



Análisis Multicriterio Para La Evaluación Del Potencial De Suelos Suburbanos En Los
Municipios Del Altiplano Del Oriente Antioqueño

Presentado por:

Juan David Castaño Ramírez

Yuber Stiven Osorio Otálvaro

Propuesta de monografía como requisito para optar por el título de
especialista en Medio Ambiente y Geoinformática

Asesor

Juan José García Duque

Ingeniero Ambiental

Especialista en Medio Ambiente y Geoinformática

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Especialización en Medio Ambiente y Geoinformática

Medellín

2024

Cita	Castaño Ramírez & Osorio Otálvaro (2024).
Referencia	Castaño Ramírez, J.D, & Osorio Otálvaro, Y.S. (2024). <i>Análisis Multicriterio Para La Evaluación Del Potencial De Suelos Suburbanos En Los Municipios Del Altiplano Del Oriente Antioqueño</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Medio Ambiente y Geoinformática, Cohorte XIX.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.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 Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos

Contenido

Glosario	7
Resumen	10
Abstract	11
1. Introducción	12
2. Planteamiento del problema.....	14
3. Objetivos	16
3.1 Objetivo general	16
3.2 Objetivos específicos.....	16
4. Marco teórico	17
4.1 Análisis multicriterio	17
4.2 Metodología de Saaty	18
4.3 Integración del análisis multicriterio y la metodología de Saaty	18
4.4 Suelo suburbano	19
4.5 Umbral de suburbanización.....	20
4.6 Marco normativo	21
5. Metodología	24
5.1 Área de estudio	24
5.2 Identificación y selección de los criterios para el análisis multicriterio.....	24
5.2.1 Revisión documental	24
5.2.2 Selección de variables	25
5.2.3 Descripción de variables seleccionadas	26
5.2.4 Representación cartográfica de las variables seleccionadas	27

5.2.5	Reclasificación de las variables seleccionadas	31
5.3	Implementación de la Metodología Saaty (AHP)	33
5.3.1	Construcción de la Matriz de Comparación Pareada	33
5.3.2	Normalización de la Matriz.....	33
5.3.3	Generación del Vector de Pesos Relativos.....	34
	<i>Nota: La parte del peso relativo de las variables se acumula en la primero 5 variables del análisis multicriterio, con un peso del 87%.....</i>	<i>35</i>
5.4	Análisis multicriterio.....	35
5.4.1	Ponderación de las Variables	35
5.4.2	Modelo de Evaluación.....	35
5.5	Cálculo del Umbral de Suburbanización.....	36
6.	Resultados	37
6.1	Descripción y selección de los criterios clave.....	37
6.2	Resultados del Análisis Multicriterio.....	37
6.3	Análisis comparativo del Suelo Suburbano actual y el modelo propuesto	39
6.3.1	Concordancia entre el Suelo Suburbano Actual y el Modelo	40
6.4	Umbral de Suburbanización	41
7.	Conclusiones	44

Lista de tablas

Tabla 1 Regulación normativa de los suelos suburbanos en Colombia.	21
Tabla 2 Clasificación de las variables territoriales seleccionadas y fuente de la información.....	25
Tabla 3 Descripción de las 9 variables seleccionadas para el análisis multicriterio.	26
Tabla 4 Mapas temáticos para cada una de las 9 variables que sirven como insumo para el análisis multicriterio.	27
Tabla 5 Reclasificación y asignación de valores a variables de Suelos Suburbanos.	32
Tabla 6 Matriz de Comparación Pareada	33
Tabla 7 Matriz de normalización.....	34
Tabla 8 Peso relativo para las 9 variables.	35
Tabla 9 Reclasificación de valores algebra de mapas.	36
Tabla 10 Suelo suburbano actual y Potencial de suelo suburbano.....	42
Tabla 11 Umbral de Suburbanización para los municipios del altiplano.....	42

Lista de figuras

Figura 1. Mapa de los municipios que conforman el Altiplano del Oriente Antioqueño	13
Figura 2. Potencial de suelos suburbanos en el altiplano del oriente antioqueño.	38
Figura 3. Suelo suburbano actual para los 9 municipios del altiplano del Oriente Antioqueño. ...	39
Figura 4. Superposición de suelo suburbano actual y modelo obtenido en el análisis multicriterio.	41

Glosario

Vías de primer orden: Son aquellas que integran las principales zonas de producción y consumo del país, conectan con puertos y aeropuertos nacionales e internacionales, y comunican con otros países. Se caracterizan por un volumen de tránsito superior a 700 vehículos diarios, y deben ser construidas o mejoradas por compromiso del Gobierno a través de convenios internacionales. (Ministerio de transporte, 2020)

Vías de segundo orden: Son aquellas que permiten la comunicación entre dos o más municipios o con una vía de primer orden. Su volumen de tránsito es de 150 a 700 vehículos diarios. Estas vías sirven a poblaciones con más de 15,000 habitantes en su cabecera municipal. (Ministerio de transporte, 2020)

POT: Se define como el conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas adoptadas para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo. Es el instrumento básico para desarrollar el proceso de ordenamiento del territorio municipal. (Decreto 1232, 2020)

SINAP: Es el conjunto de áreas protegidas, actores sociales y estrategias e instrumentos de gestión que las articulan, para contribuir como un todo al cumplimiento de los objetivos de conservación del país. Incluye todas las áreas protegidas de gobernanza pública, privada o comunitaria, y del ámbito de gestión nacional, regional o local. (Parques Nacionales, 2024)

Sistemas de Información Geográfica (SIG): Es el conjunto integrado por herramientas, componentes, usuarios, hardware, software, procesos y metodologías que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial. Estos datos procesados permiten apoyar y facilitar la toma de decisiones de una manera más eficaz en la solución de problemas multidisciplinarios. (IGAC. 2024)

RASTER: Estructura fundamental de datos que consta de una matriz de celdas de igual tamaño, o píxeles, dispuestas en filas y columnas, y compuestas por una o varias bandas. Cada celda representa una ubicación en la superficie terrestre y contiene un valor numérico que representa un fenómeno o atributo particular, como la temperatura a una altura o profundidad determinadas, la

elevación o el valor de brillo de la imagen. Los grupos de celdas que comparten el mismo valor de coordenadas representan la misma entidad geográfica. (Diccionario SIG Esri, 2024)

Vector: Modelo de datos basado en coordenadas que representa las entidades geográficas como puntos, líneas y polígonos. Cada entidad de puntos se representa como un par de coordenadas simple, mientras que las entidades de línea y de polígonos se representan como listas ordenadas de vértices. Los atributos se asocian a cada entidad de vector, en contraposición al modelo de datos ráster que asocia los atributos a las celdas de la cuadrícula. (Diccionario SIG Esri, 2024)

Modelo de Elevación Digital – DEM: Ráster generado a partir de una muestra de elevaciones o profundidades registradas en una cuadrícula regular, que normalmente se utiliza para representar el terreno con el suelo al descubierto, sin vegetación ni entidades hechas por el ser humano; a veces se confunde con el modelo de terreno digital o el modelo de superficie digital. (Diccionario SIG Esri, 2024)

Suelo suburbano: Son las áreas ubicadas dentro del suelo rural, en las que se mezclan los usos del suelo y las formas de vida del campo y la ciudad, que pueden ser objeto de desarrollo con restricciones de uso, intensidad y densidad, garantizando el autoabastecimiento en servicios públicos domiciliarios, de conformidad con lo establecido en la Ley 99 de 1993 y la Ley 142 de 1994. (Ley 388 de 1997)

Suelo de protección. Constituido por las zonas y áreas de terreno localizados dentro de cualquiera de las anteriores clases, que, por sus características geográficas, paisajísticas o ambientales, o por formar parte de las zonas de utilidad pública para la ubicación de infraestructuras para la provisión de servicios públicos domiciliarios o de las áreas de amenazas y riesgo no mitigable para la localización de asentamientos humanos, tiene restringida la posibilidad de urbanizarse. (Ley 388 de 1997)

Suelo rural. Constituyen esta categoría los terrenos no aptos para el uso urbano, por razones de oportunidad, o por su destinación a usos agrícolas, ganaderos, forestales, de explotación de recursos naturales y actividades análogas. (Ley 388 de 1997)

Análisis Multicriterio: Es un instrumento que permite evaluar diversas posibles soluciones a un problema determinado, en el cual se usan herramientas que tienen múltiples criterios para facilitar la toma de decisiones y llegar a una solución óptima.

Umbral Máximo de suburbanización: Porcentaje máximo de suelo que puede ser clasificado como rural suburbano en un municipio o distrito (Decreto 3600 de 2007).

Zona franca: área geográfica delimitada dentro del territorio nacional, en donde se desarrollan actividades industriales de bienes y de servicios, o actividades comerciales, bajo una normatividad especial en materia tributaria, aduanera y de comercio exterior. Las mercancías ingresadas en estas zonas se consideran fuera del territorio aduanero nacional para efectos de los impuestos a las importaciones y a las exportaciones. (MinTIC, 2024)

Resumen

La presente investigación evalúa el potencial de los suelos suburbanos en los municipios del Altiplano del Oriente Antioqueño mediante un análisis multicriterio implementado en ArcGIS Pro, basado en la metodología AHP de Saaty. Este enfoque integró nueve variables clave, agrupadas en categorías como conectividad, características biofísicas, infraestructura y amenazas por fenómenos naturales, que fueron ponderadas para generar un modelo espacial. Los resultados identificaron áreas con alta, media y baja potencial para el desarrollo suburbano, destacando coincidencias significativas con las delimitaciones actuales de suelo suburbano en esta subregión, así como discrepancias relevantes. Asimismo, se calculó el umbral de suburbanización, evidenciando la necesidad de ajustar los límites establecidos en los POTs para garantizar un desarrollo equilibrado. Se concluye que la planificación territorial podría fortalecerse mediante esquemas asociativos que promuevan una gestión integral del territorio y un desarrollo sostenible. Este modelo es replicable en otras regiones con dinámicas similares, ofreciendo herramientas valiosas para la toma de decisiones informadas.

Palabras clave: Análisis multicriterio, metodología AHP, suelos suburbanos, Altiplano del Oriente Antioqueño, planificación territorial y suburbanización.

Abstract

This research evaluates the potential of suburban soils in the municipalities of the Altiplano del Oriente Antioqueño through a multi-criteria analysis implemented in ArcGIS Pro, based on Saaty's AHP methodology. This approach integrated nine key variables grouped into categories such as connectivity, biophysical characteristics, infrastructure, and natural hazard threats, which were weighted to generate a spatial model. The results identified areas with high, medium, and low suitability for suburban development, highlighting significant alignments with current suburban land designations in the region, as well as relevant discrepancies. Additionally, the suburbanization threshold was calculated, demonstrating the need to adjust limits established in POTs to ensure balanced development. The study concludes that territorial planning could be strengthened through associative schemes that promote integrated land management and sustainable development. This model is replicable in other regions with similar dynamics, providing valuable tools for informed decision-making.

Keywords: Multi-criteria analysis, AHP methodology, suburban soils, Altiplano del Oriente Antioqueño, territorial planning, suburbanization.

1. Introducción

En los últimos años Colombia ha experimentado un gran crecimiento de zonas urbanas en áreas que presentaban vocaciones afines a ruralidad (Ruiz & Linares, 2023). Una de las subregiones que ha vivido estas transformaciones es el Altiplano del Oriente antioqueño, conformado por los municipios de El Retiro, La Ceja, Rionegro, La Unión, El Carmen de Viboral, El Santuario, Marinilla, Guarne y San Vicente. Los cuales han presentado grandes transformaciones por factores como la construcción del Aeropuerto José María Córdova, la Autopista Medellín – Bogotá y más recientemente el Túnel de Oriente. Megaproyectos que han traído consigo un alto crecimiento urbanístico y demográfico.

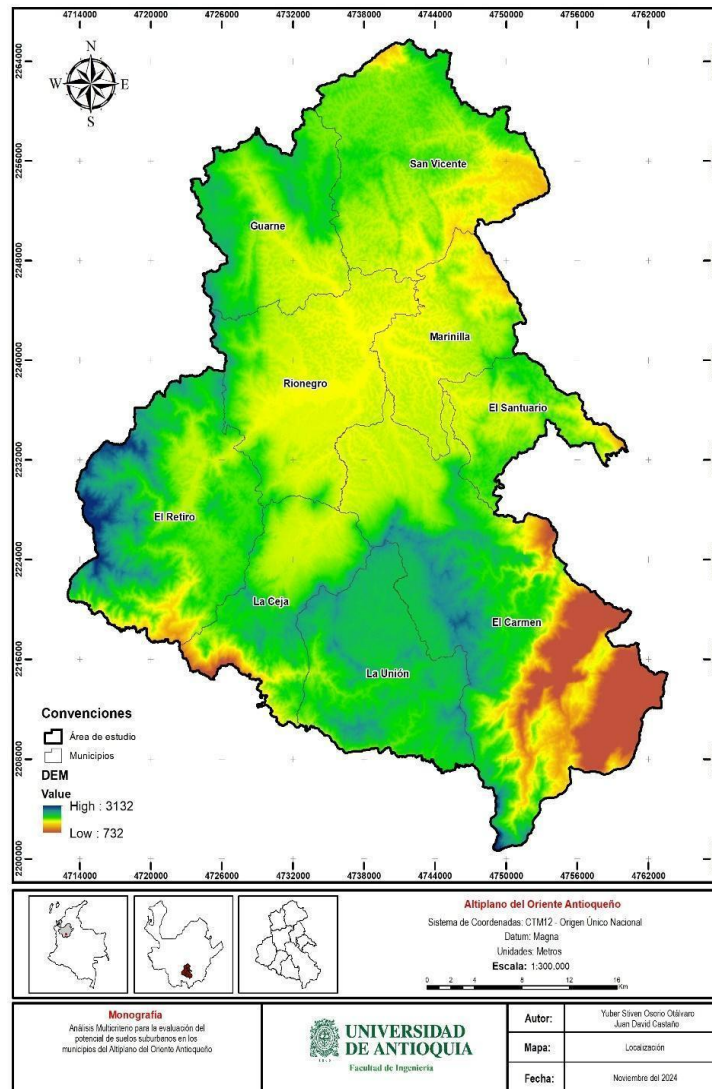
Lo que ha generado grandes desafíos para el ordenamiento territorial de la Subregión ante la problemática de un crecimiento descontrolado, que se acentúa más en las áreas rurales y su frontera con el perímetro urbano (Ramírez & Gómez, 2020). Por lo que actualmente se han creado más de 130 zonas suburbanas. Sin embargo, estas zonas no cumplen en su totalidad un desarrollo armónico, dejando de lado aspectos ambientales y socioeconómicos al apearse a normativas específicas que desconocen elementos de importancia en el territorio.

El presente trabajo tiene como finalidad evaluar el potencial de los suelos suburbanos en los municipios del altiplano del Oriente antioqueño por medio de un análisis multicriterio en el software Arcgis Pro, utilizando la metodología de Thomas L. Saaty (1980) como base para la ponderación de criterios. Para la consecución de este objetivo se plantea realizar las siguientes etapas; análisis territorial, desarrollo de un sistema de análisis multicriterio y el cálculo del umbral de suburbanización

Se espera que esta investigación mejore la forma en que se concibe actualmente el ordenamiento territorial en la Subregión, facilitando un desarrollo más sostenible y eficiente. Además, de un posible impacto en el desarrollo económico regional mediante la identificación de nodos de comercio y servicios en caso de incorporarse en el ordenamiento vigente, contribuyendo al bienestar de la población y la sostenibilidad ambiental. Este análisis multicriterio ofrece un

modelo replicable para otras regiones con dinámicas territoriales similares, promoviendo una gestión integral del suelo suburbano.

Figura 1. Mapa de los municipios que conforman el Altiplano del Oriente Antioqueño



Nota: Elaboración propia en el Software SIG ArcGIS a partir de un DEM Alos Palsar.

2. Planteamiento del problema

Las dinámicas de la región del Altiplano del Oriente Antioqueño han provocado importantes transformaciones en su territorio, impulsadas por la convergencia de diversos factores. Entre estos, destacan la construcción del Aeropuerto José María Córdova, la Zona Franca, los sistemas de transporte público, las vías de primer y segundo orden (como la Autopista Medellín - Bogotá), el crecimiento urbanístico y demográfico, así como la proximidad y conectividad con la ciudad de Medellín. A estos se suman el crecimiento económico, la accesibilidad a servicios públicos y los servicios ecosistémicos. Estos elementos han influido significativamente en la configuración de los suelos suburbanos, identificándose en la cartografía oficial de Cornare un total de 130 zonas suburbanas de diferentes tipos para el Altiplano del Oriente Antioqueño (según la clasificación de Categoría de Desarrollo Restringido).

Sin embargo, la configuración de los suelos suburbanos en los planes de ordenamiento territorial de la subregión ha priorizado el cumplimiento normativo por encima de la aplicación de metodologías que integren variables clave para un análisis más completo en el territorio, limitándose únicamente a cumplir con los requisitos normativos establecidos en el Artículo 10 del Decreto Nacional 3600 de 2007 compilado en el Decreto Nacional 1077 de 2015 (referente al ancho máximo y la cercanía a vías de primer y segundo orden). Además, lo estipulado por la CAR en cuanto a la extensión máxima del corredor suburbano desde la cabecera, según el Artículo 8 del Acuerdo 406 de Cornare de 2020.

En este contexto, el marco normativo colombiano, que incluye la Ley 99 de 1993 y la Ley 142 de 1994, establece directrices claras para equilibrar el desarrollo territorial con la sostenibilidad ambiental. No obstante, a pesar de los avances metodológicos en este ámbito, existen pocos estudios que se enfoquen específicamente en la evaluación del potencial de los suelos suburbanos en el Altiplano del Oriente Antioqueño, especialmente en lo que respecta a la identificación de áreas no susceptibles para el establecimiento de suelos suburbanos por razones ambientales, aunque podrían existir otros factores determinantes. Este vacío en la investigación resalta la necesidad urgente de profundizar en el análisis del uso sostenible del suelo en la región. Para ello, es crucial realizar ejercicios metodológicos que permitan identificar, de manera técnica y elaborada, los

suelos aptos para el establecimiento de suelos suburbanos, lo que contribuiría a una planificación territorial efectiva y a un desarrollo adecuado del territorio.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar el potencial de suelos suburbanos a través del análisis multicriterio en los municipios del altiplano del Oriente antioqueño

3.2 Objetivos específicos

- Describir los criterios clave para evaluar el potencial de los suelos suburbanos, considerando los factores de resistencia presentes en el territorio.
- Desarrollar un sistema de análisis multicriterio que integre y pondera los diferentes factores para evaluar el potencial de los suelos suburbanos.
- Calcular el umbral de suburbanización para los municipios del altiplano del oriente antioqueño.

4. Marco teórico

El presente marco teórico busca fundamentar el análisis del potencial del suelo suburbano en el altiplano del Oriente antioqueño, abordando los conceptos clave de las dinámicas de suburbanización, el marco normativo colombiano y el uso de herramientas metodológicas como el análisis multicriterio y los sistemas de información geográfica (SIG). Estos elementos proporcionan una base conceptual y metodológica para evaluar las áreas de transición entre lo rural y lo urbano, enmarcando el desarrollo sostenible en un contexto regional.

4.1 Análisis multicriterio

El análisis multicriterio es una técnica empleada en la toma de decisiones que permite considerar múltiples factores o criterios al mismo tiempo. La metodología Saaty, desarrollada por Thomas L. Saaty, es una de las herramientas más utilizadas en este tipo de análisis, ya que permite jerarquizar y comparar criterios de forma sistemática (Ortíz Melo, 2021). Este enfoque resulta especialmente útil en situaciones donde se deben sopesar diferentes variables antes de tomar una decisión. En este contexto, es fundamental comprender los principios básicos del análisis multicriterio y la metodología Saaty para poder aplicarlos de manera efectiva en un entorno de sistemas de información geográfica, como ArcGIS Pro.

El análisis multicriterio se basa en la idea de que las decisiones deben tomarse considerando no solo un criterio, sino múltiples aspectos relevantes. Para ello, se utilizan herramientas matemáticas y estadísticas que permiten cuantificar y comparar los diferentes criterios, a fin de llegar a una decisión informada y objetiva (López et al 2021). Se distinguen tres elementos clave: alternativas, criterios y preferencias. Las alternativas son las posibles soluciones o decisiones para evaluar, los criterios son los diferentes aspectos que se toman en consideración para evaluar las alternativas, y las preferencias son las valoraciones que se asignan a cada criterio en relación con cada alternativa. Estos conceptos básicos son fundamentales para comprender el funcionamiento y la utilidad del análisis multicriterio en la toma de decisiones (Muñoz Medina, 2022).

4.2 Metodología de Saaty

Por otra parte, la metodología Saaty es un enfoque que se utiliza en la toma de decisiones para analizar y priorizar múltiples criterios. Se basa en la teoría de la relatividad de las comparaciones, lo que significa que evalúa los criterios en relación unos con otros. Este enfoque proporciona una forma estructurada de comparar y jerarquizar los criterios, lo que es fundamental para la toma de decisiones informada y efectiva. Al aplicar la metodología Saaty, se pueden identificar las preferencias y los pesos de los diferentes criterios, lo que permite tomar decisiones fundamentadas y racionales (Corrales et al.2024). Los principios fundamentales de la metodología Saaty incluyen la construcción de una jerarquía de criterios, la comparación de la importancia relativa de los criterios y la generación de una matriz de comparación para determinar los pesos de los criterios. Estos fundamentos proporcionan una base sólida para el análisis multicriterio, ya que permiten una evaluación sistemática y coherente de los diferentes factores que influyen en la toma de decisiones. Al seguir estos principios, se puede aplicar la metodología Saaty de manera efectiva en diversos contextos, lo que resulta en decisiones más fundamentadas y alineadas con los objetivos establecidos (Manyoma-Velásquez, 2022).

4.3 Integración del análisis multicriterio y la metodología de Saaty

El análisis multicriterio y la metodología Saaty se aplican en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para evaluar y comparar diferentes escenarios o ubicaciones en función de múltiples criterios, como factores ambientales, sociales, económicos o infraestructurales. Esta herramienta es fundamental en la planificación urbana, la gestión de recursos naturales, la selección de sitios para proyectos de infraestructura, la evaluación de riesgos y la toma de decisiones en general. Con el uso de datos geospaciales y modelos matemáticos, el análisis multicriterio en SIG permite identificar áreas óptimas para ciertas actividades, así como determinar áreas de conflicto o con potencial de impacto negativo. Además, brinda la oportunidad de integrar la opinión de varios

expertos en la toma de decisiones, lo que enriquece el proceso y aumenta su legitimidad (Bąkowska-Waldmann, 2023).

4.4 Suelo suburbano

Las dinámicas y complejidades de las ciudades dan lugar a nuevos procesos de ocupación en las periferias, las cuales responden a sus propios factores políticos, sociales, económicos y ambientales. Lo anterior ha sido bien descrito en la literatura, donde se ha estudiado en profundidad el asentamiento de viviendas por fuera de los límites del perímetro urbano, identificando variables de este fenómeno como los periodos postguerra, el alto costo de vida en los grandes centros urbanos, la accesibilidad, la diversificación en los usos del suelo y la disponibilidad de servicios públicos y ecosistémicos. Estas áreas, conocidas como suelos suburbanos, se configuran como un entretejido entre un área y sus zonas de influencia, actuando a su vez como zonas de amortiguación entre lo rural y lo urbano (Scott & Storper, 2015). En este contexto, los suelos suburbanos se definen como áreas de transición entre lo rural y lo urbano, caracterizadas por una combinación de usos del suelo y estilos de vida propios del campo y la ciudad.

En el contexto colombiano, el término "suelo suburbano" fue introducido oficialmente en la Ley 388 de 1997, cuyo artículo 30 establece las clases de uso del suelo. A través de los artículos 33 y 34, esta ley categoriza los suelos rurales y suburbanos, definiendo este último como las áreas ubicadas dentro del suelo rural en las que se mezclan los usos del suelo y los estilos de vida del campo y la ciudad. Su desarrollo se regula bajo lineamientos establecidos por autoridades ambientales y entes territoriales, en relación con aspectos de intensidad, densidad y disponibilidad de servicios públicos, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 99 de 1993 y la Ley 142 de 1994.

Posteriormente, con la expedición del Decreto 3600 de 2007, compilado en el Decreto 1077 de 2015, se establecieron los lineamientos para incorporar los suelos suburbanos en los planes de ordenamiento territorial. Este decreto exige determinar el umbral máximo de suburbanización, la unidad mínima de actuación y la definición de usos del suelo para esta categoría. Además, el Artículo 10 del mismo decreto introduce la subcategoría de Corredores Viales Suburbanos,

definidos como zonas de influencia de 300 metros paralelas a vías de primer y segundo orden, en cumplimiento de las disposiciones de la Ley 1228 de 2008.

El altiplano del Oriente antioqueño, compuesto por los municipios de Rionegro, La Ceja, Guarne, El Retiro, El Carmen de Viboral, Marinilla, Santuario, La Unión y San Vicente, representa un caso emblemático en el desarrollo de suelos suburbanos en Colombia. En esta región, cuya autoridad ambiental es la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (CORNARE), se estableció mediante el Acuerdo 406 de 2020 un marco regulatorio específico para la adopción de umbrales máximos de suburbanización y la delimitación de corredores viales suburbanos en su jurisdicción. Actualmente, los nueve municipios del altiplano cuentan con suelo suburbano incorporado en sus planes de ordenamiento territorial, conforme a lo dispuesto en el Decreto 3600 de 2007. Esta región estratégica, cercana a Medellín, destaca por su conectividad vial, su diversidad ambiental y su importancia para el desarrollo territorial, aunque enfrenta retos significativos relacionados con el crecimiento acelerado, la presión sobre los recursos naturales y la gestión de riesgos ambientales, como los movimientos en masa.

4.5 Umbral de suburbanización

El umbral máximo de suburbanización es definido como el porcentaje máximo de suelo que puede ser clasificado como rural suburbano en un municipio o distrito. Este concepto, introducido en el Decreto 3600 de 2007, establece que los municipios y distritos deben determinar dicho umbral considerando el desarrollo de baja ocupación y densidad, las posibilidades de suministro de agua potable y saneamiento básico, y las normas de conservación ambiental (Departamento Administrativo de la Función Pública, 2007). La definición del umbral es una norma urbanística de carácter estructural y no puede ser modificada fuera de la revisión de largo plazo del plan de ordenamiento (SUIN Juriscol, 2007).

En el contexto del Altiplano del Oriente Antioqueño, la Corporación Autónoma Regional (CORNARE) ha adoptado criterios más restrictivos para los umbrales de suburbanización, limitando la expansión suburbana y estableciendo condiciones para los corredores viales suburbanos (CORNARE, 2020). Este enfoque busca controlar la dispersión urbana descontrolada

y proteger los recursos naturales, garantizando un equilibrio entre el crecimiento urbano y la conservación de áreas rurales. Sin embargo, estas restricciones son aplicables exclusivamente a los corredores viales, por lo que no se extienden a los suelos suburbanos que no forman parte de dichos corredores.

4.6 Marco normativo

El marco normativo en esta investigación define los parámetros legales y regulatorios que inciden en la clasificación y uso del suelo suburbano en el Oriente Antioqueño, específicamente en el Altiplano. Estas normativas establecen las bases para la clasificación del suelo, las restricciones de uso y la planificación urbana y rural, en consonancia con las políticas nacionales y locales. En particular, se consideran la Ley 388 de 1997, el Decreto 3600 de 2007, el Decreto 4066 de 2008, la Ley 1228 de 2008, los Acuerdos 173 de 2006 y 392 de 2019 de CORNARE, y el Decreto 1069 de 2009.

Tabla 1 Regulación normativa de los suelos suburbanos en Colombia.

Norma	Contenido Relacionado	Papel en la Generación de Suelos Suburbanos
Ley 99 de 1993	Se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.	Busca que el ordenamiento territorial cumpla con criterios de sostenibilidad y conservación de recursos naturales. Surgen las corporaciones autónomas regionales como ente regulador en materia ambiental.
Ley 142 de 1994	Se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.	Regula el desarrollo de infraestructura de servicios públicos domiciliarios. Proporciona las bases para la planificación, regulación y provisión de servicios esenciales. Elementos influyen directamente en la clasificación y uso del suelo.
Ley 388 de 1997	Regula el ordenamiento territorial, estableciendo en su Artículo 30 la clasificación del suelo en urbano, rural, de expansión urbana y otras categorías, y definiendo en el Artículo 34 el suelo	Proporciona la base para la delimitación y planificación del suelo suburbano, vinculando su gestión a los POT y su compatibilidad con el autoabastecimiento

Análisis Multicriterio Para La Evaluación Del Potencial De Suelos Suburbanos En Los Municipios Del Altiplano Del Oriente Antioqueño

	suburbano como zonas rurales con restricciones específicas.	en servicios públicos domiciliarios, de conformidad con lo establecido en la Ley 99 de 1993 y en la Ley 142 de 1994.
Decreto presidencial 097 de 2006	Reglamenta licencias urbanísticas en suelo rural y suburbano. Prohíbe parcelaciones para vivienda campestre en suelo rural y establece que los municipios deben garantizar el autoabastecimiento de servicios públicos en suelo suburbano.	Establece restricciones para evitar urbanizaciones descontroladas en suelo rural y suburbanización sin planificación, priorizando criterios ambientales y de uso sostenible.
Decreto 3600 de 2007 compilado en el Decreto 1077 del 2015	Regula el uso del suelo rural y suburbano, estableciendo umbrales máximos de suburbanización condicionados por las Corporaciones Autónomas Regionales, unidad mínima de 2 hectáreas para actividades en suelo suburbano; y usos permitidos, densidades e índices de ocupación. Además, limita los corredores viales suburbanos a áreas paralelas a vías de primer y segundo orden.	Refuerza el control sobre el desarrollo suburbano, garantizando densidades bajas y asegurando la infraestructura necesaria.
Decreto Presidencial 4066 de 2008 compilado en el Decreto 1077 del 2015	Ajusta el Decreto 3600, especificando condiciones para parcelaciones y zonas de exclusión vial, y permite excepciones al área mínima para construir una sola vivienda en predios rurales.	Introduce un ajuste que repercute en la densidad y ocupación del suelo suburbano al modificar el área mínima de actuación.
Ley 1228 de 2008	Establece fajas mínimas de retiro en vías, prohibiendo construcciones en estas áreas. Define un metraje mínimo de retiro de 60, 45 y 30 metros para vías de primer, segundo y tercer orden, respectivamente	Limita el uso del suelo suburbano en áreas cercanas a corredores viales principales, asegurando su preservación como zonas estratégicas de tránsito y conectividad.
Decreto Presidencial 1069 de 2009	Define el cálculo del índice de ocupación en suelo rural, excluyendo áreas destinadas a conservación, infraestructura vial y servicios públicos.	Establece criterios claros para determinar el área edificable en zonas de desarrollo restringido, limitando la ocupación y priorizando la protección de recursos naturales y paisajísticos.
Acuerdo 392 de 2019 (Cornare)	Deroga el Acuerdo 176 de 2006, define densidades máximas en zonas suburbanas y exige la conservación del 70% del área a desarrollar.	Actualiza las regulaciones para el manejo del suelo suburbano en el Oriente Antioqueño, integrando principios de sostenibilidad y ordenamiento territorial.
Acuerdo 406 de 2020 (Cornare)	Establece criterios más restrictivos para el manejo de suelo suburbano, incluyendo: umbrales máximos de suburbanización, extensiones limitadas para corredores viales suburbanos y exclusión de áreas protegidas.	Refuerza la regulación de las áreas suburbanas al exigir la integración de criterios ambientales, límites claros y densidades controladas, en concordancia con la Ley 388 y el Acuerdo 392.

Nota: Evolución normativa de los suelos suburbanos en la legislación colombiana

A partir de estas normativas, se identifican las variables esenciales para su evaluación mediante la metodología de Saaty, que serán insumo para el análisis multicriterio. Las regulaciones nacionales y locales establecen directrices como densidades máximas, áreas de retiro obligatorio y

requisitos de servicios públicos, garantizando un desarrollo sustentable. No obstante, es necesario complementar este marco con la normatividad específica de cada municipio para ajustar el análisis a las particularidades territoriales.

En conclusión, este marco teórico proporciona una base conceptual y normativa para analizar el potencial del suelo suburbano en el Altiplano del Oriente Antioqueño. Al integrar conceptos de suburbanización, normativas locales y herramientas como el análisis multicriterio, se busca aportar al desarrollo territorial sostenible y a la gestión de las transiciones entre lo rural y lo urbano en una región de alta presión social y ambiental. Este enfoque no solo fortalece la planificación territorial, sino que también reflexiona sobre el papel de los suelos suburbanos en la construcción de territorios más equilibrados y resilientes

5. Metodología

5.1 Área de estudio

El área de estudio abarca el Altiplano del Oriente Antioqueño, una subregión localizada en el departamento de Antioquia, que incluye los municipios de El Retiro, La Ceja, Rionegro, La Unión, El Carmen de Viboral, El Santuario, Marinilla, Guarne y San Vicente. Esta región se caracteriza por su altitud promedio de 2150 metros sobre el nivel del mar, con un rango que oscila entre los 1900 y 2400 metros, otorgándole un clima templado húmedo con temperaturas promedio entre 15 °C y 18 °C (IDEAM, 2018)

De acuerdo con el sistema de zonas de vida de Holdridge, el Altiplano corresponde principalmente a una zona de vida de Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB) (Holdridge, 1967), caracterizada por una precipitación anual que varía entre 1,800 y 2,500 mm. Esta clasificación refleja la predominancia de ecosistemas con alta biodiversidad y suelos con vocación agrícola, aunque sujetos a limitaciones por pendientes pronunciadas y alta susceptibilidad a la erosión. Estos factores condicionan tanto la potencial para actividades agrícolas como la ocupación para desarrollos suburbanos, enfatizando la necesidad de una planificación territorial ajustada a las características biofísicas del territorio (Ramírez & Gómez, 2020).

5.2 Identificación y selección de los criterios para el análisis multicriterio

Seleccionar los criterios clave que permiten evaluar el potencial de los suelos suburbanos en los municipios del Altiplano del Oriente Antioqueño. Esto implica considerar factores físicos, sociales, económicos y normativos que afectan el uso y la ocupación del territorio.

5.2.1 *Revisión documental*

Se llevó a cabo una revisión en la literatura académica, estudios técnicos y lineamientos normativos relevantes que abordan la planificación territorial, la gestión de suelos suburbanos y los enfoques de análisis multicriterio. Este proceso permitió identificar los factores determinantes que inciden en el desarrollo de los suelos suburbanos, así como las metodologías más adecuadas para evaluarlos. La información recopilada sirvió de base para seleccionar criterios clave, priorizando aquellos que integran aspectos ambientales, sociales, económicos y de infraestructura, esenciales para el análisis del territorio en los municipios del Altiplano del Oriente Antioqueño.

5.2.2 Selección de variables

Se identifican criterios clave que afectan el potencial de los suelos suburbanos, basados en los factores de resistencia y oportunidades. Estas variables se agrupan como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2 Clasificación de las variables territoriales seleccionadas y fuente de la información.

Grupo	Variables	Formato de origen	Fuente de la información
Conectividad e Infraestructura de Soporte	Proximidad a Vías de Primer Orden	Vectorial polilínea	Gobernación de Antioquia
	Proximidad a Vías de Segundo Orden	Vectorial polilínea	Gobernación de Antioquia
	Distancia a Cabeceras Urbanas	Vectorial polígono	Cornare - POTs
	Tiempo de Desplazamiento Cabecera Urbana	Vectorial polígono	SIPRA
	Infraestructura Altiplano	Vectorial punto	Cornare

	Influencia de Macroproyectos	Vectorial Polígono	Elaboración propia
Biofísico	Pendiente del Terreno	Ráster	Alos Palsar
	Áreas Protegidas	Vectorial Polígono	SINAP – Cornare 2024
Amenaza por Fenómenos Naturales	Amenaza de Movimientos en Masa	Ráster	Cornare

Nota: Tabla con variables para la ejecución del análisis multicriterio para el cálculo del potencial del suelo suburbano

5.2.3 Descripción de variables seleccionadas

Para evaluar el potencial de los suelos suburbanos en el Altiplano del Oriente Antioqueño, se identificaron variables agrupadas en categorías según su incidencia en el desarrollo territorial. Estas variables consideran factores como la conectividad, el soporte infraestructural, las características biofísicas del territorio y las amenazas naturales, todos ellos esenciales para determinar la viabilidad de un desarrollo suburbano. Cada criterio fue descrito, resaltando su relevancia para el análisis multicriterio y su integración en el modelo metodológico propuesto.

Tabla 3 Descripción de las 9 variables seleccionadas para el análisis multicriterio.

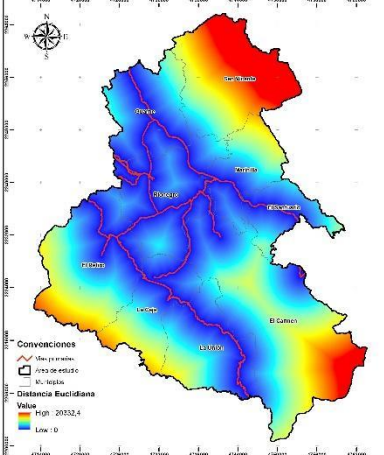
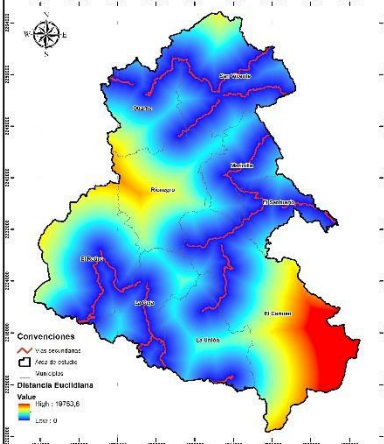
Grupo	Variable	Descripción de la Variable	Relevancia para el Análisis
Conectividad e Infraestructura	Proximidad a Vías de Primer Orden	Distancia desde el suelo suburbano a vías principales que facilitan la accesibilidad y conectividad.	Indica la viabilidad del acceso y transporte en concordancia con el Decreto 4066 de 2008.
	Proximidad a Vías de Segundo Orden	Distancia a carreteras secundarias, complementando la conectividad primaria.	Refuerza la integración territorial en zonas rurales.

	Distancia a Cabeceras Urbanas	Medición de la proximidad a centros urbanos para servicios y actividades socioeconómicas.	Representa la interacción con áreas urbanas cercanas y acoge la regulación del Acuerdo 392 de 2019 y los POTs
	Tiempo de Desplazamiento Cabecera Urbana	Tiempo requerido para alcanzar una cabecera urbana desde el suelo suburbano.	Evalúa la accesibilidad en términos de tiempo
	Infraestructura Altiplano	Cercanía a infraestructuras clave como colegios, empresas, hospitales entre otros.	Garantiza soporte para nuevos desarrollos.
	Influencia de Macroproyectos	Impacto de obras como la Autopista Medellín-Bogotá, el Aeropuerto y la zona franca en el desarrollo de las áreas suburbanas.	Condiciona las dinámicas de crecimiento territorial.
Biofísico	Pendiente del Terreno	Porcentaje de inclinación del terreno, que afecta la factibilidad constructiva y el drenaje.	Determina el potencial físico del terreno para el desarrollo de proyectos.
	Áreas Protegidas	Áreas del Sistema Regional de Áreas Protegidas (SIRAP) en la jurisdicción Cornare.	Restringe el desarrollo en zonas de alto valor ecológico en línea con la normativa ambiental.
Amenaza por Fenómenos Naturales	Amenaza de Movimientos en Masa	Presencia de zonas de riesgo geológico que afectan la estabilidad del suelo.	Limita la ocupación por riesgos de deslizamientos.

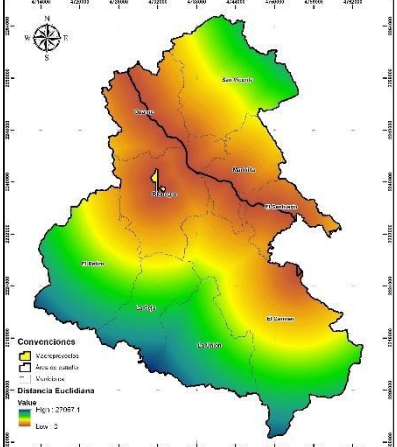
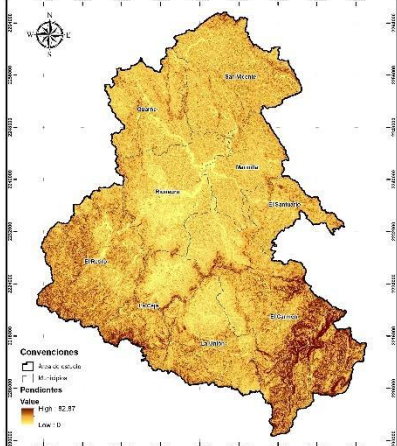
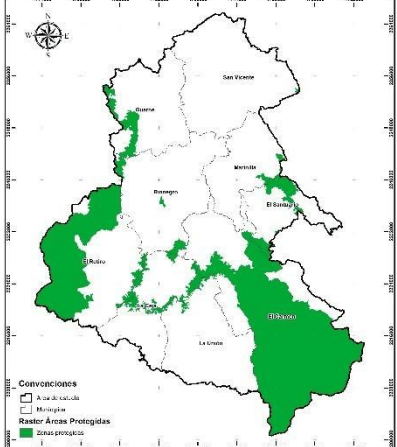
5.2.4 Representación cartográfica de las variables seleccionadas

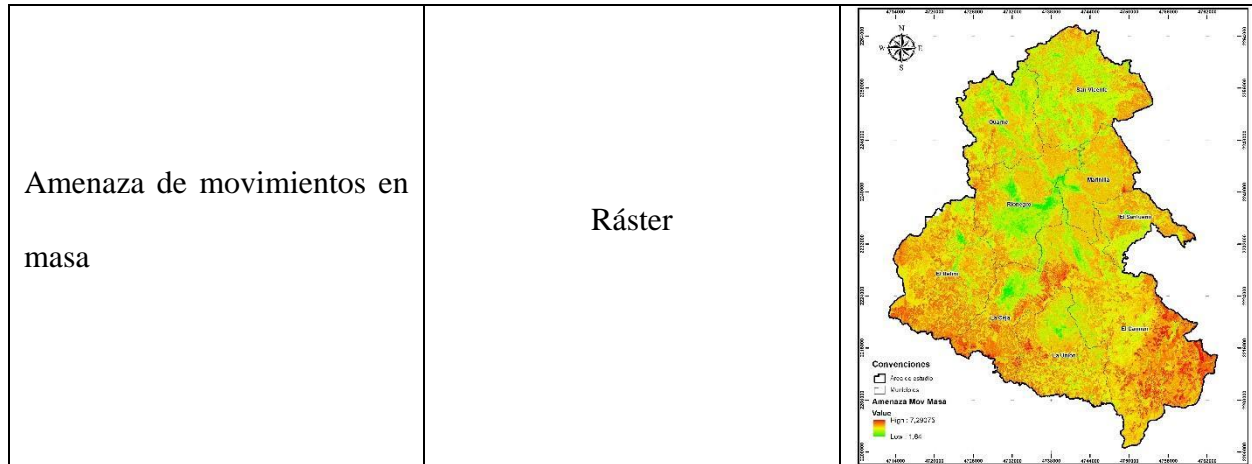
Como parte de la metodología, se generaron mapas que representan la distribución espacial de las variables seleccionadas, que serán los insumos para el análisis multicriterio. Estos mapas se construyeron utilizando el software ArcGis Pro. Los mapas resultantes constituyen la base para la ponderación e integración en el modelo multicriterio.

Tabla 4 Mapas temáticos para cada una de las 9 variables que sirven como insumo para el análisis multicriterio.

Variable	Herramienta de geoprocesamiento	Mapa
Proximidad a vías de primer orden	Distancia euclidiana	 <p>Este mapa muestra la proximidad euclidiana a las vías de primer orden en el Altiplano del Oriente Antioqueño. El mapa utiliza una escala de colores que va de azul (distancia mayor) a rojo (distancia menor). Se observan áreas de alta proximidad (rojo) cercanas a las vías principales. El mapa incluye una leyenda con los siguientes ítems: 'Convecciones' (líneas rojas), 'Vías de primer orden' (líneas azules), 'Municipios' (líneas negras), 'Distancia Euclidiana' (escala de colores) y 'Valor' (rango de 0 a 20532,4). El mapa también muestra una cuadrícula de coordenadas y una brújula.</p>
Proximidad a vías de segundo orden	Distancia euclidiana	 <p>Este mapa muestra la proximidad euclidiana a las vías de segundo orden en el Altiplano del Oriente Antioqueño. El mapa utiliza una escala de colores que va de azul (distancia mayor) a rojo (distancia menor). Se observan áreas de alta proximidad (rojo) cercanas a las vías secundarias. El mapa incluye una leyenda con los siguientes ítems: 'Convecciones' (líneas rojas), 'Vías de segundo orden' (líneas azules), 'Municipios' (líneas negras), 'Distancia Euclidiana' (escala de colores) y 'Valor' (rango de 0 a 19753,6). El mapa también muestra una cuadrícula de coordenadas y una brújula.</p>

<p>Distancia a cabeceras urbanas</p>	<p>Distancia euclidiana</p>	
<p>Tiempo de desplazamiento a cabecera urbana</p>	<p>Polígono a Ráster</p>	
<p>Infraestructura altiplano</p>	<p>Distancia euclidiana</p>	

Influencia de macroproyectos	Distancia euclidiana	 <p>This map displays the Euclidean distance from various macroprojects (indicated by yellow squares) across the study area. The distance is represented by a color gradient from green (low distance) to red (high distance). The legend includes 'Convencciones' for macroproject areas and 'Distancia Euclidiana' with a value range from 0 to 27097.1.</p>
Pendiente del terreno	Pendiente	 <p>This map shows the slope of the terrain across the study area. The slope is represented by a color gradient from light yellow (low slope) to dark brown (high slope). The legend includes 'Convencciones' for macroproject areas and 'Pendientes' with a value range from 0 to 82.87.</p>
Áreas protegidas	Polígono a Ráster	 <p>This map illustrates the conversion of protected areas from a polygon format to a raster format. The protected areas are shown as green polygons. The legend includes 'Convencciones' for macroproject areas and 'Ráster Áreas Protegidas' for the converted protected areas.</p>



Nota: Distribución de cada de una de las variables seleccionadas para el procesamiento del análisis multicriterio

5.2.5 Reclasificación de las variables seleccionadas

En esta etapa, se procesaron las 9 variables seleccionadas mediante ArcGIS Pro. El procedimiento comenzó con la rasterización de cada una de las variables, transformándolas en capas geográficas continuas que permitieran su análisis espacial. Posteriormente, se aplicó una reclasificación a cada capa, asignando valores según su relevancia para el análisis multicriterio. Los valores asignados se establecieron en un rango que varía entre 1 y 10 basados en criterios específicos para cada variable como se observa en la Tabla 5. Este proceso permitió homogenizar las variables en un formato comparable, facilitando su integración en el modelo de análisis multicriterio.

Tabla 5 Reclasificación y asignación de valores a variables de Suelos Suburbanos.

Capa/Variable	Rango o Categoría	Valor Asignado	Criterio
Proximidad vías de primer orden	Menor o igual a 330 m	10	Se prioriza el cumplimiento del Decreto 4066 de 2008 compilado en el Decreto 1077 de 2015.
	Mayor a 330 m	1	
Proximidad vías de segundo orden	Menor o igual a 322.5 m	10	
	Mayor a 322.5 m	1	
Infraestructura Altiplano	Entre 0 a 1 km	10	Se prioriza la cercanía a infraestructura como elementos que configuran suelos suburbanos
	Mayor a 1 km	1	
Macroproyectos	Menor de 7 km	10	Se prioriza el potencial para activar dinámicas en el entorno a través de la generación de cadenas de valor.
	Entre 7 a 14 km	7	
	Entre 14 a 21 km	3	
	Mayor de 21 km	1	
Distancia a cabeceras urbanas	La Unión - San Vicente Entre 0 a 3 km	10	Se prioriza el cumplimiento del Acuerdo 406 de 2020 (CORNARE)
	La Unión - San Vicente Mayor a 3 km	1	
	Entre 0 a 5 km	10	
	Mayor a 5 km	1	
Pendiente del terreno	Entre 0 a 3 %	10	Se prioriza el potencial físico del terreno para el desarrollo de proyectos
	Entre 3 a 7 %	9	
	Entre 7 a 12 %	8	
	Entre 12 a 25 %	6	
	Entre 25 a 50 %	4	
	Entre 50 a 75 %	2	
	Mayor a 75 %	1	
Áreas protegidas	Dentro de área protegida	1	Se prioriza suelos por fuera de áreas protegidas dado que no contiene factores de restricción ambiental
	Fuera de área protegida	10	
Amenaza por movimientos en masa	Amenaza baja	6	Se prioriza el bajo riesgo por deslizamientos
	Amenaza media	3	
	Amenaza alta	1	
Tiempo de desplazamiento Cabecera urbana	Menor a 1 hora	10	Se prioriza la accesibilidad en términos de tiempo
	Entre 2 a 3 horas	5	
	Mayor de 3 horas	1	

Nota: En la variable Distancia a cabeceras urbanas los municipios de La Unión y San Vicente presentan una condición de proximidad menor a 3 km para la configuración de suelos suburbanos, en el caso del resto de municipios es 5 km. Los rangos o categorías con peso de 10 se asocian al cumplimiento de las regulaciones normativas que son determinantes para la configuración de los suelos suburbanos.

5.3 Implementación de la Metodología Saaty (AHP)

Para evaluar el potencial de los suelos suburbanos en los municipios del Altiplano del Oriente Antioqueño, se implementó la Metodología de Análisis Jerárquico de Procesos (AHP) propuesta por Saaty. Este enfoque permitió jerarquizar y ponderar las variables seleccionadas, integrándolas en un modelo multicriterio. El procedimiento constó de las siguientes etapas:

5.3.1 Construcción de la Matriz de Comparación Pareada

A partir de las variables reclasificadas, se construyó una matriz de comparación pareada en la que cada par de criterios fue evaluado en términos de su importancia relativa. Se utilizó la escala de Saaty, con valores que van desde 1 (igual importancia) hasta 9 (máxima importancia de un criterio sobre otro).

Tabla 6 Matriz de Comparación Pareada

VARIABLE	PVPO	PVSO	DCU	AP	PT	MP	IA	AMM	TDCU
PVPO	1	2	3	4	3	6	6	7	8
PVSO	0.5	1	3	4	3	6	6	7	8
DCU	0.33	0.33	1	1	5	7	8	6	9
AP	0.25	0.25	1	1	3	6	7	3	9
PT	0.33	0.33	0.2	0.33	1	5	6	3	8
MP	0.17	0.17	0.14	0.17	0.2	1	3	2	6
IA	0.17	0.17	0.13	0.14	0.17	0.33	1	2	6
AMM	0.14	0.14	0.17	0.33	0.33	0.5	0.5	1	5
TDCU	0.13	0.13	0.11	0.11	0.13	0.17	0.17	0.2	1
TOTAL	3.01	4.52	8.75	11.08	15.83	32	37.67	31.2	60

Nota Las abreviaturas utilizadas en la matriz corresponden a las siguientes variables: PVPO (Proximidad a Vías de Primer Orden), PVSO (Proximidad a Vías de Segundo Orden), DCU (Distancia a Cabeceras Urbanas), AP (Áreas Protegidas), PT (Pendiente del Terreno), MP (Macroproyectos), IA (Infraestructura Altiplano), AMM (Amenaza por Movimientos en Masa) y TDCU (Tiempo de Desplazamiento a Cabecera Urbana).

5.3.2 Normalización de la Matriz

Cada valor de la matriz de comparación fue dividido por el total de su respectiva columna, lo que permitió obtener una matriz normalizada en la que los valores reflejan proporciones comparativas estandarizadas. A partir de esta matriz normalizada, se calcularon los pesos relativos de cada criterio, los cuales representan su contribución porcentual al análisis multicriterio y sirven como base para ponderar las variables en el modelo final.

Tabla 7 Matriz de normalización.

VARIABLE	PVPO	PVSO	DCU	AP	PT	MP	IA	AMM	TDCU
PVPO	0.331	0.443	0.343	0.361	0.19	0.188	0.159	0.224	0.133
PVSO	0.166	0.221	0.343	0.361	0.19	0.188	0.159	0.224	0.133
DCU	0.11	0.074	0.114	0.09	0.316	0.219	0.212	0.192	0.15
AP	0.083	0.055	0.114	0.09	0.19	0.188	0.186	0.096	0.15
PT	0.11	0.074	0.023	0.03	0.063	0.156	0.159	0.096	0.133
MP	0.055	0.037	0.016	0.015	0.013	0.031	0.08	0.064	0.1
IA	0.055	0.037	0.014	0.013	0.011	0.01	0.027	0.064	0.1
AMM	0.047	0.032	0.019	0.03	0.021	0.016	0.013	0.032	0.083
TDCU	0.041	0.028	0.013	0.01	0.008	0.005	0.004	0.006	0.017

Nota Las abreviaturas utilizadas en la matriz corresponden a las siguientes variables: PVPO (Proximidad a Vías de Primer Orden), PVSO (Proximidad a Vías de Segundo Orden), DCU (Distancia a Cabeceras Urbanas), AP (Áreas Protegidas), PT (Pendiente del Terreno), MP (Macroproyectos), IA (Infraestructura Altiplano), AMM (Amenaza por Movimientos en Masa) y TDCU (Tiempo de Desplazamiento a Cabecera Urbana).

5.3.3 Generación del Vector de Pesos Relativos

Los pesos finales de cada criterio se determinaron a partir del promedio de las filas de la matriz normalizada. Estos valores fueron integrados en el modelo multicriterio para ponderar cada capa geográfica en el análisis multicriterio. Los pesos calculados con la metodología AHP se aplicaron a las capas geográficas rasterizadas, generando un mapa ponderado que refleja el potencial de los suelos suburbanos. Este mapa integra todas las variables con base en su relevancia y permite identificar zonas con alto medio y bajo potencial para el desarrollo.

Tabla 8 *Peso relativo para las 9 variables.*

VARIABLE	PESO RELATIVO %
Proximidad Vías Primer Orden	26.35%
Proximidad Vías Segundo Orden	22.05%
Distancia a cabeceras Urbanas	16.42%
Áreas Protegidas	12.80%
Pendiente del Terreno	9.39%
Macroproyectos	4.57%
Infraestructura Altiplano	3.68%
Amenaza por movimiento en Masa	3.26%
Tiempo de Desplazamiento Cabecera Urbana	1.47%

Nota: La parte del peso relativo de las variables se acumula en la primero 5 variables del análisis multicriterio, con un peso del 87%

5.4 Análisis multicriterio

El análisis multicriterio se llevó a cabo utilizando las variables seleccionadas y los pesos relativos obtenidos mediante la metodología AHP (Saaty). Estas variables se integraron en el entorno de ArcGIS Pro, para generar un modelo espacial ponderado que permite identificar las áreas con mayor potencial para el desarrollo de suelos suburbanos.

5.4.1 Ponderación de las Variables

En la herramienta Raster Calculator de ArcGIS Pro, cada capa reclasificada fue multiplicada con su respectivo peso relativo, previamente calculado. Obteniendo así una capa ponderada que refleja la contribución relativa de cada criterio.

5.4.2 Modelo de Evaluación

Como resultado del álgebra de mapas, se obtuvo una superficie de valores continuos entre 1 y 9, que representa el índice de potencial para suelos suburbanos. Este modelo fue reclasificado en categorías de potencial alto, medio y bajo, facilitando la interpretación y priorización territorial.

Tabla 9 Reclasificación de valores álgebra de mapas.

<i>Potencial</i>	<i>Rango de clasificación del álgebra de mapas</i>
<i>Alto</i>	<i>Entre valores 7 y 9</i>
<i>Medio</i>	<i>Entre valores 4 y 6</i>
<i>Bajo</i>	<i>Entre valores 1 y 3</i>

Nota: Reclasificación de valores obtenidos a partir del álgebra de mapas para definir los rangos de potencial de suelo suburbano.

5.5 Cálculo del Umbral de Suburbanización

El umbral de suburbanización establece el porcentaje máximo de suelo rural que puede clasificarse como suburbano. Este valor se calculó determinando la relación entre la superficie potencial de suelo suburbano identificada a través del análisis multicriterio y la superficie rural total de cada municipio. Posteriormente, este porcentaje fue contrastado con los umbrales previamente establecidos en la cartografía oficial de los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios.

6. Resultados

6.1 Descripción y selección de los criterios clave

En el desarrollo metodológico se identificaron y describieron los criterios clave para evaluar el potencial de los suelos suburbanos, tal como se plantea en el primer objetivo. Estos criterios, agrupados en categorías como conectividad e infraestructura, biofísico y amenazas por fenómenos naturales, representaron los insumos para el análisis multicriterio.

De acuerdo con la sección 5.2 de la metodología, los nueve criterios seleccionados fueron representados cartográficamente, reclasificados según su relevancia para el análisis y ponderados mediante la metodología de Saaty. Este proceso permitió estructurar una base sólida que integró las variables seleccionadas en el modelo espacial. Los detalles específicos de esta etapa metodológica se encuentran en las Tablas 2, 3 y 5, y se reflejan en los mapas temáticos elaborados.

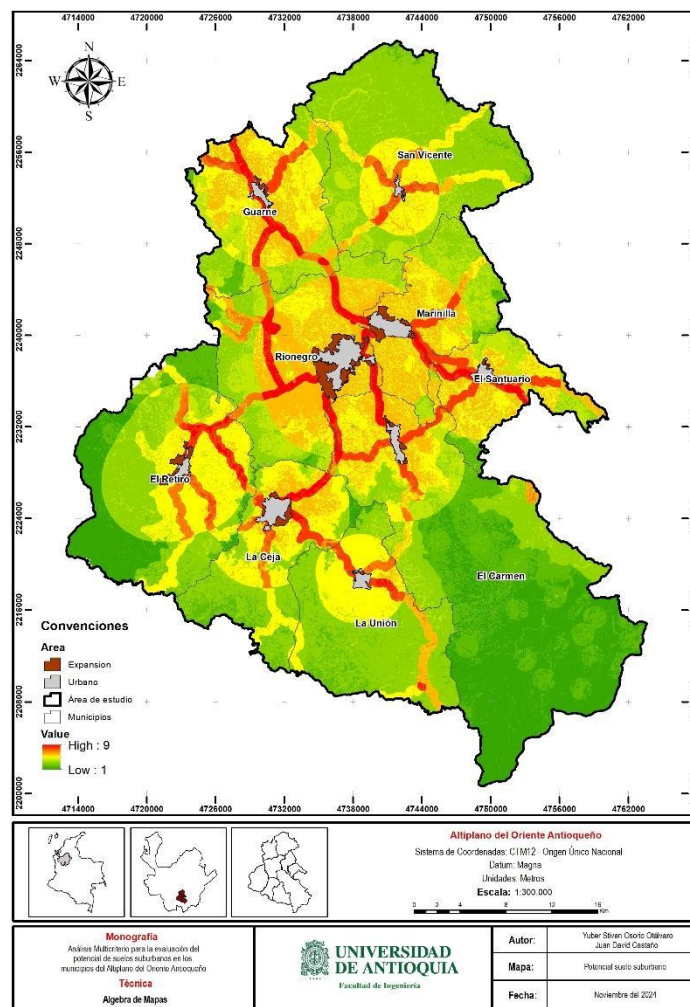
6.2 Resultados del Análisis Multicriterio

El modelo generado a través del análisis multicriterio permitió identificar áreas con diferentes niveles de potencial para el desarrollo de suelos suburbanos en los municipios del Altiplano del Oriente Antioqueño.

- Zonas de potencial alto: Representan las áreas con mayor potencial para el desarrollo suburbano, gracias a una combinación favorable de las 9 variables introducidas, destacando las de mayor peso relativo como proximidad a vías principales, distancia a cabeceras urbanas, que no se encuentre en área protegida y una baja pendiente del terreno.
- Zonas de potencial medio: Incluyen áreas que presentan limitaciones moderadas, como pendientes más pronunciadas, mayor distancia a cabeceras urbanas o puntos de equipamientos. Estas zonas ofrecen un potencial intermedio, y podrían representar usos suburbanos bajo restricciones más altas.

- Zonas de potencial bajo: Corresponden a áreas con altas pendientes, presencia de amenaza por fenómenos naturales como movimientos en masa o proximidad a áreas protegidas, lo que limita su viabilidad para un uso suburbano. Estas áreas se encuentran mayormente en municipios como San Vicente, La Unión y el Carmen de Viboral.

Figura 2. *Potencial de suelos suburbanos en el altiplano del oriente antioqueño.*

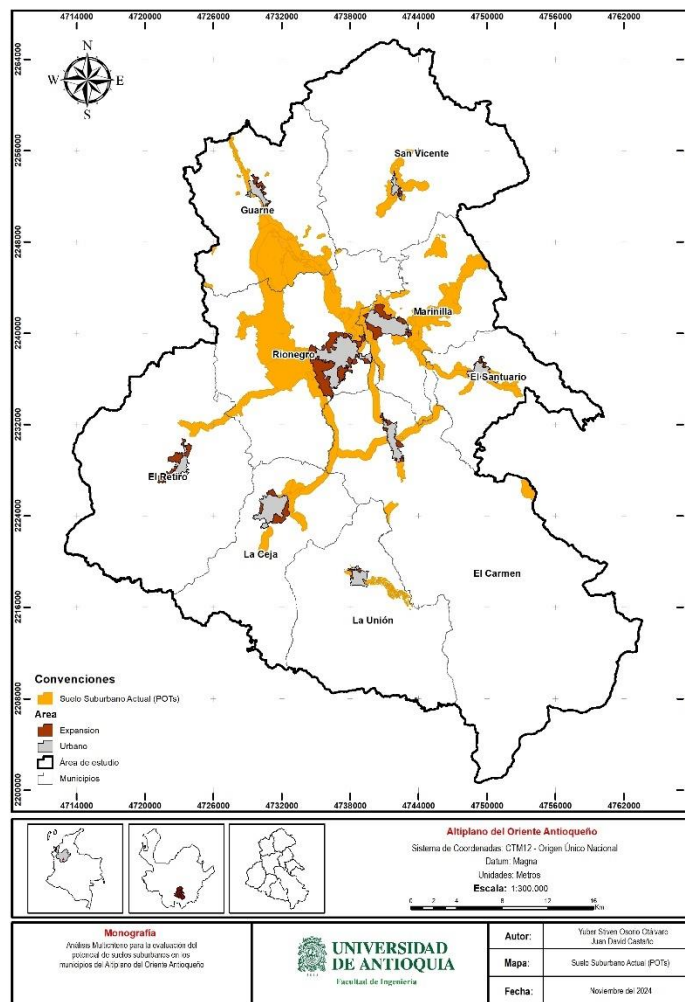


Nota: Mapa obtenido a partir de la aplicación del análisis multicriterio

6.3 Análisis comparativo del Suelo Suburbano actual y el modelo propuesto

El análisis comparativo entre el suelo suburbano delimitado en los Planes de Ordenamiento Territorial (Figura 3) y los resultados del análisis multicriterio permitió identificar discrepancias significativas, así como áreas con potencial de proyección a ser suelos suburbanos.

Figura 3. Suelo suburbano actual para los 9 municipios del altiplano del Oriente Antioqueño.



Nota: El mapa de suelos suburbanos se realiza a partir de la cartografía oficial de los nueve POTs vigentes de los municipios del Altiplano del Oriente Antioqueño.

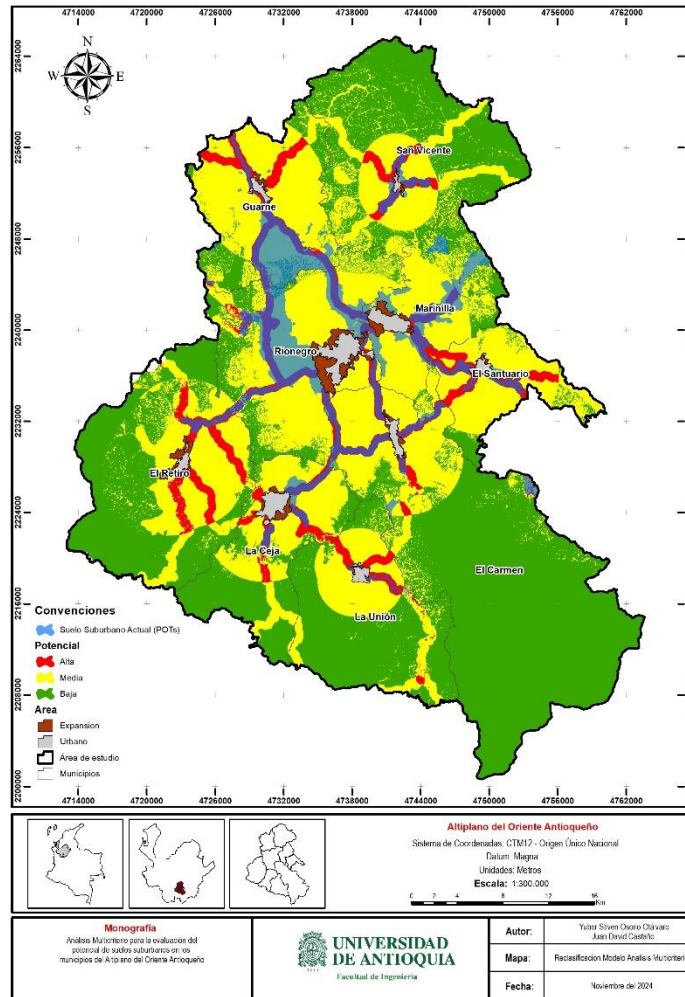
6.3.1 Concordancia entre el Suelo Suburbano Actual y el Modelo

En la Figura 4 se presenta el comparativo entre el mapa obtenido a partir del análisis multicriterio y los suelos suburbanos actuales definidos en los Planes de Ordenamiento Territorial (POTs). Se observa que municipios como Rionegro, El Santuario, El Carmen de Viboral, Marinilla y La Ceja muestran una alta coincidencia entre las áreas identificadas como aptas en el modelo y las delimitadas en los POTs. Además, se destaca un nodo de integración claramente definido entre Rionegro, Marinilla, El Carmen de Viboral y El Santuario, lo cual responde en gran medida a la extensión y proximidad de sus cabeceras urbanas, así como a la conectividad derivada de la presencia de la Autopista Medellín-Bogotá.

En municipios como La Unión y San Vicente, se evidencia la restricción establecida en sus POTs, que limita a 3 km la distancia entre el suelo suburbano y las cabeceras urbanas. Esta condición hace que la integración con otros nodos en el modelo propuesto dependa principalmente del trazado vial. No obstante, La Unión muestra un mayor potencial para integrar nuevos suelos suburbanos en comparación con San Vicente.

Según la superposición de capas, el municipio de El Retiro presenta un alto potencial para la incorporación de nuevos suelos suburbanos, ya que actualmente estos se concentran principalmente en las áreas vinculadas a su conexión vial con el municipio de Rionegro. Por otro lado, las mayores discrepancias entre las zonas actualmente designadas como suelos suburbanos y las áreas identificadas como no aptas por el modelo se observaron en los municipios de Guarne, Marinilla y, en menor medida, Rionegro.

Figura 4. Superposición de suelo suburbano actual y modelo obtenido en el análisis multicriterio.



Nota: Mapa comparativo de las áreas suburbanas vigentes de los POTs del Altiplano del Oriente Antioqueño y los suelos con potencial suburbano alto, medio o bajo, obtenidos a partir del presente análisis

6.4 Umbral de Suburbanización

El análisis multicriterio permitió determinar el umbral máximo de suburbanización, mediante el cual se clasificó el potencial suburbano del suelo rural en categorías de alto, medio y bajo. Este procedimiento posibilitó identificar, de manera precisa, las áreas con alto potencial para ser categorizadas como suelo suburbano en cada municipio del Altiplano del Oriente Antioqueño.

Análisis Multicriterio Para La Evaluación Del Potencial De Suelos Suburbanos En Los Municipios Del Altiplano Del Oriente Antioqueño

Tabla 10 Suelo suburbano actual y Potencial de suelo suburbano.

TIPO DE SUELO SUBURBANO	AREA (Ha)	DESCRIPCIÓN SUELO SUBURBANO	ÁREA RURAL SIN CPR (Ha)	POTENCIAL (%)
SUELO SUBURBANO ACTUAL (Ha)	13817.52828	Protocolizado POTs	173742.359	7.95
SUELO SUBURBANO POTENCIAL	15543.23142	Potencial Alto	173742.359	8.95
	83390.43772	Potencial Medio		48.00
	74786.01984	Potencial Bajo		43.04

Nota: Tabla generada a partir de la identificación de las áreas suburbanas altiplano y las con potencial Alta, Media y Baja de suelo suburbano de la misma subregión.

Tabla 11 Umbral de Suburbanización para los municipios del altiplano.

Municipio	Suelo rural	Potencial Suburbano	Area (Ha)	Umbral suburbanización potencial (%)	Umbral (%) (Protocolizado POTs)	Area (Ha) umbral protocolizado POTs
La Unión	16767.03471	Alto	932.63008	5.56	1.12	188.33
		Medio	10308.044	61.48		
		Bajo	5496.4592	32.78		
El Carmen	42340.89052	Alto	1955.5501	4.62	3.80	1606.91
		Medio	31702.944	74.88		
		Bajo	8577.0993	20.26		
El Santuario	8341.09706	Alto	1527.1737	18.31	6.27	522.80
		Medio	928.4069	11.13		
		Bajo	5842.7782	70.05		
La Ceja	13232.42477	Alto	1616.8267	12.22	5.58	738.11
		Medio	5434.0637	41.07		
		Bajo	6184.8124	46.74		
Guarne	15083.60676	Alto	2226.5721	14.76	19.55	2948.14
		Medio	2246.6709	14.89		
		Bajo	10636.858	70.52		
San Vicente	22995.16163	Alto	1148.0091	4.99	2.69	617.47

Análisis Multicriterio Para La Evaluación Del Potencial De Suelos Suburbanos En Los Municipios Del Altiplano Del Oriente Antioqueño

		Medio	13769.293	59.88		
		Bajo	8016.8102	34.86		
El Retiro	24318.19092	Alto	2129.8193	8.76	1.18	286.90
		Medio	13368.898	54.97		
		Bajo	8514.4168	35.01		
Rionegro	19572.95738	Alto	2833.1048	14.77	22.65	4344.77
		Medio	3353.5831	17.48		
		Bajo	13386.269	69.78		
Marinilla	11481.58521	Alto	1172.9958	10.22	22.31	2560.97
		Medio	2205.6546	19.21		
		Bajo	8095.0407	70.50		

Nota: La Abreviatura CPR corresponde a Centro Poblado Rural y los análisis se realiza con base a la cartografía disponible en la información pública.

7. Conclusiones

Potencial de los suelos suburbanos en el Altiplano del Oriente Antioqueño: El análisis multicriterio aplicado en esta investigación permitió identificar áreas con alto, medio y bajo potencial para el desarrollo de suelos suburbanos en los municipios del Altiplano del Oriente Antioqueño. Las zonas con alto potencial destacan por su cercanía a vías principales, baja pendiente y proximidad a cabeceras urbanas, lo que garantiza condiciones óptimas para un desarrollo planificado y sostenible. Este enfoque metodológico, basado en herramientas SIG y la metodología AHP, demostró ser efectivo para integrar criterios ambientales, económicos y sociales en la evaluación territorial.

Discrepancias entre los POTs y el modelo propuesto: La comparación entre los suelos suburbanos actuales, delimitados por los POTs, y el modelo generado muestra algunas discrepancias asociadas principalmente al potencial de incorporar nuevas áreas y el establecimiento de algunas áreas en los POTs actuales que responden a una baja potencial de suburbanización en el modelo realizado.

Implicaciones para el desarrollo sostenible y la planificación regional: Los hallazgos de esta monografía subrayan la importancia de incorporar análisis técnicos en la planificación territorial para equilibrar el crecimiento suburbano con la sostenibilidad ambiental. La metodología desarrollada no solo contribuye al ordenamiento territorial de la subregión, sino que también ofrece un modelo replicable para otras regiones con dinámicas similares. La identificación de nodos estratégicos y áreas prioritarias proporciona herramientas valiosas para la toma de decisiones.

Importancia de los esquemas asociativos en la planificación territorial: La integración de los municipios bajo esquemas asociativos representa una oportunidad clave para la gestión integral del territorio. En este contexto, el Altiplano del Oriente Antioqueño podría beneficiarse de enfoques cooperativos que permitan coordinar esfuerzos en planificación territorial, infraestructura y conservación ambiental. Estos esquemas facilitarían la articulación de políticas públicas para

regular la suburbanización, mitigar impactos negativos y garantizar un desarrollo equitativo y sostenible.

Bibliografía

- Bąkowska-Waldmann, E. (2023). Residents' experiential knowledge and its importance for decision-making processes in spatial planning: A PPGIS based study. *ISPRS International Journal of Geo-Information*.
- CORNARE. (2020). Acuerdo 406 de 2020. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare.
- Corrales, D. G. N., Achurra, V. E. P., Blanco, L., & Álvarez, H. R. (2024). Aplicación del método AHP para la priorización de proyectos de inversión social en la Comarca NGÄBE-BUGLÉ. *I+D Tecnológico*, 20(1), 73-81.
- Departamento Administrativo de la Función Pública. (2007). Decreto 3600 de 2007.
- Dávila, J. D. (2023). Expansión urbana, accesibilidad y sostenibilidad.
- eQual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S. (2018). Determinantes ambientales de suelo rural como insumo de los planes de ordenamiento territorial de los municipios de la jurisdicción de CORPOCHIVOR (Actualización octubre de 2020). Corporación Autónoma Regional de Chivor (CORPOCHIVOR).
- Garcés Granada, F. M. (2020). Expansión urbana metropolitana y espacio rural: una referencia a Medellín (Colombia).
- Irías, N. S. L., & Bonilla, B. S. (2022). En retrospectiva: Aportes de los instrumentos de planificación urbana en la ciudad de Managua, Nicaragua. *Revista Arquitectura+*.
- Londoño, D. V., & Pérez, F. L. (2013). Zonas suburbanas.
- Lozada Campos, N. A. (2023). Administración de base de datos geoespaciales mediante sistemas de información geográfica en el sector de energía eléctrica-Perú 2023.
- López Serrano, S. C., Chung Alonso, P., & Ramirez Rivera, M. D. P. (2021). Proceso Analítico Jerárquico (AHP) como método multicriterio para la localización óptima de estaciones intermodales. *Economía, Sociedad y Territorio*, 21(66), 315-358.
- Manyoma-Velásquez, P. C. (2022). Metodología para la agregación de ordenamientos a través de análisis de decisión multicriterio robusto. *Información Tecnológica*.
- Muñoz Medina, M. B. (2022). Metodología para el análisis y selección sostenible de alternativas en infraestructuras mediante la aplicación de métodos de decisión multicriterio con criterios en... [Tesis doctoral, Universidad de Granada].

- Ortiz Melo, G. F. (2021). Identificación de Áreas Idóneas para el Desarrollo Urbano mediante el uso de análisis multicriterio AHP y herramientas geoinformáticas.
- Otárola, D. S. I. (2020). Suburbanización de ciudades chilenas en proceso de metropolización: tensiones en la planificación y la gobernanza de la conurbación Rancagua-Machalí.
- Quiroz, S., & Fitch, M. (2023). Densidad diluida: Planeación urbana en la Zona Metropolitana de Monterrey. *DECUMANUS Revista Interdisciplinario sobre Estudios Urbanos*, 7(7), 22-47.
- Ramírez Álvarez, C. M. (2024). Identificación de los impactos e incidencias en las dinámicas territoriales producidas por los fenómenos de suburbanización y rururbanización entre los años
- Ramírez Ospina, D. M., & Gómez Cuervo, J. (2020). Análisis de variables territoriales para la delimitación de nuevos suelos suburbanos en los municipios de la subregión de Valles de San Nicolás (Tesis de especialización). Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental, Medellín, Colombia.
- Ruiz, P. A. C., & Linares, J. P. L. (2023). Capítulo 1. Criterios de sostenibilidad para ciudades intermedias de Colombia. *Los Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
- Rubiano Ducuara, J. S. (2022). Relación entre el espacio productivo y privado en la vivienda suburbana colectiva.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill.
- Scott, A. J., & Storper, M. (2015). The nature of cities: The scope and limits of urban theory. *International Journal of Urban and Regional Research*, 39(1), 1-15.
- SUIN Juriscol. (2007). Decreto 3600 de 2007. Sistema Único de Información Normativa.
- Valencia, D., & López, J. F. (2014). Metodología para la intervención de suelos suburbanos, Aburrá Norte: Estudio de caso. *AGO.USB*, 14(1), 75-85.
- Vásquez Santos, K. B., & Mosquera Téllez, J. (2023). Aportes conceptuales al diagnóstico para el ordenamiento territorial periurbano desde un abordaje sistémico y transdisciplinar. *Investigación y Desarrollo*.
- Von Breyman, H. (2024). Variedad urbana en contextos de viviendas de interés social en Costa Rica. *Revistarqui*