

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL**



**IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES PARA LA
DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS
MUNICIPALES UTILIZANDO ANÁLISIS ESPACIAL,
DISTRITO CHIRINOS-SAN IGNACIO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
FORESTAL Y AMBIENTAL**

Autor: Bach. Jhoan Keibert Altamirano Saldaña

Asesor: Dr. Santos Clemente Herrera Díaz

JAÉN-PERÚ, NOVIEMBRE, 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 29 de NOV. del año 2019; siendo las 17:00 horas, se reunieron los **Miembros del Jurado Evaluador**:

Presidente Dr. JUAN MANUEL GARAY ROMÁN
Secretaria Mg. ANNICK ESTEFANY HUACCHA CASTILLO
Vocal Mg. MARÍA MARLENI TORRES CRUZ

Para evaluar la Sustentación del **INFORME FINAL DE TESIS**; titulado: "IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES UTILIZANDO ANÁLISIS ESPACIAL, DISTRITO CHIRINOS – SAN IGNACIO", presentado por la Bachiller JHOAN KEIBERT ALTAMIRANO SALDAÑA de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, los **Miembros del Jurado Evaluador** acuerdan:

() Aprobar () Desaprobar () Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

Excelente	18, 19, 20	()
Muy bueno	16, 17	()
Bueno	14, 15	(<u>14</u>)
Regular	13	()
Desaprobado	12 o menos	()

Siendo las 18:00 horas del mismo día, los **Miembros del Jurado Evaluador** concluyen el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Mg. ANNICK ESTEFANY HUACCHA CASTILLO
Secretaria Jurado Evaluador

Dr. JUAN MANUEL GARAY ROMÁN
Presidente Jurado Evaluador

Mg. MARÍA MARLENI TORRES CRUZ
Vocal Jurado Evaluador

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo general.....	12
2.2. Objetivos específicos	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1. Materiales	13
3.1.1. Material espacial cartográfico.....	13
3.1.2. Software	13
3.2. Métodos	13
3.2.1. Ubicación del área de estudio	13
3.2.2. Trabajo de campo.....	14
3.2.3. Trabajo de gabinete.....	15
IV. RESULTADOS.....	19
4.1. Determinación de ponderaciones.....	19
4.1.1. Centros urbanos	21
4.1.2. Distancia a carreteras (red vial)	22
4.1.3. Hidrografía.....	23
4.1.4. Geología.....	24
4.1.5. Uso de suelo forestal.....	25
4.1.6. Fallas geológicas	26
4.1.7. Distancia a centros urbanos del estado	27
4.1.8. Zonas arqueológicas	28

4.1.9. Topografía (pendiente)	29
4.2. Localización de las probables áreas potenciales.....	31
V. DISCUSIÓN	36
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
6.1. Conclusiones.....	39
6.2. Recomendaciones	40
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
DEDICATORIA.....	46
ANEXOS.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ponderación de criterios evaluados.	19
Tabla 2. Evaluación multicriterio (EMC).....	20
Tabla 3. Posibles áreas potenciales identificadas	31
Tabla 4. Evaluación de alternativas	31
Tabla 5. Descripción general de alternativas.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de ubicación del distrito de Chirinos.....	14
Figura 2. Área de influencia de centros urbanos	21
Figura 3. Área de influencia de red vial	22
Figura 4. Área de influencia de los recursos hídricos superficiales	23
Figura 5. Geología del distrito de Chirinos	24
Figura 6. Área de influencia del uso de suelo forestal.....	25
Figura 7. Área de influencia de fallas geológicas.....	26
Figura 8. Área de influencia de infraestructura existente	27
Figura 9. Área de influencia de zonas arqueológicas	28
Figura 10. Clasificación de pendientes del distrito de Chirinos	29
Figura 11. Mapa general de posibles áreas potenciales.....	30
Figura 12. Mapa de alternativa 1	32
Figura 13. Mapa de alternativa 2	33
Figura 14. Mapa de alternativa 3	34
Figura 15. Mapa de criterios seleccionados.....	36

ÍNDICE DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Inspección y georreferenciación del área correspondiente a la alternativa 1.....	47
Anexo 2. Inspección y georreferenciación del área correspondiente a la alternativa 2.....	48
Anexo 3. Inspección y georreferenciación del área correspondiente a la alternativa 3.....	49
Anexo 4. Vista panorámica de alternativa 1	49
Anexo 5. Vista panorámica de alternativa 2.....	50
Anexo 6. Vista panorámica alternativa 3.....	51
Anexo 7. Vista panorámica desde google earth de las posibles áreas potenciales.....	51
Anexo 8. Calculo de vida útil del relleno sanitario.	52

RESUMEN

Los residuos sólidos municipales representan una fuente significativa de contaminación ambiental, evidenciándose sus efectos en los componentes edáficos, acuáticos, atmosféricos; también, en toda forma de vida incluida la salud pública. Además, los botaderos no ofrecen la protección necesaria para la disposición final de residuos sólidos, resultando indispensable contar cada vez con más rellenos sanitarios, manteniendo así un ecosistema equilibrado la presente investigación tiene como objeto identificar áreas potenciales y seleccionar un área para la disposición final de residuos sólidos municipales, utilizando análisis espacial. Para ello, se tomó en cuenta nueve criterios establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM) en su “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual”; procesándose en el *software ArcGIS* versión 10.4.1., y empleándose las técnicas de Evaluación Multicriterio, que consistió en la asignación de valores de “0” (áreas no óptimas de color rojo) y “1” (áreas óptimas de color verde). Como resultado, se encontraron seis áreas potenciales con un total de 34.71 hectáreas, de las cuales se descartaron la mitad, quedando tres alternativas como posibles sitios potenciales para la instalación de un relleno sanitario en el distrito de chirinos. Asimismo, se identificó a la Alternativa 2 como la opción más viable con un área de 18.93 hectáreas para la construcción del relleno sanitario.

Palabras clave: Relleno sanitario, áreas potenciales, herramientas SIG, evaluación multicriterio.

ABSTRACT

Municipal solid waste represents a significant source of environmental pollution, evidencing its effects on edaphic, aquatic, atmospheric components; also, in all life forms including public health. In addition, the dumps do not offer the necessary protection for the final disposal of solid waste, it is essential to have more and more sanitary landfills, thus maintaining a balanced ecosystem this research aims to identify potential areas and select an area for the final disposal of municipal solid waste, using spatial analysis For this, nine criteria established by the Ministry of Environment (MINAM) were taken into account in its “Guide to design, construction, operation, maintenance and closure of manual landfill”; processing in ArcGIS software version 10.4.1., and using the Multicriteria Evaluation techniques, which consisted of the assignment of values of “0” (non-optimal areas of red) and “1” (optimal areas of green). As a result, six potential areas were found with a total of 34.71 hectares, of which half were discarded, leaving three alternatives as potential sites for the installation of a landfill in the district of Chirinos. Likewise, Alternative 2 was identified as the most viable option with an area of 18.93 hectares for the construction of the landfill.

Key words: Landfill, potential areas, GIS tools, multicriteria evaluation.

I. INTRODUCCIÓN

La generación de residuos es cada vez mayor debido al crecimiento poblacional y a la rápida urbanización, sobre todo de aquellos que son de gestión municipal (Cheng & Hu, 2010; Khan & Samadder, 2014; Raviv, Broitman, Ayalon, & Kan, 2018). La población mundial va en aumento y se estima que alcance un nivel de 9.8 mil millones para 2050 desde el nivel actual que es más de 7.6 mil millones (United Nations, 2017; Harris-Lovett, Lienert, & Sedlak, 2019; Singh, 2019). Por ejemplo, los niveles actuales de producción de residuos sólidos urbanos a nivel mundial son de 1.3 billones de toneladas por año y se estima un incremento aproximado a 2.2 billones de toneladas por año para el 2025, lo que representa un aumento de la generación per cápita de 1.2 a 1.42 Kg persona⁻¹ día⁻¹ (World Bank, 2012).

Los países en vías de desarrollo, son los que enfrentan serios problemas en la salud pública, a casusa de una inadecuada gestión municipal de residuos sólidos (Zhou, Liu, Zhu, & Li, 2017; Liu, Tang, Zhan, & Lo, 2018). También, modifican las condiciones ambientales debido a la contaminación del agua, aire y suelo (Alavi, Mokhtarani, & Mokhtarani, 2009; Staley & Barlaz, 2009); además de poner en riesgo la vida del resto de organismos.

Los rellenos sanitarios representan la técnica más favorable y económica de eliminación de residuos sólidos urbanos o municipales (Villafuerte, Flores, Guadalupe, & Zea, 2004), ideal para grandes y pequeñas ciudades; así como también para áreas rurales (Vallero & Blight, 2019). Su buen funcionamiento dependerá del lugar de ubicación y de los criterios (diseño) de construcción (Caballero-Saldívar, De la Garza-Requena, Andrade-Limas, & Briones-Encinia, 2011; Vallero & Blight, 2019). La selección de un óptimo lugar para la disposición final de residuos sólidos es considerado como un problema de gran importancia dentro de los sistemas de gestión municipal, porque debe considerar cuestiones económicas, políticas y ambientales (De Waele, et al., 2004; Şener, Sener, & Karagüzel, 2011).

En tal sentido, la aplicación de los sistemas de información geográfica (SIG) han demostrado ser bastante útiles con respecto a la solución de problemas de gestión de residuos en zonas urbanas (Delgado, Mendoza, Granados, & Geneletti, 2008; Poggio & Vrščaj, 2009; Nas, Cay, Iscan, & Berktaş, 2010). Los SIG pueden reconocer, correlacionar y analizar la relación espacial entre los criterios mapeados, permitiendo así realizar análisis sofisticados, visualizar tendencias, obtener resultados viables para la formulación de proyectos y elaborar estrategias de objetivos de planificación a largo plazo (Malczewski, 2004).

Los SIG a menudo han sido empleados para identificar y ubicar áreas potenciales para la construcción y operación de rellenos sanitarios (Church, 2002). Aplicaciones de ésta naturaleza pueden ser encontrados en los trabajos realizados por Kao, 1996; Muttiah, Engel, & Jones, 1996; Charnpratheep, Zhou, & Garner, 1997; Kao, Lin, & Chen, 1997; Lin & Kao, 1998; Sarah & Susan, 2000 y Leao, Bishop, & Evans, 2001. Actualmente, las técnicas de evaluación multicriterio (EMC) de selección de sitio (multi-criteria decision analysis-MCDA en inglés) se han sumado a las aplicaciones SIG (Sumathi, Natesan, & Sarkar, 2008; Tavares, Zsigraiova, & Semiao, 2011) en la identificación de áreas potenciales para la instalación de rellenos sanitarios en las grandes urbes.). El SIG se emplea para obtener una evaluación inicial con el fin de eliminar áreas no adecuadas, mientras que la EMC se desarrolla para seleccionar los sitios más adecuados (De Feo & De Gisi, 2014)

Este trabajo tiene como objetivo principal la identificación de áreas potenciales para la disposición final de residuos sólidos municipales utilizando análisis espacial, en el distrito de Chirinos –San Ignacio.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Identificar áreas potenciales y seleccionar un área para la disposición final de residuos sólidos municipales, utilizando análisis espacial, distrito de Chirinos - San Ignacio.

2.2. Objetivos específicos

- Definir ponderaciones mediante la aplicación de variables cualitativas y cuantitativas, para la identificación de áreas potenciales.
- Establecer técnicas de evaluación multicriterio como una herramienta orientada a la localización de las áreas potenciales para la disposición final de residuos sólidos municipales, utilizando análisis espacial en un sistema de información geográfica.
- Elaborar un mapa de identificación del área potencial, para la disposición final de los residuos sólidos municipales en el distrito de Chirinos - San Ignacio.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Material espacial cartográfico

Base de datos de Zonificación Ecológica Económica (ZEE) del Gobierno Regional de Cajamarca. La Ordenanza Regional N° 018- 2010-GRCAJ-CR, que aprueba la Zonificación Ecológica Económica a nivel macro del departamento de Cajamarca a escala 1:250,000.

Los datos espaciales que se utilizaron fueron extraídos de la ZEE para su procesamiento conforme a los nueve criterios utilizados de la “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual”, por el MINAM. La guía es un aspecto técnico de importancia que determina el estudio de selección de sitio.

3.1.2. Software

- ArcGIS 10.4.1
- Microsoft Office 2013

3.2. Métodos

3.2.1. Ubicación del área de estudio

El distrito de Chirinos es uno de los siete distritos que conforman la provincia de San Ignacio, en el departamento de Cajamarca. Geográficamente, se encuentra ubicado en las coordenadas UTM 734753 E y 9412890 N.

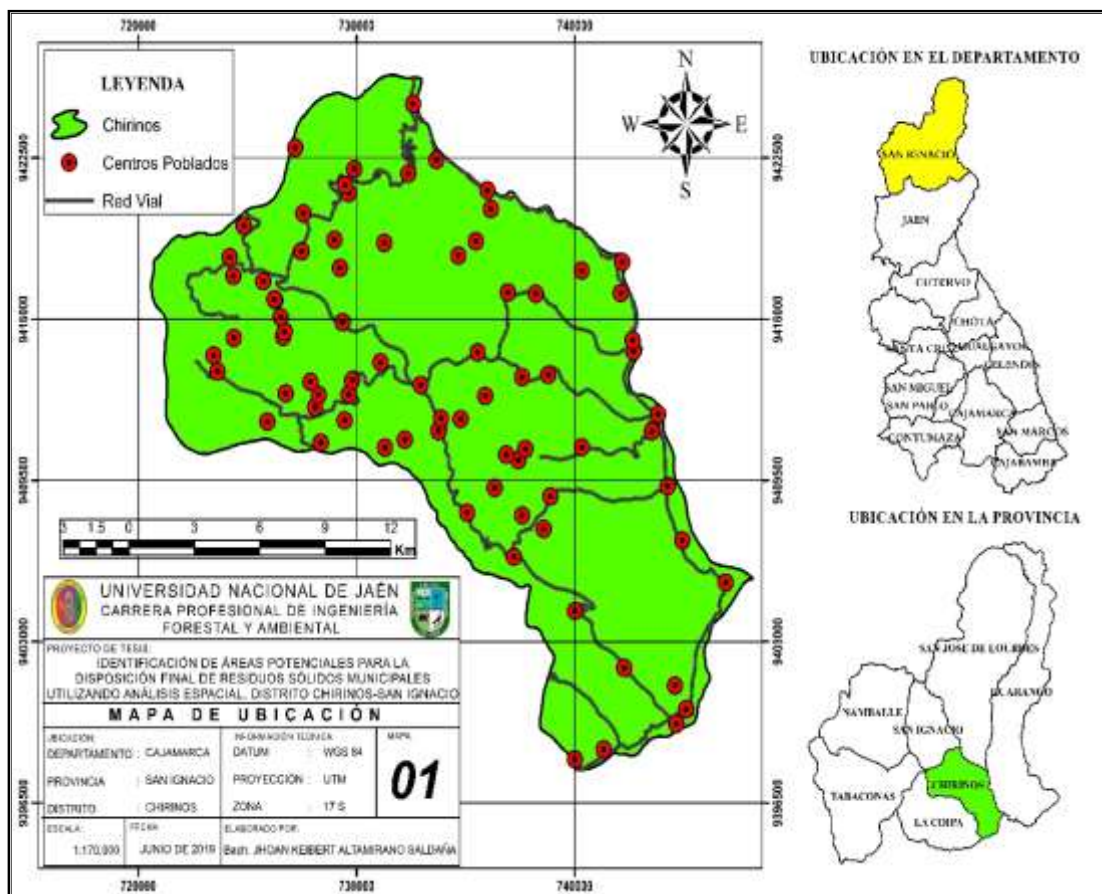


Figura 1. Mapa de ubicación del distrito de Chirinos

3.2.2. Trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en la recopilación de información primaria del Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos del Distrito de Chirinos del 2019

Se nos proporcionó, según el estudio de caracterización del 2019 de los residuos sólidos municipales del distrito de Chirinos; la generación per cápita (GPC) en el distrito de Chirinos es 0.624 / kg / hab / día; en la cual será depositado en su total al relleno sanitario; y su generación de residuos sólidos por toneladas diarias es de 2.862, 85.8874 toneladas al mes y 1030.646 toneladas al año.

También, se realizaron inspecciones visuales en cada una de las alternativas seleccionadas como posibles áreas potenciales para la instalación de un relleno sanitario en el distrito de Chirinos.

3.2.3. Trabajo de gabinete

A. Criterios de evaluación

Se emplearon nueve criterios de evaluación para la identificación de áreas potenciales, establecidos en la “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual”, por el MINAM. Los criterios se describen a continuación, donde se eligieron estos nueve criterios técnicos por ser de importancia para la selección de sitio, y por encontrarse en la base espacial de datos de la zonificación Ecológica y Económica.

a. Centros urbanos

El sitio debe estar ubicado en lugares estratégicos para evitar los potenciales riesgos a la salud de la población y velar por su seguridad. El relleno sanitario debe estar situado a una distancia no menor a 1 000 metros de una zona urbana.

b. Distancia de carreteras (red vial)

Se recomienda que este cercano a un centro urbano a fin de reducir los costos de transporte y mantenimiento se plantea que la instalación de relleno deberá estar cerca de una carretera; por ello el criterio empleado es que la distancia a una carretera debe estar comprendida entre 500 hasta 1 500 metros.

c. Hidrografía

El sitio seleccionado tiene que guardar cierta distancia con, el cauce fluvial, una distancia no menor a 1 000 metros.

d. Geología

Es de suma importancia que el sustrato sea impermeable para evitar la contaminación de acuíferos subterráneos y reducir costos de impermeabilización del suelo. Se adopta como criterio que la construcción del relleno se encuentre ubicado sobre un sustrato arenoso arcilloso: “Andesita”, “Conglomerados, areniscas y arcillas”, “Gravas, arenas, arcillas y limos”.

e. Uso de suelo forestal

Evitar las zonas con interés de protección, donde no afecte las áreas naturales protegidas por el estado.

f. Fallas geológicas

No se podrán escoger zonas que presenten fallas geológicas, por lo tanto el relleno sanitario no debe estar situado a una distancia menor de 2 500 metros de una falla.

g. Distancia a centros urbanos del estado

La ubicación del sitio para el relleno sanitario debe estar situado a una distancia no menor de 1 500 metros, teniendo en cuenta la ubicación de centros educativos y centros de salud.

h. Zonas arqueológicas

La preservación del patrimonio arqueológico es un criterio importante, el terreno no debe estar ubicado a una distancia menor de 1 200 metros de una zona arqueológica.

i. Topografía (pendiente)

Criterio en el cual el relleno deberá colocarse en áreas inferiores a 40 grados. Por otro lado y debido a la facilidad de construcción se plantea que la pendiente inferior sea superior a 4 grados de forma que no se originen encharcamientos en el entorno del área del relleno.

B. Aplicación en software de la EMC

El software ArcGIS 10.4.1 permitió el procesamiento de la información del material espacial cartográfico, seguido de un proceso de manera general es el siguiente:

- a. Primero se configuró la ventana principal de trabajo en el software, en coordenadas proyectadas UTM, zona 17 S del datum WGS 84. Posteriormente toda la información espacial (información de los criterios evaluados) se recortó con base al límite del distrito de Chirinos.
- b. Se utilizó la herramienta Spatial Analyst Tools, en la opción “Reclass”; se activó una nueva ventana, mostrándose un cuadro de valores en la ventana, donde se asignó los nuevos valores en la opción “Classification”, con la puntuación de acuerdo a los criterios de las variables seleccionadas:
 - Se clasificó con el valor “0”, a aquellas áreas “intangibles”, de “color rojo”, los cuales no serán considerados para la construcción del relleno sanitario.

- Se clasificó con el valor “1”, aquellos rangos de valores, que cumplen con los criterios, siendo áreas potenciales para la construcción del relleno sanitario.
- c. Este proceso se empleó por varias veces, de acuerdo con las variables seleccionadas del manual establecido por el Ministerio del Ambiente.
- d. Luego de realizar los análisis de cada variable seleccionada con sus criterios, y los ráster generados a partir de estos valores “0” y “1”, se aplicó el siguiente proceso:
- En el geoprocesador ArcToolbox, dentro de Spatial Analyst Tools, en la opción “Map algebra”, se desplegó un solo procesamiento “Raster calculator”, nos abrió una ventana, con un mapa de expresiones algebraicas.
 - Se fue aplicando cada uno de los ráster generados de las variables seleccionadas a la celda del procesador, multiplicándolo entre cada una de las variables analizadas.
 - Al multiplicar las variables seleccionadas del tablero de contenidos, se obtuvo como resultado áreas que tengan valor “1”, obteniendo un mapa final que evidenció sólo los criterios que hayan cumplido con las condiciones establecidas de acuerdo a la evaluación multicriterio.

IV. RESULTADOS

4.1. Determinación de ponderaciones

Las ponderaciones se determinaron con la evaluación multicriterio consistió en clasificar con “0” (áreas no aptas), aquellas áreas que no cumplían con el criterio de selección de sitio y con “1” (áreas aptas) aquellas que si cumplían. Posteriormente, para elegir la mejor área potencial, se ponderó cada una de las alternativas en rangos de 1 a 3 considerando los distanciamientos; dónde 1 es óptimo (para aquellas áreas menos alejadas), 2 es aceptable (para aquellas áreas moderadamente alejadas) y 3 es regular (para áreas muy alejadas) (tabla 1), respecto a su calificación de resultados.

Tabla 1. *Ponderación de criterios evaluados*

Ponderación	Calificación de resultado
1	Óptimo
2	Aceptable
3	Regular

Fuente: Elaboración propia

Los nueve criterios utilizados de la (tabla 2), se tomaron en función de “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual”; donde se tomó para su procesamiento de la base de datos de la zonificación ecológica y económica (ZEE) a nivel macro del departamento de Cajamarca.

En las Figuras que va desde la 2 a 10 se muestran cada uno de los criterios clasificados como áreas aptas (color verde) y no aptas (color rojo). En tanto, en la Fig. 11 se muestra el mapa resultante de la multiplicación de cada uno de los criterios evaluados, se identificó 6 posibles áreas para la instalación de un relleno sanitario en el distrito de Chirinos.

Tabla 2. Evaluación multicriterio (EMC)

Criterio	Valor de referencia	Clasificación	Ponderación		
			1	2	3
Distancia a Chirinos	>1000 m		>1000-1500	≥1500-2000	>2000-2500
Distancia de carreteras	500-1500 m		>500-1500	≥1500-2000	>2000-2500
Distancia a fuentes de aguas superficiales	>1000 m		>1000-1500	≥1500-2000	>2000-2500
Geología	“Andesita”, “Conglomerados, areniscas y arcillas”, “Gravas, arenas, arcillas y limos”	0: Área no apta	“arcilla y limos”	“arcilla y limos”	“arcilla y limos”
Capacidad de uso mayor	Con excepción de zonas de protección (áreas naturales protegidas)	1: Área apta	Excepto (ANP)	Excepto (ANP)	Excepto (ANP)
Distancia a fallas geológica	>2500 m		>2500-2700	≥2700-3000	>3000-3500
Distancia a infraestructura existente	>1500 m		>1500-1700	≥1700-2000	>2000-2500
Distancia a zonas arqueológicas	>1200 m		>1200-1500	≥1500-2000	>2000-2500
Pendiente	4-40 °		4-40°	5-45°	6-50°

Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Centros urbanos

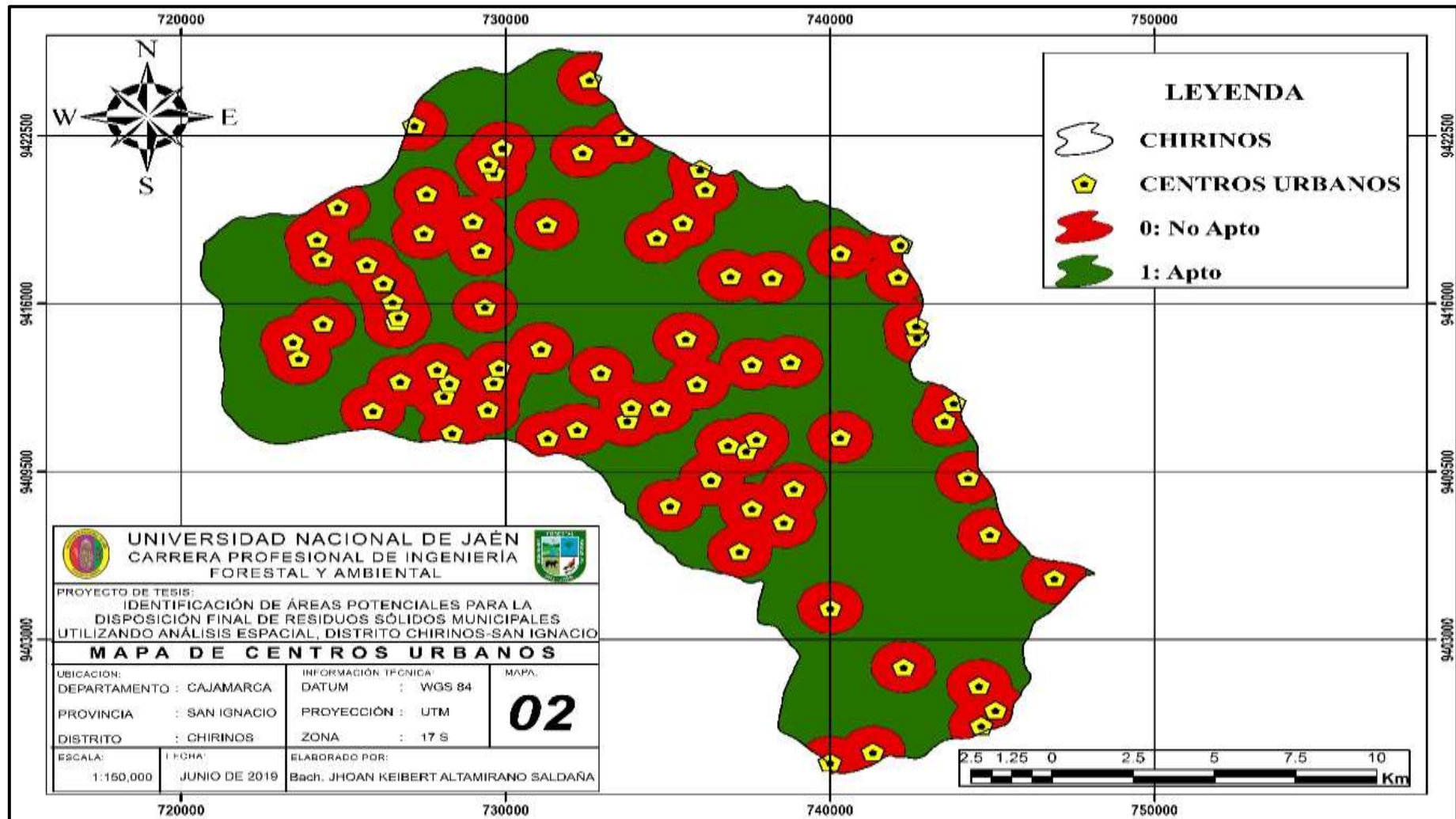


Figura 2. Área de influencia de centros urbanos

4.1.2. Distancia a carreteras (red vial)

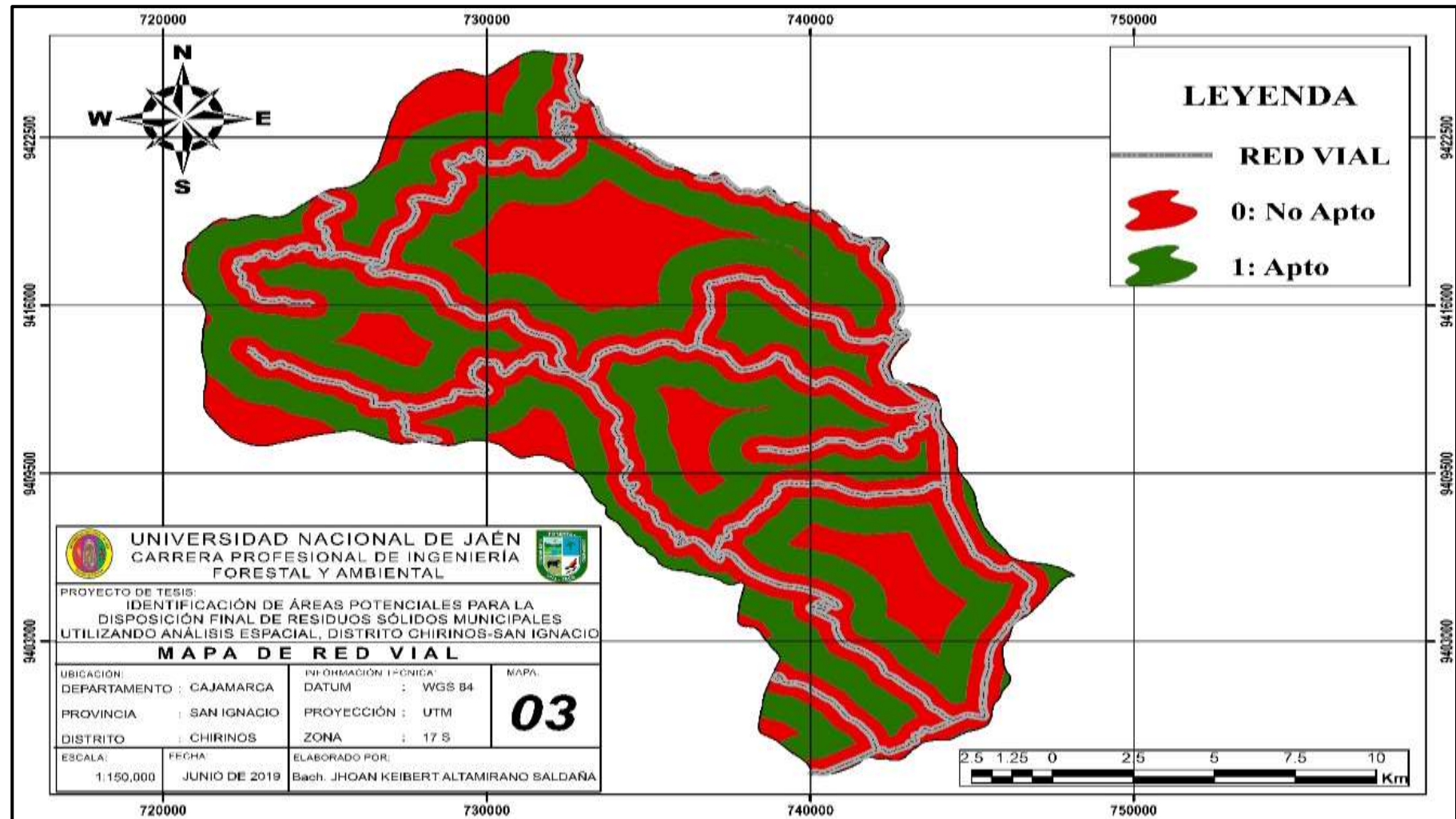


Figura 3. Área de influencia de red vial

4.1.3. Hidrografía

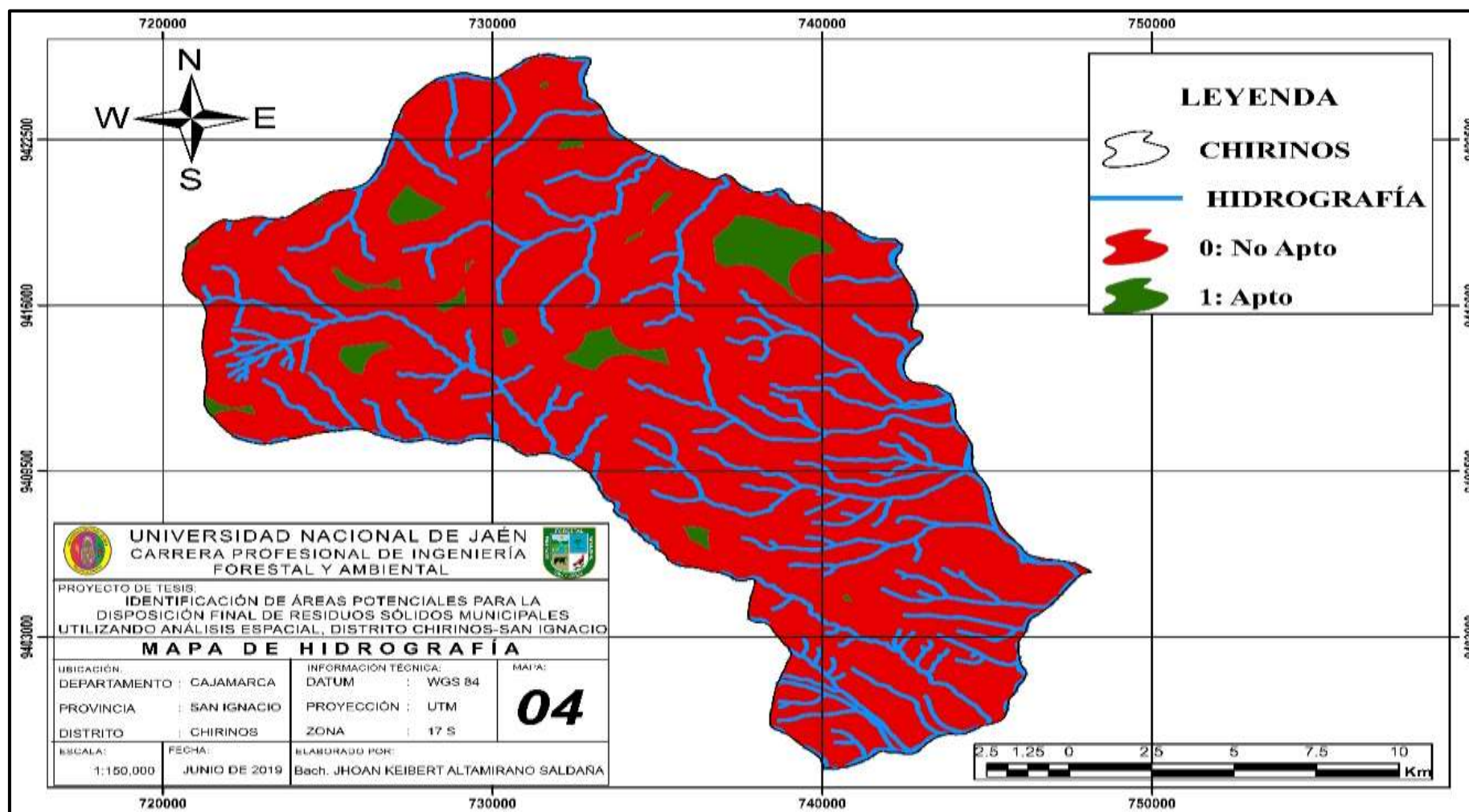


Figura 4. Área de influencia de los recursos hídricos superficiales

4.1.4. Geología

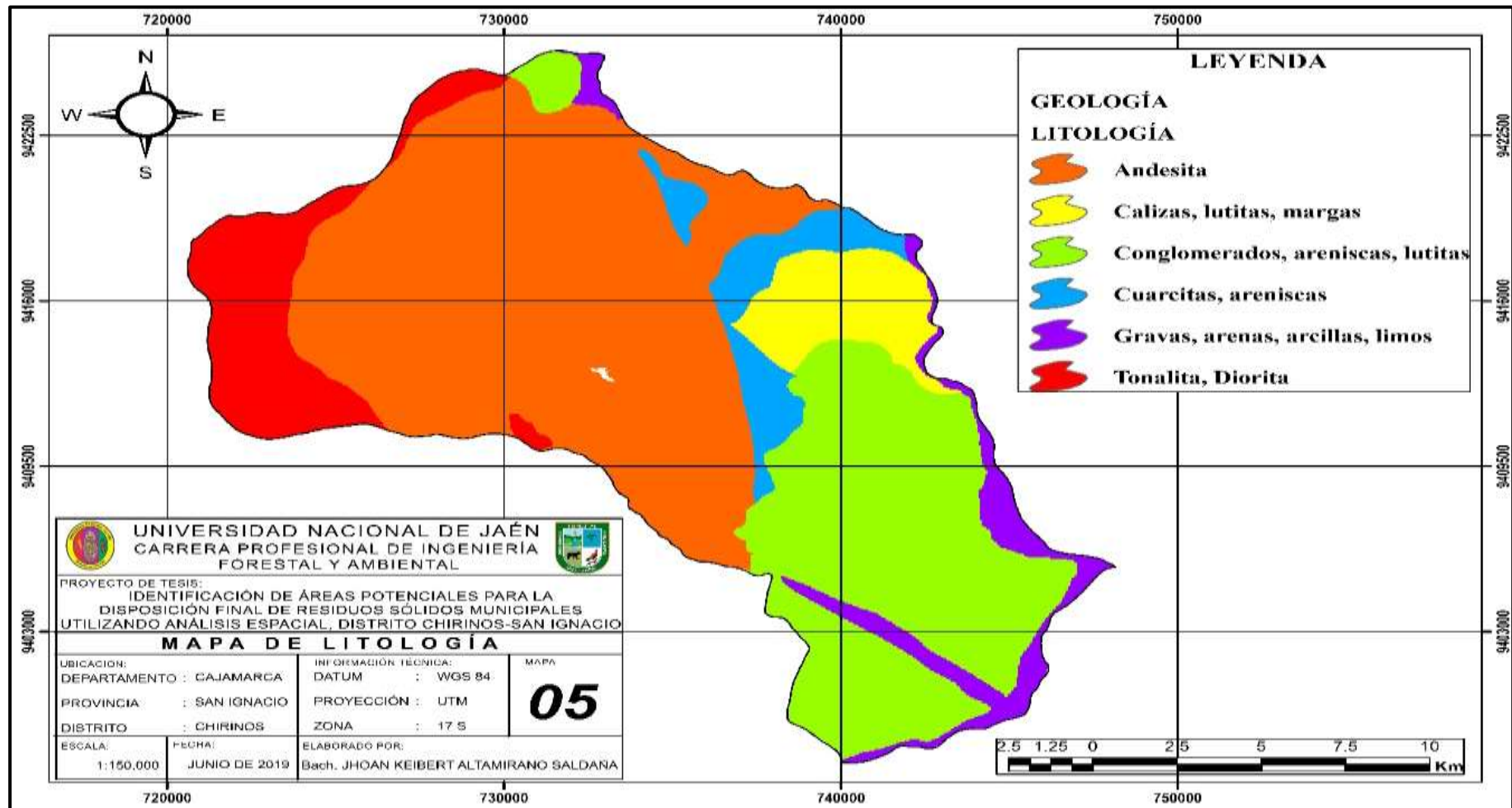


Figura 5. Geología del distrito de Chirinos

4.1.5. Uso de suelo forestal

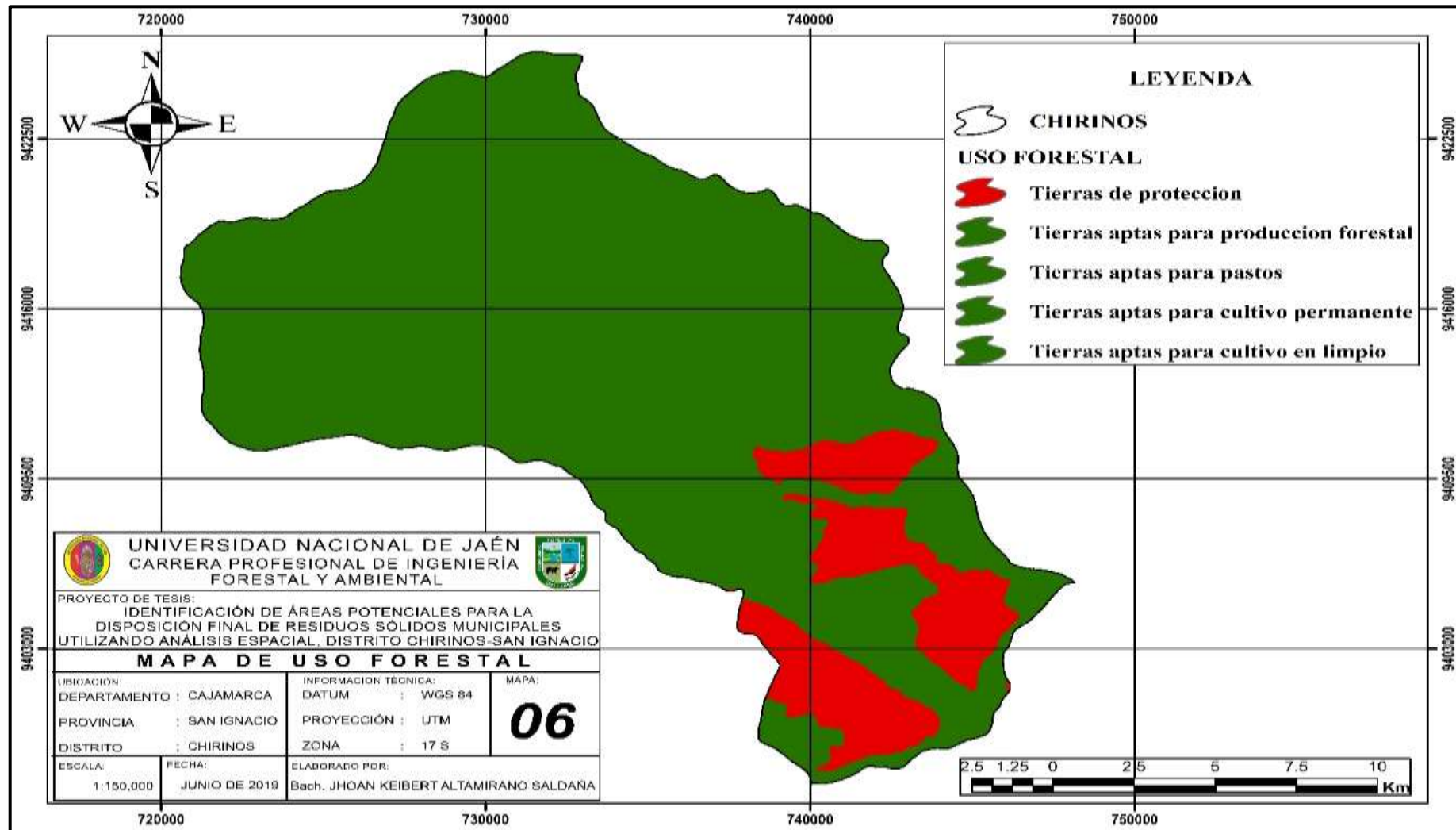


Figura 6. Área de influencia del uso de suelo forestal

4.1.6. Fallas geológicas

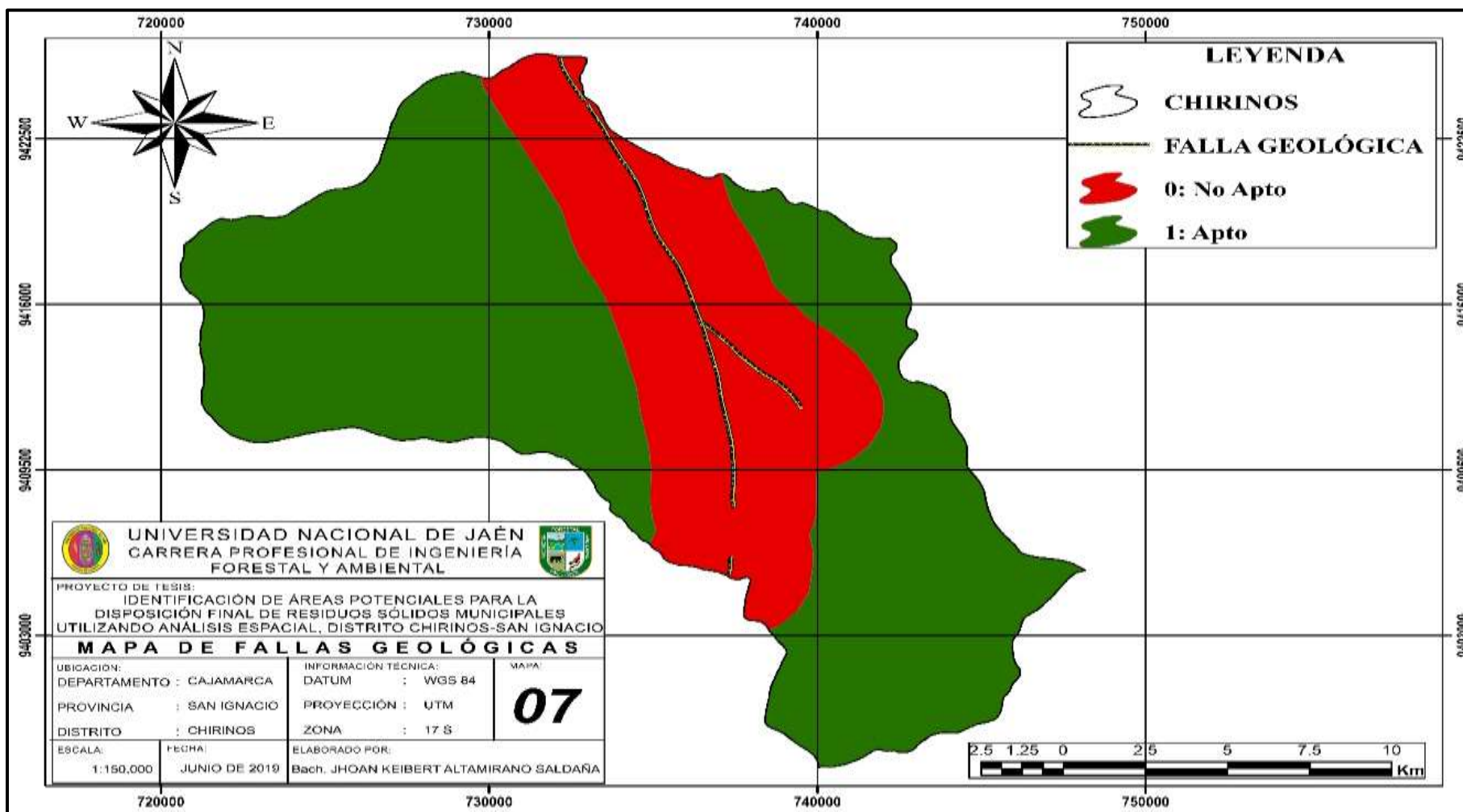


Figura 7. Área de influencia de fallas geológicas

4.1.7. Distancia a centros urbanos del estado

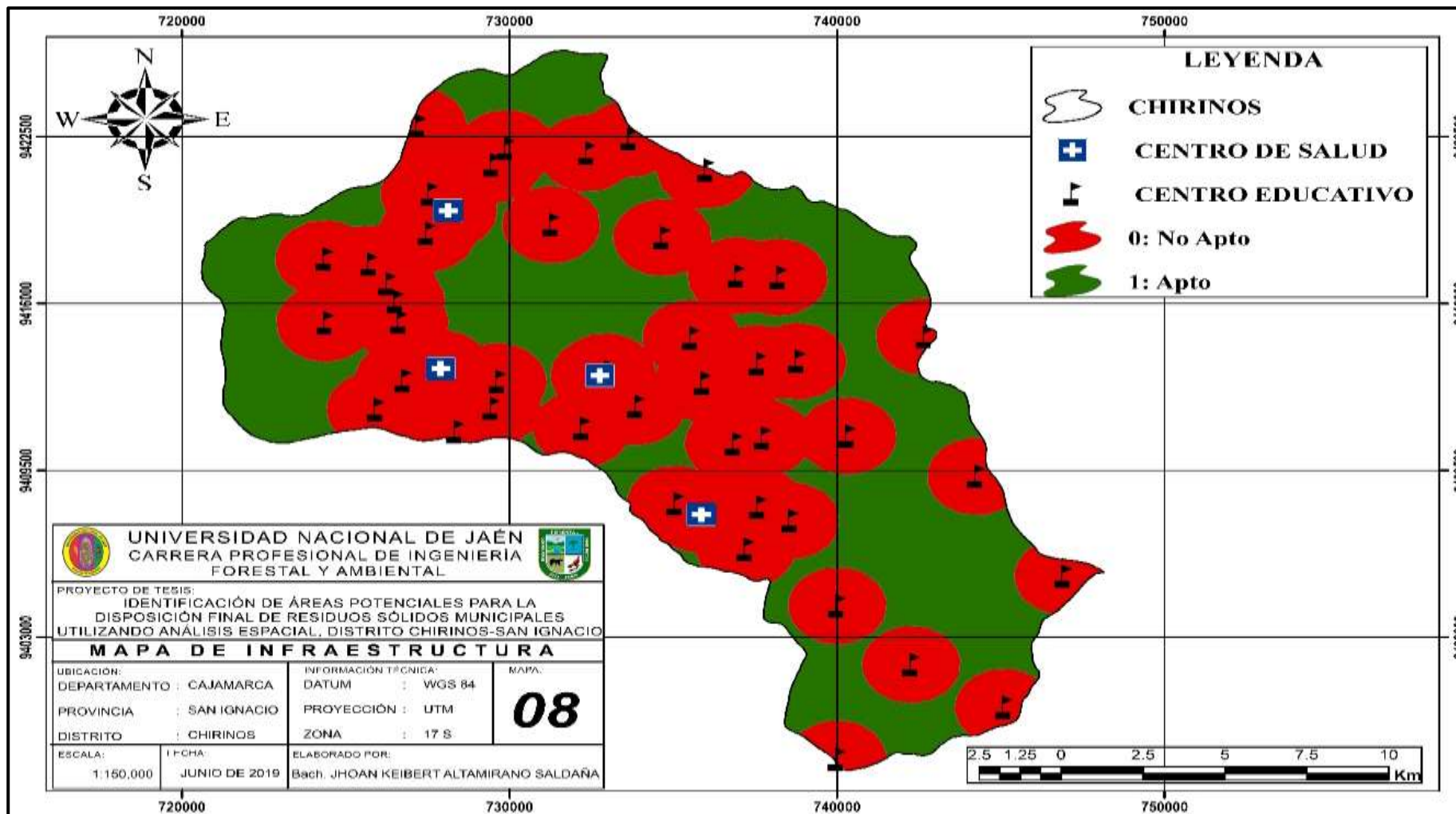


Figura 8. Área de influencia de infraestructura existente

4.1.8. Zonas arqueológicas

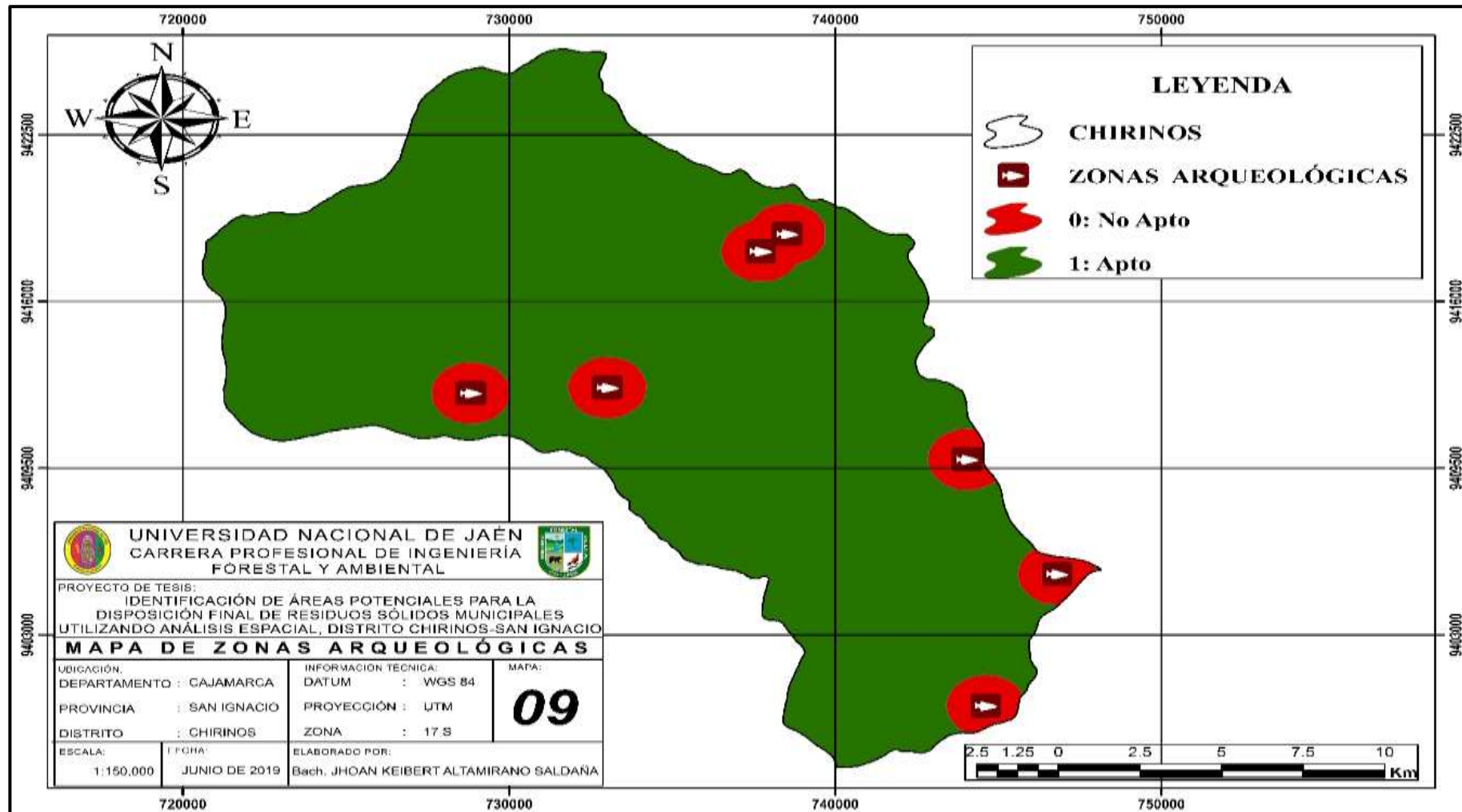


Figura 9. Área de influencia de zonas arqueológicas

4.1.9. Topografía (pendiente)

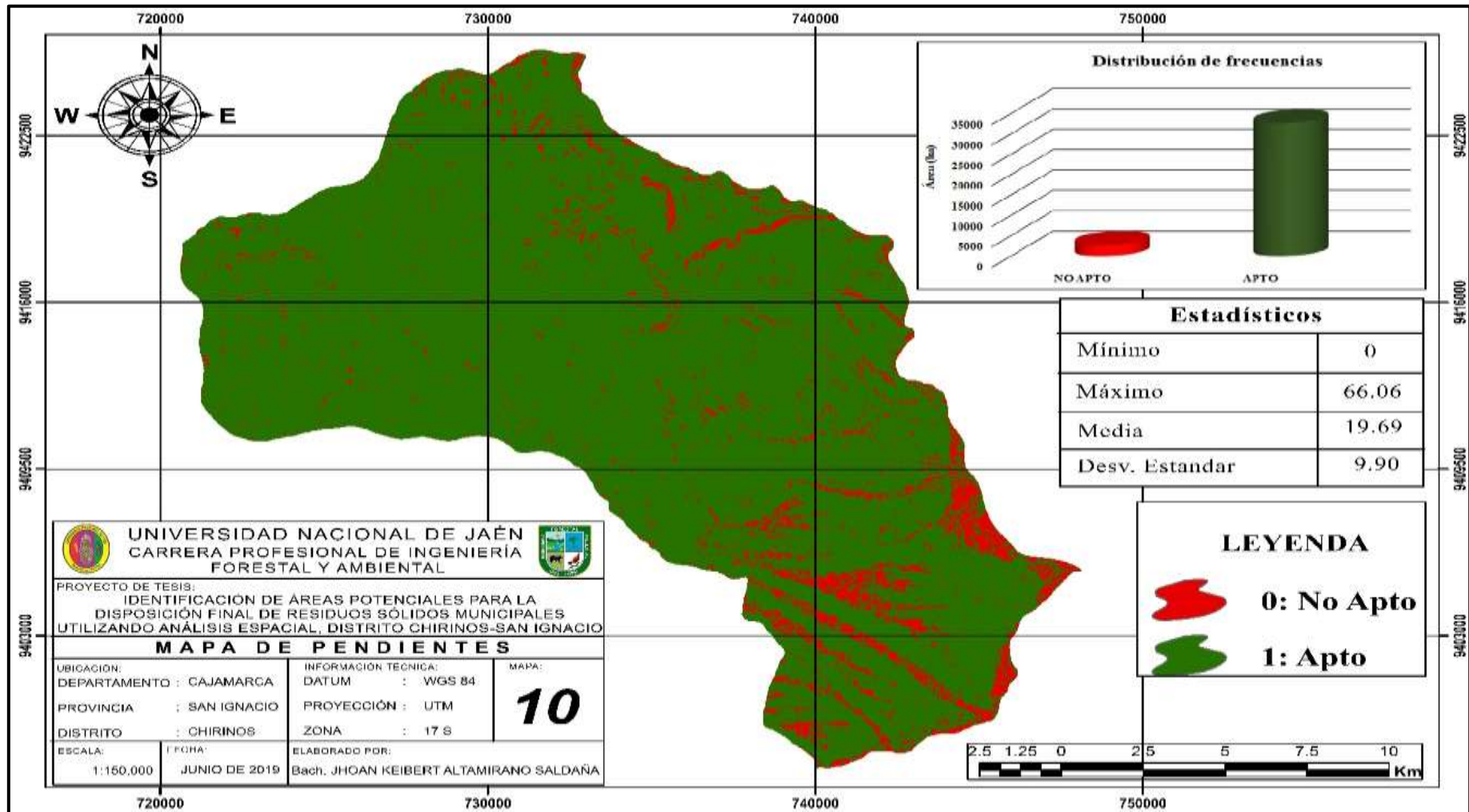


Figura 10. Clasificación de pendientes del distrito de Chirinos

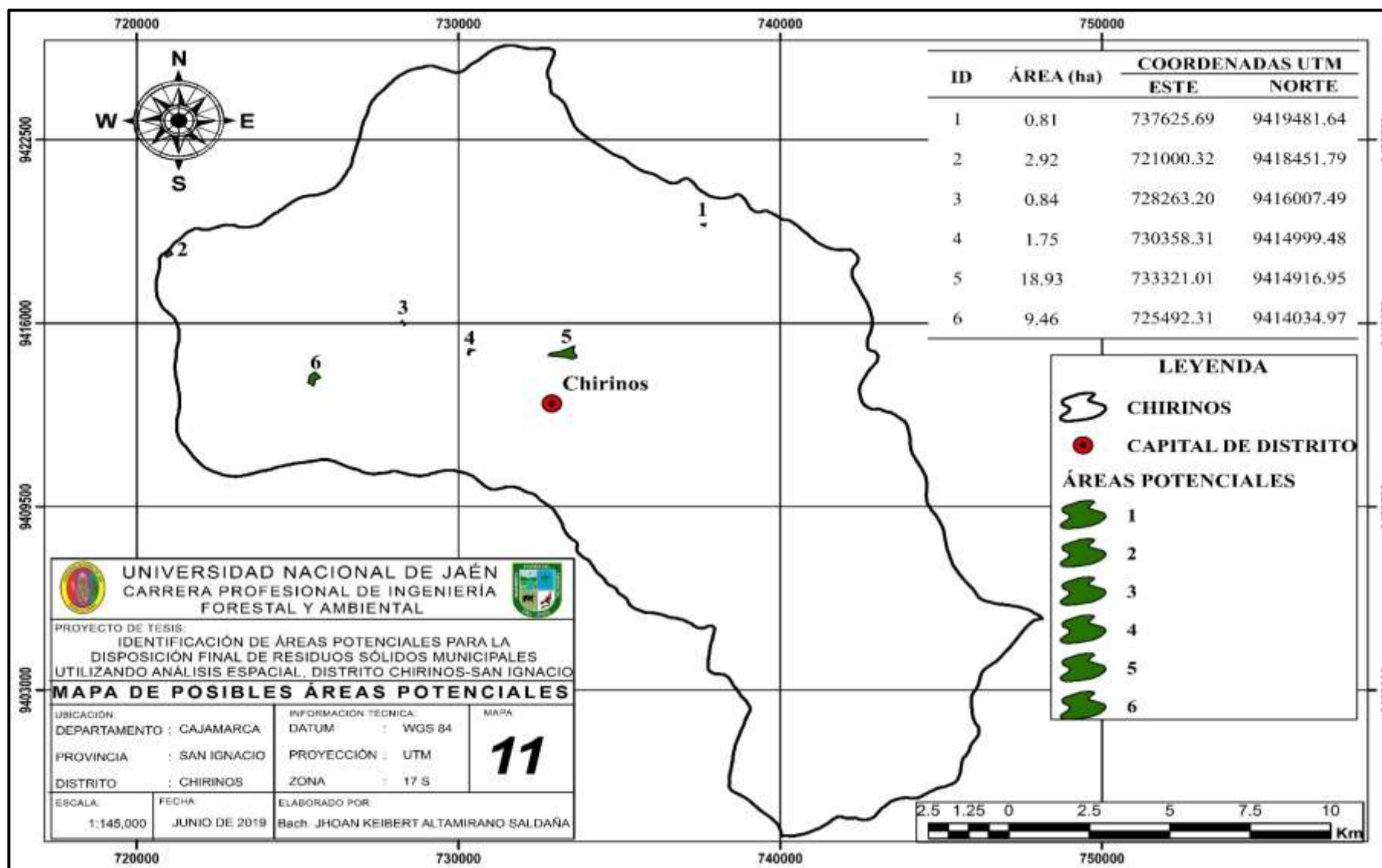


Figura 11. Mapa general de posibles áreas potenciales

Tabla 3. Posibles áreas potenciales identificadas

ID	Área (ha)	Coordenadas UTM		Distancia al distrito de Chirinos (Km)
		Este	Norte	
1	0.81	737626	9419482	7.57
2	2.92	721000	9418452	12.57
3	0.84	728263	9416007	5.02
4	1.75	730358	9414999	3.03
5	18.93	733321	9414917	1.65
6	9.46	725492	9414035	7.18

Fuente: Elaboración propia

4.2. Localización de las probables áreas potenciales

De las 6 posibles áreas identificadas, se descartaron las áreas con código ID 1, 2 y 3. La primera y la tercera se descartaron debido a que presentan áreas inferiores a 1 hectárea. La segunda área se descartó por presentar la mayor distancia de alejamiento con respecto al centro del distrito de Chirinos. Las áreas que quedaron se convirtieron en posibles sitios alternativos para la instalación de un relleno sanitario. A continuación se muestra en la tabla 4, la ponderación de cada alternativa evaluada (de acuerdo a la tabla 2) y en la tabla 5 los vértices que forman cada polígono de las alternativas.

Tabla 4. Evaluación de alternativas

Ítem	Criterio	Ponderación		
		Alternativa 1 (ID 4)	Alternativa 2 (ID 5)	Alternativa 3 (ID 6)
1	Distancia a centros urbanos	2	1	3
2	Distancia a carreteras	2	1	3
3	Distancia a fuentes de aguas superficiales	3	2	1
4	Geología	1	1	1
5	Uso de suelo forestal	1	1	1
6	Distancia a fallas geológicas	1	1	1
7	Infraestructura existente	1	1	1
8	Distancia a zonas arqueológicas	1	1	1
9	Topografía (pendiente)	1	1	1
Total		13	10	13

Fuente: Elaboración propia

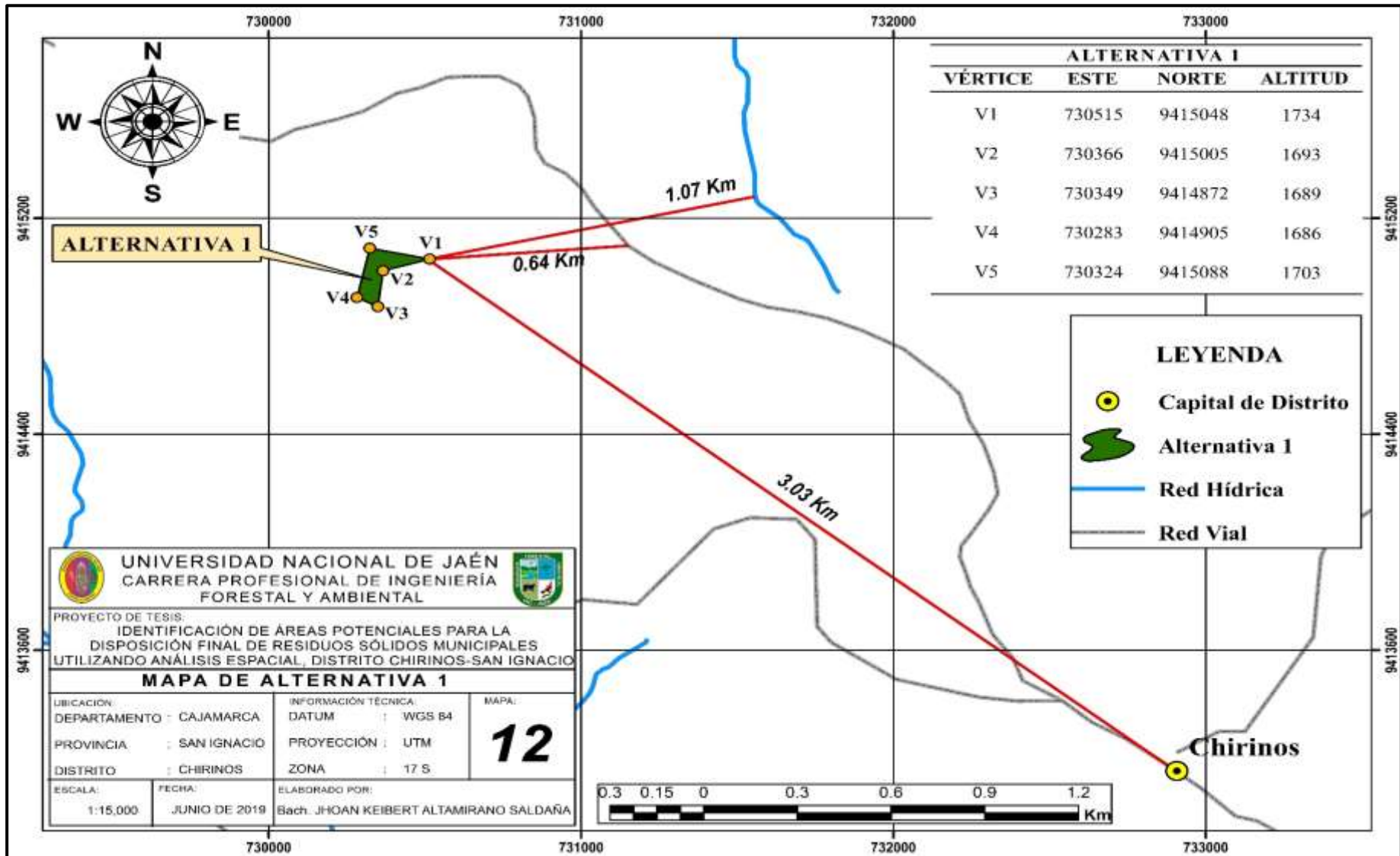


Figura 12. Mapa de alternativa 1

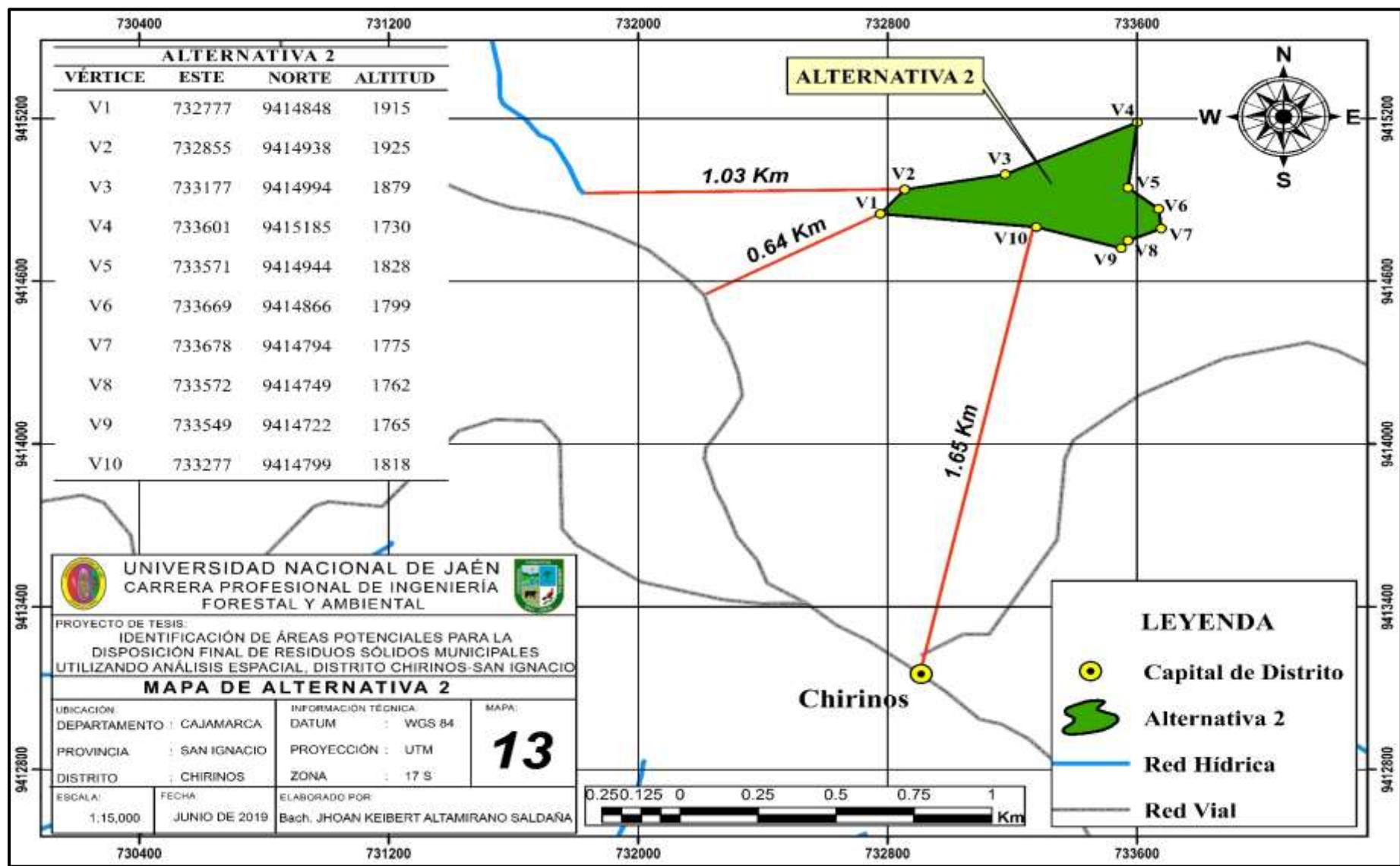


Figura 13. Mapa de alternativa 2

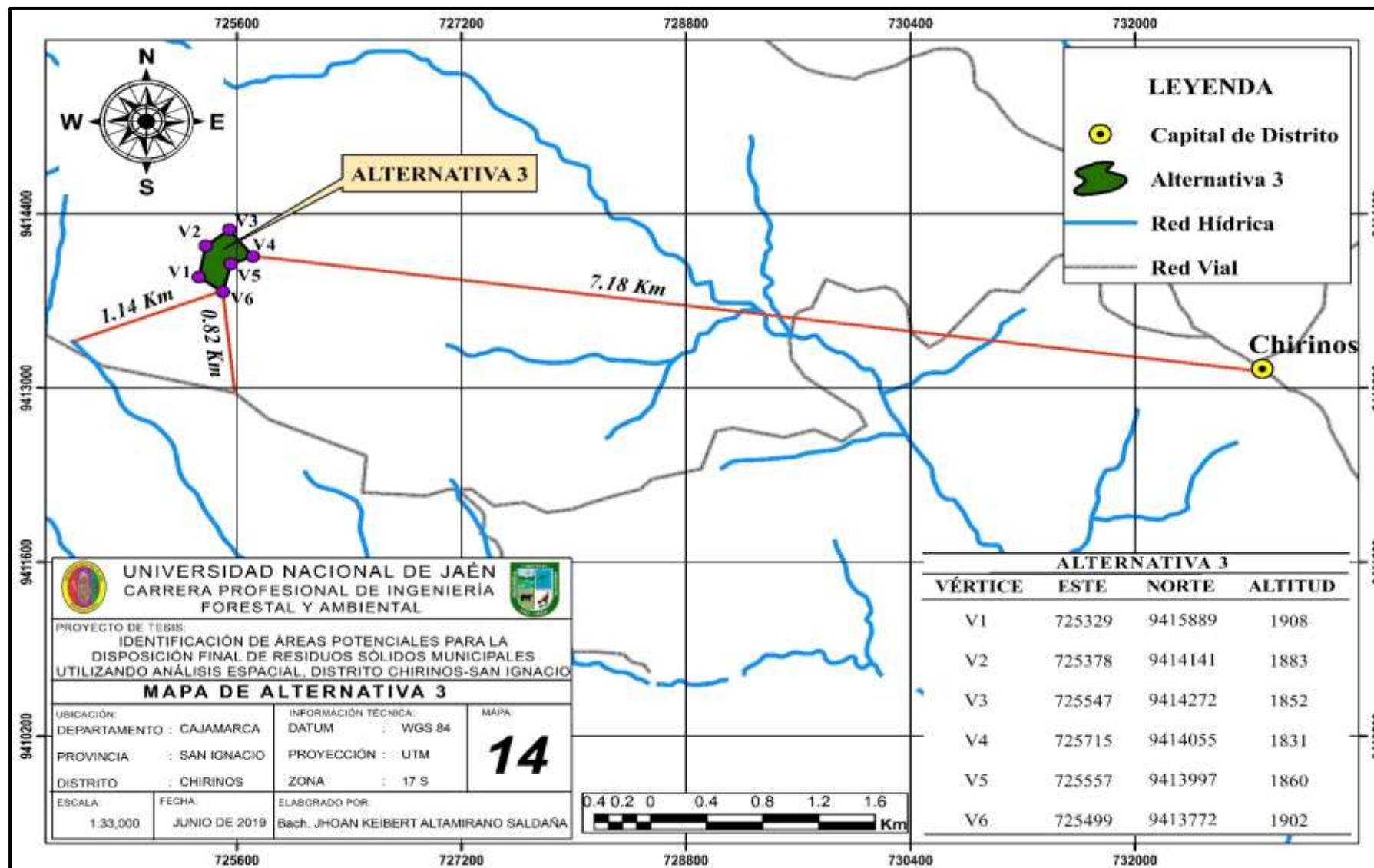


Figura 14. Mapa de alternativa 3

Tabla 5. Descripción general de alternativas

ID	Alternativa	Vértice	Coordenadas UTM		Altitud	Área (ha)	Distanciamiento a (Km)		
			Este	Norte			Chirinos	Carretera	Fuente de agua superficial
4	1	V1	730515	9415048	1734	1.75	3.03	0.64	1.07
		V2	730366	9415005	1693				
		V3	730349	9414872	1689				
		V4	730283	9414905	1686				
		V5	730324	9415088	1703				
5	2	V1	732777	9414848	1915	18.93	1.65	0.64	1.03
		V2	732855	9414938	1925				
		V3	733177	9414994	1879				
		V4	733601	9415185	1730				
		V5	733571	9414944	1828				
		V6	733669	9414866	1799				
		V7	733678	9414794	1775				
		V8	733572	9414749	1762				
		V9	733549	9414722	1765				
		V10	733277	9414799	1818				
6	3	V1	725329	9413889	1908	9.46	7.18	0.82	1.14
		V2	725378	9414141	1883				
		V3	725547	9414272	1852				
		V4	725715	9414055	1831				
		V5	725557	9413997	1860				
		V6	725499	9413772	1902				

Fuente: Elaboración propia

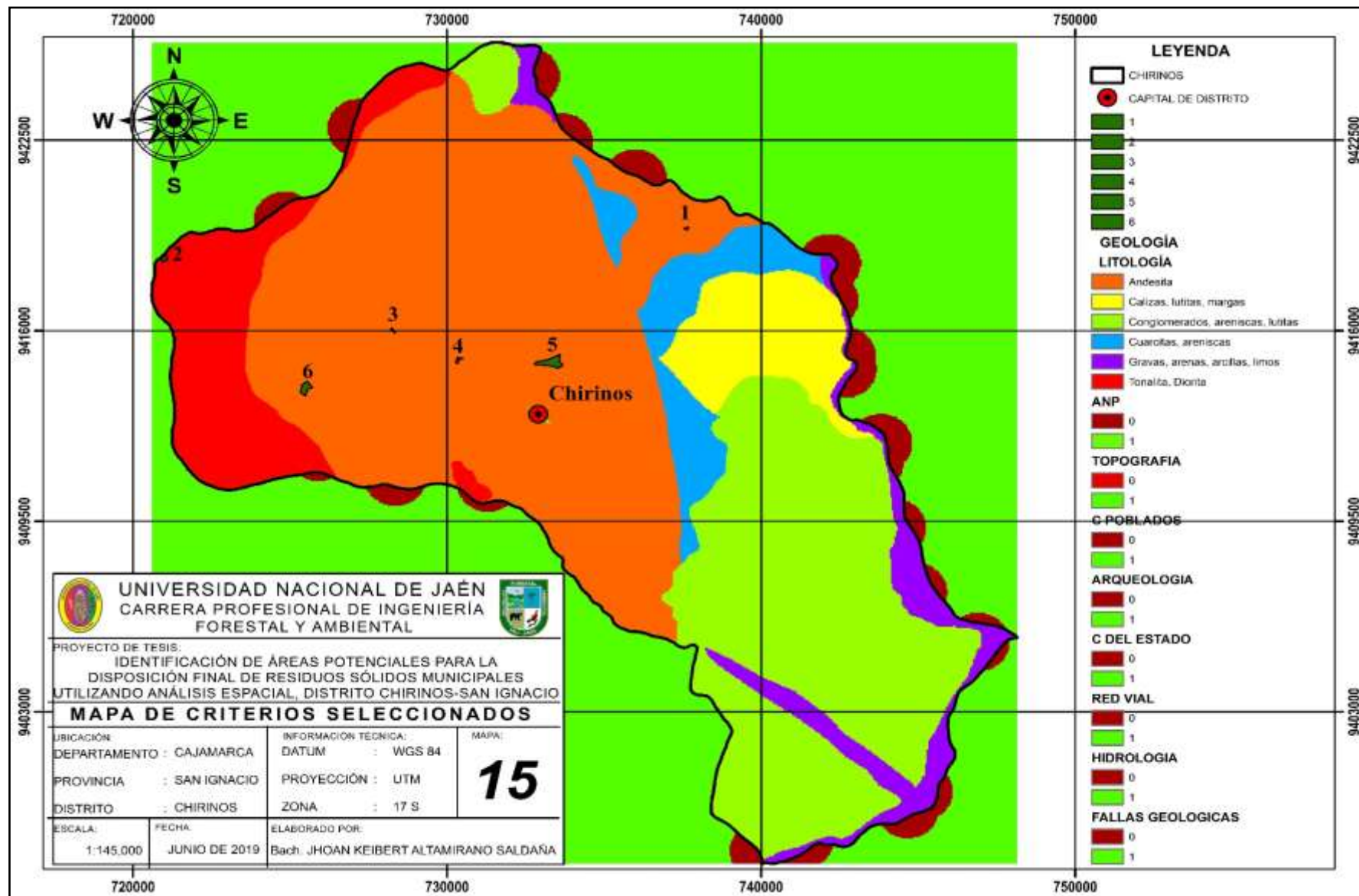


Figura 15. Mapa de criterios seleccionados

V. DISCUSIÓN

El éxito de selección de sitio para la instalación de rellenos sanitarios depende principalmente, entre muchos otros factores, los criterios utilizados (EMC). Los criterios utilizados en la tabla 1 empleados en la presente investigación son similares en determinados criterios empleadas por Sumathi et al. (2008), por ejemplo; calidad de recursos hídricos superficiales y subterráneos (ríos, lagos), índice de calidad de aire, presencia de fallas, geología, hábitat, uso del suelo, fallas geológicas, carreteras, áreas sensibles, etc. En el caso de Marín et al. (2012), utilizaron sólo el criterio de recursos hídricos para evaluar si un relleno sanitario ya instalado en el estado de Morelos, México; cumplía con los lineamientos federales para la selección de sitios de relleno sanitario, establecido por el gobierno mexicano. Los resultados fueron modelados por las herramientas SIG.

En trabajos similares de identificación de áreas para la operación de rellenos sanitarios, De Feo & De Gisi (2014), emplearon siete macro-categorías, a saber: presencia poblacional, riesgo por aguas subterráneas, valor agrícola, tráfico en carreteras locales, economía, áreas protegidas y clima. El trabajo fue desarrollado en nueve fases en la provincia de Avellino, región Campania, en el sur de Italia. Nas et al. (2010) utilizaron un enfoque integrado de evaluación de SIG y multicriterios para seleccionar rellenos sanitarios en la región Cumra de la ciudad de Konya, Turquía. El estudio utilizó el software ArcGIS 9.0 para preparar capas de mapas de entrada que incluyen criterios como: la distancia desde las rutas de transporte, la cercanía a los canales y pozos de riego; la pendiente del terreno, el uso y la cobertura del suelo; y la distancia desde las áreas urbanas. Los resultados mostraron que solo alrededor del 7 % del área de estudio era más adecuada para la instalación del relleno mientras que más del 41 % no era adecuado. Un área del 15.7 % se consideró adecuada, 10.4 % moderadamente adecuada y 25.8 % fue inadecuada para la eliminación de residuos.

Como resultado, se encontraron 6 áreas potenciales con un total de 34.71 hectáreas, de las cuales se descartaron tres debido que presentan a áreas inferiores a una hectárea y por presentar una mayor distancia al distrito de Chirinos, quedando 3 alternativas como posibles sitios potenciales; Asimismo, se identificó a la Alternativa 2 como la opción más viable con un área de 18.93 ha para la construcción del relleno sanitario. Erazo (2016) identificó sitios potenciales para la implementación de un relleno sanitario en el municipio de Pupiales-Nariño, Colombia; dónde se utilizó como principal herramienta tecnológica el software ArcGIS versión 10.2. La evaluación de las áreas potenciales se efectuó mediante el análisis espacial permitiendo ponderar criterios biofísicos, socio-económicos y de aislamiento de acuerdo a la favorabilidad de las mismas. Lograron identificar 177 ha óptimas para la instalación de un relleno sanitario, las cuales a pesar de resultar alta y medianamente favorables para dicho fin, deben ser sometidas a procesos de evaluación que permitan la rectificación o revalidación de las mismas.

De las 6 posibles áreas identificadas, se descartaron las áreas con ID 1, 2 y 3. Debido a que presentan áreas inferiores a 1 hectárea y su alejamiento, quedando como resultado las áreas con ID 4, 5 y 6; en la cual la alternativa más óptima fue el ID 5 o alternativa 2, debido a que presenta áreas menos alejadas con respecto al distrito de Chirinos. En estudios similares, Paredes (2018) realizó la identificación de sitios para la disposición final de residuos sólidos municipales de la ciudad de Sandia, en la región Puno. Para ello utilizó criterios de selección (pendiente, hidrología, geología, área y vida útil; hidrogeología, material de cobertura, dirección del viento, opinión pública, patrimonio cultural, patrimonio forestal y de fauna silvestre) y restricción (distanciamiento a poblaciones, granjas, fuentes de agua superficial; zonas pantanosas, fallas geológicas y vulnerabilidad ante desastres naturales) establecidos en el D.S N° 014-2017-MINAM (Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos); dichos criterios fueron aplicados en la selección de tres alternativas, Kallpapata (alternativa 1), Aricato (alternativa 2) y Queneque (alternativa 3). Concluyéndose, concluye que la alternativa 2 (Aricato), es la mejor alternativa para relleno sanitario: presenta buenas vías de acceso, vida útil 10 años, buena distancia a fuentes de agua superficial, dirección del viento en sentido contrario, presencia de material de cobertura, topografía (32-44 %), la precipitación es (1000-1050 mm de precipitación media anual) y mejor estabilidad física del terreno, lo cual es favorable por presentar drenaje moderado sin riesgo de inundación y erosión hídrica.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

a. Conclusiones

- Se identificó un total de áreas óptimas de 34.71 hectáreas que cumplieron con los criterios de evaluación para la instalación del relleno sanitario en el distrito de Chirinos. Solamente se evaluaron y ponderaron 3 alternativas; destacando la alternativa 2 como la opción más viable con un area de 18.93 hectáreas para la instalación y operación de un relleno sanitario; con una vida útil proyectada en 20 años es de 10.54 hectáreas.
- Se definieron ponderaciones mediante la aplicación de variables cuantitativas en los criterios de centros urbanos, distancia de carreteras, hidrografía, fallas geológicas, centros urbanos del estado, zonas arqueológicas y pendientes, cualitativas tales como geología (litología) y capacidad de uso mayor en las (ANP) áreas de protección natural.
- Se estableció la técnica de evaluación multicriterio en la clasificación con valores de “0” (Área no apta), aquellas áreas que no cumplirían con el criterio de selección de sitio y “1” (Áreas aptas), áreas que si cumplirían con la selección de áreas potenciales para la disposición final de residuos sólidos municipales, en el distrito de Chirinos- San Ignacio.

b. Recomendaciones

Se recomienda lo siguiente:

- Para ser considerada la alternativa 2, definitivamente como el espacio óptimo para la construcción y operación del relleno sanitario en el distrito de Chirinos; es indispensable considerar estudios más profundos, donde se involucren más criterios de evaluación. Así mismo, se debe realizar un estudio de declaración de impacto ambiental- DIA, categoría uno con fin de incrementar aún más su viabilidad.
- Seguir profundizando en esta temática del uso de los sistemas de información geográfica (SIG) y la evaluación multicriterio (EMC), debido a que resultan ser técnicas muy viables para la identificación y selección de áreas potenciales para la instalación y operación de rellenos sanitarios de gestión municipal. El objetivo a mediano y largo plazo es aumentar en la región, el número de rellenos sanitarios en funcionamiento; económicamente, socialmente y ambientalmente sostenibles.
- Se recomienda que los residuos sólidos deben ser aprovechados tanto orgánicos como inorgánicos y solo los residuos innecesarios deberían ser trasladados al relleno sanitario, con el propósito de aumentar su capacidad de vida útil.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alavi, M., Mokhtarani, N., & Mokhtarani, B. (2009). Municipal solid waste management in Rasht City, Iran. *Waste Management*, 29(1), 485-489.
- Caballero-Saldívar, D., De la Garza-Requena, F., Andrade-Limas, E., & Briones-Encinia, F. (2011). Los rellenos sanitarios: una alternativa para la disposición final de los residuos sólidos urbanos. *CienciaUAT*, 6(2), 14-17.
- Charnpratheep, K., Zhou, Q., & Garner, B. (1997). Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems. *Waste Management and Research*, 15, 197-215.
- Cheng, H., & Hu, Y. (2010). Municipal solid waste (MSW) as a renewable source of energy: Current and future practices in China. *Bioresource Technology*, 101(11), 3816-3824.
- Church, R. (2002). Geographic information system and location science. *Computers and Operation Research*, 29, 541-562.
- De Feo, G., & De Gisi, S. (2014). Using MCDA and GIS for hazardous waste landfill siting considering land scarcity for waste disposal. *Waste Management*, 34(11), 2225-2238.
- De Waele, J., Nyambe, I., Di Gregorio, A., Di Gregorio, F., Simasiku, S., Follesa, R., & Nkemba, S. (2004). Urban waste landfill planning and karstic groundwater resources in developing countries: the example of Lusaka (Zambia). *Journal of African Earth Sciences*, 39(3-5), 501-508.
- Delgado, O., Mendoza, M., Granados, E., & Geneletti, D. (2008). Analysis of land suitability for the siting of inter-municipal landfills in the Cuitzeo Lake Basin, Mexico. *Waste Management*, 28(7), 1137-1146.

- Erazo, N. (2016). *Identificación de sitios potenciales para la construcción de un relleno sanitario a partir de un SIG en el municipio de Pupiales - Nariño* (Trabajo de grado). Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.
- Harris-Lovett, S., Lienert, J., & Sedlak, S. (2019). A mixed-methods approach to strategic planning for multi-benefit regional water infrastructure. *Journal of Environmental Management*, 233, 218-237.
- Kao, J. (1996). A raster-based C program for siting a landfill with optimal compactness. *Journal of Computers and Geosciences*, 22(8), 837-847.
- Kao, J., Lin, H., & Chen, W. (1997). Network geographic information system for landfill siting. *Waste Management and Research*, 239-253.
- Khan, D., & Samadder, S. (2014). Municipal solid waste management using geographical information system aided methods: a mini review. *Waste Management & Research*, 32(11), 1049–1062.
- Leao, S., Bishop, I., & Evans, D. (2001). Assessing the demand of solid waste disposal in urban region by urban dynamics modeling in a GIS environment. *Resources Conservation and Recycling*, 33, 289-313.
- Lin, H., & Kao, J. (1998). Enhanced spatial model for landfill siting analysis. *Journal of Environmental Engineering*, 125(9), 845-851.
- Liu, N., Tang, S., Zhan, X., & Lo, C. (2018). Policy uncertainty and corporate performance in government-sponsored voluntary environmental programs. *Journal of Environmental Management*, 219, 350-360.
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3-65.
- Marín, L., Torres, V., Bolongaro, A., Reyna, J. A., Pohle, O., Hernández-Espriú, A., . . . Tabla, H. F. (2012). Identifying suitable sanitary landfill locations in the state of Morelos, México, using a Geographic Information System. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 37-39, 2-9.
- MINAM. (2008). *Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual*. Lima.

- Muttiah, R., Engel, B., & Jones, D. (1996). Waste disposal site selection using GIS-based simulated annealing. *Computers & Geosciences*, 22(9), 1013–1017.
- Nas, B., Cay, T., Iscan, F., & Berkay, A. (2010). Selection of MSW landfill site for Konya, Turkey using GIS and multi-criteria evaluation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160(1-4), 491–500.
- 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, Puno, Perú.
- Peck, P., & Parker, T. (2016). The ‘Sustainable Energy Concept’ – making sense of norms and co-evolution within a large research facility's energy strategy. *Journal of Cleaner Production*, 123, 137-154.
- Poggio, L., & Vrščaj, B. (2009). A GIS-based human health risk assessment for urban green space planning—An example from Grugliasco (Italy). *Science of the Total Environment*, 407(23), 5961-5970.
- Raviv, O., Broitman, D., Ayalon, O., & Kan, I. (2018). A regional optimization model for waste-to-energy generation using agricultural vegetative residuals. *Waste Management*, 73, 546-555.
- Sarah, W., & Susan, J. (2000). Environmental risk perception and well being: Effects of the landfill siting process in two Southern Ontario Communities. *Social Science and Medicine*, 50(7-8), 1139-1154.
- Şener, Ş., Sener, E., & Karagüzel, R. (2011). Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: a case study in Senirkent–Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 173(1-4), 533–554.
- Singh, A. (2019). Environmental problems of salinization and poor drainage in irrigated areas: Management through the mathematical models. *Journal of Cleaner Production*, 206, 572-579.
- Staley, B., & Barlaz, M. (2009). Composition of Municipal Solid Waste in the United States and Implications for Carbon Sequestration and Methane Yield. *Journal of Environmental Engineering*, 135(10), 901–909.

- Sumathi, V., Natesan, U., & Sarkar, C. (2008). GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill. *Waste Management*, 28(11), 2146-2160.
- Tavares, G., Zsigraiova, Z., & Semiao, V. (2011). Multi-criteria GIS-based siting of an incineration plant for municipal solid waste. *Waste Management*, 31(9-10), 1960-1972.
- Tõnurist, P. (2015). Framework for analysing the role of state owned enterprises in innovation policy management: The case of energy technologies and Eesti Energia. *Technovation*, 38, 1-14.
- United Nations. (2017). *World Population Prospects: The 2017 Revision*. Recuperado el 29 de Octubre de 2019, de https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_DataBooklet.pdf
- Vallero, D., & Blight, G. (2019). Chapter 12: The Municipal Landfill. En T. Letcher, & D. Vallero (Edits.), *Waste: A Handbook for Management* (págs. 235-258). Durham, United States: Academic Press.
- Villafuerte, R., Flores, D., Guadalupe, E., & Zea, M. (2004). Evaluación ambiental del relleno sanitario para el santuario histórico de Machu Picchu y pueblos aledaños. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG*, 7(14), 54-63.
- World Bank. (2012). *What a waste. A global review of solid waste management*. (D. Hoornweg, & P. Bhada-Tata, Edits.) Washington DC: Urban Development Series Knowledge.
- Yu, C., Li, H., Jia, X., & Li, Q. (2015). Improving resource utilization efficiency in China's mineral resource-based cities: A case study of Chengde, Hebei province. *Resources, Conservation and Recycling*, 94, 1-10.
- Zhou, W., Liu, Y., Zhu, Y., & Li, Y. (2017). Development of a stochastic programming model for design and optimization of activated-sludge wastewater-treatment system conconsidering efforts of uncertain factors. *Journal of Environmental Engineering*, 143(9), 04017045.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A la Universidad Nacional de Jaén, por mi formación académica a nivel de pre-grado.

Al Dr. Santos Clemente Herrera Díaz por toda la colaboración y ayuda brindada como asesor, durante la elaboración de este proyecto. Y también como profesor, gracias por su tiempo, su apoyo así como por la sabiduría que me transmitió en el desarrollo de mi formación profesional.

A mí padre, que siempre lo he sentido presente en mi vida, por ser en apoyo en mi carrera, en mis logros, en todo. Y sé que está orgulloso de la persona en la cual me he convertido.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de mi madre, que con su demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

Gracias a todas las personas en especial a mi gran amigo al Bach: Noymer Barrantes Salazar; que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

Este trabajo va dedicado a personas muy especiales, que siempre han estado a mi lado apoyándome y dando lo mejor de sí para que siga progresando personal y profesionalmente. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional.

A mi padre quien con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional. Finalmente, a todas y cada una de las personas que han conformado parte en mi formación en todos estos años.

ANEXOS



Anexo 1. Inspección y georreferenciación del área correspondiente a la alternativa 1



Anexo 2. Inspección y georreferenciación del área correspondiente a la alternativa 2



Anexo 3. Inspección y georreferenciación del área correspondiente a la alternativa 3



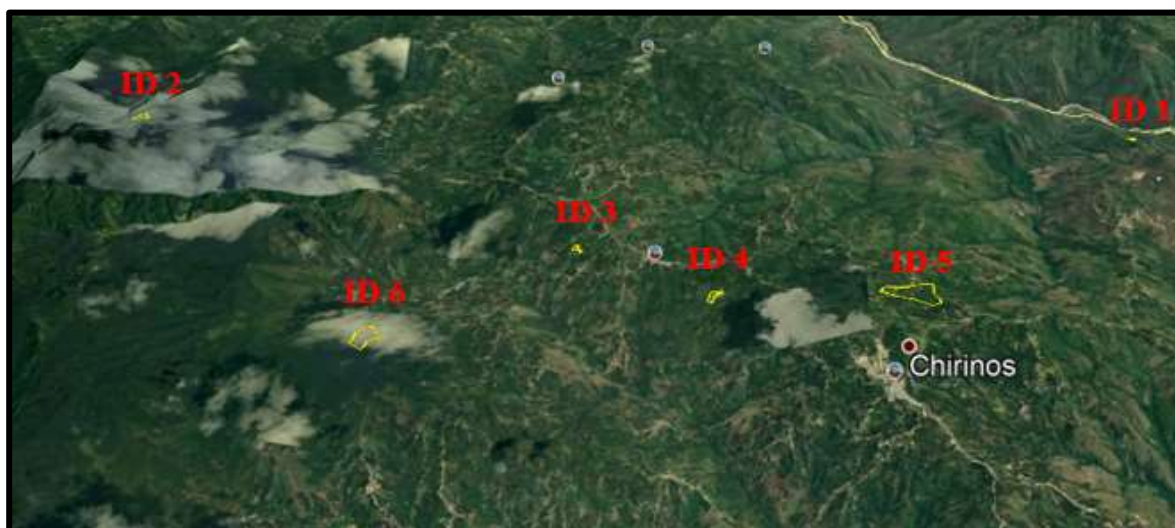
Anexo 4. Vista panorámica de alternativa 1



Anexo 5. Vista panorámica de alternativa 2



Anexo 6. Vista panorámica alternativa 3



Anexo 7. Vista panorámica desde google earth de las posibles áreas potenciales

N°	AÑO	Poblacion	GPC	GENERACION				VOLUMEN				Area	
				GRD TON/DÍA	GRN TON/DÍA	TOTAL TON/DÍA	TOTAL TON/AÑO	Residuos solidos (m³/Año)	Material de cobertura (m³/Año)	relleno sanitario (m³/Año)	acumulado (m³)	m²	Ha (hectareas)
Z	Y	A	$B=(a)x(1+(e)/100)^{(Y-2019)}$	$C=AxB/1000$	$D=(b)x(1+(e)/100)^{(Y-2019)}$	E=C+D	F=Ex[d]	G=F/(f)	H=Gx(h)	I=G+H	$J=\sum_{i=1}^n i$	$K=J/(g)$	$L=K/(i)$
Diseño	2019	14,592	0.624	9.11	1.88	10.98	4,009.27						
0	2020	14,632	0.630	9.22	1.90	11.12	4,058.56	6,764.27	1,352.85	8,117.13	8,117.13	3,246.85	0.32
1	2021	14,672	0.676	9.91	1.92	11.83	4,318.16	7,196.93	1,439.39	8,636.31	16,753.44	6,701.38	0.67
2	2022	14,713	0.682	10.04	1.94	11.98	4,371.55	7,285.92	1,457.18	8,743.10	25,496.54	10,198.62	1.02
3	2023	14,754	0.689	10.17	1.96	12.12	4,425.58	7,375.97	1,475.19	8,851.16	34,347.70	13,739.08	1.37
4	2024	14,795	0.696	10.30	1.97	12.27	4,480.26	7,467.09	1,493.42	8,960.51	43,308.21	17,323.29	1.73
5	2025	14,836	0.703	10.43	1.99	12.43	4,535.58	7,559.30	1,511.86	9,071.16	52,379.37	20,951.75	2.10
6	2026	14,877	0.710	10.57	2.01	12.58	4,591.56	7,652.61	1,530.52	9,183.13	61,562.50	24,625.00	2.46
7	2027	14,918	0.717	10.70	2.03	12.73	4,648.21	7,747.02	1,549.40	9,296.43	70,858.93	28,343.57	2.83
8	2028	14,959	0.724	10.84	2.05	12.89	4,705.54	7,842.56	1,568.51	9,411.07	80,270.00	32,108.00	3.21
9	2029	15,000	0.732	10.98	2.08	13.05	4,763.54	7,939.24	1,587.85	9,527.08	89,797.09	35,918.84	3.59
10	2030	15,042	0.739	11.12	2.10	13.21	4,822.51	8,037.51	1,607.50	9,645.01	99,442.10	39,776.84	3.98
11	2031	15,084	0.746	11.26	2.12	13.38	4,882.17	8,136.96	1,627.39	9,764.35	109,206.45	43,682.58	4.37
12	2032	15,126	0.754	11.40	2.14	13.54	4,942.55	8,237.59	1,647.52	9,885.10	119,091.55	47,636.62	4.76
13	2033	15,168	0.761	11.55	2.16	13.71	5,003.65	8,339.42	1,667.88	10,007.30	129,098.85	51,639.54	5.16
14	2034	15,210	0.769	11.70	2.18	13.88	5,065.48	8,442.46	1,688.49	10,130.95	139,229.80	55,691.92	5.57
15	2035	15,252	0.777	11.85	2.20	14.05	5,128.04	8,546.73	1,709.35	10,256.07	149,485.88	59,794.35	5.98
16	2036	15,294	0.784	12.00	2.23	14.22	5,191.34	8,652.24	1,730.45	10,382.69	159,868.56	63,947.43	6.39
17	2037	15,336	0.792	12.15	2.25	14.40	5,255.40	8,759.00	1,751.80	10,510.81	170,379.37	68,151.75	6.82
18	2038	15,378	0.800	12.31	2.27	14.58	5,320.22	8,867.04	1,773.41	10,640.45	181,019.82	72,407.93	7.24
19	2039	15,421	0.808	12.46	2.29	14.76	5,386.11	8,976.85	1,795.37	10,772.22	191,792.04	76,716.82	7.67
20	2040	15,464	0.816	12.62	2.32	14.94	5,452.79	9,087.98	1,817.60	10,905.57	202,697.62	81,079.05	8.11
											Area requerida para disposicion	8.11	
											Area administrativa	2.43	
											Area total	10.54	

Anexo 8. Calculo de vida útil del relleno sanitario.