

Zonificación de áreas adecuadas para densificación urbana mediante el uso de SIG en el municipio de Pereira, Risaralda

Zoning of areas suitable for for urban densification using GIS in the municipality of Pereira, Risaralda.

Juan José Restrepo Velásquez
juan.restrepo18@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Especialización en sistemas de Información Geográfica

Resumen

En la actualidad, el crecimiento urbano es un tema de gran importancia debido al aumento en la demanda por vivienda y espacios comerciales en las zonas urbanas. La densificación urbana se ha convertido en una alternativa para aprovechar al máximo los espacios disponibles y reducir la expansión de las ciudades hacia zonas rurales, que en muchos casos están catalogados como suelos de importancia ecosistémica. Sin embargo, la planificación y el ordenamiento territorial de una ciudad son unos procesos complejos que requieren de la recopilación, análisis y sistematización de grandes volúmenes de datos y otros factores relevantes. En este contexto, la aplicación de técnicas como el análisis multicriterio y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten la selección y priorización de los factores relevantes para la identificación de las mejores áreas para la densificación urbana. Además, la generación de modelos de procesamiento de datos y la generación de mapas de zonificación para la definición de las áreas más óptimas facilitan la toma de decisiones para la planificación urbana. En este trabajo de investigación se propone una metodología para identificar las áreas adecuadas donde se pueden llevar a cabo procesos de densificación urbana en la cabecera urbana del municipio de Pereira, Risaralda. Se recopilarán los datos y factores relevantes relacionados con el ordenamiento territorial de la ciudad, se sistematizarán con herramientas de SIG para visualizar y analizar los datos recopilados en conjunto con las áreas identificadas, se localizarán las áreas de la ciudad que presentan una baja densidad de construcciones y se propondrán recomendaciones específicas para la densificación urbana en las áreas identificadas. En conclusión, la aplicación de técnicas de SIG y análisis multicriterio permiten una planificación urbana más eficiente, sostenible y compacto, contribuyendo así al desarrollo de ciudades más habitables y amigables con el medio ambiente.

Palabras Clave: Densificación urbana, Ordenamiento territorial, Desarrollo urbano, Crecimiento poblacional, Riesgo de desastre.

Abstract

Currently, urban growth is a matter of great importance due to the increasing demand for housing and commercial spaces in urban areas. Urban densification has become an alternative to maximize available spaces and reduce city expansion into rural areas, which are often classified as ecologically important land. However, city planning, and land use management are complex processes that require the collection, analysis, and systematization of large volumes of data and other relevant factors. In this context, the application of techniques such as multicriteria analysis and Geographic Information Systems (GIS) allows for the selection and prioritization of relevant factors for identifying the best areas for urban densification. Additionally, the generation of data processing models and zoning maps to define optimal areas facilitate decision-making for urban planning. This research proposes a methodology for identifying suitable areas for urban densification in the urban center of Pereira, Risaralda municipality. Relevant data and factors related to city land use will be collected, systematized using GIS tools to visualize and analyze the collected data along with identified areas, areas with low construction density will be identified, and specific recommendations for urban densification in identified areas will be proposed. In conclusion, the application of GIS techniques and multicriteria analysis allows for more efficient and sustainable urban planning, contributing to the development of more livable and environmentally friendly cities.

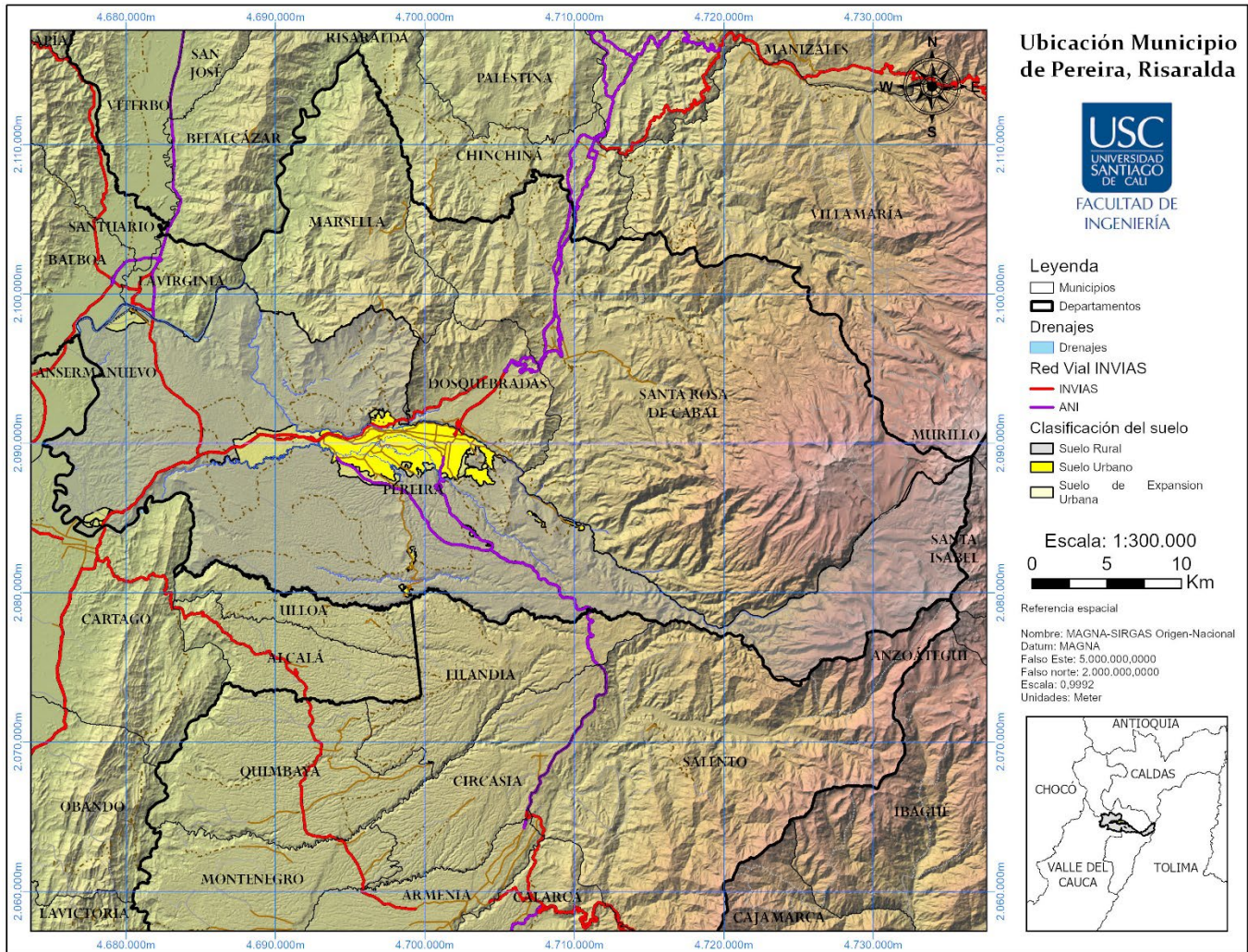
Keywords: Urban densification, Land use planning, Urban development, Population growth.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el crecimiento urbano es un tema de gran importancia en ciudades intermedias como Pereira, Risaralda, situada estratégicamente en la región cafetera de Colombia, en la cordillera central de los Andes (ver imagen 1). Con una población que rondaba los 467,269 habitantes según el censo de 2018 (DANE 2018), Pereira experimenta desafíos

significativos relacionados con la demanda creciente de viviendas y espacios comerciales. Según las proyecciones, se espera que la población alcance los 536,386 habitantes en 2035, reflejando una tasa de crecimiento poblacional del 14.79%.

Imagen 1 Mapa ubicación municipio de Pereira, Risaralda



Fuente: Propia

La densificación urbana, según Edward Glaeser, implica el aumento en la concentración de personas y actividades en áreas urbanas, lo que contribuye a la eficiencia económica y al desarrollo sostenible de las ciudades. En su libro "Triumph of the City", Glaeser argumenta que la densificación fomenta la innovación, reduce los costos de transporte y promueve la interacción social, lo que en última instancia conduce a ciudades más vibrantes y prósperas, reduciendo así de forma significativa lo que hoy conocemos como el fenómeno de expansionismo urbano (Jacobs, 2020).

El concepto de desarrollo urbano ha evolucionado hasta incorporar el concepto de desarrollo sostenible. De esta manera, Van Hauwermeiren encontró la definición actual de "el desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, de satisfacer sus propias necesidades"

La complejidad de la planificación y el ordenamiento territorial en Pereira implica la necesidad de recopilar, analizar y sistematizar una amplia cantidad de datos y factores relevantes. En este contexto, la aplicación de técnicas avanzadas, como el análisis multicriterio y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se vuelve esencial para la selección y priorización de factores que identifiquen las mejores áreas para la densificación urbana.

En este trabajo de investigación se propuso una metodología específica para identificar las áreas adecuadas para llevar a cabo procesos de densificación urbana en la cabecera urbana de Pereira. A través de la recopilación de datos y factores relevantes relacionados con el ordenamiento territorial de la ciudad, así como el empleo de herramientas SIG para su

sistematización, buscando localizar áreas con baja densidad de construcciones. La información obtenida es fundamental para proponer recomendaciones específicas que contribuyan al desarrollo sostenible de Pereira, generando una ciudad más habitable y amigable con el medio ambiente.

Además, se utilizaron fuentes de datos de tecnología LiDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) para obtener detalles sobre la altura de las construcciones existentes. Esta tecnología posibilitó una evaluación precisa de la densidad de las edificaciones y la morfología urbana, siendo el insumo esencial para identificar áreas con potencial para la densificación.

Desde los años 1980 hasta los años 1990, con el uso frecuente de esta tecnología, también surgieron dificultades, incluidos cambios en la precisión con el entorno, como causar daños en los ojos de la persona que lo utiliza, razón por la cual se desarrollaron láseres de tercera generación, Su principal característica es su tecnología electrónica, que es inofensiva para el ser humano, siendo más pequeños y consumiendo menos energía y tendiendo mayor precisión (Wang et al., 2020), Además del sistema básico de teledetección, se puede agregar elementos como sistemas receptores (encargados de recibir y convertir datos a diferentes formatos), sistemas de interpretación y sistemas de usuario final. (Chuvieco, 1995)

Asimismo, se utilizaron diversas capas de información geográfica para analizar las zonas que presentan restricciones para las construcciones, el acceso a vías y la disponibilidad de servicios públicos. La integración de estos datos geoespaciales en el análisis proporciona una visión holística de las condiciones urbanas, facilitando la identificación de áreas prioritarias para la densificación urbana.

Este enfoque multidisciplinario, que combinó técnicas avanzadas de teledetección, análisis SIG y conocimientos de planificación urbana, permitió una identificación precisa de las áreas óptimas para la densificación urbana. Al integrar tecnologías innovadoras con principios de desarrollo urbano sostenible, este estudio buscó contribuir al diseño de políticas urbanas más eficientes y orientadas hacia un desarrollo urbano equitativo y sostenible en Pereira, Risaralda.

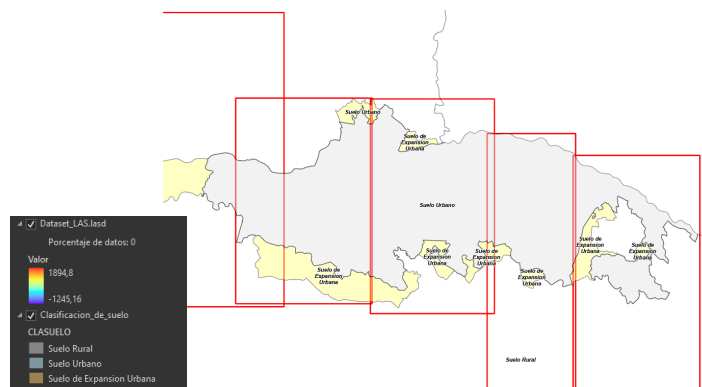
2. METODOLOGÍA

Para abordar este desafío, se diseñó una metodología integral que identificó áreas propicias para la densificación urbana y formuló recomendaciones específicas para su implementación. En la fase inicial, se aplicaron técnicas como el análisis multicriterio, la matriz multicriterio y la investigación documental. Se empleó una carpeta electrónica para el almacenamiento y clasificación documental de información secundaria, incluyendo el Plan de Ordenamiento Territorial vigente y demás planes complementarios, como por ejemplo los relacionados con planes parciales.

Recopilación de datos:

La información geográfica utilizada se obtuvo de diversas fuentes especializadas, contribuyendo a un análisis integral y preciso para la identificación de áreas propicias para la densificación urbana en la cabecera urbana de Pereira, Risaralda.

Imagen 2 Dataset imágenes LiDAR



Fuente: Propia

Conjunto de datos LiDAR: El Área Metropolitana Centro Occidente suministró las nubes de puntos LIDAR (Ver imagen 2), capturadas en el año 2019, con el fin de realizar la ortorrectificación del fotomosaico, proporcionando una representación tridimensional detallada del entorno urbano y cuyos datos fueron esenciales para el cálculo de la altura de las construcciones existentes.

Datos Catastrales: El catastro multipropósito municipal de Pereira ofreció los datos geográficos sobre las construcciones existentes, sus dimensiones y otros atributos relevantes, fundamentales para comprender la distribución espacial de las edificaciones, la fuente geográfica utilizada data de la fecha 2019 producto de la interpretación fotogramétrica de los datos capturados por los sensores de la aeronave a una escala 1:1000.

Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Pereira: El POT Acuerdo municipal 035 de 2016 de Pereira contribuyó con información sobre zonificación urbana, capas de riesgo, e infraestructura vial, permitiendo la definición de criterios como zonificación y acceso a vías principales con escalas variables hasta 1:5000.

Instituto Nacional de Vías (INVIAS): Las capas de infraestructura vial proporcionaron detalles sobre la red vial existente, siendo esenciales para evaluar el acceso a vías principales como un criterio relevante los datos utilizados se extrajeron de los geoservicios WFS que ofrece la entidad y son del año 2023.

Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER): La colaboración con la CARDER enriqueció el análisis al aportar información detallada sobre coberturas y usos del suelo, incluyendo datos sobre zonas de importancia ambientales, zonas industriales y otras categorías relevantes actualizadas al año 2023.

La información geográfica recopilada de diversas fuentes especializadas fue organizada para construir una base de datos geográfica preliminar. Este proceso permitió integrar datos provenientes del Área Metropolitana Centro Occidente, el catastro municipal de Pereira, el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Pereira, el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), y la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER) se encuentran resumidas en la tabla 1.

La base de datos geográfica preliminar no solo albergó información detallada sobre datos catastrales, zonificación urbana, infraestructura vial, coberturas y usos del suelo, sino que también sirvió como plataforma central para ejecutar el análisis multicriterio. La integración de estos datos en una base única facilitó la visualización, análisis y generación de resultados coherentes, contribuyendo así a la solidez y eficiencia de la metodología aplicada en la identificación de áreas propicias para la densificación urbana.

Tabla 1 Descripción de datos

	Capa	Escala/Resolución	Tipo de Representación	Fecha	SRC
POT	Altura_de_superficie_limitadora	1:10000	Vector	2016	Magna Sirgas, Origen Oeste
	Zonificación_de_riesgo	1:10000	Vector	2016	Magna Sirgas, Origen Oeste
	Drenajes_dobles_30m	1:10000	Vector	2016	Magna Sirgas, Origen Oeste
	Red_Vial	1:10000	Vector	2016	Magna Sirgas, Origen Oeste
	Franja_Cable_Aéreo	1:10000	Vector	2016	Magna Sirgas, Origen Oeste
	Áreas_de_amenaza_torrencial	1:10000	Vector	2016	Magna Sirgas, Origen Oeste
	AOI	1:10000	Vector	2016	Magna Sirgas, Origen Oeste
AMCO	LiDAR	1:1000	Nube puntos	2019	Magna Sirgas Origen Nacional
	Construcciones	1:1000	Vector	2019	Magna Sirgas Origen Nacional
INVIAS	RedVial	1:1000	Vector	2023	Magna Sirgas Origen Nacional
CARDER	Suelos_de_proteccion	1:10000	Vector	2023	Magna Sirgas, Origen Oeste

Fuente: Propia

Descripción de técnicas empleadas:

Para empezar, se puede decir que el análisis multicriterio es una técnica reconocida en la planificación urbana para evaluar y priorizar diferentes criterios o factores relevantes en la toma de decisiones (Yan, 2015). Permite considerar múltiples variables, como accesibilidad, infraestructura, y restricciones ambientales, en un marco de evaluación integrado (Almeida et al., 2019).

En esta sección se identifican y priorizan factores relevantes para la identificación de áreas propicias para la densificación urbana, como densidad de población, acceso a servicios públicos y zonificación urbana (Shi et al., 2020). Para posteriormente aplicar el modelo analítico, en este caso método AHP (Analytic Hierarchy Process), para integrar y ponderar los diferentes criterios y obtener una evaluación multicriterio de las áreas urbanas (Malinowski et al., 2018).

Posteriormente se trabaja con los datos LiDAR, empezando por usar los algoritmos de segmentación y clasificación para identificar elementos urbanos, como edificaciones, calles y áreas verdes, a partir de los datos LiDAR (Malinowski et al., 2018). Para así proseguir con la generación de Modelos Digitales de Elevación (MDE), y Modelos Digitales de Superficie (MDS) dónde se genera un MDE a partir de los datos LiDAR, los cuales proporcionan información detallada sobre la topografía urbana y la altura de las construcciones (Hermosilla, 2011).

Con relación al método de interpolación Espacial, se ha seleccionado kriging para estimar valores desconocidos de variables espaciales, como la altura de las construcciones, en ubicaciones no muestreadas dentro del área geográfica (Leitner & Cuttone, 2017), y así obtener el Modelado de Superficies Continuas, estos son mapas de superficies continuas que proporcionan una representación detallada de la distribución espacial de las alturas de las construcciones en el municipio de Pereira (Maltezos, 2018).

Procesamiento de información geográfica:

Se llevó a cabo la propuesta metodológica utilizando técnicas como la digitalización, la geoestadística y la captura de datos geográficos, respaldadas por herramientas como QGIS y ArcGIS PRO. Durante este proceso, se generó una matriz para la priorización de factores, se crearon polígonos con zonas restringidas para la densificación y se procesaron imágenes LiDAR aportadas por la entidad Área Metropolitana Centro Occidente, para obtener información primaria, culminando en la consolidación de una base de datos geográfica preliminar.

Localización y zonificación de áreas:

Una vez tenido el dato de las alturas de las construcciones se utilizó la técnica de interpolación Kriging con el propósito de estimar los valores desconocidos de una variable espacial en ubicaciones no muestreadas o no observadas dentro del área geográfica; esta técnica ayudó a la comprensión de la distribución espacial de alturas derivadas de datos de imágenes LiDAR ver imagen 3.

Al emplear esta técnica implicó la selección del modelo de *variograma* más adecuado, puesto que este sirve para conocer la autocorrelación espacial de los datos y así seleccionar los parámetros óptimos para generar una estimación precisa de los valores de alturas de las construcciones.

Se llevó a cabo una consideración técnica específica para la generación de una capa ráster que incluyera valores de altura de construcciones menores a 6 metros, equivalentes aproximadamente a 2 pisos, y que a su vez cumplieran con la condición de ser áreas construidas. El procedimiento se describe a continuación (ver figura 1):

Datos Iniciales: Se utilizaron datos de altura de construcciones provenientes de la técnica de interpolación Kriging, la cual proporcionó información detallada sobre alturas en todo el municipio de Pereira, Risaralda.

Áreas Permisivas: Se identificaron las áreas construidas como zonas permisivas para el proceso de densificación urbana. Las áreas con restricciones, como aquellas relacionadas con drenajes, amenazas o suelos de protección, fueron excluidas de este análisis para enfocarse únicamente en las zonas donde la densificación podría ser viable desde el punto de vista geográfico.

Alturas Menores a 6 Metros: Se aplicó un filtro para seleccionar únicamente los valores de altura que fueran menores a 6 metros, correspondientes a construcciones de hasta 2 pisos. Este filtro se implementó para ajustarse a la restricción establecida de 1 piso cada 3 metros de altura.

Generación de Capa Ráster Resultante: La combinación de las áreas construidas como permisivas y las alturas menores a 6 metros resultó en una nueva capa ráster. Esta capa contenía únicamente los píxeles que cumplían con ambas condiciones, representando así las áreas donde la densificación urbana podría considerarse de manera apropiada según la restricción de altura y la disponibilidad de construcciones existentes (ver imagen 5).

Este enfoque técnico se implementó con el objetivo de afinar la identificación de áreas específicas propicias para la densificación urbana, destacando aquellas que no solo cumplían con las restricciones de altura, sino que también se alineaban con las áreas construidas existentes y las condiciones permisivas del entorno geográfico.

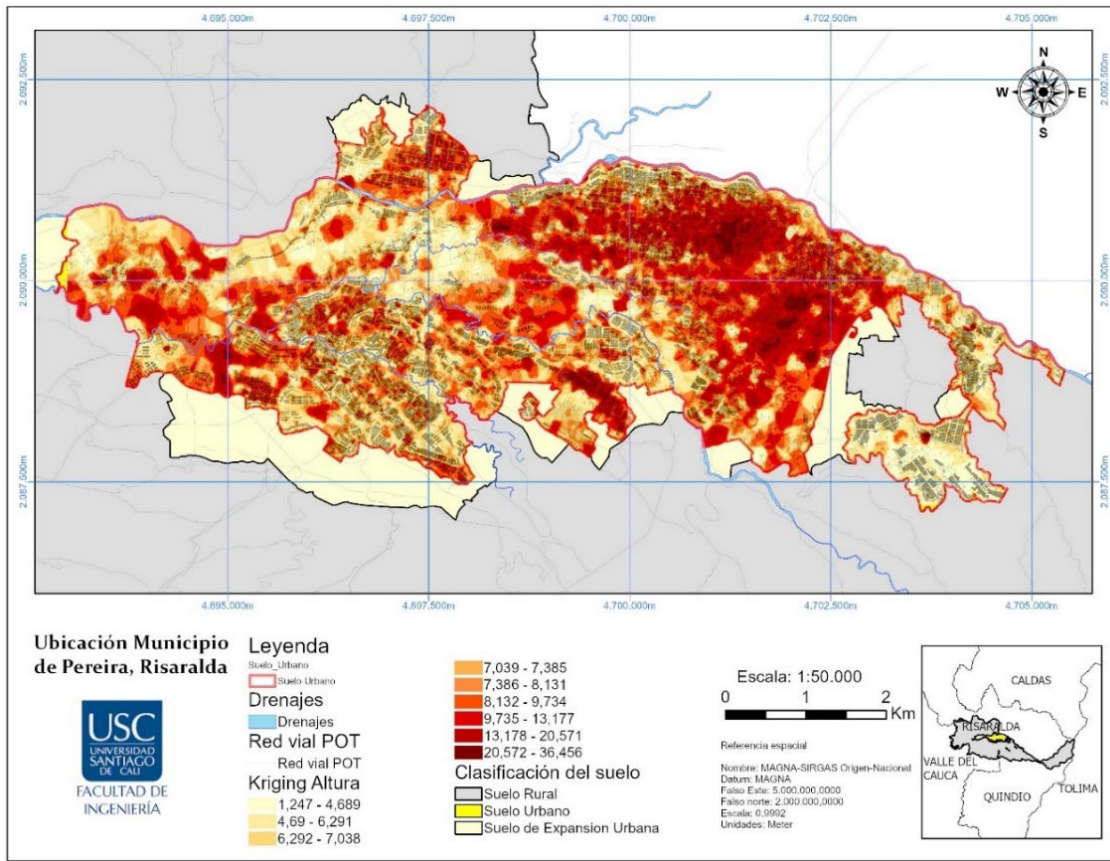
Tabla 2 Cuadro metodológico

Objetivo Específico	Técnica	Herramienta	Actividad
Recopilar los datos y factores relevantes relacionados con el ordenamiento territorial de la cabecera urbana del municipio de Pereira, Risaralda.	Análisis multicriterio	Cuadro comparativo	Delimitación del área de interés (AOI)
		Matriz multicriterio	
	Análisis documental	Investigación documental	Consulta de información secundaria del AOI, POT vigente, y demás planes complementarios.
	Archivo documental	Carpeta electrónica	Almacenamiento y clasificación documental información secundaria.
Sistematizar con herramientas de Sistemas de información geográfica para visualizar y analizar los datos recopilados en conjunto con las áreas identificadas.	Análisis multicriterio	Matriz multicriterio	Crear de matriz para la priorización de factores.
	Digitalización	ARCGIS PRO	Generación de polígonos con zonas restringidas para la densificación
	Geoestadística		Procesamiento información primaria a partir de nubes de puntos LiDAR
	Captura de datos geográficos		Consolidar de base de datos geográfica preliminar
Localizar las áreas de la ciudad que presentan una baja densidad de construcciones y que, por lo tanto, podrían ser susceptibles para la densificación urbana.	Análisis multicriterio	Matriz multicriterio	Diseño de indicadores para la selección de áreas
	Model builder	ARCGIS PRO	Generación del modelo de procesamiento de datos SIG
			Ejecución del modelo de procesamiento de datos
	Cartografía		Generación de base de datos geográfica con los resultados
Generación del mapa con la zonificación			
Proponer recomendaciones específicas para la densificación urbana en las áreas identificadas.	Construcción estratégica	Discusión crítica	Proponer recomendaciones específicas para la densificación urbana en las áreas identificadas

Fuente: Propia

interpretación de este mapa permite identificar áreas específicas de edificios con alturas similares, ayudando así a delimitar las áreas (Ver imagen 4).

Imagen 4 Kriging de las alturas de las construcciones urbanas del municipio de Pereira



Fuente: Propia

La identificación de zonas permitidas y restringidas juega un papel crucial en el proceso de toma de decisiones de densificación urbana. Las áreas urbanizadas se ven directamente afectadas por estas áreas, y comprender sus interacciones es fundamental para desarrollar estrategias efectivas de planificación del uso de la tierra.

Esta tabla (ver tabla 2) refleja las interconexiones clave entre áreas permitidas y restringidas, enfatizando su relación con áreas urbanizadas y con capas de información geográfica relacionadas con áreas restringidas. En el contexto del trabajo de grado, esta representación matricial se convierte en una herramienta esencial para visualizar la complejidad del entorno urbano y los factores geográficos que influyen en la planificación urbana y la densificación en el municipio de Pereira, Risaralda.

Tabla 2 Información permisiva y restrictiva para densificación urbana

Zonas Permisivas	Zonas Restrictivas
Áreas construidas	Áreas de amenaza
	Áreas de amenaza torrencial
	Franja Cable Aéreo
	Suelos de protección
	Zonificación de riesgo
	Drenajes

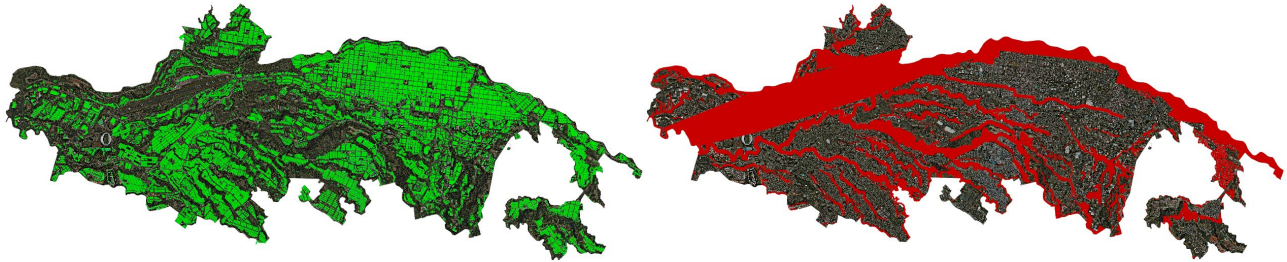
Fuente: Propia

Las capas de información geográfica relacionadas con áreas restringidas como drenajes, Áreas de amenaza, Áreas amenaza torrencial, franja de cable aéreo, Suelos protectores y Zonificación de riesgo proporcionan datos detallados para un análisis ambiental más certero. Estos niveles ayudan a evaluar los riesgos ambientales, las limitaciones al desarrollo

urbano y la necesidad de proteger ciertas áreas en función de la importancia ambiental.

Es una herramienta visual clave, ya que sintetiza las relaciones espaciales y las complejidades del entorno geográfico, brindando una base sólida para un abordaje integral de los temas de planificación urbana y densificación en la ciudad de Pereira (ver imagen 5)

Imagen 5 Áreas Permisivas y restrictivas para densificación urbana



Fuente: Propia

El resultado del proceso para estimar las áreas adecuadas, arrojó una capa tipo ráster representada en la imagen 6 de color verde, sobre aquellas zonas que cumplían todos los parámetros de entradas.

Imagen 6 Ráster de áreas con valores de altura menores a 6 metros en zonas adecuadas para procesos de densificación urbana



Fuente: Propia

El resultado tipo ráster fue convertido a tipo de objeto vector para calcular las áreas, dando un total de 810 polígonos y un área de 664.527,43 m² que representa el 2,18% del total de área de la cabecera urbana del municipio de Pereira que tiene 30.404.308m².

La combinación de estas fuentes de información geográfica garantizó la fiabilidad y relevancia de los resultados obtenidos en el proceso de identificación de áreas propicias para la densificación urbana. La inclusión de datos provenientes de diversas entidades especializadas fortaleció la investigación, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en la planificación urbana y contribuyendo al enriquecimiento de la metodología aplicada.

Esta metodología, respaldada por técnicas (Shirowzhan, 2020) y herramientas SIG, identificó las áreas adecuadas para

la densificación urbana en Pereira, las cuales aportan conocimiento para un desarrollo urbano sostenible y equitativo.

Si bien los datos LiDAR ofrecen una representación tridimensional detallada del entorno urbano, su precisión y exactitud pueden verse afectadas por diversos factores. Entre ellos, la densidad del dosel vegetal, la inclinación del terreno y la calidad del equipo utilizado para la captura de datos.

Análisis y medidas para mitigar errores:

En este trabajo, se realizó un análisis que permitió identificar áreas de mejora y se presentan algunas consideraciones para mitigar posibles sesgos o errores en los datos LiDAR. Se implementaron medidas como: Filtrado de datos: Se eliminaron puntos erróneos y se aplicaron técnicas de filtrado para eliminar el ruido y mejorar la precisión. Por otro lado, al usar los datos provenientes de un tercero no es posible controlar este aspecto, pero se debe considerar la realización de una calibración regular del equipo LiDAR para asegurar la precisión de las mediciones. Para finalizar y relacionado con la validación de datos: Se compararon los datos LiDAR con otras fuentes de información, como datos topográficos, fotografías, y recorrido en campo para verificar su exactitud.

Se recomienda establecer un sistema de monitoreo continuo de la calidad de los datos LiDAR y captura de nuevos datos empleando esta tecnología, ya que el conjunto de datos empleados es del año 2019, lo que quiere decir que presenta un desfase de 5 años, y se evidenció, gracias a salidas de campo la existencia de más desarrollos urbanísticos hoy en día, también se debe considerar otras fuentes de información utilizadas en el análisis. Puesto que ayudará a identificar posibles inconsistencias o cambios en los datos que puedan afectar la precisión de los resultados.

Imagen 7 Fotografía aérea zona urbana municipio de Pereira, Risaralda (Fuente propia)



Fuente: Propia

4. CONCLUSIONES

Este estudio aborda de manera integral los desafíos del desarrollo urbano en Risaralda Pereira, proponiendo un método basado en tecnología de sistemas de información geográfica (SIG) y análisis multicriterio para identificar áreas aptas para la densificación urbana.

Combinando datos detallados sobre alturas de edificios, restricciones geográficas, se produjo un mapa de zonificación que destacó las mejores áreas para el desarrollo urbano sostenible. La aplicación de técnicas de Kriging para obtener información detallada sobre la altitud y tener en cuenta las limitaciones locales ayuda a mejorar la solidez de los resultados.

Pueden servir como guía para las autoridades locales, promoviendo un desarrollo urbano más eficiente, sostenible y

respetuoso con el entorno. La integración de tecnologías SIG y análisis multicriterio no solo ha facilitado la identificación de áreas propicias para la densificación, sino que también ha establecido un precedente para el uso innovador de herramientas tecnológicas en la planificación territorial.

Busca contribuir al desarrollo de ciudades más habitables, amigables con el medio ambiente y adaptadas al crecimiento poblacional continuo, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones informada y sostenible en el ámbito urbano de Pereira y, potencialmente, en otras ciudades que busquen un desarrollo planificado y sostenible.

La metodología empleada, que combinó técnicas avanzadas de teledetección, análisis SIG y conocimientos de planificación urbana, permitió una identificación precisa de las áreas óptimas para la densificación urbana en Pereira. Esto proporciona una base sólida para la toma de decisiones en políticas urbanísticas futuras.

La integración de datos provenientes de diversas fuentes especializadas, como el catastro municipal, el POT de Pereira, el Instituto Nacional de Vías y la CARDER, enriqueció el análisis y garantizó la fiabilidad de los resultados obtenidos. Esta integración de datos fue fundamental para una evaluación integral de las condiciones urbanas, demostrando que la sistematización y la utilización de nuevas técnicas hacen que se tengan nuevos insumos que permitirán a los tomadores de decisiones en el municipio priorizar las zonas a urbanizar.

El uso de imágenes LiDAR permitió una evaluación detallada de la morfología urbana y la densidad de construcciones en Pereira. Esta tecnología posibilitó una identificación precisa de las áreas con potencial para la densificación, lo que contribuye significativamente al diseño de políticas urbanas más eficientes y sostenibles; Se implementaron medidas para mitigar posibles sesgos o errores en los datos LiDAR, como el filtrado de datos y la comparación con otras fuentes de información. Este análisis de precisión y exactitud es fundamental para garantizar la fiabilidad de los resultados y su utilidad en la toma de decisiones.

REFERENCIAS

Arias-Caicedo, Daniel Arturo, Juan José Castiblanco-Prieto, Mercedes Castillo-de-Herrera, Myriam Stella Díaz-Osorio, Iván Felipe Medina-Arboleda, Marielena Medina-Ruiz, Michael Smith-Masis, y Alejandro Yavé Vallejo-Rivas. 2019. El borde urbano como territorio complejo. Reflexiones para su ocupación. Editado por F. A. Aguilera-Martínez y F. A. Sarmiento-Valdés. Universidad Católica de Colombia.

Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de teledetección (S. Ediciones Rialp (Ed.); Segunda ed).

DANE. Estimaciones y proyecciones de la población. Bogotá: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion> Consultado el: 08 de marzo de 2023.

Díaz López, JN. 2016. «El concepto de la densificación como reciclaje urbano: caso Barranquilla (Colombia)».

Dong, Pinliang, y Qi Chen. 2018. LiDAR Remote Sensing and Applications. Boca Raton, FL: Taylor & Francis.

Ferro, J. S. 2001. «Reflexiones en Torno al caso Bogotá».

Glaeser, E. (2011). Triumph of the city: How urban spaces make us human. Pan Macmillan.

Hermosilla, T., Ruiz, L. A., Recio, J. A., & Estornell, J. (2011). Evaluation of automatic building detection approaches combining high resolution images and LiDAR data. Remote Sensing, 3(6), 1188-1210.

INVIAS. (2023) Mapa Carreteras Disponible en: <https://hermes2.invias.gov.co/server/rest/services/MapaCarreteras/RedVial/FeatureServer>

Jacobs, J. (2020). Muerte y vida de las grandes ciudades. Capitán Swing Libros.

Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International journal of geographical information science, 20(7), 703-726.

Maltezos, E., Doulamis, A., Doulamis, N., & Ioannidis, C. (2018). Building extraction from LiDAR data applying deep convolutional neural networks. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 16(1), 155-159.

Ma, Xiao, Guang Zheng, Xu Chi, Long Yang, Qiang Geng, Jiarui Li, y Yifan Qiao. 2023. «Mapping Fine-Scale Building Heights in Urban Agglomeration with Spaceborne Lidar». *Remote Sensing of Environment* 285:113392. doi: 10.1016/j.rse.2022.113392.

Shirowzhan, S., Lim, S., Trinder, J., Li, H., & Sepasgozar, S. M. (2020). Data mining for recognition of spatial distribution patterns of building heights using airborne lidar data. *Advanced Engineering Informatics*, 43, 101033

Siddiqui, Fasahat Ullah, Shyh Wei Teng, Guojun Lu, y Mohammad Awrangjeb. 2013. «An Improved Building Detection in Complex Sites Using the LIDAR Height Variation and Point Density». Pp. 471-76 en 2013 28th International Conference on Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ 2013). Wellington, New Zealand: IEEE.

Vásquez, Héctor Jaime. 2018. Degradación ambiental y riesgo de desastres en la ciudad de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira.

Villena, F. y Galiano, A. (2017). El desarrollo urbano sostenible y sus implicaciones para las empresas y los territorios. *Revista De Estudios Empresariales. Segunda Época*, (1). doi: 10.17561/ree.v0i1.3185

Wang, X., Pan, H., Guo, K., Yang, X., & Luo, S. (2020). The evolution of LiDAR and its application in high precision measurement. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 502(1), 1–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/502/1/012008>

Yan, W. Y., Shaker, A., & El-Ashmawy, N. (2015). Urban land cover classification using airborne LiDAR data: A review. *Remote Sensing of Environment*, 158, 295-310.

Zhang, Su, Fei Han, y Susan M. Bogus. 2020. «Building Footprint and Height Information Extraction from Airborne LiDAR and Aerial Imagery». Pp. 326-35 en *Construction Research Congress 2020*. Tempe, Arizona: American Society of Civil Engineers.