

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ÁNDRES  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
CARRERA DE GEODESIA, TOPOGRAFÍA Y GEOMÁTICA**

**CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES GEOMÁTICAS (CIAG)**

**Maestría En Ciencias Geomáticas Aplicadas A La Gestión Territorial,  
Recursos Naturales y Medio Ambiente**



**TESIS**

**“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS  
AMBIENTALES EN PROYECTOS VIALES”,  
Tramo: COTAPATA - SANTA BARBARA - La Paz.**

**TUTOR:**

**MSc. Ing. José Luis Delgado Álvarez.**

**POSTULANTE:**

**Ing. Bady Ivan Williams Jamil Mancilla Soliz.**

## **DEDICATORIA**

Si no los tuviera, mi vida no sería agradable. Cada vez que los veo, recargo mis ganas para seguir adelante ante cualquier adversidad, nada es imposible para alcanzar las metas, Mayli y Farit ustedes son mi principal motivación. Muchas gracias hijos míos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer en primer lugar a Diosito por darme salud y todo lo necesario para completar este meta.

Un especial agradecimiento a mi tutor MSc. Ing. José Luis Delgado Álvarez quien, con sus conocimientos y apoyo, me ha guiado todo este tiempo para alcanzar los resultados que buscaba.

También quiero agradecer a la mejor la U.M.S.A. que me dio la bienvenida al mundo del conocimiento, para llevar a cabo esta investigación.

Agradecer también por las sugerencias y orientaciones a mis tribunales MSc. Lic. Huber Augusto Mamani Gutiérrez. y MSc. Lic. Franklin Quispe Troche.

Por último, quiero agradecer a mi hermosa familia, por apoyarme en cada decisión y proyecto, sobre todo en los momentos más difíciles, quiero mencionar a mi esposa Soledad y mi mamá Mery, que siempre están a mi lado para darme palabras de apoyo, aliento y un abrazo reconstituyente de valor.

Muchas gracias a todos.

*“La carretera más económica, no es la que cuesta menos, sino la que proporciona mayores beneficios en razón del dinero que se invirtió para hacerla” W.M. Gillespie*

# INDICE

	Página
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
INDICE .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	vii
<b>RESUMEN</b> .....	- 1 -
<b>CAPÍTULO I</b> .....	- 2 -
<b>GENERALIDADES</b> .....	- 2 -
1.1. INTRODUCCIÓN.....	- 2 -
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	- 4 -
1.3. HIPÓTESIS.....	- 4 -
1.3.1. Hipótesis Alternativa. ....	- 4 -
1.3.2. Hipótesis Nula. ....	- 5 -
1.4. OBJETIVOS.....	- 5 -
1.4.1. Objetivo General. ....	- 5 -
1.4.2. Objetivos Específicos.....	- 5 -
1.5. UBICACIÓN.....	- 5 -
<b>CAPÍTULO II</b> .....	- 7 -
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	- 7 -
2.1. MARCO REFERENCIAL .....	- 7 -
2.1.1. Definiciones de Riesgo Ambiental.....	- 7 -
2.1.2. Teoría del Riesgo.....	- 8 -
2.1.3. Definición de Carretera. ....	- 13 -
2.1.4. Derecho de Vía. ....	- 13 -
2.1.5. Área de Influencia Directa. ....	- 14 -
2.1.6. Área de Influencia Indirecta. ....	- 14 -
2.1.7. Técnicas y Herramientas para el Estudio del Riesgo.....	- 14 -
2.1.8. Teledetección o Percepción Remota. ....	- 17 -
2.1.9. Fundamentos Físicos de la Teledetección.....	- 17 -
2.1.10. El Espectro Electromagnético. ....	- 19 -
2.1.11. La Interacción Atmosférica con la Radiación Electromagnética.....	- 21 -
2.1.12. Componentes de un Sistema de Teledetección.....	- 22 -
2.1.13. Tipos de Sensores. ....	- 23 -
2.1.14. Sistemas de Información Geográfica. ....	- 26 -
2.1.15. Modelo de Datos Espaciales.....	- 28 -
2.1.16. Digital Elevation Model (DEM) O Modelo Digital de Elevación (MDE). ....	- 28 -
2.1.17. Evaluación Multicriterio. ....	- 29 -
2.1.18. Legislaciones Específicas con Relación a Carreteras.....	- 38 -
2.1.19. Categorías de Vías.....	- 53 -
2.1.20. Clasificación de las Carreteras.....	- 54 -
2.1.21. Demanda y Características del Tránsito.....	- 60 -



2.1.22. Segmentación Ambiental.....	- 61 -
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>- 72 -</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>- 72 -</b>
3.1. MATERIALES.....	- 72 -
3.2. MÉTODOS.....	- 72 -
3.2.1. Recolección de Información.....	- 75 -
3.2.2. Definición del Sistema de Referencia.....	- 75 -
3.2.3. Definición del Área de Influencia.....	- 75 -
3.2.4. Identificación de los Factores de Amenaza y Vulnerabilidad.....	- 76 -
3.2.5. Generación de las Coberturas de los Factores de Vulnerabilidad y Amenaza (Mapas Temáticos). . -	77 -
3.2.6. Normalización de las Coberturas de los Factores de Vulnerabilidad y Amenaza.....	- 78 -
3.2.7. La Matriz de Jerarquización Analítica para Determinación de los Pesos Relativos de los Factores de Amenaza y Vulnerabilidad.....	- 79 -
3.2.8. Modelamiento del Escenario del Riesgo Ambiental en Proyectos Viales.....	- 79 -
3.2.9. Evaluación de la Exactitud Temática.....	- 80 -
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>- 81 -</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>- 81 -</b>
4.1. LA DEFINICIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO COTAPATA – SANTA BARBARA. - 81	-
4.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD DEL PROYECTO COTAPATA - SANTA BARBARA.....	- 81 -
4.3. GENERACIÓN DE LAS COBERTURAS DE LOS FACTORES DE VULNERABILIDAD Y AMENAZA (MAPAS TEMÁTICOS).....	- 83 -
4.3.1. Factores de Amenaza.....	- 83 -
4.3.2. Factores de Vulnerabilidad.....	- 103 -
4.4. NORMALIZACIÓN DE LAS COBERTURAS DE LOS FACTORES DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD.....	- 108 -
4.4.1. Factores Amenaza Normalizados.....	- 108 -
4.4.2. Factores de Vulnerabilidad Normalizados.....	- 118 -
4.5. GENERACIÓN DE LA MATRIZ DE JERARQUIZACIÓN ANALÍTICA PARA DETERMINACIÓN DE LOS PESOS RELATIVOS DE LOS FACTORES AMENAZA Y VULNERABILIDAD DEL PROYECTO COTAPATA - SANTA BÁRBARA.....	- 123 -
4.5.1. Construcción de la Matriz par a par, para los Factores de Amenaza.....	- 123 -
4.5.2. Construcción de la Matriz par a par, para los Factores de Vulnerabilidad.....	- 125 -
4.6. MODELAMIENTO DEL ESCENARIO DEL RIESGO AMBIENTAL EN PROYECTOS VIALES.....	- 127 -
4.6.1. Amenaza.....	- 127 -
4.6.2. Vulnerabilidad.....	- 129 -
4.7. EVALUACIÓN DE LA EXACTITUD TEMÁTICA.....	- 133 -
4.7.1. Área Verificación N°1.....	- 134 -
4.7.2. Área Verificación N° 2.....	- 135 -
4.7.3. Área Verificación N° 3.....	- 137 -
4.7.4. Área Verificación N° 4.....	- 138 -
4.7.5. Área Verificación N° 5.....	- 139 -
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>- 141 -</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>- 141 -</b>

5.1. CONCLUSIONES .....	- 141 -
5.2. RECOMENDACIONES .....	- 142 -
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>- 143 -</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>- 143 -</b>
ANEXOS .....	- 146 -

## ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Página</i>
<b>Tabla N° 1.</b> Los juicios verbales son trasladados a una escala de Valoración puntuación. ....	- 33 -
<b>Tabla N° 2.</b> Índice de consistencia aleatoria. ....	- 37 -
<b>Tabla N° 3.</b> Características típicas de las Carreteras y Caminos según la Clasificación Funcional. ....	- 54 -
<b>Tabla N° 4.</b> Clasificación funcional de acuerdo al Sistema Nacional de Carreteras. ....	- 54 -
<b>Tabla N° 5.</b> Características típicas de las carreteras y caminos según la clasificación funcional. ....	- 56 -
<b>Tabla N° 6.</b> Segmentación ambiental para proyectos viales donde se establecen los factores y atributos a ser evaluados.....	- 62 -
<b>Tabla N° 7.</b> Sistema de clasificación del perfil de meteorización empleado en Hong Kong en proyectos de infraestructura. ....	- 63 -
<b>Tabla N° 8.</b> Estimación de la Resistencia de las Rocas mediante un martillo de geólogo o una navaja. ....	- 65 -
<b>Tabla N° 9.</b> Estimación de la resistencia de los suelos cohesivos.....	- 66 -
<b>Tabla N° 10.</b> Grado de presencia de discontinuadas a partir de identificar el número de fracturas presentes. ....	66 -
<b>Tabla N° 11.</b> Clasificación de Procesos de Remoción en Masa. ....	- 68 -
<b>Tabla N° 12.</b> Formas y mecanismos de erosión. ....	- 70 -
<b>Tabla N° 13.</b> Metodología del estudio de investigación. ....	- 74 -
<b>Tabla N° 14.</b> Coberturas base con su fuente. ....	- 77 -
<b>Tabla N° 15.</b> Factores de Amenaza y Vulnerabilidad.....	- 83 -
<b>Tabla N° 16.</b> Valores de Exposición del TPDA. ....	- 104 -
<b>Tabla N° 17.</b> Valores de Exposición de las Categorías de la Vía. ....	- 104 -
<b>Tabla N° 18.</b> Valores de Exposición de la Red a la que pertenecen.....	- 104 -
<b>Tabla N° 19.</b> Tablas para la reclasificación del factor Geología, primera tabla con valores asignados por defecto y la segunda para la reclasificación, con asignación de valores de 0 a 10 para la Geología. ....	- 108 -
<b>Tabla N° 20.</b> Reclasificación del factor suelos, la primera tabla con valores asignados por defecto y la segunda para la reclasificación, con asignación de valores de 0 a 10.....	- 111 -
<b>Tabla N° 21.</b> Matriz de Jerarquías para la ponderación de las variables intervinientes para la obtención de la cobertura de Niveles de Amenaza. ....	- 123 -
<b>Tabla N° 22.</b> Matriz de Jerarquías para la ponderación de las variables intervinientes para la obtención de la cobertura de Niveles de Vulnerabilidad.....	- 125 -
<b>Tabla N° 23.</b> Evaluación de la Categoría del Mapa de Riesgos Ambientales, con respecto al terreno. ....	- 133 -

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
<b>Figura N° 1.</b> Ubicación geografía de la carretera. ....	- 6 -
<b>Figura N° 2.</b> Esquema en sección transversal de una carretera. ....	- 13 -
<b>Figura N° 3.</b> Formas de Teledetección (i)Reflexión (ii)Emisión (iii)Reflexión-Emisión.....	- 18 -
<b>Figura N° 4.</b> Relación de la temperatura con el máximo de radiación electromagnética emitida. ....	- 19 -
<b>Figura N° 5.</b> Espectro electromagnético. ....	- 21 -
<b>Figura N° 6.</b> Interacción entre los diferentes componentes de un sistema de teledetección. ....	- 22 -
<b>Figura N° 7.</b> Ilustración del funcionamiento de un sensor Pasivo y Activo. ....	- 25 -
<b>Figura N° 8.</b> Tipos de presentaciones o formatos: Ráster y Vectorial. ....	- 28 -
<b>Figura N° 9.</b> Área de Influencia y el eje del proyecto vial. ....	- 82 -
<b>Figura N° 10.</b> Cobertura de precipitaciones anuales y el eje del proyecto vial. ....	- 84 -
<b>Figura N° 11.</b> Cobertura de la Geología y el eje del proyecto vial. ....	- 94 -
<b>Figura N° 12.</b> Cobertura de Pendiente y el eje del proyecto vial. ....	- 97 -
<b>Figura N° 13.</b> Cobertura de suelos y el eje del proyecto vial. ....	- 98 -
<b>Figura N° 14.</b> Cartografía del Drenaje Superficial en el área del proyecto. ....	- 99 -
<b>Figura N° 15.</b> Cobertura del NDVI en el área del proyecto. ....	- 101 -
<b>Figura N° 16.</b> Cobertura de Influencia de las poblaciones.....	- 102 -
<b>Figura N° 17.</b> Cobertura del TPDA del proyecto.....	- 105 -
<b>Figura N° 18.</b> Cobertura de Categoría de Vía proyecto.....	- 106 -
<b>Figura N° 19.</b> Cobertura de la Localización de la Red del proyecto. ....	- 107 -
<b>Figura N° 20.</b> Cobertura de Precipitación Normalizada. ....	- 109 -
<b>Figura N° 21.</b> Cobertura de Geología Normalizada. ....	- 110 -
<b>Figura N° 22.</b> Cobertura de Pendientes Normalizada.....	- 112 -
<b>Figura N° 23.</b> Cobertura de Suelos Normalizado. ....	- 113 -
<b>Figura N° 24.</b> Cartografía de Drenaje Superficial Normalizado. ....	- 114 -
<b>Figura N° 25.</b> Cobertura de NDVI Normalizado.....	- 116 -
<b>Figura N° 26.</b> Cobertura de Influencia de las Poblaciones Normalizado. ....	- 117 -
<b>Figura N° 27.</b> Cobertura del TPDA Normalizado. ....	- 119 -
<b>Figura N° 28.</b> Cobertura de Categoría de Vía Normalizado. ....	- 120 -
<b>Figura N° 29.</b> Cobertura de la Localización de la Red Normalizado.....	- 122 -
<b>Figura N° 30.</b> Dentro de la ventana de Suma ponderada de ArcGIS se asigna los pesos asignado en la matriz de Saaty para los factores de amenaza. ....	- 127 -
<b>Figura N° 31.</b> Mapa de Amenazas a Riesgos Ambientales del Tramo Cotapata – Santa Bárbara. ....	- 128 -
<b>Figura N° 32.</b> Dentro de la ventana de Suma ponderada de ArcGIS se asigna los pesos asignado en la matriz de Saaty para los factores de Vulnerabilidad. ....	- 129 -

<b>Figura N° 33.</b> Mapa de Vulnerabilidad a Riesgos Ambientales del tramo Cotapata – Santa Bárbara.4.6.3. Riesgo Ambiental. ....	- 130 -
<b>Figura N° 34.</b> Dentro de la ventana de Superposición Difusa de ArcGIS para lo obtención del Mapa de Riesgos Ambientales. ....	- 131 -
<b>Figura N° 35.</b> Mapa de Riesgos Ambientales del tramo Cotapata – Santa Bárbara. ....	- 132 -

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Página
<b>Fotografía N° 1.</b> Estratos de la formación Coroico con clivaje en niveles de hasta 20 cm. ....	- 87 -
<b>Fotografía N° 2.</b> Niveles de la formación Coroico con nódulos de arenisca con dímetros mayores a 1 metro. ...	88 -
<b>Fotografía N° 3.</b> Estratos de la formación Amutara, mostrando niveles compactos de areniscas cuarcíticas intercalados con niveles de limolitas. ....	- 89 -
<b>Fotografía N° 4.</b> Vista general de un deslizamiento menor activo en la progresiva 3+863. ....	- 90 -
<b>Fotografía N° 5.</b> Al fondo se aprecian depósitos de Terraza (Qt) producto de la deposición del río. ....	- 91 -
<b>Fotografía N° 6.</b> En primer plano depósito de Coluvial (Qc) al borde del río Huarinilla. ....	- 92 -
<b>Fotografía N° 7.</b> Vista general del depósito aluvial (Qa) del río Huarinilla, la cual muestra una sección transversal muy amplia al lado derecho el corte de la carretera. ....	- 93 -
<b>Fotografía N° 8.</b> En primer plano; portal del túnel San Rafael lado Santa Bárbara adicionalmente se observan cimas lineales agudas. ....	- 95 -

## RESUMEN

Esta investigación abordo el tema de riesgos ambientales para proyectos viales, debido a que existe muy poca investigación de los entes gestores responsables de la red vial fundamental, departamental y municipal.

El objetivo general de la investigación es, plantear una metodología para la evaluación de riesgos ambientales en proyectos viales, aplicando una evaluación multicriterio, evaluando la vulnerabilidad y amenaza a partir de factores identificados, ligados a la infraestructura vial, estos factores pocas veces son evaluados de forma integrada o agrupada.

Para lograr este objetivo, se parte de un modelo estructurado identificando en dos ejes: los factores de Vulnerabilidad y los factores de Amenaza: El primer eje comprende el Trafico Promedio Diario Anual, Estructura Vial y Localización de la Red, factores íntimamente relacionados a la gestión de la infraestructura vial. El segundo eje se define los factores como Precipitación, Geología, Pendiente, Suelo, Drenaje Superficial, Cobertura Vegetal y Densidad Poblacional; cada uno de estos definidos en mayor o menor grado, como factores de amenaza para la infraestructura vial, y a partir de la interacción de estos dos ejes a través de la evaluación de la Matriz de Jerarquización Analítica, planteada por Saaty; se ha realizado la valoración de cada uno de ellos, para obtener los mapas de amenaza y vulnerabilidad, La combinación de ambos, permite definir el mapa de los riesgos ambientales para proyectos viales.

Para potencializar la propuesta metodológica, se ejecuta un estudio de caso práctico para el tramo Cotapata – Santa Bárbara, que pertenece a la red vial fundamental, con el objeto de verificar la versatilidad de la herramienta metodológica, una vez verificada y evaluada la cartografía generada en el campo, se puede establecer que la evaluación es eficiente y permite identificar claramente las zonas con mayores riesgos para la carretera estudiada.

**Palabras claves:** Evaluación Multicriterio, Riesgo Ambiental, Amenaza, Vulnerabilidad, Proyecto Vial.

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1. INTRODUCCIÓN.**

El Plan de Desarrollo Económico y Social 2016 – 2020, pone de manifiesto la necesidad de contar con una Integración Vial, con vertebración interna y externa, a fin de continuar con la ampliación del mercado interno y a su vez, proporcionar las condiciones materiales para que el sector exportador, realice sus labores comerciales, ambos elementos dinamizan la esfera de la producción y de la circulación, impactando positivamente en el crecimiento económico.

La construcción, conservación y rehabilitación de carreteras, es considerada como un elemento transversal, y se la visibiliza como un sector de infraestructura y de apoyo a la producción. “La Bolivia Productiva, está orientada hacia la transformación, el cambio integrado y diversificación de la matriz productiva, logrando el desarrollo de los complejos productivos integrales, generando excedentes, ingreso y empleo, con la finalidad de cambiar el patrón primario exportador excluyente. Está conformada por los sectores estratégicos generadores de excedentes, como el sector de la construcción de la infraestructura caminera.

De acuerdo con la información oficial de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC, 2019), la red vial fundamental de Bolivia tiene una longitud 12.169 km, en la que es posible identificar cinco “corredores” carreteros, que representan la infraestructura a partir de la cual se pretende concretar la estrategia de los corredores bioceánicos: Este – Oeste, Norte – Sur, Oeste – Norte, Oeste – Sur y Central – Sur.

Considerando que el análisis de la política pública del gobierno, en el caso de la red vial fundamental la inversión pública en infraestructura carretera, muestra que el presupuesto programado para el período 2015-2019 era de 6665 millones de dólares americanos, y para el rubro de Conservación del Patrimonio Vial en el mismo periodo, se invirtió 924 millones de dólares americanos.

El tramo carretera entre Cotapata – Santa Bárbara, forma parte de la Ruta N° 3 de la Red Vial Fundamental de Bolivia, vinculando las poblaciones del norte del departamento de La Paz, y otras del departamento del Beni, con la ciudad capital política del país, que es la ciudad de La Paz, sirviendo así de importante conexión vial entre extensas zonas de la llanura beniana, con el altiplano, región boliviana desde donde es posible la vinculación

hasta los puertos del Pacífico, constituyéndose esta carretera en una ruta de singular importancia nacional e internacional.

El tramo atraviesa zonas montañosas sumamente abruptas, salvando un desnivel de 2.210 m, en una longitud de apenas 48,83 Km; partiendo de la localidad de Cotapata con una altitud de 3.178 m.s.n.m., llegando a Santa Bárbara con 968 m.s.n.m. Este notable y rápido descenso en tan corta distancia, requiere de un trazado muy sinuoso, que tiene 292 curvas horizontales, la construcción de numerosas obras de arte y cortes altos en las laderas, que conforman los denominados taludes de corte y de plataforma; muchos de ellos están además asegurados mediante anclajes y recubiertos con hormigón proyectado, (shootcret o gunitado) y otros con restitución de su cobertura vegetal.

La ley N° 602 del 14 de noviembre de 2014, establece como Objetivo regular el marco institucional y competencial para la gestión de riesgos, que incluye la reducción del riesgo a través de la prevención, mitigación, recuperación, la atención de desastres y/o emergencias, a través de la preparación, alerta, respuesta y rehabilitación ante riesgos de desastres ocasionados por amenazas naturales, socio-naturales, tecnológicas y antrópicas, así como vulnerabilidades sociales, económicas, físicas y ambientales, donde se establece como Riesgo a “la magnitud estimada de pérdida de vidas, personas heridas, propiedades afectadas, medio ambiente dañado y actividades económicas paralizadas, bienes y servicios afectados en un lugar dado, y durante un periodo de exposición determinado para una amenaza en particular, y las condiciones de vulnerabilidad de los sectores y población amenazada”.

Con relación a carreteras, solo se menciona en el artículo 22 inciso II – 4; “La rehabilitación, implica acciones inmediatas de reposición de los servicios básicos, de acceso vial y el restablecimiento de los medios de vida, así como, el inicio de la reparación de daños, resultantes de una situación de desastre y/o emergencia. Se realiza en forma paralela y/o posterior a la respuesta por el nivel central del Estado y las entidades territoriales autónomas según corresponda, una vez efectuada la evaluación del desastre y/o emergencia”.

El Riesgo Natural o Ambiental, en sí mismo, es de mayor o menor probabilidad de que produzca un daño o catástrofe social en una zona, debido a la actividad de un proceso natural. Partiendo de esta consideración sintética y muy general, deben matizarse diferentes puntos: Siempre hay una interferencia potencial al menos entre procesos naturales y sociales; de lo contrario, el concepto de riesgo no tiene sentido por ello el

riesgo implica, en sí mismo, una evaluación. (Guía Para La Elaboración De Estudios Del Medio Físico Ministerio de Medio Ambiente de España, 2004)

Hoy en día el riesgo ambiental (environmental risk), es entendido de un modo genérico, como la posibilidad de que se produzca un daño o catástrofe en el medio ambiente, debido a un fenómeno natural o a una acción humana. (Schinitman, N. I. 2011).

Teniendo en cuenta lo precedente, y sabiendo de que no existe una identificación del riesgo dentro la infraestructura vial, conociendo los recursos asignados a la Construcción y Mantenimiento de las carreteras, es importante generar información, como insumo necesarios, para que el tomador de decisión tenga los elementos de juicio necesarios y suficientes, para tomar la mejor opción; para llegar a este objetivo, consideramos la utilización de métodos de evaluación multicriterio, basados en la valoración de expertos y modelos matemáticos estadísticos, asociados a las nuevas tecnologías de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permita alcanzar esta meta.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Realizar una evaluación de riesgos ambientales, conlleva el análisis de un gran número de factores ambientales (Físicos, Biológicos y Humanos), la identificación adecuada del nivel de riesgo mediante una zonificación dentro del área de influencia del proyecto vial, lo cual permitiría en el futuro, la distribución adecuada de la maquinaria, equipo, personal y recursos para responder adecuadamente a los riesgos ambientales de la infraestructura vial, y de esta forma poder tener transitabilidad absoluta.

La Evaluación Multicriterio (EMC), puede facilitar esta tarea, ya que este conjunto de técnicas cuantitativas, orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones, según Henk Voogd es “Investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto” (Gomez y Barredo, 2005).

## **1.3. HIPÓTESIS.**

### **1.3.1. Hipótesis Alternativa.**

La utilización y manejo de herramientas geoespaciales para el análisis y evaluación de amenazas, permitirá definir la zonificación de riesgos ambientales para carreteras, en el área de influencia directa del tramo Cotapata – Santa Bárbara.



### **1.3.2. Hipótesis Nula.**

La utilización y manejo de herramientas geoespaciales para el análisis y evaluación de amenazas, **no** permitirá definir la zonificación de riesgos ambientales para carreteras, en el área de influencia directa del tramo.

## **1.4. OBJETIVOS.**

### **1.4.1. Objetivo General.**

Proponer una metodología de evaluación de riesgos, para determinar los riesgos ambientales en proyectos viales, aplicando una evaluación multicriterio.

### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

- Establecer los factores ambientales a ser considerados en la investigación del componente Físico, Biológico y Humano.
- Definir los atributos ambientales a ser evaluados en la metodología.
- Determinar la clasificación de vías, de la red vial en Bolivia.
- Identificar los factores de Amenaza y Vulnerabilidad.
- Generación de la matriz de Jerarquización Analítica para determinar los pesos de los factores de Amenaza y Vulnerabilidad.
- Determinar el modelo multicriterio para la definición del Riesgo Ambiental.

## **1.5. UBICACIÓN**

El tramo vial del estudio de caso de esta propuesta metodológica, forma parte de la Ruta N° 3 de la Red Fundamental de Carreteras de Bolivia, que vincula las localidades de Cotapata (km - 00+005,45) y Santa Bárbara (km 50+726,23), formando parte de la ruta nacional entre Trinidad – La Paz que comunica las llanuras benianas con el altiplano. Se desarrolla íntegramente en la región montañosa situada en la Provincia Nor Yungas del Departamento de La Paz, salvando un desnivel de 2.210 m de altitud entre su inicio en Cotapata y la progresiva final en el puente sobre el río Santa Bárbara.

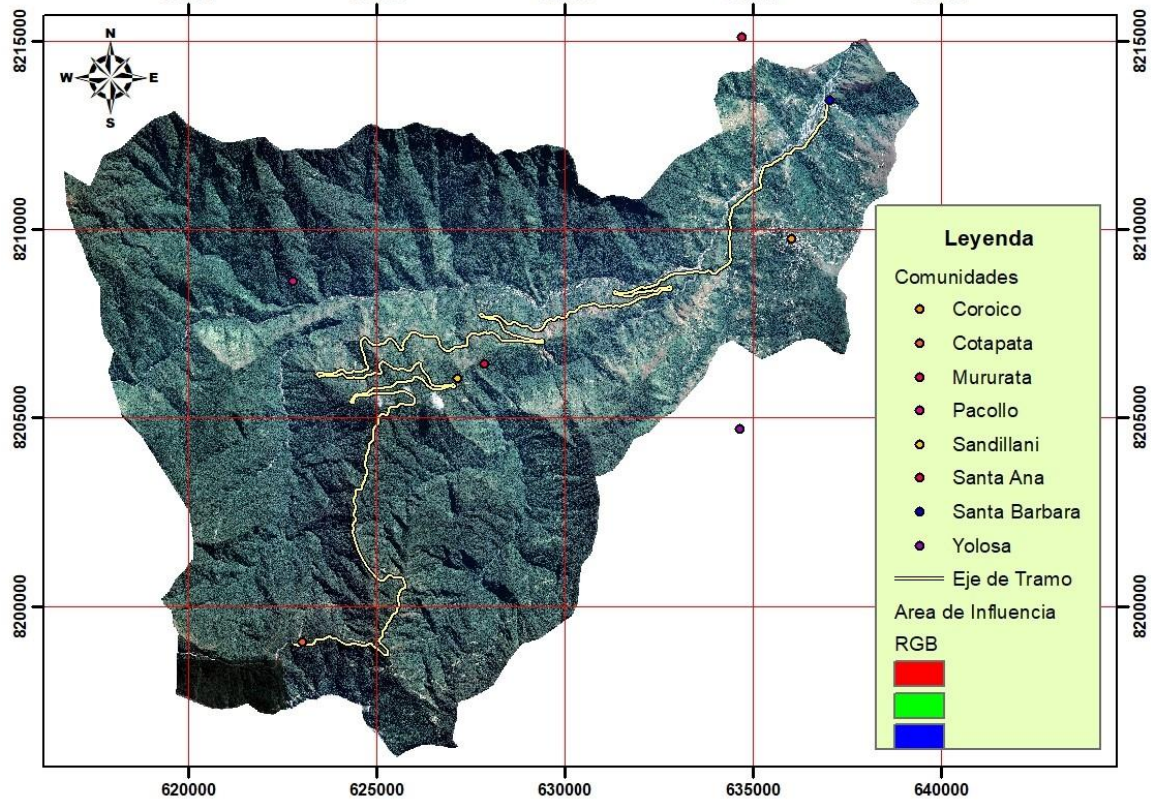
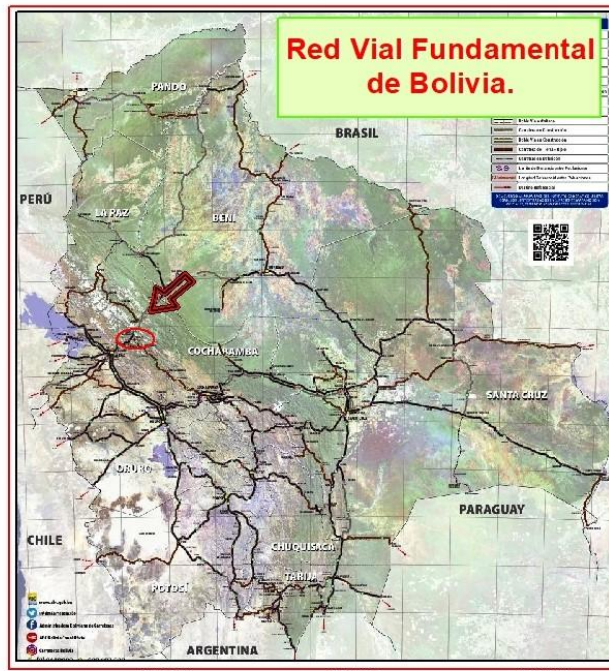


Figura N° 1. Ubicación geografía de la carretera.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. MARCO REFERENCIAL**

En cualquier proyecto, obra y actividad, se reconoce la necesidad de compatibilizar el continuo crecimiento económico, con la equidad social, la protección y administración eficiente del ambiente.

Debe tomarse en cuenta estas consideraciones anteriores dentro lo que se conoce como “Desarrollo Sostenible”, ya que las medidas que se adopten después de la evaluación de Riesgos Ambientales, tienen que facilitar la implementación de acciones racionales, en función de los respectivos costos y beneficios involucrados.

Sólo así, la gestión ambiental logrará traducir sus objetivos en señales concretas y podrá tener éxito en despertar un interés por evitar el deterioro del ambiente.

Hasta ahora, el trabajo de construcción de carreteras no ha tomado en cuenta criterios, ambientales relacionados a Riesgos Ambientales (RA), que se consideran en la actualidad de gran importancia, debido a algunas consecuencias adversas para el ambiente ocurrido en diversas partes de Bolivia; es por esta razón que, el nuevo enfoque para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras debe tener en cuenta requerimientos de tipo ambiental relacionados a RA.

Los RA es un concepto de uso reciente, en el mundo y nuestro país, este concepto es todavía poco claro, pese a que su importancia en diferentes actividades es cada vez mayor, más aún cuando adquiere notoriedad económica y social.

En principio, este término surge relacionado a la Actividad Industrial donde hace referencia a aquellas instalaciones, efluentes, emisiones restos o depósitos de residuos producidos por actividades que se encuentran en la actualidad en etapa de operación, que se constituyen en un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad pública o privada.

##### **2.1.1. Definiciones de Riesgo Ambiental.**

Los riesgos ambientales (RA), se pueden conceptualizar de un modo amplio, como la probabilidad de que ocurra un fenómeno natural o una acción humana que afecte, directa o indirectamente al medio ambiente (environment). Esos riesgos, resultan cada vez más

relevantes para la sociedad, debido que para alcanzar una alta calidad, es preciso minimizarlos o, en la medida de lo posible, despejarlos.

La definición de Riesgo Ambiental (environmental risk), es entendido de un modo genérico como: la posibilidad de que se produzca un daño o catástrofe en el medio ambiente, debido a un fenómeno natural o a una acción humana (Schinitman, Norberto I 2011).

Para la US-EPA (Agencia de Protección Ambiental de los E.U.A), concibe al RA como la posibilidad de efectos dañinos a la salud humana, o a los ecosistemas resultante de la exposición a un estrés ambiental (cualquier entidad o cosa física, química o biológica, que puede inducir una respuesta adversa, o afectar desfavorablemente algunos recursos naturales o ecosistemas completos).

En ciencias ambientales, se denomina riesgo ambiental a la posibilidad de que se produzca un daño o catástrofe en el medio ambiente, debido a un fenómeno natural o a una acción humana. El riesgo ambiental representa un campo particular dentro del más amplio de los riesgos, que pueden ser evaluados y prevenidos. (Powell, 1996; citado en Ítaca 2006.).

### **2.1.2. Teoría del Riesgo.**

Los conceptos relativos a Riesgo que se muestran a continuación fueron tomados fundamentalmente de: Riesgos Naturales: evolución y modelos conceptuales (Rojas y Martínez 2011).

Estos modelos pueden ser analizados a partir de: Lavell (2001) señaló que el riesgo solo existe cuando hay una amenaza con determinadas condiciones de vulnerabilidad, interactuando entre ambas en un espacio y tiempo determinado. Para comprender cualquier modelo conceptual de riesgo, se debe tener presente lo mencionado por este autor. Cardona (1993) señala cinco puntos a considerar al momento de evaluar la amenaza, la vulnerabilidad y finalmente el riesgo.

- ✓ Escala del Espacio.
- ✓ Mitigación a Adoptar.
- ✓ Información Disponible y factible.
- ✓ Importancia de la exposición.
- ✓ Resoluciones posibles en la etapa de evaluación.

La Oficina de Coordinación para el Socorro en caso de Desastres, perteneciente a Naciones Unidas (UNDRO), en conjunto con la UNESCO, plantean la ecuación del riesgo mediante la siguiente fórmula (Cardona, 1993).

$$R_t = (E) (R_s) = (E) (H * V)$$

Entendiendo por:

**R<sub>t</sub>** (TOTAL RISK/ RIESGO TOTAL): Número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de evento desastroso, es decir el producto del Riesgo Específico (R<sub>s</sub>) y los elementos bajo riesgo (E).

**E** (ELEMENTS AT RISK / ELEMENTOS BAJO RIESGO): Equivale a la población, las edificaciones y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta en un área determinada.

**R<sub>s</sub>** (SPECIFIC RISK/ RIESGO ESPECÍFICO): Grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la Amenaza y la Vulnerabilidad.

**H** (HAZARD/ AMENAZA O PELIGRO): Entendida como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado.

**V** (VULNERABILITY / VULNERABILIDAD): Definida como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total.

En 1985, en el Instituto de Ingeniería Sísmica y Sismología (IZIIS), de Yugoslavia, se propone eliminar la variable exposición, ya que consideraron que esta se encuentra implícita en la vulnerabilidad, a pesar de esto conservaron la conceptualización de la UNDRO, la nueva formulación fue expresada de la siguiente forma:

$$R_{ie} = f (A_i * V_e)$$

Entendiendo por:

A<sub>i</sub> (AMENAZA)= Probabilidad de que se presente un evento con una intensidad mayor o igual a *i* durante un período de exposición *t*.

V<sub>e</sub> (VULNERABILIDAD): Predisposición intrínseca de un elemento expuesto a ser afectado o de ser susceptible a sufrir una pérdida ante la ocurrencia de un evento con una intensidad *i*.

R<sub>ie</sub> (RIESGO): Probabilidad de que se presente una pérdida sobre el elemento *e*, como consecuencia de la ocurrencia de un evento con una intensidad mayor o igual a *i*.

Para la OEA (1993), los estudios de riesgos naturales descansan sobre el análisis de la Amenaza y la Vulnerabilidad, expresándose en la siguiente fórmula:

$$R = A * V$$

Entendiendo por:

A (AMENAZA O PELIGRO) = Entrega información de la ubicación y severidad de un fenómeno peligroso. Además, incluye la probabilidad de ocurrencia en un tiempo y área dado. Su evaluación se debe realizar considerando la información científica e histórica de una determinada área.

V (VULNERABILIDAD)= La vulnerabilidad es el estimado del grado de pérdidas y daños que pueden resultar de la ocurrencia de un fenómeno natural de severidad determinada.

R (RIESGO)= Corresponde a la integración del análisis de peligros de un área, y de su vulnerabilidad a ellos por lo tanto, es un estimado de las probables pérdidas previsibles para un determinado evento peligroso.

Científicos de la Unión Europea, manejan el riesgo en base a tres componentes: Amenaza (A), Vulnerabilidad (V) y Exposición (E), bajo esta óptica la reducción del riesgo se puede realizar reduciendo cualquiera de los tres componentes. Amenaza y Exposición se relacionan con el fenómeno natural, el modelo se expresa de la siguiente manera (Villagrán, s.f.):

$$R = A * V * E$$

Entendiendo por:

A (AMENAZA): Corresponde al análisis del peligro natural en sí.

E (EXPOSICIÓN): Corresponde a la posición geográfica de una infraestructura o de la gente en relación a la amenaza.

V (VULNERABILIDAD): Consideración y grado de pérdidas y daño.

Wilches-Chaux, indica que la prevención y la mitigación buscan evitar el desastre, la primera reduce o evita la amenaza y la segunda la vulnerabilidad, si uno de los dos tiene o se establece en "0" el riesgo como tal también tendería a "0". En la práctica la búsqueda de este resultado no será posible en la mayoría de las ocasiones. El concepto de preparación busca "reducir al máximo la duración del período de emergencia post desastre y en consecuencia, acelerar e inicio de las etapas de rehabilitación y reconstrucción", se añade a la formula como divisor (Wilches-Chaux, en Maskrey, 1993).

$$\text{Riesgo (R)} = \frac{\text{Amenaza (A)} * \text{Vulnerabilidad (V)}}{\text{Capacidad de Preparación (CP)}}$$

Entendiendo por:

CAPACIDAD DE PREPARACIÓN (CP)= Corresponde al conjunto de medidas que se toman antes de que ocurra un potencial peligro, cuyo objetivo es reducir los daños o pérdidas humanas durante el evento.

Villagrán (s.f.), reconociendo de que el riesgo representa las deficiencias o aspectos negativos, propone el siguiente modelo para el riesgo:

$$\text{Riesgo (R)} = \text{Amenaza (A)} * \text{Vulnerabilidad (V)} * \text{Deficiencias de Preparación (DP)}$$

Entendiendo por

A (AMENAZA)= Posibilidad que se presente un fenómeno natural de una probable magnitud o intensidad y que abarque una zona geográfica delimitada.

V (VULNERABILIDAD)= Propensión de las estructuras sociales, entendiéndose como tales: población, edificaciones, instancias, espacios de acción, organizaciones, estructuras.

DF (DEFICIENCIAS DE PREPARACIÓN) = Deficiencias que existen con respecto a las medidas y actividades que se deben realizar durante el fenómeno para reducir la pérdida de vidas humanas y de la propiedad.

Una nueva aproximación al Riesgo Natural

OEA (1993) De acuerdo a la revisión bibliográfica, se detecta una ausencia en la incorporación de las cartografías de Recurrencia Histórica como factor del análisis de riesgo, si bien se la menciona, pero no lo incluye explícitamente. El modelo propuesto, considera la interacción de tres factores de riesgo: Amenaza (A), Recurrencia Histórica (RH); y vulnerabilidad (V).

Se considera la Amenaza como un factor dependiente de RH, es decir, el análisis de RH se entiende como un factor validador del análisis de la Amenaza, lo que matemáticamente se representa como:

$$R = (A (RH)) * V$$

Entendiendo por:

RH (RECURRENCIA HISTÓRICA) = Historia significativa del peligro en el área, su distribución temporal y espacial, que permite la reconstrucción de la dinámica del fenómeno.

A (AMENAZA)= Probabilidad de ocurrencia de un peligro natural, de magnitud y frecuencia determinada, que permite obtener la posible ubicación y severidad del evento.

V (VULNERABILIDAD)= Concepto eminentemente social, acumulativo de fragilidades (terrenos inestables, viviendas precarias, falta de medios para satisfacer necesidades). Cada fragilidad se puede expresar en una denominada vulnerabilidad individual o específica, la suma de estas se denomina vulnerabilidad global. La vulnerabilidad global representa la capacidad potencial de un grupo de personas para anticipar, sobrevivir, resistir y recuperarse de un impacto de un desastre o catástrofe (Blakie, 1996; Campos, 1998; Cardona, 2001; Romero y Maskrey en Maskrey, 1993; Wilches-Chaux en Maskrey, 1993).

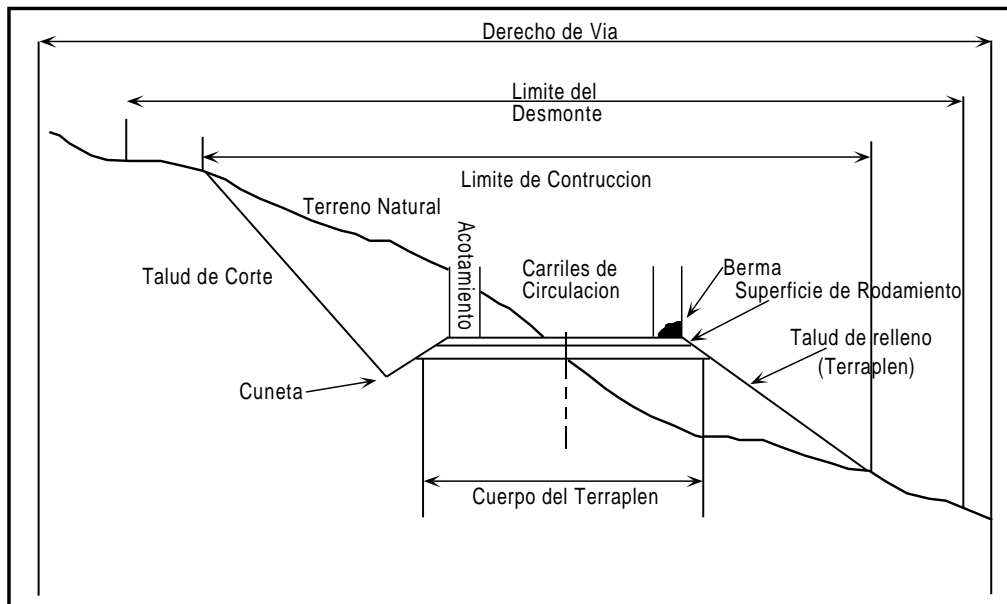
R (RIESGO)= Probabilidad de ocurrencia de un peligro en un área determinada, que pueda generar potenciales daños y pérdidas en el medio antrópico, así como la capacidad de este para poder recuperarse. Representa la plasmación territorial de una actuación humana poco acorde con los rasgos extremos de medio donde tiene lugar (Ayala-Carcedo y Olcina, 2002; OEA, 1993; Wilches-Chaux en Maskrey, 1993).



### 2.1.3. Definición de Carretera.

El término de “Carretera”, se empleará para designar una vía con altas características de diseño, proyectadas para ser utilizadas por importantes volúmenes de tránsito, y que tiene como función principal: el permitir el tránsito ininterrumpido a elevados volúmenes de demanda, en los que coexistirán vehículos rápidos y lentos (automóviles y camiones), sin que se restrinjan la libertad de maniobra y selección de velocidad deseada. (Glosario de Términos Ambientales - Sector Carreteras, 2010).

Consecuentemente deberá siempre contar con pavimento de tipo superior y señalización a fin de que el tránsito de vehículos y peatones pueda llevarse a cabo en forma segura, fluida, ordenada y cómoda.



**Figura N° 2.** Esquema en sección transversal de una carretera.

**Fuente:** Mancilla. N. 2012.

### 2.1.4. Derecho de Vía.

Es la propiedad requerida para ser utilizada en la construcción, operación y mantenimiento de una carretera. Es una faja de ancho variable (mínimo 50 metros) dentro de la cual se encuentra comprendida la carretera y todas sus obras accesorias, en la cual el contratista podrá realizar todos los trabajos emergentes de la obra. La propiedad del terreno de Derecho de Vía será adquirida por el Estado, cuando ello sea preciso, por expropiación o por negociación con los propietarios. (Glosario de Términos Ambientales - Sector Carreteras, 2010).

### **2.1.5. Área de Influencia Directa.**

Se define como área de influencia directa, al espacio físico que será ocupado en forma permanente o temporal durante la construcción y operación de toda la infraestructura requerida, así como al espacio ocupado por las facilidades auxiliares del proyecto. También son considerados los espacios colindantes donde un componente ambiental puede ser persistentemente o significativamente afectado por el proyecto. Dentro del área de influencia directa, también se incluyen las áreas seleccionadas como depósitos de materiales excedentes, áreas de préstamo y canteras, almacenes y patios de máquinas principalmente. (Glosario de Términos Ambientales - Sector Carreteras, 2010).

Estas áreas serán impactadas directamente en el proceso de construcción y operación del proyecto, originando perturbaciones en diversos grados sobre el medio ambiente y sus componentes físicos, biológicos y socioeconómicos.

### **2.1.6. Área de Influencia Indirecta.**

Esta área está definida como el espacio físico en el que un componente ambiental afectado directamente, afecta a su vez a otro u otros componentes ambientales no relacionados con el proyecto, aunque sea con una intensidad mínima. Esta área debe ser ubicada en algún tipo de delimitación territorial. Estas delimitaciones territoriales pueden ser geográficas (cuencas o sub cuencas) y/o político/administrativas. (Glosario de Términos Ambientales-Sector Carreteras, 2010).

### **2.1.7. Técnicas y Herramientas para el Estudio del Riesgo.**

#### **2.1.7.1. Global Navigation Satellite System (GNSS).**

Se denomina Sistema Global de Navegación por Satélite por sus siglas en inglés, el sistema se basa en una constelación de satélites artificiales que orbitan la tierra a una alturas superiores a los 20.000 km desde la cual transmiten su posición tridimensional o efemérides (posición y velocidad del satélite) a toda la superficie de la tierra.

Este tipo de sistemas fueron diseñados para determinar las coordenadas geográficas de un objeto sin importar si está en el mar, en el aire o en una montaña. (<https://gpstotal.org/es/gps/gnss>).

#### **2.1.7.2. Global Positioning System (GPS).**

El Sistema GPS fue creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para constituir un sistema de navegación preciso con fines militares. Para ello, aprovecharon

las condiciones de la propagación de las ondas de radio de la banda L en el espacio, así como la posibilidad de modular las ondas para que en ellas se pueda incluir la información necesaria que permita posicionar un objeto en el sistema de referencia apropiado. Este proyecto se hizo realidad entre los meses de febrero y diciembre de 1978, cuando se lanzaron los cuatro primeros satélites de la constelación NAVSTAR, que hacían posible resolver la incógnita de nuestra posición en la Tierra.

El sistema GPS, está compuesto por una red, en principio de 24 satélites (21 + 3 de repuesto), aunque en la actualidad existen 27 satélites operativos, puesto que la vida de alguno ellos han sido mayor que la prevista inicialmente. Están situados en una órbita a unos 20.180 km de altitud media sobre el nivel del mar.

La constelación está formada por seis planos orbitales, y en cada uno de ellos existe una órbita elíptica casi circular donde se alojan cuatro satélites regularmente distribuidos. Los planos tienen una inclinación de 55° respecto al plano del ecuador, y se nombran como A, B, C, D, E y F. (<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11417/fichero/Cap%C3%ADtulos+%252F2-+Sistema+de+Navegacion+con+ayuda+de+sat%C3%A9lites.pdf>)

### **2.1.7.3. Global Orbiting Navigation Satellite System (GLONASS).**

El Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélite, administrado por el Ministerio de Defensa de la Unión Soviética en los años 1982, empezó a ser funcional en el año 1996 donde se notaba un gran progreso de la constelación, ya el 2007 que hubo suficientes satélites operativos como para dar servicio a toda Rusia.

El sistema GLONASS, está compuesto por una constelación de 31 satélites distribuidos en tres planos orbitales, 8 satélites en cada uno de estos y siguiendo una órbita inclinada de 64.8° con un radio de 25.510 Km la constelación orbita alrededor de la tierra a una altura de 19.100 Km.

El resultado de un acuerdo entre EEUU y Rusia, aparecieron equipos receptores de ambos sistemas, GPS y GLONASS, para favorecer el número de observables y mejorar la precisión pues en aquella época existían intervalos de tiempo en los que en el horizonte no se podían observar más de 4 satélites GPS, si por lo menos se disponía de 3 satélites GLONASS, el posicionamiento se mejoraba. (UBLOX, GPS Essentials of Satellite Navigation, 2009).

#### **2.1.7.4. Galileo.**

Galileo es un sistema navegación global por satélite desarrollado por la Unión Europa basado en satélites, bajo control civil y es interoperable con GPS y GLONASS.

El segmento del espacio de Galileo abarcará una constelación de un total de 30 satélites medios de la órbita de la tierra, de los cuales 3 son repuestos. Sus orbitas circulares sobre la tierra están a 23.222 km de altura con una inclinación orbital de 56°.

Tres planos orbitales equidistantes, nueve satélites operacionales, equidistantes en cada plano. Cada satélite difundirá señales exactas del tiempo, el calendario astronómico y otros datos. ([http://www.esa.int/Our\\_Activities/Navigation/Galileo/What\\_is\\_Galileo](http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Galileo/What_is_Galileo))

#### **2.1.7.5. Beidou.**

BeiDou es el nombre que China le ha dado a la constelación de la OSA Mayor, desde el 2000 esta primera generación de satélites artificiales quedo operativa como un sistema de posicionamiento regional ya que solo daba servicio en China y en países aledaños, fue desarrollada por la Academia de Tecnología Espacial de China (CAST) proporcionando datos de posicionamiento para usos comercial y militar en China y algunas zonas de Asia oriental. El gobierno chino permite a los civiles hacer uso de este sistema, lo que convierte a China en el tercer país con un sistema de navegación por satélite operativo en el mundo.

Los dos primeros satélites de esta generación fueron nombrados como BeiDou 1A y BeiDou 1B y fueron lanzados al espacio desde el centro de lanzamientos de satélites en Xichang el 31 de octubre del 2000 y 21 de diciembre del mismo año respectivamente.

A finales del 2001 el sistema dio sus primeras señales de vida proporcionando los primeros datos navegación y posicionamiento y para el 2003 se lanzó el tercer satélite de nombre BeiDou 1C que tenía la funcionalidad de satélite de respaldo, con el lanzamiento de este tercer satélite se pone en completo funcionamiento este sistema de navegación por satélite dando servicio únicamente en China.

Esta segunda generación es capaz de proporcionar posicionamiento 3D pasivo en tiempo real y permite la medición de velocidad, en primera instancia proporcionara posicionamiento de alta precisión a los usuarios en China y áreas aledañas con un área aproximada de 120 grado de longitud en el hemisferio norte.

BeiDou proporcionará dos tipos de servicios, el primero civil con una precisión de 10 metros en posicionamiento, velocidad con una precisión de 0.2 m/s, y con una precisión en tiempo de hasta 50 nanosegundos, y su segundo servicio será de uso militar o para usuarios autorizados con presiones mucho más altas que las civiles.

El año 2020 los servicios a nivel mundial, se tienen 35 satélites orbitando la tierra de los cuales, 5 satélites estarán en órbita estacionaria a una altura aproximada de 35.786 km, 27 satélites en órbita terrestre media (MEO) y 3 en geo sincrónica inclinada. (<http://www.beidou.gov.cn/attach/2016/11/07/21212.pdf>)

### **2.1.8. Teledetección o Percepción Remota.**

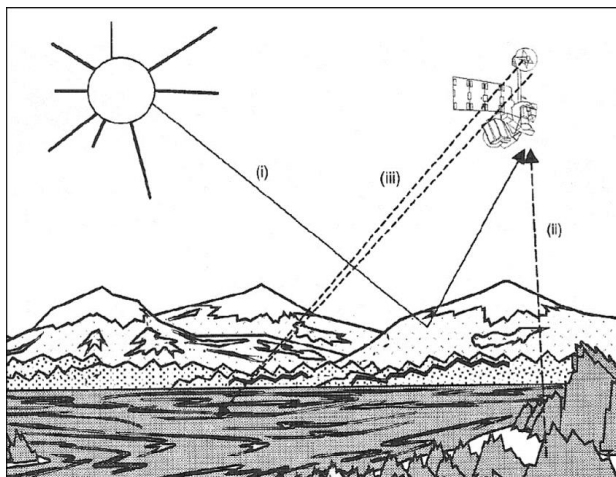
Las definiciones sobre Teledetección puntualizadas en este acápite, comprenden a la publicación “Uso de la teledetección y los SIG en la vigilancia de la calidad del agua” del 2017.

La teledetección espacial es la técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, suponiendo que entre la tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar, de un haz energético artificial o por emisión propia. (Chuvienco, 2008).

### **2.1.9. Fundamentos Físicos de la Teledetección.**

La teledetección es una técnica que permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. Para ello, es necesario que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción, distinguiéndolos dependiendo de la información que este les envía.

Imprescindiblemente cualquier sistema de teledetección tiene que contar con un sensor, una superficie observada y de un flujo energético entre ambos que los relacione y permita en última instancia la discriminación entre los diferentes tipos de superficie.



**Figura N° 3.** Formas de Teledetección (i)Reflexión (ii)Emisión (iii)Reflexión-Emisión.

Fuente. Chuvieco 2008.

La forma con la que se consigue la interacción con la superficie depende de cada sensor, estableciéndose un flujo por (i)reflexión cuando el sensor capta un flujo energético proveniente del Sol reflejado por la superficie terrestre; por (ii)emisión cuando un dispositivo situado en la superficie emite una señal al espacio y es captada por el sensor; finalmente (iii)reflexión-emisión cuando es el propio sensor quien emite y capta la onda una vez reflejada en el objeto que se pretende estudiar. La Figura N° 2 representa gráficamente los conceptos introducidos hasta este punto.

En cualquiera de los tres casos definidos, el flujo energético constituye una forma de radiación electromagnética transmitida por radiación. Para poder entender completamente un sistema de teledetección, se detallan a continuación las dos teorías que tratan de explicar el comportamiento y las propiedades de la radiación electromagnética.

**1º Teoría Ondulatoria:** Según la teoría ondulatoria, la radiación electromagnética se transmite de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo, a la velocidad de la luz y conteniendo dos campos de fuerza, uno eléctrico y otro magnético, definidos por la longitud de onda y su frecuencia.

**2º Teoría Cuántica:** Establece la radiación electromagnética como una sucesión de fotones con masa igual a 0. Esta teoría permite calcular la cantidad de energía contenida en un fotón siempre y cuando se conozca

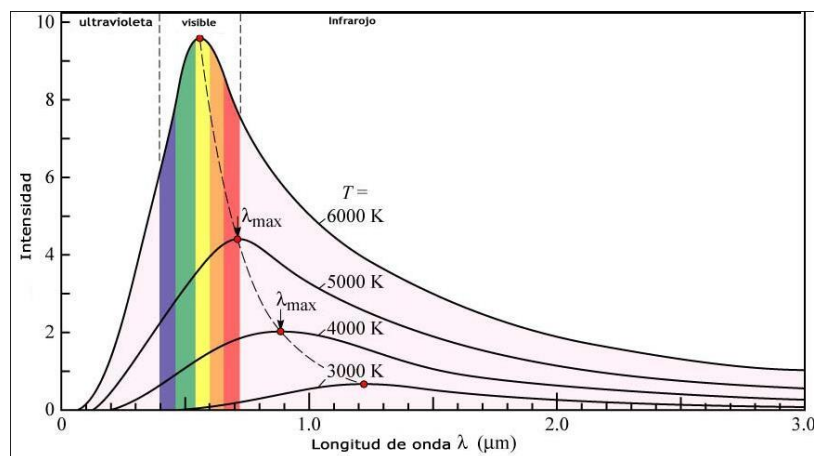
su frecuencia, correspondiendo una mayor energía a altas frecuencias y viceversa.

Aunque lo anteriormente expuesto corresponde al comportamiento ideal de un sistema de teledetección, en realidad existen interacciones entre el flujo energético por su paso a través de la atmósfera. La distorsión provocada, se rectifica mediante las correcciones; estando dirigidas a redefinir las longitudes de onda obtenidas por el sensor, procurando que cada elemento refleje sus longitudes de onda características, lo que se conoce como firma espectral.

### 2.1.10. El Espectro Electromagnético.

De acuerdo con la teoría cuántica, una menor longitud de onda conlleva un aumento de la energía contenida por la radiación electromagnética. La longitud de onda se relaciona con la frecuencia, siendo esta la inversa de la longitud de onda  $f=1/L$ . Siguiendo este principio, una onda de gran frecuencia tendrá consecuentemente una longitud de onda menor.

La radiación electromagnética ha sido previamente emitida por un cuerpo incandescente. Sus propiedades físicas dependen de la temperatura del cuerpo emisor, correspondiendo las altas temperaturas a grandes emisiones de energía y elevadas frecuencias de onda. En la Figura 0072, se muestra la relación existente entre la temperatura del objeto emisor y la longitud de onda del máximo de radiación emitida:



**Figura N° 4.** Relación de la temperatura con el máximo de radiación electromagnética emitida.

**Fuente:** Dpto. Física Aplicada Universidad de Sevilla.

A modo de análisis, se determina que el máximo de radiación emitida por un cuerpo a la temperatura del Sol a unos 6000K, corresponde al espectro visible. Conforme disminuye

la temperatura del cuerpo emisor, este máximo se desplaza hacia longitudes de ondas mayores, adentrándose en el infrarrojo. Con un aumento de la temperatura nos adentramos en espectro de los rayos ultravioleta.

Finalmente, aunque la sucesión de valores de longitud de onda es continua, actualmente se establecen una serie de bandas dónde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar. La organización de estas bandas dependiendo de su longitud de onda se denomina espectro electromagnético. Enfocados con el uso aplicado a la teledetección, conviene destacar cinco bandas espectrales, siendo estas las más comúnmente empleadas con la tecnología actual.

**Espectro Visible (VIS: 0,4 a 0,7 $\mu$ m):** Se denomina de esta forma porque es el único tipo de radiación electromagnética que consigue distinguir el ojo humano. Dentro del espectro visible se observan tres bandas elementales; rojo (0.7 a 0.6  $\mu$ m), verde (0.6 a 0.5  $\mu$ m) y azul (0.5 a 0.4  $\mu$ m). El espectro visible coincide con el máximo de radiación emitida por el Sol.

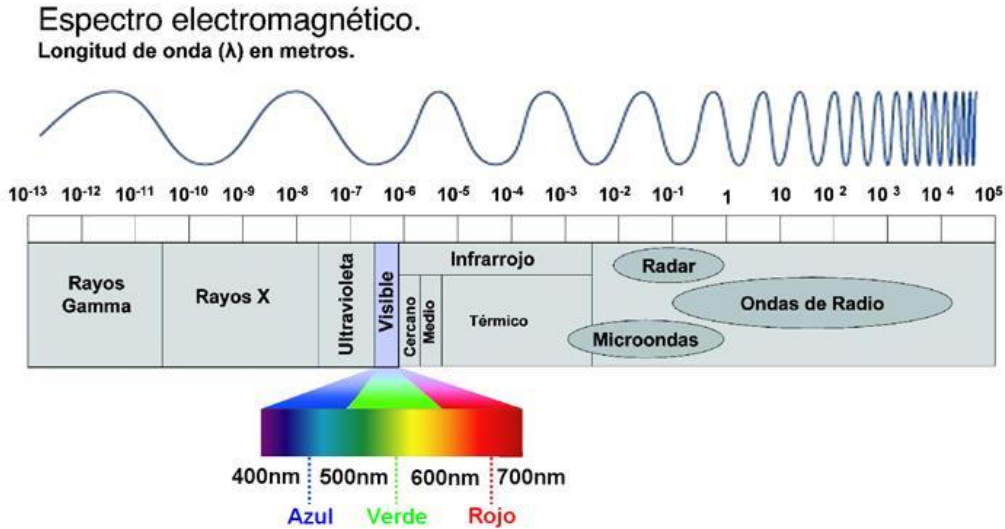
**Infrarrojo cercano (NIR: 0.7 a 1.3  $\mu$ m):** Resulta de especial importancia para discriminar masas vegetales, ya que coincide el NIR coincide con el máximo de reflexión de estas.

**Infrarrojo medio (SWIR: 1.3 a 8  $\mu$ m):** En esta región del espectro se entremezclan los procesos de reflexión solar en objetos y la emisión de energía electromagnética desde la superficie terrestre. Desde los 1.3  $\mu$ m hasta los 2.5  $\mu$ m resulta de utilidad para estimar la humedad contenida en los suelos. Desde los 2.5  $\mu$ m hasta los 8  $\mu$ m resulta el espectro idóneo para identificar y detectar incendios forestales además de procesos que alcanzan elevadas temperaturas en la superficie terrestre, como son las erupciones volcánicas.

**Infrarrojo lejano o térmico (TIR: 8 a 14  $\mu$ m):** En estas longitudes de onda se detecta con gran claridad el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres.

**Micro-ondas (a partir de 1 mm):** Resulta de gran interés ya que es un tipo de energía muy transparente a la atmósfera terrestre. Este tipo de espectro se utiliza cuando es el propio sensor quien emite y recibe la radiación (radar) y según sea reflejada, se discrimina entre los diferentes objetos.





**Figura N° 5.** Espectro electromagnético.

**Fuente:** Luz y pigmentos foto sintéticos. Khan Academy.

Finalmente, para que la radiación emitida o reflejada por la cubierta terrestre sea captada con las mínimas interferencias por el sensor situado en el espacio, se elige cuidadosamente el espectro electromagnético con el que trabajar. Esta elección es debido a la absorción de parte del espectro electromagnético por la atmósfera. Este comportamiento es conocido como ventanas atmosféricas.

### 2.1.11. La Interacción Atmosférica con la Radiación Electromagnética.

Todos los objetos (independientemente de la radiación que emitan) son receptores de radiación emitida por otros cuerpos. Al incidir la radiación electromagnética sobre los objetos, esta puede seguir los siguientes tres caminos.

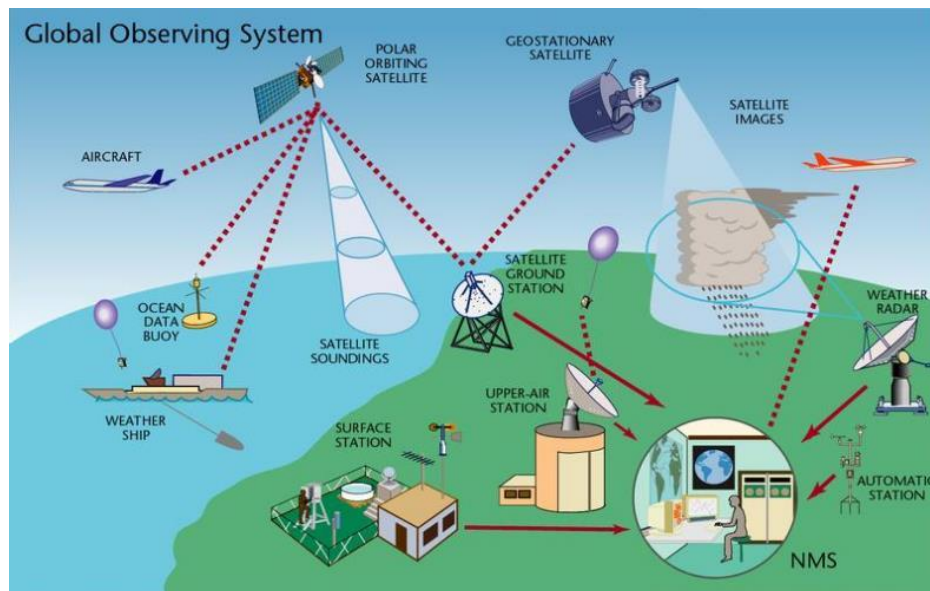
- 1. Reflejarse:** La radiación es reenviada de vuelta al espacio.
- 2. Absorberse:** La radiación pasa a incrementar la energía interna del objeto.
- 3. Transmitirse:** La radiación se transmite del objeto que la ha recibido a otro colindante.

De modo que la suma de los tres procesos Reflexión (p), Absorción (a) y Transmisión (t), suman el total de la energía recibida por el objeto. Por lo tanto, dependiendo del elemento incidente, este será más propenso a reflejar la energía que a absorberla y transmitirla o viceversa.

La atmósfera como medio físico compuesto principalmente por gases y aerosoles, es un factor importante a la hora de considerar los flujos de radiación entre el Sol, la superficie terrestre y los sensores situados a bordo de los satélites espaciales, siendo menester identificar los elementos atmosféricos que influyen en los fenómenos de absorción, los reflectivos y finalmente de transmisión.

### 2.1.12. Componentes de un Sistema de Teledetección.

Se ha introducido anteriormente el concepto de teledetección como la ciencia aplicada que permite obtener información de la superficie terrestre sin entrar en contacto directo con los objetos observados. Para cumplir con la definición, es menester un conjunto de elementos que posibiliten la captación de información terrestre por parte del sensor, para posteriormente transmitirla, almacenarla de manera comprensible y finalmente ser interpretada por un usuario final. Este conjunto de elementos son los constituyentes de un Sistema de Teledetección.



**Figura N° 6.** Interacción entre los diferentes componentes de un sistema de teledetección.

**Fuente:** World Meteorological Organization.

Tal y como reza Chuvieco en su obra Teledetección Ambiental (2008), un sistema de teledetección espacial incluye como mínimo seis elementos que interaccionan entre sí para dar lugar al conjunto de la Teledetección:

**Fuente de energía:** Expuesta como fuente de energía electromagnética dependiente de la temperatura, supone el origen de la radiación

electromagnética que detecta el sensor. Puede tratarse del mismo sensor que emite y capta la energía (teledetección activa) o de una fuente de energía externa al sensor, correspondiéndose este modelo a la teledetección pasiva.

**Cubierta terrestre:** Formada por los distintos elementos situados sobre la corteza terrestre, distinguiéndose principalmente masas de agua, materia vegetal y suelo desnudo etc. Que con sus propiedades físicas características reflejan de manera determinada la radiación.

**Sistema sensor:** Compuesto por el propio sensor y la plataforma que lo alberga. Capta la energía reflejada por la cubierta terrestre.

**Sistema de recepción de la información:** Situado en la superficie terrestre, recibe la información transmitida por el sensor y la almacena para ser posteriormente distribuida entre usuarios.

**Intérprete:** Convierte la información obtenida en datos de interés, con la finalidad de facilitar a un usuario final el empleo de dicha información.

**Usuario final:** Encargado de escrutar la información obtenida y dictaminar unas determinadas consecuencias a raíz de su estudio.

### **2.1.13. Tipos de Sensores.**

En la actualidad se identifican dos tipos de sensores dependiendo de la forma en la que captan la información de la superficie terrestre. Por una parte, se encuentran los denominados sensores pasivos, que captan la radiación electromagnética proveniente de la superficie terrestre. Por otra, existen los sensores activos, que permiten emitir ondas energéticas para captarlas una vez son reflejadas por la cubierta terrestre.

**Sensores pasivos:** Captan la energía electromagnética proveniente de la cubierta terrestre, ya sea producto de la reflexión de los rayos solares o emitida desde focos a elevada temperatura. Los sistemas fotográficos, los radiómetros multi e hiperespectrales y los espectrómetros de imagen son sensores pasivos.

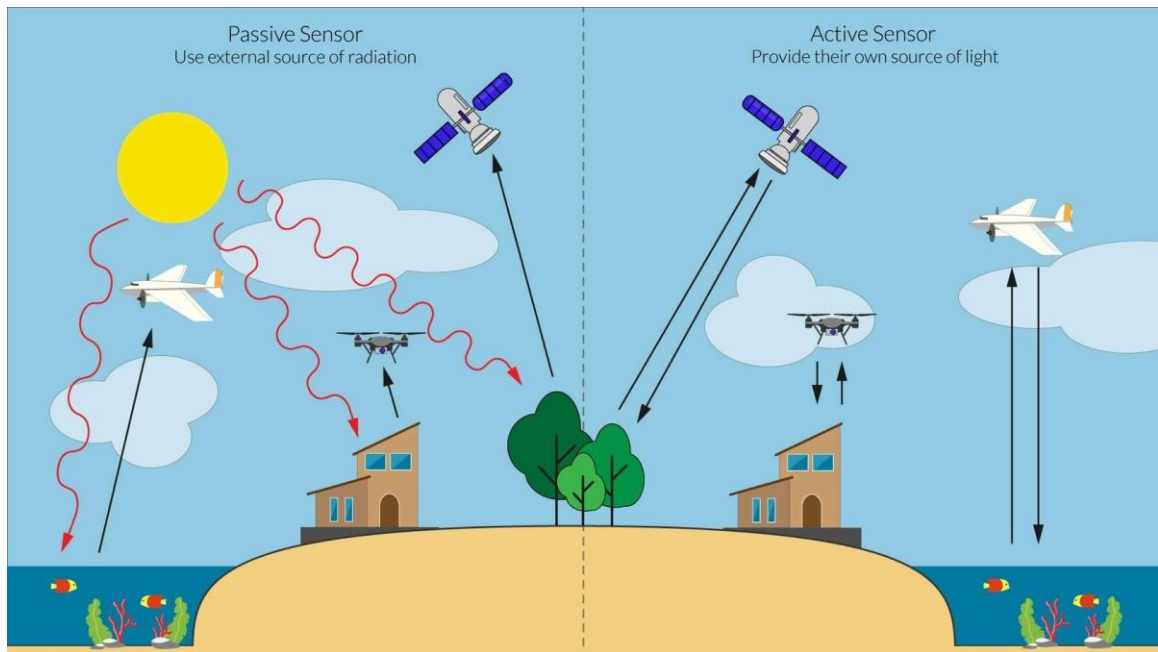
La principal ventaja de los sensores pasivos radica en la sensibilidad espectral, permitiendo la mayoría de ellos obtener simultáneamente información de las diferentes bandas espectrales, permitiendo discretizar el espectro.

La realización de observaciones sobre diferentes zonas del espectro electromagnético, aporta una amplia información sobre el estado del medio ambiente. Por ejemplo, la radiación ultravioleta se utiliza para monitorizar los niveles de ozono en la atmosfera, el espectro visible y el infrarrojo cercano para discriminar el estado de las masas vegetales y el infrarrojo lejano o térmico para detectar focos de calor correspondientes a incendios forestales existentes sobre la superficie terrestre. Finalmente, se procede a nombrar brevemente los diferentes dispositivos que utilizan sensores pasivos.

**Sistemas fotográficos:** Compuestos por cámaras analógicas y cámaras digitales, actualmente son los equipos que cuentan con una mejor resolución espacial. En contra partida, su uso se encuentra limitado a bordo de plataformas satelitales, empleándose especialmente a bordo de aeronaves.

**Radiómetros de micro-ondas:** También conocidos con el nombre de sensores de antena, se caracterizan porque operan con longitudes de ondas muy largas, siendo prácticamente transparentes a la atmósfera, obteniendo una elevada transmisividad.

**Sensores óptico-electrónicos:** Combinan una óptica similar a la fotográfica con un sistema de detección electrónico. Este hecho permite la instalación de estos sensores en plataformas orbitales, ya que permite realizar un envío de información continuo. Los máximos referentes de este tipo de sensores son los exploradores de barrido y los exploradores de empuje.



**Figura N° 7.** Ilustración del funcionamiento de un sensor Pasivo y Activo.

**Fuente** @ESA, 2011.

**Sensores activos:** La característica común que los relaciona es la capacidad que tienen para emitir un haz energético, que posteriormente captan tras su reflexión sobre la superficie que se pretende observar. La característica de la onda electromagnética reflejada corresponde con la reflectividad de la superficie estudiada. Esta tecnología se usa principalmente en los sistemas radar y lidar.

**Sistemas radar.** Su funcionamiento se basa en emitir un impulso de radio (longitudes de onda comprendidas entre 0.1cm y 1m), que se refleja en el objetivo y es reflectado. A partir de las características de la onda de reflexión se obtiene información del objeto. Actualmente tiene gran importancia en el ámbito del seguimiento meteorológico.

**Lidar.** Se trata de otro tipo de sensor activo. Este emite pulsos de luz polarizada entre el violeta y el infrarrojo cercano. En función del tiempo y la intensidad de la señal reflejada, se obtienen datos de altura y distancia de los objetos. Actualmente se trata de una tecnología muy de boga que permite la realización de modelos digitales de elevación.

#### 2.1.14. Sistemas de Información Geográfica.

Los SIG han tenido un papel importante como una tecnología avanzada de integración. A pesar de ser relativamente nuevos, los SIG han evolucionado gracias a la unión de un número discreto de pequeñas tecnologías en un todo. Los SIG han surgido como una tecnología muy poderosa ya que permiten a los profesionales integrar sus datos y métodos tradicionales de análisis geográfico, como el análisis de superposición de mapas, con nuevos tipos de análisis y modelación, que están más allá de los métodos manuales. Con los SIG es posible realizar mapas, modelos, consultas y análisis de grandes cantidades de información todos ellos apoyados en una base de datos.

Por todo esto, por la variedad de aplicaciones y por la variedad de sistemas desarrollados, existen en la actualidad dificultades para dar una definición única de los SIG. Por lo tanto, tratando de integrar todos los aspectos que cubren los SIG, se utilizará la siguiente definición (ESRI, 1995; GIS Development; NOAA):

"Los SIG son un sistema organizado de equipo informático, software, datos geográficos y descriptivos, así como diseños personales para hacer más eficiente la captura, almacenamiento, actualización, manipulación, análisis y despliegue de todas las formas de información georreferenciada"

La palabra SIG es un acrónimo de tres palabras básicas: Sistemas, Información y Geográfica, cuyo significado permite un fácil entendimiento.

**Sistemas.** Este término se utiliza para representar los subsistemas que integran los SIG. Es decir, un ambiente de trabajo complejo que se divide en diferentes componentes para una mayor facilidad de entendimiento y de manejo, pero considerándolas como parte integral de un todo. El avance en la informática ha ayudado e incluso necesitado de esta división para que la mayoría de los SIG se pudieran automatizar.

**Información.** Esta palabra representa la gran cantidad de datos que normalmente se requieren y manipulan en un SIG. Es decir, todos los objetos del "mundo real" tienen su propio grupo de características o atributos descriptivos en forma alfanumérica no espacial, formando la parte fundamental de la información de cada elemento geográfico que se encuentre en estudio.

**Geográfica.** Este término es la base de los SIG, ya que tratan primero cada elemento del “mundo real” de una forma geográfica o espacial. Es decir, estos elementos están referenciados o relacionados con una posición específica en el espacio. Sin embargo, estos elementos no sólo pueden ser físicos, sino que también pueden ser culturales o económicos. Por ejemplo, los elementos en un mapa son una representación gráfica de los objetos espaciales del “mundo real”, así como los símbolos, colores y estilos de líneas que se utilizan para representar los diferentes elementos espaciales de un mapa en dos dimensiones.

De acuerdo a lo establecido por Gómez y Barredo (2005), se agrupan las funciones de los SIG e en cuatro conjuntos:

**Entrada de información:** Esta etapa es fundamental para disponer de una base de datos potente, operativa, libre de errores, versátil, lo que permite posteriormente un adecuado funcionamiento del SIG.

**Gestión de datos:** Esta función de los SIG abarca las operaciones de almacenamiento y recuperación de los datos de la base de datos, es decir, los aspectos concernientes a la forma en que se organizan los datos espaciales y temáticos en la base de datos.

**Transformación y análisis de datos:** Esta función es el aspecto fundamental de los SIG, aquí radica todo su potencial operativo. Las funciones de transformación y análisis de datos son las que proveen “nuevos” datos a partir de los existentes originalmente, es aquí donde el usuario define los datos y como los utilizara, para resolver problemas espaciales determinados, estableciéndose así soluciones a través del SIG con las operaciones que utilizan los datos espaciales de diferentes maneras.

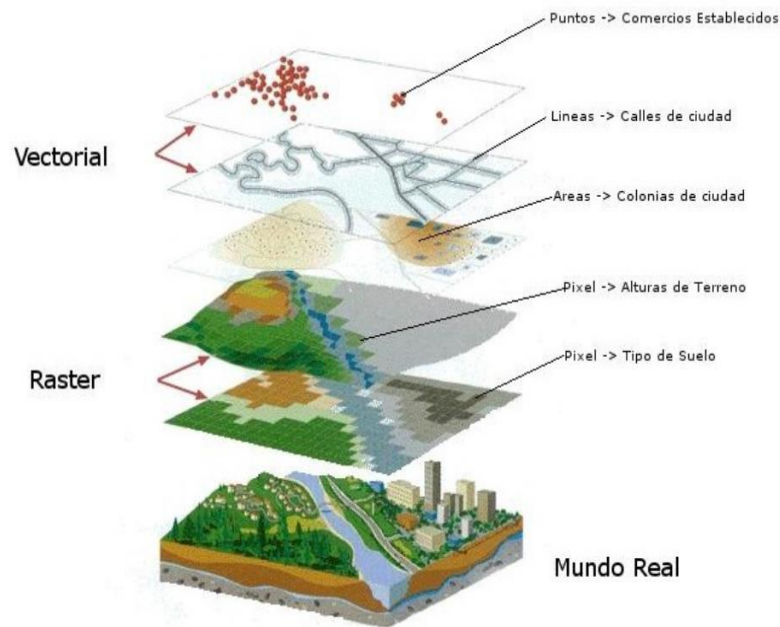
**Salida de datos:** En un SIG existen diversas formas de salida de datos, las cuales dependen de los requerimientos del usuario, las más frecuentes son: mapas analógicos, tablas de valores, gráficos, representaciones tridimensionales, simulaciones de vuelo sobre ciertas zonas; con estas salidas podemos representar la información contenida en la base de datos, o bien mostrar el resultado de determinar aplicaciones.

### 2.1.15. Modelo de Datos Espaciales.

El modelo lógico hace referencia a como se muestrean y organizan las variables y objetos para lograr una representación lo más adecuada posible. En un SIG existen básicamente dos modelos lógicos que se conocen como formato raster y formato vectorial y que dan lugar a los dos grandes tipos de capas de información espacial.

En el formato raster se divide el espacio en un conjunto regular de celdillas, cada una de estas celdillas (Pixel) contiene un número que puede ser el identificador de un objeto (si se trata de una capa que contiene objetos) o del valor de una variable (si la capa contiene esta variable).

En el formato vectorial los archivos son aquellos cuya naturaleza es de tipo vectorial. Los elementos geográficos se representan a partir de tres estructuras básicas: puntos, líneas y polígonos.



**Figura N° 8.** Tipos de presentaciones o formatos: Ráster y Vectorial.

*Fuente: ESRI, 2013.*

### 2.1.16. Digital Elevation Model (DEM) O Modelo Digital de Elevación (MDE).

El autor Maune, 2001, define como malla o red de valores de elevación (Z) regularmente espaciadas (en X, Y), referenciada a un datum (horizontal y vertical) y a un sistema de coordenadas, que representa la superficie del suelo desnudo (con exclusión de vegetación y características artificiales).



### **2.1.17. Evaluación Multicriterio.**

La evaluación multicriterio es una herramienta para la toma de decisiones en las que se requiere de un análisis de varios factores o limitantes que se relacionan directamente en el tema de riesgos.

La integración de la EMC y los SIG genera una potente herramienta para asistir en procesos de análisis espacial a través del modelado, en especial para la asignación / localización de actividades, generándose una serie de posibilidades de aplicación en los SIG, y pudiendo asistir de manera eficaz a procesos de planificación urbana, regional, y ordenación del territorio, o bien realizando operaciones de localización / asignación tomando en cuenta diversos criterios y múltiples objetivos (Barredo, 1996).

Actualmente varias herramientas que permiten la inclusión de ésta metodología en sistemas de información geográfica SIG están desarrolladas; con el fin de permitir un análisis avanzado de temas ambientales, sociales, hidrológicos, etc. considerando permanentemente la ubicación geográfica, además de que permiten considerar varios criterios en forma simultánea.

Este acápite definirá las características de la evaluación multicriterio dentro de los entornos de Sistemas de Información Geográfica:

**Definición:** El método de Evaluación Muticriterio/Multiobjetivo (EMC/MO) puede definirse como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones con el propósito básico de investigar alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos; se pueden entender como un mundo de conceptos y aproximaciones a partir de la elaboración de modelos, para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos con base en una evaluación expresada por puntuaciones, valores o intensidades, de preferencia, de acuerdo con diversos juicios (Gómez y Barredo, 2005).

De acuerdo con Chakhar (2003), casi todas las técnicas de EMC consisten en una primera etapa, del diseño de una matriz con los criterios y las alternativas definidos; la siguiente etapa consiste en la agregación de las distintas puntuaciones de los criterios, con el uso de algún procedimiento de agregación (la aplicación de alguna técnica de EMC) específico, tomando en cuenta la preferencia de los decisores expresada en término de pesos que se asignan a los diferentes criterios; ese procedimiento o técnica permite al decisor comparar entre las diferentes alternativas con base a los pesos asignados.

La Evaluación Multicriterio (EMC), es una herramienta muy utilizada como ayuda a la toma de decisiones espaciales orientadas a la planificación de territorio, permitiendo optimizar la localización de los usos del suelo, asignando estos a zonas que presenten la mayor aptitud y menor impacto posible, es decir, áreas con la mayor capacidad de acogida (Gómez y Barredo, 2005).

#### **2.1.17.1. Componentes de la Evaluación Multicriterio (EMC).**

Existen varias componentes dentro de la EMC, siendo las principales: objetivos, criterios (factores y limitantes), regla de decisión, funciones y evaluación. Estas componentes serán explicadas según Barredo (1996).

**a) Los Objetivos:** En el mundo de la EMC, un objetivo se puede entender como una función a desarrollar; aquí el objetivo indica la estructuración de la regla de decisión o el tipo de regla de decisión a utilizar. Los objetivos pueden ser múltiples en determinados problemas de planificación, decisión o localización / asignación de actividades, con lo cual nos podemos plantear una evaluación multiobjetivo. En evaluaciones de este tipo, los objetivos pueden ser complementarios o conflictivos.

**b) Los Criterios:** Son aquellos que dan la base para la toma de una decisión, la cual puede ser medida y evaluada. Pueden ser de dos tipos: factores y limitantes.

**Factor:** Es un criterio que realza o detracta la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración; por lo tanto, debe ser medido en una escala continua.

**Limitante:** Es un criterio que restringe la disponibilidad de algunas alternativas según la actividad evaluada; con este tipo de criterio se excluyen varias categorías de la capa analizada para la evaluación; es decir, se genera una capa binaria (0 ó 1) en la cual un código representa las alternativas susceptibles de ser elegidas para la actividad, y otro, la no disponibilidad para la actividad.

**c) La Regla de Decisión:** Es el procedimiento a través del cual se obtiene una evaluación particular, pudiendo también comparar a través de ella distintas evaluaciones con el fin de variar alguno de sus aspectos en el caso de ser necesario. Esto es posible ya que una regla de decisión está estructurada a partir de una serie de procedimientos (aritmético-estadísticos) que permiten integrar los criterios establecidos en un índice de simple composición; asimismo, puede proporcionar la manera de comparar las alternativas utilizando dicho índice.

**d) Las Funciones:** Existen las funciones de selección y las heurísticas. En las funciones de selección se intenta clasificar las alternativas en función de una característica medible, mientras que la selección heurística persigue obtener una selección de sólo algunas alternativas del conjunto global de ellas.

**e) La Evaluación:** Una vez que la regla de decisión ha sido estructurada, el proceso de aplicarla sobre las capas-criterio se llama evaluación, que producirá finalmente el modelo de decisión. La regla de decisión incluye procedimientos para llevar a cabo la EMC, así como para actuar sobre los resultados de la evaluación.

### **2.1.17.2. Métodos de Evaluación y Decisión Multicriterio.**

Los principales métodos de evaluación y decisión multicriterio discretos son los siguientes: Ponderación Lineal (scoring), Utilidad multiatributo (MAUT), Relaciones de superación y el Proceso analítico Jerárquico (AHP - Analytic Hierarchy Process).

#### **Ponderación Lineal (scoring)**

Es un método que permite abordar situaciones de incertidumbre o con pocos niveles de información. En dicho método se construye una función de valor para cada una de las alternativas. El método de Ponderación Lineal supone la transitividad de preferencias o la comparabilidad. Es un método completamente compensatorio, y puede resultar dependiente, y manipulable, de la asignación de pesos a los criterios o de la escala de medida de las evaluaciones. Es un método fácil y utilizado ampliamente en el mundo.

#### **Utilidad Multiatributo (MAUT)**

Para cada atributo se determina la correspondiente función de utilidad (parcial), y luego se agregan en una función de utilidad multiatributo de forma aditiva o multiplicativa. Al determinarse la utilidad de cada una de las alternativas se consigue una ordenación completa del conjunto finito de alternativas. El método de utilidad multiatributo supone la transitividad de preferencias o la comparabilidad, utiliza “escalas de intervalo”, y acepta el principio de “preservación de orden” (rank preservation). La condición de independencia preferencial mutua entre los atributos suele aceptarse casi axiomáticamente, e implícitamente es cuestionable y no refleja la estructura de preferencias del agente decisor. El rigor y rigidez de los supuestos teóricos de este método usualmente controvertidos y difíciles de contrastar en la práctica, lo que obliga a relajarlos, requiere un elevado nivel de información del agente decisor para la construcción de funciones de utilidad multiatributo, aunque permiten abordar fluidamente

cuestiones de incertidumbre y riesgo. No obstante, las dificultades en su utilización este método cuenta con una variedad de experiencias prácticas en Estados Unidos e Inglaterra” (Eduardo Martínez, 1998).

### **Relaciones de Superación**

Estos métodos usan como mecanismo básico el de las comparaciones binarias de alternativas, es decir comparaciones dos a dos de las alternativas, criterio por criterio. De esta forma puede construirse un coeficiente de concordancia  $C_{ik}$  asociado con cada par de alternativas  $(a_i, a_k)$ . Existen dos métodos de la escuela francesa: ELECTRE y PROMETHEE.

Del método ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité) ya existen varias versiones que usan pseudocriterios y la teoría de conjuntos difusos. El método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) se ha aplicado, con predicción para problemas de ubicación.

#### **2.1.17.3. Proceso Analítico Jerárquico (AHP- The Analytic Hierarchy Process).**

Este método, con el que abordaremos nuestro taller, fue desarrollado por el matemático Thomas Saaty en 1980 y consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un Modelo Jerárquico. El propósito del método es permitir que el agente decisor pueda estructurar un problema multicriterio en forma visual, mediante la construcción de un modelo que básicamente contiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas.

Una vez construido el Modelo Jerárquico, se realizan comparaciones por pares entre dichos elementos y se atribuyen valores numéricos a las preferencias señaladas por las personas, entregando una síntesis de las mismas mediante la agregación de esos juicios parciales.

El fundamento del proceso de Saaty descansa en el hecho que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas, logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende.

Según Saaty (2008), el proceso analítico jerárquico presenta el siguiente fundamento matemático:

#### **Establecimiento de Prioridades.**

El proceso analítico jerárquico exige que el tomador de decisiones establezca una preferencia o prioridad para cada una de las alternativas de decisión en términos de la medida en la que contribuya a cada criterio. Una vez establecida la preferencia o prioridad, se resume la información y se proporciona una jerarquización de prioridades de las alternativas, en términos de la preferencia global.

### Comparaciones Pareadas.

Para realizar comparaciones, es necesario definir una escala numérica que indique cuantas veces más importante o dominante un elemento es de otro con respecto al criterio sobre el cual se está comparando. Para estas comparaciones se utilizan escalas de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad, sobre la base de una escala numérica propuesta por el mismo Saaty, que va desde 1 hasta 9.

**Tabla N° 1.** Los juicios verbales son trasladados a una escala de Valoración puntuación.

**Fuente.** Saaty, R. W. (1987). The Analytic Hierarchy Process.

JUICIO VERBAL	Escala
Importancia absoluta del elemento $i$ sobre el elemento $j$ .	9
Muy marcada importancia del elemento $i$ sobre el elemento $j$ .	7
Marcada importancia del elemento $i$ sobre el elemento $j$ .	5
Poca importancia del elemento $i$ sobre el elemento $j$ .	3
Indiferente entre $i$ y $j$ .	1
Poca importancia del elemento $j$ sobre el elemento $i$ .	1/3
Marcada importancia del elemento $j$ sobre el elemento $i$ .	1/5
Muy marcada importancia del elemento $j$ sobre el elemento $i$ .	1/7
Importancia absoluta del elemento $j$ sobre el elemento $i$ .	1/9
Se utilizan en situaciones intermedias	2,4,6,8.

### Matriz de Comparaciones Pareadas.

La matriz de comparaciones pareadas es una matriz cuadrada que contiene comparaciones pareadas de alternativas o criterios.

Según Toskano (2005), se definen como: "Sea A una matriz  $n \times n$ , donde  $n \in \mathbb{Z}^+$ . Sea  $a_{ij}$  el elemento  $(i, j)$  de A, para  $i = 1, 2, \dots, n$ , y,  $j = 1, 2, \dots, n$ . Decimos que A es una matriz de comparaciones pareadas de  $n$  alternativas, si  $a_{ij}$  es la medida de la preferencia de la

alternativa en el renglón  $i$  cuando se le compara con la alternativa de la columna  $j$ . Cuando  $i = j$ , el valor de  $a_{ij}$  será igual a 1, pues se está comparando la alternativa consigo misma”.

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Matriz N° 1 – Matriz cuadrada de  $n \times n$

Además, se cumple que:  $a_{ij} \cdot a_{ji} = 1$ ;

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Matriz N° 2 – Matriz de comparaciones pareadas

Según García (2010), el proceso analítico jerárquico sustenta esto con los siguientes axiomas:

- ✓ Axioma 1 (Reciprocidad): Siendo  $A$  una matriz de comparaciones pareadas se cumple que  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ .
- ✓ Axioma 2 (Homogeneidad): Los elementos que se comparan deben ser del mismo orden de magnitud o jerarquía, es decir el decisor nunca juzga a una como infinitamente superior a la otra, bajo ningún criterio.
- ✓ Axioma 3 (Dependencia): Los problemas de decisión pueden ser formulados como una jerarquía, es decir que existe una dependencia jerárquica entre los elementos de dos niveles consecutivos.
- ✓ Axioma 4 (Expectativas): Las expectativas deben estar representadas en la jerarquía en términos de criterios y alternativas.

### Sintetización de Juicios

Según Toskano (2005), la sintetización de juicios se realiza para establecer la prioridad de cada uno de los elementos que se comparan en la matriz de comparación por pares. El proceso matemático para realizar la sintetización implica el cálculo de los valores y vectores característicos, el cual se logra a través del siguiente procedimiento;

Paso 1: Sumar los valores en cada columna de la matriz de comparaciones pareadas.

Paso 2: Dividir cada elemento de tal matriz entre el total de su columna; a la matriz resultante se le denomina matriz de comparaciones pareadas normalizada.

Paso 3: Calcular el promedio de los elementos de cada renglón de las prioridades relativas de los elementos que se comparan.

### Matriz de Prioridades.

La matriz de prioridades resume las prioridades para cada alternativa en términos de cada criterio. Para m criterios y n alternativas se tiene que:

$$\begin{array}{c}
 \text{Alternativa 1} \\
 \text{Alternativa 2} \\
 \dots \\
 \text{Alternativa n}
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 \text{Criterio 1} & \text{Criterio 2} & \dots & \text{Criterio m} \\
 P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\
 P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm}
 \end{bmatrix}$$

Matriz N° 3 – Matriz de prioridades de “m” criterios y “n” alternativas

Donde  $P_{ij}$  es la prioridad de la alternativa  $i$  con respecto al criterio  $j$ , para  $i = 1, 2, \dots, n$ ; y  $j = 1, 2, \dots, m$ .

La prioridad global para cada alternativa de decisión se resume en el vector columna que resulta del producto de la matriz de prioridades con el vector de prioridades de los criterios.

$$\begin{bmatrix}
 P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\
 P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm}
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 P'_1 \\
 P'_2 \\
 \vdots \\
 P'_m
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 P_{g1} \\
 P_{g2} \\
 \vdots \\
 P_{gn}
 \end{bmatrix}$$

#### Matriz N° 4 – Matriz de prioridades globales

Donde  $Pg_i$  es la prioridad global (respecto a la meta global) de la alternativa  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

#### Consistencia.

La medición del grado de consistencia de los juicios que muestra el tomador de decisiones durante las comparaciones pareadas es importante porque le permite saber si debe continuar con el proceso de decisión o debe reconsiderar o modificar sus juicios.

De forma matemática, se dice que una matriz de comparación  $A$   $n \times n$  es consistente si:  $a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}$ , para  $i, j, k = 1, 2, \dots, n$ .

Para determinar si una matriz de consistencia es o no razonable, se debe de desarrollar una medida para la matriz de comparación  $A$  de orden  $n \times n$ . Decimos que si la matriz  $A$  es perfectamente consistente produce una matriz  $N$  de orden  $n \times n$  normalizada (es decir que conmuta con su transpuesta) de elementos  $w_{ij}$  (para  $i, j = 1, 2, \dots, n$ ), tal que todas las columnas son idénticas, es decir,  $w_{12} = w_{13} = \dots = w_{1n} = w_1$ ;  $w_{21} = w_{23} = \dots = w_{2n} = w_2$ ;  $w_{n1} = w_{n2} = \dots = w_{nn} = w_n$ .

$$N = \begin{bmatrix} W_1 & W_1 & \dots & W_1 \\ W_2 & W_2 & \dots & W_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_n & W_n & \dots & W_n \end{bmatrix}$$

#### Matriz N° 5 – Matriz Normalizada N° 1

Si se dividen los elementos de la columna  $i$  entre  $w_i$ , entonces se tiene que:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & W_1/W_2 & \dots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & 1 & \dots & W_2/W_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

#### Matriz N° 6 – Matriz Normalizada N° 2

Según la definición de  $A$ , se tiene que:



$$\begin{bmatrix} 1 & W_1/W_2 & \dots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & 1 & \dots & W_2/W_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nW_1 \\ nW_2 \\ \vdots \\ nW_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix}$$

Matriz N° 7 – Matriz perfectamente consistente

Esto quiere decir que la matriz A es consistente si y solo si:

$$AW = nW$$

Donde W es un vector columna de pesos relativos  $w_i$ , ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) se aproxima con el promedio de los n elementos del renglón en la matriz normalizada N. Haciendo W' el estimado calculado, se puede mostrar que:

$$AW' = n_{max} W'$$

Donde  $n_{max} \geq n$ . En este caso, entre más cercana sea  $n_{max}$  a n, más consistente será la matriz de comparación A.

Debido a esto, el proceso de análisis jerárquico calcula la razón de consistencia como:

$$RC = IC / IA$$

Donde IC es el índice de consistencia de A y se calcula de la siguiente manera:

$$IC = n_{max} - n / n - 1$$

El valor de  $n_{max}$  se determina al calcular primero el vector columna A y después sumando sus elementos.

El índice de consistencia aleatoria de A (IA) depende del número de elementos que se comparan y puede asumir los siguientes valores:

**Tabla N° 2.** Índice de consistencia aleatoria.

Fuente. Saaty, R. W. (1987).

EL ÍNDICE ALEATORIO POR TAMAÑO DE MATRIZ										
Tamaño de la matriz (N)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
El Índice Aleatorio (RI)	0.0	0.01	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Si el valor de la razón de consistencia (RC) excede el valor de 0.10, se considera como juicio inconsistente en las relaciones pareadas; en casos como este el tomador de

decisiones debe reconsiderar y modificar los valores originales de la matriz de comparaciones pareadas.

Si el valor de la razón de consistencia (RC) no excede el valor de 0.10, se considera como juicio razonable de consistencia en las comparaciones pareadas.

Una vez obtenido el resultado final, el AHP permite llevar a cabo el análisis de sensibilidad del modelo.

- El proceso seguido tras la definición del problema se puede resumir en cuatro etapas:
- Selección de criterios (variables) y definición de factores.
- Generación de la información cartográfica.
- Integración de la información en un S.I.G. y obtención del modelo.
- Validación de los resultados: Tratamiento del error y la incertidumbre.

#### **2.1.18. Legislaciones Específicas con Relación a Carreteras.**

Al ser el tema vial un tema complejo y que requiere trabajo multidisciplinario muy completo, debe ser considerada dentro de un marco legal variado, que incluyen los principios, normas y requerimientos legales que regulan el aprovechamiento y manejo de recursos naturales, la conservación del entorno y todas aquellas actividades relacionadas con la gestión de proyectos carreteros. Dentro de todos los requerimientos de la legislación correspondiente al diseño, construcción y mantenimiento de carreteras, se tiene el siguiente marco legal aún vigente y aplicable:

- Nueva Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia (NCPE) (06/02/09).
- Ley de Descentralización Administrativa (Ley N° 1654 – 28/07/95).
- Ley General de Concesiones de Obras Públicas de Transporte (Ley N° 1874– 22/06/98).
- Legislación referente a expropiación (Ley 30/12/1884).
- Sistema Nacional de carreteras (D.S. 25134 – 01/99).
- Ley del Medio Ambiente (Ley N° 1333 – 27/04/92).
- Ley Forestal (Ley N° 1700 – 12/07/96).
- Código de Minería (Ley N° 1777 – 17/04/97).

- Complementaciones y modificaciones de RGGA y RPCA (D.S. 26705 10/07/02).
- Reglamentos a la ley del Medio Ambiente (D.S. 24176 – 08/12/95).
- Reglamento Ambiental para actividades Mineras (RAAM) (D.S. 24782–1997).
- Reglamento para la importación, transporte, comercialización y empleo de explosivos, armas y municiones. (R. M. 00665 – 24/05/00).
- Ley de vida silvestre, Parques nacionales, caza y pesca (D.L 12301–17/03/75).
- Reglamento general de Áreas protegidas (DS. 24781 – 31/07/97).
- Ley INRA (Ley N° 1715 – 18/10/96).
- Legislación referente a pueblos indígenas.
- Legislación referente al Patrimonio arqueológico.

#### **2.1.18.1. Legislación Ambiental Boliviana sobre Riesgos Ambientales.**

La Ley de Medio Ambiente, aprobada por Ley de la República N° 1333 del 27 de abril de 1992, que es el eje fundamental de la política ambiental boliviana, y marca el inicio formal del proceso de regulación y control ambiental. Esta Ley fue implementada mediante seis reglamentos, que consolidan el marco jurídico ambiental, para la temática específica a tratar:

#### ***Reglamento General de Gestión Ambiental.***

##### **ARTÍCULO 4.-**

Para los efectos del presente Reglamento tienen validez las siguientes

##### **b. Definiciones:**

**ANALISIS DE RIESGO:** Documento relativo al proceso de identificación del peligro y estimación del riesgo, que puede formar parte del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental (EEIA) y del Manifiesto Ambiental (MA). En adición a los aspectos cualitativos de identificación del peligro, el análisis de riesgo incluye una descripción cuantitativa del riesgo, en base a las técnicas reconocidas de evaluación de riesgo.

##### **ARTÍCULO 67.-**

Se consideran instrumentos económicos de regulación ambiental, entre otros, los que a continuación se indican:

e) seguros ambientales: Debe entenderse como la cobertura de daños por riesgo ambiental, aceptada por empresas aseguradoras contra el pago de una prima;

#### ARTÍCULO 91.-

En el caso de que la inspección evidenciara la existencia de peligro inminente para el medio ambiente y/o la salud y seguridad de las personas, la Autoridad Ambiental Competente podrá adoptar las medidas de prevención que juzgue necesarias, de acuerdo con el procedimiento establecido en el Reglamento de Prevención y Control Ambiental. Al mismo tiempo, comunicará los riesgos en forma inmediata, a las autoridades competentes en materia de salud.

#### ***Reglamento de Prevención y Control Ambiental.***

#### ARTÍCULO 16º.-

Los criterios para establecer la categoría de EEIA son los siguientes:

- riesgo para la salud de la población humana;

#### ARTÍCULO 23º.-

En caso de que se determine que debe realizarse un EEIA, éste tendrá los siguientes elementos:

- e) Análisis de Riesgo y Plan de Contingencias, siempre y cuando el proyecto, obra o actividad involucre, la explotación, extracción, manejo, almacenamiento, transporte, tratamiento y/o disposición final de sustancias peligrosas, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento para Actividades con Sustancias Peligrosas; o que involucre alto riesgo sobre núcleos poblacionales

#### ARTÍCULO 27º.-

En el EEIA se deben identificar las posibilidades de accidentes y emergencias incluyendo riesgos. Como parte de esta actividad se deberá identificar los materiales o sustancias peligrosas que intervendrán en el proyecto, obra o actividad, así como los riesgos al ambiente inmediato y la población, por posibles fallas en la extracción, explotación, manejo, almacenamiento o, transporte, tratamiento y disposición final, en el funcionamiento de los equipos e instalaciones. También se deberá identificar, las posibles causas por las que se pueden presentar estas fallas (por ejemplo, errores del operador, fallas de operación) de los equipos e instalaciones, desgaste, pérdida de control del proceso, fuego y explosión); cuantificar la probabilidad de ocurrencia de cada una de estas fallas y sus consecuencias.

Asimismo, se deberá elaborar un Plan de Contingencias y Programa de Prevención de Accidentes, que permita responder a emergencias con la suficiente eficacia, minimizando los daños a la comunidad y al ambiente.

#### ARTÍCULO 74º.-

El informe al que hacen referencia los artículos precedentes debe contener:

- verificación a detalle del estado inicial, identificación y evaluación de los impactos, análisis de riesgo y plan de contingencias;

#### ARTÍCULO 85º.-

La Autoridad Ambiental Competente decidirá no conceder la DIA, con la justificación legal y técnica respectiva, si el proyecto obra o actividad:

3. pone en riesgo de ser destruidas a áreas declaradas como naturales protegidas, históricas, arqueológicas, turísticas o culturales;

#### ARTÍCULO 103º.-

El MA contendrá como mínimo:

- análisis de Riesgo y Plan de Contingencias, cuando corresponda.

#### ARTÍCULO 167º.-

Si un proyecto, obra o actividad se localiza en las zonas fronterizas del país y ocasione o pudiera ocasionar impactos o riesgo inminente sobre el ambiente de un Estado vecino, así como sobre recursos naturales compartidos con otros Estados, el REPRESENTANTE LEGAL debe considerar esas circunstancias en el EEIA.

Conforme a los principios del Derecho Internacional, cuando exista Convenio de Reciprocidad, el MDSMA, a través del Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto, informará al o los Estados que puedan ser afectados por la implementación, operación o abandono de proyectos, obras o actividades, de los resultados de EEIA's y AA's que se efectúen con el fin de conocer los impactos potenciales y efectos actuales que los afecten o puedan afectar.

Toda transmisión de información al respecto entre países vecinos o fronterizos, debe guardar la confidencialidad correspondiente.

### ***Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica.***

#### **ARTÍCULO 62.-**

La desinfección de las aguas residuales crudas o tratadas, es imprescindible cuando la calidad bacteriológica de esas aguas rebasa los límites establecidos y constituye riesgo de daño a la salud humana o contaminación ambiental.

### **Reglamento para Actividades con Sustancias Peligrosas.**

#### **ARTÍCULO 1.-**

La presente disposición legal reglamenta la Ley del Medio Ambiente N° 1333 del 27 de abril de 1992, en lo referente a las Actividades con Sustancias Peligrosas (ASP), en el marco del desarrollo sostenible, estableciendo procedimientos de manejo, control y reducción de riesgos.

#### **ARTÍCULO 8º.-**

Para efectos del presente Reglamento tienen validez las siguientes siglas y definiciones:

**RIESGO:** Peligro potencial evaluado, de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia de la causa y severidad de su efecto.

#### **ARTÍCULO 11º.-**

Para efectos del presente Reglamento y a nivel departamental, el Poder Ejecutivo tendrá las siguientes atribuciones y funciones:

e) coordinar con Defensa Civil para la declaratoria de emergencia por riesgo de contaminación producida por sustancias peligrosas;

#### **ARTÍCULO 14º.-**

El MDSMA, en coordinación con las Autoridades Sectoriales correspondientes, establecerá un Programa de Acción Intersectorial, así como el Programa Nacional de Seguridad Química para sustancias peligrosas, sobre la base de listas internacionales vigentes para elaborar, normas técnicas pertinentes, previendo o tomando en cuenta:

i) la publicación de manuales de manejo y control de sustancias peligrosas, destinados a fomentar, en el ámbito científico y/o tecnológico, el desarrollo de actividades e incorporación de tecnologías limpias que coadyuven a optimizar, prevenir y reducir los riesgos; y

j) la elaboración de manuales con metodologías para Análisis de Riesgos.

#### ARTICULO 52º.-

Las sustancias peligrosas deben ser almacenadas en áreas, lugares y ambientes que reúnan condiciones y garanticen su seguridad, de acuerdo con lo dispuesto por el Reglamento de Prevención y Control Ambiental. A este efecto debe, considerarse por lo menos:

a) análisis de riesgos;

b) ubicación en zonas que reduzcan riesgos, por posibles emisiones, fugas e incendios;

***Modificaciones al RPCA y al Decreto Supremo N° 26705 Decreto Supremo N° 28499.***

#### ARTÍCULO 2.-

(DE LAS DEFINICIONES).

Emergencia Ambiental. Se entiende por emergencia ambiental cuando exista riesgo de peligro inminente o impacto ambiental severo, sobre el medio ambiente y la salud humana, determinado mediante inspección in situ.

Peligro Inminente: Es el riesgo potencial de que se produzca un impacto ambiental severo como consecuencia de una AOP, el mismo que de comprobarse se constituye en causal para la realización de una AA, principalmente y con carácter de urgencia cuando exista una alta probabilidad de ocurrencia.

#### ARTÍCULO 5.-

(DE LA RESPONSABILIDAD).

I. En caso de que la AAC de oficio o a instancia de parte, cuente con elementos o indicios que lleven a la presunción de que una acción u omisión de cualquier AOP, conlleve a la generación de impactos severos o riesgo de peligro inminente al medio ambiente o la salud humana, en aplicación del principio precautorio deberá instruir al Representante Legal de la AOP, medidas destinadas a evitarlos o mitigarlos, no pudiendo exonerarse de responsabilidad, al invocar la falta de plena certeza técnica o jurídica o la ausencia de normas.

II. En el marco de lo dispuesto en el Artículo 10 de la Ley del Medio Ambiente, los Organismos Sectoriales Competentes u otras instituciones públicas de carácter nacional, departamental o municipal y local, relacionados con acciones, sucesos o AOP's, que

conlleven la generación de impactos severos o riesgo de peligro inminente, al medio ambiente o la salud humana, deberán aplicar el principio precautorio en el ámbito de su competencia, conforme lo dispuesto en el párrafo precedente bajo responsabilidad.

#### ARTÍCULO 7.

(DE LOS TIPOS DE AUDITORÍAS AMBIENTALES REQUERIDAS POR LA ACC).

“La AAC para ejercer el control de la Calidad Ambiental, podrá requerir del REPRESENTANTE LEGAL la ejecución de las siguientes AA:

I. Por contingencia: Cuando existan indicios de impacto severo sobre el medio ambiente o que:

c) pone en riesgo o produce impactos ambientales negativos significativos a los objetos, zonas y sitios de conservación y manejo de las áreas declaradas como protegidas, históricas, arqueológicas, paleontológicas, turísticas, socio-económicas y culturales.

II. Por Peligro Inminente: Cuando existan indicios de peligro inminente asociados a una o varias AOP's, se considerarán los mismos criterios del numeral I) ante el riesgo de que dichos impactos se produzcan.

#### **2.1.18.2. Reglamento sobre Bioseguridad Decreto Supremo N° 24676 21 de junio de 1997.**

OBJETO, FINES y AMBITO

#### ARTÍCULO 2.-

La finalidad del presente Reglamento es minimizar los riesgos y prevenir los impactos ambientales negativos, que las actividades referidas en el Artículo siguiente podrían ocasionar a la salud humana, el medio ambiente, y la diversidad biológica.

#### ARTÍCULO 5.-

A los efectos del presente Reglamento se entenderá por:

3. Accidente: Cualquier incidente que implique una liberación significativa o involuntaria de OGMs, durante una actividad específica que se realice con él y que pueda suponer un peligro, de efecto inmediato o retardado, y riesgos para la salud humana, el medio ambiente, y la diversidad biológica.



4. Bioseguridad: Todas las acciones o medidas de seguridad, requeridas para minimizar los riesgos derivados del manejo de un OGM, y la utilización de tecnología del DNA recombinante (ingeniería genética) y otras técnicas moleculares modernas.

8. Evaluación de riesgos: Estimación de daños posibles y probabilidad de ocurrencia, en actividades con OGMs.

9. Gestión de riesgos: Implementación de medidas apropiadas para minimizar los riesgos identificados y los que se puedan presentar durante el proceso de realización de una actividad determinada con el OGM.

#### ARTÍCULO 7.-

El Ministro de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, a través del Secretario Nacional de Recursos Naturales y Medio Ambiente, tiene las siguientes funciones:

n) Controlar el cumplimiento de las medidas de gestión de riesgo propuestas por el solicitante, para la realización de la actividad autorizada.

#### ARTÍCULO. 13.-

El Comité Nacional de Bioseguridad tiene las siguientes funciones y atribuciones:

e) Relacionarse con instituciones públicas y privadas que realicen actividades relacionadas con ingeniería genética y bioseguridad a nivel nacional e internacional, y establecer con ellas mecanismos de intercambio de información, sobre temas relativos a la evaluación de los riesgos, gestión de los riesgos y las aprobaciones otorgadas para la comercialización de OGMs, sus derivados o los productos que los contengan.

#### EVALUACIÓN, CATEGORIZACIÓN Y GESTIÓN DE LOS RIESGOS.

#### CAPITULO I

#### EVALUACION DE LOS RIESGOS

#### ARTÍCULO 15.-

La evaluación de los riesgos se realizar con el objeto de determinar:

1. Los posibles efectos negativos para la salud humana, el medio ambiente y la diversidad biológica, derivados de la actividad que se realice con el OGM.

2. La factibilidad de la gestión de los riesgos, en base a las medidas de gestión propuestas por el solicitante.

3. La clasificación del OGM según los grupos establecidos en el presente Reglamento.

#### ARTÍCULO 16.-

La evaluación de los riesgos se realiza en base a un examen profundo de la información proporcionada por el solicitante sobre los siguientes parámetros:

1. Las características del OGM.

a) El Organismo receptor/parental o huésped.

El organismo donante y el vector utilizado.

El inserto y el rasgo codificado.

El centro de origen

2. La utilización a que se destina, es decir la aplicación específica de la utilización confinada o la liberación intencional o la incorporación al mercado, con inclusión de la escala prevista y los procedimientos de gestión y tratamiento de desechos, entre otros.

3. El medio ambiente receptor potencial.

#### ARTÍCULO 17.-

La información requerida para efectuar la evaluación de riesgos de manera adecuada incluir, los elementos contenidos en el Formulario de Solicitud del Anexo I del presente Reglamento, así como los documentos adjuntos proporcionados por el solicitante, otra información adicional que pudiese ser requerida.

### CAPÍTULO II

#### CLASIFICACIÓN DE LOS RIESGOS.

#### ARTÍCULO 18.-

Para la determinación de los posibles riesgos derivados del manejo de los organismos genéticamente modificados, éstos se clasificarán en uno de los siguientes grupos, según los criterios establecidos a continuación:

Grupo 1: Un OGM será clasificado en este grupo y considerado de bajo riesgo según los siguientes criterios

i) No hay probabilidad de que el organismo receptor o parental, provoque enfermedades a los seres humanos, animales o plantas;

ii) la naturaleza del vector y del inserto es tal que no dota al OGM un genotipo que es probable que cause enfermedades a los seres humanos, animales o plantas, o que es probable que tenga efectos adversos para el medio ambiente.

iii) No es probable que el OGM cause enfermedades a los seres humanos animales o plantas y es poco probable que tenga efectos adversos para el medio ambiente.

Grupo 2: Un OGM será clasificado en este grupo y considerado de alto riesgo cuando no reúna los requisitos establecidos en el Grupo 1, es decir que tanto el organismo receptor o parental, la naturaleza del vector y del inserto, así como el OGM o uno de ellos causen enfermedades a los humanos, animales y plantas y tengan efectos adversos para el medio ambiente.

### CAPÍTULO III

#### GESTIÓN DE LOS RIESGOS

##### ARTÍCULO 19.-

La gestión de los riesgos se realizará con el objetivo de reducir y controlar el impacto negativo del OGM sobre la salud humana, el medio ambiente y la diversidad biológica durante la realización de una actividad específica con el mismo; por lo que la misma se llevará a cabo por parte del solicitante de manera sistemática durante todo el proceso de realización de la actividad con el OGM.

##### ARTÍCULO 20.-

Previa evaluación de riesgos realizada por el Comité Nacional de Bioseguridad, según la actividad solicitada y en función a la clasificación del OGM y de acuerdo a lo establecido en el presente Reglamento, el solicitante establecerá las medidas de gestión de riesgos correspondientes, así como los mecanismos a través de los cuales aplicará las mismas.

#### DECRETO SUPREMO N° 24781 Reglamento General de Áreas Protegidas

#### DE LA ZONIFICACIÓN

##### ARTÍCULO 31.-

Se entiende la zonificación como el ordenamiento del uso del espacio en base a la singularidad, fragilidad, potencialidad de aprovechamiento sostenible, valor de los recursos naturales del área y de los usos y actividades a ser permitidos, estableciendo zonas sometidas a diferentes restricciones y regímenes de manejo a través de las cuales,

se espera alcanzar los objetivos de la unidad, guardando estrecha relación con los objetivos y categorías del AP.

Las APs a fines de su ordenamiento y manejo, podrán ser zonificadas de acuerdo a la siguiente clasificación:

**ZONA DE AMORTIGUACIÓN:** Tiene como objetivo minimizar impactos sobre el ambiente natural del AP. Esta zona está conformada por aquellas áreas periféricas a la zona intangible, donde a través de la regulación de usos y actividades se logre atenuar posibles impactos negativos, riesgos o daños ambientales. Se excluyen las actividades consuntivas o extractivas, pudiendo desarrollarse un ecoturismo extensivo controlado e investigación científica, incluyéndose colectas científicas.

**2.1.18.3. Ley N° 2140 Ley de 25 de octubre De 2000. Ley para la reducción de Riesgos y Atención de Desastres.**

**ARTÍCULO 1.-**

**OBJETO.** La Presente Ley tiene como objeto fundamental, regular todas las actividades en el ámbito de la Reducción de Riesgos y Atención de Desastres y/o Emergencias y, establecer un marco institucional apropiado y eficiente que permita reducir los Riesgos de las estructuras sociales y económicas del país frente a los Desastres y/o Emergencias y, atender oportuna y efectivamente estos eventos causados por amenazas naturales, tecnológicas y antrópicas.

**ARTÍCULO 2.-**

**ÁMBITO DE APLICACIÓN.** - El ámbito de aplicación de la presente Ley, comprende las actividades de todas las instancias llamadas por la misma, que tengan la responsabilidad, competencia y jurisdicción en el ámbito nacional, departamental o municipal en materia de Reducción de Riesgos y Atención de Desastres y/o Emergencias.

**ARTÍCULO 3.-**

**PRINCIPIOS.** - Son principios fundamentales de la presente Ley los siguientes:

a) **Obligatoriedad e Interés Colectivo.** La reducción de Riesgos y Atención de Desastres y/o Emergencias son de interés colectivo y las medidas establecidas para este fin son de cumplimiento obligatorio.

d) **Gestión Descentralizada.** La Reducción de Riesgos y Atención de Desastres y/o Emergencias se ajusta al concepto de descentralización, determinándose por esta razón,

que la base del sistema son los Gobiernos Municipales, que deberán asumir esta responsabilidad en primera instancia.

f) Planificación e Inversiones. La Reducción de Riesgos y Atención de Desastres y/o Emergencias son elementos fundamentales de la planificación del desarrollo, el ordenamiento territorial y la inversión pública y privada en el marco del desarrollo sostenible.

g) Integralidad. Se establece que la gestión de desastres en el marco de la presente Ley, debe sustentarse en la Reducción de Riesgos y la Atención de Desastres, ambas claramente diferenciadas en cuanto a las responsabilidades y dependencia institucional y complementadas e interrelacionadas en sus objetivos.

h) Educación. Los procesos educativos en materia de Reducción de Riesgos y Atención de Desastres y/o Emergencias, serán formuladas por el Gobierno Nacional uniendo esfuerzos públicos y privados para su ejecución.

#### ARTÍCULO 4.-

DEFINICIONES. Para los efectos de la presente Ley se establecen las siguientes definiciones:

a) Reducción de Riesgos. Son todas las actividades comprendidas en las fases de prevención, mitigación y reconstrucción destinadas a impedir o reducir el eventual acaecimiento de un Desastre y Emergencia.

c) Evaluación de Riesgos. Es el proceso a través del cual se identifican las amenazas y vulnerabilidades existentes en la zona donde se van a realizar determinadas actividades humanas, proponiéndose las medidas de reducción de riesgos.

e) Riesgos. Es la magnitud estimada de pérdida (de vidas, persona heridas, propiedades afectadas, medio ambiente destruido y actividad económica detenida) en un lugar dado y durante un periodo de exposición determinado para una amenaza en particular. Riesgos es el producto de la amenaza y la vulnerabilidad.

f) Amenaza. Es el factor externo de riesgo, presentado por la potencial acaecencia de un suceso de origen natural o generado por la actividad humana que puede manifestarse en un lugar específico, con una intensidad y duración determinadas.

g) Vulnerabilidad. Es el factor interno de riesgo, de un sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza, que corresponde a su disposición intrínseca a ser afectado.

j) Mitigación. Son medidas o acciones que tienen por objeto reducir los Riesgos frente a los Desastres y/o Emergencias.

#### ARTÍCULO 5.-

CONCEPTUALIZACIÓN. El Sistema Nacional para la Reducción de Riesgos y Atención de Desastres y/o Emergencias (SISRADE), es el conjunto orgánico y articulado de estructuras, relaciones funcionales, métodos y procedimientos que establecen entre sí como los recursos físicos, técnicos, científicos, financieros y humanos de las entidades que lo conforman, en el cuál cada componente, desde el ámbito de su competencia y jurisdicción y en forma autónoma e interrelacionada, busca el logro de los objetivos definidos en la presente Ley.

#### ARTÍCULO 6.-

OBJETIVOS. Los objetivos del SISRADE son: Prevenir y Reducir pérdidas humanas, económicas, físicas, culturales y ambientales generadas por Desastres y/o Emergencias, así como rehabilitar y reconstruir las zonas afectadas por estos a través de la interrelación de las partes que los conforman , la definición de responsabilidades y funciones de éstas y la integración de esfuerzos públicos y privados en el ámbito nacional, departamental y municipal, tanto en el área de la Reducción de Riesgos como en el área de la Atención de Desastres.

#### ARTÍCULO 7.-

ORGANIZACIÓN. El SISRADE está compuesto por:

I. Consejo Nacional para la Reducción de Riesgos y Atención de Desastres y/o Emergencias (CONARADE). como la instancia superior de decisión y coordinación; y cuyo mandato será ejecutado por el Ministro de Defensa Nacional y el Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación.

II. Las instituciones públicas, privadas y organizaciones de la sociedad civil a nivel nacional, departamental y municipal vinculadas con la Reducción de Riesgos y Atención de Desastres y Emergencias, así como las instancias de asesoramiento técnico y coordinación que actuarán en el marco de la organización, responsabilidades y competencias que establece la presente Ley.

#### ARTÍCULO 14.-

ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Todos los Planes de Ordenamiento Territorial deben incorporar necesariamente trabajos de zonificación e identificación de áreas con altos grados de vulnerabilidad y riesgo, respaldada por una base de datos. Los municipios emitirán normas de prohibición de ocupación para fines de viviendas, industriales, comerciales o cualquier uso en el cual esté implicada la permanencia o seguridad de las personas o los animales.

#### ARTÍCULO 17.-

##### RESPONSABILIDADES

I. Todo servidor público que actúe negligentemente o sea renuente en la prestación de la colaboración al SISRADE, será pasible a sanciones establecidas en el ordenamiento jurídico legal vigente.

II. Las personas naturales o jurídicas públicas o privadas que por dolo, culpa o sabotaje pusieren en Riesgo u ocasionaren Desastres y /o Emergencias, serán pasibles a las sanciones establecidas en el ordenamiento legal vigente, vale decir responsabilidades administrativas, ejecutivas, civiles y/o penales.

#### ARTÍCULO 21.- FONDO PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS Y REACTIVACION ECONOMICA

I. Créase el Fondo de Reducción de Riesgos y Reactivación, bajo la tuición de la Presidencia de la República, con el objeto de captar y administrar contribuciones y aportes financieros efectuados a cualquier título, por gobiernos extranjeros y entidades sujetas al ámbito del derecho internacional u otras de carácter público o privado, tanto nacionales como extranjeras. La Presidencia de la República determinará la gestión y administración de Fondos, por el Sistema Nacional de Fondos.

II. El objeto de su creación es la prestación, a la población boliviana, de asistencia financiera para la Reducción de Riesgos y Reactivación Económica de los Procesos Productivos en las zonas afectadas por los desastres, en sus etapas de mitigación y prevención cuándo estos se produzcan por causas naturales, tecnológicas o generadas por la actividad humana, mediante concurso de proyectos de prevención y reactivación económica formuladas por los Gobiernos Municipales, pudiendo hacerlo mancomunada o independiente y las Prefecturas de Departamentos de acuerdo a los principios de coordinación, concurrencia y subsidiariedad.

#### ARTÍCULO 23.-

## DECLARATORIA DE SITUACIÓN DE DESASTRE Y/O EMERGENCIA.

El Presidente de la República declarará mediante Decreto Supremo, previa recomendación del CONARADE, la Situación de Desastre y/o Emergencia, debiendo en la misma norma clasificar el hecho según su magnitud y efectos, es decir de carácter nacional, departamental o municipal.

### ARTÍCULO 24.-

CLASIFICACIÓN DE DESASTRES Y/O EMERGENCIAS. Tanto los Desastres como las Emergencias se clasificarán de acuerdo a los siguientes criterios:

1. Nacional. Cuando el Desastre o Emergencia afecta a más de un Departamento.
2. Departamental. Cuando el Desastre o Emergencia afecta a más de un Municipio; y
3. Municipal. Cuando el Desastre o Emergencia afecta a un solo Municipio.

Clasificaciones podrán ser modificadas de acuerdo a la magnitud y efectos del Desastre.

#### **2.1.18.4. Ley Nº 2335 Ley de 5 de marzo de 2002 Ley Modificatoria de La Ley Nº 2140 Para la Reducción de Riesgos y Atención de Desastres y/o Emergencias.**

### ARTICULO 1º.-

(CREACIÓN Y OBJETO). Se crea el Fondo de Fideicomiso para la Reducción de Riesgos y atención de Desastres – FORADE, bajo tuición del Ministerio de la Presidencia, con el objeto de captar contribuciones y aportes financieros, efectuados a cualquier título, por gobiernos extranjeros y entidades sujetas al ámbito del derecho internacional u otras de carácter público o privado, tanto nacionales como extranjeras, dirigidos a financiar.

I. Planes, Programas, Proyectos e Investigación Científica para:

- a) La reducción de riesgos, entendida como las actividades de prevención, mitigación y reconstrucción en el marco de la planificación del desarrollo, y

### ARTÍCULO 2.-

(RECURSOS Y APORTES DEL TGN).

Los recursos captados por el Fondo Fiduciario, a cualquier título, de gobiernos y entidades sujetas al ámbito del derecho internacional u otras de carácter público o privado, tanto nacionales como extranjeras y los aportes anuales ordinarios del Tesoro General de la Nación que será del 0.15% del total del Presupuesto General de la Nación Consolidado,



a partir de la gestión 2003, serán utilizados prioritariamente como recursos de contraparte para las actividades de reducción de riesgos y atención de desastres, sin perjuicio de lo establecido en el párrafo III del Artículo 20º de la Ley N° 2140 de 25 de octubre de 2000.

#### ARTÍCULO 4º.-

(MODIFICACIÓN DEL ARTICULO 8º DE LA LEY N° 2140).

Se modifica el párrafo I del Artículo 8º de la Ley N°2140, de la siguiente manera:

I.El Consejo Nacional para la Reducción de Riesgos y Atención de Desastres y/o Emergencias – CONARADE, será presidido por el Presidente de la república y estará conformado por el Ministro de Defensa Nacional, Ministro de Desarrollo Sostenible y Planificación, Ministro de Hacienda, Ministro de la Presidencia, Ministro de Gobierno, Ministro de Salud y Previsión Social, Ministro de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural y Ministro de Vivienda y Servicios Básicos.

En ausencia o por delegación del Presidente de la República, el CONARADE será presidido por el Ministro de Defensa Nacional o el Ministro de Desarrollo Sostenible y Planificación, en función a la naturaleza de la convocatoria y en el marco de las atribuciones conferidas en el Artículo 10º de la Ley N° 2140.

#### ARTÍCULO 6º.-

(INCENTIVO A LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE RIESGOS). Se considerará, en la evaluación de los proyectos sujetos a financiamiento de los recursos del FORADE, la proporción de recursos propios, asignados por parte de las Prefecturas y Municipios a obras de prevención y mitigación de riesgos en sus presupuestos y en el proyecto, estudio e investigación dedicadas a la reducción de vulnerabilidades y procesos de capacitación y difusión tendientes a formar una cultura de prevención.

#### **2.1.19. Categorías de Vías.**

El presente acápite define los conceptos básicos sobre los cuales se ha estructurado y establecido la clasificación prevista para las Obras Viales.

Algunos acostumbran denominar CAMINOS a las vías rurales, mientras que el nombre de CARRETERAS se lo aplican a las vías de características modernas, destinadas al movimiento de un gran número de vehículos; La carretera se puede definir, como la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre, que llene las condiciones de ancho,

alineamiento y pendiente para permitir el tráfico adecuado de los vehículos para los cuales ha sido construida.

### 2.1.20. Clasificación de las Carreteras.

Las carreteras se han clasificado de diferentes maneras en diferentes partes del mundo, ya sea por el tipo de superficie de rodadura, El fin que con ellas se persigue o por su transitabilidad, a partir de esto se clasifican de la siguiente manera:

#### 2.1.20.1. Clasificación por su Transitabilidad.

La clasificación por su transitabilidad corresponde a las etapas de construcción de las obras viales:

**Tabla N° 3.** Características típicas de las Carreteras y Caminos según la Clasificación Funcional.

**Fuente:** Administradora Boliviana de Carreteras 2007.

TERRACERIAS	Cuando se ha construido una sección de proyecto hasta su nivel de subrasante transitable en tiempo de secas.
REVESTIDA	Cuando sobre la subrasante se ha colocado ya una o varias capas de material granular y es transitable en todo tiempo.
PAVIMENTADA	Cuando sobre la subrasante se ha construido ya totalmente el pavimento. La clasificación anterior es casi universalmente usada en cartografía.

#### 2.1.20.2. Clasificación Administrativa.

En Bolivia se establece el Sistema Nacional de Carretera a partir del Decreto Supremo 25134 de 21 agosto de 1998 esta es una clasificación administrativa de la infraestructura vial de Bolivia conformada por:

**Tabla N° 4.** Clasificación funcional de acuerdo al Sistema Nacional de Carreteras.

**Fuente:** Decreto Supremo N° 25134, 21 de agosto de 1998.

RED FUNDAMENTAL	Bajo responsabilidad de la Administradora Boliviana de Carreteras ABC.
REDES DEPARTAMENTALES	Bajo responsabilidad de las Prefecturas (Actualmente Gobiernos Autónomos Departamentales), a través de los Servicios Departamentales de Caminos
REDES MUNICIPALES	Bajo responsabilidad de los Municipios (Actualmente Gobiernos Autónomos Municipales).

### **2.1.20.3. Categoría de las Vías.**

De acuerdo al manual de Diseño de Carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras, la clasificación considera seis categorías divididas en dos grupos:

Tabla N° 5. Características típicas de las carreteras y caminos según la clasificación funcional.

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras 2007.

CATEGORIA		CARRETERAS			CAMINOS		
		AUTOPISTAS	AUTORRUTAS	PRIMARIAS	COLECTORES	LOCAL	DESARROLLO
VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h) TIPO DE TERRENO		120-100 -80 LL -O-M	100-90-80 LL - O - M	100 -90 -80 LL - O - M	80 - 70 - 60 LL-O- M	70-60-50-40 LL - O-M	50 - 40 - 30 LL - O - M
PISTAS DE TRANSITO		UNIDIRECCIONALES	UNIDIRECCIONALES	UNIDIRECCIONALES O BIDIRECCIONALES	BIDIRECCIONALES O (UNIDIRECCIONALES)	BIDIRECCIONALES	BIDIRECCIONALES
FUNCION	Servicio al Tránsito de paso	Prioridad absoluta	Prioridad absoluta	Consideración principal	Continuidad de tránsito y acceso a la propiedad de similar importancia	Continuidad de tránsito consideración secundaria	
	Servicio a la propiedad adyacente	Control total de acceso	Control total de acceso vehículos	Control parcial de acceso		Consideración primaria	
CONEXIONES	Se conecta con	Autopistas Autorrutas Primarios (Colectores)	Autopistas, Autorrutas Primarios Colectores	Autopistas, Autorrutas Primarias y Colectores (Locales)	Todos	(Primarios) Colectores Locales Desarrollo	Colectores Locales Desarrollo
	Tipo de conexión	Enlaces	Enlaces Accesos direccionales	Enlaces Intersecciones (Acceso Directo)	Todos	(Intersección) Acceso Directo	Acceso Directo
CALIDAD SERVICIO	Nivel de Servicio (1 ) Años Iniciales Año Horizonte	A, B C	B (2) C, (D)	B C, (D)	C (2) (D)	No Aplicable	
	Tipo de Flujo	Libre Estable	Libre Estable (Prox. Inestab.)	Libre Estable (Prox. Inestab.)	Estable con restricción (Prox. Inestable.)	Restringido por movimientos hacia y desde la propiedad	
	Veloc. Operación (1) (3) Según demanda Rango probable	115 -95 km/h	95 - 90 km/h	95 - 85 km/h	80 - 70 km/h	70 - 60 km/h	50 - 25 km/h
TRANSITO	Volúmenes Típicos de tránsito al año inicial TPDA	UD>10 000 confirmar fact. económica	UD> 5000	BD >1500. UD >3000	BD >500 UD: Caso especial	Tránsito y composición variable según tipo de actividad: Agrícola, Minera, Turística.	
	Tipo de vehículo	Sólo vehículos diseñados para circular normalmente en carreteras	Vehículos motorizados y autorizaciones especiales	Vehículos motorizados y autorizaciones especiales	Todo tipo de vehículos	Vehículo liviano y camiones medianos	

### **Carreteras Autopista (O).**

Las Autopistas son carreteras nacionales rápidas, en sus especificaciones de diseño ocupa un papel preponderante la velocidad, como mínimo tienen dos calzadas con separador físico entre ellas y dos carriles o más cada una, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporciona flujos vehiculares continuos, sin pasos a nivel, berma lateral derecha de 3m o más y berma lateral izquierda no menor de 1,20 m, que permite velocidades de circulación mayor a 120 km/h para vehículos livianos.

En ellas se autorizará sólo la circulación de vehículos motorizados especialmente diseñados para el transporte de pasajeros y carga, quedando expresamente prohibido el tránsito de maquinaria autopropulsada (Agrícola, de Construcción, etc.)

Las velocidades de proyecto, según el tipo de emplazamiento son:

- Terreno Llano ha Ondulado Medio 120 km/h
- Terreno Ondulado Fuerte 100 km/h
- Terreno Montañoso 80 km/h

Para poder desarrollar las velocidades indicadas bajo condiciones de seguridad aceptables, las Autopistas deberán contar con Control Total de Acceso a todo lo largo del trazado, respecto de los vehículos, peatones y animales que se encuentren fuera de la faja del derecho de vía. El distanciamiento entre enlaces consecutivos deberá ser mayor o igual a 5,0 Km., medidos entre los extremos de los carriles de cambio de velocidad de ambos enlaces, o se considerará el diseño de accesos direccionales aislados. (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007).

### **Carreteras Autorrutas (I.A).**

Una autorruta o autovía, son unas carreteras nacionales existentes a las que se les ha construido o se le construirá una segunda calzada, prácticamente paralela a la vía original. Normalmente se emplazan en corredores, a lo largo de los cuales existen extensos tramos con desarrollo urbano, industrial o agrícola intensivo, muy próximo a la faja de la carretera.

La sección transversal deberá contar con al menos dos carriles unidireccionales por calzada, debiendo existir un cantero central entre ambas.

Las velocidades de proyecto consideradas son:

- Terreno Llano a Ondulado Fuerte 100 y 90 km/h
- Terreno Montañoso 80 km/h

Las Autorrutas deberán contar con Control Total de Acceso respecto del acceso o salida de vehículos a ella; preferentemente se dará también control de acceso respecto de los peatones y animales a todo lo largo de la ruta, previéndose obligatorio este tipo de control de acceso en las zonas de enlaces, pasarelas y zonas adyacentes a poblados, con longitudes suficientes, como para forzar a los peatones a usar los dispositivos especialmente dispuestos para su cruce. (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007).

### **Carreteras Primarias (I.B).**

Son carreteras nacionales o departamentales, con volúmenes de demanda medios a altos, que sirven al tránsito de paso con recorridos de mediana y larga distancia, pero que sirven también un porcentaje importante de tránsito de corta distancia, en zonas densamente pobladas.

La sección transversal, puede estar constituida por carriles unidireccionales separadas por un cantero central, que al menos de cabida a una barrera física entre ambas calzadas, más 1 m libre desde ésta al borde interior de los carriles adyacentes, pero por lo general se tratará de una calzada con dos carriles para tránsito bidireccional.

Las Velocidades de Proyecto consideradas son las mismas que para las Autorrutas, de modo que, en el futuro mediante un cambio de estándar, puedan adquirir las características de Autorruta.

Las Carreteras Primarias deberán contar con un Control Parcial de Acceso, es decir aquellos en que se disponga de enlaces desnivelados, toda vez que ellos se hagan necesarios por condiciones de seguridad y capacidad derivadas del volumen de tránsito que presenta la vía secundaria (Colector o Local). (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007).

Las velocidades de proyecto, según el tipo de emplazamiento son:

- Terreno Llano ha Ondulado Medio 100 km/h
- Terreno Ondulado Fuerte 90 km/h
- Terreno Montañoso 80 km/h

### **Caminos Colectores (II).**

Son caminos que sirven tránsitos de mediana y corta distancia, a los cuales acceden numerosos caminos locales o de desarrollo. Podrán circular por ellos toda clase de vehículos motorizados.

Su sección transversal normalmente, es de dos carriles bidireccionales, pudiendo llegar a tener calzadas unidireccionales. Las velocidades de proyecto consideradas son:

- Terreno Llano a Ondulado Medio 80 km/h
- Terreno Ondulado Fuerte 70 km/h
- Terreno Montañoso 60 km/h

Normalmente este tipo de caminos posee pavimento superior, el tráfico es conducido desde o hacia vías más importantes, consecuentemente la selección de la Velocidad de Proyecto debe ser estudiada detenidamente. Podrán circular por ellos toda clase de vehículos motorizados, que cuenten con los dispositivos reglamentarios señalados en la Ordenanza del Tránsito. (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007).

### **Caminos Locales (III).**

Son caminos que se conectan a los Caminos Colectores. Están destinados a dar servicio preferentemente a la propiedad adyacente, generalmente el tráfico es reducido, el cual es desestimulado por los largos recorridos y/o bajas velocidades propias de estas vías. (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007).

La sección transversal prevista consulta dos carriles bidireccionales y las velocidades de proyecto consideradas son:

- Terreno Llano a Ondulado Medio 70 km/h
- Terreno Ondulado Fuerte 60 km/h
- Terreno Montañoso 50 y 40 km/h

### **Caminos de Desarrollo.**

Carreteras de interés local que interconectan centros poblados de menor importancia y proveen acceso de éstos a vías principales. Tiene la función de recolectar el tránsito proveniente de los fundos, fincas y sitios aislados. (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007).

Las velocidades de proyecto, según el tipo de emplazamiento son:

- Terreno Llano 50 km/h
- Terreno Ondulado 40 km/h
- Terreno Montañoso 30 km/h

### **Velocidad del Proyecto.**

Cada una de las categorías también ha sido subdividida de acuerdo a la Velocidad de Proyecto (Vp), tienen una relación directa con las características del relieve topográfico, las Vp más altas corresponden a trazados en terrenos Llanos, las intermedias en terrenos ondulados y las más bajas a terreno montañoso.

A continuación, se establece las consideraciones de esta terminología:

#### **Terreno Llano.**

Está constituido por amplias extensiones libres de obstáculos naturales, lo que permite seleccionar con libertad el emplazamiento del trazado, haciendo uso de muy pocos elementos de características mínimas. El relieve puede incluir ondulaciones moderadas de la rasante para minimizar las alturas de cortes y terraplenes; consecuentemente la rasante de la vía estará comprendida mayoritariamente entre  $\pm 3\%$ .

#### **Terreno Ondulado.**

Está constituido por un relieve con frecuentes cambios de nivel, que si bien no son demasiado importantes en términos absolutos, son repetitivos, lo que obliga a emplear frecuentemente pendientes de distinto sentido que pueden fluctuar entre 3 al 6%, según la Categoría de la ruta.

#### **Terreno Montañoso.**

Está constituido por cordones montañosos, en las cuales el trazado salva desniveles considerables en términos absolutos. La rasante del proyecto presenta pendientes sostenidas de 4 a 9%, según la Categoría del Camino, ya sea subiendo o bajando. La planta está controlada por el relieve del terreno (Puntillas, Laderas de fuerte inclinación transversal, Quebradas profundas.) y también por el desnivel a salvar.

### **2.1.21. Demanda y Características del Tránsito.**

Para seleccionar la categoría de una infraestructura vial, es indispensable tener una conveniente predicción de los volúmenes de demanda, su composición y la evolución que estas variables puedan experimentar a lo largo de la vida del proyecto vial.

#### **2.1.21.1. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).**

El Tránsito Promedio Diario Anual, conocido en forma abreviada como TPDA, que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera o camino en un período de tiempo determinado, que es mayor de un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho período de medición tratándose de un promedio simple, el TPDA no refleja las variaciones extremas que, por el límite superior, pueden llegar a



duplicar los volúmenes promedios del tránsito en algunas carreteras, razón por la cual, en las estaciones permanentes de registro de volúmenes se deben medir y analizar las fluctuaciones del tránsito a lo largo de los diferentes períodos del año, sean estos semanales, mensuales o estacionales. No obstante, se ha tomado el TPDA como un indicador numérico para diseño, tanto por constituir una medida característica de la circulación de vehículos, como por su facilidad de obtención. Constituye así el TPDA un indicador muy valioso de la cantidad de vehículos de diferentes tipos (livianos y pesados) y funciones (transporte de personas y de mercancías), que se sirve de la carretera. (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007).

#### **2.1.21.2. Clasificación por Tipo de Vehículo.**

Expresa en porcentaje la participación que le corresponde en el TPDA a las diferentes categorías de vehículos, debiendo diferenciarse por lo menos las siguientes:

- Vehículos livianos: Automóviles, Camionetas hasta 1.500 kg
- Locomoción Colectiva: Buses Rurales e Interurbanos
- Camiones: Unidad Simple para Transporte de Carga.
- Camión con Semirremolque o Remolque: Unidad Compuesta para Transporte de Carga.

Según sea la función del camino la composición del tránsito variará en forma importante de una a otra vía. En países en vías de desarrollo la composición porcentual de los distintos tipos de vehículos suele ser variable en el tiempo.

#### **2.1.22. Segmentación Ambiental.**

En el presente acápite definiremos, los conceptos básicos para el desarrollo de una adecuada Segmentación Ambiental y que intervienen dentro del análisis de Riesgo Ambiental, así como del área de influencia del proyecto vial. Debemos entender como segmentación; al acto y consecuencia de segmentares es decir, que de dividir o forman segmentos o porciones, de características parecidas en base a los atributos ambientales establecidos, dentro del tramo del proyecto a ser evaluado, que permitirán definir adecuadamente los pesos en la matriz de Saaty.

**Tabla N° 6.** Segmentación ambiental para proyectos viales donde se establecen los factores y atributos a ser evaluados.

<b>SEGMENTACIÓN AMBIENTAL</b>		
<b>Componente</b>	<b>Factores</b>	<b>Atributos</b>
<b>Físico</b>	Clima	Precipitación
	Geología	Litología.
		Tipos de Estructura Geológicas según su Génesis.
		Grado de Meteorización.
		Resistencia de la Roca y Suelo.
		Características del Fracturamiento
	Geomorfología	Pendiente.
		Ambientes Geomorfológicos.
		Grado de Erosión.
		Procesos de Remoción en Masa.
Suelo	Capacidad de Uso.	
Hidrología	Drenaje Superficial.	
<b>Biológico</b>	Flora	Cobertura vegetal.
<b>Humano</b>	Socio Económico	Densidad Poblacional.

### **2.1.22.1. Componente Físico.**

#### **2.1.22.1.1. Factor Clima.**

##### **Atributo Precipitación.**

Es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico, que se deposita en la superficie de la Tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa) se satura con el vapor de agua, y el agua se condensa y cae de la solución (es decir, precipita). El aire se satura a través de dos procesos: por enfriamiento y añadiendo humedad. La precipitación que alcanza la superficie de la tierra puede producirse en muchas formas diferentes, como lluvia, lluvia congelada, llovizna, nieve, aguanieve y granizo. (<https://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>).

#### **2.1.22.1.2. Factor Geología.**

##### **Atributo Litología.**

Es la parte de la geología que estudia a las rocas, especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas. Incluye también su composición, su textura, tipo de transporte, así como su composición mineralógica, distribución espacial y material cementante. Entendemos por roca una masa de materia mineral coherente, consolidada y compacta. Se puede clasificar por su edad, su dureza o su génesis. Cuando existen rocas masivas de un solo tipo, o con una estructura similar, la naturaleza de las rocas puede condicionar el relieve. Geología Física (Holmes. A, 1971).

### **Atributo Tipos de Estructura Geológicas según su Génesis.**

Existen dos tipos de Estructuras las Primarias, son aquellas que se forman al mismo tiempo que la masa de la roca misma o durante su consolidación y las Estructuras Secundarias se han formado después de la consolidación de la masa rocosa por las fuerzas de los movimientos epirogénicos y orogénicos a través de los cuales la roca se ha ondulado y deformado. Geología Física (Holmes. A, 1971).

### **Atributo Grado de Meteorización.**

Es un sistema de evaluación de la meteorización adoptado por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). El grado de meteorización de un afloramiento rocoso es una característica fundamental de este, porque determina características tan importantes como la excavabilidad o facilidad de excavación o la estabilidad de zonas afectadas por este proceso, Este sistema de evaluación evalúa la meteorización en seis grados que van desde la roca sana (I) hasta el suelo residual (VI).

**Tabla N° 7.** Sistema de clasificación del perfil de meteorización empleado en Hong Kong en proyectos de infraestructura.

**Fuente.** Oficina de Control Geotécnico, 1987.

<b>Grado de Meteorización</b>	<b>Término Descriptivo</b>	<b>Descripción</b>
I	Sano (Roca Fresca)	No hay signos visibles de meteorización, aunque puede haber alguna decoloración en las superficies de las discontinuidades más importantes.
II	Ligeramente Meteorizada	Hay decoloración a lo largo de las discontinuidades y parcialmente, en la masa de roca. La estructura y la textura se conservan completamente. Aparece como roca sana, pero tiene manchas con muestras de descomposición. Los ángulos de los fragmentos no pueden ser destruidos fácilmente.
III	Moderadamente Meteorizada	Los materiales de roca muestran decoloración parcial. La estructura y la fábrica de la roca se conservan completamente. Las discontinuidades comúnmente están rellenas de materiales ricos en hierro. Pedazos grandes que no pueden ser

		descompuestos por las manos (menos del 50% del material).
IV	Fuertemente Meteorizada	El material de roca se encuentra en una etapa de transición para formar suelo (más del 50% del material). En sectores aparece roca y suelo. El material se encuentra totalmente decolorado, pero la fábrica se conserva y la estructura del macizo rocoso se mantiene parcialmente. Pedazos grandes que pueden ser destruidos con las manos.
V	Completamente Meteorizada	Todos los materiales de roca se convirtieron en suelo. Roca completamente descompuesta, pero aún aparece textura de roca ligeramente reconocible. Los materiales son arenosos y friables si se sumergen en agua o se presionan con la mano.
VI	Suelo Residual	Todos los materiales de roca se convirtieron en suelo. La estructura y la textura de la roca fueron totalmente destruidas. No aparece textura reconocible de roca. El material generalmente es limoso o arcilloso y muestra un color relativamente homogéneo. Las capas superficiales pueden contener materia orgánica y raíces.

#### **Atributo Resistencia de la Roca.**

La resistencia de las rocas se interpreta en función de la capacidad que tienen para resistir esfuerzos de compresión, esfuerzos cortantes y esfuerzos de tensión. La resistencia de las rocas puede ser muy variable, aun tratándose de muestras provenientes de un mismo afloramiento, estas consideraciones tratan esencialmente de cómo estimar en el campo la resistencia a compresión de las rocas, también se refiere a los suelos cohesivos, ya que muchas veces éstos se encuentran rellenando discontinuidades del macizo rocoso.

La resistencia a compresión de las rocas, se puede estimar a partir de la dureza superficial de las mismas, la cual se puede obtener mediante el martillo de Schmidt, adicionalmente se pueden estimar también en el campo utilizando una navaja y un martillo de geólogo (cateador), aunque con menos precisión.

**Tabla N° 8.** Estimación de la Resistencia de las Rocas mediante un martillo de geólogo o una navaja.

**Fuente.** Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (Brown, 1981).

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Identificación de campo</b>	<b>Valor aproximado de la resistencia a compresión simple en MPa.</b>
R 0	Extremadamente débil.	Se puede penetrar con el dedo pulgar.	0,25-1,0
R 1	Muy débil.	Deleznable bajo golpes fuertes con la parte puntiaguda del martillo geológico; puede cortarse con una navaja.	1,0-5,0
R 2	Débil.	Puede cortarse con dificultad con una navaja; se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la punta del martillo.	5,0-25
R 3	Media.	No se puede cortar con una navaja; las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo.	25-50
R 4	Resistente.	Se necesita más de un golpe con el martillo geológico para romper la muestra.	50-100
R 5	Muy resistente.	Se necesitan muchos golpes con el martillo geológico para romper la muestra.	100-250
R 6	Extremadamente resistente.	Sólo se pueden desprender esquirlas de la muestra con el martillo geológico.	>250

Dentro del proceso de evaluación es importante también considerar a los suelos, ya que en muchos casos se encuentran rellenando discontinuidades geológicas. Para definir e identificar la consistencia de los suelos cohesivos, a continuación, se describen los ensayos manuales que se pueden desarrollar.

**Tabla N° 9.** Estimación de la resistencia de los suelos cohesivos.

**Fuente.** Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (Brown, 1981).

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Identificación de campo</b>	<b>Valor aproximado de la resistencia a compresión simple en MPa.</b>
S 1	Muy blando.	El puño penetra fácilmente varios centímetros.	<0,025
S 2	Blando.	El dedo pulgar penetra fácilmente varios centímetros.	0,025-0,05
S 3	Firme.	El dedo pulgar puede penetrar varios centímetros con un esfuerzo moderado.	0,05-0,10
S 4	Consistente.	El dedo pulgar puede penetrar, pero con mucho esfuerzo.	0,10-0,25
S 5	Muy consistente.	Se puede marcar con el pulgar.	0,25-0,50
S 6	Duro.	Se puede marcar con el pulgar, pero con dificultad.	>0,50

#### **Atributo Características del Fracturamiento.**

Para clasificar el macizo rocoso tomando en cuenta las características del fracturamiento (o grado de presencia de las discontinuidades), para la evaluación se procederá de la siguiente manera, se mide a lo largo de un metro lineal cuantas fracturas se presentan, luego en base a estas medidas se tomará la guía práctica donde se pueden considerar los siguientes valores ya identificados en campo.

**Tabla N° 10.** Grado de presencia de discontinuadas a partir de identificar el número de fracturas presentes.

**Fuente.** Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas.

<b>Descripción</b>	<b>Identificación de campo</b>
Masiva o Levemente Fracturada	De 2 a 6 fracturas/metro.
Moderadamente Fracturada.	De 6 a 12 fracturas/metro.
Muy Fracturada	De 12 a 20 fracturas/metro.
Intensamente Fracturada	Más de 20 fracturas/metro.
Triturada y Brechada.	Fragmentada, disgregada, zona de falla





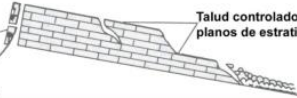


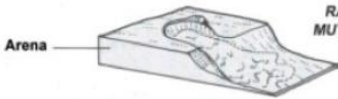


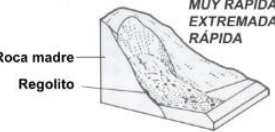


### **Atributo Procesos de Remoción en Masa.**

La remoción en masa, es el desplazamiento de grandes volúmenes de material superficial ladera abajo (a favor de la pendiente), por acción directa de la fuerza de la gravedad, hasta volver a encontrar un nuevo punto de reposo. Normalmente este terreno, en su parte superficial, presenta rocas fragmentadas por acción de la meteorización física, química o biológica, sola o combinada, así como también puede presentar un estrato superficial de suelo grueso o delgado con o sin vegetación.

La clasificación que vamos a utilizar en el presente estudio está basada en las dos más aceptadas por la comunidad internacional como son: Varnes 1978, completada posteriormente por Cruden y Varnes, 1996 y la de Hutchinson, 1988.

**Tabla N° 11.** Clasificación de Procesos de Remoción en Masa.

**Fuente.** Adaptado de Varnes (1978); Hauser (1994); en Servicio Geológico Colombiano (2017).

		Roca madre		Regolito (material suelto o relajado de cualquier origen que cubre la roca firme)																			
CAÍDAS		<p>a CAÍDA DE ROCAS</p> <p>Diaclasas abiertas, ej.: presión hidrostática o cuñas de gelifracción</p>  <p>Eliminación de soporte, ej.: erosión o actividades humanas</p> <p>EXTREMADAMENTE RÁPIDA</p>		<p>e CAÍDA DE SUELO</p> <p>Mezcla de sedimentos</p>  <p>Socavación por corrientes</p> <p>MUY RÁPIDA</p>																			
	DESPLAZAMIENTOS	Pequeñas deformaciones	<p>b HUNDIMIENTO ROTACIONAL</p>  <p>EXTREMADAMENTE LENTA A RÁPIDA</p> <p>Superficie de ruptura</p>		<p>c DESLIZAMIENTO PLANAR DE BLOQUES</p>  <p>Falla a lo largo de discontinuidades</p> <p>MODERADA</p>																		
Grandes deformaciones		<p>d DESLIZAMIENTO DE ROCA</p> <p>Escarpe controlado por discontinuidades</p> <p>MUY LENTA A EXTREMADAMENTE RÁPIDA</p>  <p>Talud controlado por planos de estratificación</p>		<p>f DESLIZAMIENTOS</p> <p>Hundimiento</p> <p>Flujo de tierras</p> <p>(i) Rotacional</p> <p>(ii) Planar</p> <p>(iii) Propagación lateral</p> <p>(iv) Deslizamiento de detritos</p> <p>Arcilla firme</p> <p>Arcilla blanda con material más grueso húmedo</p> <p>Grava arcillosa firme</p> <p>MUY RÁPIDA</p> <p>Loes</p> <p>Arcilla glacial</p> <p>MUY LENTA A RÁPIDA</p>																			
<b>Materiales No Consolidados</b>																							
		Principalmente fragmentos grandes de roca		Arena o limo sorteados no plásticos																			
		Mezclas de roca y suelo		Predominantemente plástico																			
INCREMENTO EN EL CONTENIDO DE AGUA	Seco	<p>g FLUJO DE FRAGMENTOS DE ROCA</p>  <p>EXTREMADAMENTE RÁPIDA</p>		<p>h CORRIMIENTO DE ARENA</p>  <p>Arena</p> <p>Limo firme</p> <p>Arena seca</p> <p>RÁPIDA A MUY RÁPIDA</p>																			
	Húmedo	<p>m FLUJO DE ARENA O LIMO</p>  <p>Arena</p> <p>RÁPIDA A MUY RÁPIDA</p>		<p>k FLUJO LENTO DE TIERRAS</p>  <p>Roca lodosa meteorizada</p> <p>Roca lodosa</p>																			
		<p>I FLUJO RÁPIDO DE TIERRAS</p>  <p>MUY RÁPIDA</p>		<p>j AVALANCHA DE DETRITOS</p>  <p>MUY RÁPIDA A EXTREMADAMENTE RÁPIDA</p> <p>Roca madre</p> <p>Regolito</p>																			
				<p>k FLUJO LENTO DE TIERRAS</p>  <p>Roca lodosa meteorizada</p> <p>Roca lodosa</p>																			
				<p>n FLUJO DE DETRITOS</p>  <p>MUY RÁPIDA</p>																			
				<p>TASA APROXIMADA DE MOVIMIENTO</p> <table border="1"> <tr> <td>10<sup>2</sup></td> <td>3 m/seg</td> <td>Extremadamente rápida</td> </tr> <tr> <td>10<sup>1</sup></td> <td>0.3 m/min</td> <td>Muy rápida</td> </tr> <tr> <td>10<sup>-1</sup></td> <td>1.5 m/día</td> <td>Rápida</td> </tr> <tr> <td>10<sup>-3</sup></td> <td>1.5 m/mes</td> <td>Moderada rápida</td> </tr> <tr> <td>10<sup>-5</sup></td> <td>1.5 m/año</td> <td>Muy lenta</td> </tr> <tr> <td>10<sup>-7</sup></td> <td>0.3 m/5 años</td> <td>Extremadamente lenta</td> </tr> </table>		10 <sup>2</sup>	3 m/seg	Extremadamente rápida	10 <sup>1</sup>	0.3 m/min	Muy rápida	10 <sup>-1</sup>	1.5 m/día	Rápida	10 <sup>-3</sup>	1.5 m/mes	Moderada rápida	10 <sup>-5</sup>	1.5 m/año	Muy lenta	10 <sup>-7</sup>	0.3 m/5 años	Extremadamente lenta
10 <sup>2</sup>	3 m/seg	Extremadamente rápida																					
10 <sup>1</sup>	0.3 m/min	Muy rápida																					
10 <sup>-1</sup>	1.5 m/día	Rápida																					
10 <sup>-3</sup>	1.5 m/mes	Moderada rápida																					
10 <sup>-5</sup>	1.5 m/año	Muy lenta																					
10 <sup>-7</sup>	0.3 m/5 años	Extremadamente lenta																					



### 2.1.22.1.3. Factor Geomorfología.

#### **Atributo Pendiente.**

La pendiente del terreno nos indica cuánto se inclina el mismo con respecto a la horizontal, y puede ser pendiente de subida o de bajada

El concepto de pendiente en sí, es la relación que existe entre el desnivel (Y) y la distancia en horizontal (X) que debemos recorrer. Se expresa normalmente la pendiente en porcentaje o en grados. La pendiente topográfica es la inclinación que hay de una superficie con respecto a lo horizontal (suelo). (<https://www.aristasur.com/contenido/como-calcular-la-pendiente-de-un-terreno>).

#### **Atributo Ambientes Geomorfológicos.**

Es la agrupación de geoformas relacionadas genética y geográficamente. Están definidas por los ambientes morfogenéticos y geológicos afectados por procesos geomórficos parecidos. El ambiente morfogenético hace alusión a las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas bajo las cuales se generaron las geoformas.

Se determina con base en la interpretación de los procesos geomorfológicos registrados (origen tanto endógeno como exógeno), que dieron lugar a la formación, evolución y modificación de las mismas.

Dentro de los cuales podemos destacar los siguientes ambientes morfogenéticos: ambiente denudacional, ambiente fluvial y ambiente estructural.

**Ambiente Denudacional (D)** Determinado por la actividad de los procesos erosivos hídricos y pluviales, y principalmente producto de procesos de meteorización, erosión y remoción en masa, sobre geoformas preexistentes. (INGEOMINAS, 2011)

**Ambiente Fluvial (F)** Corresponde a las geoformas generadas por procesos (erosión – sedimentación), generadas por corrientes de agua tales como ríos, arroyos, lagos y lagunas respectivamente. (INGEOMINAS, 2011)

**Ambiente Estructural (S)** Corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente la asociada a plegamientos y fallamientos. (INGEOMINAS, 2011).

En otras regiones fuera del área del estudio de caso se pueden presentar ambientes como: Ambiente Volcánico, Ambiente Glacial, Ambiente Cárstico y Ambiente Eólico.

### Atributo Erosión.

La erosión comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento. La erosión puede ser generada tanto por el agua como por el viento (J. Suarez, 2001).

Las actividades humanas frecuentemente intensifican o aceleran las rutas de erosión, especialmente por la deforestación o la remoción de la capa vegetal, así como por la concentración de la escorrentía en forma artificial y por la limpieza y desbroce para generar movimiento de tierras. No siempre es fácil distinguir entre la erosión natural y la acelerada ya que están a menudo muy relacionadas.

**Tabla N° 12.** Formas y mecanismos de erosión.

**Fuente.** Control de erosión zonas tropicales, Jaime Suarez Díaz (2001).

<b>Elemento Erosionante</b>	<b>Forma</b>	<b>Mecanismo</b>
Gotas de lluvia	Semilaminar	Golpeo, desprendimiento y esparcimiento.
Escorrentía	Semilaminar (Difusa)	Transporte de suelos desprendidos por la lluvia y arrastre de materiales sueltos.
	En surcos	Desprendimiento y transporte a lo largo de canales intermitentes con avance hacia arriba.
	En cárcavas	Desprendimiento, turbulencia en canales intermitentes con avance hacia arriba.
Agua quieta o en movimiento	Disolución	Los componentes químicos solubles en agua son disueltos por el agua.
	Dispersión	Desmoronamiento o separación de las partículas al saturarse.

#### 2.1.22.1.4. Componente Biológico.

### Atributo Vegetación.

Se designa con el término de vegetación al conjunto de los vegetales propios de un terreno, país o región. Aunque, además de tratarse de la flora propia del terreno, es decir, de la vegetación autóctona, también se debe incluir en la vegetación de un lugar específico a las especies que se hayan sido introducidas.

Cuando se hace referencia a vegetación, no se está haciendo alusión a algún taxón en particular, por lo cual la vegetación puede estar compuesta por plantas de diferentes características y estar sujetas a las más variadas condiciones geográficas.

El concepto de vegetación, entonces, permite designar desde bosques vírgenes, pasando por un conjunto de arbustos absolutamente salvajes y hasta aquellos cultivos generados por el hombre. ([https://fido.palermo.edu/servicios\\_dyc//blog/docentes/trabajos/52919\\_210526.pdf](https://fido.palermo.edu/servicios_dyc//blog/docentes/trabajos/52919_210526.pdf))

#### **2.1.22.1.5. Componente Humano.**

##### **Atributo Densidad Poblacional.**

La Densidad Poblacional en la evaluación de riesgos consiste en estudiar los movimientos que se presentan en las poblaciones humanas. El término de población debe ser entendido como el conjunto de personas que se agrupan en cierto ámbito geográfico y está propenso a continuos cambios. De esta manera, el área temática se concentra en el estado y la dinámica de estas poblaciones en el tiempo.

El estudio del estado y de la dinámica poblacional y su evolución, son fundamentales a fin de diseñar y proyectar el flujo vial en el contexto del desarrollo de los pueblos. ([https://ccp.ucr.ac.cr/cursos/demografia/materia/1\\_demografia.htm](https://ccp.ucr.ac.cr/cursos/demografia/materia/1_demografia.htm)).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIALES.

El material utilizado en el presente proyecto de investigación puede desglosarse en tres formas:

- **Material de escritorio.**

Bolígrafos de colores.

Lápiz.

Marcadores.

Borrador.

Reglas y escuadras.

Cuaderno de apuntes.

Hojas bond tamaño carta.

- **Material Informático.**

Computadora de escritorio (Intel Core i7-8700 CPU @ 3.20 GHz. - 32.0 GB RAM).

Computadora portátil (Pavilion dv6-7084la Core –i7-3610QM – 16.0GB RAM)

Software ArcGIS 10.3 Versión: 10.3.0.4322

Autodesk AutoCAD 2015.

Disco externo de 2 terabytes

- **Material Cartográfico.**

Eje de la carretera en formato CAD (ABC 2018).

Precipitación media anual en formato img. (MSc. Ing. José Luis Delgado Álvarez).

Mapa Geológico en formato shp. (Mancilla N. & Mancilla B 2020.)

Modelo digital de elevación SRTM de 30 metros, (GeoBolivia).

Plan de Uso de Suelos del Departamento de La Paz, en Formato shp.

Imagen LandSat 8 Path 001 Row 071 del 27 de julio del 2020. (USGS Science For A Changing World).

#### 3.2. MÉTODOS.

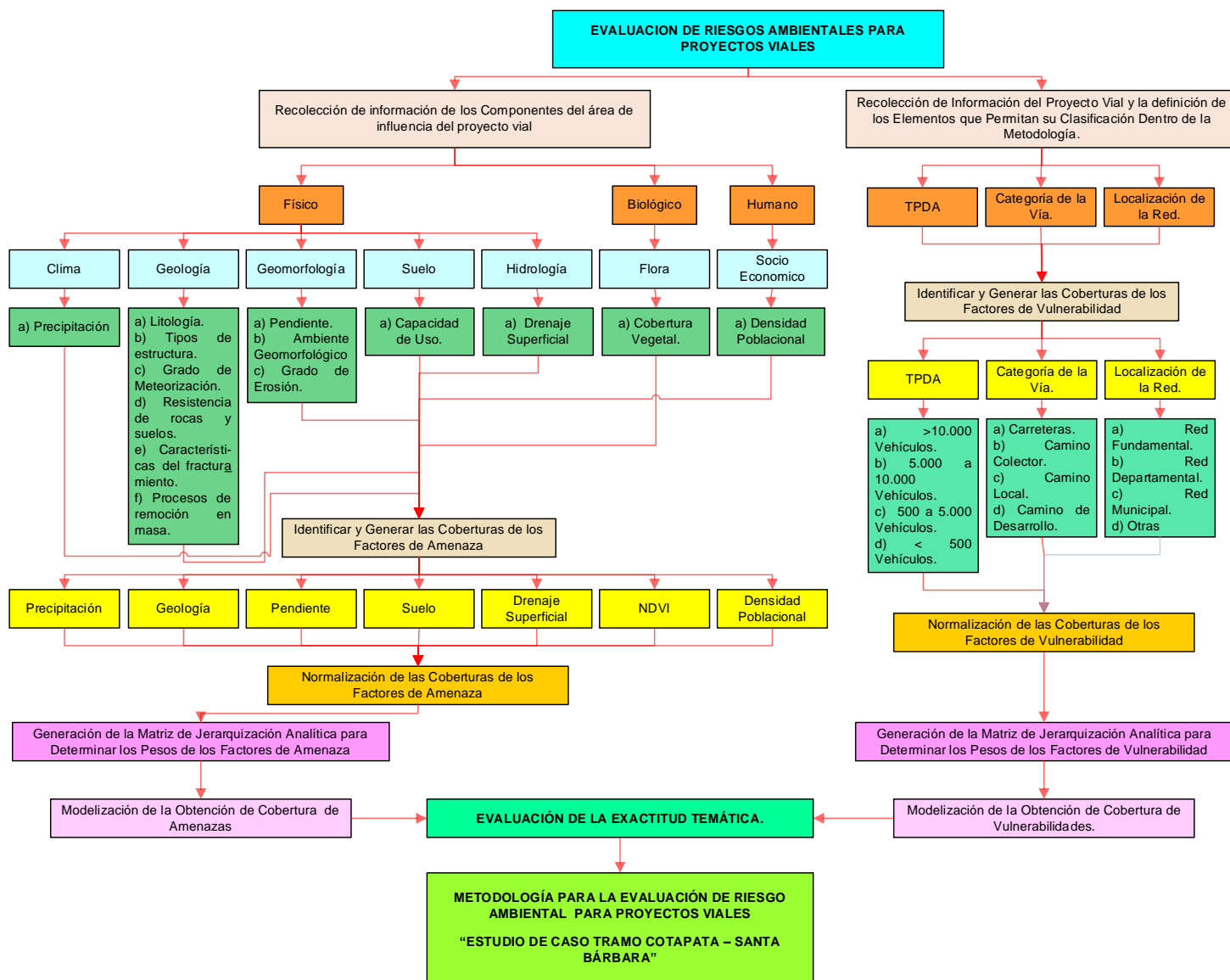
Para ejecutar una adecuada identificación de los riesgos ambientales en un sistema de información geográfica en proyectos viales, la investigación requiere una metodología integrada que debe considerar una serie de factores de amenaza y vulnerabilidad.

En cada uno de los factores analizados, calificados, evaluados y posteriormente procesados de acuerdo a la naturaleza de los datos, nos permitirán la generación de coberturas, estas

integradas dentro de un SIG nos dará como resultado una cobertura de amenazas y vulnerabilidades que combinadas nos mostrará un mapa de riesgos ambientales para Proyectos Viales.

Para obtener una respuesta adecuada al problema planteado, del proyecto de estudio de caso Tramo Cotapata – Santa Barbara, en primera instancia de debe obtener información que pueda permitirnos el uso de herramientas geoespaciales obtener una Evaluación Multicriterio para lo cual utilizaremos el método de Combinación Lineal Ponderada.

**Tabla N° 13. Metodología del estudio de investigación.**



### **3.2.1. Recolección de Información.**

Se procedió a realizar la búsqueda de todo el material bibliográfico, relaciona a riesgos o relacionados especialmente de los componentes ambientales, de todas las áreas próximas al proyecto Cotapata Santa Bárbara, se investigó información en la web de distintas instituciones como La Administradora Boliviana de Carreteras, Instituto Nacional de estadística INE, Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Servicio Geológico Minero, USGS Science for a Changing World y Geo Bolivia. Esta fue la forma de acceder a la información primaria, pero es importante destacar que gran parte de la información que utilizamos en la tesis, fue entregada por cada uno de los docentes de los distintos módulos de la maestría.

A partir de lo anterior, se incluye la información primaria adquirida para la realización del estudio, se detalla dentro de la metodología de proceso, el análisis efectuado y productos resultantes.

### **3.2.2. Definición del Sistema de Referencia.**

El sistema que se utilizara dentro de la investigación y esto debido a convenciones es el Sistema Geodésico Mundial (World Geodetic System - WGS 84). Con sistema cartográfico UTM, Zona 19 Sur.

### **3.2.3. Definición del Área de Influencia.**

Para la definición del área de influencia de cualquier proyecto vial, es preciso tomar en consideración diversos aspectos, los principales:

- ✓ Las características de la zona de emplazamiento del proyecto.
- ✓ Las características del proyecto.

Por esta razón, en primer término, se deben analizar las características de los trabajos que serán llevados a cabo como parte del proyecto, para luego determinar aquellas que se atribuyen a actividades directamente relacionadas con la construcción y operación del proyecto y cuáles a actividades indirectas, es decir actividades realizadas por terceros.

Finalmente, tomando en consideración las características de los factores ambientales de la zona de emplazamiento del proyecto, determinar las áreas que corresponden al área de afectación directa y aquellas que corresponden al área de afectación indirecta.

A partir de las consideraciones establecidas, se puede afirmar lo siguiente. Las actividades que son responsabilidad del ente gestor del proyecto vial (Administradora Boliviana de Carreteras, Servicio Departamental de Caminos o el Gobierno Autónomo Municipal) y sus contratados, se

desarrollan en el derecho de vía, áreas accesorias y poblaciones aledañas a la vía, presentándose sus efectos también dentro de estas áreas.

#### **3.2.3.1. Área de Influencia Directa (AID).**

Por consiguiente, el Área de Influencia Directa es el Derecho de vía (100 m, 50 m a cada lado del eje), otros sectores de intervención (bancos de préstamo, buzones para depósito de material excedente, áreas de instalación de campamentos), Caminos de acceso a otros sectores de intervención y Poblaciones aledañas al derecho de vía de la carretera.

Para el presente estudio y para lograr resultados adecuados se ha definido como área de influencia directa 500 metros a cada lado del eje, considerando que el tamaño del pixel trabajado es de 30 metros.

#### **3.2.3.2. Área de Influencia Indirecta (AI).**

Para la definición del área de influencia indirecta se ha empleado criterio técnico, que ha permitido delimitar el espacio geográfico para el levantamiento de información; las cuencas hidrográficas, son unidades naturales con características propias tanto ambientales, geomorfológicas, como hidrológicas e inclusive socioeconómicas. Los límites de cuencas hidrográficas están dados por las divisorias de aguas y ha sido empleado para la presente investigación, como principales criterios de definición.

#### **3.2.4. Identificación de los Factores de Amenaza y Vulnerabilidad.**

La metodología de Evaluación Multicriterio (EMC), se desarrolla mediante un conjunto de técnicas orientadas, a asistir en los procesos de toma de decisiones, se basa en la descripción, ordenamiento, jerarquización y selección de alternativas, evaluación de cada uno de los componentes del riesgo, esto es la amenaza y la vulnerabilidad, con enfoque espacial apoyada en sistemas de información geográfica, aproximación metodológica que se basa en la ponderación y calificación secuencial de los diversos factores generadores de amenaza y vulnerabilidad, para de esta forma poder identificar los riesgos en proyectos viales.

En una primera instancia se analizó desde el enfoque ambiental los componentes del medio ambiente establecidos en el proceso de Segmentación Ambiental los cuales son: Físico, Biológico y Humano.

Dentro de estos se identificaron los factores relacionados con la generación de riesgos, en otras palabras, las que ocasiona inestabilidad a la plataforma de la carretera, de esta forma evitando la transpirabilidad del usuario; dentro de los cuales podemos destacar fundamentalmente los



atributos ya establecidos en la tabla de segmentación ambiental, el análisis de cada uno de ellos permitirá tener una adecuada valoración a tiempo de ejecutar la Matriz de Jerarquización Analítica.

### 3.2.5. Generación de las Coberturas de los Factores de Vulnerabilidad y Amenaza (Mapas Temáticos).

Debemos establecer, que en muchos casos se toma coberturas ya existentes y se las analiza y procesa, lo cual permite generar una cobertura que es utilizada como factor ya sea de amenaza o vulnerabilidad.

Los mapas temáticos son selectivos o específicos porque representan solamente aspectos necesarios a su propósito, algo importante a recordar, por ser una representación de la realidad, siempre presentan, un cierto nivel de distorsión.

La generación de las coberturas está ligada primero a definir cuáles eran las coberturas que deberían intervenir en el análisis de riesgos ambientales para proyectos viales, este análisis se lo realizo cuando se describieron los factores ambientales dentro del marco teórico del presente estudio.

Para iniciar el trabajo se recopiló la información existen que podía ser utilizada en la investigación, se definida a continuación:

**Tabla N° 14.** Coberturas base con su fuente.

Factores de Amenaza		Fuente
1	Precipitación.	Tomado de MSc. Ing. José Luis Delgado Álvarez.
2	Geología.	Mancilla N. & Mancilla B 2020.
3	Pendiente	Modelo digital de elevación SRTM de 30 metros, (GeoBolivia).
4	Suelo	Plan de Uso de Suelos del Departamento de La Paz
5	Drenaje Superficial	Mancilla B 2020. a partir de la digitalización de los cursos de agua sobre la imagen de satélite de SAS Planet.
6	Cobertura Vegetal (NDVI)	Imagen LandSat 8 Path 001 Row 071 del 27 de julio del 2020. (USGS Science For A Changing Word).
7	Densidad Poblacional	Instituto Nacional de Estadística.

Factores de Vulnerabilidad		Fuente
1	TPDA.	Administradora Boliviana de Carreteras.
2	Estructura Vial.	Administradora Boliviana de Carreteras.
3	Localización de la Red.	D.S. 25134.

### 3.2.6. Normalización de las Coberturas de los Factores de Vulnerabilidad y Amenaza.

Para poder realizar este acápite se ejecutó la Combinación Lineal Ponderada (WLC) en otros términos necesitamos combinar las coberturas ya generadas anteriormente, para lo cual debemos considerar lo siguiente:

El proceso de normalización consiste en transformar todos los valores de evaluación de los diferentes criterios (valores no comparables entre sí), para una misma escala. Este proceso viabiliza la agregación de estos criterios y posteriormente, la respectiva combinación (Ramos, 2000).

En el proceso de normalización de criterios se utilizan frecuentemente los valores máximos y mínimos para la definición adecuada.

La normalización de los criterios en Sistemas de Información Geográfica se alcanzada a través de la función de reclasificación. En una función de reclasificación los valores de una matriz son alteradas en función de un conjunto de condiciones (Matos, 2008).

La variación lineal es una forma simple de definir una escala, definida de la siguiente forma (Eastman, 1997).

$$X_i = \frac{(R_i - R_{\min})}{(R_{\max} - R_{\min})} * \text{intervalo normativo}$$

En el  $R_i$  es el valor de puntuación (score) a normalizar e  $R_{\max}$  y  $R_{\min}$  son los scores mínimo máximo respectivamente.

La lógica fuzzy es una forma de normalización de criterios en la evaluación multicriterio, según el cual un conjunto de valores expresados en una escala de valores convertido en otro comparable, en una escala normalizada (por ejemplo 0-1). El resultado expresa un grado relativo de pertenencia a un conjunto (designado por fuzzy membership o posibilidad) que varía entre 0

a 1, indicando un crecimiento continuo, desde la no pertenencia hasta la pertenencia total, en base del criterio sometido al proceso de fuzzyfización (Ramos, 2000).

Para la normalización de los criterios, según la lógica fuzzy “varias son las funciones que pueden ser utilizadas para regir la variación entre el punto mínimo, a partir del cual el valor score del criterio comienzan a contribuir a la decisión, y el valor máximo, a partir del cual los scores más elevados no aportan contribución adicional para la decisión. Las más usadas son: Sigmoidal, J-Shaped, Lineal y compleja” (Zadeh, 1995; Eastman, 1997; Mendes, 2000, cit. Ramos 2000).

### **3.2.7. La Matriz de Jerarquización Analítica para Determinación de los Pesos Relativos de los Factores de Amenaza y Vulnerabilidad.**

El Proceso de Análisis Jerárquico (Analytic Hierarchy Process AHP), es un método basado en la evaluación de diferentes criterios que permiten jerarquizar un proceso y su objetivo final consiste en optimizar la toma de decisiones gerenciales (Saaty, 1980).

La metodología es una poderosa y flexible herramienta de toma de decisiones multi-criterio, utilizada en problemas en los cuales necesitan evaluarse aspectos tanto cualitativos como cuantitativos.

Una vez construido el modelo jerárquico, se realizan comparaciones en pares entre dichos elementos y se atribuyen valores numéricos a las preferencias señaladas por las personas, entregando una síntesis de las mismas mediante la agregación de esos juicios parciales. El fundamento del proceso de Saaty descansa en el hecho que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas, logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende. Para estas comparaciones se utilizan escalas de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad, sobre la base de una escala numérica propuesta por el mismo Saaty, que va desde 1 hasta 9. (Ávila, 2000).

Toda la parte procedimental, para la generación de los pesos de los factores que intervienen en el estudio están dentro del marco teórico.

### **3.2.8. Modelamiento del Escenario del Riesgo Ambiental en Proyectos Viales.**

Después de haber obtenido las coberturas Normalizadas de los factores considerados para la generación del mapa de amenazas y vulnerabilidad, y tener los resultados de la matriz de jerarquización analítica, que nos ha permitido determinar los pesos de cada factor podemos generar los modelos.

Para este efecto, se realiza la superposición lineal ponderada (WLC) combinando las coberturas que representan los factores pasivos o intrínsecos al proceso analizado.

De esta manera, el álgebra para el mapa de vulnerabilidad y Amenaza es:

Amenaza	Vulnerabilidad
$A = \sum W_i X_i$	$V = \sum W_i X_i$

Dónde:

A = Amenaza

V = Vulnerabilidad.

$W_i$  = Peso del factor i

$X_i$  = Valor normalizado del factor i

### 3.2.9. Evaluación de la Exactitud Temática.

La evaluación de la exactitud temática, se ocupa de los aspectos temáticos y/o fenómenos del modelo cartográfico y consiste en comparar la información del mapa con información de referencia considerada muy confiable. Generalmente se basa en un muestreo de sitios de verificación, cuya clasificación se obtiene a partir de observaciones de campo o del análisis de imágenes de Satélite más detalladas, que aquellas utilizadas para generar el mapa. (Peralta-Higuera et al., 2001).

La evaluación de la confiabilidad temática consiste en comparar la información del mapa con información de referencia considerada muy confiable, basándose en sitios de muestreo, cuya clasificación se obtiene a partir del análisis de imágenes. No se recomienda utilizar para la evaluación las mismas áreas que se utilizaron para generar la clasificación, debido a que la fiabilidad estimada será más alta que la real (Chuvienco, 2008). La cantidad de información sobre la calidad puede exceder al conjunto de datos esta debe ser presentada en un formato breve, fácilmente comprensible (IGN, 2009).

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados de este proyecto se fundamentan partir de la generación de mucha información temática que como objetivo final tiene el propósito de mostrar una metodología para la identificación de riesgos ambientales, al final esto se valida con la obtención de mapas de Amenazas, Vulnerabilidad y Riesgos Ambientales para el tramo Cotapata - Santa Bárbara, a continuación, se presenta el manejo dentro del programa ArcGIS 10.3 componente principal de geoprocetamiento espacial.

Se inicia el programa ArcMap 10.3 donde se definirá el sistema de coordenadas que van a ser manejadas como WGS 1984 UTM Zona 19 S como el sistema proyectado de coordenadas correspondiente a la zona de estudio ubicada en el departamento de La Paz.

#### **4.1. LA DEFINICIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO COTAPATA – SANTA BARBARA.**

La cobertura del área de influencia indirecta (AII) fundamentalmente se tomó el criterio de cuencas, donde se encuentra el tramo vial, estas divisorias de aguas, permitirá realizar el recorte de las imágenes satelitales (Landsat y SRTM) y coberturas espaciales, para su posterior procesamiento y análisis.

El área de influencia directa (AID) 500 metros a cada lado del eje, considerando que el tamaño del pixel. Figura N° 9.

#### **4.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD DEL PROYECTO COTAPATA - SANTA BARBARA.**

La identificación adecuada de los factores, se la realiza en base a la experiencia del evaluador, la información práctica de evaluación se encuentra en el marco teórico, para cada uno de los factores, este criterio permite definir la importancia relativa de cada uno de los factores ya sea de Amenaza o Vulnerabilidad; siempre estableciendo la premisa de la transitabilidad en proyectos viales.

También se ha considerado la poca bibliografía en la temática de riesgos en carreteras, estos factores fueron elegidos y priorizados porque están íntimamente relacionados, para modelar los mapas de vulnerabilidad y amenaza aquí presentados.



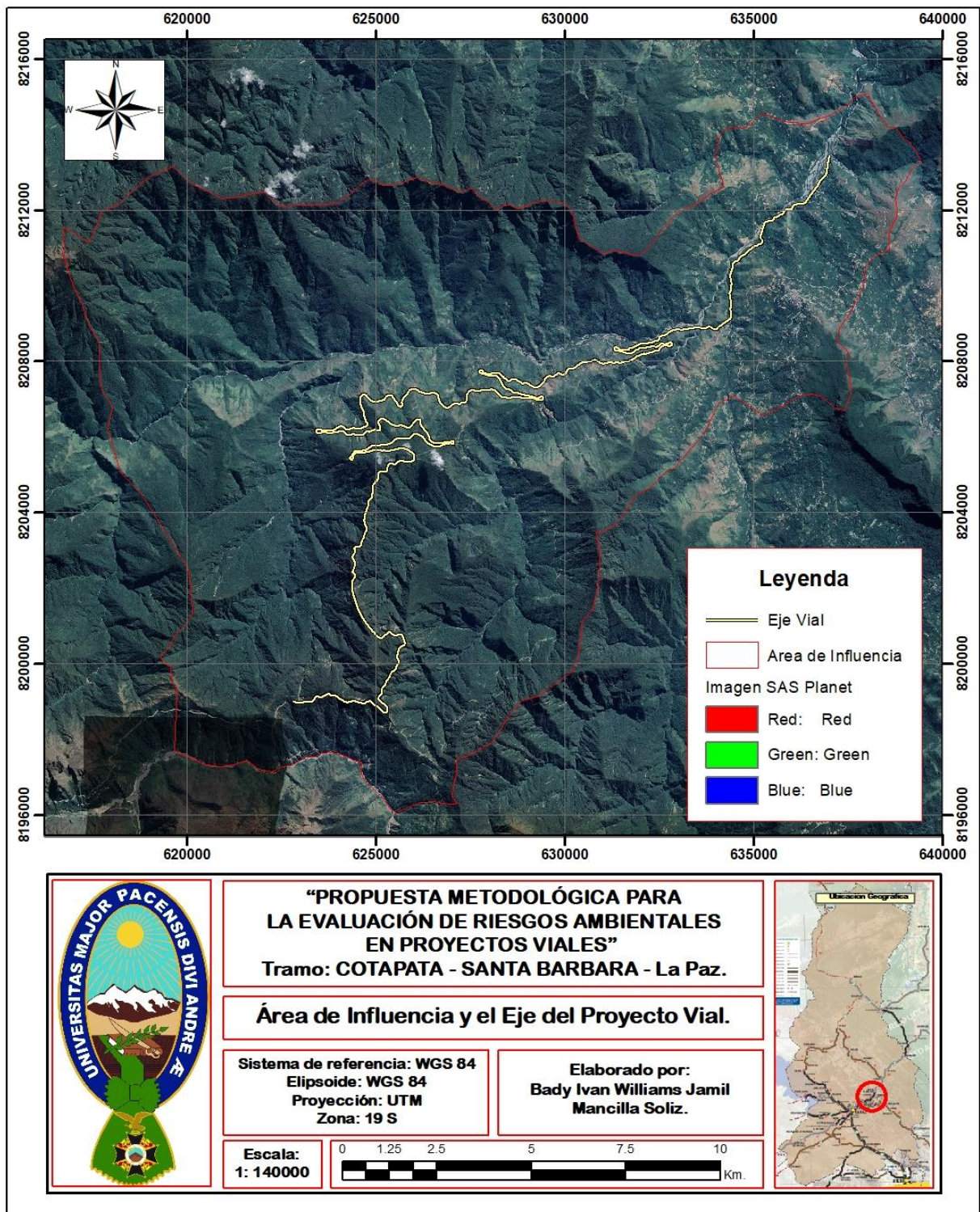


Figura N° 9. Área de Influencia y el eje del proyecto vial.

**Tabla N° 15.** Factores de Amenaza y Vulnerabilidad.

<b>Factores de Amenaza</b>	<b>Factores de Vulnerabilidad</b>
Clima (Precipitación).	TPDA.
Geología.	Estructura Vial.
Geomorfología (Pendiente)	Localización de la Red.
Suelo	
Hidrología (Drenaje Superficial)	
Flora (Cobertura Vegetal)	
Socio Económico (Densidad Poblacional)	

### **4.3. GENERACIÓN DE LAS COBERTURAS DE LOS FACTORES DE VULNERABILIDAD Y AMENAZA (MAPAS TEMÁTICOS).**

Una cobertura es un modelo de datos georrelacionales que almacena datos; contiene datos espaciales (ubicación) y de atributos (descriptivos) de factores geográficas. Las coberturas utilizan un conjunto de clases de entidades para representar entidades geográficas.

Los mapas temáticos en esta investigación resultan ser los factores, y serán generados a partir de imágenes de satélite de mediana resolución espacial tales como Landsat y MDE y la información geoespacial en formato raster y vectorial obtenidas de diferentes instituciones estatales (Mamani. H, 2016) y algunas de elaboración propia.

#### **4.3.1. Factores de Amenaza.**

##### **4.3.1.1. Precipitación.**

A partir de la cobertura de precipitaciones anuales promedio del departamento de La Paz, del plan estratégico de manejo de cuencas de La Paz, Gobernación de La Paz 2014, se obteniendo una cobertura de precipitaciones anuales con valores máximos de 1792 mm/año y como mínimo 1222 mm/año.

Es importante establecer que para muchos autores, este factor natural modifica las condiciones de estabilidad de la superficie terrestre y se considera como el detonante más común a las lluvias y el sismo (Turner & Schuster, 1996).

Este tiene regularmente una frecuencia de ocurrencia que permite incluir a este factor temporal en el análisis de amenaza. Figura N° 10.



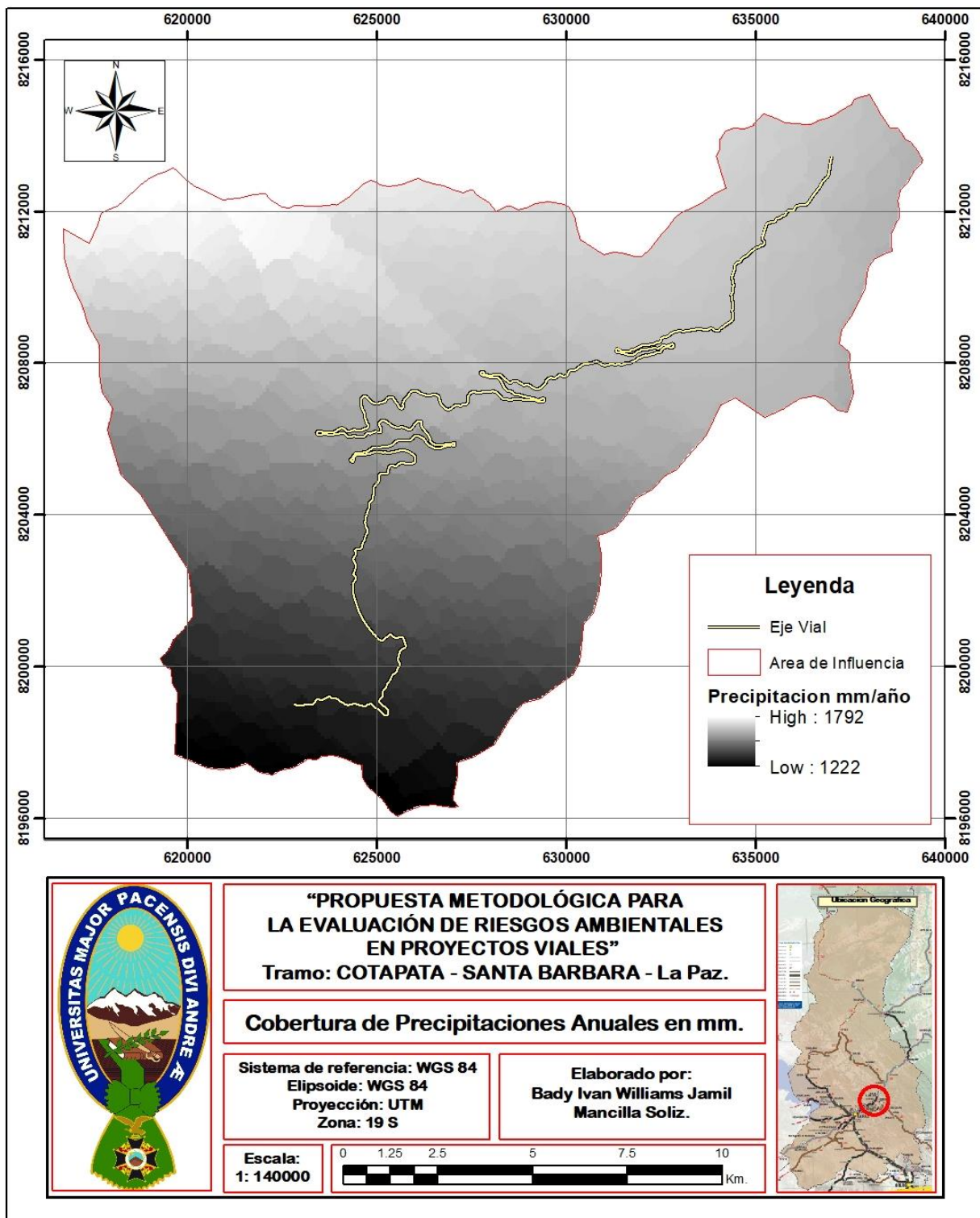


Figura N° 10. Cobertura de precipitaciones anuales y el eje del proyecto vial.

Nota: Los valores de precipitación oscilan desde 1222mm/año hasta 1792 mm/año.



#### **4.3.1.2. Geología.**

El factor Geología, con los planteamientos teóricos postulados en la literatura especializada, asignándole a este factor una absoluta preferencia, debemos entender los aportes que brinda considerando su naturaleza, caracteres mecánicos, físicos y químicos, mineralogía, grado de intemperismo y tectonismo (densidad de fracturamiento).

De acuerdo a las características geológicas del tramo el mismo ha sido subdividido en tres sectores, a continuación se muestran las características más relevantes de cada uno de ellos.

El Sector Chuspipata: Definido entre las progresivas km. 0+000 a km 7+420 las rocas que afloran están representadas principalmente por pizarras y metalimolitas intercaladas con bancos de cuarcitas. Los taludes de corte, exponen macizos de roca, cuyo grado de fracturamiento varía desde moderadamente fracturada, hasta muy fracturada.

Las fallas geológicas tienen predominantemente azimut  $308^{\circ}$  a  $332^{\circ}$  y buzamiento al SW. Los principales sistemas de diaclasas son dos en las siguientes direcciones: Azimut  $291^{\circ}$  a  $322^{\circ}$  y buzamiento al NE; Azimut  $28^{\circ}$  a  $36^{\circ}$  y buzamiento al SE. Con menor frecuencia ocurre una familia de diaclasas con dirección preferencial de  $80^{\circ}$  y buzamiento al NW.

Gran parte de las juntas o diaclasas, presentan rellenos de óxidos de hierro y en algunas ocasiones arcilla, estos materiales generan el debilitamiento del macizo rocoso, adicionalmente se observa un marcado desarrollo de discontinuidades en posición desfavorable para la estabilidad de los taludes. Además, se encuentran segmentos en el trazo del proyecto, en los que debido a la posición espacial de las diaclasas se forman cuñas de roca y el relleno arcilloso en las mismas contribuye también a su inestabilidad debido a los procesos de meteorización. Con referencia a los planos de estratificación, hay segmentos en los que la posición de los estratos y su buzamiento respecto a la posición del eje de la vía, es desfavorable para la estabilidad de los taludes. Especial mención se debe hacer del segmento km 6+100 a km 7+420 en el que debido a este problema de inestabilidad se construyó el túnel San Rafael.

El grado de meteorización del macizo rocoso en el tramo Chuspipata, varía de II Ligeramente Meteorizada a III Moderadamente Meteorizada, En el tramo de Chuspipata, los materiales cuaternarios están prácticamente ausentes.

El Sector Nogalani, entre las progresivas 7+420 a 30+275, las fallas geológicas tienen azimuts que varían entre  $295^{\circ}$  a  $310^{\circ}$  y buzamiento principalmente al SW. Las fallas principales son resultado de esfuerzos compresivos y son de carácter regional. Las diaclasas y/o juntas están desarrolladas básicamente en dos direcciones: la primera, con azimut que varía entre  $293^{\circ}$  a

319° con buzamiento tanto al NE como al SW. La segunda familia de diaclasas, se desarrolla con azimut que varía entre 26° a 36° buzando tanto al NW como al SE. Sin embargo, ocurre un sistema de diaclasas de poca frecuencia con azimut entre 198° a 238° y buzamiento subvertical al SE como al NW.

En el sector, los taludes de corte muestran macizos de roca cuyo grado de fracturamiento varía desde Moderadamente Fracturado hasta Intensamente Fracturada. Existen zonas de falla en los que la roca se encuentra Triturada. El grado de meteorización de la roca varía desde I Ligeramente Meteorizada a IV Fuertemente Meteorizada. Los materiales coluviales tienen espesores reducidos menores a 1 m. con un desarrollo moderado y generalmente se encuentran en una situación estable. Sin embargo, en algunos sitios, el contacto de coluvio con roca viene marcado por una capa de arcilla impermeable que ocasiona la formación de un nivel freático, en esta zona de contacto se desarrolla una erosión diferencial, cuya evolución genera puntos inestables en la carretera.

El Sector Huarinilla, ubicado entre las progresivas km. 30+275 a km 48+873, la roca aflorante que es una pizarra con intercalaciones de capas cuarcíticas. Sobre la roca, descansa una capa de material coluvial de espesor variable, que está compuesto por fragmentos de roca de granulometría variable en una matriz areno-limosa hasta arcillosa, el grado de meteorización varía desde Moderadamente Meteorizada hasta Fuertemente Meteorizada. Gran parte de los taludes fueron excavados en materiales coluviales y rocas descompuestas en los afloramientos de roca se ha encontrado que presentan un nivel de fracturamiento que corresponden a rocas intensamente fracturada a trituradas.

#### **4.3.1.2.1. Formación Coroico (Ordovícico) Oco.**

El trabajo de evaluación geológica nos ha permitido identificar esta formación, donde no se ha podido observar un contacto neto con la unidad suprayacente; razón por la que se ha desarrollado una zona de transición; sin embargo, es posible realizar una diferenciación litológica entre las rocas de la formación Amutara y el tope de la formación Coroico.

La formación Coroico, la base está constituida por una secuencia de lutitas con pirita en su composición, fácilmente distinguible en muestra de mano, intercalan niveles de areniscas cuarcíticas de grano fino, color marrón amarillento con un espesor de hasta 1 metro, mostrando deformaciones a pequeña escala formando pliegues y planos de discontinuidad.

La parte intermedia de esta secuencia, presenta niveles de 25 metros de lutitas carbonosas con estructura masiva, de color gris oscuro. El tope está marcado por una secuencia potente (mayor

a los 60 metros) de pizarras grises muy compactas, se observa la formación de diaclasas sistemáticas con orientación perpendicular a la estratificación.



**Fotografía N° 1.** Estratos de la formación Coroico con clivaje en niveles de hasta 20 cm.

En su parte superior está constituida por pizarras color gris oscuras con clivaje en capas y buena compactación, se observa la formación de diaclasas sistemáticas perpendiculares a la estratificación, esporádicamente intercalan niveles de hasta 0.60 metros de cuarcitas y meta-limolitas. La secuencia potente (aproximadamente 40 metros) de lutitas y en menor proporción limolitas, de color gris oscuro que se presentan altamente deformados con micropliegues y planos de esquistosidad, llegando a tener un carácter casi saprolítico, muy activos al contacto con el agua.

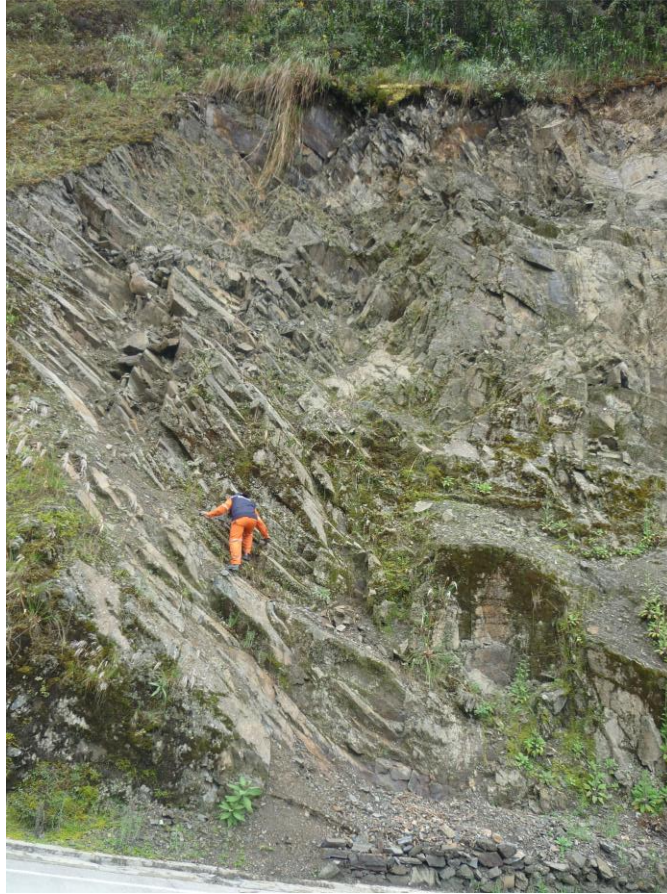


**Fotografía N° 2.** Niveles de la formación Coroico con nódulos de arenisca con diámetros mayores a 1 metro.

#### **4.3.1.2.2. Formación Amutara. (Ordovícico) Oam.**

Los afloramientos de esta Formación, litológicamente están caracterizados por una intercalación de areniscas, metalimolitas, y esporádicos niveles de lutitas y pizarras grises oscuro, en afloramiento las metalimolitas y areniscas son de color marrón claro, dispuestas en niveles de 2 hasta 12 metros espesor con buena compactación. Están afectadas por diaclasas sistemáticas con planos perpendiculares a su estratificación, los niveles de areniscas cuarcítica tienen grano fino a muy fino, espesores hasta de 3.5 metros, estructura masiva y buena compactación. Los niveles de lutitas no superan los 60 centímetros de espesor, estando presentes fundamentalmente en la base de la secuencia, estando ausentes hacia el tope de la formación. Una particularidad es que tienden a ser muy afectadas al contacto con aguas de filtraciones, reduciendo su competencia además de formar zonas de oxidación.





**Fotografía N° 3.** Estratos de la formación Amutara, mostrando niveles compactos de areniscas cuarcíticas intercalados con niveles de limolitas.

#### **4.3.1.2.3. Deslizamiento Qd.**

Estos depósitos se encuentran ubicados en las proximidades al acceso lado Cochabamba y debemos establecer con claridad que se tratan de procesos que se encuentran en equilibrio actualmente, se desarrollan sobre las laderas de las pendientes y los afloramientos encuentran mayor disposición hacia los taludes. Este tipo de depósitos se han originado en zonas de alta pendiente, a través de un plano de debilidad o rotura, lo cual se ven agudizados cuando intervienen factores físicos, como ser el grado de compactación y presencia de planos de discontinuidad, además de eventos asociados al clima. En el área de estudio se desarrollan a lo largo de la vía, en sectores puntuales pero sus dimensiones son restringidas, teniendo efectos negativos limitados sobre el acceso. Granulométricamente, está representado por mezclas múltiples de bloques, gravas, arenas, limos y arcillas todos ellos en unos mezclados y con una baja cohesividad.

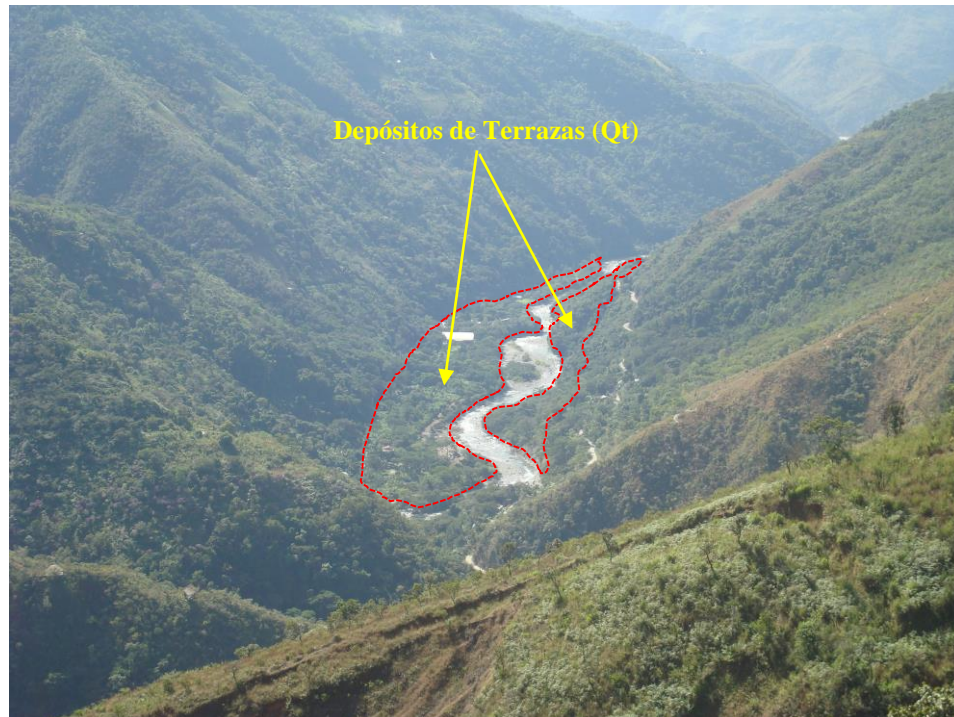


**Fotografía N° 4.** Vista general de un deslizamiento menor activo en la progresiva 3+863.

#### ***4.3.1.2.4. Depósito de Terraza Qt.***

Superficie de terreno plana y con pendiente pequeña que ha sido modelada por un río, generalmente sobre sus propios depósitos, y que está situada sobre el cauce mayor, por lo general se ubican en las márgenes y a lo largo de los cursos de río principalmente del Huarinilla. En el área se distinguen las terrazas, de tipo acíclicas, con escarpes sub-verticales y de baja altura. Estos depósitos corresponden a una (antigua) llanura de inundación, están compuestos por material detrítico granular de tamaño variable, con clastos hasta 1.6 m. de diámetro, estos clastos no superan el 8% del contenido del material detrítico, están constituidos por gravas con clastos de areniscas de formas sub-redondeadas a redondeadas, con una matrix que está conformado por una mezcla heterogénea de arenas de grano medio a fino y limos y arcillas.





**Fotografía N° 5.** Al fondo se aprecian depósitos de Terraza (Qt) producto de la deposición del río.

#### **4.3.1.2.5. Deposito Coluvial Qc.**

Estos depósitos tienen su desarrollo en el área del proyecto debido a las condiciones topográficas presentes, de las partes altas de las serranías donde afloran rocas de edad Ordovícica, sobre las cuales actúa el proceso de intemperismo, estos materiales sueltos son transportados por gravedad pendiente abajo, litológicamente constituidas por bloques de formas angulosas, la fracción más fina es una mezcla heterogénea de arcillas y limos, los espesores varían desde los pocos centímetros hasta los 16 metros aproximadamente, dependiendo de la altura y pendiente del terreno.

La resistencia de estos materiales es baja, sobre todo en la zona de contacto con el sustrato rocoso, y cuando se desarrollan altas presiones intersticiales como consecuencia de lluvias intensas y los cortes realizados provocando derrumbes.



**Fotografía N° 6.** En primer plano depósito de Coluvial (Qc) al borde del río Huarinilla.

#### **4.3.1.2.6. Deposito Aluvial Qa.**

Estos depósitos están distribuidos en el cauce de los diferentes ríos, en el sector donde se encuentran las alternativas tienen una sección la llanura aluvial de hasta 227 m el sector de mayor desarrollo, están compuestos por material detrítico fino – granular de tamaño variable, con clastos que sobrepasan el metro de diámetro mayor, predominantemente tienen formas redondeadas y de composición uniforme (especialmente areniscas) el material de menor tamaño está conformado por una mezcla heterogénea de arenas de grano medio a fino y limos y arcillas.

La característica descrita nos hace inferir que existe un importante grado de sedimentación de los ríos entendiendo que se constituyen en zonas de depósito dada la baja pendiente del sector, teniéndose un mayor aporte de materiales en el cauce, incrementándose el espesor de los mismos, es importante tomar en cuenta este hecho dado el efecto de colmatación que puede generarse. Figura N° 11.





**Fotografía N° 7.** Vista general del depósito aluvial (Qa) del río Huarinilla, la cual muestra una sección transversal muy amplia al lado derecho el corte de la carretera.

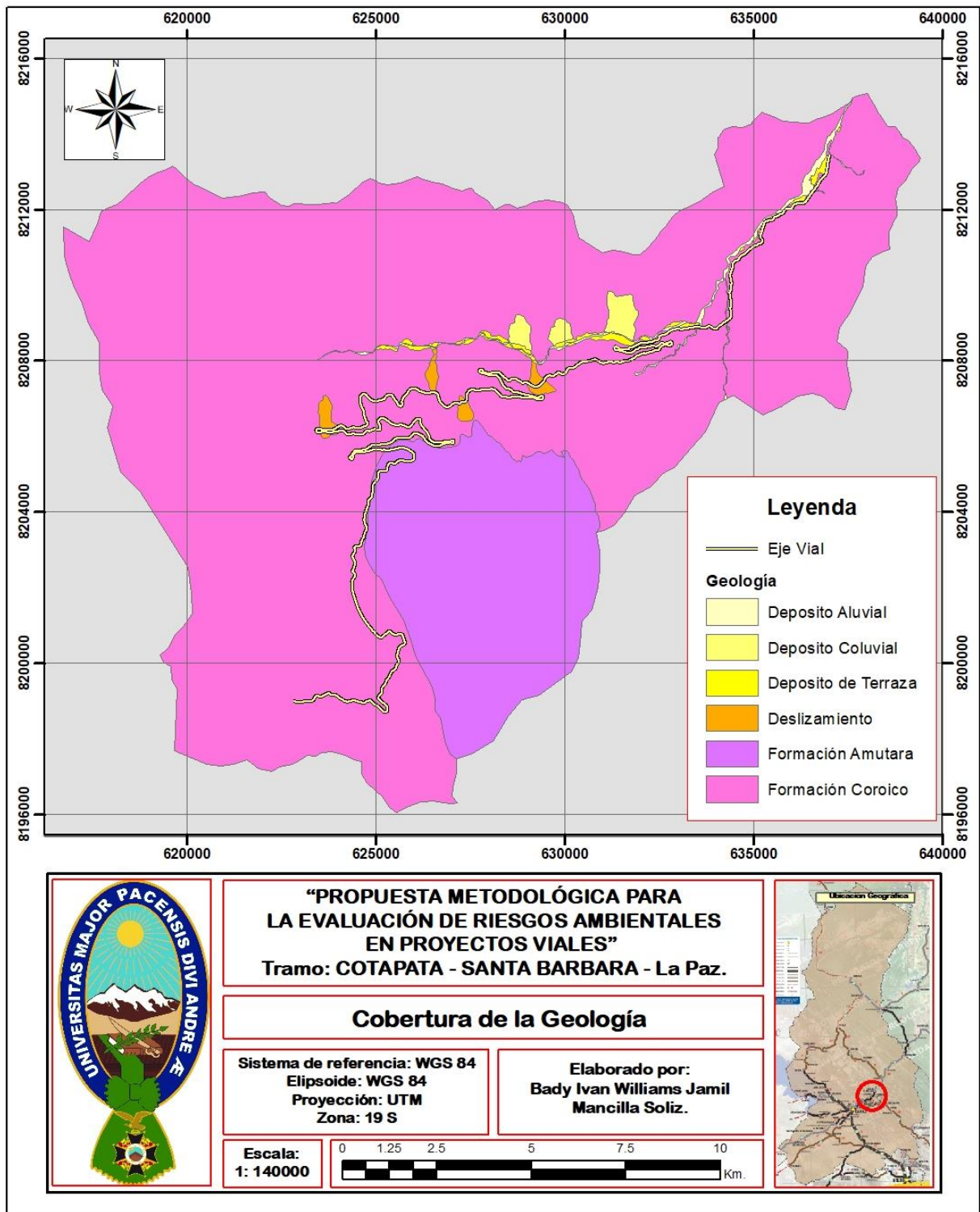
#### **4.3.1.3. Geomorfología (Pendiente).**

##### **4.3.1.3.1. Geformas De Origen Estructural.**

Con el paso del tiempo geológico se desarrollaron procesos tectónicos que generaron una serie de plegamientos mayores y menores, sinclinales predominantemente amplios, anticlinales con radios de curvatura amplios, estrecho y dislocaciones a diversas escalas, traducidos en fallamientos del tipo inverso, de rumbo y fracturas menores (diaclasas). La mayoría de las fallas presentes en el área, se encuentran sin actividad actual, que afecten la estabilidad de la carretera. Además, las zonas diaclasamiento muy comunes en los taludes de corte de la carretera, donde afloran estratos de la formación Amutara.

##### **4.3.1.3.2. Geformas de Origen Denudativo.**

Las geformas descritas a continuación son modeladas por la acción erosiva del agua, de los cursos que circulan en superficie y actúan sobre los distintos tipos de depósitos (rocas / suelos), las cuales están asociadas a las estructuras geológicas. Los procesos erosivos han actuado a lo largo del tiempo y tienen relación muy cercana con las condiciones climáticas, por intensas lluvias que generan erosión superficial que afecta a los suelos y en otros casos llegando a la sobresaturación de los terrenos. Estas geformas se pueden identificar a lo largo de toda la carretera, con diferentes grados de afectación especialmente a los taludes de corte.



**Figura N° 11.** Cobertura de la Geología y el eje del proyecto vial.

**Nota:** Las formaciones y depósitos se encuentran ubicados de acuerdo a la evolución geológica.

#### **4.3.1.3.3. Serranías con Cimas Lineales Agudas/Cimas Redondeadas.**

Esta geoforma se presenta en la zona montañosa que atraviesa la carretera desde el inicio del proyecto hasta la progresiva 21+700, se observan serranías de formas alargadas con cimas agudas, pendientes muy escarpadas que conforman un bloque montañoso con quebradas muy profundas, modeladas por intensos procesos fluviales de modo que las divisorias de aguas son relativamente estrechas, también es importante aclarar que una misma divisoria muestran variaciones llegando a tener formas redondeadas, este aspecto se debe a la cambio de litológica y el rumbo de la estructura. La orientación de las serranías muestra dirección general Nor Oeste – Sud Este.



**Fotografía N° 8.** En primer plano; portal del túnel San Rafael lado Santa Bárbara adicionalmente se observan cimas lineales agudas.

#### **4.3.1.3.4. Pendiente.**

Por su parte la pendiente del área de estudio fue ponderada con valores que oscilan entre  $0^\circ$  y  $85.67^\circ$ , resultando en un promedio de  $42.84^\circ$ . La alta ponderación en el análisis jerárquico para esta variable es entendible, por cuanto resulta del desnivel de la superficie, revela las condiciones de rugosidad natural del terreno, por consiguiente, es uno de los principales factores dinámicos, ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable.

La pendiente del área del proyecto evaluada presenta una variación, desde las partes altas hacia la zona más baja del proyecto vial, existe zonas con diferentes rangos de pendientes, predominando mayormente las pendientes empinadas, fuertemente empinadas a escarpadas.

Para la consideración de esta variable se puede establecer que las zonas más elevadas, presentan mayor nivel de amenaza para la carretera, con respecto a la zona que se encuentran en zonas con pendientes más bajas. Figura N° 12.

#### **4.3.1.4. Suelo.**

Conociendo que en la elaboración del PLUS de La Paz adapto las Normas y Principios del Servicio de Conservación de Suelos en los Estados Unidos de América, pero adecuado a los patrones edáficos, profundidad efectiva del perfil, apreciación textural, drenaje natural, pedregosidad, condiciones climáticas, condiciones de erosión, relieve y pendiente en el área que se está analizando.

En el área de proyecto Cotapata – Santa Bárbara se establecieron Suelos del Orden Entisol y desde el punto de vista de uso agropecuario, los suelos se dividen generalmente en 8 clases, pero los presentes en la zona del proyecto son tres Clases VI, VII y VIII los datos considerados para la valoración en el análisis jerárquico fueron los más relacionados con riesgos ambientales, desde el punto de vista de la valoración de los suelos conceptualmente hablando son. Figura N° 13.

- ✓ Profundidad efectiva del perfil que establece para la clase VI profundidad superficial entre 15 - 34 cm en las clases Clases VII y VIII menor a 15 cm muy superficial.
- ✓ Cuando consideramos la Pedregosidad las Clases VI, VII y VIII es un suelo excesivamente pedregoso con porcentajes mayores al 50%.

#### **4.3.1.5. Hidrología (Drenaje Superficial).**

El sistema de diseño drenaje a nivel regional es de tipo Parrilla de baja densidad, donde los ríos principales tienen una dirección principal que va de Oeste a Este, mostrando un control estructural, coincidiendo sus cauces con lineamientos o ejes de pliegues. Los ríos principales de mayor caudal son el Huarinilla y Elena y la parte sur el río Unduavi, que aumentan su caudal y por consiguiente su capacidad de transporte de forma considerable en época de lluvia que dura 9.7 meses al año, que provocan problemas mayores de erosión lateral. A nivel local el drenaje es de tipo paralelo a dendrítico de densidad media, esta disposición indica que existe un control estructural y litológico en el área, ya que se aprecia la disposición del drenaje sobre posibles lineamientos estructurales, además de mostrar mayor densidad en zonas donde afloran litologías más finas y poco compactas. Figura N° 14.



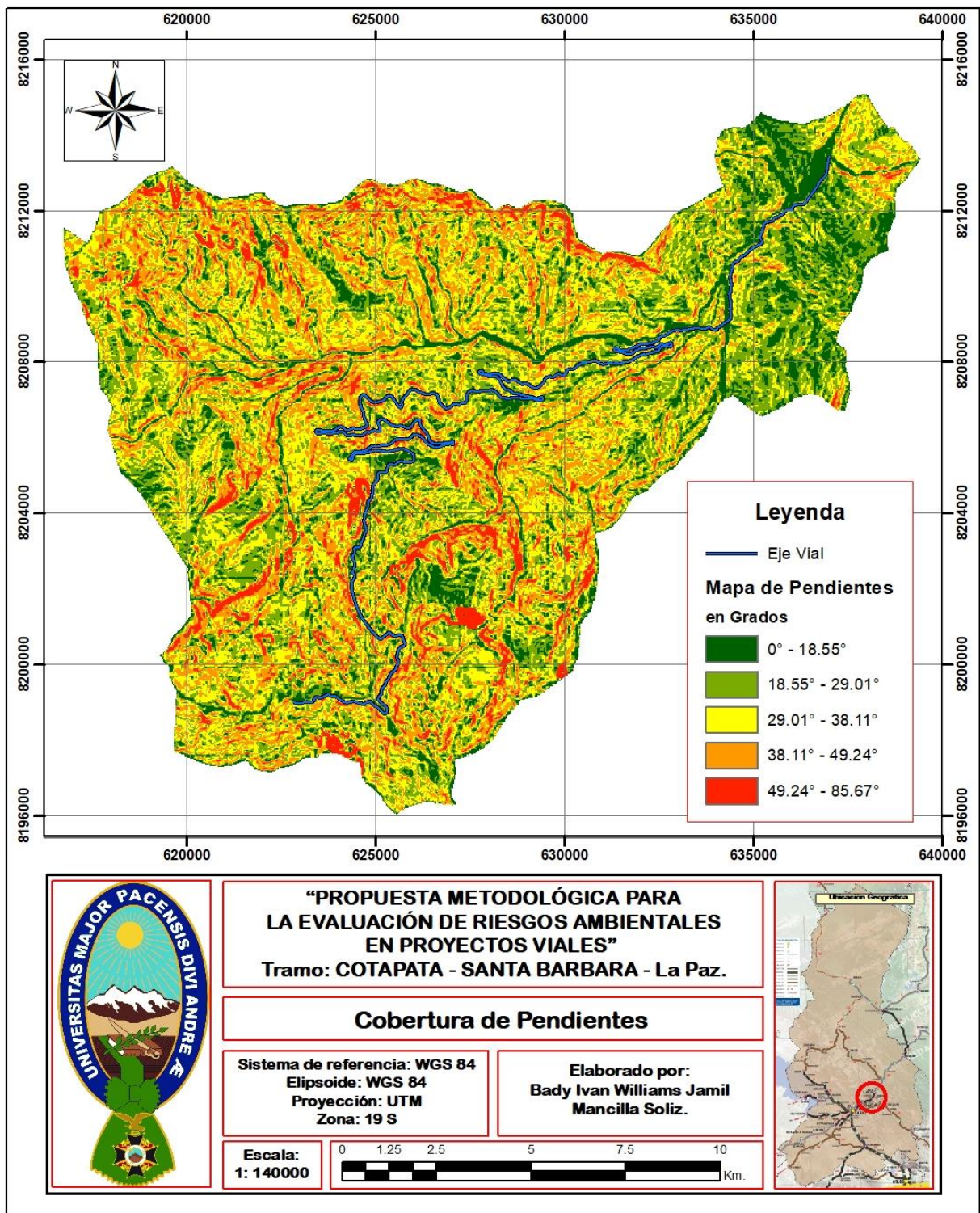
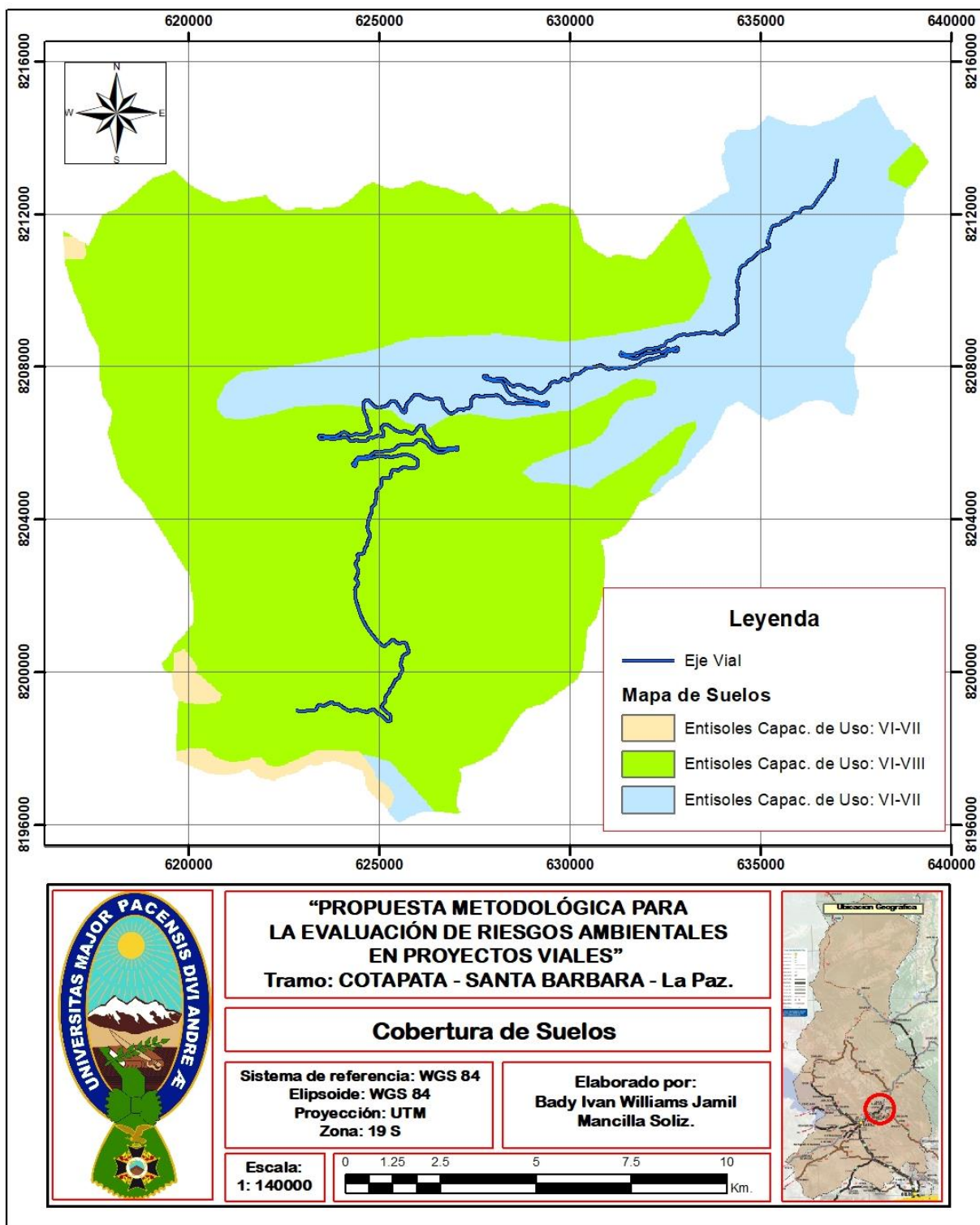


Figura N° 12. Cobertura de Pendiente y el eje del proyecto vial.

Nota: Los valores en grados asilan ente 0° hasta 85.67°.



**Figura N° 13.** Cobertura de suelos y el eje del proyecto vial.

**Nota:** Los suelos mayoritariamente son del Orden Taxonómico Entisoles.



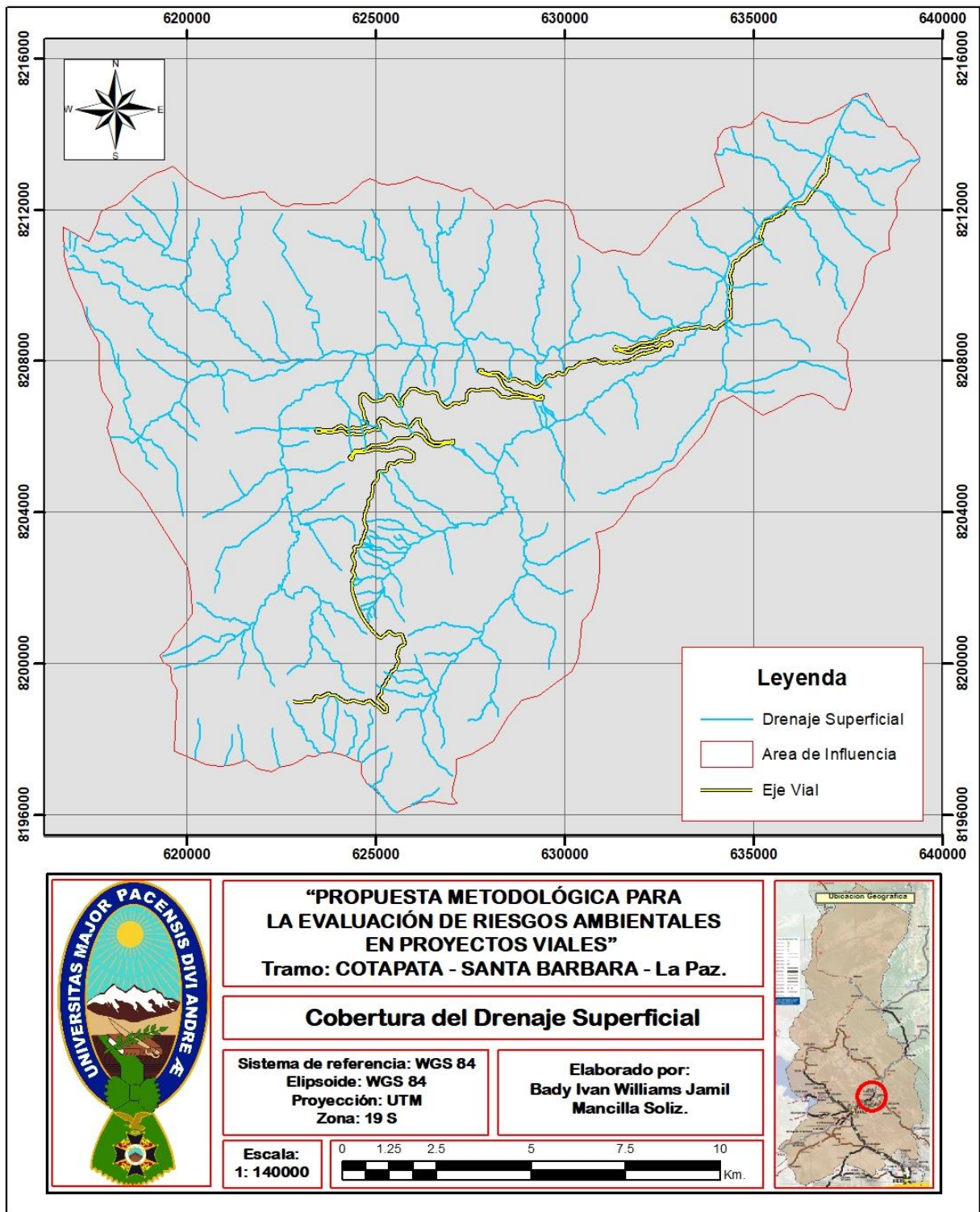


Figura N° 14. Cartografía del Drenaje Superficial en el área del proyecto.

**Nota:** Los cursos de los ríos marcan de forma regional un diseño de drenaje del tipo Parrilla, y localmente un diseño Dendrítico.

#### **4.3.1.5. Cobertura Vegetal (NDVI).**

Para obtener la cobertura de NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), se utilizó la imagen LandSat 8 Path 001 Row 071 del 27 de julio del 2020, en nuestra área de estudio los resultados del cálculo del NDVI varían de -0.0493492 a 0.595645

Los lugares sin vegetación obtienen un valor muy bajo ( $< 0.1$ ), la vegetación escasa, como los arbustos y las praderas o los cultivos, puede dar como resultado valores moderados de NDVI (0.2 a 0.5) y los valores altos (0.6 a 0.9) corresponden a vegetación densa como la que se encuentra en bosques tropicales y los cultivos en su etapa de mayor crecimiento (USGS.). En la práctica, los valores que están por debajo de 0,1 corresponden a los cuerpos de agua y a la tierra desnuda, mientras que los valores más altos son los indicadores de la actividad fotosintética de las zonas de matorral, el bosque templado, la selva y la actividad agrícola. (Meneses-Tovar, 2011). Figura N° 15.

#### **4.3.1.6. Socio Economía (Densidad Poblacional).**

Es importante recalcar que Amenaza es fenómeno o acontecimiento peligroso o arriesgado natural o antrópico que puede causar daño físico, pérdidas económicas o poner en peligro la vida humana y el bienestar social y económico de una región. Las amenazas creadas por el hombre pueden derivarse de procesos tecnológicos, actividades humanas con el medio ambiente o relaciones dentro o entre las comunidades (PNUD-UNDRO 2018).

Bajo este antecedente las actividades antrópicas general una amenaza para los proyectos viales, poblaciones concentradas generan una influencia y en menor grado la producción agrícola, por consiguiente, cambios en el relieve topografía y cambios de uso de suelo; por esta razón se ha establecido en el estudio la necesidad de establecer distancia de las poblaciones con relación al eje de la carretera, por lo cual poblaciones más cerca de la carretera generaran mayor amenaza para la misma. Figura N° 16.



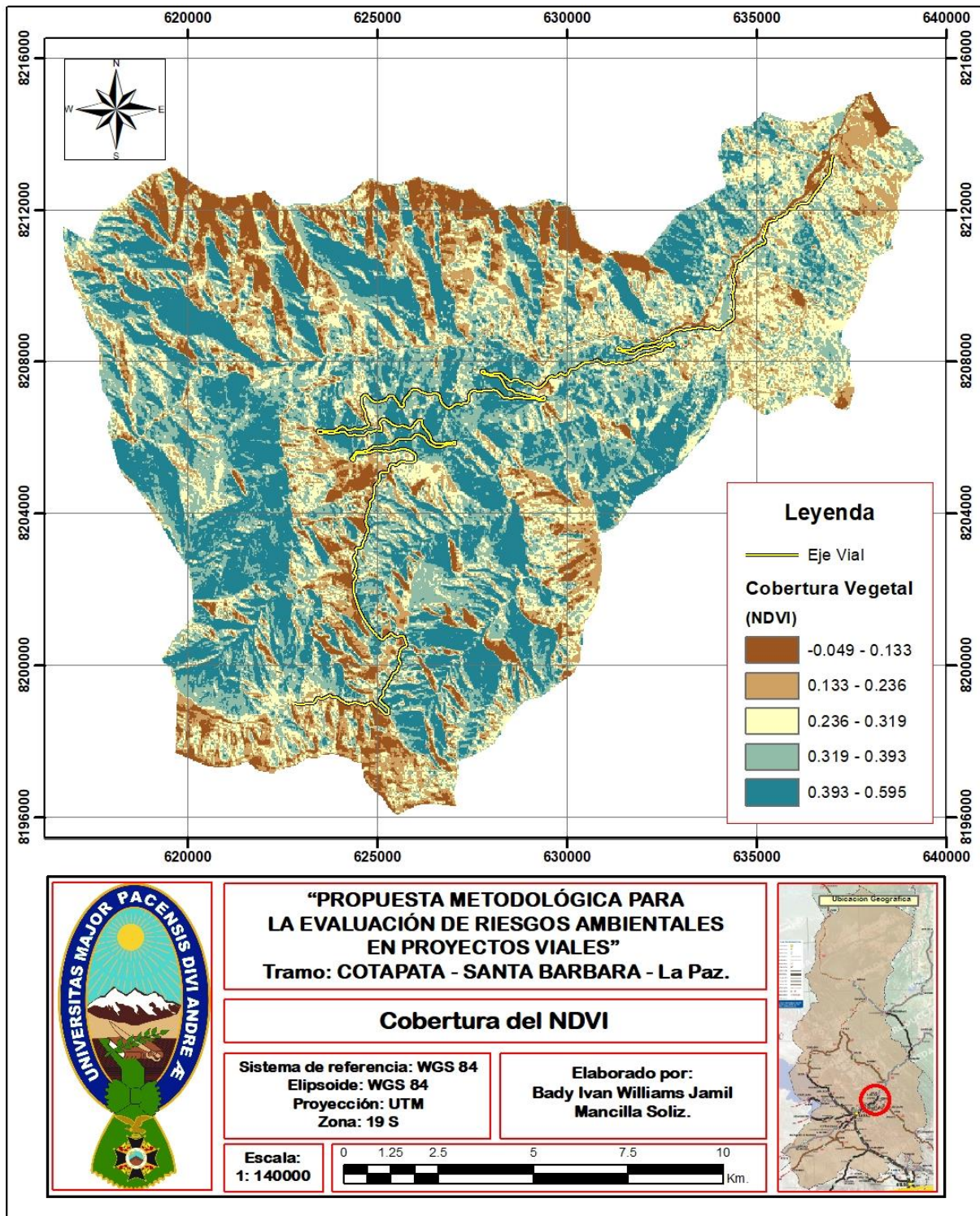


Figura N° 15. Cobertura del NDVI en el área del proyecto.

Nota: Los valores del NDVI están desde rangos de -0.049 hasta 0.596.

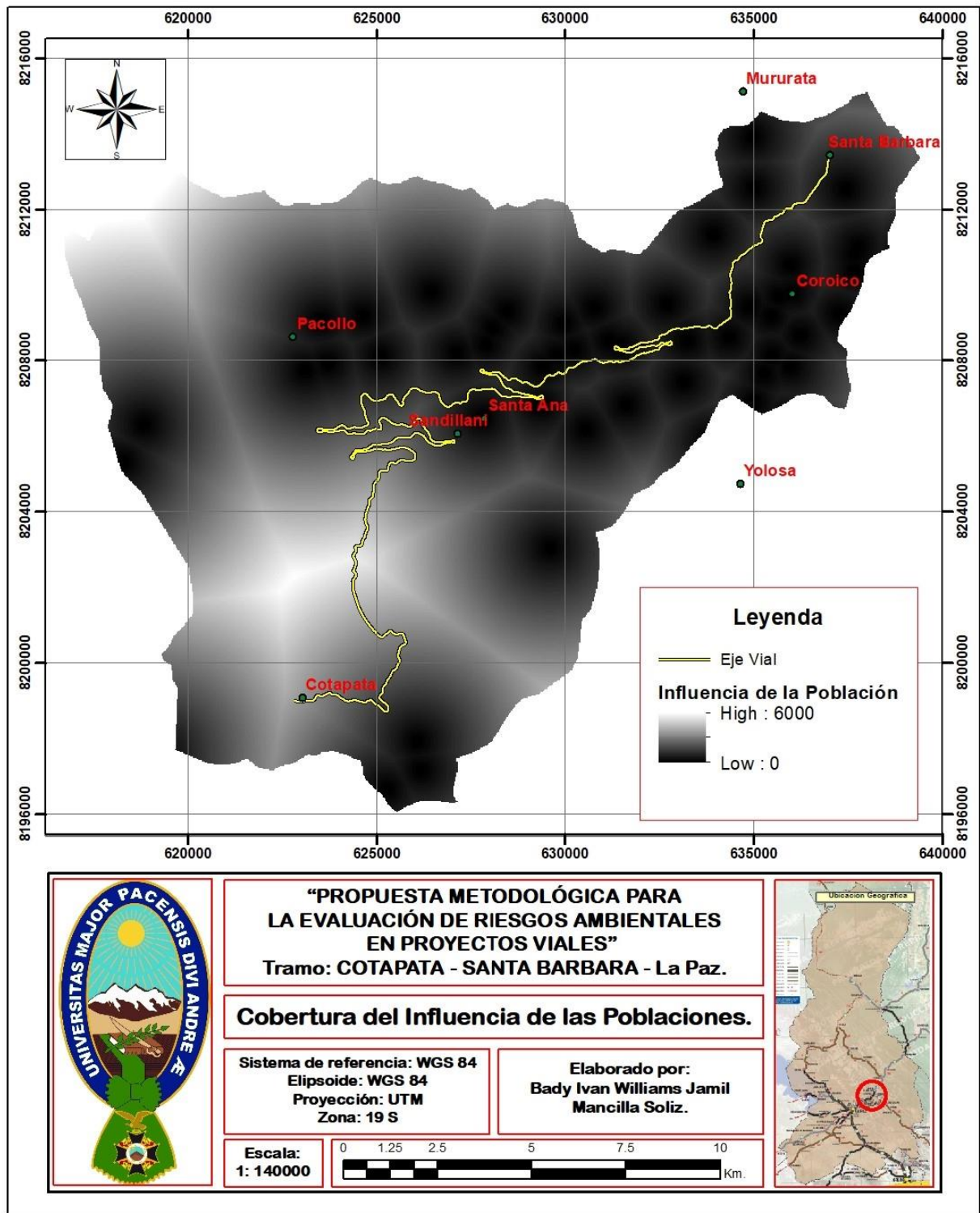


Figura N° 16. Cobertura de Influencia de las poblaciones.

**Nota:** Densidad poblacional, los puntos verdes representan las comunidades que pueden tener influencia sobre la carretera.

### 4.3.2. Factores de Vulnerabilidad.

Es importante que para analizar estos Factores de Vulnerabilidad para el proyecto Cotapata – Santa Bárbara, se tuvieron que establecer unas premisas después de generar los valores de exposición.

Para poder definir e identificar cartográficamente estos factores se debe generar un Buffer de 500 metros a cada lado del eje de la carretera a ser estudiada, este valor ha sido tomado por la experiencia de proyectos en alta montaña, donde se generaron obras e impactos a partir de este eje, este valor es 10 veces más que lo establecido en la normativa vial que establece el Derecho de Vía (DDV).

CONSOLIDACION DE TPDAS DE LOS TRAMOS DE LA RVF																			
Gestion	Ruta	Tramo	Sentido 1	Sentido 2	Estacion	Sentido	LIVANOS				BUSES		CAMIONES				OTROS	TPDA	
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12
2018	3	LP01	UNDUAVI	CARANAVI	CRUCE CHUSPIPATA	Ambos	1039	467.727	715.273	119.182	207.636	43.727	318.818	159.364	302.273	19.455	24.455	26.364	3443

- ✓ Para el caso del TPDA del proyecto estudiado de acuerdo a los datos de la Administradora Boliviana de Carreteras, tiene un valor de
- ✓ 3443, los datos completos de toda la Red Vial Fundamental se encuentran en anexo 1.
- ✓ El proyecto Cotapata - Santa Bárbara corresponde a una sola categoría vial, podrían existir evaluaciones con proyectos que comprendan más de una categoría vial esta metodología plantada en el presente estudio así lo permite.
- ✓ De la misma forma la evaluación que estamos realizando con el proyecto el mismo corresponde a una sola Localización de la Red, pero en el modelo podrían entrar más localizaciones.

#### 4.3.2.1. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

Se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera o camino en un período de tiempo determinado, que es mayor de un día, esta información en el caso de la red vial fundamental es ejecutada por la Gerencia De Conservación Vial, la cual obtiene información de los conteos mensuales que realizan los microempresarios que realizan trabajos por tramos dentro de toda la RVF.

De los datos de la gestión 2018 publicados de la Administradora Boliviana de Carreteras para toda la RVF nos permiten realizar un análisis para poder dar un valor de exposición de acuerdo al TPDA, mostrado a continuación.

Los rangos establecidos del TPDA pueden ser utilizados, nos podrán permitir realizar la evaluación de acuerdo al dato establecido para cualquier carretera o camino que este en otras redes. Figura N° 17.

**Tabla N° 16.** Valores de Exposición del TPDA.

VALOR DE LA EXPOSICIÓN	RANGOS DE LOS VALORES DE TPDAS
Muy Alto.	>10000
Alto.	5000 - 10000
Medio.	500 - 5000
Bajo	< 500

#### 4.3.2.2. Categoría de Vía.

Para considerar los valores de exposición en lo referente a la categoría de vía se ha considerado la clasificación funcional de carreteras y caminos establecida por los manuales técnicos para el diseño de carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC). Figura N° 18.

**Tabla N° 17.** Valores de Exposición de las Categorías de la Vía.

VALOR DE LA EXPOSICIÓN	CATEGORÍAS
Muy Alto.	Carreteras (Autopistas, Autorrutas y Primarias).
Alto.	Caminos Colector.
Medio.	Camino Local.
Bajo.	Camino de Desarrollo.

#### 4.3.2.3. Localización de la Red.

Este criterio para definir su exposición está establecido claramente en Bolivia en el Decreto Supremo N° 25134, 21 de agosto de 1998 en el cual se establecen requisitos para formar parte de la Red Fundamental, Departamental y Municipal. Figura N° 19.

**Tabla N° 18.** Valores de Exposición de la Red a la que pertenecen.

VALOR DE LA EXPOSICIÓN	RED NACIONAL DE CARRETERAS
Muy Alto.	Red Fundamental.
Alto.	Red Departamental.
Medio.	Red Municipal.
Bajo.	Otras.



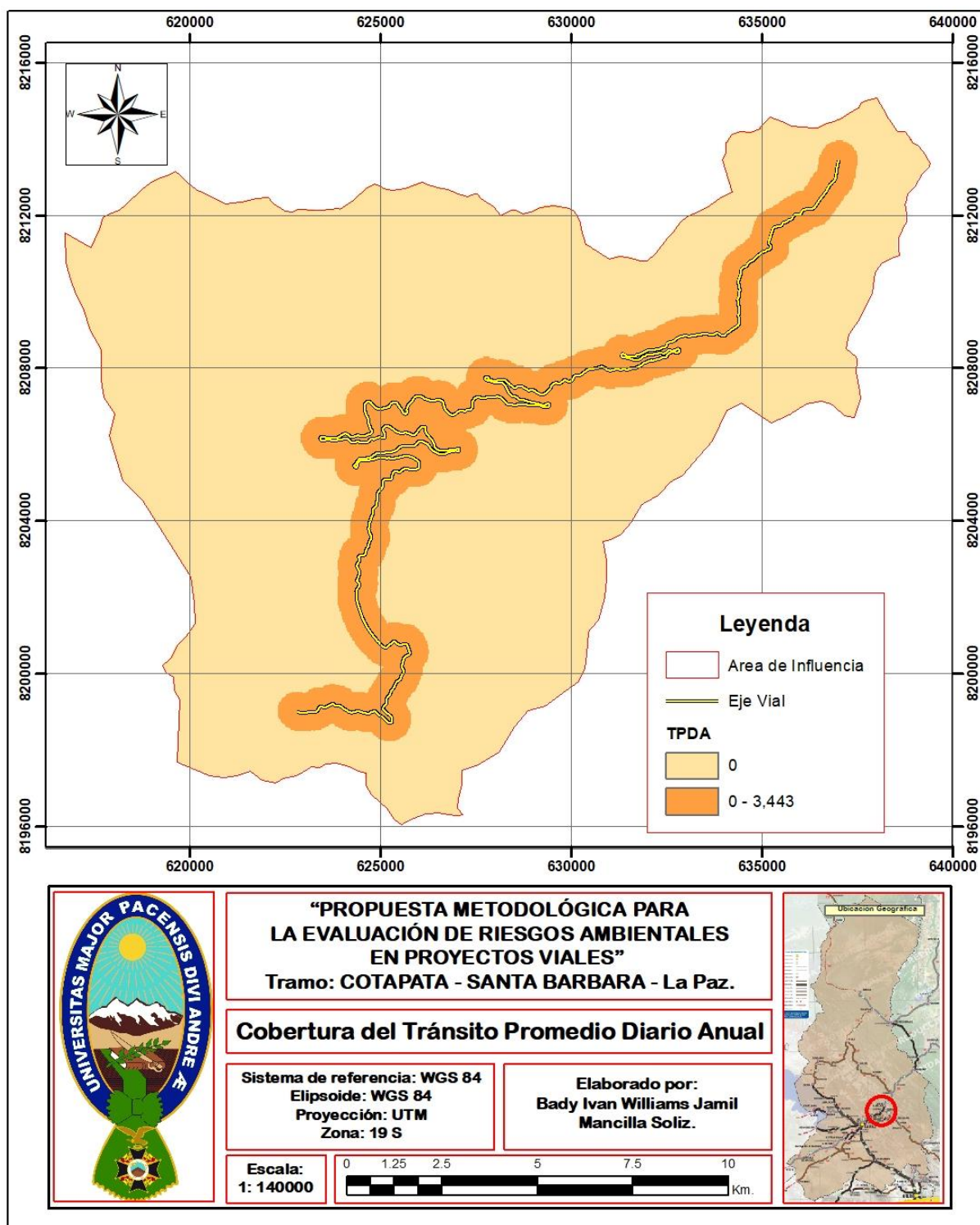
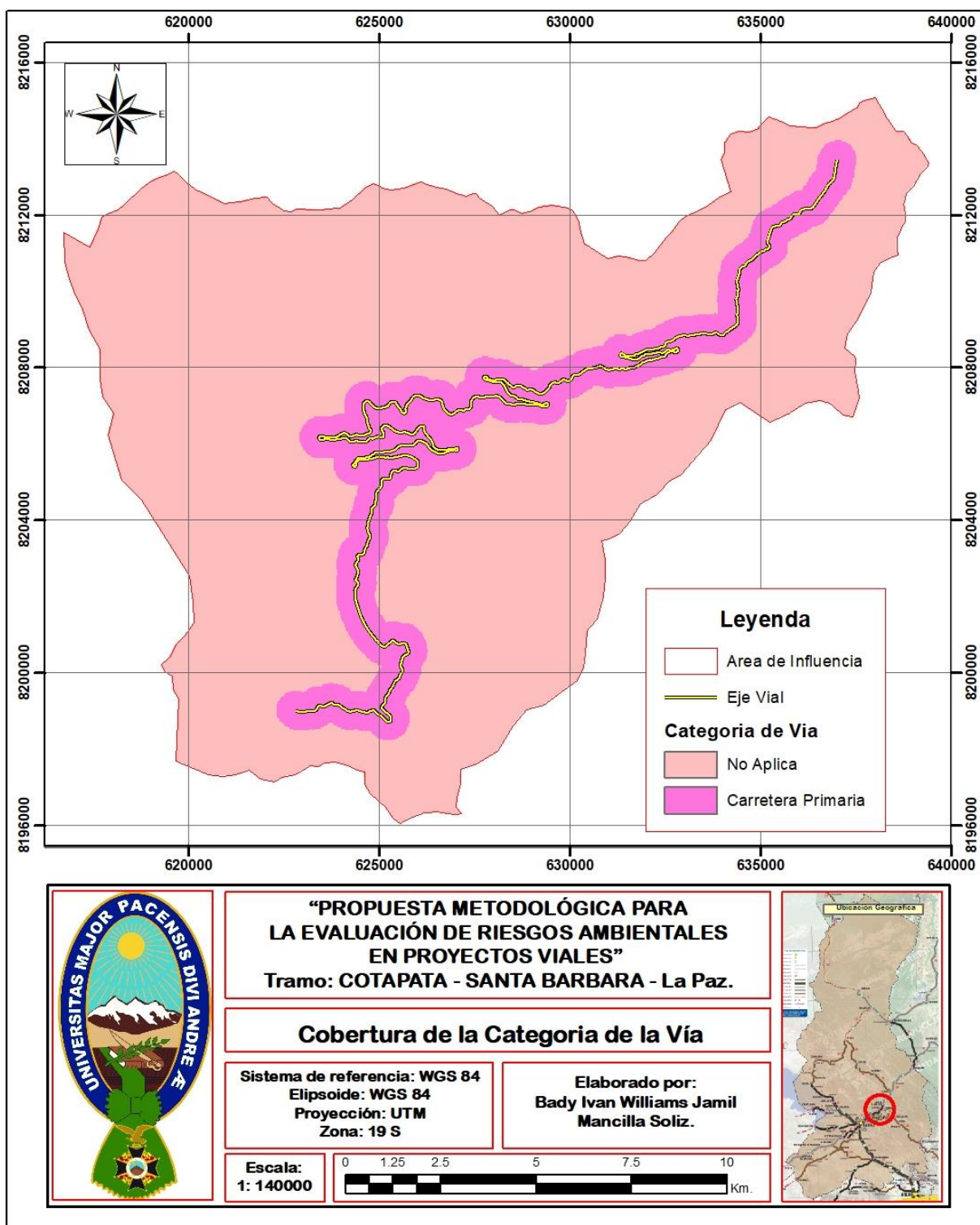


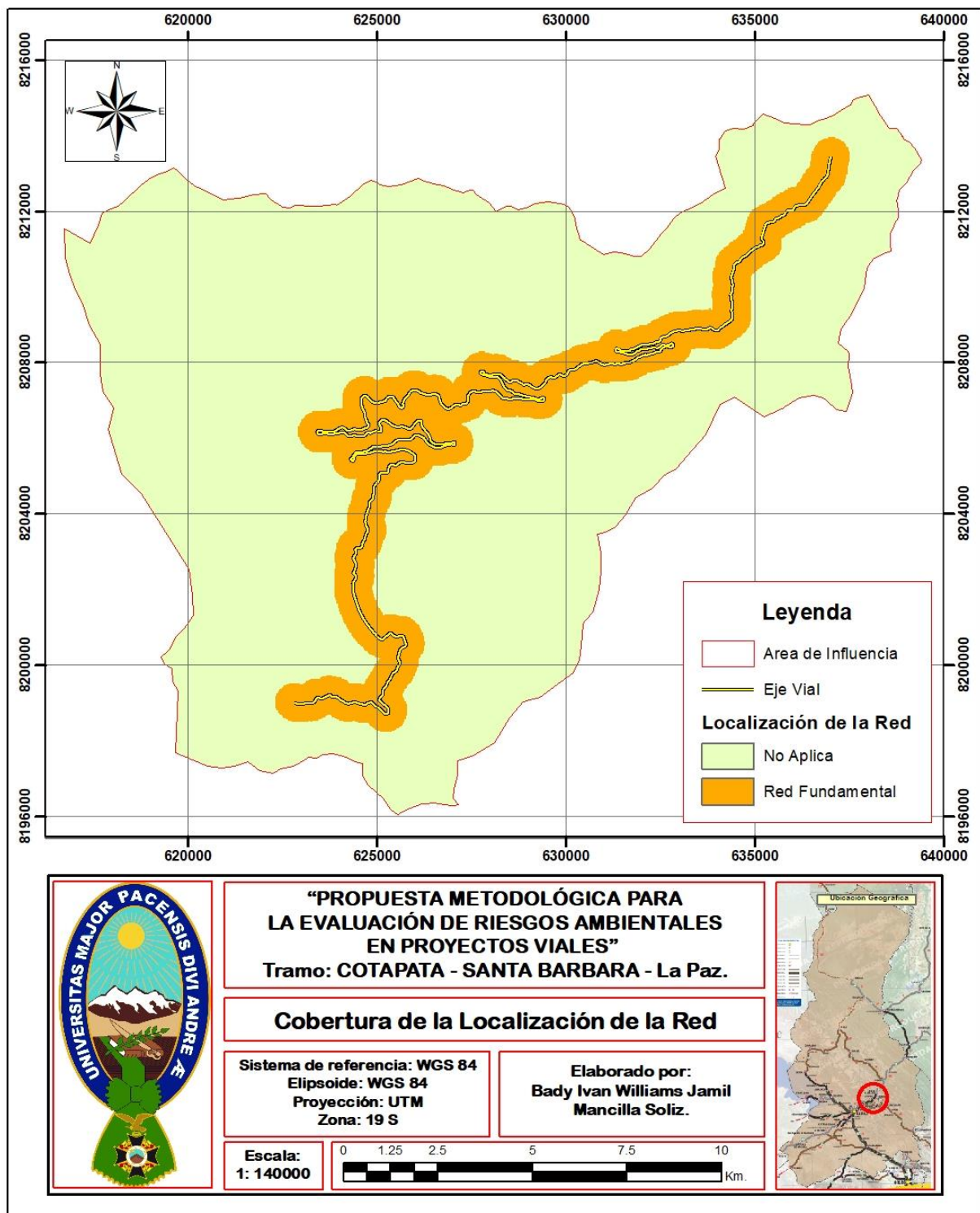
Figura N° 17. Cobertura del TPDA del proyecto.

**Nota:** El valor del TPDA del proyecto 3443 lo cual establecería un valor de exposición Alto.



**Figura N° 18.** Cobertura de Categoría de Vía proyecto.

**Nota:** La Categoría de la Vía del proyecto corresponde a una carretera primaria con un valor de exposición Muy Alto.



**Figura N° 19.** Cobertura de la Localización de la Red del proyecto.

**Nota:** El proyecto de acuerdo a la Localización de la Red pertenece a la Red Vial Fundamental con un valor de exposición Muy Alto.

## 4.4. NORMALIZACIÓN DE LAS COBERTURAS DE LOS FACTORES DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD.

### 4.4.1. Factores Amenaza Normalizados.

#### 4.4.1.1. Clima (Precipitación).

La normalización de la cobertura de precipitación, se utiliza el proceso de fuzzyficación dentro de ArcGis, considerando que los valores de esta cobertura no inician en 0, vemos que el valor menor de la precipitación anual corresponde a 1222 mm y el valor mayor a 792 mm, aplicamos la metodología de pertenencia difusa, obteniendo una cobertura de valores de 0 a 1. Figura N° 20.

#### 4.4.1.2. Geología.

En el caso de la cobertura de Geología, se realizó la normalización por la reclasificación, asignando valores de 0 a 10, según el comportamiento de las características mencionadas en el marco teórico y descritas en el acápite anterior, en relación a la influencia que pueden generar esta cobertura como amenaza para la carretera o camino.

**Tabla N° 19.** Tablas para la reclasificación del factor Geología, primera tabla con valores asignados por defecto y la segunda para la reclasificación, con asignación de valores de 0 a 10 para la Geología.

	OID	Value	Count	Dep_For
▶	0	1	1266	Deposito Aluvial
	1	2	859	Deslizamiento
	2	3	1148	Deposito de Terraza
	3	4	41208	Formación Amutara
	4	5	213226	Formación Coroico
	5	6	1671	Deposito Coluvial

	OID	Value	Count	Dep_For
▶	0	2	1266	Deposito Aluvial
	1	3	42356	Deposito de Terraza/Formación Amutar
	2	5	213226	Formación Coroico
	3	8	1671	Deposito Coluvial
	4	10	859	Deslizamiento

A continuación, se procedió a realizar la normalización de la cobertura, ejecutando el proceso de fuzzyficación, aplicando la metodología de pertenencia difusa, obteniendo una cobertura de valores de 0 a 1. Figura N° 21.



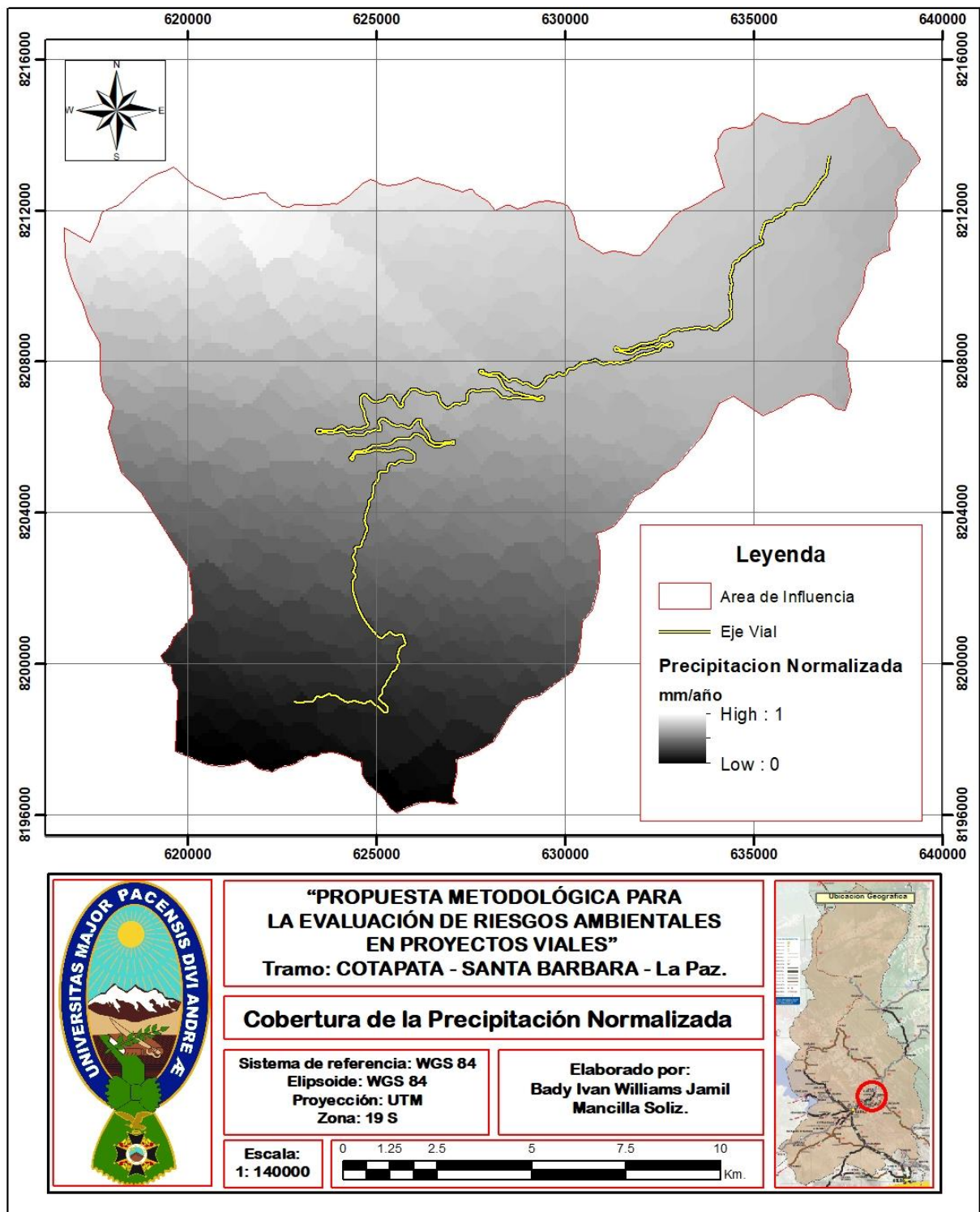


Figura N° 20. Cobertura de Precipitación Normalizada.

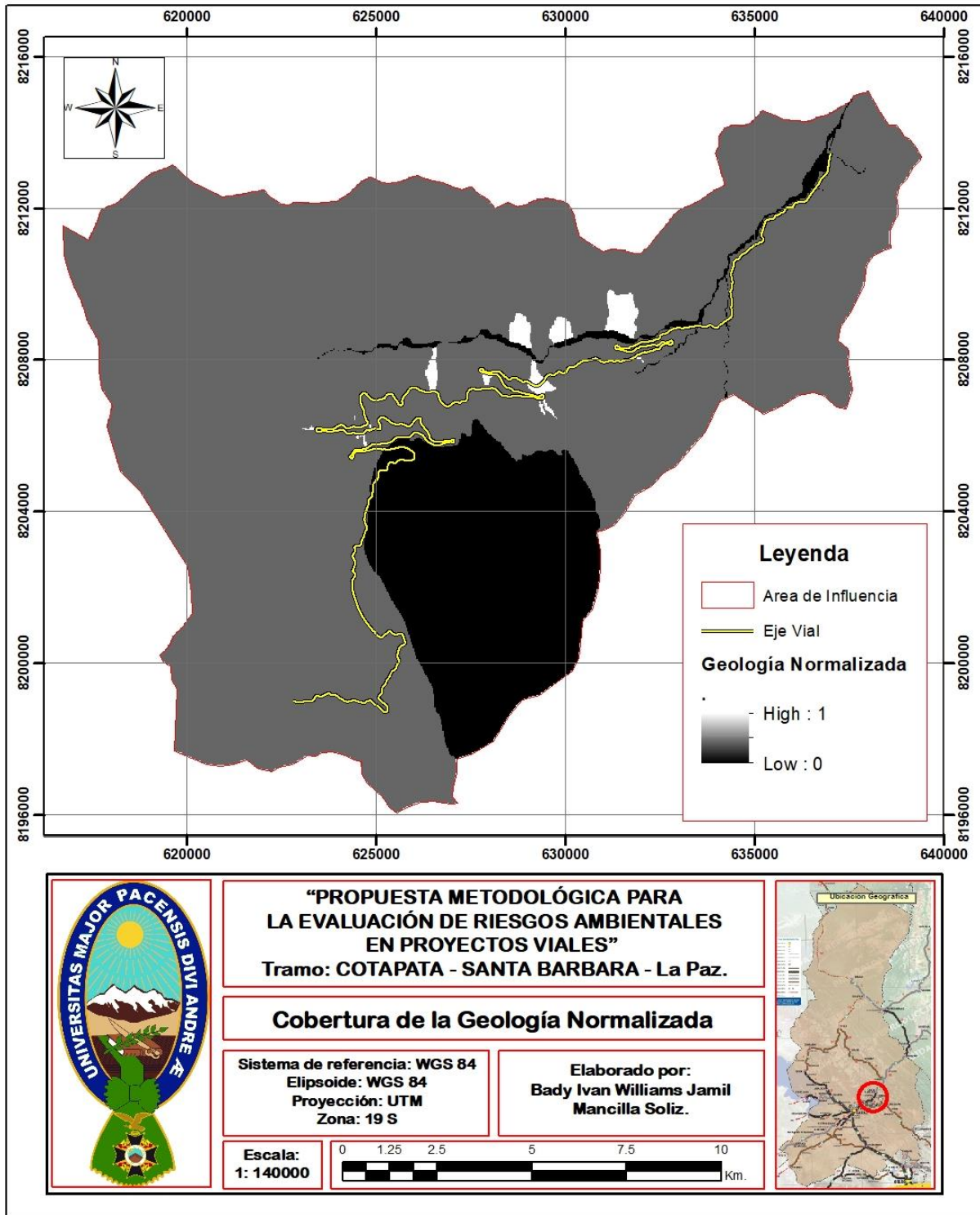


Figura N° 21. Cobertura de Geología Normalizada.

#### 4.4.1.3. Geomorfología (Pendiente).

En esta cobertura, se aplicó la normalización se utiliza el proceso de fuzzyficación dentro de ArcGis, considerando que los valores de esta cobertura, vemos que el valor menor de la de pendiente en grados es de 0° y el valor mayor a 85.67°, aplicamos la metodología de pertenencia difusa, obteniendo una cobertura de valores de 0 a 1. Figura N° 22.

#### 4.4.1.4. Suelo.

En el caso de la cobertura de Suelo, se optó por realizar la normalización por la reclasificación, asignando valores de 0 a 10, según al comportamiento de las características mencionadas en el marco teórico, en especial considerando la capacidad de uso y el espesor de este tipo de suelos, con relación a la influencia que pueden mostrar esta cobertura como factor de amenaza.

**Tabla N° 20.** Reclasificación del factor suelos, la primera tabla con valores asignados por defecto y la segunda para la reclasificación, con asignación de valores de 0 a 10.

04_Suelo_CT_SB.img			
OID	Value	Count	Suel_Descr
0	37	4151	OrdTax: entisoles_CapacUso: VI - VII e,s,c_ProfSue: muy poco a moder promedia a alta_Rocos: Media a Alta_Litologia: diamactitas, fr
1	57	185826	OrdTax: entisoles_CapacUso: VI - VIII s,t,e_ProfSue: poco prof a prof media_Rocos: Media- rocas sedimentarias, metamorficas e igne:
2	64	69399	OrdTax: entisoles_CapacUso: VI - VII s,t,e_Prof Sue: muy poco prof a prof_Rocos:media a baja_Litologia: rocas ordovocicas (lutitas, g

04_Suelo_Reclass.img			
OID	Value	Count	Suel_Descr
0	6	4151	OrdTax: entisoles_CapacUso: VI - VII e,s,c_ProfSue: muy poco a moder promedia a alta_Rocos: Media a Alta_Litologia: diamactitas
1	8	185826	OrdTax: entisoles_CapacUso: VI - VIII s,t,e_ProfSue: poco prof a prof media_Rocos: Media- rocas sedimentarias, metamorficas e i
2	10	69399	OrdTax: entisoles_CapacUso: VI - VII s,t,e_Prof Sue: muy poco prof a prof_Rocos:media a baja_Litologia: rocas ordovocicas (lut

A continuación, se procedió a realizar la normalización de la cobertura, ejecutando el proceso de fuzzyficación, aplicando la metodología de pertenencia difusa, obteniendo una cobertura de valores de 0 a 1. Figura N° 23.

#### 4.4.1.5. Hidrología (Drenaje Superficial).

Para la normalización se utiliza el método del valor máximo, teniendo la distancia más alejada al drenaje igual a 997.246 metros.

Se debe considerar que al tratarse de una carretera que pertenece a la red vial fundamental, la mayor parte de los cursos de agua están controlados mediante cunetas, alcantarillas y bajantes, la ausencia de estas o el bajo mantenimiento generaría dificultades, pero es importante siempre considerar el agua como un elemento de amenaza. Para la normalización se utilizó el proceso de fuzzyficación, aplicando la metodología de pertenencia difusa, considerando inversión de valores (normalización inversa), obteniendo así la cobertura. Figura N° 24.



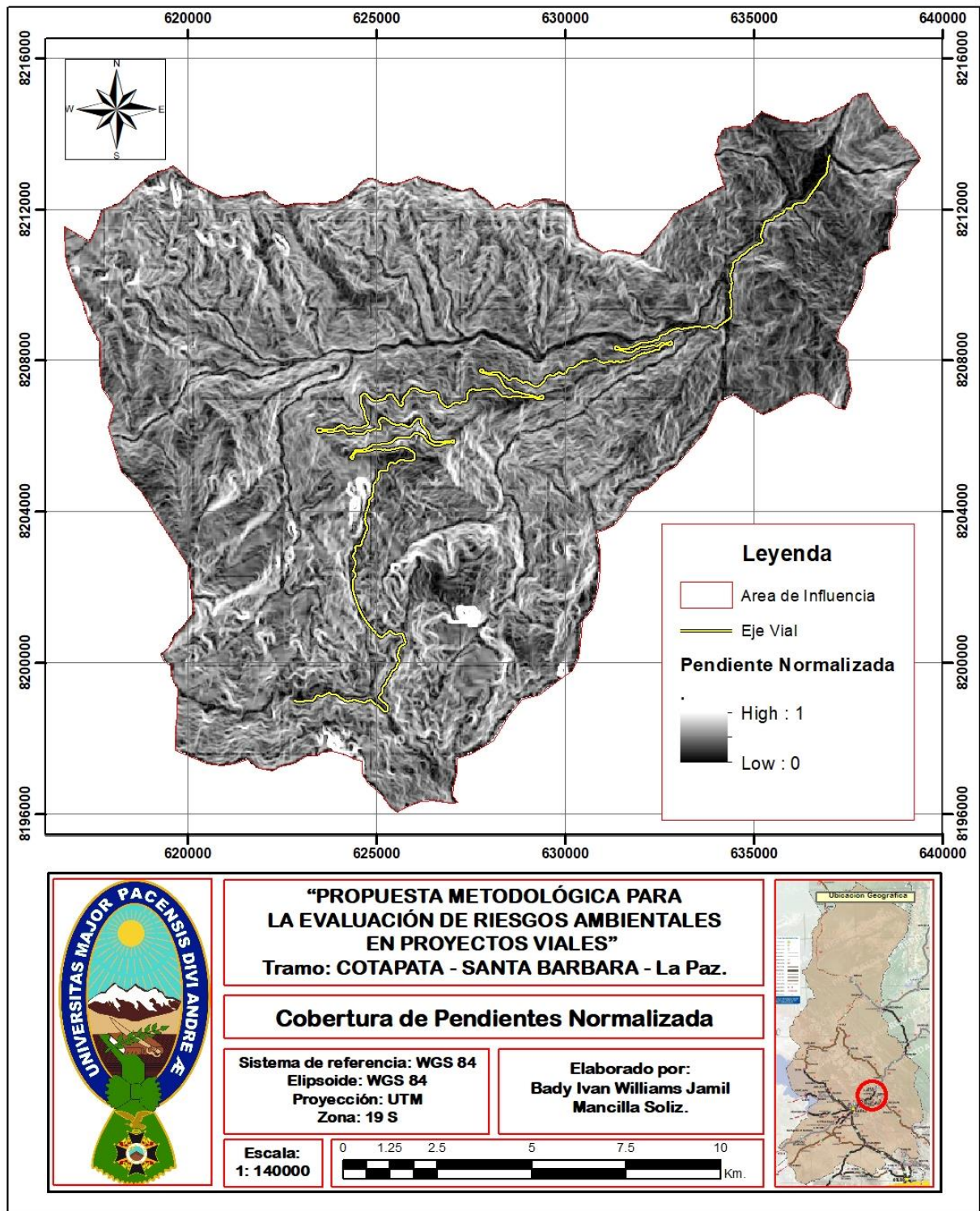


Figura N° 22. Cobertura de Pendientes Normalizada.

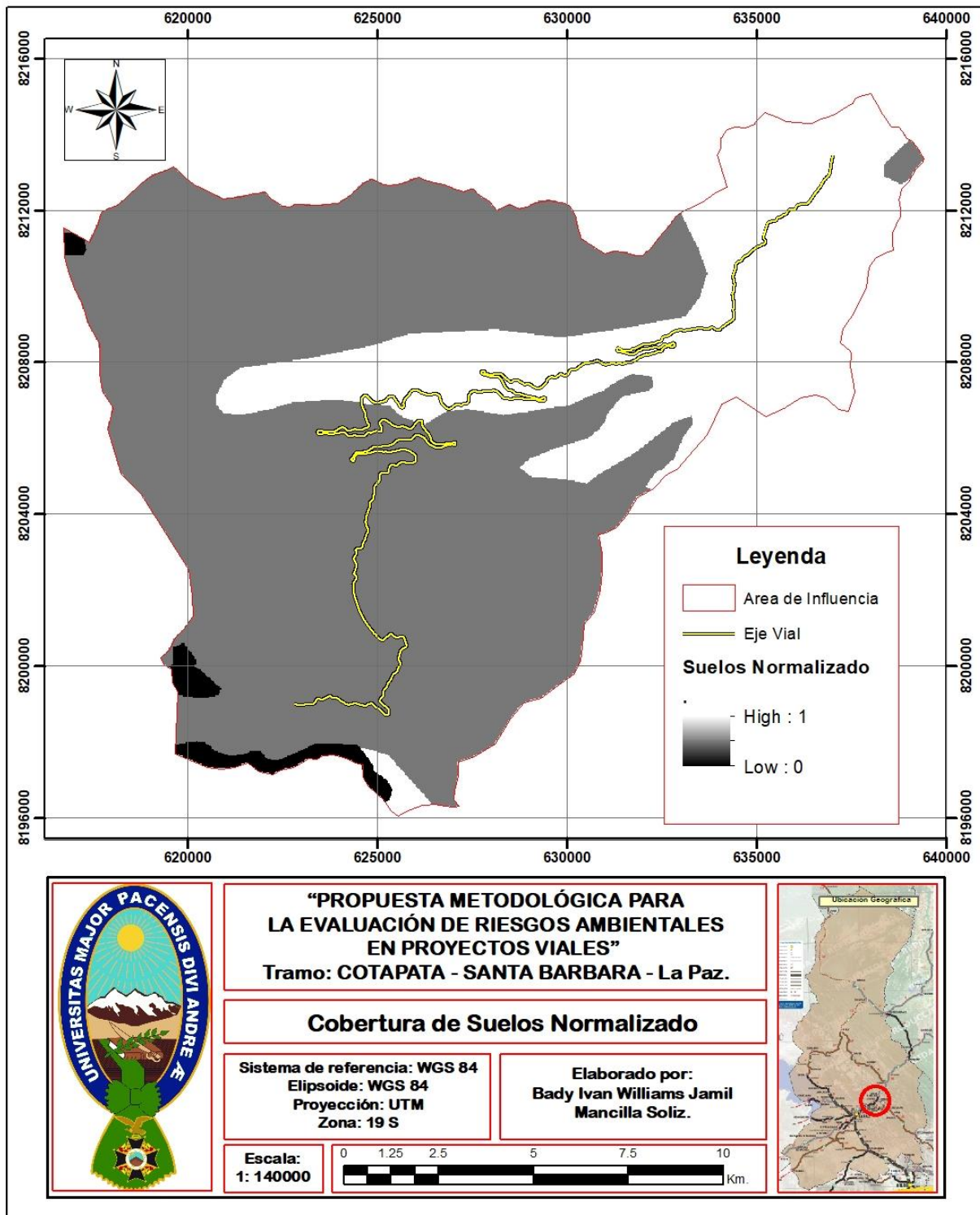


Figura N° 23. Cobertura de Suelos Normalizado.

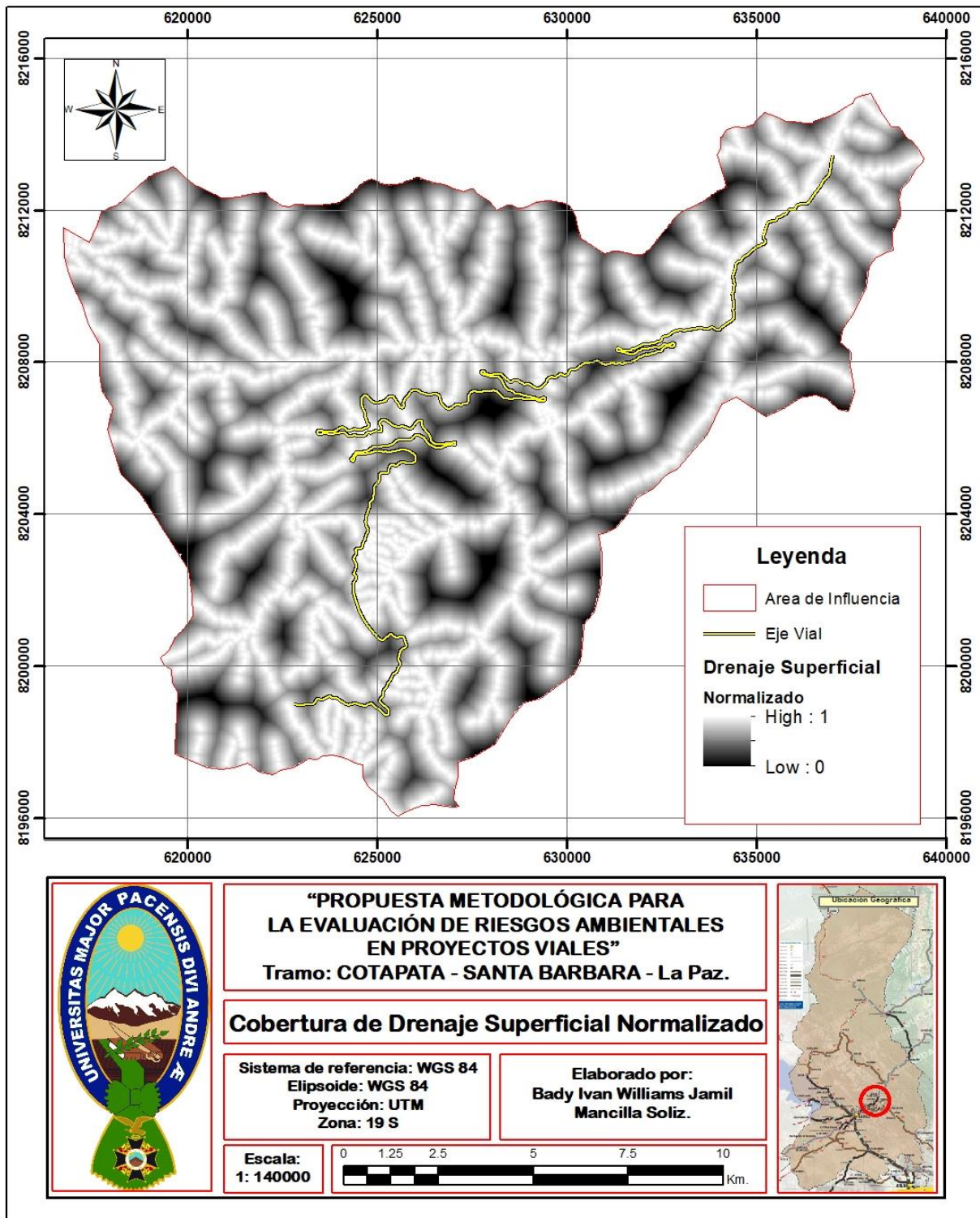


Figura N° 24. Cartografía de Drenaje Superficial Normalizado.

#### **4.4.1.6. Cobertura Vegetal (NDVI).**

Para la cobertura del NDVI cuyos valores dentro del área del proyecto fluctúan entre -0.049 y 0.596, se procedió aplicando la metodología de pertenencia difusa, considerando inversión de valores (normalización inversa), obteniendo así la cobertura Normalizada. Figura N° 25.

#### **4.4.1.7. Socio Economía (Densidad Poblacional).**

Para la normalización de la Densidad Poblacional se consideró una distancia euclidiana de 6000 metros. Pero debemos considerar que los riesgos para la carretera se producirán cuando mayor cantidad de poblaciones se encuentre cerca de la plataforma, es decir va relacionado con la cercanía a las poblaciones a la carretera.

Para la normalización se utilizó el proceso de fuzzyficación, aplicando la metodología de pertenencia difusa, considerando inversión de valores (normalización inversa), obteniendo así la cobertura. Figura N° 26.



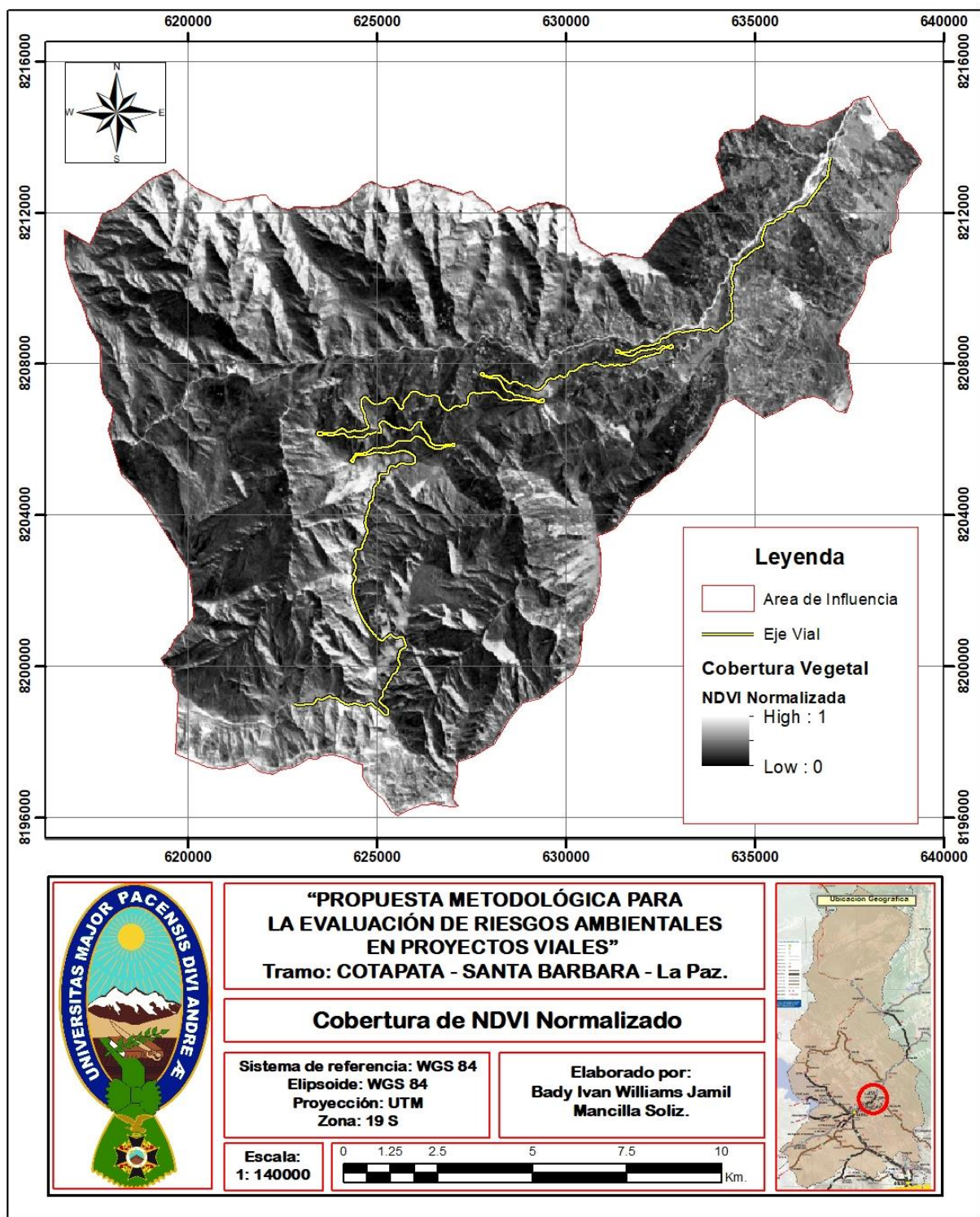


Figura N° 25. Cobertura de NDVI Normalizado.



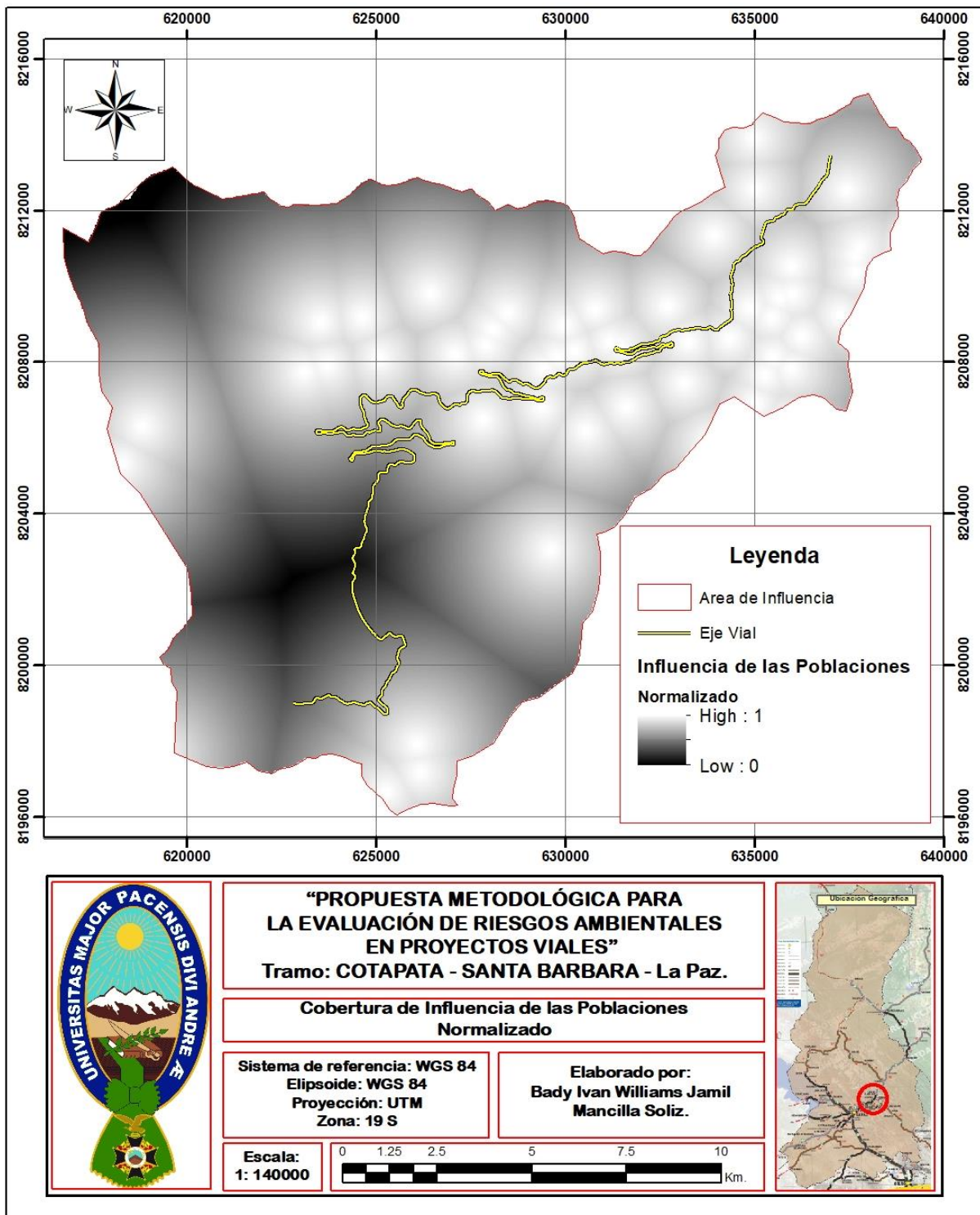


Figura N° 26. Cobertura de Influencia de las Poblaciones Normalizado.

#### 4.4.2. Factores de Vulnerabilidad Normalizados.

En el anterior acápite donde se identificaron y generaron las coberturas de vulnerabilidad, no se aclaró algunos criterios para ejecutar la metodología planteada en este estudio, ahora que se están considerando los factores de vulnerabilidad normalizados, para no tener información no aplicable a proyectos viales, siendo que la vía es el factor vulnerable a ser evaluado, es importante dejar establecido este criterio:

- Para la implementación de metodología en cualquier proyecto vial se debe considerar un área de influencia directa sobre la vulnerabilidad de la carretera, por las condiciones estudio esto corresponde a 500 metros a cada lado del eje, aunque normativamente solo se tienen 50 metros a cada lado del eje (Derecho de Vía DDV)

##### 4.4.2.1. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

En el estudio de caso del tramo Cotapata - Santa Bárbara solo se tiene un valor Tránsito Promedio Diario Anual, es por esta razón que en la normalización solo existen dos valores 0 y 1, si la metodología es utilizada para proyectos más largos, donde se cuente con mayor número de datos de TPDA, se debe considerar las tablas de los Valores de Exposición del TPDA planteadas en el presente estudio.

Para el proyecto estudiado de acuerdo a los datos de la Administradora Boliviana de Carreteras tiene un valor de 3443 del TPDA, por consiguiente, el valor de exposición que corresponde este tramo es **ALTO**. Figura N° 27.

##### 4.4.2.2. Categoría de Vía.

Los proyectos viales en Bolivia tienen diversas categorías, esto básicamente está establecido en el diseño de la vía, si la misma cuenta con mayor número de especificaciones técnicas dentro del diseño, que demandan una mayor inversión para la construcción de la misma; el proyecto vial tendrá una mayor categoría.

Para el tramo de nuestro estudio en este factor de vulnerabilidad existen solo dos valores 0 y 1, esto se debe a que nuestro proyecto corresponde a una categoría de carretera primaria, sus Valores de Exposición de la Categoría de la Vía corresponde a un valor de exposición **MUY ALTO**. Figura N° 28.

Nuevamente, la metodología es utilizada para proyectos más largos, donde se cuente con mayor número de categorías de vías, se debe considerar las tablas de los Valores de Exposición planteadas en el presente estudio que se encuentran en el acápite anterior.

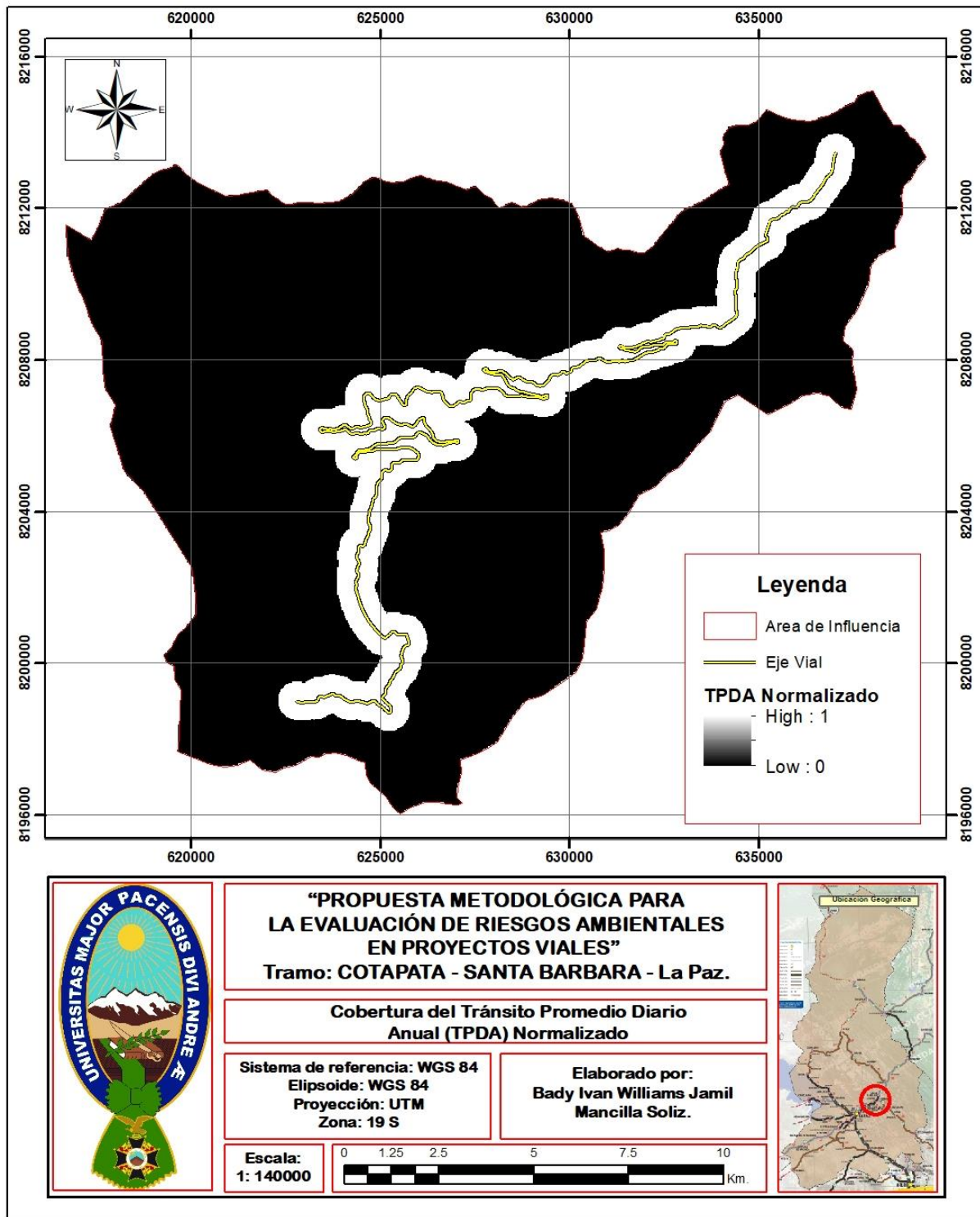


Figura N° 27. Cobertura del TPDA Normalizado.

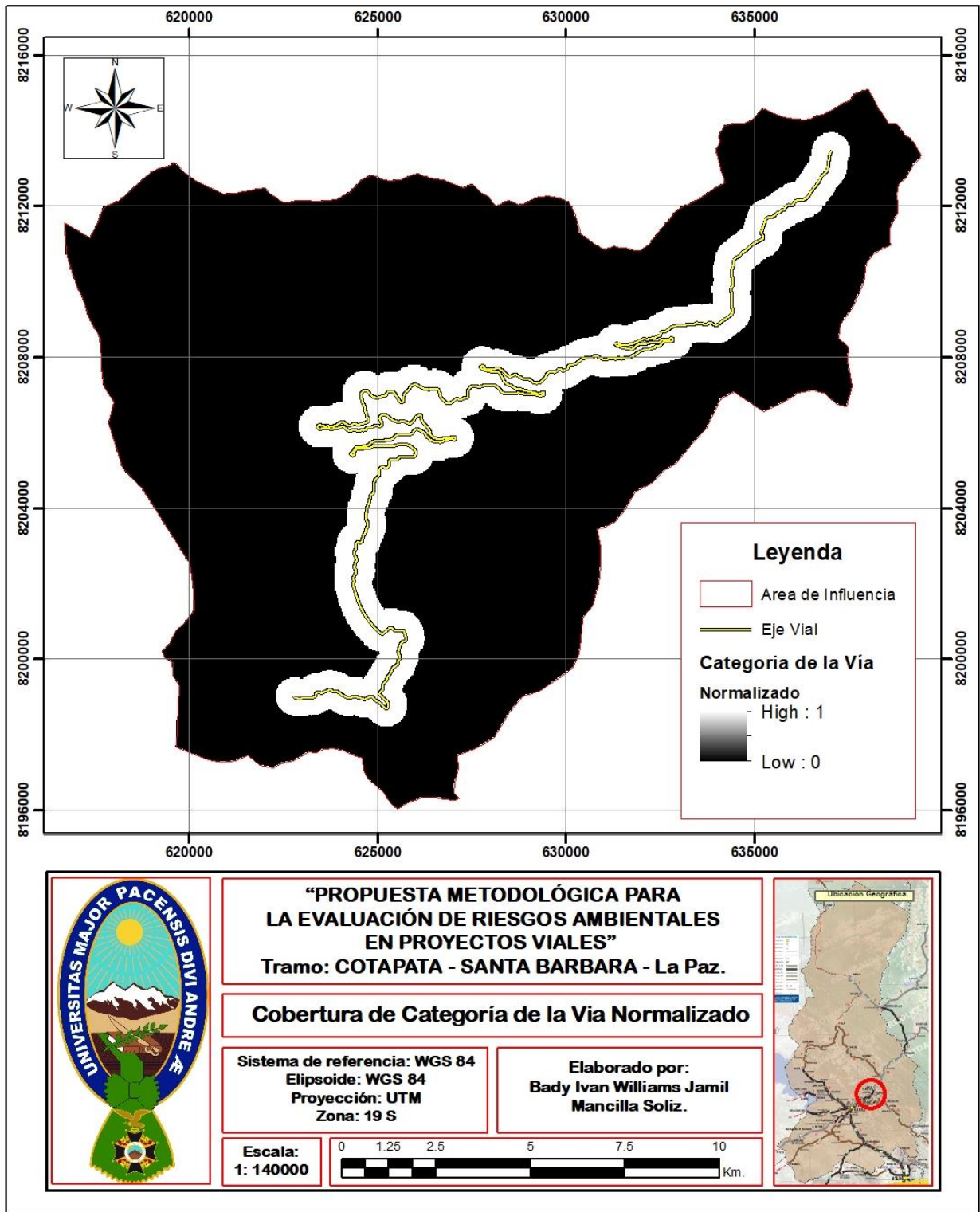


Figura N° 28. Cobertura de Categoría de Vía Normalizado.

#### 4.4.2.3. Localización de la Red.

Los proyectos viales en Bolivia administrativamente tienen distintas localizaciones, esto esencialmente está marcado por las disposiciones legales, que se traducen en la asignación de responsabilidades de los distintos niveles del estado, la Red Fundamental es de responsabilidad de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), la Red Departamental es tuición del Servicio Departamental de Caminos (SEDCAM), La Red Municipal está encargada a los Gobiernos Autónomos Municipales; en el presente investigación se ha considerado un cuarto nivel, esto para las vías de comunicación construidas fuera de la responsabilidad de las instancias ya señaladas, esto son los casos de las vías a proyectos mineros, petroleros, hidroeléctricos, etc.

De igual forma que los anteriores factores de vulnerabilidad en la cobertura, se presentan solo dos valores 0 y 1, esto se debe a que el proyecto estudiado corresponde a la Red Fundamental, y su Valor de Exposición corresponde a **MUY ALTO**. Figura N° 29

La metodología planteada en esta investigación para proyectos con mayor longitud, donde se cuenta con mayor número de redes, se debe considerar las tablas de los Valores de Exposición planteadas en el presente estudio que se encuentran en el acápite anterior.



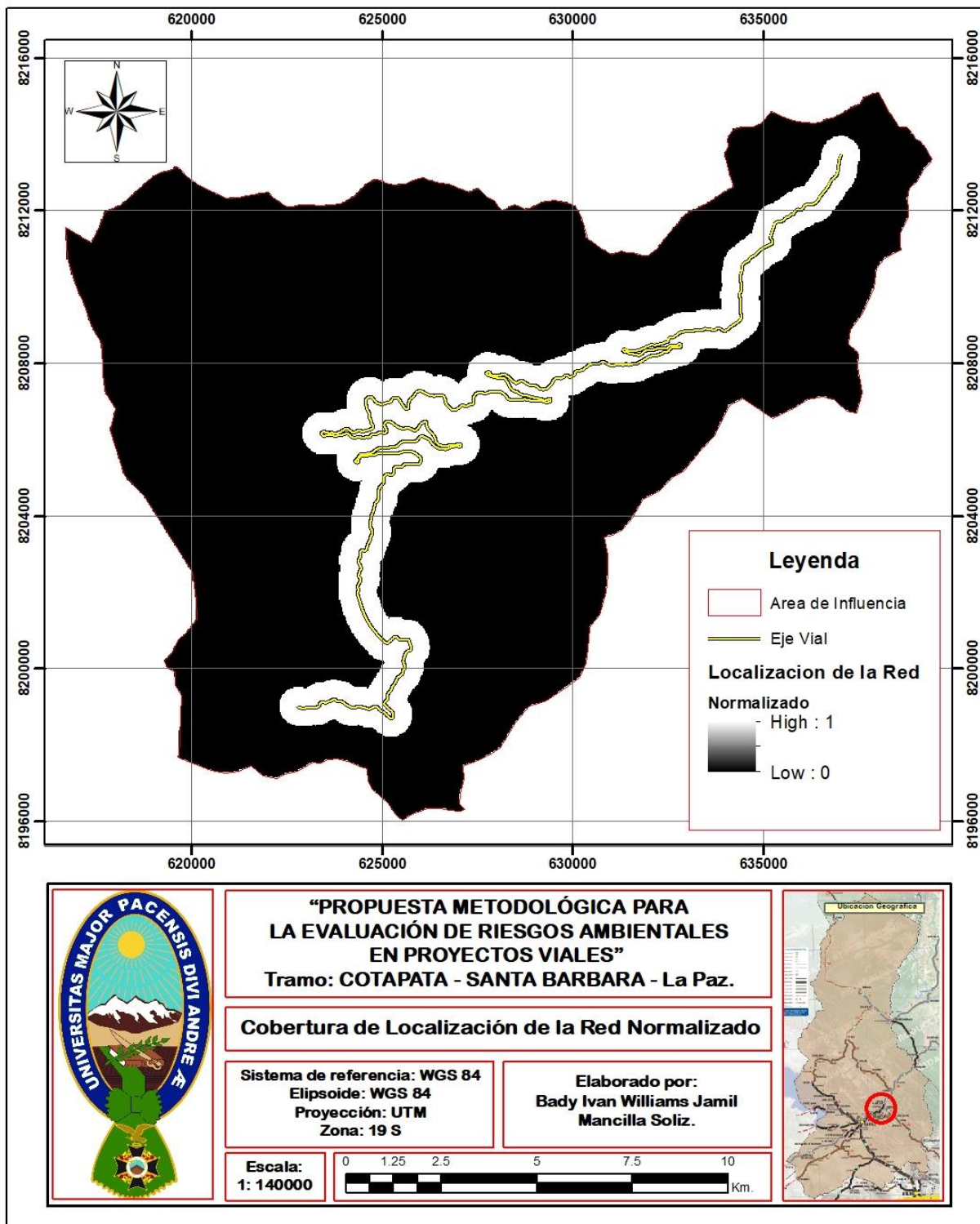


Figura N° 29. Cobertura de la Localización de la Red Normalizado.

#### 4.5. GENERACIÓN DE LA MATRIZ DE JERARQUIZACIÓN ANALÍTICA PARA DETERMINACIÓN DE LOS PESOS RELATIVOS DE LOS FACTORES AMENAZA Y VULNERABILIDAD DEL PROYECTO COTAPATA - SANTA BÁRBARA.

##### 4.5.1. Construcción de la Matriz par a par, para los Factores de Amenaza.

Se desarrolló la construcción de la matriz y se utiliza la tabla que establece nueve niveles de importancia, la cual expresa un valor más fiable con relación a escalas más cortas.

Es importante establecer que los criterios de valoración para tener una coherencia para la obtención de pesos de cada factor, esto está ligado a lo descrito en la Segmentación Ambiental que se describió en el marco teórico del presente documento.

**Tabla N° 21.** Matriz de Jerarquías para la ponderación de las variables intervinientes para la obtención de la cobertura de Niveles de Amenaza.

FACTORES DE AMENAZA									
$i / j$	Clima (Precipitación)	Geología	Geomorfología (Pendiente)	Suelo	Hidrología (Drenaje Superficial)	Cobertura Vegetal (NDVI)	Socio Economía (Densidad Poblacional)	$\sum i j / n$	Peso
Clima (Precipitación)	1	1/4	1/5	3	4	3	4	2.207	0.16
Geología	4	1	4	6	7	4	5	4.429	0.32
Geomorfología (Pendiente)	5	1/4	1	4	5	3	4	3.179	0.23
Suelo	1/3	1/6	1/4	1	2	1/2	2	0.893	0.07
Hidrología (Drenaje Superficial)	1/4	1/7	1/5	1/2	1	1/5	1/3	0.375	0.03
Cobertura Vegetal (NDVI)	1/3	1/4	1/3	2	5	1	4	1.845	0.13
Socio Economía (Densidad Poblacional)	1/4	1/5	1/4	1/2	3	1/4	1	0.779	0.06
							Sumatoria	13.706	1.0

##### Calculo de la Razón de Consistencia (CR).

Este cálculo se realiza para verificar si los pesos determinados son consistentes, el valor de la razón de consistencia deberá ser menor a 0.10 esta se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Dónde: CR = Razón de Consistencia.  
 RI = Índice Aleatorio.  
 CI = Índice de Consistencia.

**Cálculo del Índice de Consistencia (CI):**

Se puede obtener aplicado la siguiente formula:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Dónde:  $n$  = Numero de factores.  
 $\lambda_{max}$  = eigenvector principal

$$CI = \frac{7.75039 - 7}{7 - 1}$$

$$CI = \frac{0.75039}{6}$$

$$CI = 0.12507$$

Para el **Cálculo de la Razón de Consistencia (CR):**

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

El Índice Aleatorio (RI) lo determinamos por tablas de acuerdo al número de factores:

EL ÍNDICE ALEATORIO POR TAMAÑO DE MATRIZ										
Tamaño de la matriz (N)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
El Índice Aleatorio (RI)	0.0	0.01	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

$$CR = \frac{0.12507}{1.32}$$

$$CR = 0.094$$



El valor de Razón de Consistencia al ser menor a uno nos indica que nuestro error es menor al 10%, para los factores de Amenaza.

#### 4.5.2. Construcción de la Matriz par a par, para los Factores de Vulnerabilidad.

Matriz de Jerarquías para la ponderación de las variables intervinientes para la obtención de la cobertura de Niveles de Vulnerabilidad.

**Tabla N° 22.** Matriz de Jerarquías para la ponderación de las variables intervinientes para la obtención de la cobertura de Niveles de Vulnerabilidad.

FACTORES DEVULNERABILIDAD					
$i / j$	TPDA	Estructura Vial	Localizacion de la Red	$\sum ij / n$	Peso
TPDA	1	1/3	4	1.778	0.34
Estructura Vial	3	1	5	3.000	0.57
Localizacion de la Red	1/4	1/5	1	0.483	0.09
			Sumatoria	5.261	1.0

#### Calculo de la Razón de Consistencia (CR):

Este cálculo se realiza para verificar si los pesos determinados son consistentes, el valor de la razón de consistencia deberá ser menor a 0.10 esta se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Dónde: CR = Razón de Consistencia.

RI = Índice Aleatorio.

CI = Índice de Consistencia.

#### Cálculo del Índice de Consistencia (CI):

Se puede obtener aplicado la siguiente formula:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Dónde:  $n$  = Numero de factores.  
 $\lambda_{\max}$  = eigenvector principal

$$CI = \frac{3.08328 - 3}{3 - 1}$$

$$CI = \frac{0.08328}{2}$$

$$CI = 0.04164$$

Para el **Cálculo de la Razón de Consistencia (CR)**:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

El Índice Aleatorio (RI) lo determinamos por tablas de acuerdo al número de factores:

EL ÍNDICE ALEATORIO POR TAMAÑO DE MATRIZ										
Tamaño de la matriz (N)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
El Índice Aleatorio (RI)	0.0	0.01	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

$$CR = \frac{0.04164}{0.58}$$

$$CR = 0.072$$

El valor de Razón de Consistencia al ser menor a uno (1) nos indica que nuestro error es menor al 10%, para los factores de Vulnerabilidad.

## 4.6. MODELAMIENTO DEL ESCENARIO DEL RIESGO AMBIENTAL EN PROYECTOS VIALES.

A continuación, el trabajo implica del desarrollo de Modelos de escenarios tanto para Vulnerabilidad y Amenaza en base a la metodología de evaluación usada para el proyecto es Combinación Lineal Ponderada, pero debemos recordar que:

$$\text{Riesgo Ambiental} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}.$$

### 4.6.1. Amenaza.

La Amenaza será la suma de los siete factores considerados en el estudio, de la misma forma al ponderar se multiplicado por el peso asignado en la matriz de Saaty, es importan recordar que solo se utilicen dos decimales para la operación.

$$A = \text{Clima Precipitación (0,16)} + \text{Geología (0,32)} + \text{Geomorfología (Pendiente) (0,23)} + \text{Suelo (0,07)} + \text{Hidrología (Drenaje Superficial) (0,03)} + \text{Flora (NDVI) (0,13)} + \text{Socio Economía Densidad Poblacional (0,06)}.$$

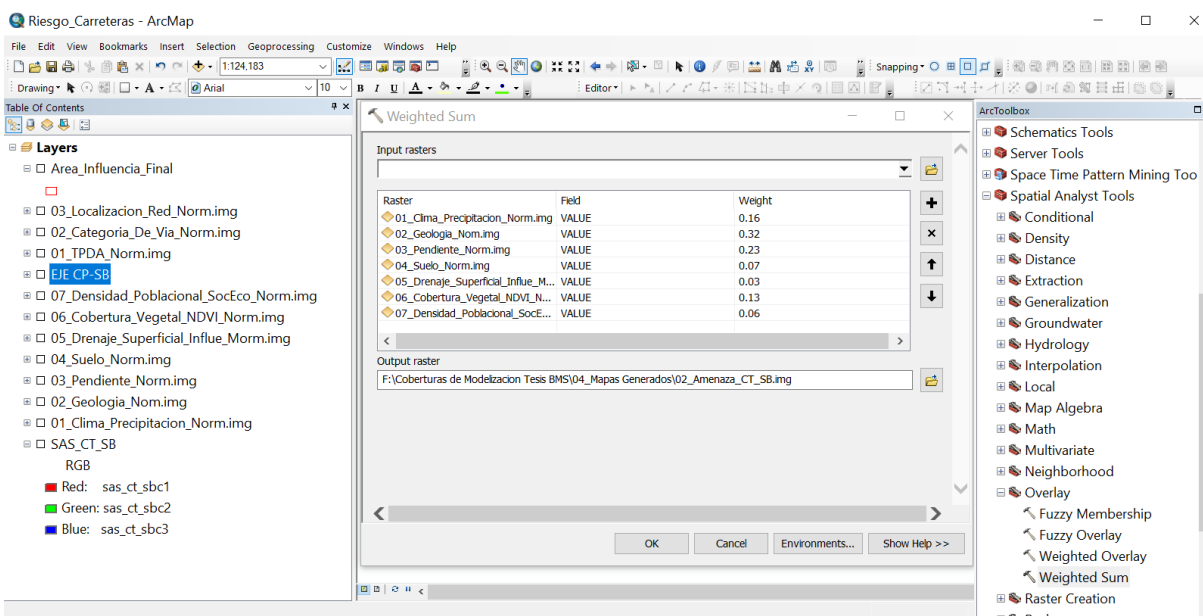


Figura N° 30. Dentro de la ventana de Suma ponderada de ArcGIS se asigna los pesos asignado en la matriz de Saaty para los factores de amenaza.

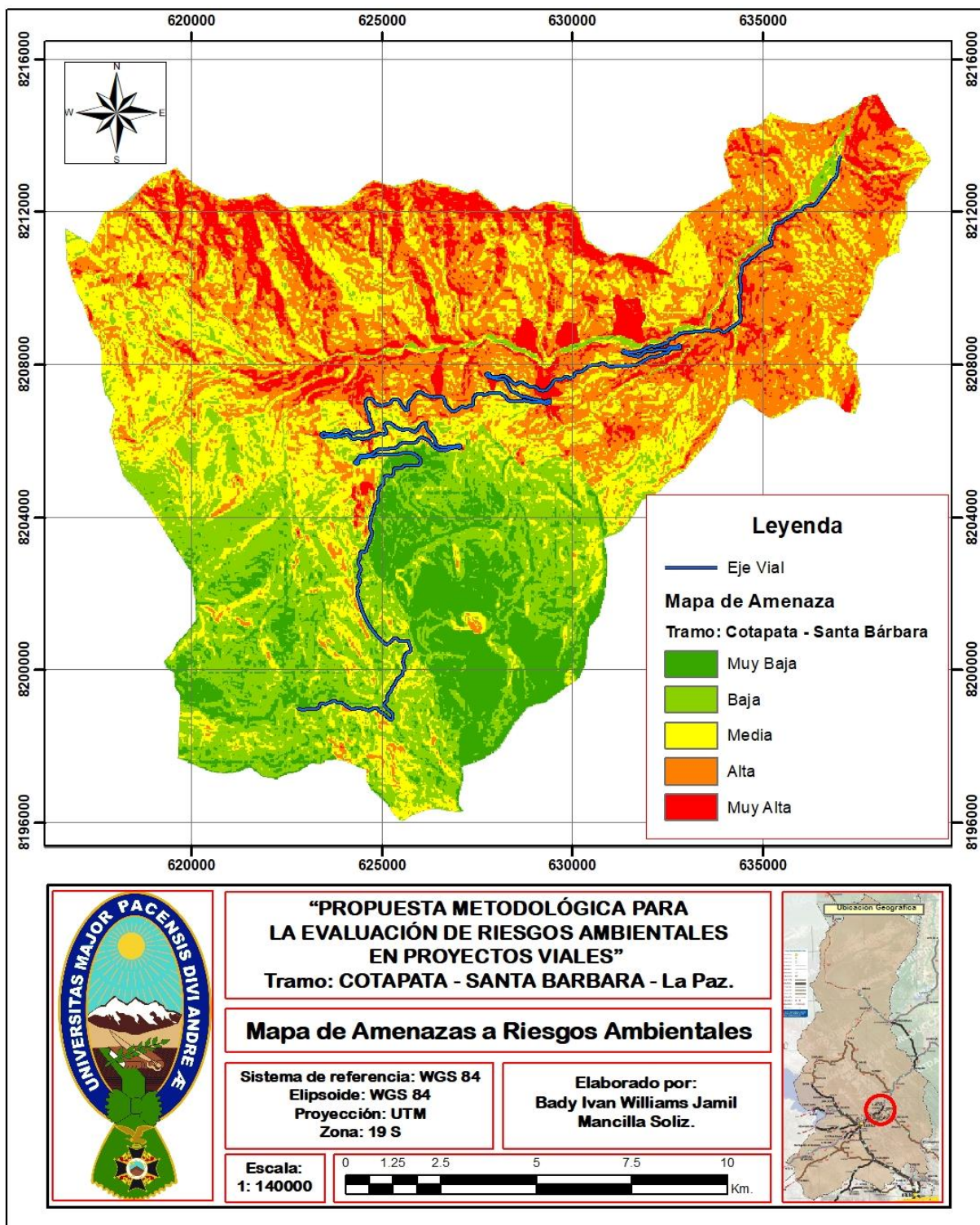


Figura N° 31. Mapa de Amenazas a Riesgos Ambientales del Tramo Cotapata – Santa Bárbara.

#### 4.6.2. Vulnerabilidad.

La vulnerabilidad será la suma de los tres factores considerados en el estudio, para poder ponderar cada factor será multiplicado por el peso asignado en la matriz de Saaty, es importante recordar que solo se utilicen dos decimales para la operación.

$$V = TPDA (0,34) + \text{Categoría de Vía} (0,57) + \text{Localización de la Red} (0,09)$$

Para poder realizar esta acción se puede utilizar Suma Ponderada esta se encuentre en ArcToolBox / Spatial Analyst Tools / Overlay / Weighted Sum.

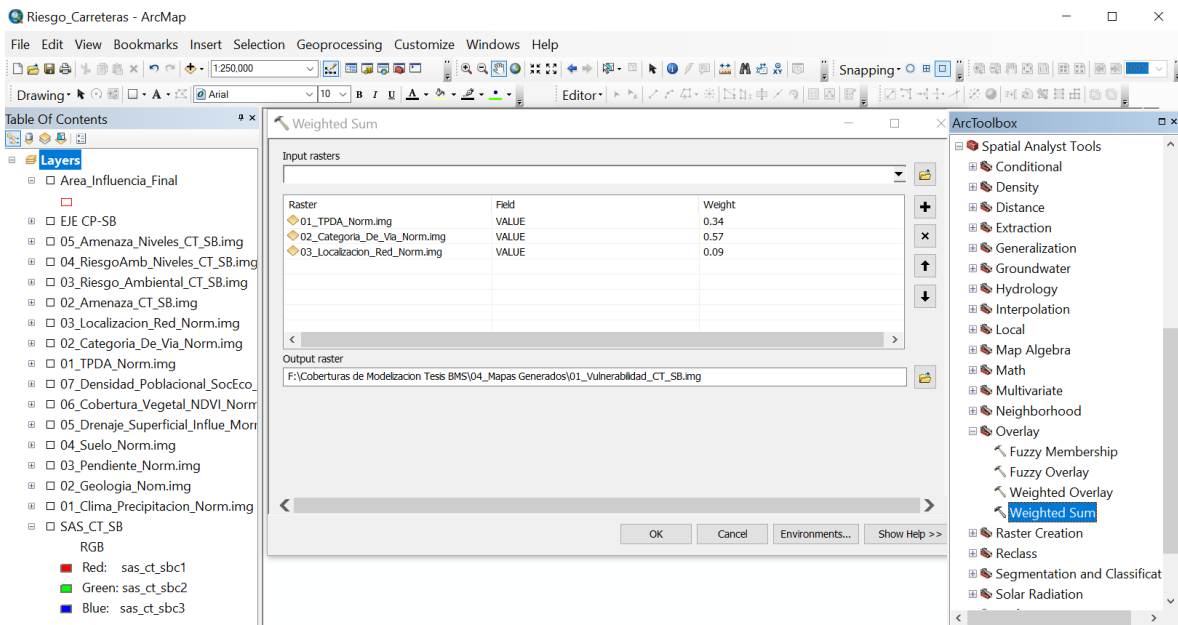


Figura N° 32. Dentro de la ventana de Suma ponderada de ArcGIS se asigna los pesos asignado en la matriz de Saaty para los factores de Vulnerabilidad.



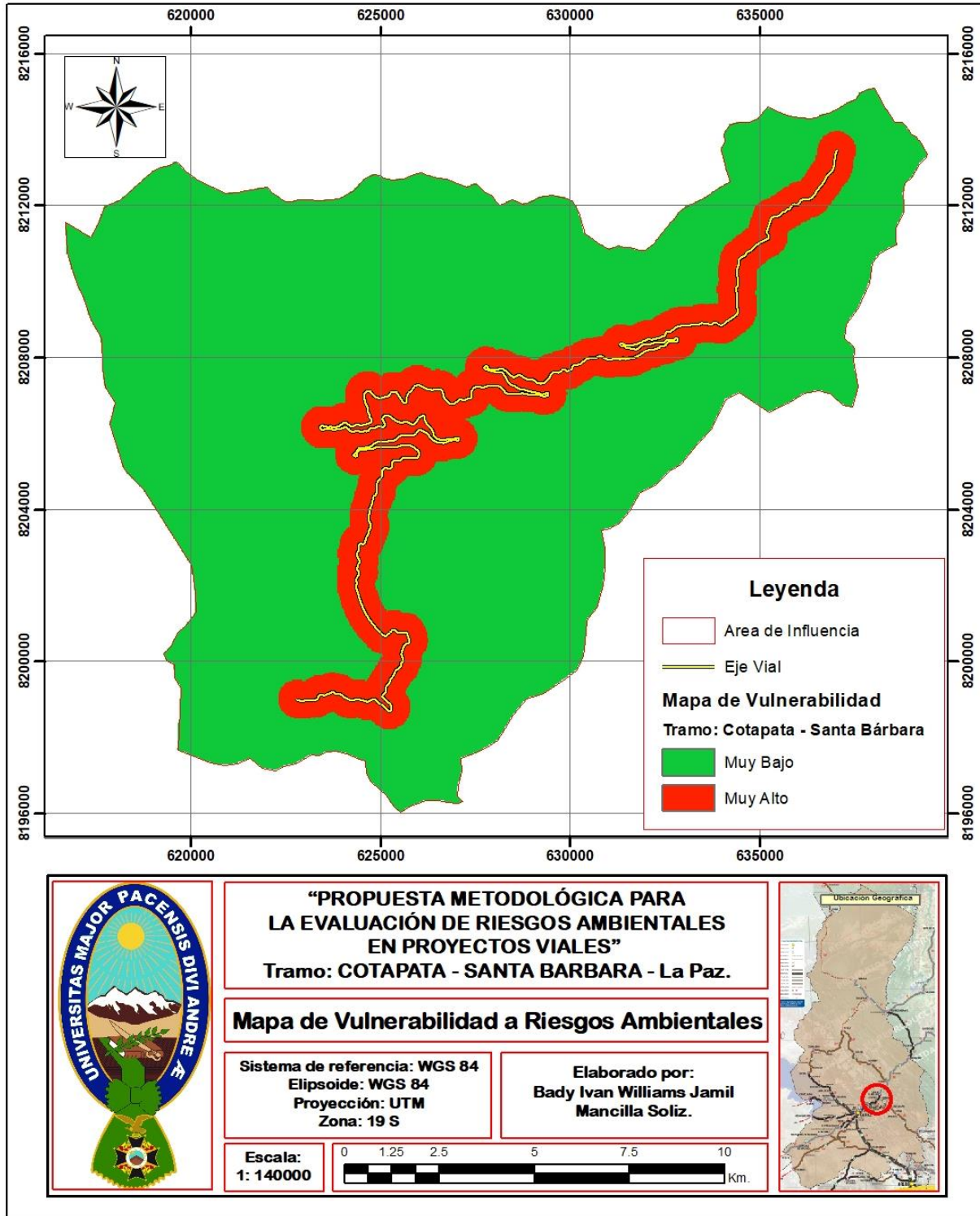
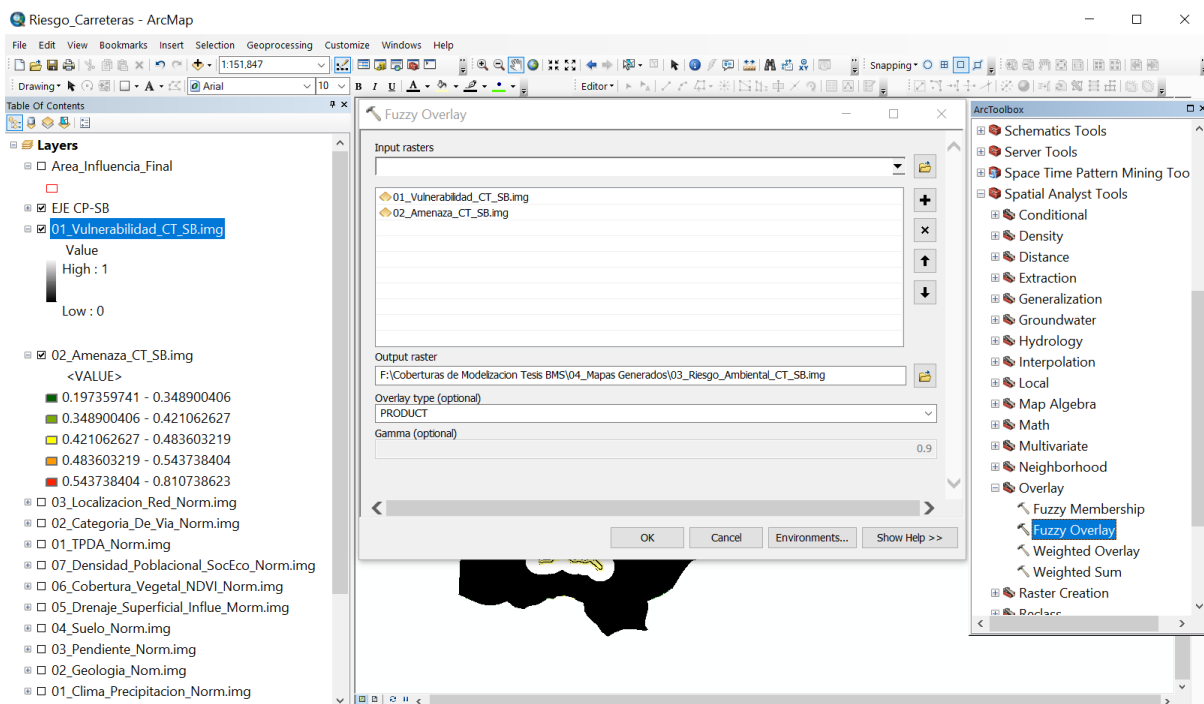


Figura N° 33. Mapa de Vulnerabilidad a Riesgos Ambientales del tramo Cotapata – Santa Bárbara.4.6.3. Riesgo Ambiental.

El riesgo ambiental como se estableció anteriormente es Vulnerabilidad por Amenaza, de acuerdo a lo establecido precedentemente ya se cuenta con los dos mapas, para combinar ambos se recurrir a Superposición Difusa esta se encuentre en ArcToolBox / Spatial Analyst Tools / Overlay / Fuzzy Overlay.



**Figura N° 34.** Dentro de la ventana de Superposición Difusa de ArcGIS para lo obtención del Mapa de Riesgos Ambientales.

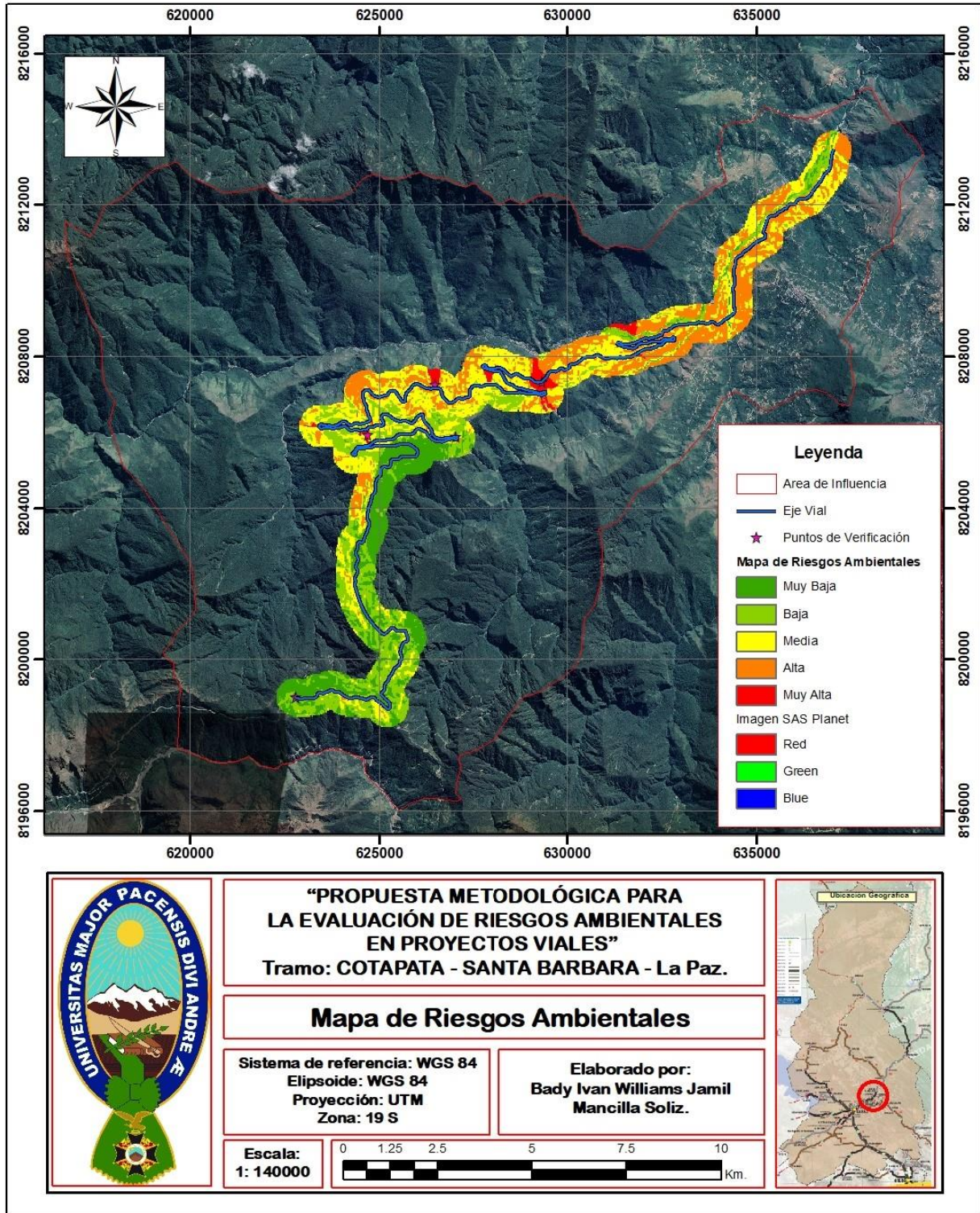


Figura N° 35. Mapa de Riesgos Ambientales del tramo Cotapata – Santa Bárbara.



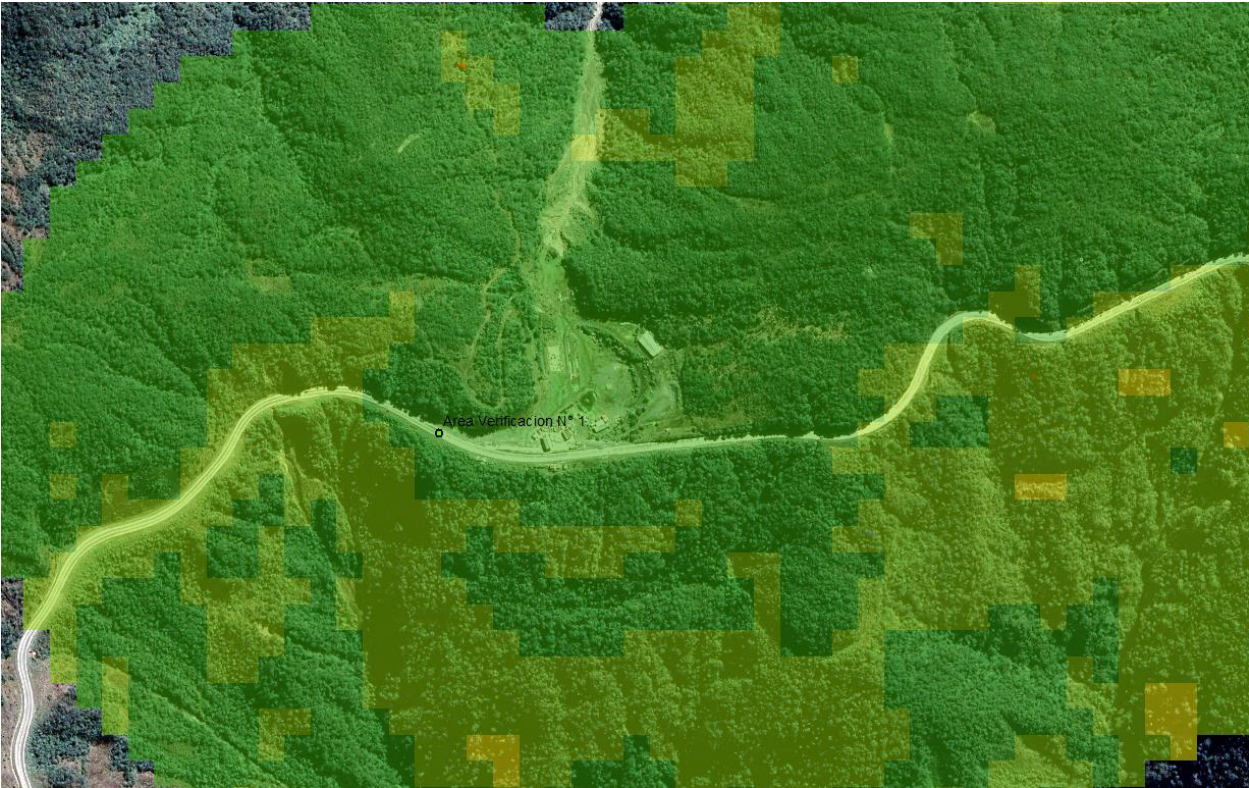
#### 4.7. EVALUACIÓN DE LA EXACTITUD TEMÁTICA.

Como se mencionó anteriormente, la evaluación de la exactitud temática, se ocupa de los aspectos temáticos del modelo cartográfico y consiste en comparar la información del mapa con información de referencia considerada muy confiable. Generalmente se basa en un muestreo de sitios de verificación, cuya clasificación se obtiene a partir de verificación del área en campo apoyado también del análisis de imágenes de Satélite.

**Tabla N° 23.** Evaluación de la Categoría del Mapa de Riesgos Ambientales, con respecto al terreno.

ÁREA DE AVALUACIÓN	CATEGORÍA EN EL MAPA	VERIFICACIÓN TERRENO
Área N° 1.	Riesgo Muy Bajo.	Zona plana, con vegetación abundante y sin ninguna muestra de inestabilidad para la plataforma de la carretera.
Área N° 2.	Riesgos Alto y Muy Alto.	El área con pendiente elevada mayores a 38°, zonas que muestran cicatrices de procesos de remoción en masa, ausencia de vegetación por causas naturales, que ponen en riesgo la plataforma de la carretera.
Área N° 3.	Riesgo Bajo y Medio	Zona en plena divisoria de aguas donde se observan pendientes menores a 29°, al lado oeste donde se tiene avance de desarrollo de la carretera el riesgo sube a medio.
Área N° 4.	Riesgo Alto y Muy Alto.	El área aunque presenta pendientes inferiores a los 38°, se puede evidenciar el hundimiento de la plataforma de la carretera, hecho de gran riesgo para la transitabilidad del proyecto.
Área N° 5.	Riesgo Muy Alto.	En el área aunque las pendientes son moderadas se evidencia la presencia de una amplia zona de riesgo para la carretera, esto debido que en la parte superior, se evidencian varios escarpes de deslizamiento, ausencia de vegetación que por lo general cumplen labores de estabilizadores secundarios y en los taludes signos de proceso de erosión.

4.7.1. Área Verificación N°1.







Progresiva 0+00 Inicio del proyecto donde los niveles de riesgo están marcados como bajos, en los sectores próximos donde existe mayor pendiente están marcados con niveles de riesgo Medio; no se puede apreciar evidencias que contradigan este nivel.

#### 4.7.2. Área Verificación N° 2.







En el sector se puede evidencia la presencia de un nivel de Riesgo Alto el cual afecta a tres áreas de la carretera en distintas progresivas primeras secciones 13+300 hasta la 13+660 segunda sección 14+640 hasta la 14+460 y tercera sección 20+300 hasta la 20+750.



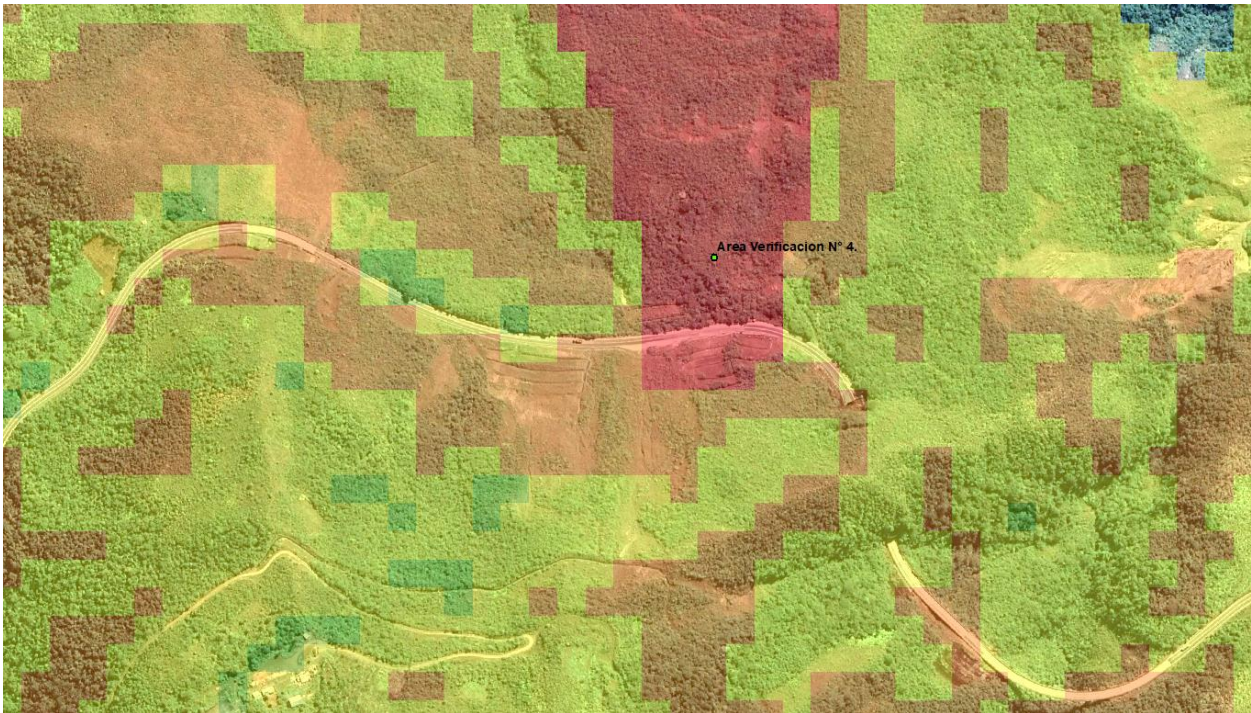
### 4.7.3. Área Verificación N° 3.



Proximidades de la Progresiva 17+00 del proyecto donde los niveles de riesgo Medios en el flanco cuenca donde se encuentra construida la carretera y muy altos al lado contrario, estos niveles elevados se deben a la pendiente fundamentalmente.



#### 4.7.4. Área Verificación N° 4.



En el área a ser verificada se puede notar Niveles Altos de riesgo los cuales son concordantes con la presencia se zonas sin vegetación, escarpes de que presentan movimiento y obras que han tenido que generarse para la estabilización de los taludes, como banquetas laterales, adicionalmente se puede evidenciar el hundimiento de la plataforma, en las proximidades a la



zona marcada con riesgo muy alto antes de ingresar al túnel todo esto es verificable en la carretera en las progresivas 26+350 hasta la 26+800.

**4.7.5. Área Verificación N° 5.**







En el área que presenta Niveles Altos de Riesgo en las progresivas 33+700 hasta la 34+250 zonas en las cuales existe una serie de deslizamientos que han obligado a generar obras de estabilización mecánica que hasta la actualidad no han logrado estabilizar plenamente el sector, esta área actualmente está comprometiendo la estabilidad de la carretera en la sección superior del proyecto vial.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

La metodología propuesta, basado en técnicas de evaluación multicriterio implementadas dentro de un Sistema de Información Geográfica, se considera eficaz para la evaluación de Riesgos Ambientales para proyectos Viales a escalas 1:25.000, esta metodología de forma ideal debería ser implementada en la etapa del Diseño del Proyecto.

La evaluación multicriterio (EMC), aplicada mediante las metodologías AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y WLC (Combinación Lineal Ponderada), en un ambiente SIG; adaptadas a las condiciones particulares, del sector de Vías y Transporte, constituyen un modelo privilegiado para la evaluación de la Riesgos Ambientales en carreteras.

Esta metodología planteada, ha sido implementada un uno de los proyectos que tiene mayores dificultades técnicas, económicas y sobre todo de transpirabilidad todos los años dentro de la Red Vial Fundamental de nuestro país, esto genera inversiones mayores en la etapa de manteniendo de este proyecto.

Metodológicamente, se abordó la investigación dividiendo el análisis en los tres componentes esenciales, la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. La Amenaza se analizó considerando cuales son los factores del medio ambiente (Atributos Ambientales) que influirían sobre el proyecto vial. La vulnerabilidad, se analizó desde tres puntos de vista; el Primero, como la cantidad de usuarios que utilizan el tramo vial o fragilidad social, Segundo como la medida de la fragilidad del elemento expuesto la Estructura Vial y la Tercera, como la medida de la fragilidad administrativa, es decir la dependencia de gestión a nivel del estado; por último, se establece un mapa de vulnerabilidad, que es una función de los dos anteriores. El producto de estos dos factores (amenaza y vulnerabilidad) nos determina el riesgo ambiental en proyectos viales.

Se definieron y aplicaron siete factores de Amenaza Precipitación, Geología, Pendiente, Suelo, Drenaje Superficial, NDVI y Densidad Poblacional y tres factores de Vulnerabilidad TPDA, Categoría de Vía y Localización de la Red que permitieron generar las coberturas resultantes para obtener el mapa de Riesgos ambientales en proyectos Viales.

Para el establecimiento de pesos de cada uno de los factores considerados, para la generación de las coberturas de vulnerabilidad y amenaza, se utilizó la matriz de jerarquización analítica, que los resultados para ser confiables en la ejecución de modelo planteado, primero se procedió a la verificación de su pertinencia, para lo cual se realizó el cálculo de la razón de consistencia

Los factores considerados en la matriz de jerarquización para el modelo propuesto, con mayor influencia para definición de áreas de amenazas a proyectos Cotapata - Santa Bárbara son la Geología 32%, la Pendiente 23%, la Precipitación 16% y NDVI 13% y los factores con menor influencia esta Suelo 6.5%, la Densidad Poblacional 5.7% y por último el Drenaje Superficial 2.7%.

Una vez obtenido el Mapa de Riesgos Ambientales por niveles, se procedió al trabajo de campo para realizar la verificación y validación de la información generada con la evaluación multicriterio, donde se determinaron, áreas con procesos de remoción en masa, zonas con pendientes elevadas que presentan caída de bloques de roca, áreas con procesos de erosión, zonas con acción antrópica, infraestructura de la carretera con fisuras, sistemas de drenaje obstruidos, hundimiento de la plataforma. Cada una de estas características, generan riesgo para el proyecto vial estudiado y podemos establecer que los niveles de riesgos son concordantes con la realizada del proyecto.

Podemos establecer que los objetivos específicos planteados en la presente tesis fueron alcanzados a cabalidad, tal como se puede evidenciar dentro del contenido de la tesis.

Es importante concluir y recordar que el artículo 18 inciso c, de la Ley de gestión de riesgos, establece como obligación de las instituciones públicas: Incorporar la evaluación de riesgo en sus proyectos de inversión pública.

Finalmente, la investigación planteando una metodología específica para proyectos viales, pretende ser una referencia para las autoridades que toman decisiones en la gestión de proyectos viales, esto permitiría de forma estructurada la identificación de riesgos, poder tener una herramienta de análisis de costo beneficio.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Se puede mejorar el modelo definido, si se contaría con información del mantenimiento de los proyectos viales, vale decir las progresivas donde tiene mayor actividad con equipo pesado en la etapa de mantenimiento.

En proyectos viales ya existentes se sugiere evaluar y clasificar todos los fenómenos de remoción en masa que se generen y tratar de definir su origen para de esta manera poder actualizar el modelo.

## **CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA**

- ABRIL, A. L., 2011.** Metodología de zonificación de áreas susceptibles a deslizamiento Quimsacocha, Cuenca, Ecuador.
- ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS., 2010.** Glosario de Términos Ambientales Sector Carreteras. Corporación Andina de Fomento CAF.
- ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS., 2007.** Manual de Diseño Geométrico. Banco Interamericano de Desarrollo BID.
- BALLÓN, C., 1995.** Técnicas para la Reducción de Impactos en Infraestructuras Lineares. Memorias del XVII Congreso Sudamericano de Entidades Viales, Córdoba, Argentina.
- BOSQUE, J., 1992.** Sistemas de Información Geográfica, Madrid – España: Editorial Rialp, S.A.
- CHUVIECO, E., 1996.** Fundamentos de Teledetección espacial, Madrid, España: Rialp, Tercera Edición.
- BAESSO, D. & GONCALVEZ, F., 2003.** Camino Rurales: Técnicas Adecuadas de Mantenimiento. Departamento de Infraestructura del Estado de Santa Catalina Brasil DEINFRA, Santa Catalina, Brasil.
- CORTEZ, R., 2000.** Estudio Geológico Minero del Distrito Aurífero Cotapata y su Problemática Ambiental. Tesis de grado Carrera de Ingeniería Geológica y Medio Ambiente, Universidad Mayor de San Andrés, U.M.S.A., La Paz, Bolivia.
- COROMINAS. J. & GARCÍA. A., 1997.** Terminología de los Movimientos de Ladera. IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables Vol.3. Granada, España.
- CRUDEN, M. & VARNES, J., 1996.** Landslide types and processes. En: GONZALES DE VALLEJO. L., 2002. Ingeniería Geológica, Ed. Prentice Hall, Madrid, España.
- DA COSTA, A., 2004.** Inestabilidades por Degradación Superficial de Taludes en Suelos: Corrección Mediante Sistemas de Refuerzo Anclados, Capítulo 1. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, Santander, España, pp. 32 – 48.
- FERNANDEZ, S & THOMPSON, C., 1994.** Mapa Geológico Coroico, Hoja 5945. Carta Geológica de Bolivia, escala 1:100,000. **GEOBOL SGAB**, serie 1 – CGB.
- GÓMEZ, M., y BARREDO, J., 2005.** Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio (2da Edición Actualizada ed.). Madrid: Editorial Rama.
- GONZALES DE VALLEJO. L., 2002.** *Ingeniería Geológica, Ed. Prentice Hall, Madrid, España.*

**GORDON, K. & SHERAR, J., 2004.** Ingeniería de Caminos Rurales: Guía de Campo para las Mejores Prácticas de Administración de Caminos Rurales. Instituto Mexicano del Transporte, Secretaria de Comunicaciones y Transportes de México, Distrito Federal, México.

**HOEK, E. & BRAY, J., 1981,** Rock slopes engineering. En: SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA., 2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. Publicación Geológica Multinacional N° 4, Varios países.

**HOLMES, A., 1971.** *Geología Física, Ed. Omega, Barcelona, España.*

**J.I.C.A., 2007.** Manual de Gestión y Prevención de Desastres en Carreteras, Administradora Boliviana de Carreteras y la Cooperación del Gobierno Japonés JICA, La Paz, Bolivia.

**JOHANNES VAN WESTEN, C., 1993.** Application of geographic information system to landslide hazard zonation.

**KOULI, M., 2009.** Landslide hazard zonation in high risk areas of Rethymno Prefecture, Grecia.

**LAHMEYER INTERNACIONAL GMBH & CONNAL S.R.L., 2004.** Diagnóstico y Manifiesto Ambiental Carretera Cotapata Santa Bárbara. Servicio Nacional de Caminos., La Paz, Bolivia.

**LOMOSCHITZ, A., 2002.** Elaboración de mapas de susceptibilidad de los deslizamientos mediante SIG, Teledetección y Métodos de evaluación multicriterio, aplicación a la depresión de Tirajana (Gran Canaria), La Palmas G.C., España.

**MAMANI, H., 2016.** Cartografía De Zonas De Riesgo A Deslizamientos Del Municipio de Achocalla del Departamento de La Paz, Mediante la Aplicación de Dos Metodologías de Evaluación, Tesis de grado, Carrera de Topografía y Geodesia, Universidad Mayor de San Andrés, U.M.S.A., La Paz, Bolivia.

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTE DE MEXICO., 1992.** Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico, Distrito Federal, México.

**MORALES, G., 2000.** Proyecto de Mejoramiento de la Carretera Cotapata-Santa Bárbara. PETAE, Carrera de Ingeniería Geológica y Medio Ambiente, U.M.S.A., La Paz, Bolivia.

**NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA., 2007.** Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. Publicación Geológica Multinacional N° 4, Varios países.

**PROGRAMA BIAP., 2002.** Plan de Manejo del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata. Servicio Nacional de Área Protegidas, La Paz, Bolivia.

**ROA, J. G., 2006.** Estimación de áreas susceptibles a deslizamientos mediante datos e imágenes satelitales: Cuenca del río Mocotíes, estado Mérida-Venezuela, Trujillo, Venezuela.

**SAATY, T. L., 2008.** Decision making with the analytic hierarchy process, *Int. J. Services Sciences*.

**SANCHEZ, R. y MAYORGA, G., 2002.** Modelo para el pronóstico de la amenaza por deslizamientos en tiempo real. Simposio Latinoamericano de Control de Erosión.

**SCHINITMAN, N. I., 2011.** Riesgo Ambiental. Córdoba: Oficina Pro Bono de Educación Ambiental.

**SUAREZ D. J., 1998.** Deslizamientos y Estabilidad de Taludes.

**SUÁREZ SORUCO R., 1996.** Compendio Geológico de Bolivia. Revista Técnica Y.P.F.B., Cochabamba, Bolivia.

**SUÁREZ SORUCO R. & DÍAZ MARTÍNEZ E., 1996.** Léxico Estratigráfico de Bolivia. Revista Técnica de Y.P.F.B., Cochabamba, Bolivia.

**VARNES, J., 1978.** Slope Movements Types and Processes. *En: SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA., 2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. Publicación Geológica Multinacional N° 4, Varios países.*

**VERSTAPPEN, H., & VAN ZUIDAM., 1991.** The ITC System of Geomorphologic Survey: A Basis for the Evaluation of Natural Resources and Hazards. *Ed. Mc Graw – Hill, Amsterdam, Holanda.*



**ANEXOS.**

Anexo 1.  
TPDAs de los Tramos de la Red Vial Fundamental.  
Gestión 2018  
Administradora Boliviana de Carreteras

CONSOLIDACION DE TPDAS DE LOS TRAMOS DE LA RVF

AÑO	RUTA	PUNTO	CANTON	EQUIPO	EQUIPO	LIVANOS		BLISES		CAMIONES		OTROS		TOTAL					
						1	2	1	2	1	2	1	2						
2018	4	C001-A	VINTO	COCHABAMBA	RETEN DE PEAE PIRAMI	Ambos	1498.917	4506.333	1523.467	2053.081	1131.5	1377.333	2385	1664.583	1085.417	1327.75	1898.75	5343.167	53706
2018	4	C001-A	CAHUASI	VINTO	RETEN DE PEAE SUTICOLLO	Ambos	1651.917	699.583	2033.833	50.833	113.833	606.75	435.583	625.667	943.083	692.75	1183.583	68.083	8838
2018	4	C001-A	CAHUASI	VINTO	PARTIANI (PTE. TAPACARI)	Ambos	4004	728.833	2866.25	44.833	70.833	527.583	702.667	408.25	1468	1532.5	183.917	271	37031
2018	4	C001-A	COCHABAMBA	CRUCE RUTA 24	RETEN DE PEAE HUAYLALI (KM 10)	Ambos	12029.583	399.833	12069.333	340.083	388.667	651.083	702.25	725.417	1334.917	268.167	1017	8011	
2018	4	C001-B	COCHABAMBA	CRUCE RUTA 24	RETEN DE PEAE AGUIRE (KM 40)	Ambos	1808.417	745	275.583	297.167	635.75	157.833	376.583	1012.417	278.917	1012.417	378.917	3011	
2018	4	C001-B	COCHABAMBA	VILLA TUNARI	PARACATI	Ambos	825.333	427.417	1444.75	86.333	71.417	268.583	517.75	128.25	299.583	922.75	216.333	35.917	5244
2018	4	C001-B	COCHABAMBA	VILLA TUNARI	VILLA TUNARI	Ambos	284.75	637.5	637.5	637.5	637.5	281.917	313.75	323.167	390.917	360.917	262.417	664	9733
2018	4	C001-B	COCHABAMBA	LA PAUZADA	RETEN DE PEAE PARACAYA (KM 45)	Ambos	3926.917	255.25	605.75	19.25	16.333	2	525.417	183.167	190.25	66.833	333.333	40.167	3845
2018	7	C007	PARACAYA	LA PAUZADA	RETEN DE PEAE PEZANA (KM 127)	Ambos	346.25	149.583	301.667	1.333	26.167	1.667	201.75	28.167	56.417	10	2	132.833	1258
2018	5	CH01	SUCRE	AIQUELE	SURIMA	Ambos	427.25	118.917	141.667	18.75	58.083	25.25	136.75	17.667	104.167	118.917	5.25	31.167	1227
2018	5	CH01	SUCRE	AIQUELE	SURIMA	Ambos	152.917	109.917	136.75	11.833	50.25	23.75	89.083	41.5	91.833	10	6.833	1.417	824
2018	5	CH01	SUCRE	AIQUELE	TRANCA LA ZAPATERA	Ambos	384.083	165.75	141	11.667	59.917	15.5	144.25	31	127.667	114.333	3.667	8.917	1208
2018	6	CH01	SUCRE	CRUCE IPATI	PIE. JUDANES	Ambos	125.727	144.455	85.909	30	71	23.182	19.909	61.364	48.545	15.909	3.273	5.636	695
2018	6	CH01	SUCRE	CRUCE IPATI	LA CINEGA	Ambos	331.917	200.667	181.5	5.083	98.25	0.583	103.417	32.417	39.25	10.667	0.083	0	1004
2018	6	CH01	SUCRE	CRUCE IPATI	TRANCA COCHOS	Ambos	164.917	416	411.667	43.667	90	4.25	16.75	83.583	68.667	19.333	0.583	3.167	2950
2018	6	CH03	SUCRE	CRUCE IPATI	PUERTO PEAE SAN MIGUEL	Ambos	118.833	77.083	25.583	9.917	19.917	0.833	14.25	23.667	26.667	5.583	0.833	50.25	373
2018	6	CH03	SUCRE	CRUCE IPATI	BARTOLO	Ambos	30.833	32.583	1.667	13.333	3.5	14.5	7	16.25	2.917	0	2.583	136	
2018	6	CH03	SUCRE	CRUCE IPATI	THUMAYU	Ambos	27.667	36.083	12.083	1.5	15.333	1.167	10.75	10.833	43.667	1.083	2.5	8.833	169
2018	16	LP01	CRUCE INCA	INCA	ISCOMA	Ambos	231.5	114.5	128.083	2.25	41.083	4.333	58.167	17.917	9.083	0.667	0.417	6.417	678
2018	26	LP01	INCA	CARANAVI	PUENTE CHALLANA	Ambos	402.818	92.083	71.267	0.091	0.818	10.545	55.909	11.091	0.545	0	1.455	605	
2018	26	LP01	INCA	CARANAVI	CRUCE INCA	Ambos	447.091	200.727	116.167	0	1.182	1.182	3.664	1.645	4	2.818	319.509	4007	
2018	1	LP13	DESAGUADERO	EX TRANCA RIO SECO	RETEN LAJA	Ambos	1172.5	193.3	158.3	15.5	30.5	14.3	144	198	40.5	143	139	4031	
2018	1	LP13	DESAGUADERO	EX TRANCA RIO SECO	CRUCE THURIANACU	Ambos	395.2	178	131.3	8	25	13	129.3	40.3	18	396	29	198	3025
2018	2	LP05	USAN	USAN	TUCOPI	Ambos	229	47.909	25.455	3.727	36.664	1.909	23.364	15.545	24.182	2.275	0.182	6.545	162
2018	3	LP01	LA CUMBRE	UNDAUVI	RETEN ANTINARCOTICOS LA RINCONADA	Ambos	79.7	144	655.273	8.273	123.364	18.909	247.636	36.364	20.455	14.636	6.273	2	2138
2018	3	LP01	UNDAUVI	CARANAVI	CRUCE CHISPAPATA	Ambos	4039	467.727	175.273	119.182	207.636	43.727	318.818	159.364	302.273	19.455	24.455	26.364	3443
2018	3	LP01	UNDAUVI	CARANAVI	CRUCE SUARI	Ambos	230	364	146	1.264	33.664	1.264	33.664	1.264	33.664	1.264	33.664	1.264	33.664
2018	25	LP08	UNDAUVI	CRUCE RUTA 04															

2018	1	LP09	LA PAZ	ORURO	ACHICA ARRIBA	Ambos	2007.182	773.818	3022.273	62.455	133.636	721.909	335.636	491.273	727.909	1009.636	116.727	38.727	9441
2018	1	LP09	LA PAZ	ORURO	KONANI	Ambos	1160.273	440.818	969.909	10	97.636	595.091	142.091	344.909	503.273	899	108.273	79	5795
2018	1	LP09	LA PAZ	ORURO	DICA SICA	Ambos	228.455	483.545	1186.818	14.182	167.455	698.182	208.818	337.818	551.091	800.273	137.091	59.455	5761
2018	1	LP09	LA PAZ	ORURO	QUEMALLA	Ambos	1175.818	478.727	858.636	10.455	145	594.909	205.091	319.727	469.182	840.455	153.818	34.455	5286
2018	1	LP09	LA PAZ	ORURO	SAN PEDRO	Ambos	1313.818	489.545	1993.545	20.364	80.909	370	201.091	206.636	234.273	333.727	62.818	20	5327
2018	20	PT10	HORNILLOS	EL PUENTE	HORNILLOS	Ambos	129.583	86	22.417	5.5	13.667	10.833	23.167	19.917	24.333	6.5	5.083	53.25	400
2018	20	PT10	HORNILLOS	EL PUENTE	LIME	Ambos	86.25	91.083	65	3.667	12.583	1.667	37.167	9.833	19.5	5.833	2.083	71.167	406
2018	8	PD3R	CRUCE RURRENAR	YUCUMO	FLURENABAQUE	Ambos	406.455	65.818	10.818	1	10.909	14.273	20.727	18	96.364	47.909	26.091	904	1224
2018	8	PD3R	CRUCE RURRENAR	YUCUMO	YUCUMO	Ambos	455.818	90.182	20.091	1	13.273	12.545	25.818	20.909	227.818	88.273	38.182	546.818	1541
2018	3	PD3R	CRUCE RURRENAR	YUCUMO	RETEN DE PEAJE YUCUMO	Ambos	202.364	40.455	8.182	0.727	18.091	10.364	15.636	11.818	68.909	23.091	15.273	131.636	547
2018	16	PD5	CRUCE INCA	HUARINA	CHARADANI	Ambos	11	11.455	4.455	0.545	18.345	0.273	6.455	7.455	1.909	0.818	70	19.273	76
2018	15	CO05	VILA TUNARI	ISHUTA	RETEN CRUCE CASTILLO	Ambos	1391.5	356.417	682.833	11.917	27.167	6.417	153.5	72.5	88.583	19.25	6.25	555.517	3372
2018	15	CO05	IVIRGARZAMA	PTO. VILLARROEL	PUENTE MAGARIÑO	Ambos	1053.5	326.833	284.75	5.917	11.833	9.167	84.417	37.833	38.667	21.833	14.917	967.083	2857
2018	23	CO02	ARANI	CR. VACAS	ARANI	Ambos	3045.818	1254.364	2073.273	4.273	137.455	109.364	508.455	285.182	228.273	174.273	116.273	8.091	7945
2018	24	BN04	CRUCE RUTA 03	MONTE GRANDE	CRUCE RUTA 03	Ambos	28.375	30.625	4.5	0.375	0.25	0	3.5	2.625	0.75	0.5	1.125	242.875	316
2018	12	OR02	ORURO	CAIHUASI	CRUCE RUTA 04 (CAIHUASI)	Ambos	465.333	261.667	478.5	16.75	64.667	255.333	96.333	182.25	286.167	246.917	83.833	35	2473
2018	4	SC09	PARAISO	SAN JOSE DE CHIQUITOS	TRES CRUCES	Ambos	548.571	506	407.571	24.143	46.286	68.571	145.286	108.857	155.143	318.286	134.857	17.143	2481
2018	4	SC09	PARAISO	SAN JOSE DE CHIQUITOS	EL TINTO	Ambos	295.75	271.125	180.625	9.375	16.75	70	80.375	59.375	100	282.125	49.875	23.5	1439
2018	4	SC09	PARAISO	SAN JOSE DE CHIQUITOS	SAN JOSE DE CHIQUITOS	Ambos	246.5	262.875	209.25	9.5	19.875	66.5	68.625	49.25	70.125	232.75	43.125	5.125	1284
2018	11	TK02	CRUCE RUTA 1	PALOS BLANCOS	SANTA ANA	Ambos	621	391.714	616.571	39	43.857	25.386	113.714	121.571	75.571	31	19.429	112.286	2213
2018	14	PT07	CUCHO INGENIO	COTAGAITA	COTAGAITA	Ambos	150	98.286	113.571	5.571	14.857	61.286	35.714	15.714	45.286	27.714	8.429	17.286	594
2018	23	CO02	PARACAYA	AIQUILE	PUENTE LAMPASILLOS	Ambos	461.286	267.143	376.714	27.714	100	77.571	128	212	212	147.714	63.429	147.429	2221
2018	23	CO02	PARACAYA	AIQUILE	RETEN AIQUILE	Ambos	281.571	126.714	171.143	29.714	23.857	35.286	66.286	78.714	64.286	55.714	19.286	66.143	1019
2018	5	CO02	SUCRE	AIQUILE	QUIROGA	Ambos	287.143	90.571	132	5.571	47	37.429	79.571	43.286	95.286	124.429	8.143	41.286	992