



Modelo de análisis espacial para evaluar la prefactibilidad técnica de adquisición de predios con enfoque campesino en El Tambo, Cauca

Jhoan Camilo Botero Rojas

Tesis de maestría presentada para optar al título de
Magíster en Tecnologías de la Información Geográfica

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Maestría en Tecnologías de la Información Geográfica
Manizales, Caldas, Colombia
2026

Cita	(Botero Rojas, 2026)
Referencia	Botero Rojas, J. C. (2026). <i>Modelo de análisis espacial para evaluar la prefactibilidad técnica de adquisición de predios con enfoque campesino en El Tambo, Cauca</i> [Tesis de maestría]. Universidad de Manizales. RIDUM: Repositorio Institucional Universidad de Manizales.
Estilo APA 7 (2020)	



Maestría en Tecnologías de la Información Geográfica, II

Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo

Línea de Investigación Análisis y Modelamiento Espacial.

Declaración de inteligencia artificial: el o los autores de este trabajo de grado declaran que han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA), tales como ChatGPT, Turnitin, Gemini, entre otras, de manera ética y responsable, tal como se establece en el Acuerdo UManizales 002 (julio 26 de 2023) sobre propiedad intelectual e IA. Estas herramientas son empleadas como apoyo en la redacción, revisión gramatical y generación de ideas, pero en ningún caso sustituyen el análisis crítico, la argumentación académica ni la originalidad del trabajo. Asimismo, cualquier contenido generado con asistencia de IA está citado y referenciado adecuadamente, garantizando la integridad académica y el cumplimiento de los principios éticos de la investigación.

Biblioteca y Centro de Recursos: biblioteca.umanizales.edu.co

Repositorio Institucional: ridum.umanizales.edu.co

Universidad de Manizales: umanizales.edu.co

Revistas: revistasum.umanizales.edu.co

Fondo Editorial: editorialum.umanizales.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Manizales ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mi esposa, por ser mi apoyo incondicional durante cada etapa de este camino. Gracias por tu paciencia, comprensión y amor, incluso en los momentos más difíciles. Por creer en mí, motivarme a seguir adelante y acompañarme en cada sacrificio realizado para alcanzar este sueño. Este logro también te pertenece.

Gracias también por regalarme la bendición más grande de mi vida: nuestra hija Luciana, quien se convirtió en mi mayor inspiración y en la razón más hermosa para no rendirme jamás. Cada una de sus sonrisas fue el impulso necesario para continuar y dar siempre lo mejor de mí.

Con todo mi amor, dedico este trabajo a ustedes, quienes son el motor de mi vida y mi mayor orgullo.

Agradecimientos

A Dios, por permitirme culminar esta importante etapa académica y personal.

A mi familia y seres queridos, por su comprensión y apoyo durante el desarrollo de este proceso.

A los docentes de la Maestría en Tecnologías de la Información Geográfica, por los conocimientos y orientaciones brindadas a lo largo de la formación académica.

Finalmente, expreso mi agradecimiento a todas aquellas personas que contribuyeron de manera directa o indirecta al desarrollo y culminación de esta investigación.

Tabla de contenido

Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
1 Planteamiento del problema	14
1.1 Descripción del área problemática	14
1.2 Formulación del problema	15
1.3 Antecedentes	16
1.3.1 Normativa y leyes	16
1.3.2 Jurisprudencia y pronunciamientos.....	18
1.3.3 Antecedentes metodológicos y conceptuales.....	18
2 Justificación.....	20
3 Objetivos	22
3.1 Objetivo general	22
3.2 Objetivos específicos.....	22
4 Marco teórico	23
4.1 Sistemas de Información Geográfica aplicados al análisis territorial	23
4.2 Análisis multicriterio en Sistemas de Información Geográfica	23
4.3 Evaluación de tierras y prefactibilidad técnica predial	24
4.4 Enfoque campesino y territorio rural.....	25
4.5. Integración de variables territoriales en modelos espaciales	26
5 Área de estudio.....	27
5.1 Localización geográfica	27
5.2 Características físico-territoriales.....	28

5.3 Características socioeconómicas y rurales	29
5.4 Dinámicas ambientales y uso del suelo	30
6 Metodología	33
6.1 Tipo y enfoque de la investigación	33
6.2 Fuentes de información	33
6.3 Selección e integración de variables	34
6.3.1 Variables restrictivas.....	34
6.3.2 Variables condicionantes	35
6.3.3 Variables determinantes.....	36
6.3.4 Variables de accesibilidad.....	37
6.4 Construcción del modelo.....	38
6.4.1 Validación de restricciones	41
6.4.2 Validación de determinantes	42
6.4.3 Validación de condicionantes	42
6.4.4 Validación de accesibilidad	43
6.4.5 Integración final multicriterio	44
6.5 Validación del modelo	45
7 Resultados	46
7.1 Resultados generales del modelo	46
7.2 Resultados de validación de restricciones	47
7.2.1. Pendientes.....	47
7.2.2. Capas vectoriales.....	49
7.3 Resultados en predios sin afectación.....	51
7.4 Análisis de sensibilidad del modelo	54
7.5 Reportes automatizados de prefactibilidad.....	54

8 Discusión	56
8.1 Comportamiento general del modelo	56
8.2 Importancia del análisis multicriterio.....	56
8.3 Aporte técnico	57
8.4 Limitaciones	57
9 Conclusiones	60
10 Recomendaciones.....	61
Referencias	62
Anexo 1. Manual de instalación del modelo de evaluación de prefactibilidad técnica predial .	64
Anexo 2. Manual de uso del modelo de evaluación de prefactibilidad técnica predial	68
Anexo 3. Código fuente del modelo de análisis espacial	72

Lista de tablas

Tabla 1 Variables espaciales utilizadas en el modelo de análisis.....	34
Tabla 2 Clasificación de capacidad de uso del suelo	36
Tabla 3 Agrupación de clases agrológicas por nivel de aptitud	37
Tabla 4 Clasificación de accesibilidad respecto a vías.....	37
Tabla 5 Clasificación de accesibilidad respecto a centros poblados	38
Tabla 6 Clasificación de variables condicionantes.....	43
Tabla 7 Clasificación del índice de prefactibilidad	44
Tabla 8 Distribución de la muestra de predios evaluados	46
Tabla 9 Distribución de predios según porcentaje de área con pendientes superiores al 40 % ...	48
Tabla 10 Clasificación de prefactibilidad de predios evaluados en áreas de Parques Nacionales Naturales.....	50
Tabla 11 Clasificación de prefactibilidad de predios sin restricciones territoriales.....	53

Lista de figuras

Figura 1 Localización geográfica El Tambo, Cauca	27
Figura 2 Figuras territoriales del municipio de El Tambo, Cauca	29
Figura 3 Clasificación general del uso y capacidad del suelo en el municipio de El Tambo, Cauca	31
Figura 4 Distribución espacial de áreas asociadas a cultivos de coca en el municipio de El Tambo, Cauca.....	32
Figura 5 Esquema general del modelo de análisis espacial para la evaluación de prefactibilidad técnica predial	33
Figura 6 Flujo metodológico del modelo de análisis espacial para la evaluación de prefactibilidad técnica predial.	39
Figura 7 Estructura de la geodatabase utilizada en el modelo de análisis espacial.....	40
Figura 9 Localización de predios evaluados con pendientes superiores al 40 % en el municipio de El Tambo, Cauca	47
Figura 10 Distribución de predios según porcentaje de área con pendientes superiores al 40 %	48
Figura 11 Localización de predios evaluados con superposición en áreas de Parques Nacionales Naturales en el municipio de El Tambo, Cauca	49
Figura 12 Localización de predios evaluados en resguardos indígenas y consejos comunitarios en el municipio de El Tambo, Cauca	51
Figura 13 Localización de predios evaluados sin restricciones territoriales en el municipio de El Tambo, Cauca.....	52
Figura 14 Distribución porcentual de predios sin restricciones según clasificación de prefactibilidad técnica	53
Figura 15 Ejemplo de reporte automatizado de prefactibilidad generado por el modelo de análisis espacial	55

Siglas, acrónimos y abreviaturas

AMC	Análisis Multicriterio
ANT	Agencia Nacional de Tierras
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
MDE	Modelo Digital del Elevación
SIG	Sistema de Información Geográfica

Resumen

El territorio rural colombiano presenta alta complejidad derivada de la interacción entre factores físicos, ambientales, productivos, territoriales y normativos, lo que dificulta la toma de decisiones sobre el uso y aprovechamiento del suelo rural. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo desarrollar un modelo de análisis espacial para evaluar la prefactibilidad técnica en el marco del proceso de adquisición de predios rurales con enfoque campesino en el municipio de El Tambo, Cauca, mediante un enfoque basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de análisis multicriterio. El modelo integró variables físico-ambientales, topográficas, normativas y prediales, procesadas mediante información geoespacial ráster y vectorial en software GIS. La asignación de ponderaciones se realizó a partir de juicio experto y revisión bibliográfica, garantizando la consistencia metodológica en la construcción del modelo. Como resultado, se obtuvo un índice a escala predial, que permitió clasificar predios rurales en niveles de alta, media y baja prefactibilidad para procesos de adquisición orientados a población campesina. Los resultados evidencian patrones espaciales coherentes con las dinámicas del territorio y el modelo constituye una herramienta replicable para apoyar la toma de decisiones en acceso a tierras y planificación territorial con enfoque campesino.

Palabras clave: análisis espacial, prefactibilidad técnica, adquisición predial, análisis multicriterio, enfoque campesino.

Abstract

Colombian rural territories present high complexity due to the interaction of physical, environmental, productive, territorial, and regulatory factors, which complicates decision-making regarding rural land use and management. In this context, this research aimed to develop a spatial analysis model to assess technical prefeasibility in rural land acquisition processes with a peasant-oriented approach in the municipality of El Tambo, Cauca, using Geographic Information Systems (GIS) and multicriteria analysis techniques. The model integrated physical-environmental, topographic, regulatory, and cadastral variables processed through raster and vector geospatial data in a GIS environment. Variable weighting was established through expert judgment and literature review, ensuring methodological consistency in model construction. As a result, a parcel-scale index was developed, allowing rural properties to be classified into high, medium, and low prefeasibility levels for land acquisition processes aimed at peasant populations. Results revealed spatial patterns consistent with territorial dynamics, and the model constitutes a replicable technical tool to support decision-making in land access processes and territorial planning with a peasant-oriented approach.

Keywords: spatial analysis, technical prefeasibility, land acquisition, multicriteria analysis, smallholder approach.

Introducción

El territorio rural colombiano presenta una alta complejidad derivada de la interacción entre factores físicos, ambientales, topográficas, normativas y prediales, lo que plantea importantes retos para los procesos de acceso a tierras. En este contexto, la selección y priorización de predios requiere herramientas técnicas que integren múltiples variables para evaluar objetivamente sus condiciones técnicas. (FAO, 1976).

En particular, los territorios rurales con predominio campesino enfrentan limitaciones estructurales asociadas a la accesibilidad, la aptitud del suelo, la presión ambiental y la falta de información técnica integrada a escala predial. Estas condiciones dificultan la evaluación técnica para la priorización y adquisición de predios, y pueden derivar en procesos de selección que no respondan adecuadamente a las condiciones territoriales y productivas de la población campesina. (Goodchild, 2007).

El municipio de El Tambo, en el departamento del Cauca, constituye un escenario representativo de estas dinámicas territoriales, al presentar una amplia diversidad de condiciones biofísicas, productivas y sociales, así como una marcada presencia de economía campesina. En este contexto, resulta pertinente el desarrollo de herramientas técnicas que contribuyan a la evaluación de la prefectibilidad técnica para la adquisición de predios rurales, incorporando un enfoque territorial integral.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han consolidado como herramientas fundamentales para el análisis espacial y la evaluación territorial, al permitir la integración, procesamiento y análisis de información georreferenciada de diversa naturaleza. En particular, los modelos de análisis espacial multicriterio facilitan la evaluación simultánea de múltiples variables, ofreciendo una base técnica sólida para la toma de decisiones en el ámbito de la gestión predial rural. (Longley e. a., 2015).

En ese sentido, el presente trabajo de grado desarrolla un modelo de análisis espacial para evaluar la prefectibilidad técnica para la adquisición de predios rurales con enfoque campesino en el municipio de El Tambo, Cauca. El modelo integra variables físicas, ambientales, topográficas, normativas y prediales, procesadas mediante herramientas SIG y técnicas de análisis multicriterio.

Metodológicamente, la investigación se desarrolló bajo un enfoque aplicado, utilizando información geoespacial ráster y vectorial, procesada en entorno SIG para apoyar procesos de priorización y adquisición predial en contextos rurales.

1 Planteamiento del problema

En los territorios rurales de Colombia, y particularmente en municipios con fuerte presencia campesina como El Tambo, Cauca, los procesos de adquisición de predios rurales enfrentan limitaciones asociadas a la fragmentación de la información territorial y a la limitada disponibilidad de herramientas que integren variables de accesibilidad, condicionantes ambientales, condiciones topográficas y normativas. La ausencia de esta integración dificulta la evaluación objetiva de la prefactibilidad técnica y puede derivar en procesos de selección predial que no respondan adecuadamente a las condiciones territoriales y productivas de la población campesina.

Si bien los Sistemas de Información Geográfica y las técnicas de análisis multicriterio ofrecen capacidades para integrar variables espaciales complejas, su aplicación en procesos orientados a evaluación preliminar de predios para adquisición es aún limitada en contextos rurales. En ese sentido, surge la necesidad de desarrollar herramientas técnicas que permitan realizar un primer filtro, como etapa de prefactibilidad, apoyando procesos de selección más objetivos y optimizando el esfuerzo técnico asociado a la verificación en territorio.

En este contexto, la investigación se justifica por su aporte metodológico y aplicado, al desarrollar un modelo de análisis espacial orientado a fortalecer la evaluación preliminar de predios rurales con enfoque campesino, ofreciendo una herramienta replicable que contribuye a optimizar esfuerzos técnicos en los procesos de selección predial.

1.1 Descripción del área problemática

El municipio de El Tambo presenta una configuración territorial compleja, caracterizada por una topografía variable, diversidad de coberturas y usos del suelo, presencia de áreas con restricciones ambientales y una estructura predial predominantemente rural y campesina. Estas condiciones plantean desafíos para la evaluación de predios con fines de adquisición, en la medida en que requieren la integración de múltiples variables territoriales, ambientales y prediales. (Alcaldía Municipal de El Tambo., 2002).

En este contexto, la información disponible suele encontrarse dispersa en diferentes fuentes y formatos, lo que dificulta su análisis conjunto y la comparación objetiva entre predios en procesos de priorización y adquisición.

1.2 Formulación del problema

A nivel institucional y comunitario, la evaluación de las condiciones técnicas para la adquisición de un predio rural tiende a considerar variables de manera aislada, como la aptitud del suelo, la topografía o la disponibilidad de acceso vial, sin integrar de forma sistemática la interacción entre variables físicas, ambientales, prediales y territoriales. Esta aproximación dificulta la comparación objetiva entre predios y la incorporación de criterios técnicos integrados para la toma de decisiones.

Adicionalmente, aunque en los últimos años se ha avanzado en la generación de información geoespacial y catastral, esta no siempre se incorpora en herramientas analíticas que faciliten la evaluación técnica predial. En muchos casos, los Sistemas de Información Geográfica se utilizan principalmente como instrumentos de representación cartográfica, desaprovechando su potencial para el desarrollo de modelos de análisis espacial que integren múltiples variables y criterios.

En este escenario, surgió la necesidad de desarrollar un modelo de análisis espacial que permita evaluar la prefactibilidad técnica de los predios, integrando variables físicas, ambientales, prediales y territoriales, y que sea aplicable a contextos campesinos.

Un modelo de este tipo permite identificar de manera sistemática alternativas con diferentes niveles de condiciones técnicas, apoyando procesos de priorización en etapas preliminares de evaluación previas a su incorporación en procesos de acceso a tierras. Este análisis no se orienta a una actividad productiva específica, sino a determinar condiciones técnicas mínimas para su incorporación en dinámicas de uso campesino.

La ausencia de herramientas metodológicas de este tipo en el municipio de El Tambo limita tanto a las entidades públicas como a las comunidades campesinas en la evaluación predial para procesos de adquisición. Por ello, resulta pertinente plantear la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo un modelo de análisis espacial, implementado mediante herramientas SIG, apoya la evaluación de la prefactibilidad técnica para la adquisición de predios con enfoque campesino en el municipio de El Tambo, Cauca?

1.3 Antecedentes

1.3.1 Normativa y leyes

En Colombia, el acceso a la tierra y la gestión predial rural se encuentran regulados por un conjunto de instrumentos normativos orientados a la reforma agraria, la formalización de la propiedad y la administración del territorio rural. La Ley 160 de 1994 establece las bases del Sistema Nacional de Reforma Agraria y Desarrollo Rural Campesino, orientando los mecanismos de acceso progresivo a la propiedad de la tierra. De manera complementaria, el Decreto 902 de 2017 define procedimientos para la adjudicación y formalización de tierras, fortaleciendo el papel de la Agencia Nacional de Tierras en estos procesos.

Este marco normativo evidencia avances en la regulación del acceso a la tierra desde una perspectiva institucional y jurídica. Sin embargo, aunque establece lineamientos para la adquisición y formalización predial, no incorpora herramientas técnicas específicas orientadas a la evaluación integral de las condiciones de los predios en etapas previas a su adquisición. De esta manera, la normativa define los procedimientos y criterios legales, pero presenta limitaciones en la incorporación de metodologías que integren variables territoriales para apoyar la toma de decisiones desde un enfoque técnico.

De manera complementaria, las entidades públicas encargadas de la gestión del territorio rural han desarrollado lineamientos y procedimientos técnicos para la adquisición y administración de predios. De acuerdo con el Manual de compra directa de predios de la Agencia Nacional de Tierras procesos de adquisición predial comprenden diferentes etapas técnicas, jurídicas y administrativas, que incluyen la verificación de condiciones físicas, análisis cartográficos y validaciones jurídicas (ANT, 2024).

A partir de este contexto normativo e institucional, se presentan a continuación las principales disposiciones relacionadas con el ordenamiento territorial, la gestión ambiental, el desarrollo rural campesino y la gestión predial, las cuales constituyen el sustento normativo de la presente investigación.

- Normativa sobre ordenamiento territorial

El ordenamiento territorial en Colombia se rige principalmente por la Ley 388 de 1997, la cual establece los principios, instrumentos y competencias para la planificación y regulación del uso del suelo. Esta ley define el ordenamiento territorial como un conjunto de acciones político-

administrativas y de planificación física, orientadas a disponer de instrumentos eficientes para orientar el desarrollo del territorio y regular la utilización, transformación y ocupación del espacio (CONGRESO DE COLOMBIA, 1997).

En el contexto rural, la Ley 388 de 1997 establece la necesidad de armonizar los usos del suelo con las condiciones físicas, ambientales y socioeconómicas del territorio, lo cual resulta fundamental para la evaluación de la prefectibilidad técnica de los predios rurales. Los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) constituyen el principal instrumento para la definición de usos del suelo y determinantes territoriales a escala municipal. (DNP, Lineamientos para el ordenamiento territorial, 2016).

- Normativa ambiental aplicable al suelo rural

La gestión ambiental del territorio rural se encuentra regulada por la Ley 99 de 1993, mediante la cual se crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se establecen las bases para la protección y conservación de los recursos naturales. Esta normativa introduce el concepto de desarrollo sostenible y define las competencias de las autoridades ambientales en la regulación del uso del suelo.

Adicionalmente, la normatividad ambiental incluye disposiciones relacionadas con áreas protegidas, rondas hídricas, zonas de reserva forestal y otras figuras de protección ambiental que inciden directamente en la viabilidad técnica del uso del suelo rural. Estas restricciones constituyen variables clave dentro de los modelos de análisis espacial orientados a la evaluación predial.

- Normativa sobre desarrollo rural y enfoque campesino

El desarrollo rural en Colombia ha incorporado progresivamente el reconocimiento del campesinado como sujeto de especial protección. La Ley 160 de 1994 establece el Sistema Nacional de Reforma Agraria y Desarrollo Rural Campesino, orientado a promover el acceso a la tierra y el desarrollo productivo del sector rural.

Asimismo, el reconocimiento del campesinado como sujeto de derechos ha sido reforzado por desarrollos normativos y jurisprudenciales recientes, los cuales resaltan la importancia de diseñar políticas y herramientas técnicas que respondan a las particularidades del territorio campesino. En este sentido, la evaluación de la prefectibilidad técnica predial debe considerar criterios acordes con las dinámicas productivas y territoriales del campesinado.

- Normativa catastral y gestión predial

El catastro en Colombia se rige por el marco del Catastro Multipropósito, establecido a partir del Documento CONPES 3859 de 2016 y desarrollado normativamente mediante disposiciones posteriores. Este enfoque busca consolidar un sistema catastral integral que sirva como soporte para la planificación territorial, la gestión del suelo y la toma de decisiones públicas.

1.3.2 Jurisprudencia y pronunciamientos

La jurisprudencia de la Corte Constitucional ha reconocido el acceso a la tierra como un elemento fundamental para la garantía de derechos en contextos rurales, especialmente para la población campesina. Diversos pronunciamientos han destacado la importancia de asegurar condiciones de acceso equitativo a la tierra, así como la protección de los derechos territoriales en el marco de procesos de restitución y formalización.

Estos desarrollos han contribuido a consolidar un enfoque de derechos en la gestión del territorio rural. Sin embargo, su alcance se concentra principalmente en el ámbito jurídico, sin incorporar herramientas técnicas que permitan evaluar de manera objetiva las condiciones prediales desde una perspectiva espacial. Esto evidencia la necesidad de complementar el enfoque normativo con metodologías que integren variables territoriales y apoyen la toma de decisiones en procesos de acceso a la tierra.

1.3.3 Antecedentes metodológicos y conceptuales

La evaluación territorial en contextos rurales ha sido ampliamente abordada mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y enfoques de análisis multicriterio, los cuales permiten integrar múltiples variables espaciales en procesos de toma de decisiones. En este contexto, los SIG se han consolidado como herramientas fundamentales para la gestión y análisis de información geográfica, facilitando la modelación de fenómenos territoriales y la generación de escenarios de análisis espacial (Longley, Goodchild, Maguire, & Rhind, 2015).

En particular, el análisis multicriterio aplicado en entornos SIG ha sido utilizado de manera recurrente en estudios territoriales, permitiendo la combinación de variables biofísicas, ambientales y de accesibilidad mediante la asignación de pesos relativos. Este enfoque ha demostrado ser eficaz en la identificación de áreas con diferentes niveles de aptitud técnica para diversos fines,

constituyéndose en una metodología ampliamente utilizada en estudios territoriales (Malczewski , 1999).

Investigaciones orientadas al uso de herramientas SIG en procesos de evaluación territorial han demostrado el potencial del análisis espacial para integrar variables geográficas y apoyar la toma de decisiones en contextos rurales (Gutierrez Alarcón, 2024). Estos estudios resaltan la capacidad de los modelos espaciales para representar condiciones territoriales complejas.

En el contexto colombiano, se identifican investigaciones orientadas al uso de herramientas SIG en procesos relacionados con la gestión y evaluación predial rural. Un ejemplo de ello es el estudio desarrollado por la Universidad de Manizales, denominado *Análisis de viabilidad para el proceso de formalización de la propiedad rural mediante herramientas SIG*, el cual destaca el potencial de los modelos espaciales para apoyar procesos de análisis territorial y toma de decisiones a partir de la integración de variables geográficas. Este tipo de investigaciones evidencian la utilidad de los SIG en procesos de gestión predial; sin embargo, su aplicación específica en modelos orientados a la evaluación preliminar de predios para adquisición con enfoque campesino continúa siendo limitada (Bolaños Barrera, 2025).

De igual manera, estudios relacionados con la estructura de la propiedad rural y las dinámicas territoriales en el departamento del Cauca evidencian la complejidad de los procesos de acceso y gestión de la tierra en contextos rurales, caracterizados por alta diversidad territorial, presencia de población campesina y múltiples tensiones asociadas al uso y ocupación del territorio (Duarte Torres, y otros, 2018). Estas condiciones resaltan la necesidad de fortalecer herramientas técnicas que permitan integrar variables territoriales y apoyar procesos de evaluación predial de manera más objetiva y sistemática.

En consecuencia, se evidencia la necesidad de desarrollar modelos de análisis espacial que, además de integrar variables ambientales y territoriales, operen a una escala de mayor detalle y respondan a requerimientos específicos de evaluación predial. A partir de esta revisión, se establece que los enfoques basados en SIG y análisis multicriterio constituyen un punto de partida sólido, pero requieren ajustes para su aplicación en procesos de evaluación preliminar de predios.

2 Justificación

La investigación se justifica por su aporte en los ámbitos académico, técnico, social y territorial, al proponer el diseño e implementación de un modelo de análisis espacial orientado a la evaluación de la prefactibilidad técnica para la adquisición de predios con enfoque campesino, aplicable al municipio de El Tambo, Cauca.

Desde el punto de vista académico, el estudio aporta al fortalecimiento del uso de los Sistemas de Información Geográfica como herramientas analíticas para la evaluación y priorización predial, trascendiendo su uso tradicional como instrumentos de representación cartográfica, en la medida en que permiten integrar múltiples variables y generar síntesis espaciales para el análisis territorial. El desarrollo de un modelo de análisis espacial que integra información vectorial y ráster a nivel predial constituye un aporte metodológico relevante para investigaciones orientadas a la evaluación técnica de predios y procesos de adquisición en contextos rurales (Buzai, G.D.; Baxendale, C.A, 2010).

Desde el punto de vista técnico, la investigación se justifica por la necesidad de contar con herramientas objetivas, reproducibles y basadas en información geoespacial que permitan evaluar la prefactibilidad en el marco del proceso de adquisición de predios rurales. En Colombia, la información se encuentra disponible a través de datos abiertos generados por diferentes entidades públicas; sin embargo, su integración para procesos de acceso a tierras resulta limitada. Por esta razón, estas evaluaciones suelen realizarse a partir de criterios aislados o mediante análisis no integrados, lo que afecta la calidad de las decisiones en procesos de priorización y adquisición. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la evaluación de tierras requiere enfoques integrales, en los cuales se analicen e integren múltiples variables, en lugar de abordarlas de forma aislada (FAO, 1976). El modelo propuesto, desarrollado mediante herramientas SIG, integra variables físicas, ambientales, prediales y territoriales, permitiendo obtener un índice de prefactibilidad técnica aplicable de manera sistemática en otros territorios con características similares.

Desde el ámbito social y territorial, la investigación se sitúa en contextos campesinos, donde el acceso a la tierra no solo se relaciona con actividades económicas, sino también con dimensiones sociales, culturales, ambientales y normativas que configuran la vida rural. En estos contextos, son los productores y las comunidades quienes toman decisiones sobre el uso de la tierra de acuerdo

con sus necesidades y condiciones, por lo que contar con herramientas que permitan evaluar de manera objetiva las condiciones de los predios aporta elementos para apoyar estos procesos. De esta manera, el modelo de análisis espacial propuesto se constituye en una herramienta de apoyo para la evaluación preliminar de predios, al integrar múltiples variables y generar un índice de prefactibilidad técnica que facilita la toma de decisiones en etapas previas a la adquisición.

Es importante señalar que este análisis no se orienta a actividades productivas específicas ni incorpora decisiones individuales de los productores, sino que establece condiciones técnicas generales que deben ser complementadas con evaluaciones detalladas en campo.

Adicionalmente, el estudio se justifica en el contexto institucional, en la medida en que los resultados del modelo pueden servir como insumo técnico para procesos de evaluación y priorización predial en etapas preliminares de adquisición. La información generada facilita la articulación entre la información geoespacial disponible y su aplicación en procesos de acceso a tierras en contextos campesinos, apoyando la toma de decisiones tanto por parte de entidades públicas como de organizaciones comunitarias.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un modelo de análisis espacial mediante herramientas SIG, para evaluar la prefactibilidad técnica de predios rurales en procesos de adquisición predial con enfoque campesino, en el municipio de El Tambo, Cauca.

3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar espacialmente las condiciones físicas, ambientales, prediales y territoriales de los predios rurales del municipio de El Tambo, Cauca.
- Identificar y seleccionar variables técnicas y criterios espaciales relevantes para la evaluación de la prefactibilidad técnica predial en procesos de adquisición predial con enfoque campesino.
- Estructurar y aplicar un modelo de análisis espacial mixto (vectorial-ráster), mediante herramientas basadas en SIG, para obtener niveles de prefactibilidad técnica predial en el área de estudio.
- Analizar los resultados obtenidos mediante la representación cartográfica de los niveles de prefactibilidad técnica predial, evaluando su coherencia territorial como herramienta de apoyo para procesos preliminares de adquisición predial en contextos campesinos.

4 Marco teórico

4.1 Sistemas de Información Geográfica aplicados al análisis territorial

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas computacionales orientadas a la captura, almacenamiento, procesamiento, análisis y representación de información geográfica georreferenciada, permitiendo integrar diferentes tipos de datos espaciales para el estudio y análisis de fenómenos territoriales (Santos Preciado, 2025). Los SIG han evolucionado desde herramientas enfocadas en la representación cartográfica hacia sistemas capaces de integrar información espacial y apoyar procesos de análisis y toma de decisiones territoriales mediante técnicas de análisis espacial y modelación geográfica.

El análisis espacial comprende el conjunto de métodos y técnicas orientadas al estudio de la distribución, relación y comportamiento de fenómenos en el espacio geográfico a partir de información georreferenciada. Su propósito principal consiste en identificar patrones, relaciones territoriales y variaciones espaciales que permitan interpretar las dinámicas presentes en un territorio y apoyar procesos de toma de decisiones. (Valbuena Garcia & Rodriguez Villamizar, 2018).

En el contexto de los SIG, el análisis espacial permite integrar y procesar información territorial mediante procedimientos de superposición, clasificación, interpolación y modelación espacial. Estas técnicas facilitan la evaluación conjunta de múltiples variables geográficas, permitiendo representar espacialmente condiciones del territorio y generar escenarios de análisis aplicados a diferentes problemáticas territoriales.

En áreas rurales, el análisis espacial adquiere especial relevancia debido a la heterogeneidad de las condiciones físicas, ambientales y prediales presentes en el territorio. La integración de variables como pendiente, accesibilidad, coberturas del suelo y restricciones ambientales permite construir modelos espaciales orientados a la evaluación técnica del territorio a escala predial.

Dentro del modelo propuesto, el análisis espacial constituye la base metodológica para la integración de variables ambientales, territoriales y prediales mediante herramientas SIG.

4.2 Análisis multicriterio en Sistemas de Información Geográfica

El análisis multicriterio corresponde a un conjunto de métodos orientados a la evaluación y comparación de diferentes alternativas o unidades de análisis a partir de múltiples criterios o

variables (Correa Rojas & Rojas Arismendi, 2017). Este enfoque es ampliamente utilizado en estudios territoriales y ambientales, debido a que permite integrar información heterogénea y apoyar procesos de toma de decisiones en escenarios complejos. En el contexto de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), el análisis multicriterio espacial permite combinar variables geográficas mediante procedimientos de ponderación, clasificación y superposición espacial, facilitando la representación y evaluación de condiciones territoriales a diferentes escalas de análisis. Este tipo de enfoques resulta especialmente útil en estudios relacionados con evaluación territorial, aptitud del suelo y planificación rural.

El análisis multicriterio permite integrar variables ambientales, territoriales y prediales para construir modelos espaciales orientados a la evaluación preliminar de predios rurales.

4.3 Evaluación de tierras y prefactibilidad técnica predial

La evaluación de tierras corresponde al proceso mediante el cual se analizan las características y condiciones de un territorio con el fin de determinar su aptitud o capacidad para determinados usos. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), este tipo de evaluación se fundamenta en la comparación entre las condiciones del territorio y los requerimientos de uso, considerando factores físicos, ambientales, sociales y económicos. En el contexto territorial, la evaluación de tierras permite identificar limitaciones, restricciones y potencialidades presentes en un área determinada, facilitando procesos de planificación y toma de decisiones relacionados con el uso y manejo del territorio. Estos enfoques han sido ampliamente utilizados en estudios de aptitud territorial, ordenamiento rural y planificación ambiental, especialmente mediante herramientas de análisis espacial y Sistemas de Información Geográfica (SIG). (FAO, 1976).

De acuerdo con Malczewski, los enfoques multicriterio aplicados en SIG constituyen herramientas de apoyo para la toma de decisiones espaciales, debido a su capacidad para integrar información heterogénea y representar diferentes niveles de aptitud territorial (Malczewski, 1999).

En este contexto, la prefactibilidad técnica predial puede entenderse como una evaluación preliminar orientada a determinar si un predio presenta condiciones técnicas mínimas para ser considerado dentro de procesos de evaluación y priorización predial. Este tipo de análisis no sustituye las evaluaciones técnicas detalladas realizadas en campo, sino que constituye una

herramienta inicial de apoyo para la toma de decisiones mediante la integración de variables territoriales y espaciales.

En la presente investigación, la evaluación de la prefactibilidad técnica predial se desarrolla mediante un modelo de análisis espacial multicriterio implementado en entorno SIG, orientado a integrar variables ambientales, territoriales y prediales para generar niveles de prefactibilidad técnica en predios rurales del municipio de El Tambo, Cauca.

4.4 Enfoque campesino y territorio rural

El territorio rural constituye un espacio en el que convergen dimensiones físicas, ambientales, sociales, culturales y productivas, las cuales configuran las dinámicas de ocupación y uso del suelo. Desde el enfoque territorial, el territorio no se entiende únicamente como un espacio físico delimitado, sino como una construcción social resultado de la interacción entre actores, recursos, dinámicas económicas y procesos ambientales (Dirven, y otros, 2011). En estos contextos, la relación entre las comunidades campesinas y el territorio trasciende el componente económico, involucrando prácticas sociales, formas de organización y procesos históricos asociados al acceso y permanencia en la tierra.

El enfoque campesino reconoce las particularidades territoriales, sociales y productivas de las comunidades rurales, considerando que las dinámicas del territorio no dependen únicamente de las condiciones biofísicas del suelo, sino también de las formas en que las comunidades interactúan y construyen relaciones con el espacio rural.

De igual manera, el enfoque campesino reconoce las particularidades territoriales, sociales y productivas de las comunidades rurales, considerando que las dinámicas del territorio no dependen únicamente de las condiciones biofísicas del suelo, sino también de las formas en que las comunidades interactúan y construyen relaciones con el espacio rural (Cuaical Aguilar & Gil Gómez, 2022).

En territorios rurales, estas dinámicas adquieren especial relevancia en procesos relacionados con el acceso a la tierra, la gestión predial y el ordenamiento territorial. En este sentido, la integración de variables ambientales, territoriales y prediales mediante herramientas SIG permite desarrollar aproximaciones técnicas orientadas a la evaluación preliminar de predios rurales desde un enfoque territorial.

4.5. Integración de variables territoriales en modelos espaciales

La construcción de modelos de análisis espacial orientados a la evaluación territorial requiere la integración de múltiples variables físicas, ambientales, prediales y territoriales, las cuales permiten representar las condiciones y restricciones presentes en el territorio. En entornos SIG, esta integración se realiza mediante procedimientos de análisis multicriterio y superposición espacial, facilitando la evaluación conjunta de diferentes criterios territoriales.

En contextos rurales, la incorporación de variables territoriales no solo responde a condiciones biofísicas del suelo, sino también a restricciones normativas y condicionantes relacionadas con el acceso, uso y gestión de la tierra. En Colombia, los procesos de ordenamiento social de la propiedad rural y acceso a tierras contemplan criterios físicos, ambientales y jurídicos asociados a la evaluación predial rural (Presidencia de la república, 2017).

De manera complementaria, la Agencia Nacional de Tierras establece lineamientos técnicos para procesos de caracterización territorial y evaluación predial mediante instrumentos como los Planes de Ordenamiento Social de la Propiedad Rural (POSPR), los cuales incorporan variables relacionadas con condiciones físicas, ambientales, cartográficas y jurídicas del territorio (ANT, 2017).

De igual manera, el Decreto 1076 de 2015, mediante el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, establece disposiciones relacionadas con áreas protegidas, rondas hídricas, reservas forestales y demás determinantes ambientales que inciden sobre el uso y manejo del territorio rural. Estas restricciones constituyen variables relevantes dentro de los procesos de evaluación territorial y gestión predial rural.

En este sentido, variables como pendientes elevadas constituyen factores relevantes dentro de los procesos de evaluación territorial rural, debido a su incidencia sobre la aptitud del suelo, la accesibilidad y las posibilidades de uso del territorio. Asimismo, determinadas figuras territoriales como resguardos indígenas, consejos comunitarios y áreas con restricciones ambientales presentan condiciones normativas específicas que condicionan los procesos de gestión predial rural.

A partir de estos fundamentos conceptuales y metodológicos, resulta necesario contextualizar las características territoriales del área de estudio, considerando las condiciones físicas, ambientales y rurales presentes en el municipio de El Tambo, Cauca.

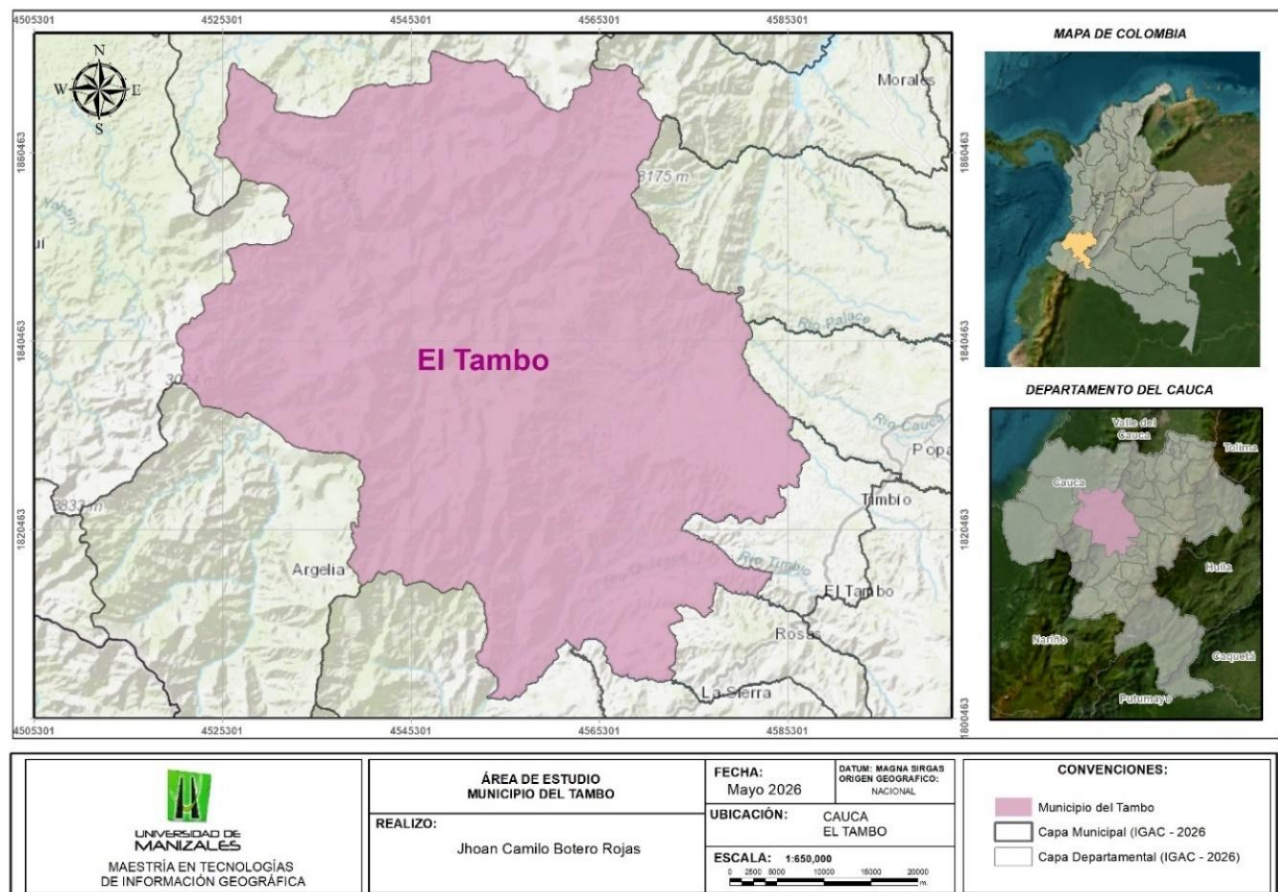
5 Área de estudio

5.1 Localización geográfica

La Figura 1 presenta la localización del área de estudio correspondiente al municipio de El Tambo, ubicado en el departamento del Cauca, al suroccidente de Colombia. El municipio cuenta con una extensión aproximada de 3.280 km², lo que lo convierte en uno de los territorios de mayor tamaño dentro del departamento. Limita al norte con el municipio de López de Micay; al sur con los municipios de Patía, La Sierra y Argelia; al oriente con los municipios de Morales, Cajibío, Popayán, Timbío y Rosas; y al occidente con el municipio de Timbiquí, de acuerdo con la capa oficial de división político-administrativa del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Figura 1

Localización geográfica El Tambo, Cauca



Nota. Elaboración propia a partir de cartografía base del IGAC, 2026

El municipio de El Tambo presenta una organización territorial predominantemente rural, conformada por aproximadamente 20 corregimientos y más de 200 veredas, distribuidas a lo largo de un territorio extenso y geográficamente heterogéneo. Esta estructura evidencia una alta dispersión de la población rural y una configuración territorial compleja, influenciada por las condiciones topográficas, ambientales y de accesibilidad presentes en el municipio. La distribución de corregimientos y veredas refleja dinámicas históricas de ocupación y uso del suelo asociadas principalmente a economías campesinas y actividades agropecuarias. Asimismo, la dispersión territorial y las limitaciones de conectividad generan diferencias en términos de acceso a infraestructura, servicios y oportunidades productivas entre los distintos sectores rurales del municipio. (Alcaldía Municipal de El Tambo., 2002).

Desde el punto de vista demográfico, el municipio de El Tambo presenta una población predominantemente rural, distribuida de manera dispersa a lo largo de corregimientos y veredas. De acuerdo con información del DANE y el Censo Nacional de Población y Vivienda 2018, el municipio registró una población cercana a los 38.688 habitantes, con una alta concentración en áreas rurales y centros poblados dispersos. La configuración poblacional del municipio se encuentra estrechamente relacionada con las dinámicas de ocupación del territorio y el desarrollo de actividades agropecuarias y economías campesinas. Asimismo, el territorio presenta diversidad social y étnica, con presencia de población campesina, comunidades indígenas y comunidades afrodescendientes distribuidas en distintos sectores rurales. (DANE, 2021).

5.2 Características físico-territoriales

El municipio de El Tambo presenta condiciones físico-territoriales complejas, caracterizadas por una amplia diversidad fisiográfica y una marcada variabilidad topográfica. Su territorio registra altitudes que oscilan entre los 27 y 3.695 m s.n.m., con una altitud media aproximada de 1.418 m s.n.m., evidenciando la presencia de diferentes pisos térmicos y condiciones ambientales diferenciadas a lo largo del municipio. Desde el punto de vista orográfico, predominan los relieves montañosos y las pendientes pronunciadas, especialmente en sectores asociados a la cordillera Occidental y zonas de transición hacia la región pacífica. Estas condiciones físicas influyen directamente sobre la accesibilidad, la conectividad territorial, las dinámicas de ocupación rural y las posibilidades de uso y aprovechamiento del suelo. (Alcaldía Municipal de El Tambo., 2002).

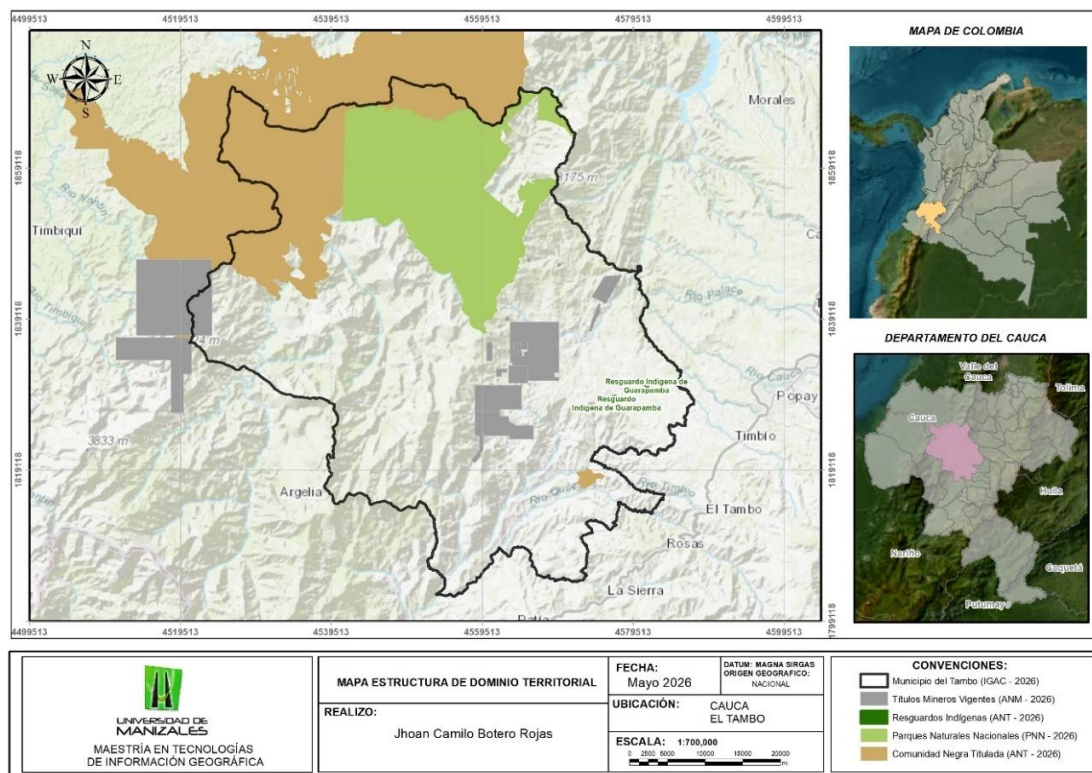
Asimismo, la distribución espacial de los asentamientos rurales y de la infraestructura vial se encuentra fuertemente condicionada por las características fisiográficas del territorio. En este contexto, factores como pendiente, accesibilidad, capacidad de uso del suelo y conectividad territorial adquieren relevancia dentro de los procesos de evaluación predial rural y análisis espacial desarrollados en la investigación.

5.3 Características socioeconómicas y rurales

Asimismo, el municipio presenta diversidad social y cultural, con presencia de comunidades campesinas, indígenas y afrodescendientes distribuidas en distintos sectores rurales. La ocupación del territorio por parte de estas comunidades ha dado lugar a diferentes formas de administración y tenencia de la tierra, representadas mediante figuras territoriales como resguardos indígenas y territorios colectivos de comunidades negras.

Figura 2

Figuras territoriales del municipio de El Tambo, Cauca



Nota. Elaboración propia a partir de información de la Agencia Nacional de Tierras (ANT), Agencia Nacional de

Minería (ANM), Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN) e Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2026.

En la Figura 2 se presenta la localización geográfica de estas figuras territoriales, así como de los títulos mineros vigentes presentes en el municipio, los cuales constituyen determinantes territoriales y normativos que representan restricciones dentro de los procesos de evaluación y adquisición predial rural.

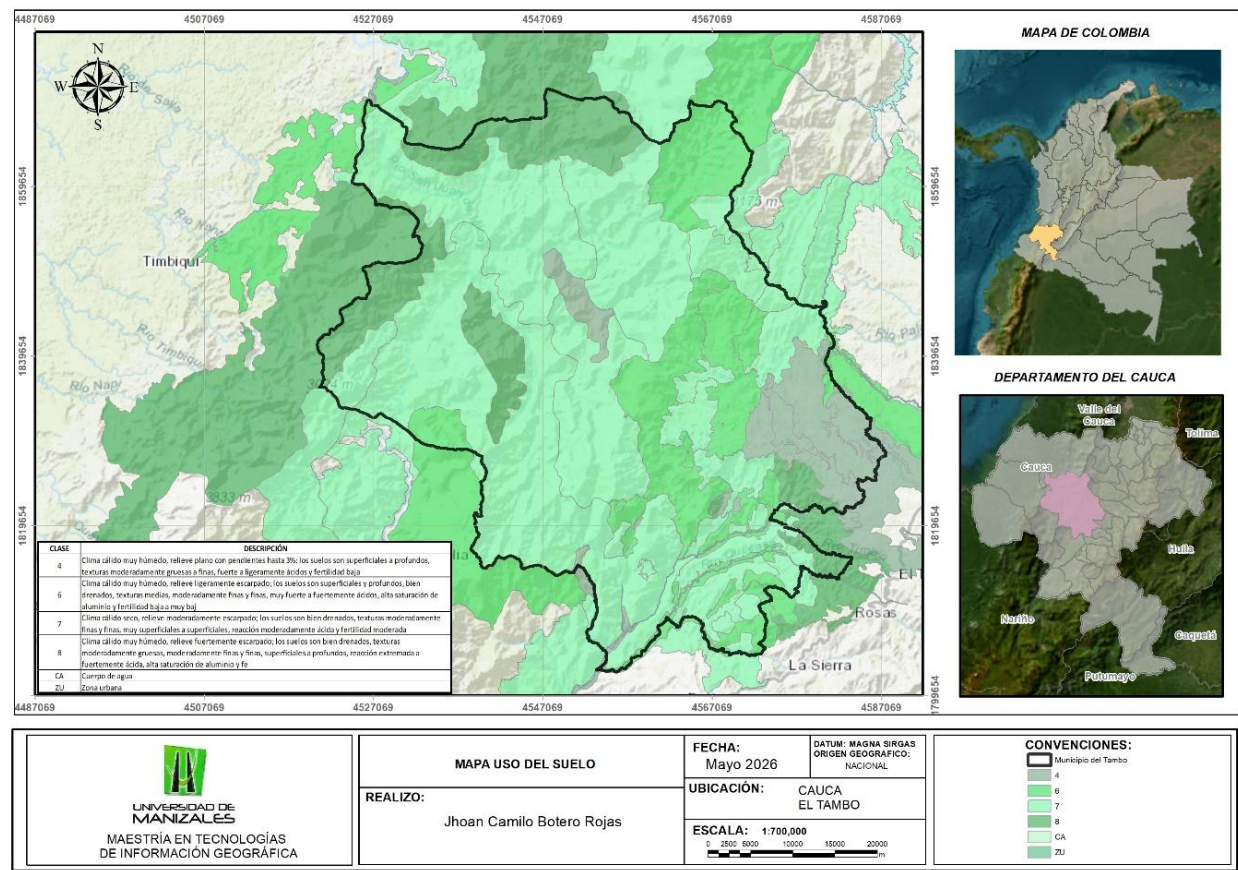
De acuerdo con información del DANE, gran parte de la población del municipio de El Tambo se localiza en áreas rurales, manteniendo dinámicas económicas asociadas principalmente a actividades agrícolas y pecuarias. Entre los principales productos desarrollados en el municipio se destacan cultivos como café, caña panelera, maíz, yuca y fique, los cuales constituyen una parte importante de la economía campesina local (Alcaldía Municipal de El Tambo., 2002).

5.4 Dinámicas ambientales y uso del suelo

El municipio de El Tambo presenta una amplia diversidad ambiental y ecosistémica, asociada a la presencia de zonas montañosas, áreas de conservación y diferentes coberturas de uso del suelo distribuidas a lo largo del territorio rural (Alcaldía Municipal de El Tambo., 2002). Estas condiciones ambientales influyen directamente sobre las dinámicas de ocupación, aprovechamiento y transformación del territorio, constituyéndose en factores relevantes dentro de los procesos de evaluación predial rural. El territorio municipal cuenta con áreas de especial importancia ambiental relacionadas con ecosistemas estratégicos, rondas hídricas y zonas de conservación asociadas al Sistema de Parques Nacionales Naturales. Asimismo, las características fisiográficas del municipio, particularmente las pendientes pronunciadas y las limitaciones de accesibilidad, generan restricciones para determinados usos productivos del suelo y condicionan las dinámicas de ocupación territorial.

La Figura 3 presenta la clasificación general del uso y capacidad del suelo en el municipio de El Tambo, a partir de la información cartográfica oficial generada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Figura 3
Clasificación general del uso y capacidad del suelo en el municipio de El Tambo, Cauca.



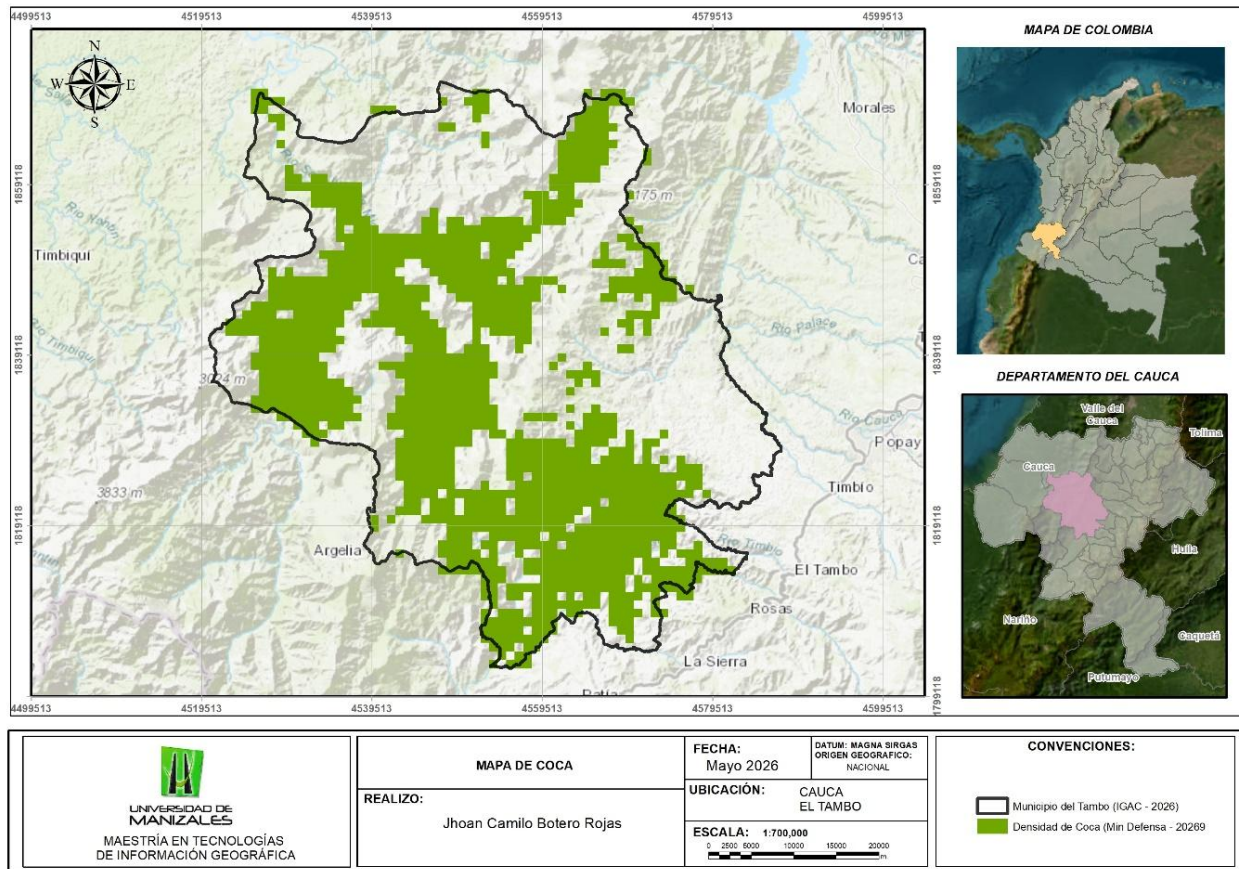
Nota: Elaboración propia a partir de información cartográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2026.

La Figura 4 presenta la distribución espacial de áreas asociadas a presencia de cultivos de coca en el municipio de El Tambo, a partir de información geográfica disponible en la plataforma Colombia en Mapas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). La representación espacial evidencia una concentración significativa de estas áreas en diferentes sectores rurales del municipio, particularmente en zonas de difícil acceso y con limitada conectividad territorial.

La presencia de cultivos de coca constituye una dinámica territorial relevante dentro del contexto rural del municipio, debido a su incidencia sobre los procesos de ocupación, transformación y uso del suelo. Diferentes estudios han señalado que los cultivos de uso ilícito generan procesos de reconfiguración territorial asociados a cambios en las dinámicas poblacionales, económicas y de ocupación rural. (Mojica Bravo, 2023).

Figura 4

Distribución espacial de áreas asociadas a cultivos de coca en el municipio de El Tambo, Cauca



Nota: Elaboración propia a partir de información geográfica de Colombia en Mapas – IGAC, 2026.

6 Metodología

6.1 Tipo y enfoque de la investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y espacial, orientada al diseño e implementación de un modelo de análisis espacial para la evaluación de la prefactibilidad técnica de predios rurales con enfoque campesino.

El estudio adopta un diseño no experimental y de corte transversal, dado que analiza las condiciones territoriales existentes en un periodo determinado, sin manipulación directa de las variables de estudio. La metodología se fundamenta en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de análisis multicriterio espacial, las cuales permiten integrar información vectorial y ráster para el análisis y evaluación de variables territoriales (Malczewski , 1999).

Figura 5

Esquema general del modelo de análisis espacial para la evaluación de prefactibilidad técnica predial



6.2 Fuentes de información

La investigación se desarrolló a partir del uso de información secundaria de carácter geoespacial, obtenida de diferentes entidades oficiales del orden nacional. Se utilizó el Modelo Digital de Terreno (DTM) SRTM con resolución espacial de 30 metros, disponible para el territorio nacional, a partir del cual se realizó el recorte correspondiente al municipio de El Tambo. Esta información fue empleada para la generación y análisis de variables relacionadas con altitud, pendiente y condiciones topográficas del área de estudio.

Con el fin de estructurar el modelo de análisis espacial, las variables geográficas fueron organizadas de acuerdo con su función dentro del proceso de evaluación predial como se observa en la Tabla 1, clasificándose como variables restrictivas, condicionantes y determinantes. La información espacial utilizada corresponde principalmente a capas vectoriales en formato shapefile (.shp), obtenidas de diferentes entidades oficiales y estandarizadas bajo el sistema de referencia MAGNA-SIRGAS / Origen Nacional, con el propósito de garantizar consistencia espacial y compatibilidad dentro de los procesos de análisis y geoprocementamiento.

Tabla 1
Variables espaciales utilizadas en el modelo de análisis

Variable espacial	Tipo de determinante	Fuente	Clasificación dentro del modelo
Parque Nacional Natural	Medio natural	Colombia en Mapas – IGAC	Restrictiva
Consejo comunitario	Sectorial	ANT	Restrictiva
Resguardo indígena formalizado	Sectorial	ANT	Restrictiva
Título minero vigente	Sectorial	ANM	Condicionante
Vías de acceso	Infraestructura vial	Colombia en Mapas – IGAC	Accesibilidad
Capacidad de uso del suelo	Sectorial	Colombia en Mapas – IGAC	Determinante
Zonas de reserva campesina	Sectorial	ANT	Condicionante
Cultivos de coca	Sectorial	Colombia en Mapas – IGAC	Condicionante
Centros poblados	Sectorial	Colombia en Mapas – IGAC	Accesibilidad

6.3 Selección e integración de variables

La selección de variables espaciales se realizó a partir de criterios técnicos, territoriales, ambientales y normativos relacionados con la evaluación de la prefactibilidad técnica de predios rurales con enfoque campesino.

Con el fin de estructurar el modelo de análisis espacial, las variables geográficas fueron organizadas de acuerdo con su función dentro del proceso de evaluación predial, clasificándose en variables restrictivas, condicionantes, determinantes y de accesibilidad.

6.3.1 Variables restrictivas

Las variables restrictivas corresponden a figuras territoriales y ambientales sobre las cuales existen limitaciones normativas para procesos de adquisición predial rural. Dentro de esta categoría

se incluyeron los resguardos indígenas y los consejos comunitarios, debido a que corresponden a territorios colectivos formalmente titulados, sobre los cuales no es procedente la adquisición de predios privados.

Asimismo, se incorporaron las áreas pertenecientes al Sistema de Parques Nacionales Naturales, teniendo en cuenta que corresponden a zonas declaradas para protección y conservación ambiental, sujetas a restricciones relacionadas con uso y ocupación del suelo. En este sentido, estas variables fueron consideradas como criterios de exclusión dentro del modelo de análisis espacial.

De igual manera, a partir del Modelo Digital de Terreno (DTM) del municipio de El Tambo se realizó el cálculo de pendiente mediante herramientas de análisis espacial. Posteriormente, la información fue reclasificada con el fin de identificar áreas con pendientes superiores al 40 %, las cuales fueron consideradas no aptas dentro del modelo de evaluación predial, debido a las limitaciones técnicas y productivas que representan para el uso y aprovechamiento del suelo rural.

Este criterio se incorporó teniendo en cuenta lineamientos normativos y técnicos relacionados con adjudicación y uso del suelo rural, los cuales establecen limitaciones para terrenos con pendientes elevadas debido a los riesgos asociados a erosión, degradación del suelo y restricciones para el desarrollo de actividades agropecuarias.

6.3.2 Variables condicionantes

Las variables condicionantes corresponden a factores territoriales que, aunque no excluyen de manera directa un predio del proceso de evaluación, influyen sobre su viabilidad técnica, funcional y territorial. Estas variables fueron incorporadas dentro del modelo debido a su incidencia sobre las dinámicas de uso, ocupación y aprovechamiento del suelo rural.

Dentro de esta categoría se incluyeron los títulos mineros vigentes, las zonas de reserva campesina y las áreas asociadas a cultivos de coca. En el caso de los títulos mineros, se consideraron como posibles condicionantes debido a los potenciales conflictos de uso del suelo que pueden generarse entre actividades extractivas y procesos de producción agropecuaria o adjudicación rural.

Por su parte, las zonas de reserva campesina fueron incorporadas como una variable favorable dentro del análisis, teniendo en cuenta su relación con procesos de organización territorial campesina y desarrollo rural. Asimismo, las áreas asociadas a cultivos de coca fueron consideradas como condicionantes territoriales debido a las dinámicas sociales, económicas y de ocupación del territorio que pueden incidir sobre los procesos de evaluación predial rural.

La integración de estas variables permitió incorporar dentro del modelo elementos asociados al contexto territorial y funcional de los predios evaluados, complementando el análisis biofísico y de accesibilidad desarrollado en la investigación.

6.3.3 Variables determinantes

La variable determinante dentro del modelo corresponde a la capacidad de uso del suelo, incorporada con el propósito de evaluar las condiciones biofísicas y productivas presentes en los predios rurales analizados. Esta variable permite identificar el nivel de aptitud del territorio para el desarrollo de actividades agropecuarias.

La información utilizada corresponde a la cartografía oficial de capacidad de uso del suelo generada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la cual clasifica el territorio en diferentes categorías agrológicas de acuerdo con sus limitaciones y potencialidades de uso.

Tabla 2

Clasificación de capacidad de uso del suelo

Clase	Interpretación	Clasificación
I	Muy alta aptitud agrícola	Apta
II	Alta aptitud	Apta
III	Aptitud moderada	Apta
IV	Aptitud limitada	Apta con restricciones
V	No cultivable (uso pecuario/forestal)	No apta
VI	Limitaciones severas	No apta
VII	Muy severas	No apta
VIII	Protección	No apta

Nota. Adaptado a partir de la clasificación de capacidad de uso del suelo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2026.

Con el fin de integrar la variable dentro del análisis multicriterio espacial, las clases agrológicas fueron agrupadas en niveles de aptitud asociados al potencial productivo del suelo. Esta reclasificación permitió homogenizar la información y facilitar el cálculo de índices espaciales dentro del modelo de prefactibilidad técnica predial.

Tabla 3*Agrupación de clases agrológicas por nivel de aptitud*

Nivel de aptitud	Clases agrológicas
Alta aptitud	I y II
Media aptitud	III y IV
Baja aptitud / No apta	V, VI, VII y VIII

Nota. Elaboración propia a partir de la clasificación agrológica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2026.

6.3.4 Variables de accesibilidad

Las variables de accesibilidad fueron incorporadas dentro del modelo con el propósito de evaluar las condiciones de conectividad y proximidad territorial de los predios rurales respecto a infraestructura vial y centros poblados. Para el desarrollo del análisis se utilizaron las capas correspondientes a vías de acceso y centros poblados, obtenidas a partir de información geográfica oficial. A partir de estas capas se calcularon distancias entre los predios evaluados y los elementos de infraestructura territorial más cercanos, utilizando herramientas de análisis espacial.

En el caso de las vías de acceso, se establecieron rangos de accesibilidad asociados a la distancia entre el predio y la vía más cercana, considerando que menores distancias representan mejores condiciones de conectividad territorial y acceso funcional al predio.

Tabla 4*Clasificación de accesibilidad respecto a vías*

Nivel de accesibilidad	Distancia
Alta accesibilidad	≤ 2 km
Media accesibilidad	> 2 km y ≤ 5 km
Baja accesibilidad	> 5 km

De igual manera, se realizó el análisis de proximidad respecto a centros poblados, teniendo en cuenta que la cercanía a estos espacios influye sobre las posibilidades de acceso a servicios, infraestructura y dinámicas funcionales del territorio rural.

Tabla 5*Clasificación de accesibilidad respecto a centros poblados*

Nivel de accesibilidad	Distancia
Alta accesibilidad	≤ 2 km
Media accesibilidad	> 2 km y ≤ 10 km
Baja accesibilidad	> 10 km

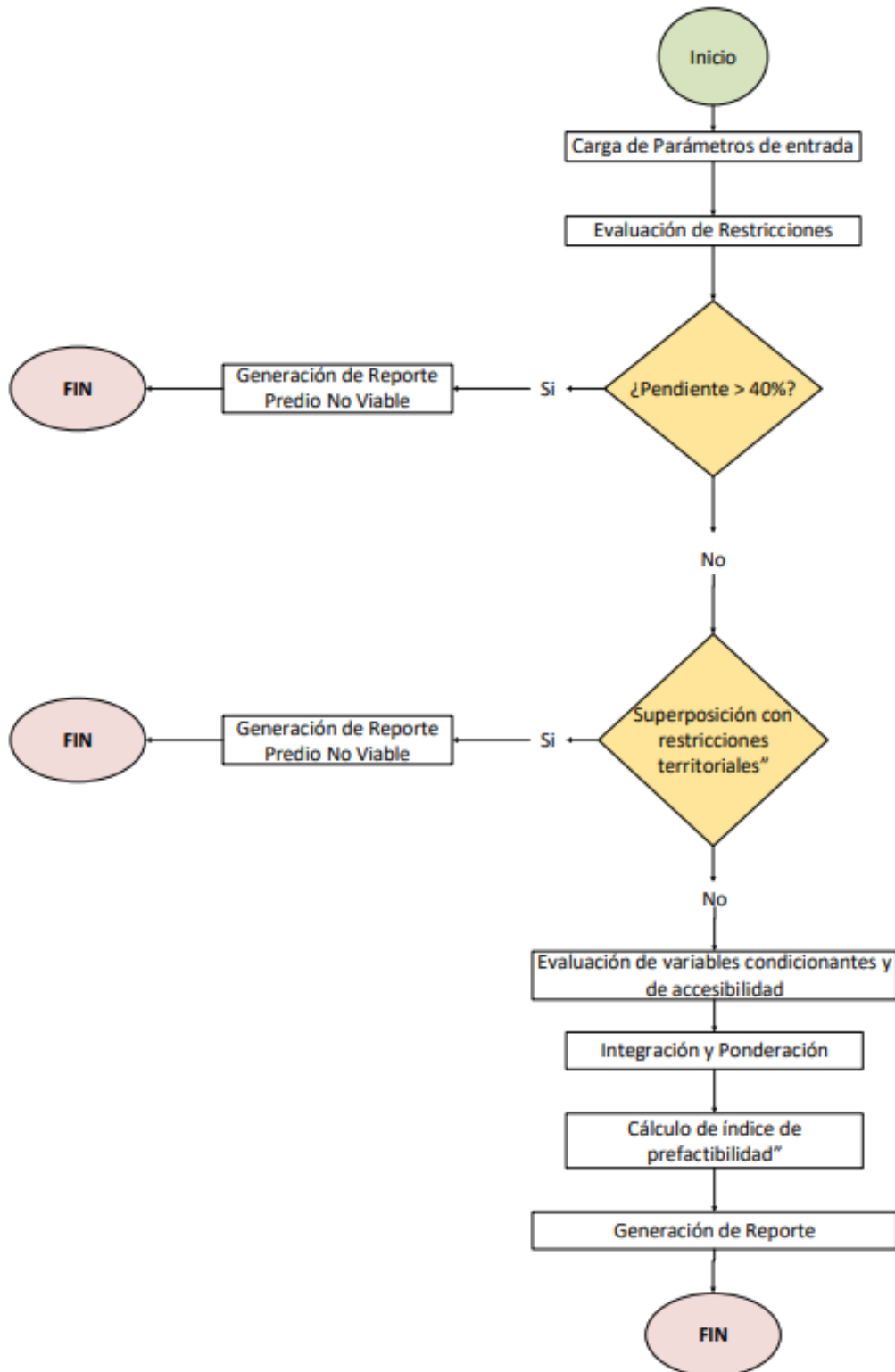
Posteriormente, ambas variables fueron integradas mediante ponderaciones orientadas a representar la incidencia relativa de la conectividad vial y la proximidad a centros poblados dentro del modelo de evaluación predial.

6.4 Construcción del modelo

Con el fin de representar la lógica operativa del modelo de análisis espacial desarrollado en la investigación, se estructuró un flujo metodológico orientado a integrar procesos de validación, exclusión, evaluación territorial y cálculo de índices de prefactibilidad técnica predial. La Figura 5 presenta las principales etapas del modelo implementado en ArcGIS para el procesamiento y análisis de la información espacial.

Figura 6

Flujo metodológico del modelo de análisis espacial para la evaluación de prefactibilidad técnica predial.



Previamente a la ejecución del modelo de análisis espacial, la información geográfica fue descargada desde diferentes fuentes oficiales y organizada en una geodatabase estructurada por componentes temáticos. Las capas vectoriales y raster fueron homologadas bajo el sistema de referencia MAGNA-SIRGAS Origen Nacional, garantizando consistencia espacial en los procesos de análisis e integración territorial. Esta estructura permite la implementación del modelo en diferentes municipios y áreas rurales del país a partir de información geográfica oficial disponible.

Figura 7

Estructura de la geodatabase utilizada en el modelo de análisis espacial



La automatización del modelo de análisis espacial se desarrolló mediante scripts implementados en ArcPy, permitiendo integrar procesos de validación territorial, análisis de pendiente y restricciones, accesibilidad y cálculo de índices de prefactibilidad técnica predial. Esta automatización facilitó la ejecución secuencial de procedimientos de geoprocesamiento y análisis multicriterio.

Los scripts desarrollados para la automatización del modelo de análisis espacial se presentan en el **Anexo 3**.

6.4.1 Validación de restricciones

Validación de pendiente

El modelo utilizó el DTM correspondiente al municipio de El Tambo para realizar el cálculo porcentual de pendiente mediante herramientas de análisis espacial. Posteriormente, la información obtenida fue clasificada y reclasificada en dos categorías de aptitud: áreas aptas, correspondientes a pendientes iguales o inferiores al 40 %, y áreas no aptas, asociadas a pendientes superiores a este umbral.

$$\begin{aligned} \text{Pendiente} \leq 40\% &\rightarrow \text{Apta} \\ \text{Pendiente} > 40\% &\rightarrow \text{No apta} \end{aligned}$$

Posteriormente, la información obtenida fue clasificada y reclasificada en dos categorías de aptitud: áreas aptas, correspondientes a pendientes iguales o inferiores al 40 %, y áreas no aptas, asociadas a pendientes superiores a este umbral. Una vez reclasificado, el raster de pendientes fue convertido a formato poligonal mediante herramientas de geoprocésamiento, permitiendo realizar operaciones de intersección espacial con el polígono del predio evaluado.

Cuando el porcentaje de área con pendientes superiores al 40 % supera el umbral definido dentro del análisis, el predio es clasificado como no factible y excluido de las etapas posteriores de evaluación. Por el contrario, aquellos predios cuyo porcentaje de área no apta no supera dicho umbral continúan dentro del proceso de análisis espacial y evaluación multicriterio.

Capas vectoriales

Posteriormente, el modelo realiza la validación de restricciones territoriales mediante procesos de intersección espacial entre el polígono del predio evaluado y las capas vectoriales correspondientes a resguardos indígenas, consejos comunitarios y áreas pertenecientes al Sistema de Parques Nacionales Naturales.

El procedimiento de validación se desarrolló mediante herramientas de geoprocésamiento, particularmente operaciones de intersección espacial, permitiendo identificar posibles superposiciones entre el predio objeto de análisis y las capas de restricción territorial.

□

$$\text{Predio} \cap \text{Restricciones} = \emptyset \rightarrow \text{No factible}$$

Cuando el modelo identifica superposición espacial con alguna de las capas restrictivas, el predio es clasificado como no factible y excluido de las etapas posteriores de evaluación. Por el contrario, aquellos predios que no presentan intersección con restricciones territoriales continúan dentro del proceso de análisis espacial y evaluación multicriterio.

6.4.2 Validación de determinantes

La evaluación de variables determinantes se desarrolló a partir de la capacidad de uso del suelo. Esta variable permite identificar las condiciones de aptitud productiva presentes en el territorio. La información de entrada correspondió a la cartografía de capacidad de uso del suelo del municipio de El Tambo, obtenida a partir de información oficial del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Las clases agrológicas fueron interpretadas y reclasificadas de acuerdo con criterios de aptitud para procesos de evaluación predial rural.

Con base en la proporción espacial de cada categoría dentro del predio, el modelo calcula un índice individual de aptitud del suelo mediante ponderaciones asociadas a cada nivel de clasificación, asignando mayor valor a las áreas con mejores condiciones productivas.

$$Suelo = (\%Alta \times 3) + (\%Media \times 2) + (\%Baja \times 1)$$

Este procedimiento permitió integrar las condiciones biofísicas del territorio dentro del modelo de evaluación predial, facilitando la identificación de predios con diferentes niveles de aptitud para el desarrollo de actividades agropecuarias bajo un enfoque campesino.

6.4.3 Validación de condicionantes

La evaluación de variables condicionantes se desarrolló con el propósito de incorporar dentro del modelo elementos territoriales que, aunque no excluyen directamente un predio del análisis, sí pueden influir sobre su viabilidad funcional y territorial. Para ello, se utilizaron como datos de entrada las capas correspondientes a títulos mineros vigentes y áreas asociadas a cultivos de coca.

El procedimiento se desarrolló mediante operaciones de intersección espacial entre el predio evaluado y las capas condicionantes, permitiendo identificar posibles superposiciones territoriales. A partir de esta validación, el modelo asigna una valoración categórica de acuerdo con las condiciones encontradas dentro del área de análisis.

Cuando el predio presenta intersección con áreas asociadas a cultivos de coca, o simultáneamente con cultivos de coca y títulos mineros, la condición es clasificada con valor uno (1), correspondiente a un alto conflicto territorial y legal. Por su parte, los predios que únicamente presentan superposición con títulos mineros son clasificados con valor dos (2), asociado a un conflicto potencial de uso del suelo.

Finalmente, aquellos predios que no presentan intersección con ninguna de las capas condicionantes son clasificados con valor tres (3), correspondiente a condiciones territoriales favorables dentro del proceso de evaluación predial.

Tabla 6
Clasificación de variables condicionantes

Condición identificada	Valor asignado	Interpretación
Intersección con cultivos de coca o con ambas capas	1	Alto conflicto territorial y legal
Intersección únicamente con títulos mineros	2	Conflicto potencial de uso del suelo
Sin intersección con capas condicionantes	3	Condición favorable

6.4.4 Validación de accesibilidad

La evaluación de accesibilidad se desarrolló con el propósito de analizar las condiciones de conectividad territorial de los predios rurales respecto a centros poblados y red vial. Para ello, el modelo implementó procedimientos de proximidad espacial mediante herramientas de análisis geográfico y rutinas automatizadas desarrolladas en ArcPy.

Inicialmente, el modelo ejecuta un análisis de vecino más cercano entre el predio evaluado y las capas correspondientes a centros poblados y vías de acceso, utilizando herramientas de proximidad espacial para calcular la distancia al elemento más cercano dentro de cada categoría.

Posteriormente, las distancias obtenidas fueron reclasificadas en niveles de accesibilidad, asignando valores de uno (1) a tres (3), donde los valores más altos representan mejores condiciones de conectividad territorial.

Finalmente, el modelo calcula un índice de accesibilidad mediante ponderación de las variables evaluadas, asignando un peso del 60 % a la accesibilidad vial y un 40 % a la proximidad a centros poblados. Esta ponderación se definió considerando que la conectividad vial representa un factor determinante para el acceso funcional, transporte, movilidad y aprovechamiento

productivo de los predios rurales, mientras que la cercanía a centros poblados influye principalmente sobre el acceso a servicios y dinámicas territoriales complementarias.

$$\text{Accesibilidad} = (\text{Vías} \times 0.6) + (\text{Centros poblados} \times 0.4)$$

6.4.5 Integración final multicriterio

Una vez ejecutadas las etapas de validación de restricciones, determinantes, análisis de variables condicionantes y evaluación de accesibilidad, el modelo integra los resultados obtenidos mediante un proceso de ponderación multicriterio orientado a calcular el índice final de prefactibilidad técnica predial.

La integración de variables se desarrolló mediante la asignación de pesos relativos a cada componente evaluado, considerando su nivel de incidencia dentro del proceso de análisis territorial. En este sentido, la evaluación biofísica recibió una ponderación del 50%, debido a su relación directa con las condiciones productivas y de aptitud del suelo. Por su parte, la accesibilidad territorial fue ponderada con un 30%, teniendo en cuenta la importancia de la conectividad vial y funcional del predio. Finalmente, las variables condicionantes recibieron una ponderación del 20%, incorporando factores territoriales asociados a conflictos o favorabilidades de uso del suelo.

$$\text{Prefactibilidad} = (\text{Biofísica} \times 0.5) + (\text{Accesibilidad} \times 0.3) + (\text{Condicionantes} \times 0.2)$$

El resultado obtenido corresponde a un índice cuantitativo de prefactibilidad, posteriormente reclasificado en categorías cualitativas orientadas a facilitar la interpretación de resultados dentro del proceso de evaluación predial rural.

Tabla 7
Clasificación del índice de prefactibilidad

Nivel de prefactibilidad	Rango
Baja prefactibilidad	1.00 – 1.66
Media prefactibilidad	1.67 – 2.33
Alta prefactibilidad	2.34 – 3.00

Finalmente, el modelo implementado en ArcPy realiza la clasificación cualitativa del índice de prefactibilidad obtenido, permitiendo categorizar los predios evaluados en niveles de baja, media o alta prefactibilidad técnica, de acuerdo con los rangos establecidos dentro del análisis multicriterio espacial.

6.5 Validación del modelo

La validación del modelo se desarrolló mediante la ejecución de pruebas funcionales orientadas a verificar la coherencia espacial y lógica de los resultados obtenidos durante el proceso de evaluación predial. Para ello, se analizaron diferentes escenarios territoriales asociados a restricciones ambientales, limitaciones topográficas, variables de accesibilidad y condicionantes territoriales.

Adicionalmente, se verificó el comportamiento del modelo frente a predios con diferentes configuraciones espaciales, permitiendo evaluar la respuesta de los criterios de clasificación y la consistencia de los índices de prefactibilidad obtenidos.

Finalmente, los resultados generados fueron revisados mediante validación visual y análisis comparativo de las variables territoriales incorporadas dentro del modelo, con el fin de garantizar coherencia entre las condiciones espaciales del predio y la clasificación final obtenida.

7 Resultados

7.1 Resultados generales del modelo

Con el fin de complementar el análisis espacial del modelo de prefactibilidad técnica, se realizó un análisis estadístico a partir de una muestra de 112 predios rurales, correspondiente aproximadamente al 1% de los 11.200 predios registrados en la base catastral del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2026) para el municipio de El Tambo, Cauca. Debido a la extensión territorial y densidad predial del municipio, se definió una muestra dirigida orientada a evaluar el comportamiento del modelo frente a diferentes condiciones territoriales presentes en el área de estudio.

Se seleccionó una muestra dirigida orientada a evaluar el comportamiento del modelo frente a diferentes condiciones territoriales asociadas a restricciones biofísicas y normativas. En este sentido, la muestra no busca representar estadísticamente la totalidad de los predios del municipio, sino analizar la capacidad del modelo para discriminar condiciones de viabilidad a escala predial.

Para ello, la muestra se organizó en cuatro grupos: (i) predios con afectación por pendiente derivada del Modelo Digital del Terreno (DTM), (ii) predios con superposición en áreas de Parques Naturales, (iii) predios localizados en resguardos indígenas y territorios colectivos de comunidades negras y (iv) predios sin afectaciones relevantes, considerados como casos de referencia con condiciones favorables de prefactibilidad. Esta clasificación permitió comparar el comportamiento del modelo frente a distintos escenarios territoriales y validar la coherencia de los resultados obtenidos.

Tabla 8

Distribución de la muestra de predios evaluados

Tipo de predio	Número de predios	Porcentaje
Pendiente (DTM)	22	19.6 %
Parques Naturales	22	19.6 %
Resguardos indígenas y comunidades negras	44	39.3 %
Sin afectación	24	21.4 %
Total	112	100 %

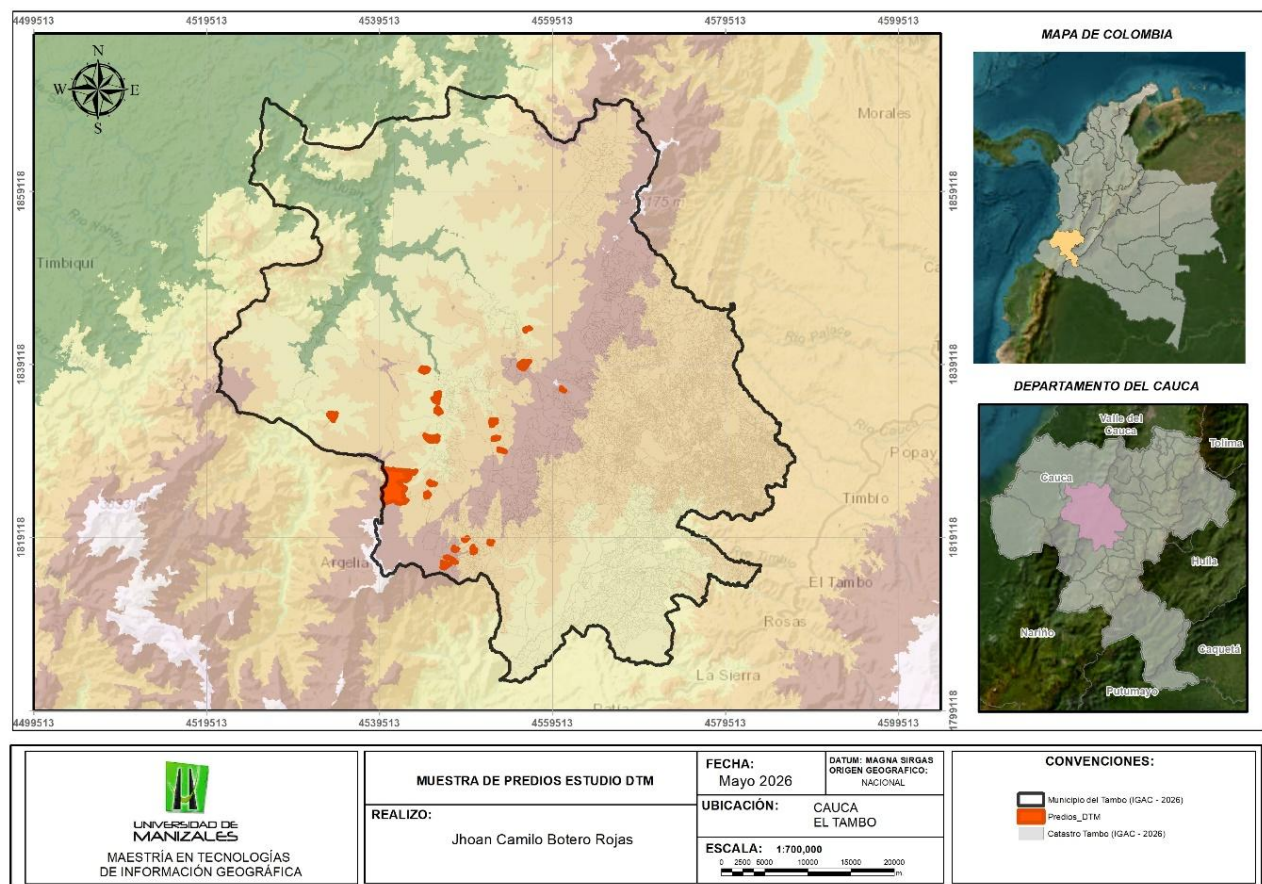
7.2 Resultados de validación de restricciones

7.2.1. Pendientes

Con el fin de evaluar el comportamiento del modelo frente a restricciones biofísicas del territorio, se analizó un subconjunto de 22 predios caracterizados por presentar afectaciones derivadas del Modelo Digital del Terreno (DTM).

Figura 8

Localización de predios evaluados con pendientes superiores al 40 % en el municipio de El Tambo, Cauca



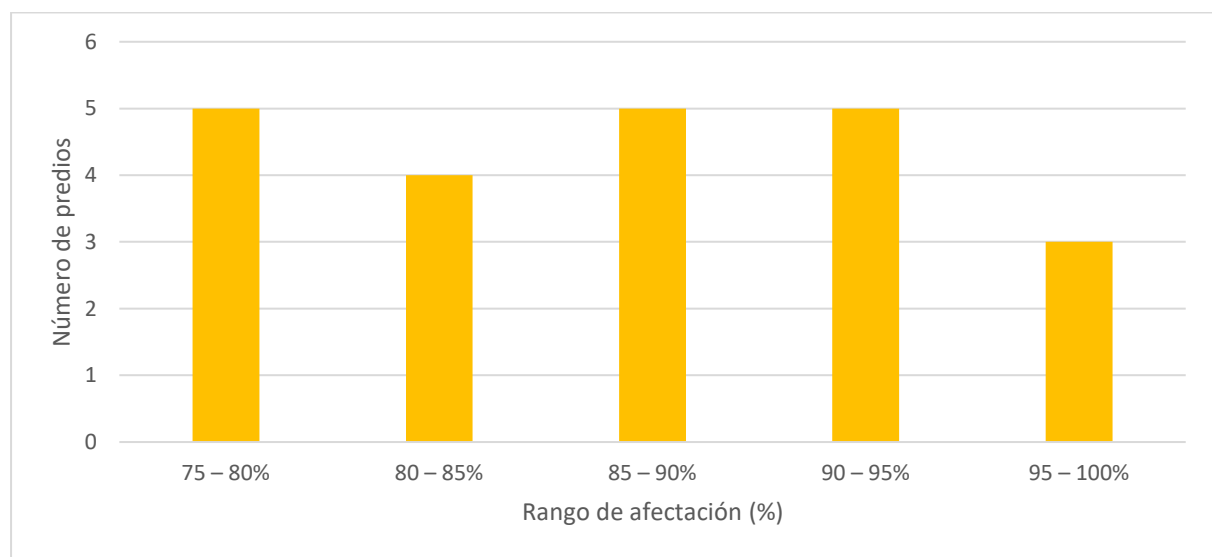
El análisis realizado permitió validar la capacidad del modelo para identificar predios con limitaciones topográficas significativas para el desarrollo de actividades productivas rurales. En la tabla 9, se describe la distribución de los predios analizados.

Tabla 9*Distribución de predios según porcentaje de área con pendientes superiores al 40 %*

Rango (%) área >40 %	Frecuencia
75 – 80 %	5
80 – 85 %	4
85 – 90 %	5
90 – 95 %	5
95 – 100 %	3
Total	22

Los 22 predios analizados dentro de esta categoría fueron evaluados mediante el modelo de prefactibilidad, obteniendo en todos los casos una clasificación de no factible, debido a la alta proporción de área con pendientes superiores al 40 %. Los reportes individuales generados por el modelo para cada uno de los predios se presentan en los anexos de la investigación.

La distribución de los predios evaluados según porcentaje de afectación por pendiente se representa en la figura 9.

Figura 9*Distribución de predios según porcentaje de área con pendientes superiores al 40 %*

El análisis de la figura 9 evidencia una concentración de predios dentro de categorías de afectación crítica (80 %–100 %) y muy alta (60 %–80 %), indicando que la mayoría de las unidades evaluadas presentan limitaciones topográficas severas.

7.3 Resultados de validación de restricciones ambientales

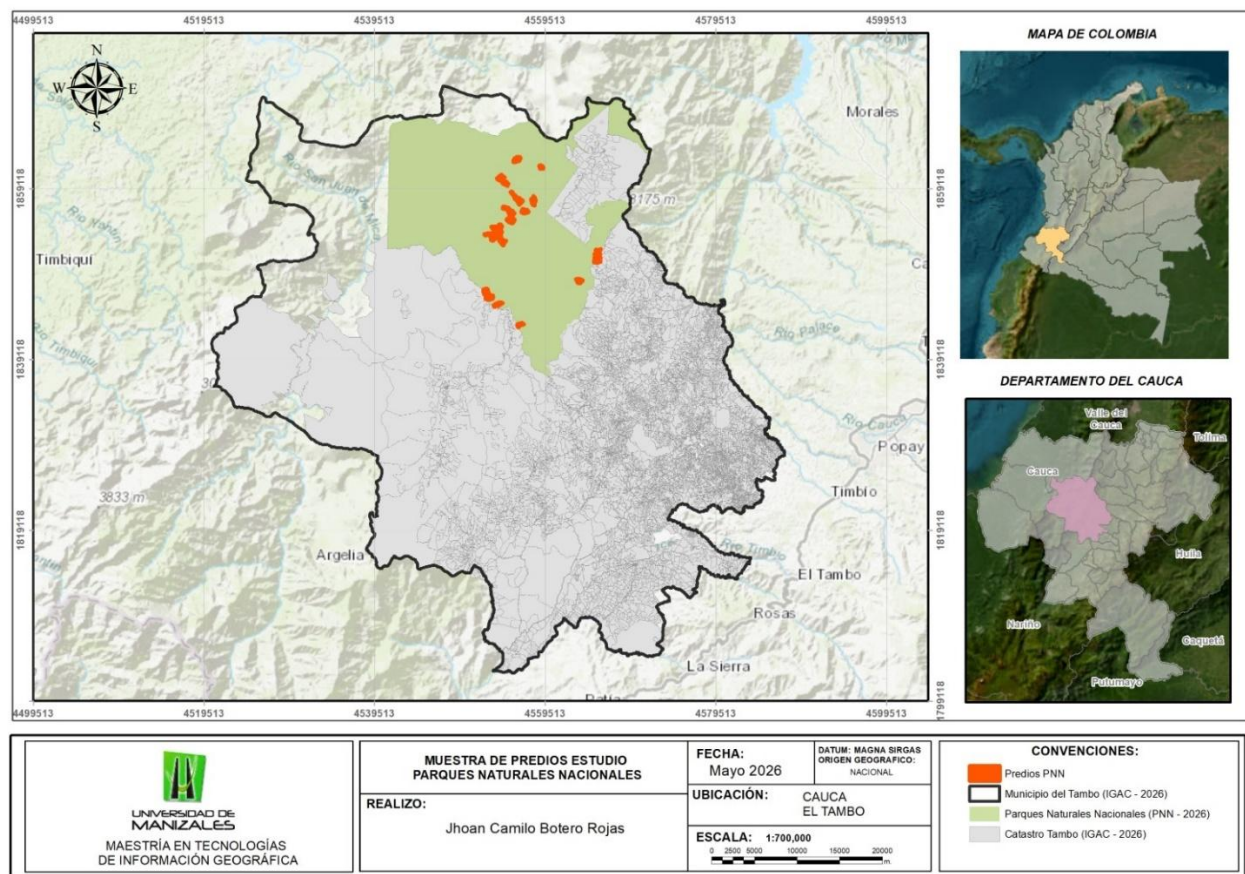
7.2.2. Capas vectoriales

Parques Nacionales Naturales

Con el propósito de evaluar la incidencia de las restricciones normativas en la prefactibilidad técnica para adquisición de predios rurales, se analizó un subconjunto de 22 predios de la muestra que presentan superposición con áreas pertenecientes al Sistema de Parques Nacionales Naturales. Esta variable fue incorporada en el modelo como un criterio restrictivo, en concordancia con las disposiciones normativas relacionadas con la protección y conservación ambiental de estas zonas.

Figura 10

Localización de predios evaluados con superposición en áreas de Parques Nacionales Naturales en el municipio de El Tambo, Cauca



La evaluación realizada muestra que la totalidad de los predios analizados fue clasificada como no factible, evidenciando consistencia entre la condición normativa del territorio y la clasificación asignada por el modelo. Los reportes individuales generados para cada uno de los predios evaluados se presentan en los anexos de la investigación.

Tabla 10

Clasificación de prefactibilidad de predios evaluados en áreas de Parques Nacionales Naturales

Clasificación	Número de predios	Porcentaje
Alta	0	0 %
Media	0	0 %
Baja	22	100 %
Total	22	100 %

Los resultados evidencian coherencia frente a restricciones normativas asociadas a áreas protegidas, evitando la clasificación de predios potencialmente viables en zonas donde el uso productivo del suelo se encuentra restringido.

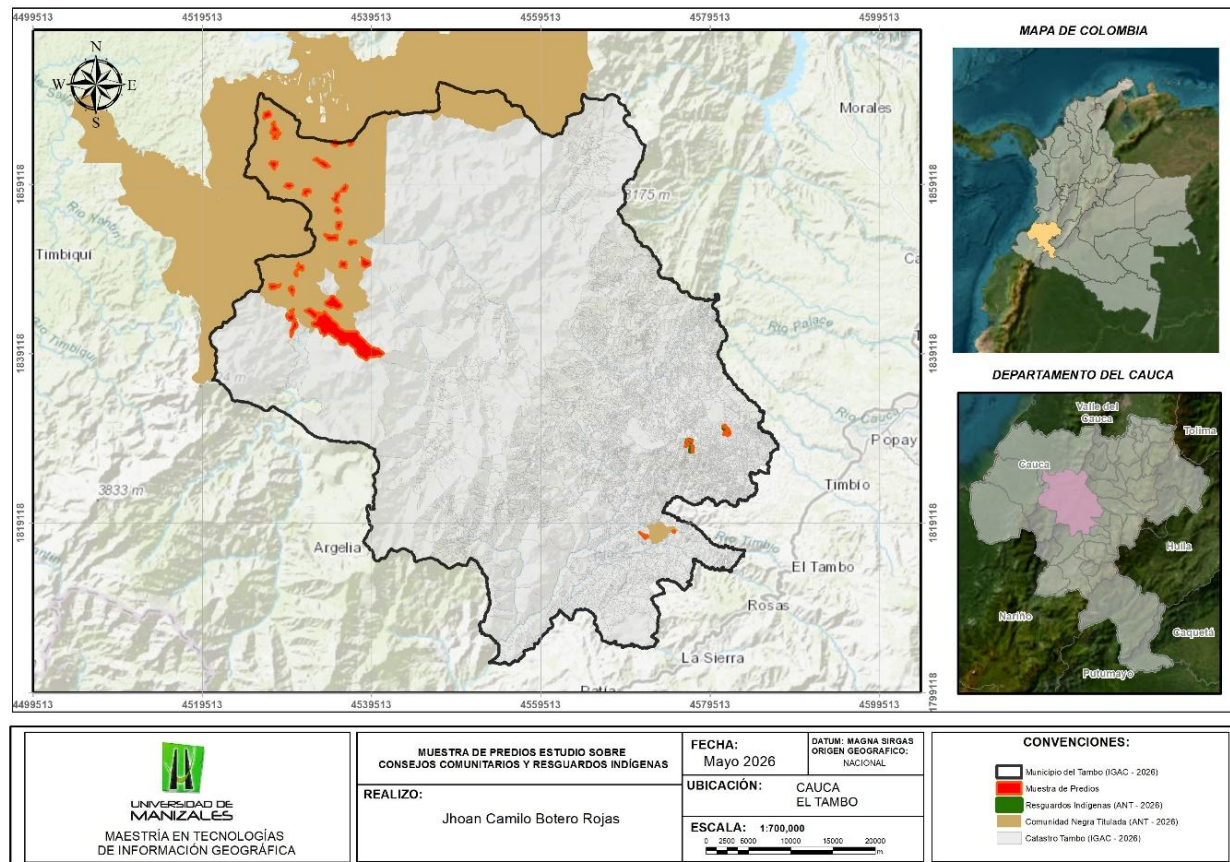
A diferencia de otras variables que presentan distintos niveles de afectación, la presencia de Parques Nacionales Naturales corresponde a una condición categórica de exclusión. Esta característica evidencia la capacidad del modelo para integrar variables restrictivas dentro del proceso de evaluación multicriterio.

Territorios colectivos

Con el fin de evaluar el comportamiento del modelo frente a restricciones territoriales asociadas a derechos colectivos, se analizó un subconjunto de 44 predios de la muestra localizados en áreas de resguardos indígenas y territorios colectivos de comunidades negras. Estas variables fueron incorporadas en el modelo como criterios restrictivos dentro del proceso de evaluación de prefactibilidad técnica predial.

Figura 11

Localización de predios evaluados en resguardos indígenas y consejos comunitarios en el municipio de El Tambo, Cauca



La evaluación realizada evidencia que la totalidad de los predios analizados fue clasificada como no factible, representando una correspondencia total entre la condición territorial y la clasificación asignada por el modelo. Este comportamiento indica que el modelo reconoce de manera consistente las restricciones asociadas a territorios colectivos.

El análisis realizado permite identificar coherencia frente a restricciones territoriales asociadas a comunidades étnicas, evitando la clasificación de predios potencialmente adjudicables en áreas sujetas a protección jurídica especial.

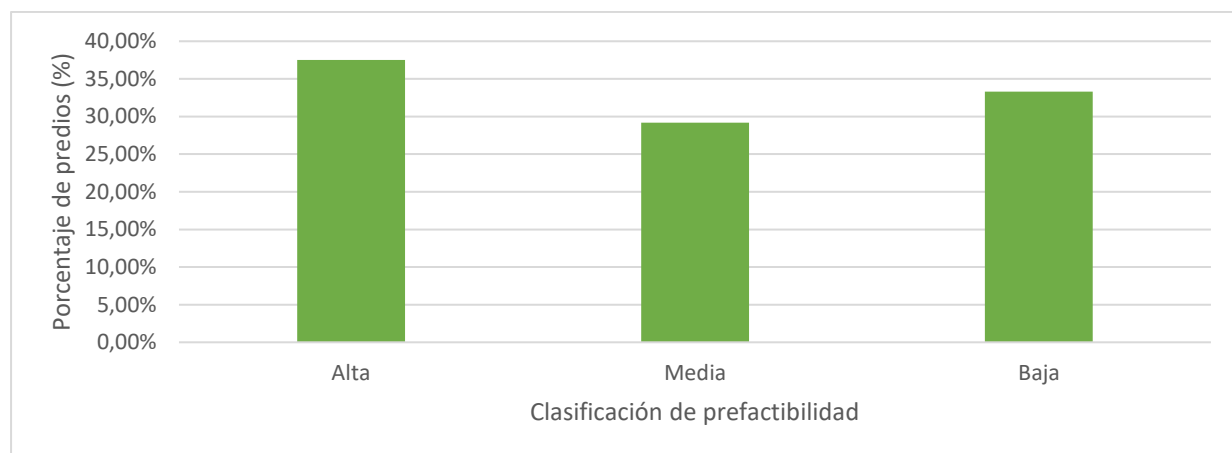
7.3 Resultados en predios sin afectación

Con el fin de evaluar el comportamiento del modelo en escenarios sin restricciones biofísicas, normativas o territoriales, se analizó un subconjunto de 24 predios de la muestra que no presentan afectaciones asociadas a pendiente crítica, áreas protegidas o territorios colectivos. Este

Tabla 11*Clasificación de prefactibilidad de predios sin restricciones territoriales*

Clasificación	Número de predios	Porcentaje
Alta	9	37.5 %
Media	7	29.2 %
Baja	8	33.3 %
Total	24	100 %

La clasificación obtenida evidencia una distribución equilibrada entre las tres categorías de prefactibilidad, indicando que el modelo no asigna automáticamente condiciones de alta viabilidad a los predios por el hecho de no presentar restricciones externas. En este sentido, únicamente el 37.5 % de los predios alcanzó una clasificación de alta prefactibilidad, mientras que el resto se distribuyó entre categorías media y baja.

Figura 13*Distribución porcentual de predios sin restricciones según clasificación de prefactibilidad técnica*

De acuerdo con los criterios definidos en el modelo, los predios clasificados con prefactibilidad alta presentan condiciones favorables relacionadas con accesibilidad, calidad del suelo y baja presencia de conflictos territoriales. Por su parte, los predios con clasificación media presentan algunas limitaciones asociadas al suelo, acceso o contexto territorial, mientras que aquellos clasificados con prefactibilidad baja evidencian restricciones que dificultan su

aprovechamiento productivo. Los reportes individuales generados por el modelo para cada uno de los predios evaluados se presentan en los anexos de la investigación.

El comportamiento observado refleja una adecuada integración de variables relacionadas con accesibilidad, calidad del suelo y contexto territorial dentro del proceso de evaluación predial.

7.4 Análisis de sensibilidad del modelo

El comportamiento observado en los diferentes escenarios territoriales evaluados permitió evidenciar la sensibilidad del modelo frente a variaciones asociadas a restricciones biofísicas, normativas y condiciones internas del predio, reflejando una adecuada capacidad de discriminación espacial dentro del proceso de evaluación multicriterio.

7.5 Reportes automatizados de prefactibilidad

Como resultado complementario del modelo, se generaron reportes automatizados de prefactibilidad para cada uno de los predios evaluados. Estos reportes tienen un carácter informativo y fueron diseñados como una salida automática del proceso de análisis espacial, permitiendo resumir de manera individual la clasificación obtenida para cada predio y una breve interpretación de sus condiciones de prefactibilidad.

La automatización se orientó principalmente a la generación rápida de resultados individuales y reportes interpretativos, priorizando la funcionalidad del modelo sobre la elaboración de composiciones cartográficas detalladas.

Cada reporte incorpora una representación espacial básica del predio evaluado junto con una descripción interpretativa de la categoría de prefactibilidad asignada por el modelo, facilitando la consulta y visualización rápida de los resultados obtenidos. La Figura 14 presenta un ejemplo de reporte automatizado generado para un predio clasificado con prefactibilidad alta.

La totalidad de los reportes automatizados generados por el modelo se entrega como material digital complementario adjunto a la investigación.

Figura 14

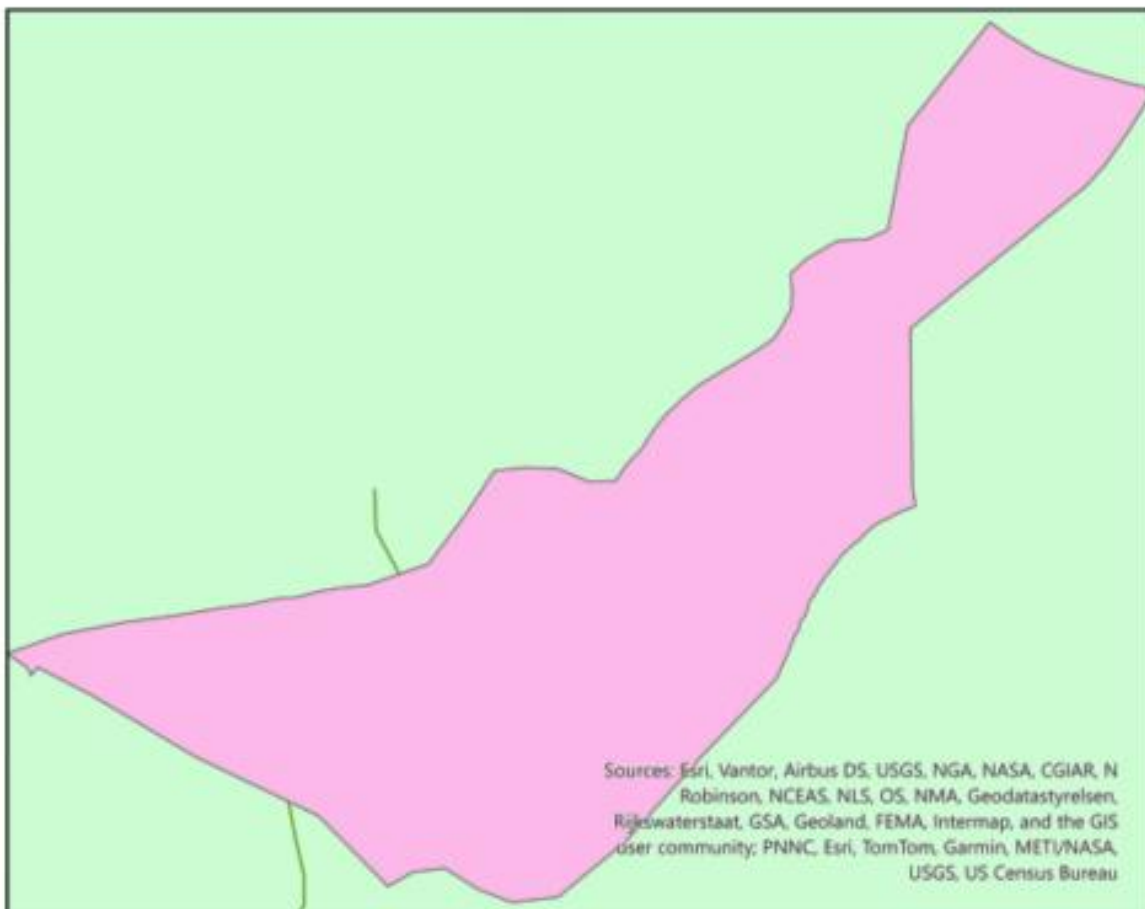
Ejemplo de reporte automatizado de prefactibilidad generado por el modelo de análisis espacial

Reporte de Prefactibilidad

Generado el 2026-05-05

Conforme al estudio de prefactibilidad realizado con la información suministrada, el predio tiene una **PREFACTIBILIDAD ALTA**

Los predios con alta prefactibilidad cuentan con buenas condiciones biofísicas, de acceso y baja presencia de conflictos, lo que los hace adecuados para el desarrollo de actividades productivas bajo un enfoque campesino.



8 Discusión

8.1 Comportamiento general del modelo

El comportamiento general del modelo permitió evidenciar una adecuada capacidad de discriminación espacial frente a diferentes escenarios territoriales evaluados en el municipio de El Tambo, Cauca. Los resultados obtenidos mostraron que el modelo respondió de manera consistente ante restricciones biofísicas, normativas y territoriales, clasificando como no factibles los predios afectados por pendientes críticas, áreas protegidas y territorios colectivos, mientras que en escenarios sin restricciones externas logró identificar distintos niveles de prefactibilidad a partir de variables internas asociadas al acceso, las condiciones del suelo y el contexto territorial.

Este comportamiento refleja la capacidad del análisis multicriterio espacial para integrar diferentes variables dentro de un mismo proceso de evaluación territorial, permitiendo superar enfoques basados en criterios aislados. En este sentido, los resultados obtenidos coinciden con lo planteado por Buzai y Baxendale (2010), quienes señalan que los Sistemas de Información Geográfica constituyen herramientas analíticas capaces de integrar información espacial diversa para apoyar procesos complejos de toma de decisiones territoriales.

De manera similar, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura establece que la evaluación de tierras debe desarrollarse mediante enfoques integrales que consideren múltiples variables, evitando análisis fragmentados que limiten la comprensión de las condiciones reales del territorio. Bajo esta perspectiva, el modelo desarrollado permitió integrar variables continuas y restrictivas dentro de un mismo esquema de análisis predial.

Asimismo, el comportamiento observado demuestra que la ausencia de restricciones territoriales no implica automáticamente condiciones favorables de prefactibilidad, ya que variables internas relacionadas con accesibilidad, aptitud del suelo y condiciones del entorno influyen de manera determinante en la clasificación final de los predios. Este aspecto constituye uno de los principales aportes del modelo, al permitir una evaluación diferenciada y contextualizada de las condiciones prediales en escenarios rurales.

8.2 Importancia del análisis multicriterio

La aplicación del análisis multicriterio permitió evidenciar que la evaluación predial en contextos rurales no depende de una única variable, sino de la interacción entre diferentes

condicionantes territoriales. En el caso de la presente investigación, variables relacionadas con restricciones ambientales, condiciones biofísicas, accesibilidad y contexto territorial influyeron de manera conjunta en la clasificación final de los predios.

De igual manera, conforme a los estudios relacionados con las dinámicas territoriales y la estructura de la propiedad rural en el departamento del Cauca, caracterizadas por alta diversidad territorial, presencia de población campesina y múltiples tensiones asociadas al uso y ocupación del territorio (Duarte Torres, y otros, 2018), se resalta la importancia de contar con herramientas técnicas que permitan realizar análisis preliminares antes de las visitas de campo y los procesos de evaluación predial.

8.3 Aporte técnico

Uno de los principales aportes técnicos de la presente investigación corresponde al desarrollo de un modelo de análisis espacial orientado a funcionar como una herramienta de evaluación preliminar dentro de procesos de adquisición y priorización predial en contextos rurales. En este sentido, el modelo permite realizar un filtrado inicial de predios, facilitando la identificación de escenarios potencialmente no viables antes de la ejecución de visitas y verificaciones en campo.

Este aspecto resulta relevante desde el punto de vista operativo, debido a que los procesos de evaluación predial implican desplazamientos, planeación logística y uso de recursos técnicos y humanos. Bajo esta perspectiva, la implementación del modelo contribuye a optimizar etapas preliminares de análisis territorial y apoyar procesos de planificación técnica mediante el uso integrado de información geoespacial.

8.4 Limitaciones

La presente investigación corresponde a un modelo de evaluación preliminar orientado al análisis técnico predial mediante herramientas SIG, cuyo alcance depende de las condiciones y disponibilidad de la información geoespacial utilizada.

Algunos elementos territoriales relevantes no fueron incorporados dentro del análisis debido a la ausencia de criterios normativos claramente definidos o a la falta de información oficial homogénea para el área de estudio. Este es el caso de las rondas hídricas asociadas a drenajes sencillos y cuerpos de agua menores, cuya delimitación presenta diferencias en su representación

cartográfica. Adicionalmente, la identificación de drenajes intermitentes requiere procesos de verificación en campo y, en muchos casos, conceptos técnicos emitidos por la autoridad ambiental competente. Por esta razón, el componente ambiental fue abordado mediante otras capas oficiales relacionadas con restricciones y condicionantes territoriales.

De igual manera, aspectos asociados al estado de formalidad o informalidad predial presentan dificultades para su verificación mediante fuentes secundarias, especialmente en contextos rurales colombianos donde pueden existir inconsistencias entre la información catastral, jurídica y territorial. Debido a las implicaciones legales asociadas a la propiedad y tenencia de la tierra, estas condiciones requieren validaciones complementarias en campo y revisión jurídica específica.

Asimismo, elementos como presencia de construcciones, influencia detallada de cuerpos de agua o condiciones de seguridad territorial, incluyendo posibles áreas con presencia de minas antipersona, no fueron integrados dentro del modelo debido a restricciones relacionadas con actualización, disponibilidad y estandarización de la información. Adicionalmente, dado que la investigación se orientó al desarrollo de una herramienta de evaluación preliminar, el análisis priorizó variables territoriales de carácter general y estructural, enfocadas en la identificación inicial de condiciones de prefactibilidad predial a escala territorial.

Los resultados obtenidos corresponden a una evaluación preliminar de prefactibilidad técnica y no sustituyen procesos posteriores de verificación en campo, los cuales continúan siendo necesarios para validar condiciones físicas, sociales y productivas particulares de cada predio.

Finalmente, la automatización fue desarrollada mediante herramientas implementadas en ArcPy, por lo cual algunos componentes pueden presentar diferencias de compatibilidad entre versiones del software utilizado. No obstante, la estructura metodológica planteada puede ser adaptada a otros entornos de análisis espacial con características similares.

8.5 Aplicabilidad

La aplicabilidad del modelo desarrollado se relaciona principalmente con su capacidad para apoyar procesos preliminares de evaluación y priorización predial en contextos rurales. En este sentido, la herramienta puede constituirse como un apoyo técnico para entidades e instituciones vinculadas a procesos de acceso y adquisición de tierras, facilitando la identificación inicial de predios potencialmente viables desde una perspectiva territorial.

Asimismo, el modelo puede resultar útil para actores particulares involucrados en procesos de adquisición predial, al permitir realizar análisis preliminares sobre las condiciones generales de un predio antes de desarrollar procesos de evaluación detallada o visitas técnicas en campo.

Debido a su estructura basada en información geoespacial y procesos automatizados de análisis espacial, la metodología desarrollada presenta potencial de adaptación y aplicación en otros territorios con características similares, siempre que se cuente con información oficial compatible y actualizada.

9 Conclusiones

La presente investigación permitió desarrollar e implementar un modelo de análisis espacial orientado a la evaluación de la prefectibilidad técnica para adquisición de predios rurales con enfoque campesino en el municipio de El Tambo, Cauca, mediante la integración de herramientas SIG y análisis multicriterio aplicado a escala predial.

Los resultados obtenidos evidenciaron un comportamiento consistente del modelo frente a diferentes escenarios territoriales, permitiendo identificar de manera adecuada predios con restricciones biofísicas, ambientales y territoriales, así como diferenciar distintos niveles de prefectibilidad en escenarios sin limitantes externas.

La integración de variables relacionadas con condiciones del terreno, restricciones normativas y contexto territorial permitió desarrollar una evaluación más objetiva y contextualizada de los predios rurales, evitando análisis basados en criterios aislados y fortaleciendo los procesos preliminares de priorización predial.

Asimismo, el modelo evidenció capacidad de discriminación frente a las condiciones internas de cada predio, demostrando que la ausencia de restricciones territoriales no garantiza automáticamente condiciones favorables de viabilidad productiva.

Desde el punto de vista técnico y operativo, la automatización implementada permitió optimizar procesos de análisis territorial y generación de resultados individuales, constituyéndose como una herramienta de apoyo para etapas preliminares de evaluación y planificación predial, tanto en contextos institucionales como particulares.

Finalmente, aunque los resultados corresponden a una evaluación preliminar y requieren complementarse con verificaciones técnicas, jurídicas y de campo, la metodología desarrollada presenta potencial de adaptación y aplicación en otros territorios rurales que cuenten con información geoespacial oficial compatible y actualizada.

10 Recomendaciones

Se recomienda que los resultados obtenidos mediante el modelo de prefectibilidad sean complementados con procesos de verificación en campo, con el fin de validar condiciones físicas, ambientales, sociales y productivas específicas de cada predio, especialmente en aspectos relacionados con drenajes, accesibilidad, estado actual del terreno y dinámicas territoriales locales.

Asimismo, se recomienda mantener procesos periódicos de actualización de la información geoespacial utilizada dentro del modelo, debido a que cambios en la cartografía oficial, restricciones territoriales, información predial y condiciones del territorio pueden influir en los resultados obtenidos.

De igual manera, futuras implementaciones del modelo podrían incorporar nuevas capas y variables territoriales que permitan fortalecer el nivel de detalle del análisis, incluyendo información relacionada con formalidad predial, construcciones, seguridad territorial, disponibilidad hídrica y otras condiciones relevantes para la evaluación técnica de predios rurales.

Finalmente, se recomienda continuar fortaleciendo herramientas de análisis espacial aplicadas a procesos de evaluación y priorización predial, promoviendo la integración de información geoespacial oficial y metodologías automatizadas que contribuyan a mejorar la toma de decisiones en contextos rurales.

Referencias

- Alcaldía Municipal de El Tambo. (2002). Plan Básico de Ordenamiento Territorial. Municipio de El Tambo, Cauca. El Tambo, Cauca , Colombia.
- ANT. (2017). Resolución 740 de 2017.
- ANT. (2024). MANUAL DE COMPRA DIRECTA DE PREDIOS PARA LA DIRECCIÓN DE ACCESO A TIERRAS DE. Bogotá.
- Bolaños Barrera, J. R. (2025). Análisis de viabilidad para el proceso de formalización de la zona rural del municipio de Campoalegre, Huila. Manizales.
- Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. (2010). *ANÁLISIS ESPACIAL CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA*. Luján - Argentina.
- CONGRESO DE COLOMBIA. (1997). LEY 388 DE 1997. Bogotá D.C.
- Correa Rojas, C. X., & Rojas Arismendi, J. E. (2017). ANÁLISIS MULTICRITERIO EN SIG PARA LA PROSPECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES AURÍFEROS. Bogotá D.C., Colombia.
- Cuaical Aguilar, F. L., & Gil Gómez , J. M. (2022). Lo Campesino, el Territorio y la Identidad: Análisis y Reconfiguraciones Desde el Diálogo de Saberes . Medellin, Antioquia, Colombia.
- DANE. (2021). *La información del DANE en la toma de decisiones regionales*. El Tambo - Cauca.
- Dirven, M., Echeverri Perico , R., Sabalain, C., Rodríguez, A., Candia Baeza , D., Peña, C., & Faiguenbaum, S. (2011, mayo). Hacia una nueva definición de “rural” con fines estadísticos en América Latina. Santiago de Chile, Chile.
- DNP. (2016). ACUERDO COT 010 DE 2016.
- DNP. (2016). Lineamientos para el ordenamiento territorial. Departamento Nacional de Planeación.
- Duarte Torres, C. A., LaRota Aguilera, M. J., Gómez, M. C., Ducká, E., Galindo, P. A., Valencia, D., & Trujillo, D. (2018, septiembre). La estructura de la propiedad rural en el Cauca: perspectivas sobre las Necesidades de tierra en contextos interculturales. Bogotá D.C.
- FAO. (1976). Goodchild, 2007: Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO].
- Fotheringham. (2000). *Geografía cuantitativa: perspectivas sobre el análisis de datos espaciales* . Sage.

- Goodchild. (2007). Citizens as sensors: The world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), 211–221., pp. <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>.
- Gutierrez Alarcón, J. C. (2024, julio 26). Buenas prácticas para la formulación, gestión y evaluación de proyectos de adquisición predial de zonas rurales en Colombia. Austria.
- IGAC. (2014). Metodología para la evaluación de tierras por su capacidad de uso. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- IGAC. (2021). CLASIFICACIÓN DE LAS TIERRAS POR SU CAPACIDAD. Bogotá D.C.
- Longley, e. a. (2015). *Geographic Information Systems and Science (4th ed.)*. Wiley.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015, 03 9). *Geographic Information Science and Systems*.
- Malczewski, J. (1999, abril). GIS and Multicriteria Decision Analysis.
- Mojica Bravo, Y. (2023). *LA COCA CONSTRUYE TERRITORIO*. Bogotá D.C.
- Ploeg, v. d. (2008). *Los nuevos campesinos: luchas por la autonomía y la sostenibilidad en una era de imperio y globalización*. Earthscan.
- Presidencia de la república. (2017). DECRETO LEY 902 DE 2017. Bogotá D.C, Colombia.
- Rahman. (2014). Evaluación del riesgo de erosión del suelo: un uso integrado de teledetección, SIG y enfoques estadísticos. pp. Catena, 120, 104–116.
- Santos Preciado, J. M. (2025). *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid.
- Valbuena Garcia, A. M., & Rodriguez Villamizar, L. A. (2018). Análisis espacial en epidemiología: revisión de métodos. Santander, Colombia.

Anexos

Anexo 1. Manual de instalación del modelo de evaluación de prefactibilidad técnica predial

El presente anexo describe el procedimiento para la instalación e integración de la herramienta de evaluación de prefactibilidad técnica predial en un nuevo proyecto de Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente en el entorno de ArcGIS Pro. Este procedimiento permite garantizar la correcta configuración del entorno de trabajo, así como la adecuada ejecución del modelo desarrollado en la presente investigación.

Requisitos previos

Para la correcta instalación del modelo, se requiere:

- Software **ArcGIS Pro** instalado y funcional
- Acceso a los archivos del modelo:
 - Prefactibilidad Predial.pyt
 - Archivos auxiliares (.xml)
 - Archivo de diseño de reporte (Reporte.pagx)
- Geodatabase base: *CARTOGRAFIA BASE.gdb*

Configuración del proyecto

El proceso de instalación se realiza mediante la creación y configuración de un nuevo proyecto en el entorno SIG, siguiendo las etapas que se describen a continuación.

Integración de archivos del modelo

En primer lugar, se debe crear un nuevo proyecto de tipo mapa en el entorno de trabajo. Posteriormente, en la carpeta asociada al proyecto, se deben copiar los siguientes archivos necesarios para el funcionamiento del modelo:

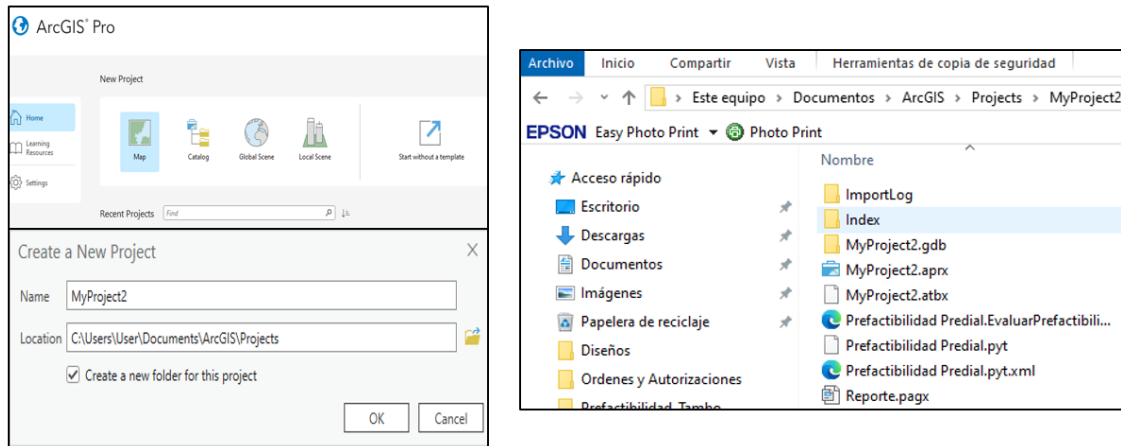
- Prefactibilidad Predial.pyt.xml
- Prefactibilidad Predial.pyt
- Prefactibilidad Predial.EvaluarPrefactibilidad.pyt.xml

Reporte.pagx

Se recomienda que, en esta misma ubicación, se almacene la geodatabase denominada *CARTOGRAFIA BASE.gdb*, la cual contiene la información espacial requerida para la ejecución del modelo.

Ilustración A1

Integración e instalación de la Herramienta



Conexión a la base de datos geográfica

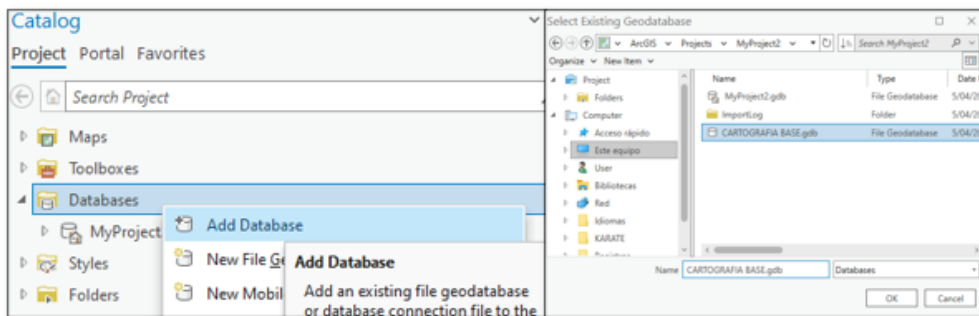
Una vez organizados los archivos, se debe establecer la conexión con la geodatabase desde el panel de catálogo del software. Para ello:

- Se accede a la sección *Catalog*
- Se selecciona la opción *Databases*
- Se realiza la conexión a la geodatabase *CARTOGRAFÍA BASE.gdb* ubicada en la carpeta del proyecto

Este paso permite disponer de las capas base necesarias para el análisis.

Ilustración A2

Conexión a la Base de Datos Geográfica



Incorporación del diseño de reporte

El modelo incluye un diseño de salida en formato de reporte, el cual debe ser integrado al proyecto.

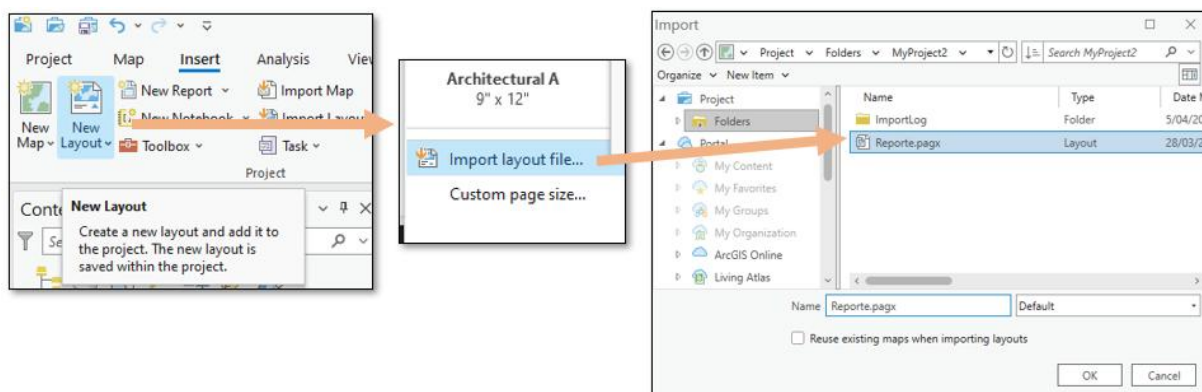
Para ello:

- Se accede a la pestaña *Insert*
- Se selecciona la opción de creación de un nuevo diseño (*New Layout*)
- Se importa el archivo de diseño *Reporte.pagx* desde la ubicación del proyecto

Este elemento es utilizado posteriormente para la generación automática de resultados en formato PDF.

Ilustración A3

Diseño del Layout



Incorporación de la herramienta de análisis

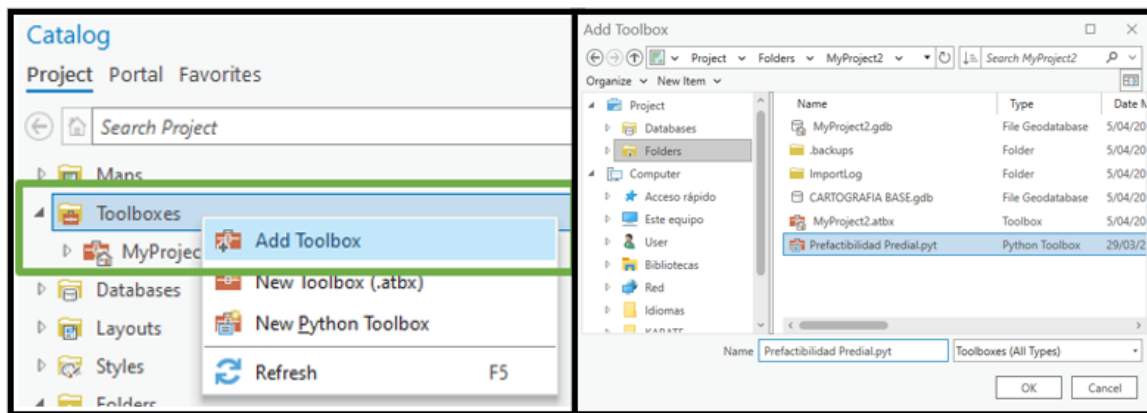
Finalmente, se procede a agregar la herramienta del modelo al proyecto mediante el panel de catálogo:

- Se accede a la sección *Toolboxes*
- Se realiza la conexión al archivo *Prefactibilidad Predial.pyt*

Una vez agregado, el proyecto queda configurado para la ejecución del modelo de evaluación de prefactibilidad técnica predial.

Ilustración A4

Incorporación Prefactibilidad Predial



Verificación de la instalación

Como resultado del proceso de instalación, el panel de catálogo debe reflejar la correcta incorporación de:

- La geodatabase base
- El diseño de reporte
- La herramienta de análisis

Esto confirma que el entorno de trabajo se encuentra adecuadamente configurado para la ejecución del modelo.

Anexo 2. Manual de uso del modelo de evaluación de prefactibilidad técnica predial

El presente anexo describe el procedimiento para la ejecución de la herramienta de evaluación de prefactibilidad técnica predial, desarrollada en el entorno de ArcGIS Pro. Este manual permite orientar al usuario en la correcta utilización del modelo, desde la selección de parámetros de entrada hasta la interpretación de los resultados generados.

Acceso a la herramienta

Una vez realizada la instalación del modelo (ver Anexo 1), la herramienta se encuentra disponible en el panel de catálogo dentro de la sección Toolboxes. Para su ejecución, se debe acceder al archivo Prefactibilidad Predial.pyt y seleccionar la herramienta denominada Evaluar Prefactibilidad, la cual se ejecuta desde el entorno de geoprocésamiento del software.

Parámetros de entrada

La herramienta requiere la definición de tres parámetros fundamentales para su ejecución:

Predio a evaluar

Corresponde al polígono sobre el cual se realizará el análisis de prefactibilidad técnica. Este insumo debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Ser una entidad de tipo polígono
- Contar con el atributo de área (*SHAPE_AREA*)
- Puede estar en formato *Feature Class* o *Shapefile*

Geodatabase de capas base

Corresponde a la base de datos geográfica suministrada para el desarrollo del modelo (*CARTOGRAFÍA BASE.gdb*), la cual contiene las capas necesarias para la evaluación, incluyendo:

- Restricciones territoriales
- Variables biofísicas
- Información de accesibilidad
- Condicionantes territoriales

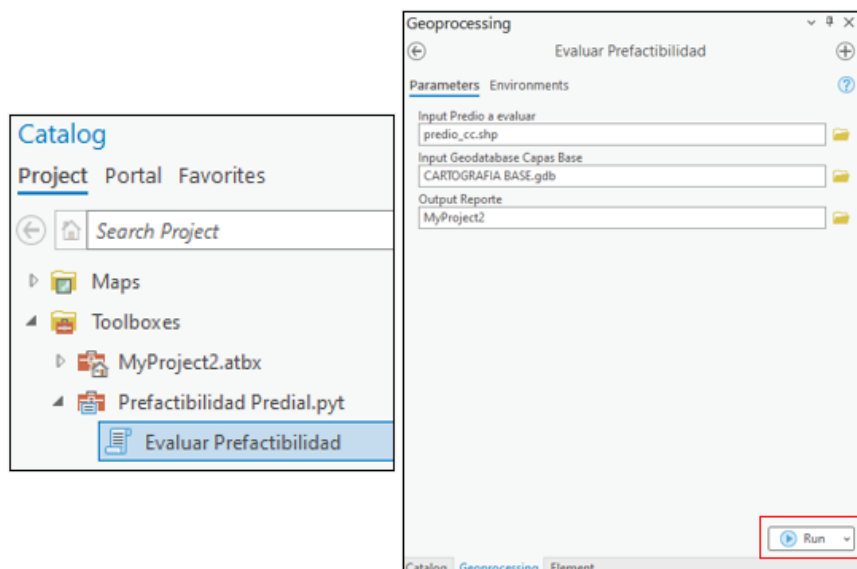
Esta geodatabase no debe ser modificada, ya que constituye el insumo base del modelo.

Ruta de salida del reporte

Corresponde a la ubicación en la cual se almacenará el reporte generado en formato PDF. Este reporte se construye a partir del diseño previamente configurado (*layout*) y contiene los resultados de la evaluación de prefactibilidad. Es importante tener en cuenta que el archivo será actualizado y sobrescrito en cada ejecución del modelo.

Ilustración A5

Rutas de información

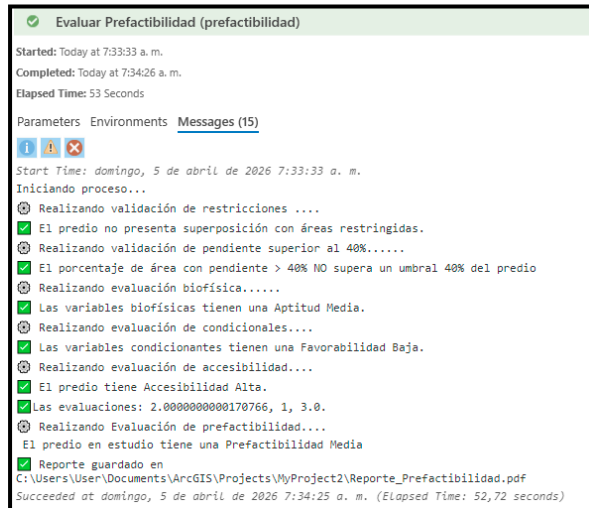


Ejecución del modelo

Una vez definidos los parámetros de entrada, se procede a ejecutar la herramienta. Durante este proceso, el sistema realiza de manera automática la evaluación del predio, aplicando los diferentes criterios definidos en el modelo. El avance del proceso puede ser consultado mediante la opción de visualización de detalles (*View Details*), en la cual se presentan las etapas de evaluación que está ejecutando el modelo.

Ilustración A6

Detalle del proceso



Generación de resultados

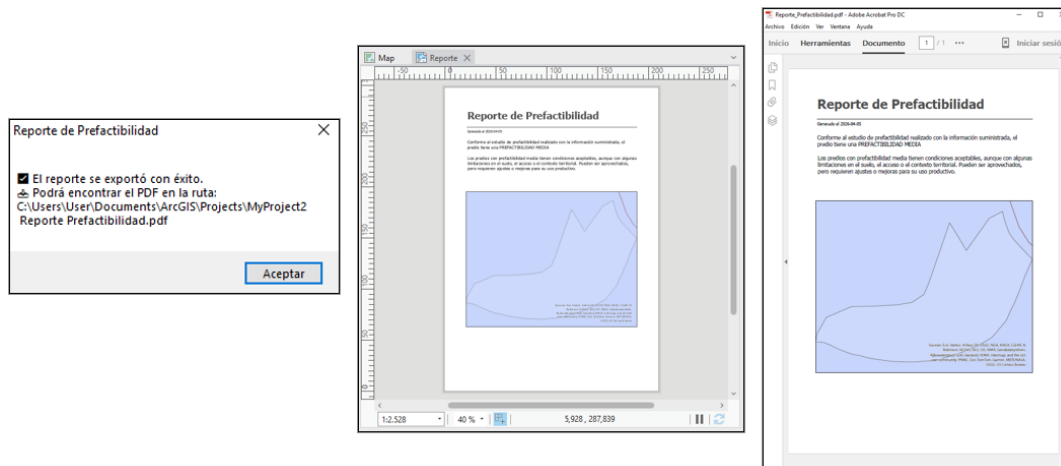
Al finalizar la ejecución, el sistema muestra un mensaje de confirmación indicando la ruta de almacenamiento del reporte generado. El resultado corresponde a un documento en formato PDF, el cual presenta de manera estructurada:

- La identificación del predio
- Los resultados de evaluación por criterio
- La clasificación final de prefactibilidad

Este reporte constituye la salida principal del modelo y permite interpretar de manera integral las condiciones del predio evaluado.

Ilustración A7

Resultado del Modelo



Consideraciones de uso

Para garantizar el correcto funcionamiento del modelo, se recomienda:

- Utilizar insumos espaciales que cumplan con los requisitos definidos
- No modificar la estructura de la geodatabase base
- Verificar la correcta configuración del proyecto antes de ejecutar la herramienta

Anexo 3. Código fuente del modelo de análisis espacial

Importación de librerías.

```
import arcpy
from arcpy import env
from arcpy.sa import *
import os
from datetime import datetime
```

Creación de las variables que se usarán en todo el sistema, los paths donde están las capas de estudio y los de salida.

```
#Referencia al proyecto, folder predeterminado y GDB activa
aprx = arcpy.mp.ArcGISProject("CURRENT") #referencia al proyecto actual
default_folder = os.path.dirname(aprx.filePath) #carpeta predeterminada del proyecto
default_gdb = aprx.defaultGeodatabase #Geodatabase predeterminada del proyecto
""PARAMETROS DE ENTRADA""

gdb_origen =
r"C:\Users\User\Documents\ArcGIS\Projects\Prefactibilidad_Tambo\CARTOGRAFIA
BASE.gdb"

#FeatureClass de análisis

fc_consejosComunitarios =
os.path.join(gdb_origen,"capas_base","consejos_comunitarios")
fc_resguardosIndigenas = os.path.join(gdb_origen,"capas_base","resguardos_indigenas")
fc_parquesNaturales = os.path.join(gdb_origen,"capas_base","pnn")
rt_dtm = os.path.join(gdb_origen,"dtm")

#biofisica
fc_capacidad_uso_suelo = os.path.join(gdb_origen,"capas_base","capacidad_uso_suelo")

#condicionales
fc_titulos_mineros = os.path.join(gdb_origen,"capas_base","titulos_mineros")
```

```
fc_densidad_coca = os.path.join(gdb_origen,"capas_base","densidad_coca")
#accesibilidad
fc_centro_poblado = os.path.join(gdb_origen,"capas_base","centro_poblado")
fc_vias =os.path.join(gdb_origen,"capas_base","red_vial")
fc_predio = os.path.join(default_folder,"Predios Prueba", "predio46.shp")
#PREDIOS DE PRUEBA
#predio46 (predio con clase suelo 4-6)
#predio_pnn (predio que intersecta con un parque natural)
#predio_tm (predio qye intersecta con un titulo minero)
#PREDIO_ESTUDIO.shp (predio con pendiente mayor al 40%)
""""RUTAS DE SALIDA""""
output_intersect = os.path.join(default_gdb, "intersect_predio") #interseccion
output_slope_percent = os.path.join(default_folder, "outslope02.tif")#pendiente por
porcentaje
output_reclassify_slope = os.path.join(default_folder,"MDT_Reclass.tif")#reclasificacion
output_polygon_slope = os.path.join(default_gdb, "output_polygons")#poligono de
pendientes
output_summarize = os.path.join(default_gdb, "summarize_table")#tabla summarize de
areas
output_near = os.path.join(default_folder,"near_table")#tabla near
""""CONSTANTES""""
DIAGNOSTICO = "Conforme al estudio de prefactibilidad realizado con la información
suministrada, el predio tiene una {}"
PREDIO_BAJA_FACTIBILIDAD = "Los predios con baja prefactibilidad presentan varias
limitaciones que dificultan su uso productivo
PREDIO_MEDIA_FACTIBILIDAD = "Los predios con prefactibilidad media tienen
condiciones aceptables, aunque con algunas limitacion
PREDIO_ALTA_FACTIBILIDAD = "Los predios con alta prefactibilidad cuentan con
buenas condiciones biofísicas, de acceso y baja pr
arcpy.env.overwriteOutput = True
```

Creación de la función que permitirá encontrar el valor de un campo en un feature class y con una consulta sql. Devolverá el valor del campo.

```
#Encuentra el valor del campo en la tabla de atributos de una capa
def encontrar_campo(feature_class, nombre_campo, query):
    valor_campo = 0.0
    with arcpy.da.SearchCursor(feature_class, nombre_campo, query) as cursor:
        for row in cursor:
            valor_campo += float(row[0])
    return valor_campo
```

Creación de la función que validará si dos capas se intersecta. Devolverá True si así es y False si no se superponen.

```
#Función para validar si el predio estudio se intersecta con las capas de restricción
#retorna True si no se intersecta, de lo contrario devolvera False
def validar_intersect_capas(fc_base, fc_predio, output_path):
    has_interseccion= False
    try:
        fc_interseccion=arcpy.analysis.Intersect([fc_base, fc_predio], output_path, "ALL")

        fc_result = arcpy.GetCount_management(fc_interseccion)
        i = fc_result.getOutput(0)

        if int(fc_result.getOutput(0)) != 0:
            has_interseccion = True
        else:
            has_interseccion = False

    return has_interseccion
```

```
except arcpy.ExecuteError:
    print(arcpy.GetMessages(2))
```

Evaluación de la pendiente que está en el predio, se crea la función calcular_pendiente. Recibe como parámetros el dtm, el predio y área del predio. La función devuelve el porcentaje del área del predio que se encuentra en una pendiente mayor al 40%.

```
#Función para calcular porcentaje de pendiente en el predio
#Retorna el porcentaje del área del predio que es > 40%
def calcular_pendiente(rt_dtm, fc_predio, area_predio):
    try:
        # Se revisa si se cuenta con ArcGIS Spatial Analyst extension license
        arcpy.CheckOutExtension("Spatial")

        # Se haya las pendientes a partir del dtm en porcentajes
        out_slope = Slope(rt_dtm, "PERCENT_RISE", "PLANAR", 1)
        out_slope.save(output_slope_percent)

        print ("Raster de pendientes generado con exito.")

        #Se definen los rangos para la reclasificación (Min, Max, NuevoValor) y se reclasifica
        el raster, 0-40 -> 1, 40-1000 ->
        remap = RemapRange([[0, 40, 1], [40, 1000, 2]])
        raster_reclasificado = Reclassify(output_slope_percent, "VALUE", remap, "DATA")
        raster_reclasificado.save(output_reclassify_slope)

        # Transforma el Raster de pendientes reclasificado a Poligonos
        arcpy.conversion.RasterToPolygon(output_reclassify_slope, output_polygon_slope,
        "SIMPLIFY", "VALUE")
        print("Conversión a polígonos realizada con éxito.")
```

```

#Intersección de la capa de pendientes con el predio de estudio
fc_intersect=arcpy.analysis.Intersect([output_polygon_slope,          fc_predio],
output_intersect, "ALL")
print("Intersección realizada con éxito.")

# Suma de las áreas que corresponden a cada clasificación de pendientes (0-40 -> 1,
40-1000 -> 2)
arcpy.analysis.Statistics(fc_intersect, output_summarize, [{"Shape_Area", "SUM"}],
"gridcode")

# Encontrar el valor del área mayor al 40%
area_pendiente = encontrar_campo(output_summarize, "SUM_Shape_Area" ,
"gridcode = 2")

#Halla el porcentaje del área del predio que tiene una pendiente mayor al 40%
porcentaje_area = (area_pendiente*100)/area_predio
print("Porcentaje pendiente >40%: " + str(round(porcentaje_area,2))+"%")
return porcentaje_area

except arcpy.ExecuteError:
    print(arcpy.GetMessage

```

En el caso de la evaluación biosfísica, se evalúa el área del predio que se encuentra en las diferentes clases de la capacidad del suelo. Si la clase es 1 o 2 se considera alta aptitud, para 3 y 4 media aptitud, y de 5 a 8 baja aptitud. Recibe como parámetros el predio, la capacidad de suelo y el área del predio. Devuelve el valor ponderado de acuerdo a las clases que se superpongan al predio.

```

#Función que evalúa la capacidad del suelo para la evaluación biofísicas
#Retorna el valor ponderado de acuerdo a las clase dentro del predio de estudio
def evaluar_biofisica (fc_predio, fc_base, area_predio):

```

```

try:
    #Interseccion entre las capas de estudio
    fc_intersect=arcpy.analysis.Intersect([fc_base, fc_predio], output_intersect, "ALL")

    # Suma de las áreas de acuerdo a la clase de la capacidad de suelo
    arcpy.analysis.Statistics(fc_intersect, output_summarize, [{"Shape_Area", "SUM"}],
    "CLASE")

    #Encontra, suma y estima el porcentaje de las áreas que cumplen con las condiciones
    para cada aptitud del suelo
        area_alta_aptitud  = (encontrar_campo(output_summarize, "SUM_Shape_Area",
    "CLASE = '1' OR CLASE = '2'")*1)/area_predio
        area_media_aptitud  = (encontrar_campo(output_summarize, "SUM_Shape_Area",
    "CLASE = '3' OR CLASE = '4'")*1)/area_predio
        area_baja_aptitud  = (encontrar_campo(output_summarize, "SUM_Shape_Area",
    "CLASE = '5' OR CLASE = '6' OR CLASE = '7' OR

    valor_ponderado                                     =
    (area_alta_aptitud*3)+(area_media_aptitud*2)+(area_baja_aptitud*1)

    return valor_ponderado

except arcpy.ExecuteError:
    print(arcpy.GetMessages(2))

```

Para evaluar las capas condicionantes, se identifica si la capas de títulos mineros y densidad de coca se intersectan con el predio. Si se valora en 1 hay un alto conflicto territorial y legal (intersectarse con densidad de coca o con las dos capas densidad de coca y títulos mineros), si se valora en 2 hay un conflicto potencial de uso del suelo (intersectarse con títulos mineros) y se valora en 3 cuando la capa no se intersecta con ninguna de estas capas. Los parametros de

entrada son las capas predio, titulo minero y densidad de coca. Devuelve el valor 1,2 o 3 de acuerdo a las condiciones dadas.

```
#Función encargada de calcular el impacto de las capas condicionantes Zonas de reservas
campesinas, Titulos mineros y Cultivos
#Retorna el valor de ponderación
def evaluar_condicionales(fc_predio, fc_titulos_mineros, fc_densidad_coca):
    cumple_condicionales = 1

    #Interseccion entre capa de titulos mineros el predio de estudio
    has_intersect_titulos_mineros = validar_intersect_capas(fc_titulos_mineros, fc_predio,
output_intersect)

    #Interseccion entre capa de cultivos de coca el predio de estudio
    has_intersect_cultivos_coca = validar_intersect_capas(fc_densidad_coca, fc_predio,
output_intersect)

    #Evalua los condicionantes para el predio estudio. Si:
    # Si, intersecta con la densidad de coca = 1
    # Con titulos mineros = 2
    # Si intersecta con las dos capas densidad de coca y titulos mineros = 1
    # Si no se intersecta con ninguna = 3
    if not(has_intersect_cultivos_coca or has_intersect_titulos_mineros):
        cumple_condicionales = 3
    elif (not has_intersect_cultivos_coca and has_intersect_titulos_mineros):
        cumple_condicionales = 2
    else:
        cumple_condicionales = 1

    return cumple_condicionales
```

Para poder realizar la evaluación de accesibilidad, se creó una función que encuentra el vecino más cercano al predio. Los parámetros de entrada son el predio y la capa de evaluación. Devuelve la distancia al objeto más cercano.

```
#Encuentra el vecino más cercano y crea una tabla
#Retorna la distancia al vecino más cercano en metros
def encontrar_vecino_cercano (fc_predio, fc_vecino):
    distancia = 0.0
    try:
        # Se ejecuta la herramienta GenerateNearTable
        arcpy.GenerateNearTable_analysis(
            in_features=fc_predio,
            near_features=fc_vecino,
            out_table=output_near,
            location="NO_LOCATION",
            angle="NO_ANGLE",
            closest="CLOSEST",
            method="PLANAR"
        )
        print(f"Análisis del vecino más cercano realizado con éxito.")
        #Distancia en metros
        distancia = encontrar_campo(output_near, "NEAR_DIST", "")
    except arcpy.ExecuteError:
        print(arcpy.GetMessages(2))
    except Exception as e:
        print(f"An error occurred: {e}")
    return distancia
```

En el caso de la Evaluación de accesibilidad, se encuentra la distancia al centro poblado y vía más cercana al predio. Se evalúa la distancia y se condera de la siguiente manera, para los centros poblados Alta accesibilidad (3): ≤ 2 km, Media accesibilidad (2): > 2 km y ≤ 5 km y Baja

accesibilidad (1): > 5 km. En el caso de las vías se considera Alta accesibilidad (3): ≤ 2 km, Media accesibilidad (2): > 2 km y ≤ 10 km, Baja accesibilidad (1): > 10 km. Dadas estas valoraciones, se pondera los resultados por importancia, sea la accesibilidad vial el 60% y la cercanía a centros poblados el 40%. Los parámetros de entrada son las capas predio, centros poblados y red vial. Devuelve el valor ponderado de la accesibilidad.

```
#Evalua la accesibilidad del predio con las cercanía a centros poblados y red vial
#Retorna el valor ponderado
def evaluar_accesibilidad(fc_predio, fc_centro_poblado, fc_vias):
    accesibilidad_total = 1
    accesibilidad_centro_poblado = 1
    accesibilidad_vial = 1

    distancia_centro_poblado = encontrar_vecino_cercano(fc_predio, fc_centro_poblado)

    if(distancia_centro_poblado <= 2000):
        accesibilidad_centro_poblado = 3
    elif(distancia_centro_poblado > 2000 <= 10000):
        accesibilidad_centro_poblado = 2
    else:
        accesibilidad_centro_poblado = 1

    distancia_vias = encontrar_vecino_cercano(fc_predio, fc_vias)

    if(distancia_vias <= 2000):
        accesibilidad_vial = 3
    elif(distancia_vias > 2000 <= 5000):
        accesibilidad_vial = 2
    else:
        accesibilidad_vial = 1
```

```
accesibilidad_total = (accesibilidad_vial*0.6) +(accesibilidad_centro_poblado*0.4)

return accesibilidad_total
```

Se implementa esta función para definir una calificación cualitativa al valor ponderado que permita al usuario identificar si es Baja, Media o Alta, de acuerdo a lo evaluado.

```
#Define el valor cualitativo de la calificación a partir de un valor cuantitativo
#Retorna el valor cualitativo
def definir_calificacion_cualitativa (valor):
    valor_cualitativo = ""
    if (valor <= 1.66):
        valor_cualitativo = "Baja"
    elif (valor >1.66 and valor <= 2.33):
        valor_cualitativo = "Media"
    elif (valor >2.33 and valor <= 3):
        valor_cualitativo = "Alta"
    return valor_cualitativo
```

Se crea la función encargada de generar el reporte en un layout llamado Reporte. Recibe como parámetros el proyecto activo, la lista de capas que estarán en el mapframe, el diagnóstico y las consideraciones. No devuelve ningún valor.

```
#Edita el Layout para el reporte como salida y pone las capas en el mapa
#No devuelve ningun valor
def generar_reporte(aprx, list_featureclass, diagnostico, consideracion):

    try:
        #Obtener el mapa que se desea mostrar
        map_existe = any(mp.name == "Map" for mp in aprx.listMaps())
        if map_existe:
```

```

current_map = aprx.listMaps("Map")[0]
for layer in current_map.listLayers():
    if not(layer.name == "World Topographic Map" or layer.name == "World
Hillshade" ):
        current_map.removeLayer(layer)
for lyr in list_featureclass:
    current_map.addDataFromPath(lyr)
name = current_map.listLayers()[0].name #obtener el nombre de la capa predio para
el extent
layouts = aprx.listLayouts()
for lyt in layouts:
    if (lyt.name == "Reporte"):
        # Seleccionamos los elementos texto de Layout a actualizar
        lyt.listElements("TEXT_ELEMENT", "Date")[0].text = "Generado el
{}".format(str(datetime.now().date()))
        lyt.listElements("TEXT_ELEMENT", "Diagnostico")[0].text = diagnostico
        lyt.listElements("TEXT_ELEMENT", "Consideracion")[0].text =
consideracion
        #Obtener el marco de mapa (Map Frame) por nombre
        map_frame = lyt.listElements("MAPFRAME_ELEMENT",
"Map_Frame")[0]
        target_layer = current_map.listLayers(name)[0]
        map_frame.map = current_map
        layer_extent = map_frame.getLayerExtent(target_layer)
        map_frame.camera.setExtent(layer_extent)

        lyt.openView()

pdf = os.path.join(default_folder,"Reporte_Prefactibilidad.pdf")
lyt.exportToPDF(pdf)
print(f" 📄 Reporte guardado en {pdf}")

```

```

else:
    print("No existe el Layout.")
else:
    print("El Map no es mapa activo.")
#aprx.save()
except arcpy.ExecuteError:
    print(arcpy.GetMessages(2))

```

Para realizar la prefactibilidad del predio se inicia validando las restricciones, verificando que no haya superposición entre las capas consejos comunitarios, resguardos indígenas y parques nacionales naturales y el predio. Si se llega a presentar, EL PREDIO ES NO FACTIBLE. Si el predio no tiene restricciones se evalúa que menos del 40% del área no se encuentre dentro de una pendiente mayor al 40%. Para esto buscamos el área del predio y calculamos la pendiente el dtm y la función calcular_pendiente. Si el predio supera el umbral del 40% de considera NO FACTIBLE. Si el predio cuenta con un porcentaje de área menor al 40% con pendiente > 40% o no supera el umbral, se continua con la evaluación biofísica, condicionantes y accesibilidad. Finalmente, se evalúa la prefactibilidad ponderando los valores devueltos por cada una de la evaluación de la siguiente manera, un 50% para la evaluacion_biofisica, un 30% para la evaluación de accesibilidad un 20% para la evaluación de condicionantes. Teniendo en cuenta que el resultado se clasificará en: Baja prefactibilidad = 1.0 – 1.66 Media prefactibilidad = 1.67 – 2.33 Alta prefactibilidad = 2.34 – 3.0 El resultado es la calificación cualitativa de acuerdo a lo anterior.

```

# Verificar si el origen existe
print("Realizando validación de restricciones ....")
has_intersect_ccomunitarios = validar_intersect_capas(fc_consejosComunitarios,
fc_predio,output_intersect)
has_intersect_pnn = validar_intersect_capas(fc_parquesNaturales,
fc_predio,output_intersect)
has_intersect_rindigenas = validar_intersect_capas(fc_resguardosIndigenas,
fc_predio,output_intersect)

```

```

if not(has_intersect_ccomunitarios or has_intersect_pnn or has_intersect_rindigenas):
    print("✅ El predio no presenta superposición con áreas restringidas.")
    print("\n⚠ Realizando validación de pendiente superior al 40%.....")
    area_predio = encontrar_campo(fc_predio, "Shape_Area", "")

#VALIDACIÓN DE PENDIENTE EN EL PREDIO DE ESTUDIO
has_pendiente = calcular_pendiente( rt_dtm, fc_predio, area_predio, )

if(has_pendiente <= 40):
    print("✅ El porcentaje de área con pendiente > 40% NO supera un umbral 40% del predio.")

#EVALUACIÓN BIOFISICA
print("\n⚠ Realizando Evaluación biofísica.....")
evaluacion_biofisica = evaluar_biofisica(fc_predio, fc_capacidad_uso_suelo,
area_predio)

print("✅ Las variables biofísicas tienen una Aptitud
{}.".format(definir_calificacion_cualitativa(evaluacion_biofisica)
##EVALUCIÓN DE CONDICIONANTES
print("\n⚠ Realizando Evaluación de condicionales....")
evaluacion_condicionantes = evaluar_condicionales(fc_predio, fc_titulos_mineros,
fc_densidad_coca)
print("✅ Las variables condicionantes tienen una Favorabilidad
{}.".format(definir_calificacion_cualitativa(evaluacion_
#EVALUACIÓN DE ACCESIBILIDAD
print("\n⚠ Realizando Evaluación de accesibilidad....")
evaluacion_accesibilidad = evaluar_accesibilidad(fc_predio, fc_centro_poblado,
fc_vias)

```

```

print("✅ El predio tiene Accesibilidad
{}".format(definir_calificacion_cualitativa(evaluacion_accesibilidad)))

print("\n⚙ Realizando Evaluación de prefactibilidad...")

evaluacion_prefactibilidad=(evaluacion_biofisica * 0.5)+(evaluacion_accesibilidad *
0.3)+(evaluacion_condicionantes * 0.2

prefactibilidad = definir_calificacion_cualitativa(evaluacion_prefactibilidad)

print(f"\n💡 El predio en estudio tiene una Prefactibilidad {prefactibilidad}".upper())

list_featureclass = [ fc_capacidad_uso_suelo, fc_densidad_coca, fc_titulos_mineros,
fc_centro_poblado, fc_vias, fc_predio

diagnostico = f"Conforme al estudio de prefactibilidad realizado con la información
suministrada, el predio tiene una PRE

consideracion = ""
if (prefactibilidad=="Alta"):
    consideracion = PREDIO_ALTA_FACTIBILIDAD
elif(prefactibilidad=="Media"):
    consideracion = PREDIO_MEDIA_FACTIBILIDAD
else:
    consideracion = PREDIO_BAJA_FACTIBILIDAD

generar_reporte(aprx, list_featureclass, diagnostico, consideracion)

else:
    consideracion = f"El porcentaje del área que se encuentra en una pendiente mayor al
40% es del {round(has_pendiente,2)}%,
print(f"❌ {consideracion}")
list_featureclass = [ fc_predio ]
generar_reporte(aprx, list_featureclass, "El predio es NO FACTIBLE.",
consideracion)
else:

```

```
print("❌ Existe superposición con áreas restringidas. El predio es NO FACTIBLE.")
list_featureclass = [ fc_parquesNaturales,fc_consejosComunitarios,
fc_resguardosIndigenas, fc_predio ]
```

generar_reporte(aprx, list_featureclass, "El predio es NO FACTIBLE.", "Existe superposición con áreas restringidas como Conse
Realizando validación de restricciones

✅ El predio no presenta superposición con áreas restringidas. ⚙ Realizando validación de pendiente superior al 40%.....

Raster de pendientes generado con éxito.

Conversión a polígonos realizada con éxito.

Intersección realizada con éxito.

Porcentaje pendiente >40%: 2.25%

✅ El porcentaje de área con pendiente > 40% NO supera un umbral 40% del predio.

⚙ Realizando Evaluación biofísica.....

✅ Las variables biofísicas tienen una Aptitud Media.

⚙ Realizando Evaluación de condicionales....

✅ Las variables condicionantes tienen una Favorabilidad Alta.

⚙ Realizando Evaluación de accesibilidad....

Análisis del vecino más cercano realizado con éxito.

La distancia al centro poblado más cercano es: 1092.7916210403755 metros

Análisis del vecino más cercano realizado con éxito.

✅ El predio tiene Accesibilidad Alta.

⚙ Realizando Evaluación de prefactibilidad....

📌 EL PREDIO EN ESTUDIO TIENE UNA PREFACTIBILIDAD ALTA



Reporte

guardado

en

C:\Users\User\Documents\ArcGIS\Projects\Prefactibilidad_Tambo\Reporte_Prefactibilidad.pdf