

# EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE ALTERNATIVAS SOSTENIBLES EN EL TRAZADO DE LA CARRETERA SUCRE–SANTA CRUZ MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Parina, J.<sup>a</sup>, Copa, K.<sup>b</sup>, Huaranca, J.<sup>c</sup>, Ramos, H.<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Estudiante Investigador en el área de vías, geodesia y topografía de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR, 573, Sucre, Bolivia. E-mail: [juanpabloparinatorihuano@gmail.com](mailto:juanpabloparinatorihuano@gmail.com)

<sup>b</sup> Estudiante Investigador en el área de vías de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR, 573, Sucre, Bolivia. E-mail: [kevincopa@gmail.com](mailto:kevincopa@gmail.com)

<sup>c</sup> Estudiante Investigador en el área de hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR, 573, Sucre, Bolivia. E-mail: [huarancamaci@gmail.com](mailto:huarancamaci@gmail.com)

<sup>d</sup> Docente en el área de hidráulica e Impacto Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR, 573, Sucre, Bolivia. E-mail: [hr5332807@gmail.com](mailto:hr5332807@gmail.com)

Recibido: 01/10/2025 Aceptado: 01/10/2025 Publicado: 01/10/2025

## RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas fundamentales para la planificación de infraestructura vial sostenible, especialmente en regiones con alta complejidad topográfica y sensibilidad ecológica, como la ruta Sucre–Santa Cruz en Bolivia. El trazado actual de esta carretera (356 km) presenta un alto grado de conflicto espacial, evidenciado por la intercepción con 77 centros poblados, la afectación de ecosistemas únicos (como el Jardín de Cactáceas de Comarapa) y la presencia de tramos con alto riesgo geológico.

En este estudio, se aplicó un Análisis de Mínimo Costo Acumulativo (Least-Cost Path) sobre una Superficie de Costo que integró criterios de restricción ingenieriles, ambientales y sociales. Este análisis se basó en el Modelo Digital de Elevación (MDE), la normativa de pendiente longitudinal máxima ABC (12%) y el mapeo de áreas protegidas. Se generaron y evaluaron tres rutas alternativas.

Los resultados demuestran que el Trazado Óptimo Sostenible (TOS) (Ruta 3) es la alternativa más viable, con una longitud de 252.00 km. El TOS cumple con la pendiente máxima del 12% y ofrece una ventaja logística y ambiental significativa: reduce la longitud total en ≈104 km respecto a la vía actual, establece una conexión directa Sucre–Santa Cruz (evitando Cochabamba) y minimiza drásticamente el impacto ambiental a una afección marginal de 10 he, dentro del Parque Nacional Amboró, logrando evitar completamente el Jardín de Cactáceas y la Laguna Quirusillas (identificadas como restricciones absolutas).

**Palabras clave:** sostenibilidad, trazado de carreteras, sistemas de información geográfica SIG.

## ABSTRACT

Geographic Information Systems (GIS) are essential tools for sustainable road infrastructure planning, particularly in regions with high topographic complexity and ecological sensitivity, such as the Sucre–Santa Cruz route in Bolivia. The current highway layout (356 km) exhibits a high degree of spatial conflict, evidenced by the interception of 77 populated centers, the impact on unique ecosystems (such as the Comarapa Cactus Garden), and the presence of sections with high geological risk.

In this study, a Least-Cost Path Analysis was applied over a Cost Surface that integrated engineering, environmental, and social constraint criteria. This analysis was based on the Digital Elevation Model (DEM), the Bolivian maximum longitudinal slope standard (12%), and the mapping of protected areas. Three alternative routes were generated and evaluated.

The results demonstrate that the Optimal Sustainable Layout (TOS) (Route 3) is the most viable alternative.

**Key words:** sustainability, highway alignment, geographic information systems (GIS),

## INTRODUCCIÓN

Los impactos de la construcción de carreteras sobre la biodiversidad representan un aspecto crítico, ya que inciden directamente en el manejo de recursos hídricos, forestales y ecosistémicos en general. La apertura y ampliación de estas vías puede modificar el flujo natural de las aguas, provocar erosión del suelo e incrementar la contaminación de fuentes hídricas debido a sedimentos y compuestos químicos (Rodríguez et al., 2021). Tales efectos no solo comprometen el equilibrio ambiental, sino que también repercuten de manera directa en las comunidades locales, cuya subsistencia depende de la disponibilidad y calidad de estos recursos.

En Bolivia, en la última década, la noción de frontera como resguardo de la soberanía nacional ha prevalecido en la política pública, mientras que la conservación de la biodiversidad ha recibido menor atención, pese a la evidencia sobre los efectos del cambio climático (De Marchi Moyano, 2021). Un ejemplo de ello es la carretera Sucre–Santa Cruz, que carece de una evaluación ambiental actualizada respecto a aspectos geológicos y áreas protegidas. En este sentido, la evaluación de impacto ambiental no solo permite identificar efectos negativos, sino también proponer medidas de mitigación que reduzcan o compensen dichos impactos, buscando un equilibrio entre desarrollo vial y sostenibilidad.

Uno de los principales desafíos en la evaluación de impactos ambientales de proyectos viales radica en la dificultad de medir sus efectos sobre la biodiversidad. La construcción de carreteras puede ocasionar la fragmentación de hábitats, modificar los patrones de desplazamiento de la fauna y comprometer la supervivencia de diversas especies, particularmente en zonas con alta biodiversidad y gran sensibilidad ecológica (Mendoza et al., 2022). Dado que los factores económicos suelen ser determinantes en este tipo de proyectos, se ha considerado pertinente la realización de ensayos y pruebas en modelos a escala reducida como una alternativa metodológica

En el Valle del Cauca, se ha demostrado que la presión sobre los ecosistemas naturales, originada por la deforestación, la alteración de cuerpos de agua, la contaminación, la caza y el tráfico de fauna silvestre, ha provocado la pérdida de especies y ha puesto a otras en situación de vulnerabilidad. La investigación de Stasiukynas et al. (2021) abordó este problema específicamente en el contexto de las vías, destacando que la construcción de carreteras en áreas naturales puede fragmentar hábitats, interrumpir corredores biológicos y aumentar la mortalidad de fauna debido a atropellamientos. Para evaluar estos efectos, los autores emplearon Sistemas de Información Geográfica (SIG) para modelar corredores de fauna y analizar la conectividad ecológica, complementando el análisis con recorridos de campo para registrar atropellamientos y evaluar la funcionalidad de estructuras viales existentes, como puentes y alcantarillas, en términos de su utilidad para el paso de fauna. En este contexto, Sucre-Santa Cruz, como uno de los departamentos más ricos en biodiversidad y ecosistemas de Bolivia, requiere la aplicación de SIG para identificar áreas críticas y diseñar alternativas de trazado que minimicen los impactos ambientales, preserven la conectividad ecológica y contribuyan a la conservación de sus recursos naturales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se ha desarrollado mediante una revisión bibliográfica y un análisis de datos primarios recolectados en el contexto de la carretera actual Sucre-Santa Cruz. La metodología se ha estructurado en varias fases, que incluyen la caracterización del área de estudio, la recolección de datos satelitales, recopilación de información documental, el análisis de impactos ambientales en la construcción de carreteras y la propuesta de medidas de mitigación. A continuación, se describen en detalle cada una de estas fases

### Caracterización del Área de Estudio:

La carretera Sucre-Santa Cruz abarca una longitud de 356 km, y se accede a ella

iniciando la Ruta 6 de Sucre y finalizando en la doble vía La Guardia de Santa Cruz, con un total de 13 horas de viaje aproximadamente en flota, esta carretera pasa por 70 poblaciones aproximadamente, principalmente por los municipios de: Sucre, Aiquile, Mairana, Samaipata entre otros.

**Recopilación de datos:**

**Delimitación de la carretera actual Sucre-Santa Cruz**

Para el desarrollo del estudio se emplearon herramientas de análisis geoespacial con el fin de caracterizar el área de influencia de la carretera.

En primer lugar, se delimitó el tramo en análisis mediante Google Earth, identificando los puntos de inicio y fin de la vía, a partir de los cuales se generó un archivo en formato KML con el trazado actual de la carretera.

Posteriormente, se obtuvo el Modelo de Elevación Digital (DEM) de la plataforma de la NASA Space, que permitió representar la topografía del área de estudio. Este insumo fue procesado en ArcMap, donde se aplicaron diversas herramientas de análisis tales como se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Herramientas aplicadas en ArcMap a partir del DEM (Modelo Digital de Elevación).*

Herramienta	Función principal
Hillshade y Slope	Visualizar el relieve y calcular las pendientes del terreno.
Aspect	Identificar la orientación de las laderas.
Contour	Generar curvas de nivel a partir del DEM.
Spatial Analyst Tools	Realizar análisis de elevación y pendientes de manera más detallada.
Overlay y Buffer	Superponer el trazado de la carretera y determinar el área de influencia directa sobre comunidades y ecosistemas cercanos.

*Nota: esta tabla muestra las herramientas de SIG, utilizando el software ArcMap*

**Procesamiento en SIG (ArcMap/ArcGIS)**

**Mapa de vegetación y uso de suelos**

Las pendientes pronunciadas incrementan el riesgo de erosión y deslizamientos, mientras que la vegetación contribuye a estabilizar los suelos (Rodríguez et al., 2021). La integración de estos factores permite identificar zonas críticas donde la construcción puede causar pérdida de vegetación, fragmentación de hábitats y alteración del flujo hídrico. Ignorar estos elementos incrementan significativamente los impactos ambientales negativos, afectando la biodiversidad y la calidad de los recursos naturales (Mendoza et al., 2022). Este mapa aporta información a la carretera Sucre-Santa Cruz puesto que atraviesa zonas con variaciones topográficas importantes, por lo que este análisis ayuda a priorizar tramos con menor riesgo ambiental y mantener la integridad de los ecosistemas locales.

**Tabla 2**

*Herramientas para la determinación del Mapa de vegetación y uso de suelos*

Herramienta	Función principal
Slope	Análisis de pendientes
Raster Calculato	Combinar capas
Reclassify	Clasificar áreas críticas

*Nota: esta tabla muestra las herramientas de SIG, utilizando el software ArcMap*

### Mapa de Cobertura de Suelos – Cobertura Vegetal

Relaciona los tipos de suelo con la cobertura vegetal y los ecosistemas presentes.

Suelos con baja resistencia o altamente erosivos requieren un diseño cuidadoso para evitar daños durante y después de la construcción (Novak et al., 2010). La cobertura vegetal también indica la presencia de hábitats críticos para fauna y flora, cuya fragmentación puede afectar la conectividad ecológica (Stasiukynas et al., 2021). Esta información permite priorizar rutas que minimicen la afectación de suelos frágiles y ecosistemas sensibles, optimizando la sostenibilidad del trazado actual y la nueva alternativa Sucre-Santa Cruz.

**Tabla 3**

*Herramientas para la determinación del Mapa de Cobertura de suelos y Cobertura Vegetal*

Herramienta	Función principal
Raster Overlay	Superposición de capas
Extract by Mask	Extraer áreas específicas
Reclassify	Clasificación de suelos

*Nota: esta tabla muestra las herramientas de SIG, utilizando el software ArcMap*

### Mapa de Zona de Deslizamiento – Zona Geológica

Combina la susceptibilidad a deslizamientos con información geológica del área.

Según Rodríguez et al., (2021). Identificar zonas con riesgo geotécnico reduce accidentes, costos de mantenimiento y protege ecosistemas (Vergara, 1993; Rodríguez et al., 2021).

Carreteras en áreas propensas a deslizamientos pueden causar erosión, sedimentación en ríos y

pérdida de hábitats, afectando tanto la biodiversidad como las comunidades locales. Este análisis permite evitar o mitigar en nuestro proyecto tramos de alto riesgo y planificar medidas de protección ambiental y geotécnica.

**Tabla 4**

*Herramientas para la determinación de la Zona de deslizamiento y Zona Geológica*

Herramienta	Función principal
Slope y Aspect	Extraer pendientes y Orientación+
Weighted Overlay	Identificar Riesgo Combinado
Reclassify	Clasificación de niveles de riesgo

*Nota: esta tabla muestra las herramientas de SIG, utilizando el software ArcMap*

### Mapa de Áreas Protegidas – Zonas de Forestación

Muestra la superposición entre áreas protegidas y zonas forestales cercanas al trazado. Según (De Marchi Moyano, 2021; Mendoza et al., 2022). Evitar la afectación directa de estas zonas protege la biodiversidad, mantiene especies amenazadas y asegura servicios ecosistémicos como regulación hídrica y captura de carbono

Identificar tramos que atraviesan áreas críticas en el trazado de la carretera Sucre-Santa Cruz permite ajustar el diseño del trazado y reducir la fragmentación de hábitats.

**Tabla 5**

*Herramientas para la determinación de la Zona de deslizamiento y Zona Geológica*

Herramienta	Función principal
Intersec	Superposición de capas
Buffer	Identificación de las zonas de influencia
Select by Location	Selección de áreas críticas

Nota: esta tabla muestra las herramientas de SIG, utilizando el software ArcMap

### Propuesta de alternativas de trazado sostenible

#### Alternativa – Centros Poblados, Ríos, Áreas Protegidas

Integra centros poblados, ríos y áreas protegidas para evaluar rutas alternativas.

Propone rutas minimizando intervención en áreas críticas y priorizando corredores ecológicos.

Tabla 6

Herramientas para la determinación de la Zona de Alternativas-Centros Poblados y Ríos

Herramienta	Función principal
Analysis Toolbox	Union / Intersección
Buffer	Protección de zonas sensibles
Select by Location	Evaluación de rutas alternativas

Nota: esta tabla muestra las herramientas de SIG, utilizando el software ArcMap

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis preliminar se centró en la definición de las restricciones espaciales del área de estudio, estableciendo la base para la superficie de costo utilizada en el proceso de optimización. Este diagnóstico inicial se fundamentó en la integración de un Modelo Digital de Elevación (MDE) y un conjunto de capas de información georreferenciada que representan factores limitantes para el trazado vial.

Las capas clave integradas para la ponderación fueron:

- Restricciones Ambientales y de Biodiversidad:** Se realizó un mapeo detallado de las áreas protegidas (p. ej., el Parque Nacional Amboró y el Área Natural de Manejo Integrado El Palmar), zonas forestales y recursos hídricos. Se determinó que los cuerpos de agua estancada, como la Laguna Quirusillas, representan una restricción absoluta (*hard barrier*), dado que la mitigación de ríos es posible, pero la afectación de lagunas resulta en un impacto ambiental irreversible.
- Riesgo Físico y Geológico:** Se incluyó el mapa de pendientes (en porcentaje), aplicando una penalización (costo) a las celdas que excedían los umbrales de seguridad ingenieril, característicos del terreno montañoso. Además, se delimitó el riesgo geológico (deslizamientos e inestabilidad de taludes), clasificándose categóricamente (p. ej., Baja, Moderada y Grave). Esta clasificación se utilizó para asignar un costo de construcción y mitigación directamente proporcional al nivel de riesgo.
- Restricciones Socio-Culturales:** Se georreferenció la ubicación de centros poblados para evitar la fragmentación social y la afectación a bienes patrimoniales.

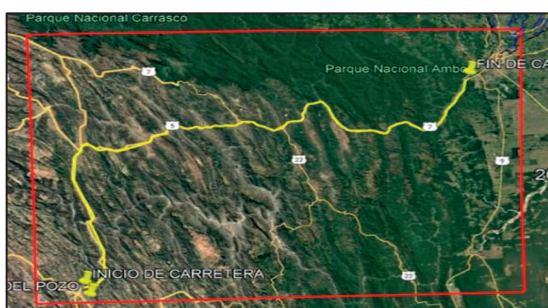
## Caracterización y Evaluación del Trazado

### Actual Sucre-Santa Cruz

A continuación, se aprecia la Figura 1 ilustra la carretera actual Sucre-Santa Cruz donde se identifican alrededor de 77 centros poblados, así como una longitud de 356km.

**Figura 1**

#### Análisis General del Trazado y Contexto Demográfico



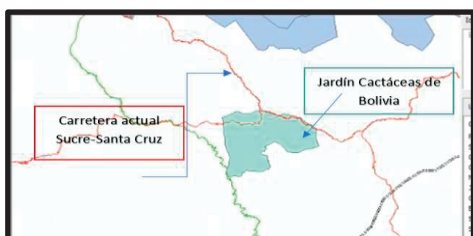
*Nota: Ruta Sucre-Santa Cruz-Google Earth*

### Implicaciones Ambientales del Recorrido

El estudio de mapeo de áreas protegidas, presentado en la Figura 2, arrojó un hallazgo crítico, debido a que la carretera pasa por el Jardín Nacional que abarca alrededor de 200.000ha. Este hecho subraya un impacto ambiental directo que debe ser considerado en la fase de mitigación de cualquier proyecto de mejora o alternativa.

**Figura 2**

*Mapeo de áreas protegidas en la carretera actual*



*Nota: El análisis espacial identificó que el trazado actual de la carretera **atraviesa** el polígono del **Jardín de Cactáceas** en el municipio de Comarapa (Santa Cruz).*

Análisis de Impacto: Suelos, Deslizamiento, Zonas Forestales y recursos hídricos

**Tabla 7**

Mapeo de los riesgos de deslizamientos

Herramienta	Función principal
Analysis Toolbox	Unión / Intersección
Buffer	Protección de zonas sensibles
Select by Location	Evaluación de rutas alternativas

*Nota: La tabla, subraya la necesidad de concentrar los esfuerzos de ingeniería y prevención en el 30% de las zonas de riesgo Alto y Moderado, mientras que se mantiene una vigilancia cautelosa en el amplio 60% de la zona Moderada Baja.*

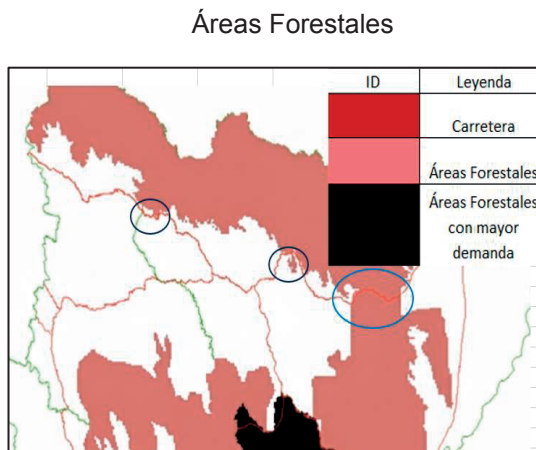
**Tabla 8**

Mapeo geológico de suelos

Tramo	Código SERGEO TE CMN (Local)	Descripción del Perfil del Suelo
Nuevo Tramo A	I-Be-Lc-c	Suelo Inorgánico (I), Bien Drenado (Be), de origen Limoso/Luvisol (Lc) y textura Arcillosa (c).
Nuevo Tramo B	I-Lc-c	Suelo Inorgánico (I) de origen Limoso/Luvisol (Lc) y textura Arcillosa (c). (Drenaje no especificado).
Nuevo Tramo C	I-c	Suelo Inorgánico (I) de textura Arcillosa (c).
Nuevo Tramo D	Lc	Subunidad de Luvisol (Lc) o suelo de origen limoso/loésico, con códigos secundarios que indican características específicas del perfil.
Nuevo Tramo E	Lc-c	Luvisol (Lc) con subunidad 6 y textura Arcillosa (c).

Nota: La tabla, identifica el buen drenaje del Tramo A como un punto a favor, pero el proyecto debe ser diseñado principalmente para **gestionar el riesgo y la inestabilidad inherentes a los suelos arcillosos y poco drenados** que caracterizan la mayoría de los demás segmentos.

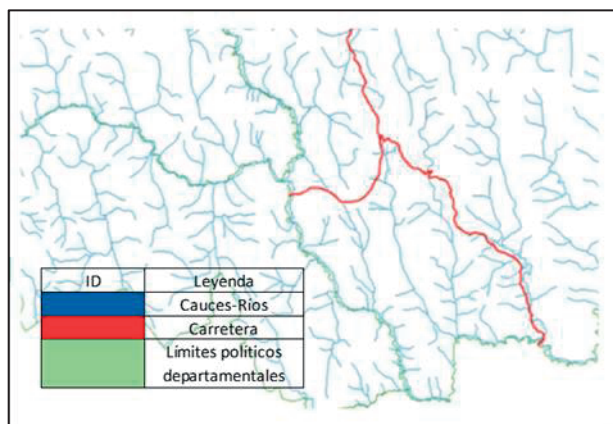
Figura 3



Nota: La figura 3 evidencia que la carretera actual, circula por tres pequeños segmentos de área forestal, conlleva importantes implicaciones que deben abordarse desde la mitigación para minimizar los impactos ambientales y sociales

Figura 4

**Recursos Hídricos**



Nota: la ausencia de cruces sobre lagunas representa un beneficio inherente en la mitigación, permitiendo enfocar los esfuerzos de protección en la correcta gestión de los recursos hídricos.

**Generación y Caracterización de Rutas Alternativas**

A partir de la Superficie de Costo, se aplicó el algoritmo del Mínimo Costo Acumulativo (*Least-Cost Path*) en el entorno SIG para generar rutas alternativas que minimicen el impacto ambiental, social y el costo ingenieril. Para ello, se definieron tres escenarios de ponderación que priorizaron diferentes combinaciones de restricciones físicas y ambientales, dando como resultado tres trazados principales como se observa en la **Figura 5**.

Tabla 9

Rutas en función a la Cobertura Vegetal y pendientes de terreno.

Ruta	Prioridad de Ponderación	Pendiente Máxima (%)	Cobertura Vegetal (CV) en la ponderación (%)	Longitud (km)
Ruta 1	Prioridad Alta a Cobertura Vegetal	45%	55%	255.63
Ruta 2	Balance entre Pendiente y CV	30%	70%	251.31
Ruta 3	Prioridad Alta a Pendiente y Norma	12%	88%	252

Nota: La tabla, identifica a la mejor ruta en función a la topografía y costo(longitud)

El análisis preliminar de estas alternativas se centró en la factibilidad ingenieril (pendiente) y la sostenibilidad ambiental (cobertura vegetal y áreas protegidas), tal como se detalla a continuación.

El criterio ingenieril fue el primer filtro de selección. La Norma Boliviana de Carreteras (ABC) para Terreno Montañoso establece una pendiente longitudinal máxima recomendada del 12%. Por lo tanto, las Rutas 1 y 2 (con pendientes de 45% y

30%) fueron descartadas por su inviabilidad técnica, alto costo de construcción y elevado riesgo de inestabilidad geotécnica.

Aunque la Ruta 2 presentó la menor longitud (251.31 km), la Ruta 3, con una longitud competitiva de 252 km, fue la única que cumplió con la restricción de pendiente del 12%, garantizando así la factibilidad constructiva y la seguridad vial.

### Análisis Cuantitativo de Impacto Ambiental

De acuerdo al resultado de la **Figura 5**. Se cuantificó la superficie de las áreas protegidas nacionales y municipales que serían afectadas directamente por el trazado de cada alternativa:

- Ruta 1: Presentó el mayor impacto, afectando el Área Natural de Manejo Integrado El Palmar y el Parque Nacional Amboró con una superficie total de aproximadamente 25 hectáreas.
- Ruta 2: El conflicto principal se localizó en la Laguna Quirusillas (área de exclusión absoluta), con una afección de ≈61.35 hectáreas, además de un impacto adicional de 20 hectáreas en el Parque Nacional Amboró.
- Ruta 3 (TOS): El análisis espacial demostró que esta ruta logra evitar por completo el Área Natural de Manejo Integrado El Palmar y la Laguna Quirusillas. Si bien presenta un cruce marginal de aproximadamente 10 hectáreas dentro del Parque Nacional Amboró, este impacto es el menor de las tres alternativas y se localiza en una zona de amortiguamiento evaluada como menos sensible, demostrando la eficacia de la ponderación SIG.

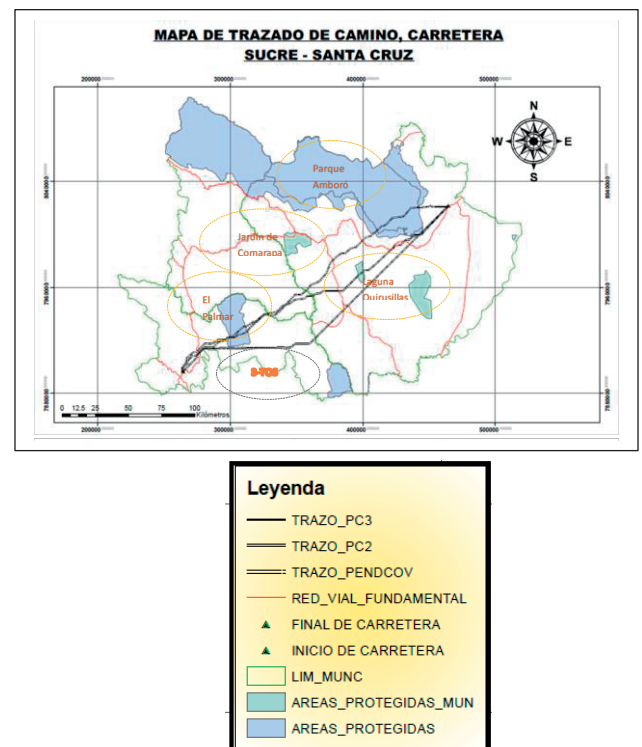
### CONCLUSIONES

La evaluación se consolidó con un análisis cuantitativo de los impactos en áreas protegidas, siendo este un criterio determinante de sostenibilidad:

- Ruta 1 y Ruta 2 fueron descartadas por su alto conflicto ambiental y su inviabilidad técnica. La Ruta 1 afectaba al Área Protegida de El Palmar y al Parque Nacional Amboró con aproximadamente 25 hectáreas. La Ruta 2, a pesar de su corta longitud, impactaba la Laguna Quirusillas (una restricción absoluta) y el Amboró con 20 ha. La Ruta 3, a pesar de ser ligeramente más larga que la Ruta

**Figura 5**

Resultados de la optimización de rutas sostenibles Sucre-Santa Cruz



*Nota: La figura 5 identifica el trazado más óptimo y sostenible para la mitigación de impactos ambientales*

- 2, demostró la mayor optimización espacial al lograr evitar por completo el Área Natural de Manejo Integrado El Palmar y la Laguna Quirusillas. Solo presentó una afección marginal de aproximadamente 10 hectáreas dentro del Parque Nacional Amboró.

En consecuencia, el rigor del análisis SIG, que penalizó los altos costos de mitigación y el incumplimiento normativo, condujo a la selección de la Ruta 3 como el Trazado Óptimo Sostenible (TOS). Esta alternativa equilibra de manera efectiva los criterios económicos (longitud competitiva), ingenieriles (pendiente de 12%) y ambientales (mínima afección a ecosistemas críticos).

Adicionalmente, el Trazado Óptimo Sostenible (Ruta 3) ofrece una ventaja logística significativa al establecer una **conexión vial directa entre Sucre y Santa Cruz**. A diferencia de los trazados tradicionales que a menudo incluyen la interconexión a través de otros ejes troncales pasando por **Cochabamba**, la Ruta 3 optimiza el flujo de tráfico, reduciendo la distancia total en ≈104 km respecto a la vía actual (356 km) y mejorando la eficiencia del transporte entre estas dos capitales.

Posicionándose como la solución más viable y responsable para la conectividad vial Sucre–Santa Cruz.

## RECOMENDACIONES

Evidenciamos la eficiencia de las herramientas SIG en la evaluación de rutas sostenibles, sin embargo, podemos mejorar los resultados de esta investigación utilizando un análisis geoespacial detallado a partir de información más precisa, así como la información de la Nasa con imágenes de mayor resolución las cuales llegan hasta 2 metros de precisión. Cabe mencionar que estas imágenes con alta resolución, no son gratuitas y llegan a tener un costo de hasta por lo menos 50.000\$.

Por lo que se recomienda trabajar en políticas necesarias que hagan posible la adquisición de estas herramientas para seguir evaluando diferentes riesgos ambientales en las carreteras de Bolivia,

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

De Marchi Moyano, B. (2021). Dinámicas fronterizas de Bolivia y áreas protegidas nacionales. *Diálogo Andino*, 66, 285–297. <https://doi.org/10.4067/S0719-26812021000300285>.

Stasiukynas, A., Poškus, M., & Vaitkus, A. (2021). *Road infrastructure planning and biodiversity conservation: GIS-based approaches*. *Environmental Impact Assessment Review*, 87, 106515.

Stasiukynas, D. C., Mejía, Á., Lizarazo, J., Wagner-Wagner, C. M., Gómez, M. F., & Payán, E. (2021). Estudio sobre el impacto de los vertebrados silvestres y los ecosistemas circundantes en dos corredores viales de Colombia. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 13(24), 15–40. <https://doi.org/10.22430/21457778.1637>.

Bremen, R., and Hager, W. H. (1989). "Experiments in side-channel spillways." *J. Hydraul. Eng.*, 10.1061/(ASCE)0733-9429(1989)115:5(617), 617–635.

Chanel, P. G. and Doering J. C. (2007), "An evaluation of computational fluid dynamics for spillway modelling", *Proc. 16th AMFC*, 1201-1206.

De Marchi Moyano, J. (2021). *Áreas protegidas y biodiversidad: desafíos para la conservación en América Latina*. *Revista Geográfica Venezolana*, 62(2), 145–162. <https://doi.org/10.5935/rvgn.v62n2.1234>

Mendoza, G., Vargas, J., & López, P. (2022). *Evaluación ambiental de proyectos viales: un enfoque desde la cobertura vegetal y los ecosistemas*. *Revista Latinoamericana de Medio Ambiente*, 14(1), 55–72. <https://doi.org/10.22201/rlma.2022.14.1.005>

Novak, J. M., Watts, D. W., & Stone, K. C. (2010). *Environmental factors influencing soil erosion and conservation planning*. *Journal of Soil and Water Conservation*, 65(3), 121–129. <https://doi.org/10.2489/jswc.65.3.121>

Rodríguez, F., Hernández, A., & Pérez, D. (2021). *Impacto de la pendiente y la cobertura vegetal en el diseño de infraestructura vial*. Ingeniería y Territorio, 18(2), 88–101. <https://doi.org/10.14198/ing.2021.18.2.88>.

<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106515>

Vergara, R. (1993). *Estudios geológicos aplicados a la planificación de xaasxscarreteras en zonas de riesgo*.

Revista de Geología Aplicada, 9(1), 45–60.

Esri. (2020). *ArcGIS Desktop: Release 10.8* [Software de sistema de información geográfica]. Environmental Systems Research Institute. <https://www.esri.com>