera por compresión horizontal. El movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30 grados respecto a la horizontal.
Falla normal	Este tipo de fallas se generan por tensión horizontal. Las fuerzas inducidas en la roca son perpendiculares al acimut de la falla (línea de ruptura superficial).

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Figura 32

Mapa de sistema de fallas



4.4.1.2.1. Mapa de suelos. Suelo se obtuvo de la mapoteca del GRC, de donde se descargaron el shapefile (shp) de suelos a escala 1:100 000 como se muestra en la Figura 34, en el ArcGIS se procedió editar con la herramienta *Geoprocessing*, luego se cortó con el área de estudio, con la herramienta clip notándose en la Figura 33. El tipo de suelo que predomina es Leptosol-Regosol (L-R) con un área de 119 486.13 ha que representa 22.8% del área de estudio y los distritos involucrados son: Bellavista, Jaén, Chontali, Santa Rosa, Pucará, y en menor área encontramos al tipo de suelo Fluvisol (J) de extensión 919.28 ha, donde encontramos en los distritos de Bellavista y Sallique. Obteniendo finalmente las unidades descritas y ordenadas de acuerdo a su similitud y que pueden observarse en la Tabla 13.

Figura 33

Modelo conceptual de la variable suelos

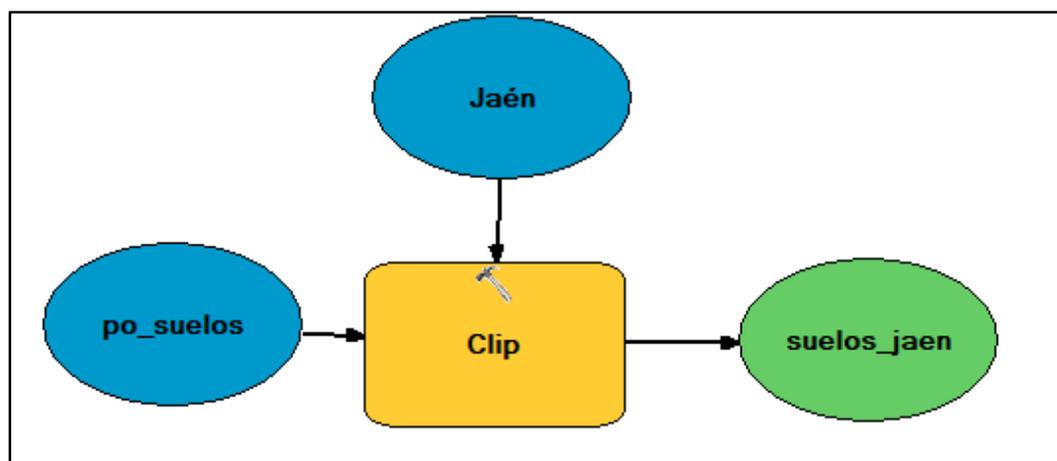


Tabla 13

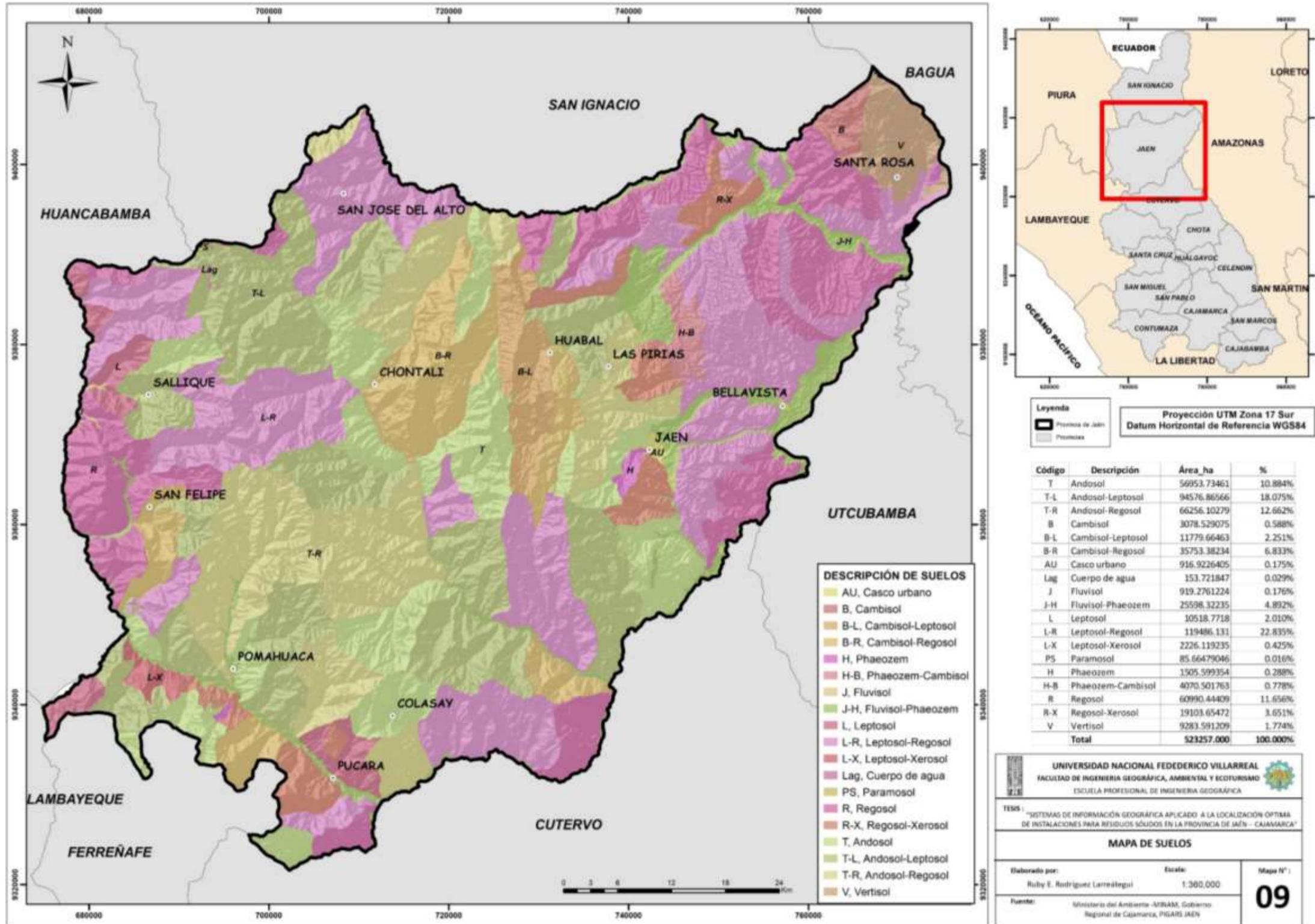
Tipos de suelo

Código	Descripción	Origen	Área (ha)	%
T	Andosol	Montañas intrusivas formadas sobre una tonalita gris clara de grano medio	56 953.73	10.88
T-L	Andosol- Leptosol	Montañas intrusivas formadas sobre un cuerpo plutónico que presenta dioritas y tonalitas	94 576.87	18.07
T-R	Andosol- Regosol	Montañas intrusivas formadas sobre un cuerpo plutónico que presenta dioritas y tonalitas	66 256.10	12.66

Código	Descripción	Origen	Área (ha)	%
B	Cambisol	Colinas sedimentarias formadas sobre una secuencia de margas y calizas gris parduzcas en bancos más o menos uniformes	3 078.53	0.59
B-L	Cambisol-Leptosol	Montañas intrusivas formadas sobre plagioclasas, cuarzo, ortoclasa y biotita en placas distribuidas irregularmente	11 779.66	2.25
B-R	Cambisol-Regosol	Montañas sedimentarias formadas sobre una caliza arcillosa, grisácea	35 753.38	6.83
AU	Casco urbano		916.92	0.18
Lag	Cuerpo de agua		153.72	0.03
J	Fluvisol	Depósitos fluviales	919.28	0.18
J-H	Fluvisol-Phaeozem	Depósitos fluvioaluviales	25 598.32	4.89
L	Leptosol	Montañas sedimentarias formadas sobre una secuencia fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcareas y margas	10 518.77	2.01
L-R	Leptosol-Regosol	Montañas sedimentarias formadas sobre una secuencia de tobas, grauvacas, lutitas areniscas cuarzosas y conglomerados	119 486.13	22.84
L-X	Leptosol-Xerosol	Montañas extrusivas formadas sobre una secuencia gruesa de derrames y piroclásticos andesíticos	2 226.12	0.43
PS	Paramosol	Montañas metamórficas formadas sobre fragmentos de esquistos, roca plutónica y cuarzo lechoso	85.66	0.02
H	Phaeozem	Depósitos coluviales	1 505.60	0.29
H-B	Phaeozem-Cambisol	Colinas sedimentarias formadas sobre conglomerados, areniscas gruesas y conglomeraditas fluviales, con intercalación de lutitas abigarrada	4 070.50	0.78
R	Regosol	Montañas sedimentarias formadas sobre una secuencia de margas y calizas gris parduzcas en bancos más o menos uniformes	60 990.44	11.66
R-X	Regosol-Xerosol	Montañas sedimentarias formadas sobre una secuencia de margas y calizas gris parduzcas en bancos más o menos uniformes	19 103.65	3.65
V	Vertisol	Colinas sedimentarias formadas sobre lutitas, margas y calizas nodulares	9 283.59	1.77
Total			523 257.00	100.00

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Figura 34
Mapa de suelos



4.4.1.2.1. Mapa hidrogeológico. Hidrogeología se obtuvo del geoportal INGEMMET donde se descargó el shapefile(shp) a escala 1:14 300 000, como se muestra en la Figura 36, en el ArcGIS se procedió editar con la herramienta *Geoprocessing*, luego se cortó con el área de estudio, con la herramienta *clip*, notándose en la Figura 35. Podemos decir que el 60% de nuestra área de estudio se encuentran acuíferos locales o discontinuos productivos con permeabilidad media. Obteniendo finalmente las unidades descritas y ordenadas de acuerdo a su similitud y que pueden observarse en la Tabla 14.

Figura 35

Modelo conceptual de la variable hidrogeológico

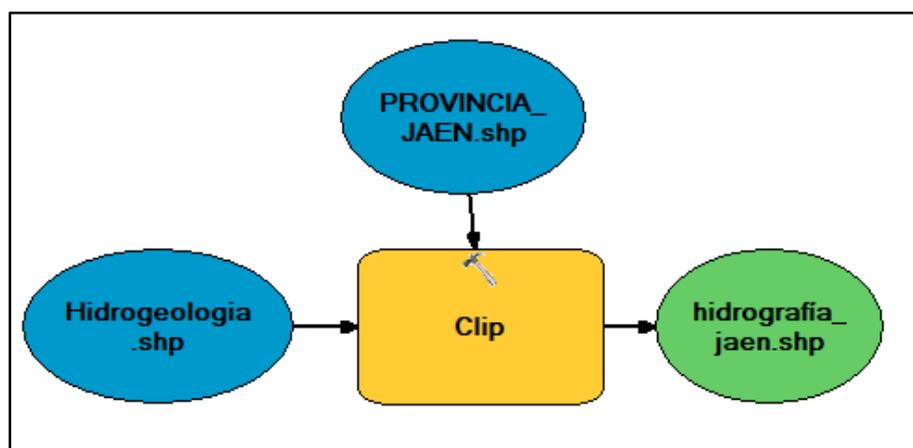


Tabla 44

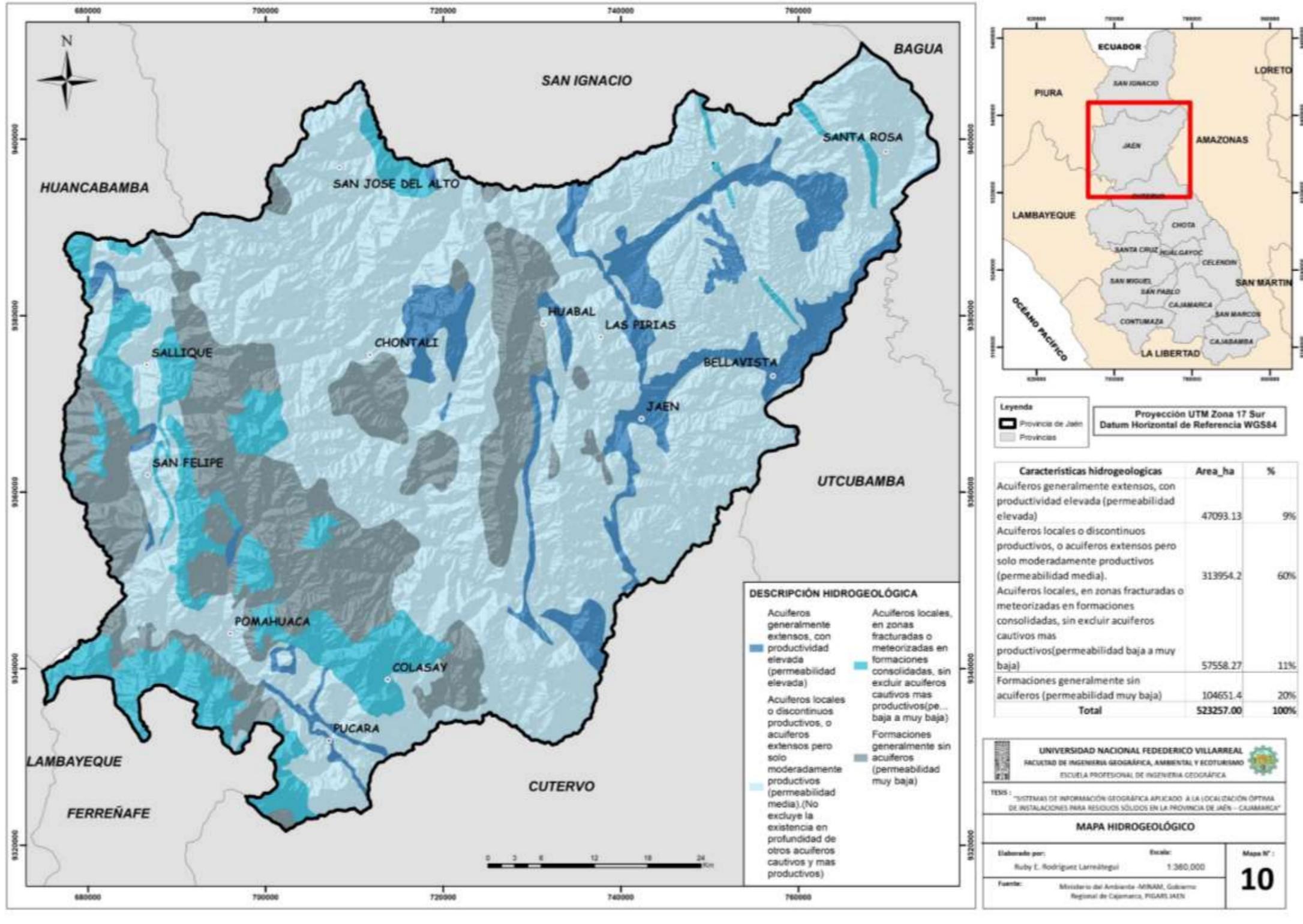
Características hidrogeológicas

Características hidrogeológicas	Área (ha)	%
Acuíferos generalmente extensos, con productividad elevada (permeabilidad elevada)	47 093.13	9
Acuíferos locales o discontinuos productivos, o acuíferos extensos pero solo moderadamente productivos (permeabilidad media).	313 954.2	60
Acuíferos locales, en zonas fracturadas o meteorizadas en formaciones consolidadas, sin excluir acuíferos cautivos más productivos(permeabilidad baja a muy baja)	57 558.27	11
Formaciones generalmente sin acuíferos (permeabilidad muy baja)	104 651.4	20
Total	523 257.00	100

Fuente: Elaboración propia

Figura 36

Mapa hidrogeológico



4.4.1.2.2. Mapa de zonas de vida. Zonas de vida se obtuvo de la mapoteca del GRC, de donde se descargaron el shapefile(shp) de zonas de vida a escala 1: 100 000, como se muestra en la Figura 38, en el ArcGIS 10.3 se procedió editar con la herramienta *Geoprocessing*, luego se cortó con el área de estudio, con la herramienta *clip* notándose en la Figura 37. Asimismo, notamos que la zona de vida que predomina es bosque muy humedo Montano Bajo Tropical (bmh-MBT) con un área de 95 841.30 ha y en menor área la zona de vida bosque muy humedo Premontano Tropical (bmh-PT) con 1 108.29 ha que se encuentra en el distrito de Santa Rosa. Obteniendo finalmente las unidades descritas y ordenadas de acuerdo a su similitud y que pueden observarse en la Tabla 15.

Figura 37

Modelo conceptual de la variable zonas de vida

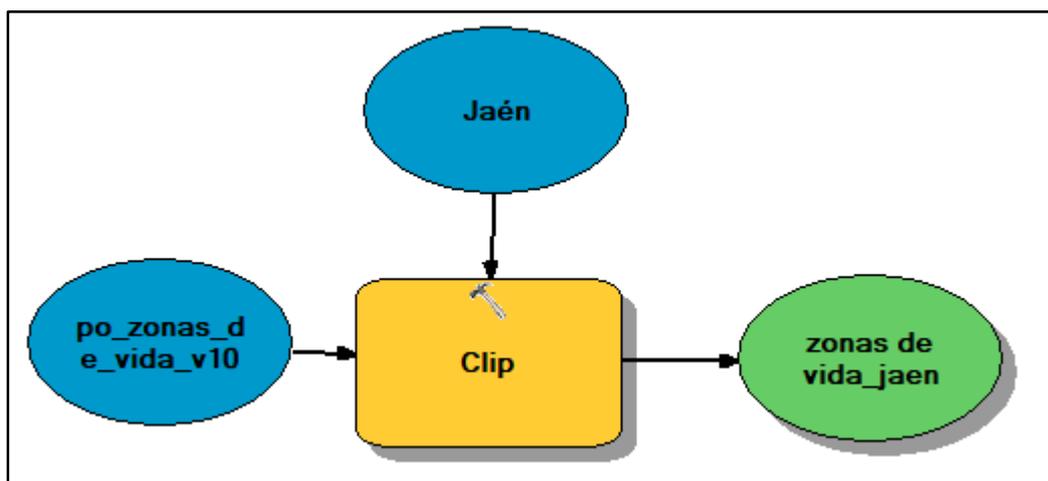


Tabla 55

Zonas de vida según clasificación de Holdridge

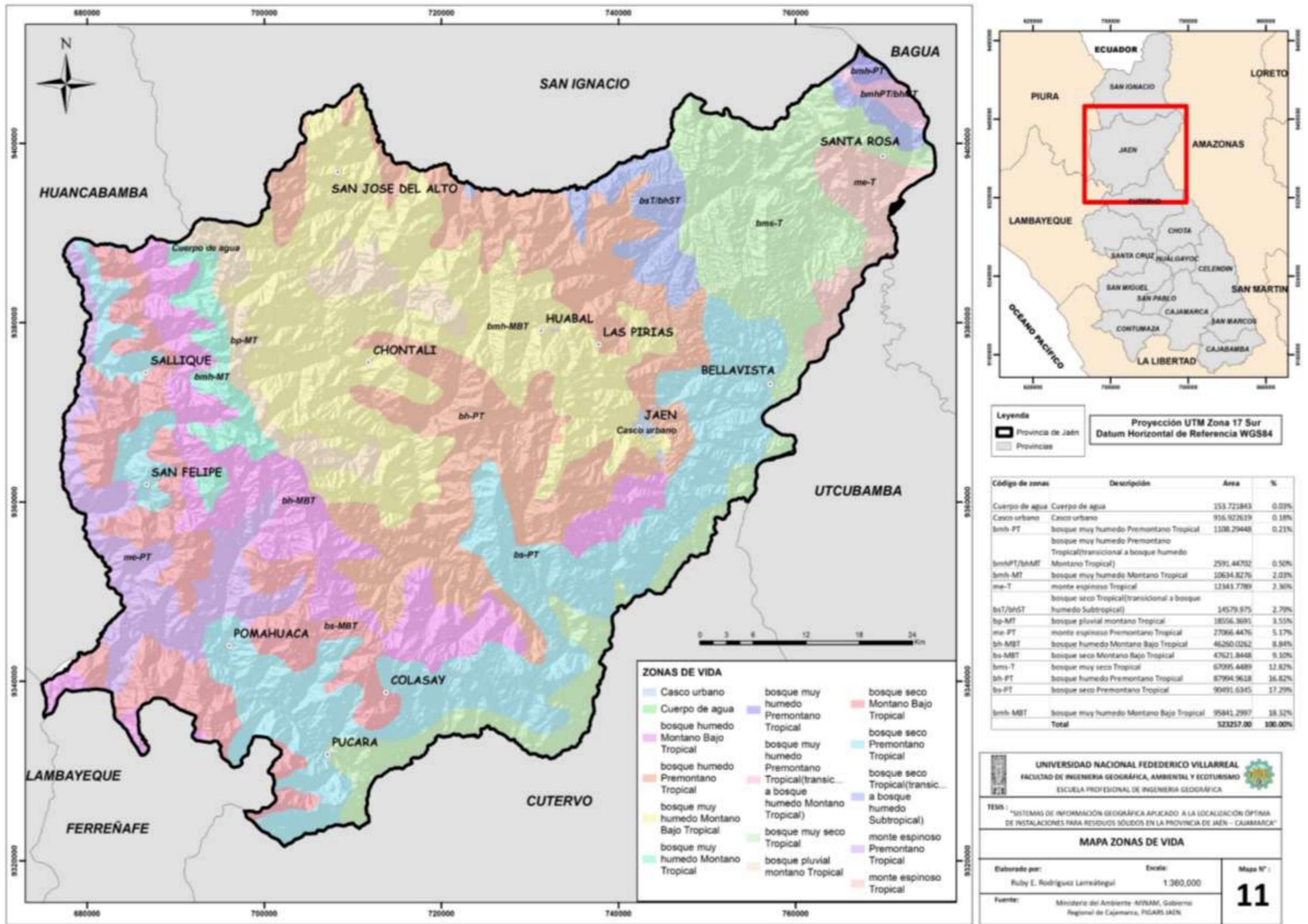
Código de zonas	Descripción	Área (ha)	%
Cuerpo de agua	Cuerpo de agua	153.72	0.03
Casco urbano	Casco urbano	916.92	0.18
bmh-PT	bosque muy humedo Premontano Tropical	1 108.29	0.21

Código de zonas	Descripción	Área (ha)	%
bmhPT/bhMT	bosque muy húmedo Premontano Tropical(transicional a bosque húmedo Montano Tropical)	2 591.45	0.50
bmh-MT	bosque muy húmedo Montano Tropical	10 634.83	2.03
me-T	monte espinoso Tropical	12 343.78	2.36
bsT/bhST	bosque seco Tropical(transicional a bosque húmedo Subtropical)	14 579.98	2.79
bp-MT	bosque pluvial montano Tropical	18 556.37	3.55
me-PT	monte espinoso Premontano Tropical	27 066.45	5.17
bh-MBT	bosque húmedo Montano Bajo Tropical	46 260.03	8.84
bs-MBT	bosque seco Montano Bajo Tropical	47 621.84	9.10
bms-T	bosque muy seco Tropical	67 095.45	12.82
bh-PT	bosque húmedo Premontano Tropical	87 994.96	16.82
bs-PT	bosque seco Premontano Tropical	90 491.63	17.29
bmh-MBT	bosque muy húmedo Montano Bajo Tropical	95 841.30	18.32
Total		523 257.00	100.00

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Figura 38

Mapa de zonas de vida



4.4.1.2.3. Mapa de coberturas. Coberturas de la tierra se obtuvo de la mapoteca del GRC, de donde se descargaron el shapefile (shp) de coberturas a escala 1:100 000, como se muestra en la Figura 40, en el ArcGIS se procedió editar con la herramienta *Geoprocessing*, luego se cortó con el área de estudio, con la herramienta *clip*, notándose en la Figura 39. De los tipos de coberturas predomina las Áreas con Áreas agrícolas heterogéneas con un área de 209 123.66 ha con una representatividad respecto al área de estudio del 39.97% se evidencia en la mayoría de los distritos que conforman la provincia de Jaén, asimismo en menor proporción los bosques plantados con 36.30 ha y que representa 0.01% del área de estudio. Obteniendo finalmente las unidades descritas y ordenadas de acuerdo a su similitud y que pueden observarse en la Tabla 16.

Figura 39

Modelo conceptual de la variable cobertura

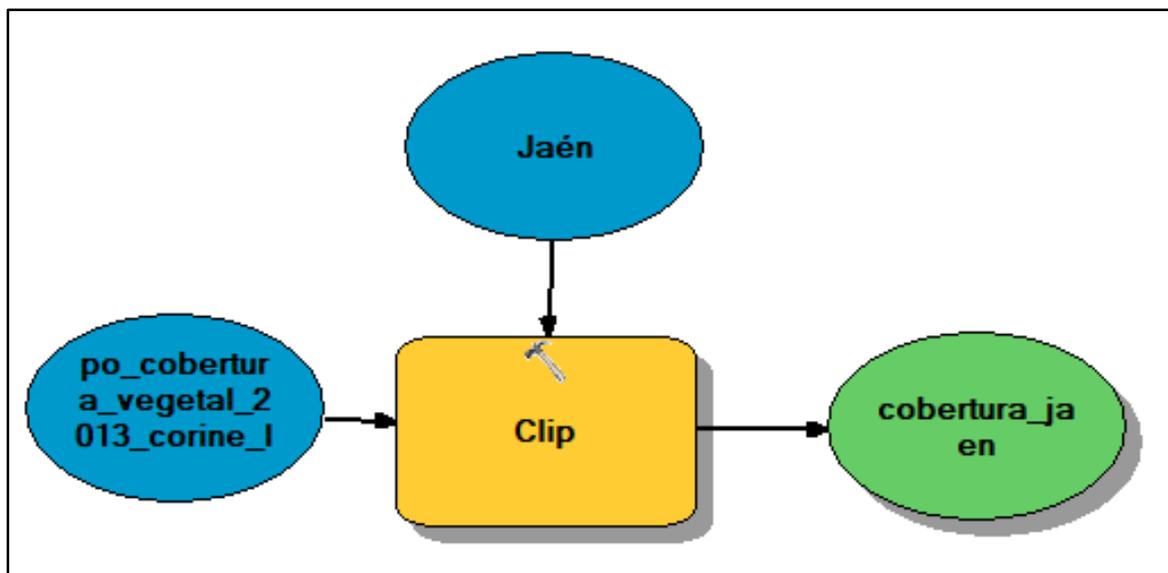
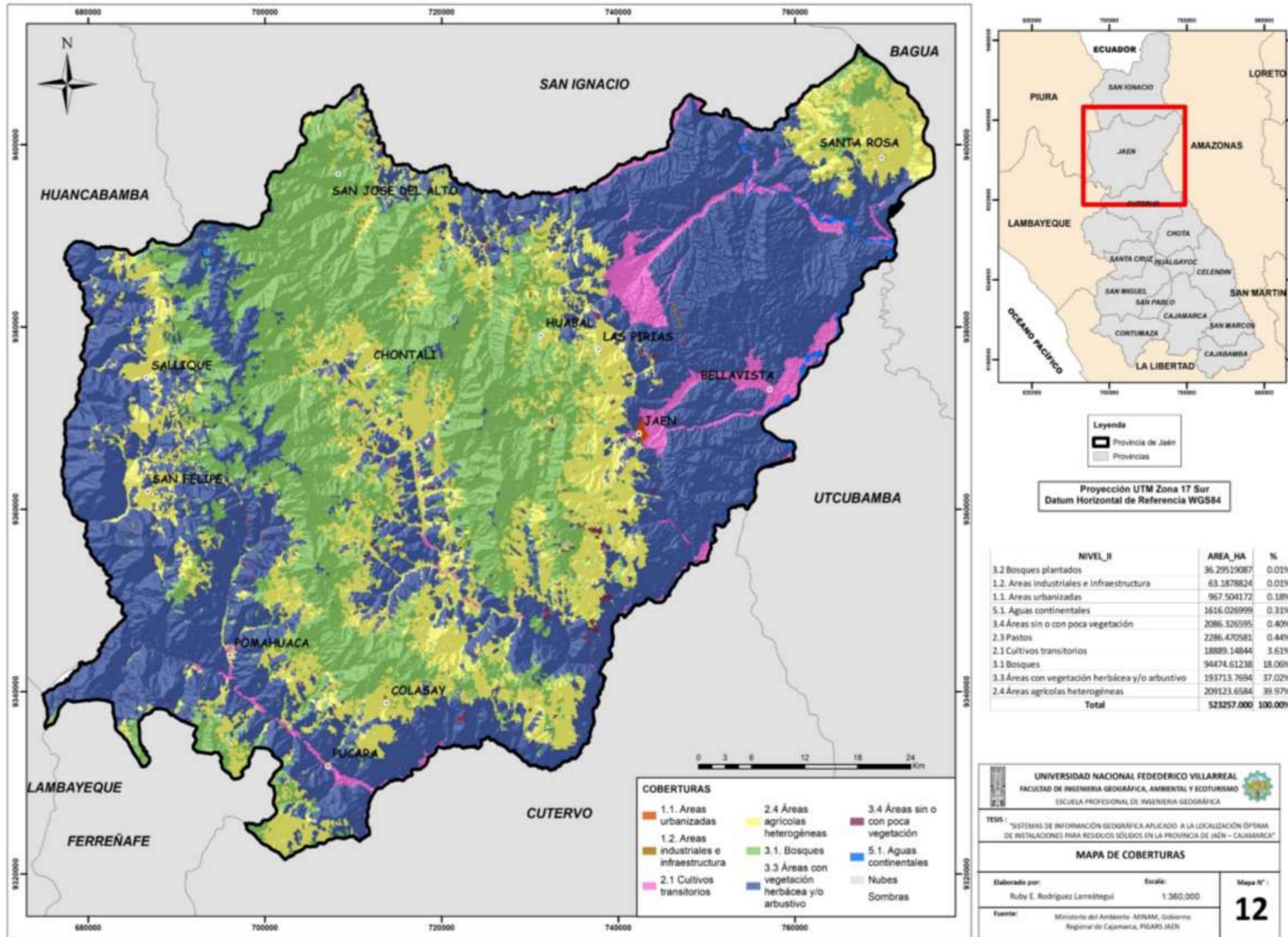


Tabla 66*Niveles de cobertura según la metodología Corine Land Cover*

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Área (ha)	%
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.2 Bosques plantados		36.30	0.01
1. Áreas artificializadas	1.2. Áreas industriales e infraestructura	1.2.4. Aeropuertos	63.19	0.01
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	967.50	0.18
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas continentales	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	1 616.03	0.31
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.4 Áreas sin o con poca vegetación	3.4.4 Áreas quemadas	2 086.33	0.40
2. Áreas agrícolas	2.3 Pastos		2 286.47	0.44
2. Áreas agrícolas	2.1 Cultivos transitorios		18 889.15	3.61
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosques	3.1.5. Bosque fragmentado	94 474.61	18.06
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.4 Vegetación arbustiva / herbácea	193 713.77	37.02
2. Áreas agrícolas	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas		209 123.66	39.97
Total			523 257.00	100.00

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Figura 40
Mapa de coberturas



4.4.1.2.4. Mapa socio-estructural. Socio-estructural se obtuvo de la mapoteca del GRC, de donde se descargaron el shapefile (shp) de aeródromo, oleoducto, minas, comunidades campesinas, terminal terrestre, conflicto socioambientales, eventos naturales a escala 1:100 000, como se muestra en la Figura 42, asimismo se descargó el shapefile del Ministerio de Cultura de sitios arqueológicos, luego en el ArcGIS se procedió editar desde el *ArcToolbox*, herramienta *clip* y como son varias variables se realizó con la opción *Batch* en donde se agregaron todas las variables a cortar según el área de estudio, notándose en la Figura 41. Asimismo, se presentará las tablas de atributos de cada variable, como se puede evidenciar en la Tabla 17 hasta la Tabla 21.

Figura 41

Modelo conceptual de la variable socio-estructural

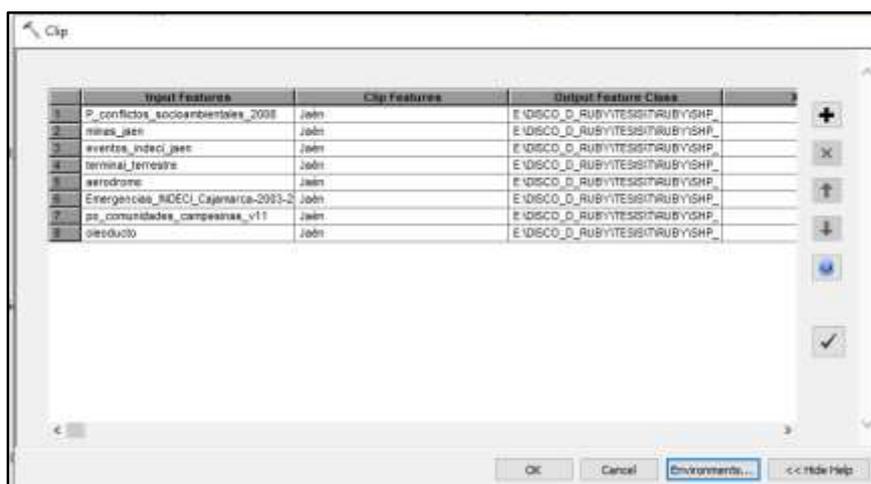


Tabla 77

Socio- estructurales

Socio-estructural	Distrito	Coordenada X	Coordenada Y	Características
Conflicto socioambiental	Sallique	686 252.2989	9 374 279.914	Ambiental-Con el estado 2008
Aeródromo	Jaén	746 558.8692	9 381 361.8874	
Mina	Bellavista	754 500	9 394 500	Tipo de producción, Gravas auríferas
Mina	San Felipe	687 000	9 361 500	Tipo de producción, No metálica

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Tabla 18*Cantidad de centros poblados*

Distrito	Cantidad de centros poblados	Total de población
Bellavista	6	6 155
Chontalí	6	2 229
Colasay	6	2 873
Huabal	6	2 145
Jaén	6	71 683
Las Pirias	6	1 083
Pomahuaca	5	1 750
Pucará	6	4 128
Sallique	6	1 261
San Felipe	6	824
San José del Alto	6	791
Santa Rosa	5	2 695
Total	70	

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Tabla 19*Eventos geodinámicos ocurridos según distrito*

Fenómeno	N° de eventos	%	Grupo de fenómenos	Distritos
Aluvión	1	0.2	Geodinámica externa	Jaén
Derrumbe	17	2.9	Geodinámica externa	San José Del Alto
Deslizamiento	19	3.3	Geodinámica externa	Santa Rosa
Huayco	18	3.1	Geodinámica externa	San Felipe
Sismos	9	1.5	Geodinámica interna	Santa Rosa
Inundación	28	4.8	Meteorológicos, oceanográficos	Santa Rosa
Otros fenómenos meteorológicos o hidrológicos	1	0.2	Meteorológicos, oceanográficos	Jaén
Precipitaciones - granizo	3	0.5	Meteorológicos, oceanográficos	San José Del Alto
Precipitaciones - lluvia	185	31.8	Meteorológicos, oceanográficos	Santa Rosa
Tormenta eléctrica	1	0.2	Meteorológicos, oceanográficos	Bellavista
Vientos fuertes	178	30.6	Meteorológicos, oceanográficos	Santa Rosa

Fenómeno	N° de eventos	%	Grupo de fenómenos	Distritos
Otros fenómenos de origen biológico	1	0.2	Origen biológico	Bellavista
Plagas	12	2.1	Origen biológico	Santa Rosa
Explosión	1	0.2	Tecnológicos	Jaén
Incendio forestal	2	0.3	Tecnológicos	Chontalí
Incendio urbano	105	18.0	Tecnológicos	Santa Rosa
Otros fenómenos tecnológicos	1	0.2	Tecnológicos	Pucara
Total	582	100.0		

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Tabla 80

Sitios arqueológicos ocurridos según distrito

Distrito	N° de sitios arqueológicos	Fuente
Bellavista	4	INC
Chontalí	5	INC
Colasay	10	INC
Jaén	8	INC
Pomahuaca	11	INC
San Felipe	1	INC
Santa Rosa	4	INC
Total	43	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 91

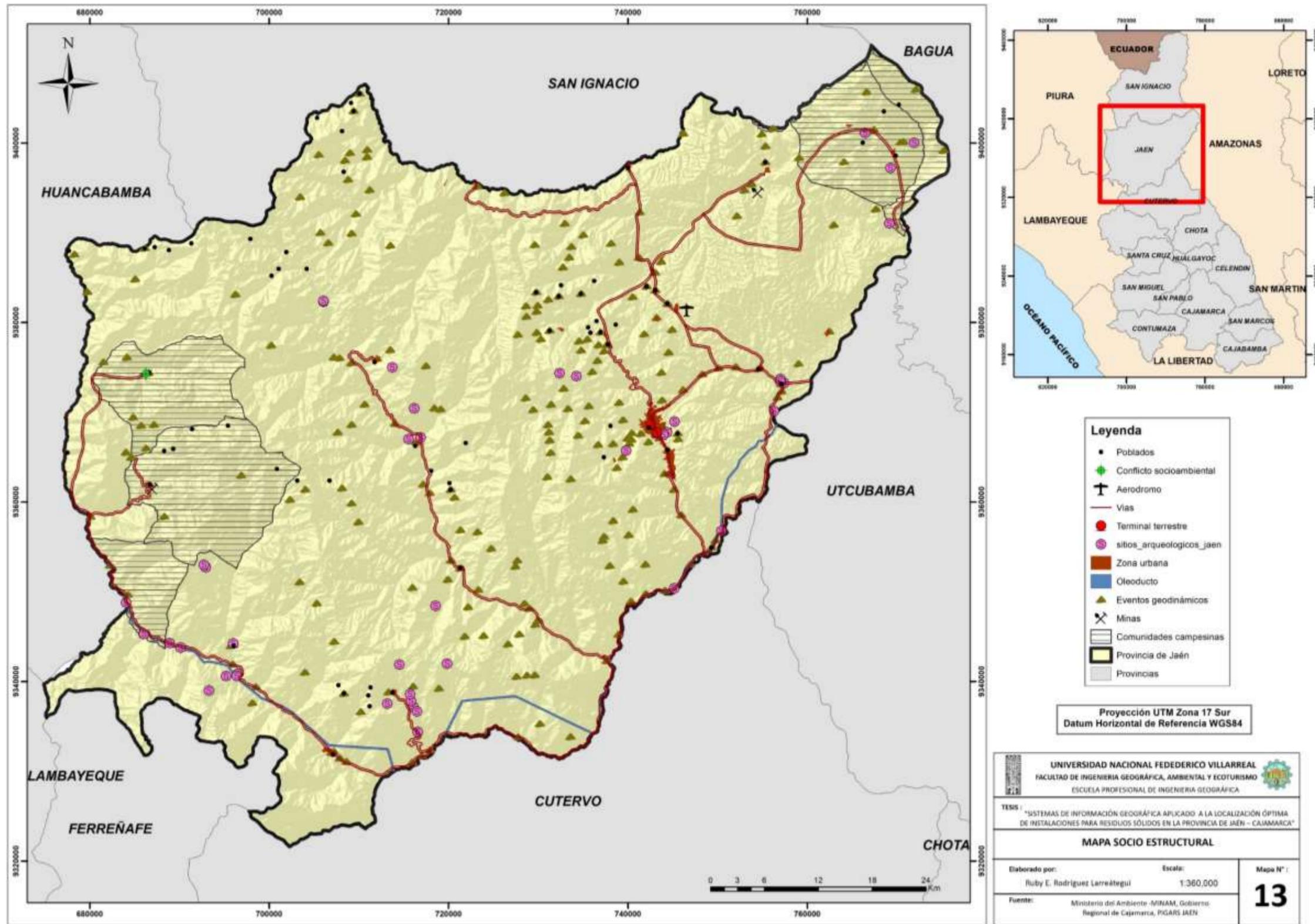
Comunidades campesinas de la provincia de Jaén

Distrito	N° comunidades campesinas	Fecha creación	Condición	N° familia
Santa Rosa	Santa Rosa	26/08/1942	Titulada	448
Santa Rosa	La Yunga	14/07/1942	Titulada	1500
Sallique	San Juan de Sallique	12/09/1951	Titulada	351
San Felipe	San Felipe	16/05/1944	Titulada	1735
San Felipe	Túpac Amaru II			0

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Figura 42

Mapa de socio estructural

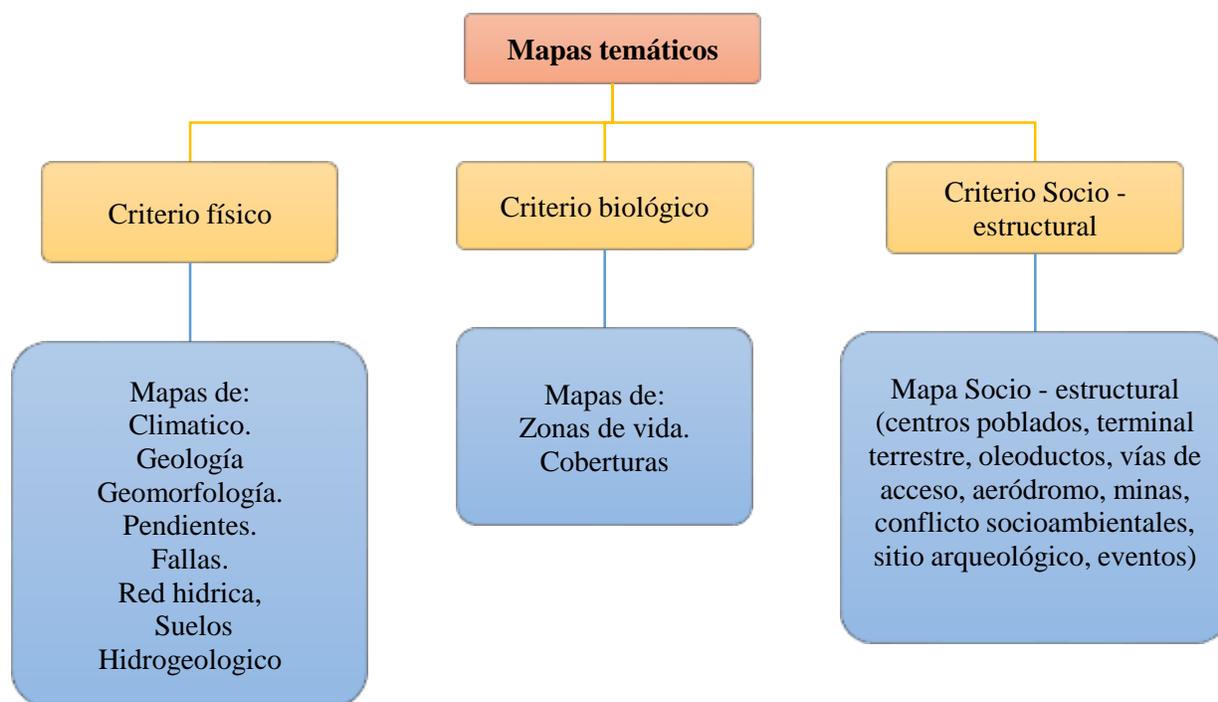


4.4.2. Fase II: Integración y evaluación de mapas temáticos

En esta base se realizará la integración de los mapas temáticos elaborados en la fase I teniendo en cuenta tres criterios biológico, físico y socio-estructurales. En la figura se mostrará la integración de los mapas temáticos considerando la estructura de la ZEE- OT Cajamarca.

Figura 43

Integración de mapas temáticos



4.4.2.1. Criterios evaluados para la identificación de áreas óptimas

a) Criterio físico

- **Ponderación binaria**

Ponderación binaria (0,1), tipos de clima

La variable clima fue interpretada dentro del estudio, pues permite conocer las condiciones que pueden o bien desencadenar eventos como inundaciones, deslizamientos, crecidas, asimismo, cuáles son las características de humedad que permiten generar procesos de oxidación o biodegradar elementos dispuestos al aire libre. Sin embargo, la información obtenida dentro de este dato espacial no ha sido suficiente. Pues en una combinación de la variable clima y precipitación, se tiene que existen dos tipos de clima: tropical húmedo y templado, por su parte el elemento climático asociado a precipitación expresa espacialmente tres rangos, siendo precipitaciones desde los 1500 mm anuales hasta los 500 mm anuales siendo esta última la más baja. Por lo tanto, se consideró que el clima tiene una ponderación “0” (color verde) debido a que tiene un clima favorable, como se puede evidenciar en la Tabla 22 y Figura 44.

Tabla 102

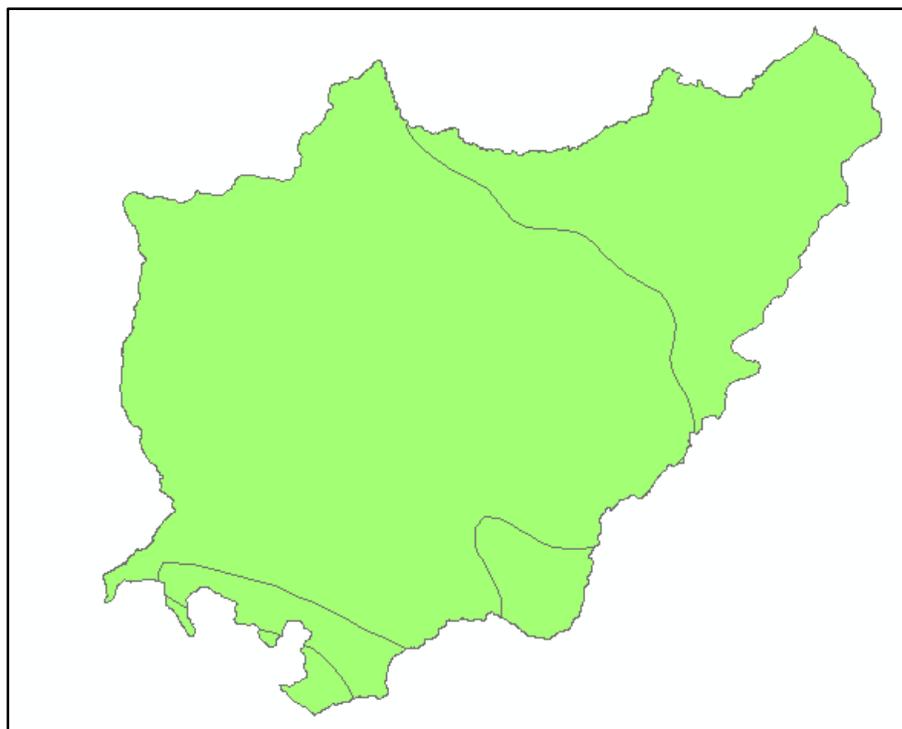
Ponderación binaria según clasificación climática de Koppen

Código clima	Tipo de clima	Descripción de clima	Ponderación
Af	Tropical húmedo	Permanentemente Húmedo	0
Cw	Templado moderado lluvioso	Invierno seco	0
Cw	Templado moderado lluvioso	Invierno seco	0
Cw	Templado moderado lluvioso	Invierno seco	0
Cw	Templado moderado lluvioso	Invierno seco	0

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Figura 44

Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0) y (1), según variable clima



Nota. El color verde representa la ponderación “0”.

Ponderación binaria (0,1), geológico

La variable geología se tomó peso en la litología y el tipo de roca debido que en la “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre del relleno sanitario manual”, nos recomienda que los suelos sedimentarios con características areno - arcillosas son los más recomendables ya que son suelos poco permeables, por lo cual la infiltración de líquido contaminante se reduce sustancialmente. Por otra parte, este tipo de suelo es suficientemente manejable como para realizar excavaciones, cortes y usarlo como material de cubierta; sin embargo, una vez definidos los sitios potenciales, se considera que se realicen estudios detallados de en estos temas, como un estudio geotécnico que nos permite conocer la estabilidad del terreno.

Por lo tanto, se realizó con ponderación de “0” (color verde) a geología de depósitos aluviales y de formación de Oyotún los cuales son de roca sedimentaria, como se puede evidenciar en la Tabla 23 y Figura 45.

Tabla 113

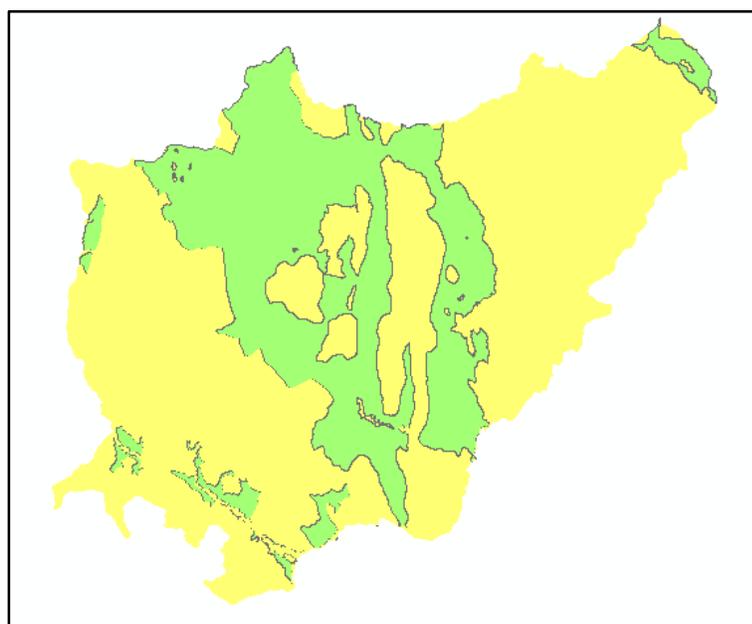
Ponderación binaria según tipo de geología

Tipo de roca	Código geología	Descripción geológica	Litología	Ponderación
	Área Urbana	Casco urbano		1
Metamórfica	PE-cm	Complejo Marañón	Esquistos	1
Plutónica	Ki-tgd	Diorita	Diorita	1
Sedimentaria	Ki-ch/pa	Depósitos Aluviales	Arenas, gravas, arcillas	0
Volcánica	Nm-an/da	Andesitas, Dacitas	Andesita	1
Volcánica - Sedimentaria	Ji-o	Formación Oyotún	Andesita	0

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Figura 45

Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0) y (1), según variable geología



Nota. El color verde representa la ponderación “0” son zonas óptimas y el color amarillo la ponderación “1” áreas no aptas.

Ponderación binaria (0,1), geomorfología

La variable de geomorfología se tipificó con el valor cuantitativo de “0” (color verde) aquellos espacios que presentes aspectos geodinámicas en pendientes moderadas, leves o planas, como se puede evidenciar en la Tabla 24 y Figura 46.

Tabla 124

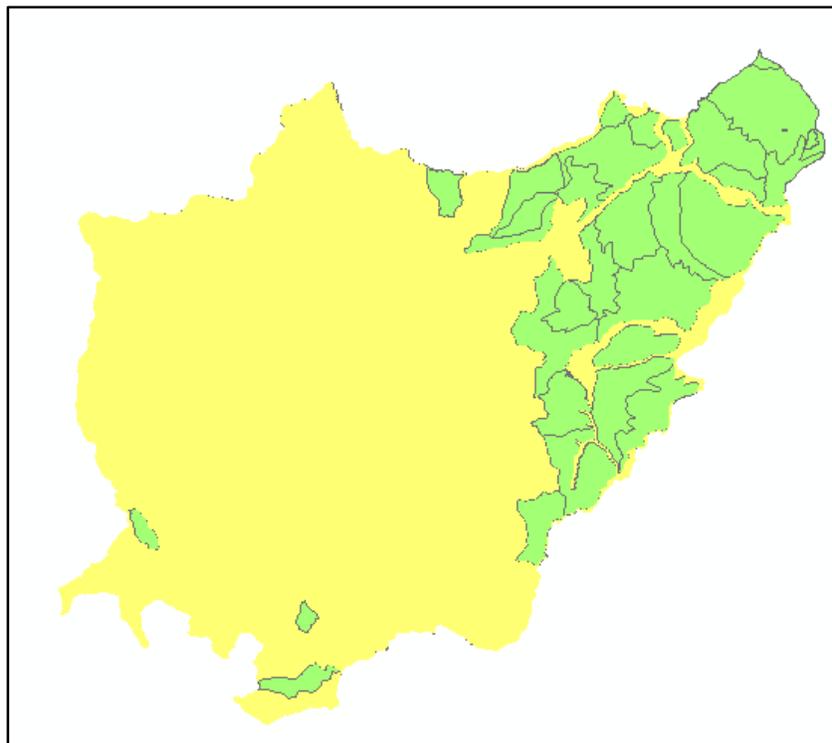
Ponderación binaria según unidades geomorfológicas

Unidad geomorfológica	Descripción unidad geomorfológica	Ponderación
AU	Casco urbano	1
CAE	Colina alta empinada en rocas del cretáceo inferior	0
CAFE	Colina alta fuertemente empinada en rocas del jurásico inferior	0
CAME	Colina alta moderadamente empinada en rocas del cretáceo inferior y superior	0
CBFI	Colina baja fuertemente inclinada en rocas del cretáceo inferior	0
CBMI	Colina baja moderadamente inclinada en rocas del cuaternario	0
Ct-ini	Complejo de terrazas inundable y no inundable	1
Lag	Cuerpo de agua	1
LME	Ladera de montaña empinada en rocas del cretáceo inferior y del paleógeno	1
LMFE	Ladera de montaña fuertemente empinada en rocas del cretáceo inferior y del paleógeno	1
ME	Montaña empinada en rocas del jurásico inferior	1
MEs	Montaña escarpada en rocas del precámbrico	1
MFD	Montaña fuertemente disectada en rocas del jurásico inferior	1
MFE	Montaña fuertemente empinada en rocas del cretáceo inferior y del neógeno	1
P-ca	Piedemonte coluvial	0
T-ni	Terraza no inundable	0
TA-da	Terraza alta en depósitos aluviales	1
VME-ri	Vertiente montañosa empinada en rocas intrusivas	1
VMFE-ri	Vertiente montañosa fuertemente empinada en rocas intrusivas	1

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Figura 46

Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0) y (1), según variable geomorfología



Nota. El color verde representa la ponderación “0” son zonas óptimas y el color amarillo la ponderación “1” áreas no aptas.

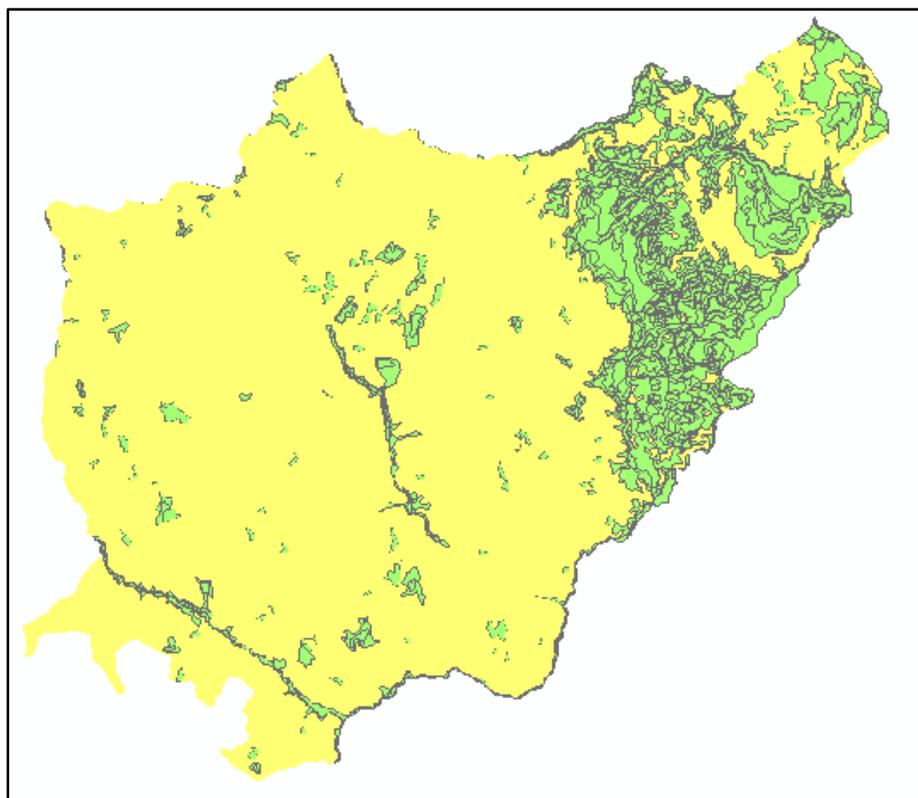
Ponderación binaria (0,1), pendientes

El relleno puede diseñarse y operarse en cualquier tipo de topografía. Sin embargo, es preferible aquella en que se logre un mayor volumen aprovechable por hectárea (MINAM,2011b). Se consideró con valor “0” (color verde) aquellas pendientes que están en el rango de 00% -25% considerando que ayudan aminorar los costos en cuanto a la construcción del relleno sanitario, como se puede evidenciar en la Tabla 25 y Figura 47.

Tabla 135*Ponderación binaria según rango de pendientes*

Rango (%)	Descripción de pendientes	Ponderación
00 - 04	Nula o casi a nivel	0
04-08	Ligeramente inclinada	0
08-15	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada	0
15 - 25	Moderadamente empinada	0
25 - 50	Empinada	1
50 - 75	Muy empinada	1
> 75	Extremadamente empinada	1

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Figura 47*Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0) y (1), según variable pendientes*

Nota. El color verde representa la ponderación “0” son zonas óptimas y el color amarillo la ponderación “1” áreas no aptas.

Ponderación binaria (0,1), sistema de fallas

Los terrenos identificados no deberán estar ubicados sobre o cerca de fallas geológicas ni en zonas con riesgos de estabilidad ni deben tener la posibilidad de ocurrencia de inundación por acumulación de aguas pluviales o avenidas. Es por ello que se realizó un *buffer* con la distancia menor a 2000 metros y ello es considerado con valor “1” (color amarillo) debido que será áreas no aptas, como se puede evidenciar en la Tabla 26 y Figura 48.

Tabla 146

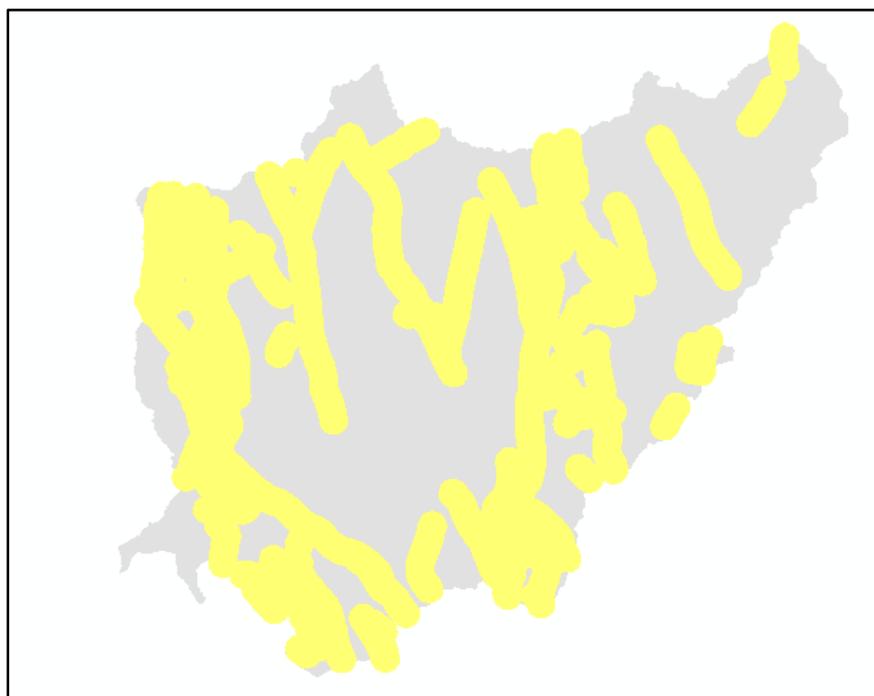
Ponderación binaria según fallas

Indicadores	Criterios (m)	Ponderación
Fallas	< 2000	1

Fuente: Elaboración propia

Figura 48

Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (1), según variable falla



Nota. El color amarillo la ponderación “1” son zonas no aptas y el color plomo tiene la ponderación “0” de áreas óptimas.

Ponderación binaria (0,1), red hídrica

Según D.S-014-2017-MINAM en su Artículo 110 (El Peruano, 2017) nos indica debe de estar ubicadas a distancias mayores de 500 metros de fuentes de aguas superficiales. Así mismo, es muy importante que el sitio seleccionado esté lo más lejos posible de corrientes superficiales y cuerpos receptores de agua para evitar posibles contaminaciones por escurrimiento, filtración, lixiviación, etc. provenientes del relleno sanitario. Por excepción y de acuerdo a lo que establezca en el Instrumento de Gestión Ambiental (IGA), la autoridad ambiental podrá permitir su ubicación a distancias menores, considerando la delimitación de la faja marginal conforme. Se consideró con valor “1” porque son áreas excluyentes para la instalación de infraestructuras de disposición final, como se puede evidenciar en la Tabla 27 y Figura 49.

Tabla 157

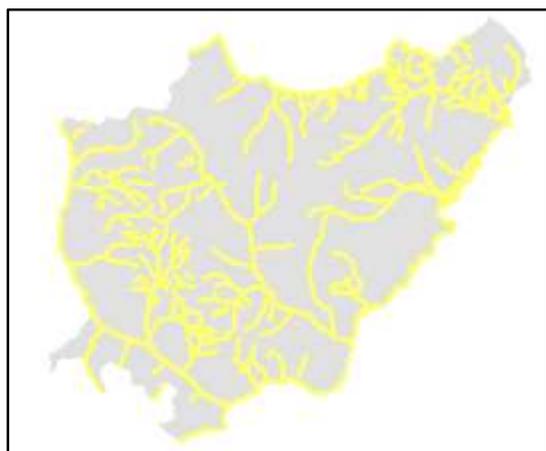
Ponderación binaria según red hídrica

Indicadores	Criterios (m)	Ponderación
Red hídrica	< 500	1

Fuente: Elaboración propia

Figura 49

Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (1), según red hídrica



Nota. El color amarillo la ponderación “1” son zonas no aptas y el color plomo tiene la ponderación “0” de áreas óptimas.

Ponderación binaria (0,1), suelo

En este ítem se confirió mayor peso a la variable suelo, pues, dentro del análisis y el entorno en el cual se está realizando el análisis pesa mayormente las actividades económicas agrícolas. Por tal motivo, consideramos la variable suelo que mide varios de los aspectos transversales. Uno de los aspectos relevantes que se evidenció, es que la mayoría de los suelos son importantes para las actividades agrícolas, siendo el que menor capacidad de uso para dicha actividad es el Cambisol, Paramosol, Andosol- Leptosol como podemos notar en la Figura 50, el color verde que se pondero con el valor binario (0), son suelos más sueltos, más con proporciones similares de arena-arcillas, con permeabilidad de moderada a moderadamente lenta, tal como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28

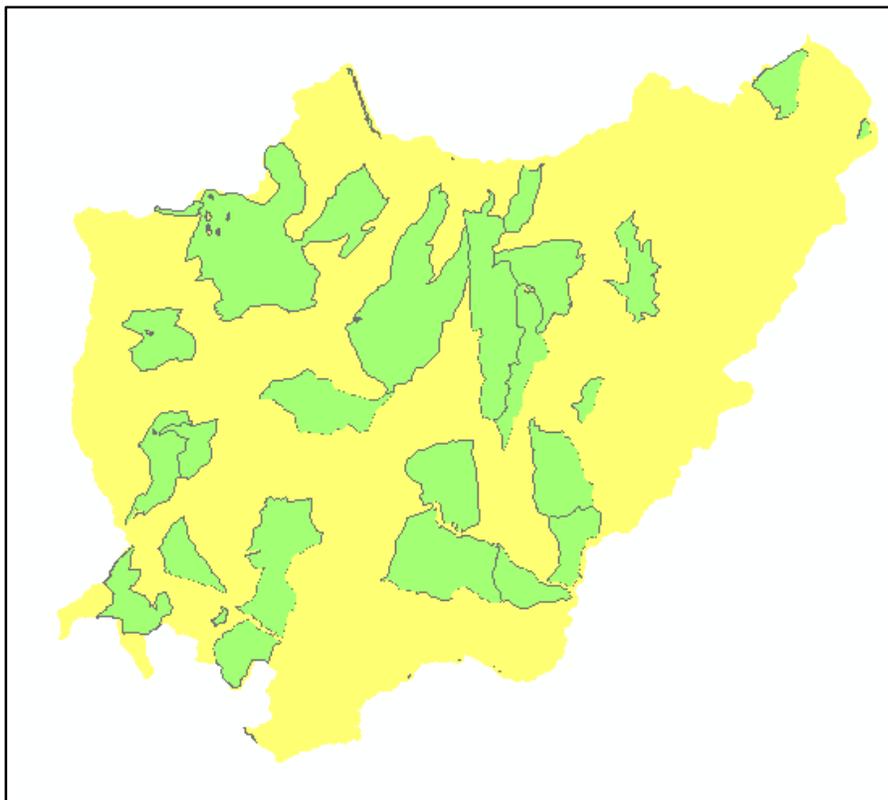
Ponderación binaria según suelo

Descripción de suelo	Código de suelo	Ponderación
Andosol	T	1
Andosol-Leptosol	T-L	0
Andosol-Regosol	T-R	1
Cambisol	B	0
Cambisol-Leptosol	B-L	0
Cambisol-Regosol	B-R	0
Casco urbano	AU	1
Cuerpo de agua	Lag	1
Fluvisol	J	1
Fluvisol-Phaeozem	J-H	1
Leptosol	L	1
Leptosol-Regosol	L-R	1
Leptosol-Xerosol	L-X	1
Paramosol	PS	1
Phaeozem	H	0
Phaeozem-Cambisol	H-B	0
Regosol	R	1
Regosol-Xerosol	R-X	1
Vertisol	V	1

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Figura 50

Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0,1), según suelo



Nota. El color verde representa la ponderación “0” son zonas óptimas y el color amarillo la ponderación “1” áreas no aptas.

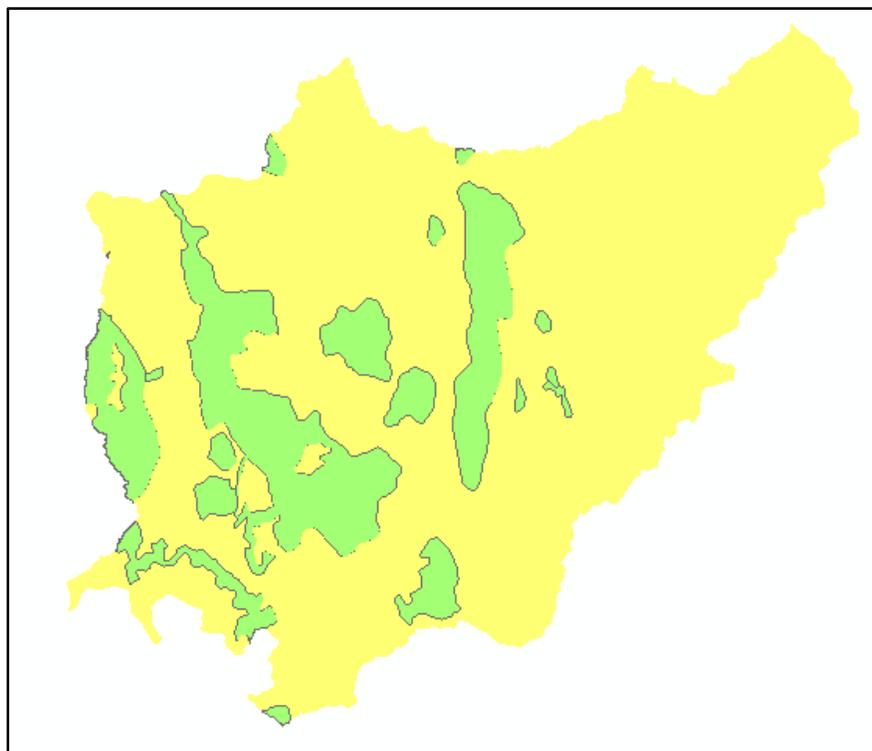
Ponderación binaria (0,1), hidrogeológico

No estar ubicada en zonas de pantanos, humedales o recarga de acuíferos en la zona de emplazamiento del proyecto. Es por ello que se pondero con valor “0” (color verde) aquellas formaciones generalmente sin acuíferos y que presentan permeabilidad baja, como se muestra en la Tabla 29 y Figura 51.

Tabla 29*Ponderación binaria según hidrogeología*

Hidrogeología	Ponderación
Acuíferos generalmente extensos, con productividad elevada (permeabilidad elevada)	1
Acuíferos locales o discontinuos productivos, o acuíferos extensos pero solo moderadamente productivos (permeabilidad media). (No excluye la existencia en profundidad de otros acuíferos cautivos y más productivos)	1
Acuíferos locales, en zonas fracturadas o meteorizadas en formaciones consolidadas, sin excluir acuíferos cautivos más productivos (permeabilidad baja a muy baja)	1
Formaciones generalmente sin acuíferos (permeabilidad muy baja)	0

Fuente: Elaboración propia

Figura 51*Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0,1), según hidrogeología*

Nota. El color verde representa la ponderación "0" son zonas óptimas y el color amarillo la ponderación "1" áreas no aptas.

- **Evaluación multicriterio – Criterio físico**

Se realiza la unión de todas las variables evaluadas según el criterio físico, como se muestra en la Figura 55, asimismo se realiza la sumatoria de todas las ponderaciones binarias (0 y 1) antes descritas, notándose en la Figura 52, para este criterio se le asignado un peso de 45%, como se evidencia en la Figura 53 ya que es determinante e importante conocer las condiciones físicas del terreno para la construcción de un futuro relleno sanitario porque nos permite saber el grado de vulnerabilidad ante eventos naturales que está expuesto.

Figura 52

Sumatoria de las variables, físico

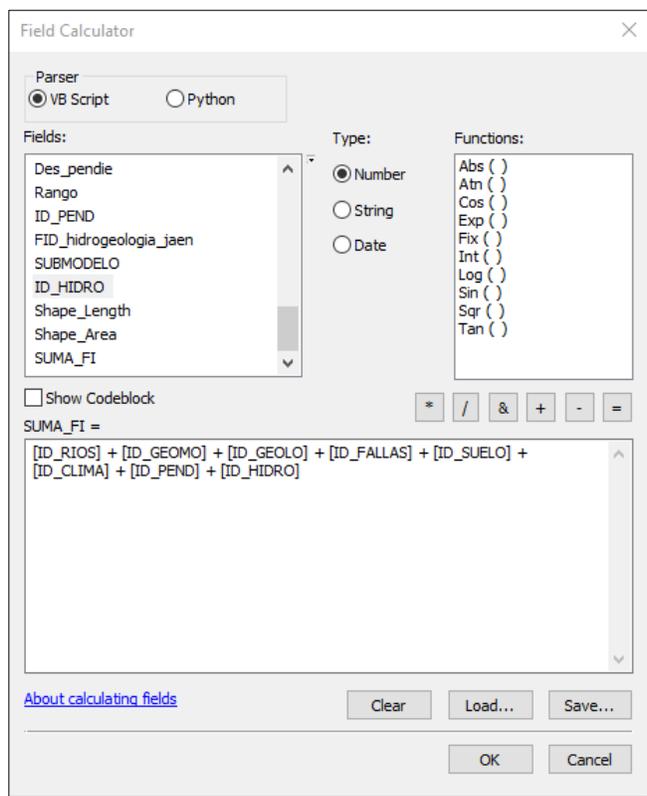
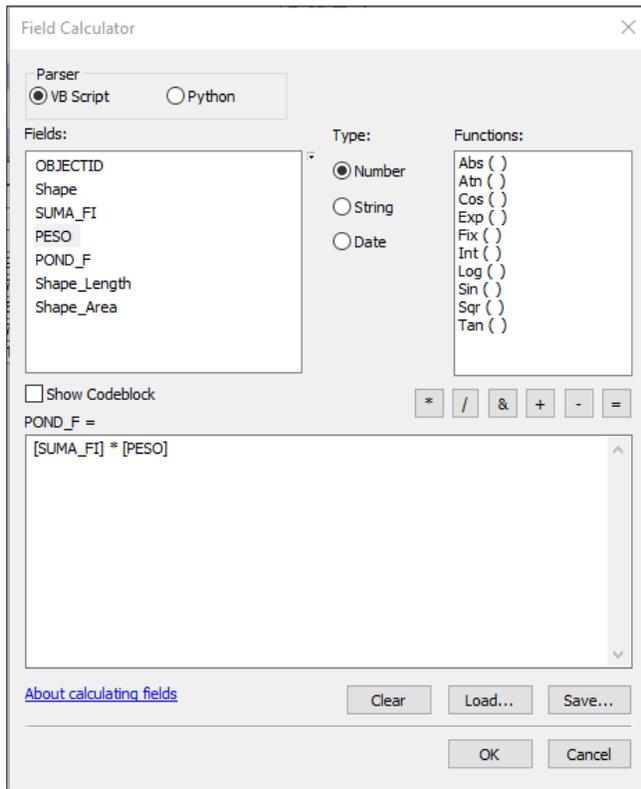


Figura 53

Multiplicación del criterio por el peso, físico



Al realizar la sumatoria de variables obtenemos valores de 0 a 7, observándose en la Figura 54, indicando que el valor “0” son áreas óptimas y los valores cercanos a 7 son aquellos polígonos que coinciden y en los cuales no son aptas para la localización de disposición final de residuos sólidos.

Figura 54

Datos de la sumatoria según criterio físico

FISICO_FINAL			
	SUMA_FI	PESO	POND_F
	0	0.45	0
	1	0.45	0.45
	2	0.45	0.9
	3	0.45	1.35
	4	0.45	1.8
	5	0.45	2.25
	6	0.45	2.7
	7	0.45	3.15

Los valores obtenidos de la sumatoria fluctúa desde 0 hasta 7, como se muestra en la Figura 56, valores “0” representan características óptimas para la instalación de relleno sanitario categorizándolas como “muy alto” que involucra el 0.005% de toda el área de estudio, valores de (1 -2) representan áreas aceptables, categorizados como “alto” que involucra el 1.264% del ámbito de estudio, valores de “3” representan medianamente aceptables, categorizados como “medio”, valores (4-5) representan bajo potencial, es decir sólo cumplen con algunos de los criterios considerados y son categorizados como “bajo”, finalmente valores (6-7) representan muy bajo potencial, es decir que no cumplen con los requisitos mínimos físicos para la instalación de un relleno sanitario, es por ello que son descartados y que involucra el 16.530% del área de estudio.

Figura 55

Diseño del modelo espacial según el criterio físico

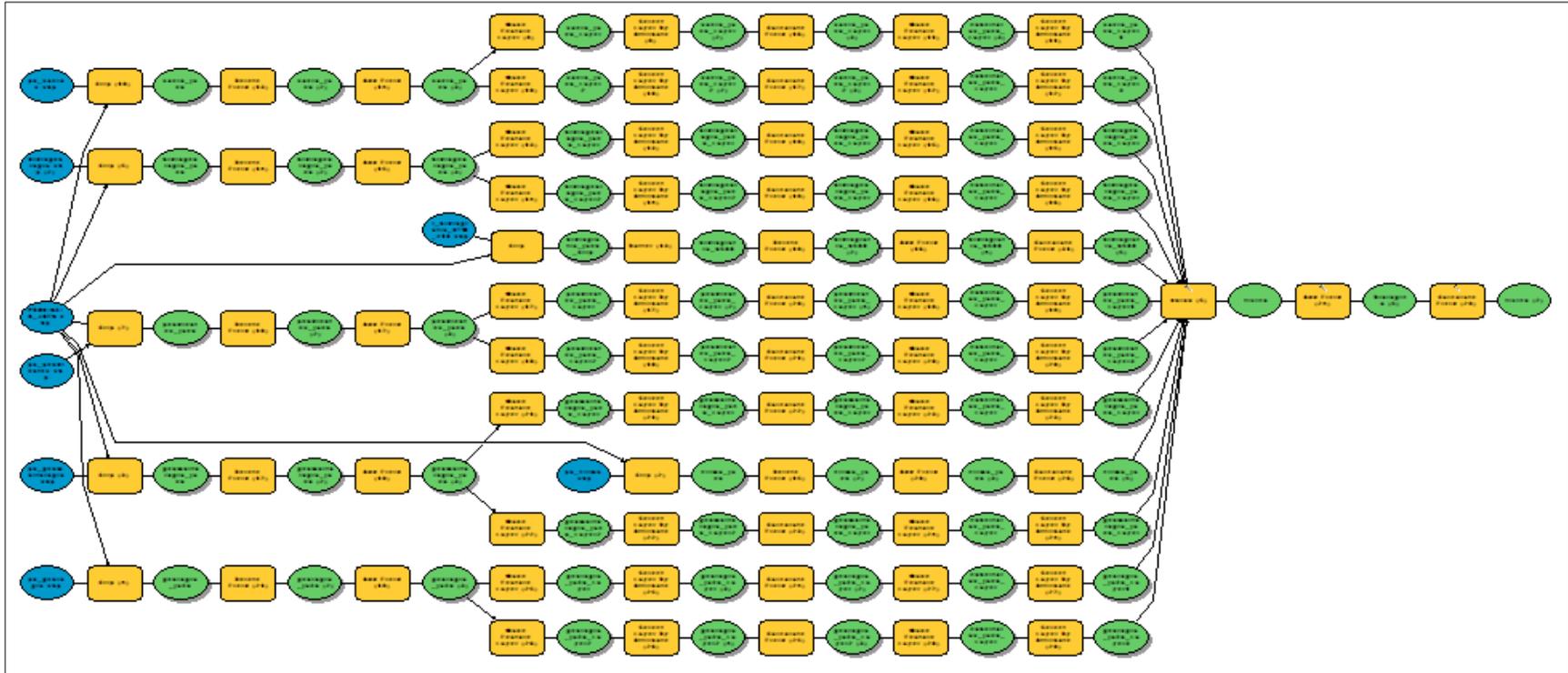
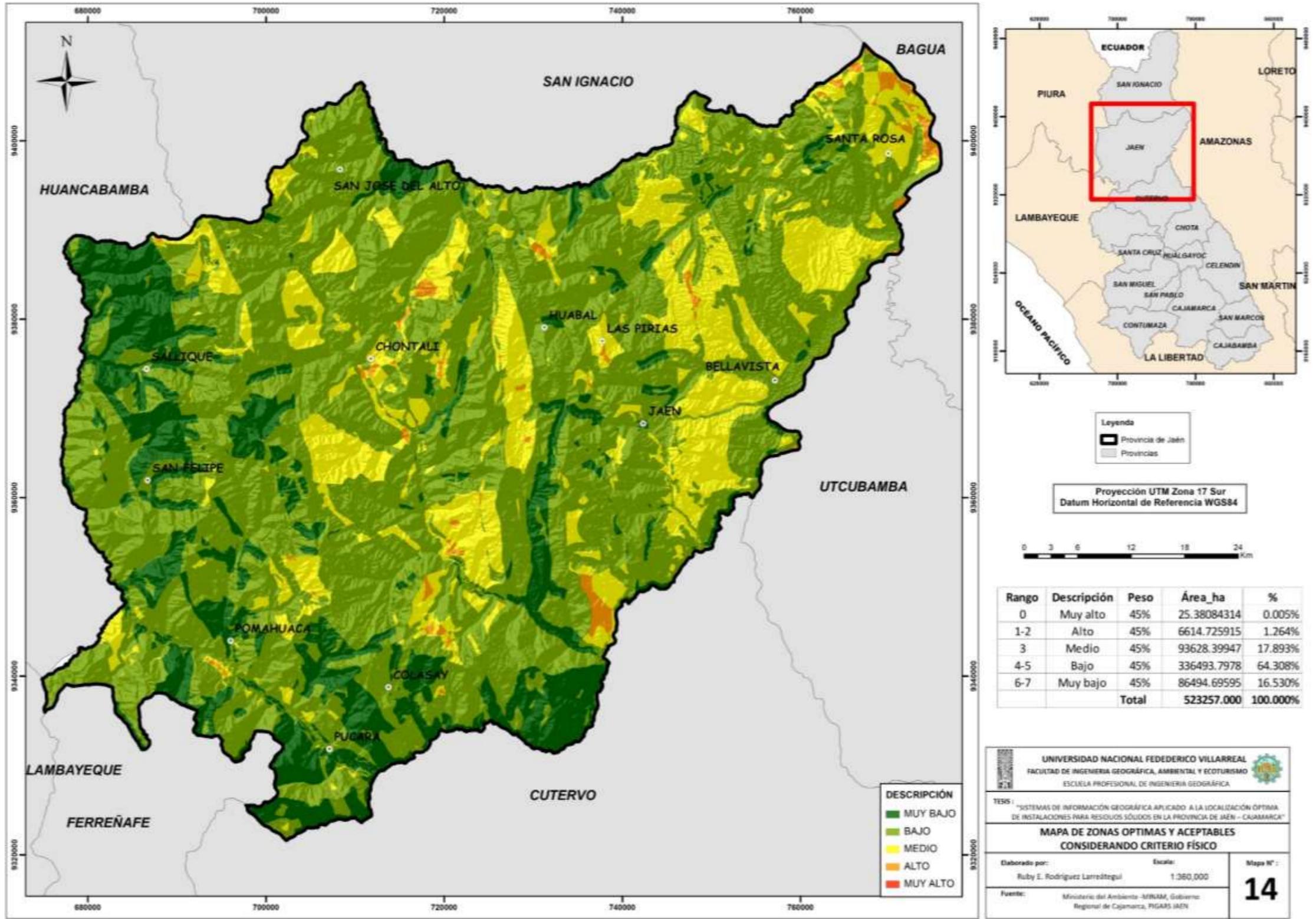


Figura 56

Mapa de zonas óptimas y aceptables considerando criterio físico



b) Criterio biológico

Ponderación binaria (0,1), Zonas de vida

Dado que las zonas de vida integran más elementos y permiten analizar en el territorio otras expresiones espaciales, se escogió dentro del estudio las zonas de vida expresadas espacialmente en Jaén, entonces, en este caso se pondero con “0”, como se muestra en la Tabla 30, aquellos espacios donde predomina la humedad pues en caso de un relleno sanitario facilitan la biodegradación de materiales. En la que se muestra a continuación los espacios color amarillo son ponderados con el valor de 1, notándose en la Figura 57. Asimismo, permite tener una idea de la territorialidad de la variable para la elección del sitio potencial.

Tabla 160

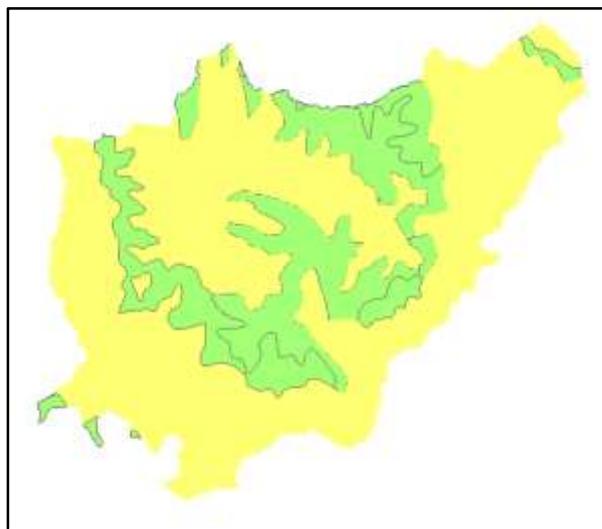
Ponderación binaria según zonas de vida

Descripción de zonas	Código de zonas	Ponderación
bosque húmedo Montano Bajo Tropical	bh-MBT	0
bosque húmedo Premontano Tropical	bh-PT	0
bosque muy húmedo Montano Bajo Tropical	bmh-MBT	1
bosque muy húmedo Montano Tropical	bmh-MT	1
bosque muy húmedo Premontano Tropical	bmh-PT	1
bosque muy húmedo Premontano Tropical(transicional a bosque húmedo Montano Tropical)	bmhPT/bhMT	1
bosque muy seco Tropical	bms-T	1
bosque pluvial montano Tropical	bp-MT	1
bosque seco Montano Bajo Tropical	bs-MBT	1
bosque seco Premontano Tropical	bs-PT	1
bosque seco Tropical(transicional a bosque húmedo Subtropical)	bsT/bhST	0
Casco urbano	Casco urbano	1
Cuerpo de agua	Cuerpo de agua	1
monte espinoso Premontano Tropical	me-PT	1
monte espinoso Tropical	me-T	1

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Figura 57

Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0,1), según zonas de vida



Nota. El color verde representa la ponderación “0” son zonas óptimas y el color amarillo la ponderación “1” áreas no aptas.

Ponderación binaria (0,1), coberturas

Se consideró con valor “0” (color verde) aquellas áreas de cultivos transitorios, áreas con agrícolas heterogéneas, áreas con vegetación herbácea y áreas sin o con poca vegetación, considerando el criterio de conservación de áreas naturales, como se muestra en la Tabla 31 y Figura 58.

Tabla 171

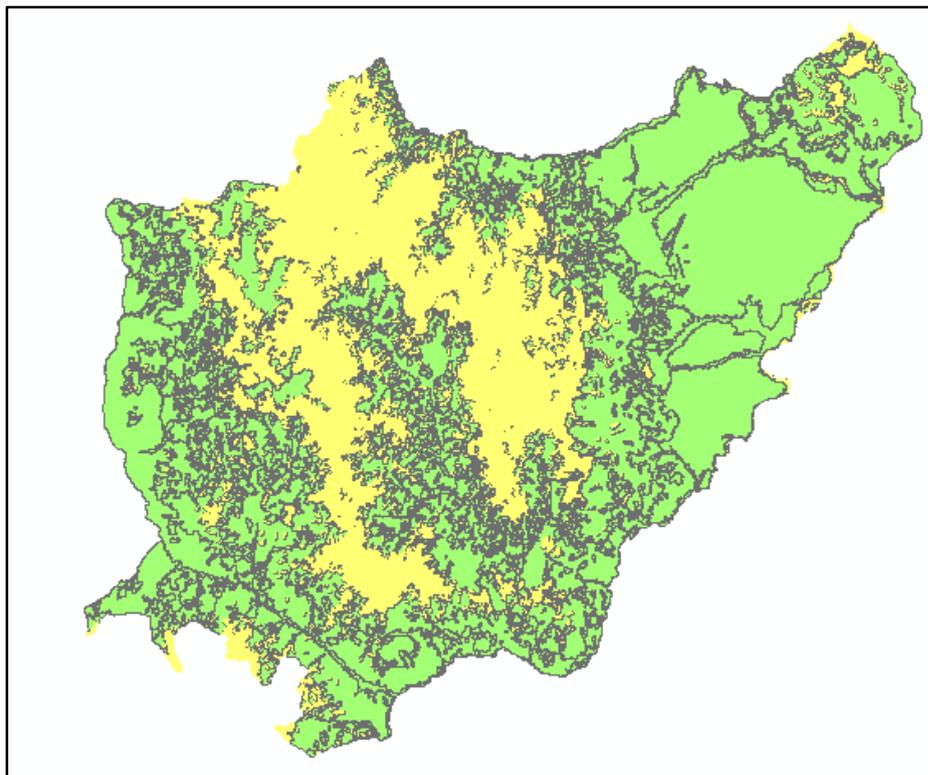
Ponderación binaria según coberturas

Coberturas	Ponderación
1.1. Áreas urbanizadas	1
1.2. Áreas industriales e infraestructura	1
2.1 Cultivos transitorios	0
2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	0
3.1. Bosques	1
3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	0
3.4 Áreas sin o con poca vegetación	0
5.1. Aguas continentales	1

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

Figura 58

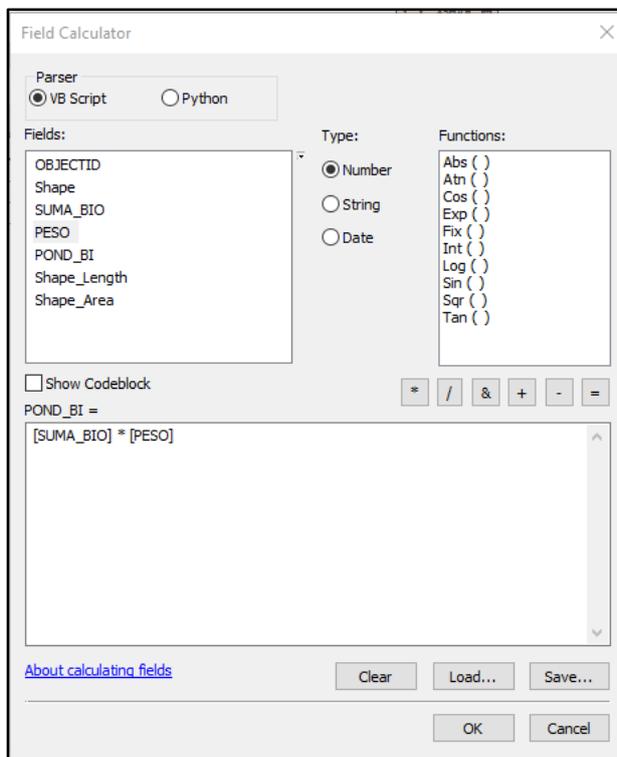
Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0,1), según coberturas



Nota. El color verde representa la ponderación "0" son zonas óptimas y el color amarillo la ponderación "1" áreas no aptas.

- **Evaluación multicriterio – Criterio biológico**

Se realiza la unión de todas las variables evaluadas según el criterio biológico, como se muestra en la Figura 62, asimismo se realiza la sumatoria de todas las ponderaciones binarias (0 y 1) antes descritas, mostrándose en la Figura 59, luego se procede a multiplicarlo el resultado obtenido por un peso de 20%, como se evidencia en la Figura 60, considerando aquellos indicadores que por sus características ameritan una estrategia espacial para la conservación de la biodiversidad.

Figura 59*Sumatoria de las variables, biológico***Figura 60***Multiplicación del criterio por el peso, biológico*

Al realizar la sumatoria de variables obtenemos valores de 0 a 2, observándose en la Figura 61, indicando que el valor “0” son áreas óptimas y el valor “2” son aquellos polígonos que coinciden y en los cuales no son aptas para la localización de disposición final de residuos sólidos.

Figura 61

Datos de la sumatoria según criterio biológico

BIOLOGICO_FINAL			
	SUMA_BIO	PESO	POND_BI
	0	0.2	0
	1	0.2	0.2
	2	0.2	0.4

Los valores obtenidos de la sumatoria fluctúan desde 0 hasta 2, como se muestra en la Figura 63, valores “0” representan características óptimas para la instalación de relleno sanitario categorizándolas como “alto” involucrando el 19% del área de estudio, valores de “1” representan áreas aceptables, categorizados como “medio” (60%), y por último valores “2” (20%) representan bajo potencial, es decir que no cumplen con los requisitos biológicos mínimos para la instalación de un relleno sanitario, es por ello que son descartados.

Figura 62

Diseño del modelo espacial según el criterio biológico

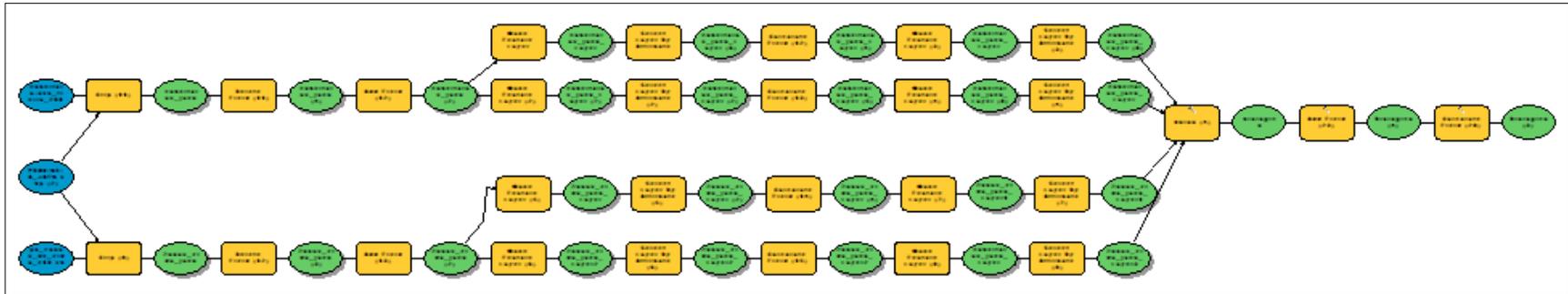
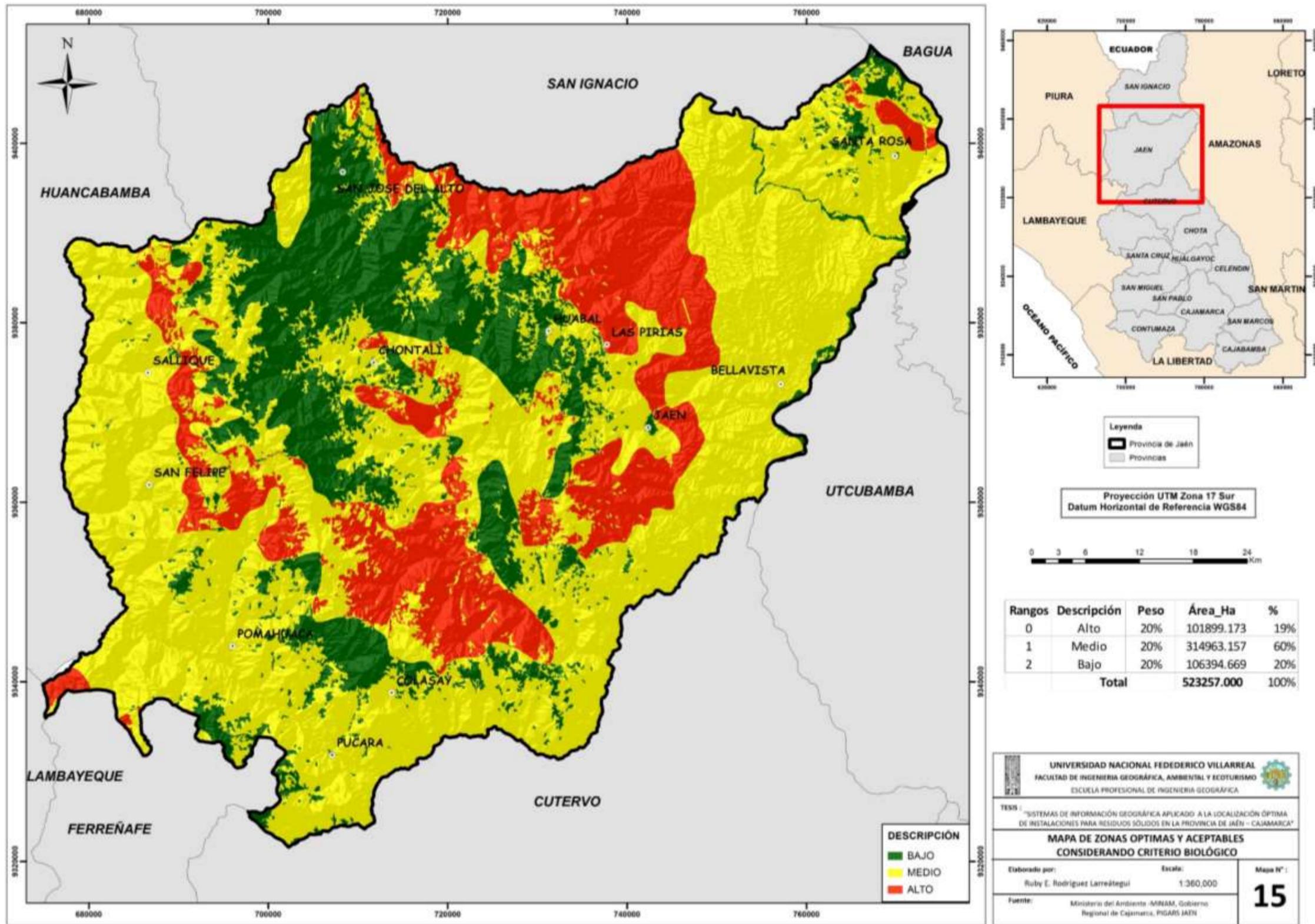


Figura 63

Mapa de zonas óptimas y aceptables considerando criterio biológico



c) Criterio socio-estructural

Ponderación binaria (0,1), socio- estructural

Esto se realizó considerando los aspectos que dispone como necesarios y de mayor importancia a considerar la “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre del relleno sanitario manual”, y el D.S N° 014-2017- MINAM con consideraciones técnico, legales y sociales para cumplir con los criterios mínimos”, estos están presentes de manera espacial en el mapa 11, sin embargo, a continuación, se exponen las orientaciones básicas consideradas, como se puede evidenciar en la Tabla 32. Para este criterio todas las variables han sido ponderadas de valor “1” (color amarillo) debido a que son zonas no aptas y de valor “0” (color verde) zonas óptimas, como se muestra en la Figura 64.

Tabla 182

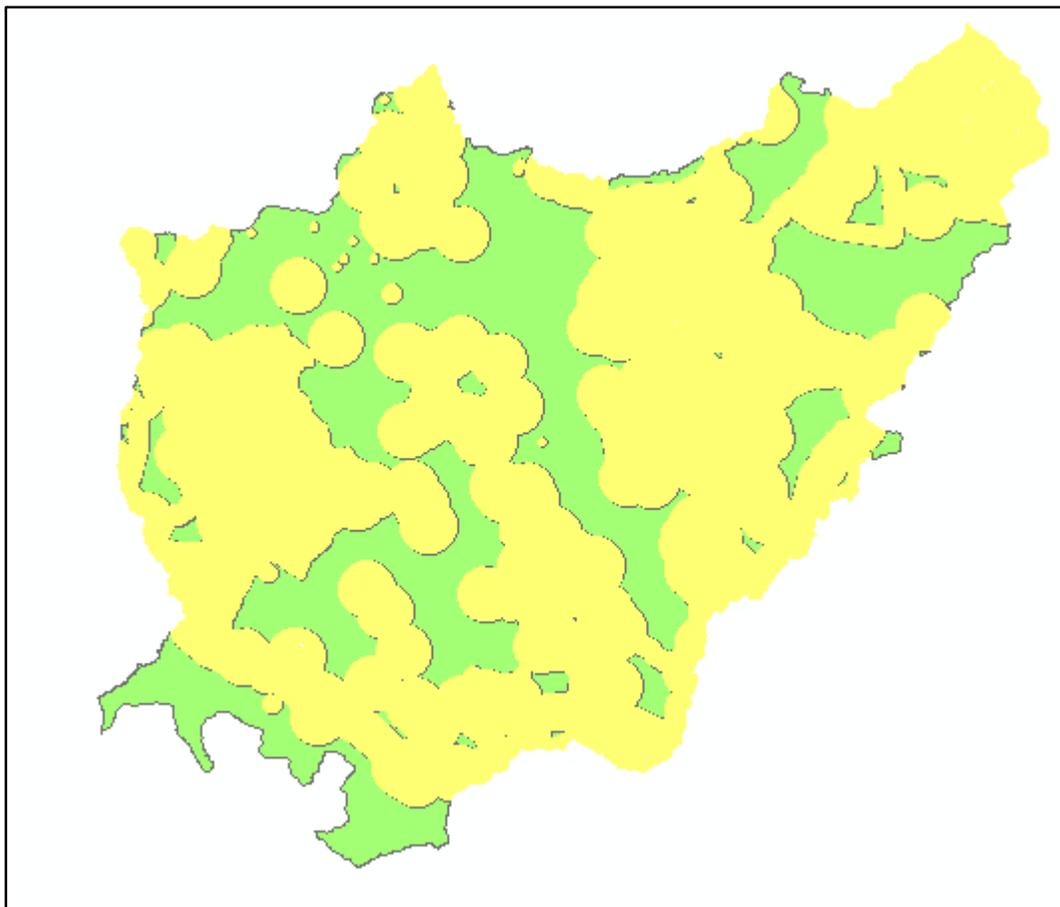
Criterios de exclusión

	Indicadores	Criterios (m)	Ponderación
1.	Vías de acceso	< 1000	1
2.	Zona urbana	< 500	1
3.	Centros poblados	< 500	1
4.	Comunidades Campesinas	< 500	1
5.	Oleoducto	< 2000	1
6.	Terminal terrestre	< 1000	1
7.	Aeródromo	< 3000	1
8.	Sitios arqueológico	< 1000	1
9.	Eventos naturales	< 3000	1
10.	Minas	< 3000	1
11.	Conflicto socio ambiental	< 3000	1

Fuente: Elaboración propia, adaptado del D.S -014-2017- MINAM

Figura 64

Distrito de Jaén con las ponderaciones binaria (0,1), según criterio socio-estructural



Nota. El color verde representa la ponderación “0” son zonas óptimas y el color amarillo la ponderación “1” áreas no aptas.

• Evaluación multicriterio – Criterio socio-estructural

Se realiza la unión de todas las variables evaluadas según el criterio socio-estructural, como se muestra en la Figura 68, asimismo se realiza la sumatoria de todas las ponderaciones binarias (1) antes descritas, evidenciándose en la Figura 65, para este criterio se le asignado un peso de 35%, evidenciándose en la Figura 66, considerando que los indicadores sociales son relevantes teniendo en cuenta que estamos considerando la menor vulnerabilidad del área a desastres naturales, preservación del patrimonio arqueológico, cultural, distancia aeródromo,

entre otros asimismo se debe considerar que debe existir un mínimo impacto social y ambiental por la construcción operación y cierre.

Figura 65

Sumatoria de las variables, social



Figura 66

Multiplicación del criterio por peso, social



Cuando se analizó el criterio socio-estructural generalmente se consideró a cada variable valores iguales “1” esto debido a que no se cumplen con los requerimientos mínimos, sin embargo, al unir cada variable las sumas ponderadas de cada uno de estas van a resultar valores de 1 a 6 como se muestra en la Figura 67, donde los valores cercanos a “6” corresponde a áreas definitivamente descartadas porque corresponde a polígonos donde las 6 variables coinciden.

Figura 67

Datos de la sumatoria según criterio socio-estructural

SOCIO_FINAL1			
	SUMA_ESTR	PESO	POND_SO
▶	0	0.35	0
	1	0.35	0.35
	2	0.35	0.7
	3	0.35	1.05
	4	0.35	1.4
	5	0.35	1.75
	6	0.35	2.1

Los valores obtenidos de la sumatoria fluctúa desde 0 hasta 6, como se muestra en la Figura 69, valores “0” representan características óptimas para la instalación de relleno sanitario categorizándolas como “muy alto” y que involucra el 31.4% de toda el área de estudio, valores de “1” representan áreas aceptables, categorizados como “alto” (45.6%), valores del rango (2-3) representan medianamente aceptables, categorizados como “medio” (21%), valores “4” representan bajo potencial son categorizados como “bajo” que involucra 1.7%, finalmente valores del rango (5-6) representan muy bajo potencial, es decir que no cumplen con los requisitos socio-estructurales mínimos para la instalación de un relleno sanitario, es por ello que son descartados, los cuales involucran el 0.3% del área.

Figura 68

Diseño del modelo espacial según el criterio socio-estructural

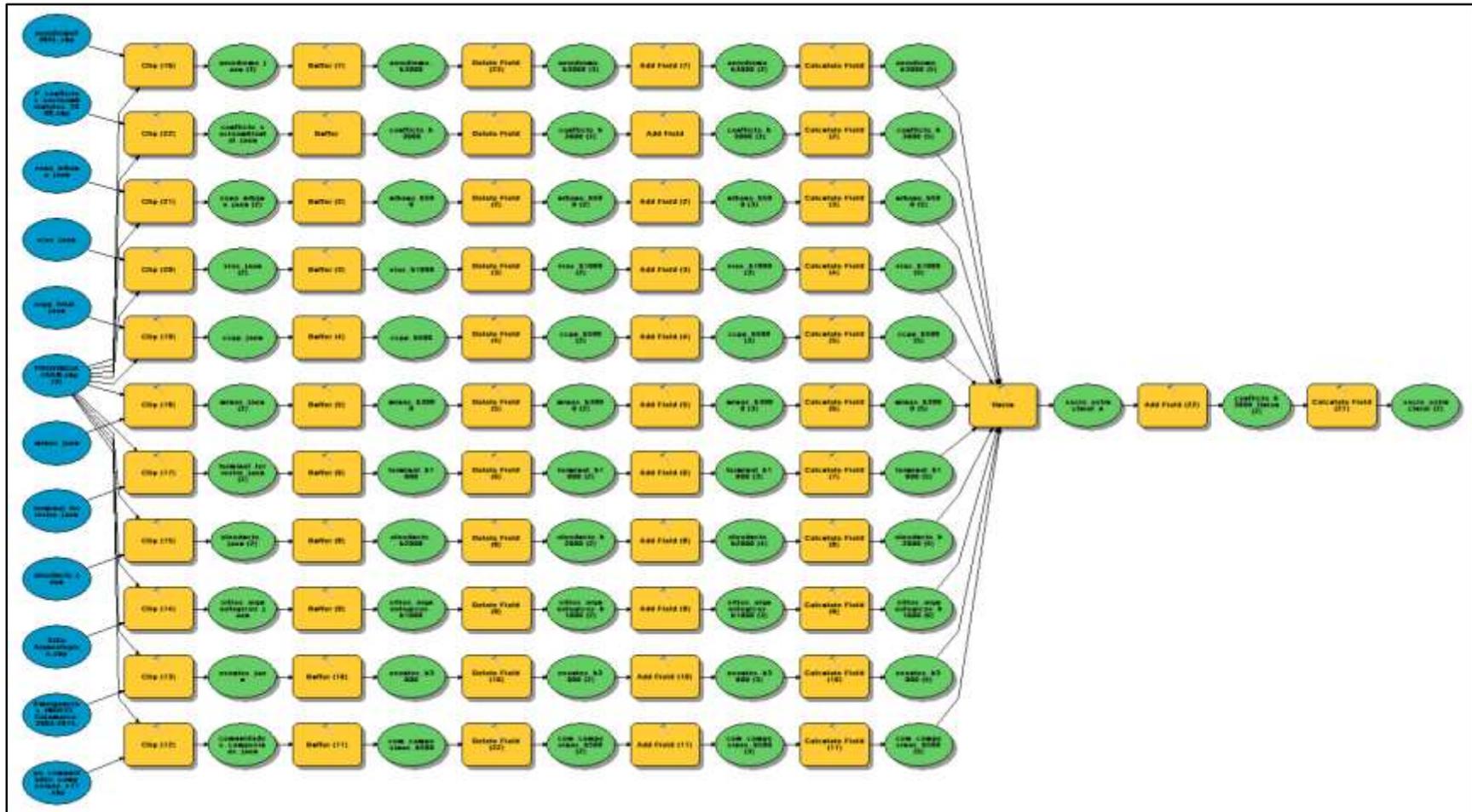
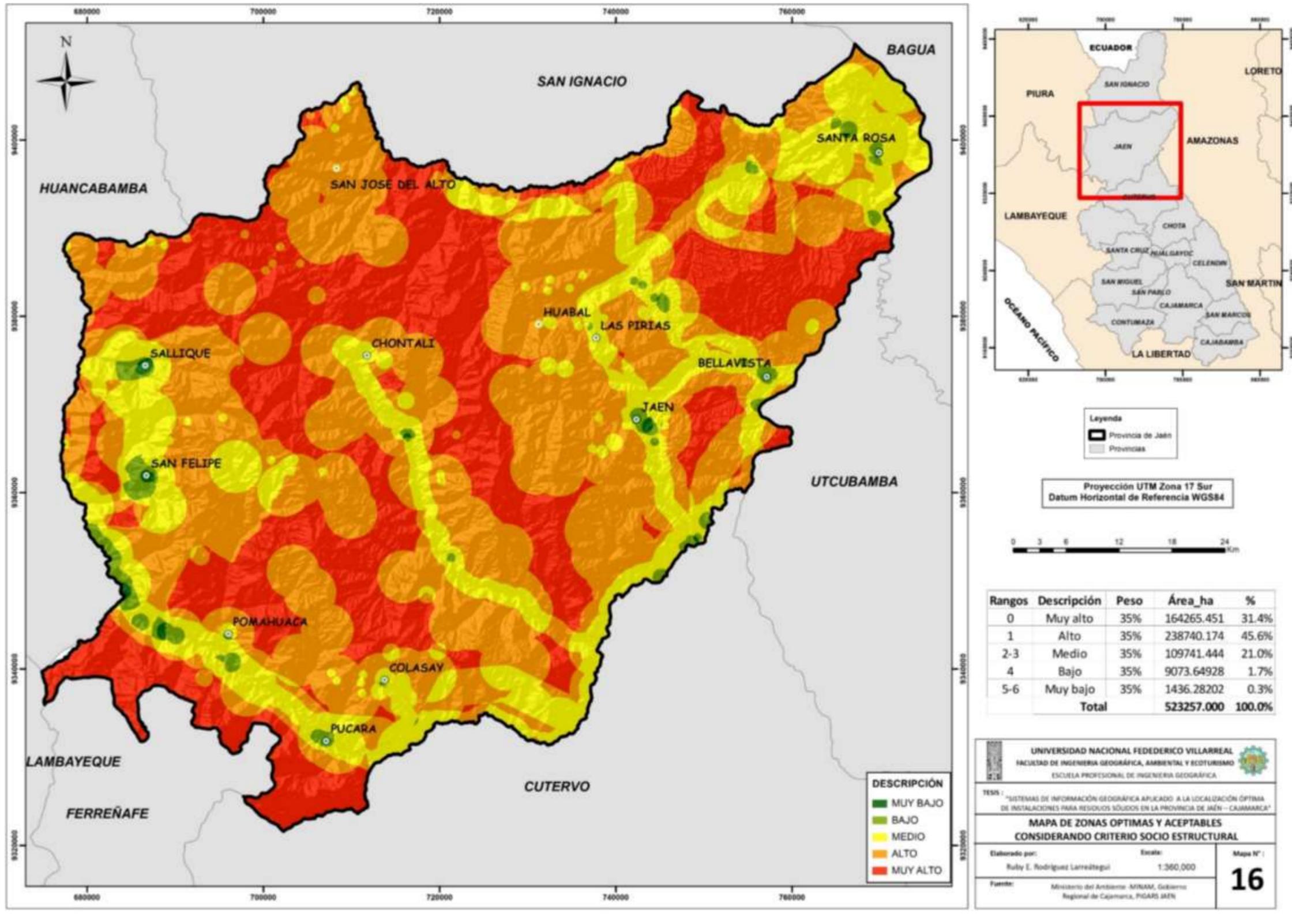


Figura 69

Mapa de zonas óptimas y aceptables considerando criterio socio-estructural



4.4.3. Fase III: Resultado del proceso

4.4.3.1. **Localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la Provincia de Jaén – Cajamarca.** Una vez hecho la integración y evaluación de mapas mediante la ponderación binaria (0 y 1) y el análisis multicriterio de las variables según los criterios físicos, biológico y socio – estructurales se procedió a sumar la ponderación de estos criterios, como se muestra en la Figura 70.

Figura 70

Suma de la ponderación de los criterios para el modelo final.

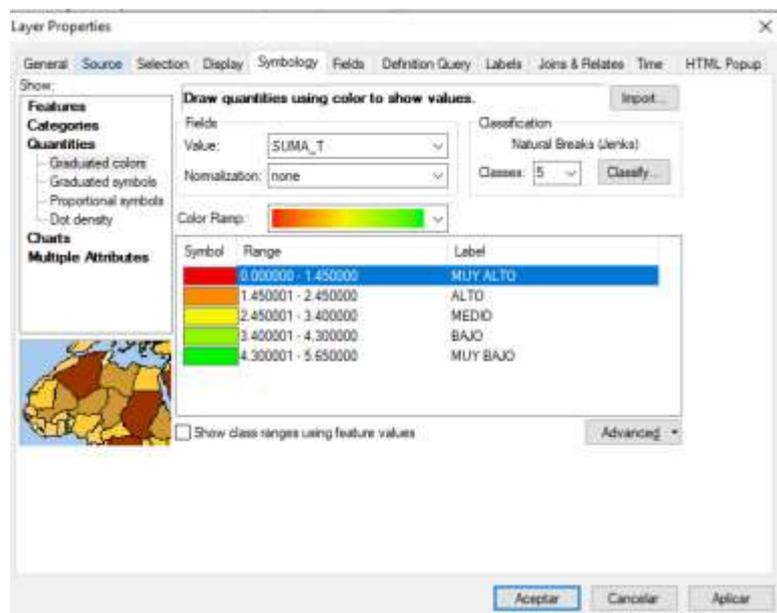


Los valores obtenidos de la sumatoria fluctúa desde 0 hasta 5.65, evidenciándose en la Figura 71, valores en el rango de (0-1.45) representan características óptimas para la instalación de relleno sanitario categorizándolas como “muy alto”, valores de (1.45-2.45) representan áreas aceptables, categorizados como “alto”, valores de (2.45-3.40) representan medianamente aceptables, categorizados como “medio”, valores (3.40-4.30) representan bajo potencial, es decir sólo cumplen con algunos de los criterios considerados y son categorizados como “bajo”, finalmente valores (4.30-5.65) representan muy bajo potencial,

es decir que no cumplen con los requisitos mínimos para la instalación de un relleno sanitario, es por ello que son descartados.

Figura 71

Clasificación del modelo final



Las zonas óptimas representan el 1.5% de toda el área de estudio y las zonas aceptables representan el 46.4% y el resto del área representa el 52.1% el cual son descartados debido a que el uso de estos estudios implica altos costos en desarrollo de las ingenierías para la implementación del proyecto, así como avanzados y detallados estudios, como se puede notar en la Figura 72 y Tabla 33.

Tabla 193

Clasificación del modelo final

Rango	Clasificación	Área (ha)	%
0-1.45	Muy alto	7 896.04	1.5
1.45-2.45	Alto	242 778.11	46.4
2.45-3.40	Medio	224 747.58	43.0
3.40-4.30	Bajo	46 501.99	8.9
4.30-5.65	Muy bajo	1 333.27	0.3
Total		523 257.00	100.0

Fuente: Elaboración propia

Figura 72

Mapa de zonas óptimas y aceptables para instalar infraestructuras de disposición final de residuo sólidos

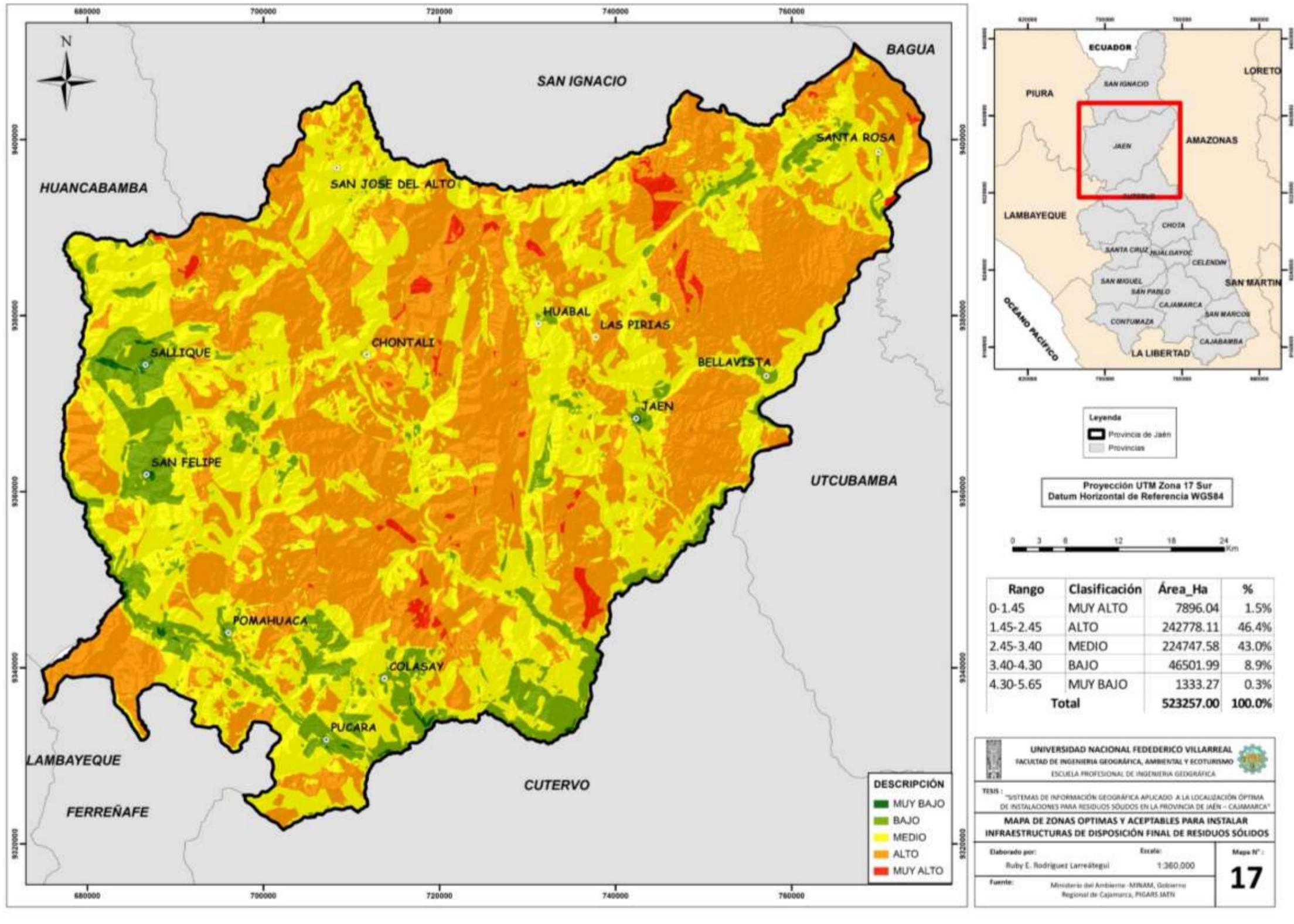


Figura 73

Área de estudio vista



Fuente: Google Earth

Figura 74

Área 1 y 2 de alto potencial para la instalación de relleno sanitario



Fuente: Google Earth

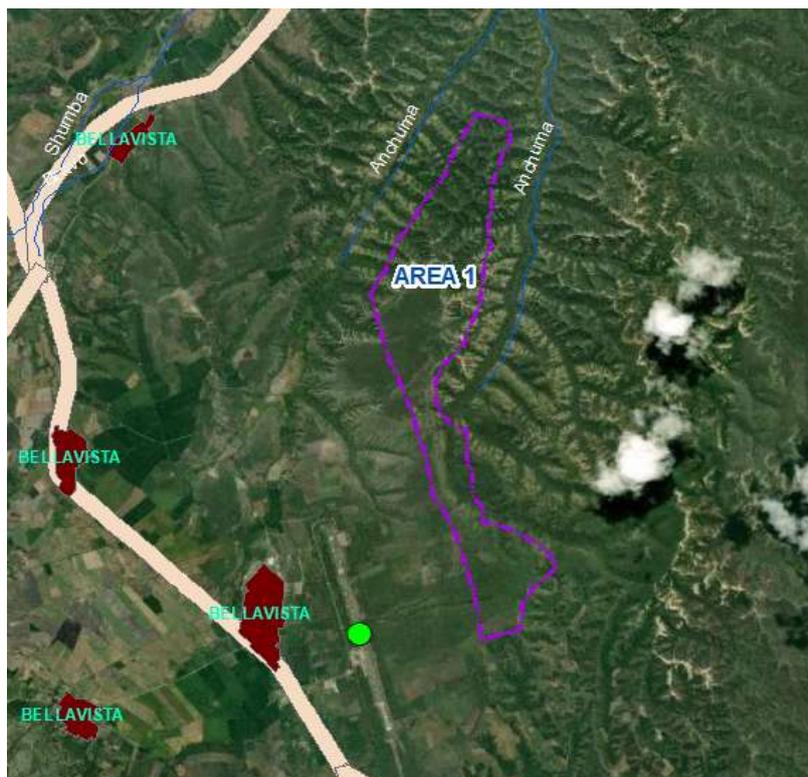
Áreas con alto potencial para la instalación de disposición final de residuos sólidos

- **Área 1**

Se encuentra localizada entre las coordenadas punto norte: 747 953m E; 9 387 450m S como punto más al norte, mientras que la posición más septentrional se localiza en la coordenada punto sur: 748 288 m E; 9 381 532m S. Tiene 449.50 hectáreas. El centro poblado urbano más próximo es el distrito Bellavista, como se muestra en la Figura 75, que se ubica a los 2 363.37 metros; dentro de las propuestas realizadas esta es el área más próxima a una vialidad más importante.

Figura 75

Área 1 para la instalación de relleno sanitario



Fuente: Google Earth

Entre las características ambientales que se pueden resaltar de esta área que la consolida como área potencial se muestra en la Tabla 34.

Tabla 204*Características ambientales del área 1*

Variables	Características
Zonas de vida	bosque seco Tropical(transicional a bosque húmedo Subtropical)
Suelos	Phaeozem-Cambisol (De areniscas cuarzosas de grano medio), profundidad Superficial, Laderas de colina, piedemonte, Permeabilidad moderada
Pendientes	Nula o casi a nivel
Fuente de agua	Es el río Anchuma de esta se encuentra aproximadamente a 700 metros de distancia
Cobertura	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo.
Litología	Rocas sedimentarias
Geomorfología	Colina baja moderadamente inclinada en rocas del cuaternario
Socio- estructural	Presencia de aeródromo a 3.2 Km

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

- **Área 2**

Con una superficie de 837 hectáreas, el área 2 se encuentra localizada entre las coordenadas punto norte: 735 978; 9 351 354. En como punto más al sur, mientras que la posición más septentrional se localiza en la coordenada punto sur: 719 870; 9 373 767. Los centros poblados que se encuentran cercanos del área 2 son Tabacal y el centro poblado pertenecientes al distrito de Jaén, evidenciándose en la Figura 76.

Figura 76

Área 2 para la instalación de relleno sanitario, vista desde Google Earth.



Entre las características ambientales que se pueden resaltar de esta área se mostrará en la Tabla 35.

Tabla 215

Características ambientales del área 2

Variables	Características
Zonas de vida	bosque seco Premontano Tropical. Templado Moderado Lluvioso
Suelos	Andosol-Leptosol (De rocas volcánicas y areniscas, Laderas de colina, montañas y piedemonte, permeabilidad Moderada)
Pendientes	Moderadamente empinada (15°-25°) y Empinada (25°-50°)

Variables	Características
Fuente de agua	Se encuentra aproximadamente a 2 kilómetros de distancia que es el río Huayllabamba
Cobertura	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas
Litología	Rocas volcánicas y sedimentarias
Geomorfología	Colina alta fuertemente empinada en rocas del jurasico inferior

Fuente: Elaboración propia, adoptado de la ZEE – OT Cajamarca

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Concordancias y diferencias que se presentan con otras investigaciones

Para tener una idea más objetiva sobre el modelo a desarrollar y los resultados que se esperaban obtener se hizo una indagación de investigaciones que tienen relación sobre la localización óptima de instalaciones de disposición final para residuos sólidos aplicando sistema de información geográfica teniendo en cuenta ciertos criterios que a continuación se van a detallar realizando un análisis comparativo con dichos trabajos de investigación.

5.1.1. Criterios de selección para posibles zonas de disposición final de residuos sólidos

Tabla 226

Análisis comparativo con otras investigaciones según criterios de selección

Otras investigaciones	SIG aplicado a la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la provincia de Jaén - Cajamarca	
	Concordancias	Diferencias
Tesis: “Identificación de áreas óptimas para instalar un relleno sanitario utilizando SIG, Distrito Las Pirias - Provincia de Jaén”	Criterios de selección de sitio como pendiente, geología, vías de acceso, centros poblados, fallas geológicas hidrología, infraestructura, uso del suelo estos criterios se evaluaron mediante la evaluación multicriterio.	En la tesis propuesta se adicionó en la selección de sitio a la variable geomorfología, pendiente y tipo de suelo, conflictos socio ambientales, eventos naturales.
Tesis : “Identificación de áreas óptimas para relleno sanitario de residuos sólidos de la ciudad de Sandía – Puno”	Utilizó criterios de selección como el uso del suelo, pendiente, hidrología, geología; asimismo utilizó criterios de exclusión y restricción (distancia a centros poblados, distancia a fuentes de agua, fallas geológicas).	En la tesis propuesta se adicionó en la selección de sitio a la variable geomorfología y zonas de vida, eventos naturales, entre otros. En la tesis de Paredes Paredes tomo en consideración la variable hidrogeología teniendo en cuenta las fuentes de agua subterránea y la distancia de la napa freática, material de cobertura, dirección del viento, opinión pública, patrimonio cultural.

Otras investigaciones	SIG aplicado a la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la provincia de Jaén - Cajamarca	
	Concordancias	Diferencias
Tesis: “Localización óptima de un relleno sanitario empleando SIG en el distrito de Chachapoyas, región Amazonas, 2017”	Los criterios físicos considerados son geología, hidrología, pendiente, clima. En criterio biológico se analizó la variable cobertura vegetal, suelo, zonas de vida y por último criterio social como aeropuerto, vías de acceso, zona urbana,	En la tesis propuesta se adicionó en el criterio físico la variable geomorfología y sistemas de fallas, en el criterio social se consideró accesibilidad, oleoducto, aeródromo, eventos naturales. En la tesis de Espejo Pingus tuvo en cuenta los espacios protegidos y criterio de volumen de almacenamiento.

Fuente: Elaboración propia, adoptado de, (Loyaga Rivera, 2019), (Paredes Paredes, 2018), (Espejo Pingus, 2017)

5.1.2. Aplicación del sistema de información geográfica para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos.

Tabla 237

Análisis comparativo con otras investigaciones según aplicación SIG.

Otras investigaciones	SIG aplicado a la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la provincia de Jaén - Cajamarca	
	Concordancias	Diferencias
Tesis: “Identificación de áreas óptimas para instalar un relleno sanitario utilizando SIG, Distrito Las Pirias - provincia de Jaén”	Elaboración de mapas temáticos y la superposición de los mismos (geoprocesos) para posteriormente realizar el análisis e interpretación. Análisis multicriterio	En la tesis propuesta se consideró la ponderación binaria para la evaluación de cada variable de “0” para zonas óptimas y “1” no óptimo. En la tesis de Loyaga Rivera, consideró peso “0” a los lugares no aptos, “1” para lugares óptimos asimismo considero en áreas aceptables que las que cumplen con las condiciones “2”.

Otras investigaciones	SIG aplicado a la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la provincia de Jaén - Cajamarca	
	Concordancias	Diferencias
Tesis : “Identificación de áreas óptimas para relleno sanitario de residuos sólidos de la ciudad de Sandia – Puno”	Elaboración de mapas temáticos y la superposición de capas (geoprocesos) a través de un análisis espacial. Análisis multicriterio	En la tesis propuesta se consideró la ponderación binaria para la evaluación de cada variable de “0” para zonas óptimas y “1” no óptimo. En la tesis de Paredes Paredes tomo 5 rangos de calificación considerando puntaje “1” Muy malo, “2” malo, “3” regular, “4” bueno y “5” Muy bueno asimismo utilizo pesos para cada variable.
Tesis: “Localización óptima de un relleno sanitario empleando SIG en el distrito de Chachapoyas, región Amazonas, 2017”	Elaboración de mapas temáticos y la superposición de los mismos (geoprocesos) para posteriormente realizar el análisis e interpretación. Ponderación binaria para el análisis de cada variable.	En la tesis propuesta se consideró el peso “0” para zonas óptimas y “1” no óptimo. En la tesis de Espejo Pingus evaluó cada criterio considerando peso “0” a los lugares no óptimos y “1” para lugares óptimos.

Fuente: Elaboración propia, adoptado de, (Loyaga Rivera, 2019), (Paredes Paredes, 2018), (Espejo Pingus, 2017)

5.1.3. Resultados obtenidos aplicando los SIG para la localización de posibles zonas de instalación de residuos sólidos.

Tabla 38

Análisis comparativo con otras investigaciones según resultados obtenidos.

Otras investigaciones	SIG aplicado a la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la provincia de Jaén - Cajamarca	
	Concordancias	Diferencias
Tesis: “Identificación de áreas óptimas para instalar un relleno sanitario utilizando SIG, distrito Las Pirias - provincia de Jaén”	Localización de posibles zonas para la instalación de disposición final de residuos sólidos.	En la tesis propuesta se obtuvo que el 2% del total del área son potenciales para la instalación de un relleno sanitario.

Otras investigaciones	SIG aplicado a la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la provincia de Jaén - Cajamarca	
	Concordancias	Diferencias
Tesis : “Identificación de áreas óptimas para relleno sanitario de residuos sólidos de la ciudad de Sandía – Puno”	Localización de posibles zonas para la instalación de disposición final de residuos sólidos	<p>En la tesis de Loyaga Rivera, Se identificaron 2 áreas óptimas y 13 áreas aceptables para la instalación de un relleno sanitario</p> <p>En la tesis de Paredes Paredes el resultado obtenido del producto de la calificación por el peso de cada variable son: Alternativa 2 (Aricato) con 411 puntos; puesto que es superior a la Alternativa 1 (Kallpapata) con 409 puntos y la Alternativa 3 (Queneque) con 397 puntos.</p>
Tesis: “Localización óptima de un relleno sanitario empleando SIG en el distrito de Chachapoyas, región Amazonas, 2017”	Localización de posibles zonas para la instalación de disposición final de residuos sólidos.	<p>En la tesis de Espejo Pingus se obtuvieron cuatro zonas óptimas dentro del área de estudio, cada uno de ellas con sus áreas correspondientes: Área 01 = 60.43 Has., Área 02 = 6.91 Has., Área 03 = 3.1 Has., y Área 04 = 15.1 Has</p>

Fuente: Elaboración propia, adoptado de, (Loyaga Rivera, 2019), (Paredes Paredes, 2018), (Espejo Pingus, 2017)

VI. CONCLUSIONES

1. Se diseñó un modelo espacial de localización óptima de instalaciones para la disposición final de residuos sólidos, como se puede observar en la página 74 de la presente investigación, dicho modelo se basa en el desarrollo del esquema aplicativo donde detalla el procedimiento a seguir, que consta de 3 fases, el cual se plasmó en el model builder y haciendo uso de las herramientas de geoprocesamiento del software ArcGIS, la primera fase consiste en la recopilación de información (21 shapefiles) y elaboración de mapas temáticos (11), segunda fase en la integración y evaluación de mapas mediante la ponderación binaria (0 y 1), asimismo se realizó la evaluación multicriterio de las variables según el criterio físico, biológico y socio-estructural, dando el peso a cada criterio según la importancia que tiene una sobre la otra y por último el resultado del proceso es la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos.
2. Se realizó la sistematización y análisis de las variables físicas, biológicas y socio-estructurales mediante la ponderación binaria (0,1), donde el valor “0” representan áreas óptimas y “1” son áreas que no cumplen con los requerimientos basándose en lo establecido por el MINAM, “Guía de diseño construcción, operación, mantenimiento y cierre del relleno sanitario manual” y el D.S N° 014-2017-MINAM, siendo el resultado la exclusión de las áreas que no cumplen con los requerimientos.
3. Se determinó los criterios para la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos, los cuales fueron; criterio físico, en donde se evaluaron 8 variables (clima, geológico, geomorfológico, pendientes, red hídrica, fallas, suelos e hidrogeología), en el criterio biológico se evaluaron 2 variables (zonas de vida y coberturas) y para el criterio socio-estructural se analizaron 11 variables (vías de acceso, zona urbana,

centros poblados, comunidades campesinas, terminal terrestre, aeródromo, sitios arqueológicos, eventos naturales, minas y conflictos socio ambientales). Finalmente se integró esta información mediante el análisis multicriterio y se estableció una ponderación considerando el grado de vulnerabilidad a la que se vería expuesto la construcción de un relleno sanitario, descrito en la página 72 de esta investigación.

4. Se logró conocer la ubicación de las zonas óptimas y aceptables para la instalación de disposición final para residuos sólidos en la provincia de Jaén- Cajamarca. La consideración de óptimas, se otorgó a las características cualitativas de 0 a 1.45 (Muy Alto) las cuales representa el 1.5% del total del área estudiada, las zonas aceptables las que adquirieron característica cualitativa de 1.45-2.45 (Alto) las cuales representa un 46.4% del área de estudio y seguidamente aquellos espacios cuyos valores superan a 2.45, fueron considerados como bajo potencial para la localización de instalaciones de disposición final, los cuales representan el 52.1%. Finalmente, se realizó la elección de dos áreas de muy alto potencial teniendo en cuenta a los distritos que más producen residuos sólidos y cuyas características son óptimas para la localización de instalaciones de disposición final, las cuales corresponden, el Área N°1 (X UTM= 747681.310419m, Y UTM= 9384590.661057m, S = 449.50 ha) y el Área N° 2 (X UTM= 736781.625322 m, Y UTM= 9348086.269211 m, S = 837 ha).

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la aplicación del “Modelo geoespacial de localización óptima de instalaciones para residuos sólidos” a todas aquellas entidades tanto públicas como privadas y a los investigadores interesados en la implementación de una instalación de un relleno sanitario y como sugerencia optar por el Área 1 y 2, ya que ayudaría aminorar los costos de transporte de los residuos sólidos pues se encuentra cerca al eje vial, la primera se encuentra en el distrito de Bellavista y el segundo en Jaén y presentan vías de acceso favorable, presentan suelos tipo Phaeozem-Cambisol, Andosol-Leptosol los cuales cuentan con proporciones areno-arcillosas, recomendables porque son poco permeables asimismo es manejable para realizar excavaciones, cortes y usarlo como material de cubierta, su litología son de rocas volcánicas y sedimentaria, pendiente casi nula y moderadamente empinada (15°-25°), en cobertura presenta áreas agrícolas heterogéneas, bosques y áreas mayormente naturales, zonas bosque seco Tropical (transicional a bosque húmedo Subtropical), clima favorable porque permite la biodegradación de los residuos.
2. Una vez definidos los sitios potenciales, se considera que se realicen estudios más detallados o líneas base en estos temas, como un análisis hidrogeológico a nivel de reconocimiento, para así evitar la contaminación de los acuíferos, saber la profundidad, dirección y la velocidad del escurrimiento con el fin de mejorar los estudios cartográficos, lo que permitiría aumentar la calidad de los resultados, asimismo es necesario, hacer públicos los datos espaciales de calidad ambiental, sensibilidad ambiental, meteorológica y social y otros tanto, que enriquezcan este tipo de estudios.
3. Teniendo presente que, uno de los problemas más significativos en el área ambiental es la disposición final de residuos sólidos, se deben implementar sistemas

que permitan no sólo la ubicación del sitio; si no que, ayuden a describir las características del mismo, elaborando una fase de diagnóstico para tomar mejores decisiones en función de afectar lo menos posible el ambiente y los seres humanos. Por lo tanto, se recomienda que en los distritos deban adquirir un terreno para el destino final de residuos sólidos garantizando si el área cumple con las condiciones básicas para la instalación de un relleno sanitario.

4. Se recomienda colectarse información con estudios detallados, que bien este disponible en las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) de los gobiernos locales e instituciones del estado, para que desde la academia surjan propuestas que aporten y apuesten al desarrollo sostenible de las localidades. Es importante, que surja un geoportal que aporte este tipo de contenidos y sea socializados por todos los interesados.

VIII. REFERENCIAS

- Anchía Leitón, D. (2018). *Propuesta para el diseño de micro-rutas de recolección de residuos sólidos valorizables en el casco central comercial de la ciudad de San José* [Tesis de bachiller, Universidad Nacional de Costa Rica].
<https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/14572>
- Arancibia, M. (2008). *El uso de los SIG- en la planificación estratégica de los recursos energéticos*. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-65682008000100012
- Atiencia Robles, A. A. (2018). *Propuesta de sitios potenciales para la implementación de un relleno sanitario en el Cantón Esmeraldas* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/1739>.
- Banco Mundial . (2018). *Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos*. <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>
- Carrasco, D. S. (2017). *Metodología de la investigación científica*.
- Decreto legislativo N° 1278 que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. (febrero de 2017). Congreso de la República. Diario oficial el Peruano.
<http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Decreto-Legislativo-N%C2%B0-1278.pdf>
- Decreto Legislativo N° 1013 (febrero de 2017). Congreso de la República. Diario oficial el Peruano. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-legislativo-n-1013/>

Decreto Supremo 014-2017- MINAN. p. 32. (diciembre de 2017). Congreso de la Republica.

Diario oficial el Peruano. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-014-2017-minam/>

Decreto Legislativo N° 1501 (11 de mayo de 2020) Congreso de la Republica. Diario oficial

el Peruano. <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/decreto-legislativo-que-modifica-el-decreto-legislativo-n-1-decreto-legislativo-n-1501-1866220-2>

Espejo Pingus, A. W. (2017). *Localización óptima de un relleno sanitario empleando SIG en el distrito de Chachapoyas, Región Amazonas, 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza].

<http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1295>

Francisco López, J. (2019). Tasa de crecimiento. <https://economipedia.com/definiciones/tasa-de-crecimiento.html>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2004). *Mejora de los sistemas de cartografía del territorio colombiano*. [http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-](http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=11559&shelfbrowse_itemnumber=12196)

[detail.pl?biblionumber=11559&shelfbrowse_itemnumber=12196](http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=11559&shelfbrowse_itemnumber=12196)

Instituto Nacional de Estadística e Informática . (2016). *Residuos sólidos* .

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaes/Est/Lib1140/cap05.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Estadísticas Municipales 2016*.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaes/Est/Lib1417/ibro.pdf

Instituto Nacional de estadística e Informática. (diciembre de 2018). *Perú: Indicadores de Gestión municipal 2018*.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaes/Est/Lib1636/ibro.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2013). *Residuos sólidos* .

https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1197/cap05.pdf

Javier Silva , L. A. (2015). *SIG y la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos: propuesta para la provincia de Huánuco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].

<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/4809>.

Ley General del Ambiente. Ley N° 28611 (2005). Congreso de la Republica. Diario oficial el Peruano. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>

Ley marco del sistema nacional de gestión ambiental. Ley N° 28245 (2004). Congreso de la Republica. Diario oficial el Peruano.

http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2818.pdf

Loyaga Rivera, F. (2019). *Identificación de áreas óptimas para instalar un relleno sanitario utilizando SIG, Distrito Las Pirias - Provincia de Jaén* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/1527483>

Ministerio del Ambiente . (2016). *Residuos y áreas verdes* .

<http://www.minam.gob.pe/educacion/wpcontent/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-2.-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-2.pdf>

Ministerio del Ambiente . (2019). *Listado de rellenos sanitarios a nivel nacional*.

<http://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos/listado-de-rellenos-sanitarios-a-nivel-nacional/>

Ministerio del Ambiente - Dirección General de Residuos Sólidos. (abril de 2020).

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/671938/IDF.pdf>

- Ministerio del Ambiente. (abril de 2011). *Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual*.
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-diseno-construccion-operacion-mantenimiento-cierre-relleno>
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Glosario de términos para la gestión ambiental peruana*.
Lima, Perú : Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental.
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Residuos y áreas verdes*.
<http://www.minam.gob.pe/educacion/wpcontent/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-2.-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-2.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Guía para la caracterización de residuos sólido municipales*.https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/320560/Gu%C3%ADa_para_elaborar_la_caracterizaci%C3%B3n_de_Residuos_S%C3%B3lidos.pdf
- Municipalidad de Jaén. (octubre de 2012). *Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos - PIGARS*. <https://siar.regioncajamarca.gob.pe/documentos/plan-integral-gestion-ambiental-residuos-solidos-pigars-jaen>
- Municipalidad de Jaén, D. d. (2018). *Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental*.
Jaén.
- Olaya, V. (2011). *SIG*. https://wiki.osgeo.org/wiki/Libro_SIG
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía. (julio de 2005). *Decreto Supremo N°057 - 2004 -PCM*. Lima.
- Organización Mundial de la Salud . (2018). *Cómo la basura afecta al desarrollo de América Latina*.<https://news.un.org/es/story/2018/10/1443562>

Paredes Paredes, E. (2018). *Identificación de áreas óptimas para relleno sanitario de residuos sólidos de la ciudad de Sandia – Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10350>

Sanguino Fortea, P. (2013). *Sistema de información geográfica Campus Sur UPM* [Tesis de pregrado, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicación U.P.M.de España]. <http://oa.upm.es/22180/>