

Análisis de distribución espacial de equipamientos de seguridad mediante accesibilidad geográfica en Pitalito (Colombia)

Analysis of the spatial distribution of security equipment by means of geographic accessibility in Pitalito (Colombia)

Análise da distribuição espacial de equipamentos de segurança através da acessibilidade geográfica em Pitalito (Colômbia)

Diego A. Escobar ^a | Santiago Díaz-Ruiz* ^b | Carlos A. Moncada ^c

a <https://orcid.org/0000-0001-9194-1831> Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.

b <https://orcid.org/0009-0001-2308-6252> Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.

c <https://orcid.org/0000-0003-3745-6880> Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.

- Fecha de recepción: 2024-03-30
- Fecha concepto de evaluación: 2024-05-19
- Fecha de aprobación: 2024-05-27
<https://doi.org/10.22335/rlct.v16i2.1962>

Para citar este artículo / To reference this article / Para citar este artigo: Escobar, D. A., Díaz-Ruiz, S., & Moncada, C. A. (2024). Análisis de distribución espacial de equipamientos de seguridad mediante accesibilidad geográfica en Pitalito (Colombia). *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 16(2), 48-57. <https://doi.org/10.22335/rlct.v16i2.1962>

RESUMEN

El crecimiento y desarrollo de los municipios se ven afectados por diversos problemas sociales y culturales que pueden obstaculizar su funcionamiento adecuado. Entre estos problemas, la inseguridad destaca como uno de los más significativos, por lo que las autoridades gubernamentales requieren de un compromiso considerable para mitigar su impacto en la población. En este contexto, se plantea la realización de un análisis de cobertura mediante el uso de accesibilidad geográfica, con el objetivo de evaluar la situación actual del sistema de equipamientos de seguridad en el municipio de Pitalito, Huila. El propósito de este análisis es identificar áreas con deficiencias y proponer soluciones pertinentes. La metodología de evaluación contempla la utilización de modelos geoestadísticos, los cuales se implementan a través de software estadístico y tipo SIG (Sistemas de Información Geográfica); estos permiten la generación de gráficos e imágenes que facilitan la interpretación de los resultados obtenidos.

Palabras clave: accesibilidad geográfica, cobertura, equipamientos, seguridad, SIG, tiempo de viaje.

ABSTRACT

The growth and development of communities are affected by various social and cultural problems that can hinder their proper functioning. Among these problems, insecurity stands out as one of the most significant, which is why government authorities require a considerable commitment to mitigate its impact on the population. In this context, a coverage analysis using geographic accessibility is proposed, with the objective of evaluating the current situation of the security equipment system in the municipality of Pitalito, Huila. The purpose of this analysis is to identify areas with deficiencies and propose appropriate solutions. The evaluation methodology proposes the use of geostatistical models implemented through statistical and GIS type software



(Geographic Information Systems); these allow the generation of graphs and images that facilitate the interpretation of the results obtained.

Keywords: Geographic accessibility, coverage, equipment, security, GIS, travel time.

RESUMO

O crescimento e o desenvolvimento dos municípios são afetados por vários problemas sociais e culturais que podem impedir seu funcionamento adequado. Entre esses problemas, a insegurança se destaca como um dos mais significativos, razão pela qual as autoridades governamentais exigem um compromisso considerável para mitigar seu impacto sobre a população. Nesse contexto, propõe-se uma análise de cobertura usando acessibilidade geográfica, com o objetivo de avaliar a situação atual do sistema de equipamentos de segurança no município de Pitalito, Huila. O objetivo desta análise é identificar áreas com deficiências e propor soluções relevantes. A metodologia de avaliação contempla o uso de modelos geoestatísticos, implementados por meio de software estatístico e de sistemas de informações geográficas, que permitem a geração de gráficos e imagens que facilitam a interpretação dos resultados obtidos.

Palavras-chave: acessibilidade geográfica, cobertura, equipamentos, segurança, SIG, tempo de viagem.

Introducción

Los componentes vitales del funcionamiento de cada sociedad facilitan la orientación del desarrollo futuro, permitiendo la focalización de recursos y la identificación de deficiencias en diversos campos de acción, como la salud, la educación, la recreación, la cultura y la seguridad (Escobar et al., 2015). En este contexto, el componente de seguridad, definido como la ausencia o inexistencia del riesgo para la población, se enfrenta a desafíos en su conceptualización debido a la naturaleza multidimensional y subjetiva (Arriagada & Godoy, 1999), lo que requiere de enfoques de evaluación alternativos para implementar soluciones con un impacto significativo en seguridad.

En este sentido, se propone llevar a cabo un análisis de accesibilidad geográfica y cobertura de las instituciones de seguridad en el municipio de Pitalito, Huila, abarcando instituciones como el cuerpo de bomberos voluntarios, las instalaciones de policía, la cárcel municipal y el Instituto Colombiano de Medicina Legal.

Pitalito es un municipio ubicado al sur de Colombia sobre el origen de las cordilleras Andina y Oriental, con coordenadas 76°03'05" oeste y 1°51'14" norte (véase Figura 1). El municipio cuenta con una superficie total de 666 km² y una altitud media de 1318 m.s.n.m. (Alcaldía de Pitalito, 2015). Según las proyecciones

más recientes del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2018), la población estimada es de 135688 habitantes; sin embargo, para fines de esta investigación se emplea la población correspondiente al 2015 (125839 habitantes).

Algunos indicadores de seguridad en el municipio muestran tendencias crecientes en los últimos años en cuanto a hurtos, homicidios y extorsiones, siendo el homicidio motivo de particular preocupación, pues registra más de 40 casos por cada 100000 habitantes (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2015; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2015). Los robos, especialmente los hurtos a personas o de motocicletas, han experimentado igualmente un aumento, con más de 200 casos por año para cada uno (PNUD, 2015).

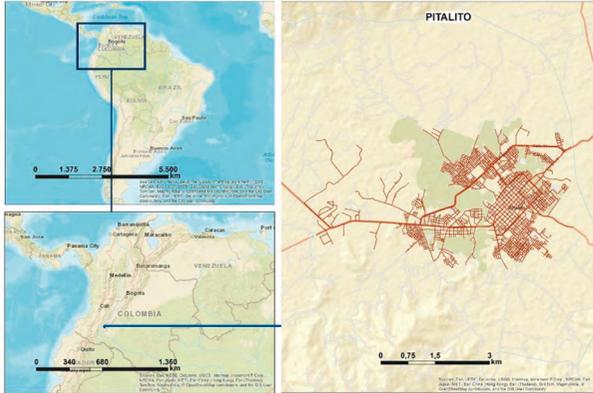
Es importante destacar que las agresiones de terceros no son la única causa de inseguridad, por lo que también se deben considerar situaciones como incendios, siniestros de tránsito y eventos naturales, que son atendidos por unidades de gestión del riesgo como el cuerpo de bomberos voluntarios.

Dada la diversidad de posibles eventos y situaciones que afectan la seguridad del municipio, es necesario evaluar la accesibilidad y cobertura de las instituciones de seguridad; esto permitirá comprender el costo en tiempo de respuesta ante eventualidades, así como

la capacidad de intervención en situaciones futuras, con el objetivo de minimizar la pérdida de recursos y maximizar la eficacia de las instituciones.

Figura 1

Ubicación del lugar de estudio



Antes de proceder con la evaluación, es necesario comprender el término de 'accesibilidad', que va más allá de la mera posibilidad de acceso y se refiere a los medios mediante los cuales se logra acceder (Morris et al., 1978). Aunque existen diversas definiciones del término, todas se basan en la establecida por Hansen en 1959

como "el potencial de oportunidades para la interacción" (Hansen, 1959). En el contexto aplicado, la accesibilidad se relaciona con la facilidad de acceso a diversas actividades o servicios a través de la infraestructura existente (Dalvi, 1978; Wachs & Kumagai, 1973). Sin embargo, existen distintas definiciones como las brindadas por Pirie (1979) y Jones (2011).

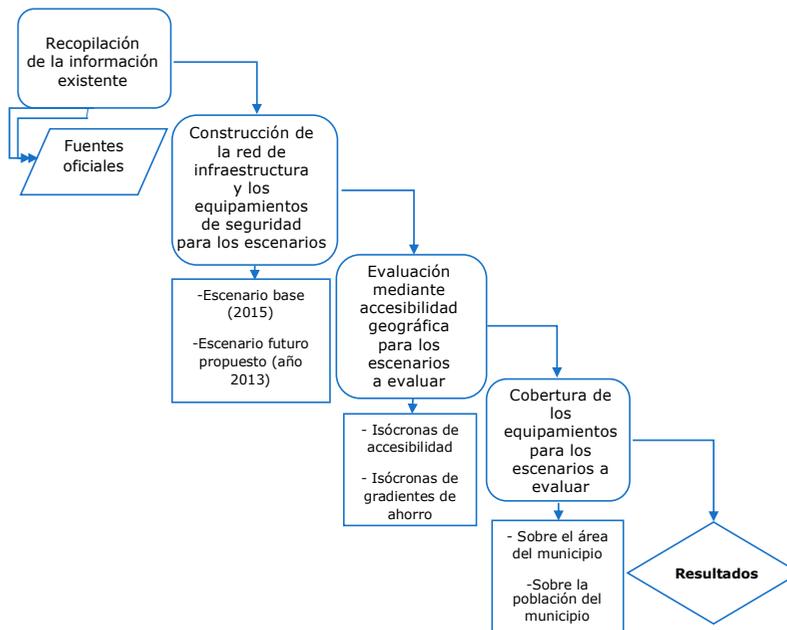
La accesibilidad tiene aplicaciones en una variedad de campos, incluida la educación (Stauber & Parreira do Amaral, 2015; Zuluaga et al., 2017), la sostenibilidad (Cheng et al., 2007; Escobar et al., 2015), la demografía (Kotavaara et al., 2011), la seguridad (Reis et al., 2003), la cohesión social (López et al., 2008), la disminución de desigualdades (Escobar et al., 2022), entre otros.

Metodología

En la Figura 2 se aprecia el orden cronológico y los elementos de la metodología propuesta para esta investigación, entre los cuales se incluyen la recopilación de la información necesaria, el tratamiento de esta y la obtención de resultados.

Figura 2

Metodología propuesta



Recopilación de información existente

Como parte de la metodología de investigación, se lleva a cabo una exhaustiva búsqueda en las bases de datos oficiales disponibles para recopilar información relacionada con la infraestructura vial y la seguridad en el municipio de Pitalito, Huila. Esto permite establecer los componentes físicos y operativos necesarios para la evaluación de la accesibilidad, teniendo como factor negativo la longevidad de la última actualización de la información requerida por las fuentes oficiales, que data del 2015.

Construcción de la red de infraestructura y los equipamientos de seguridad

Una vez recopilada la información pertinente a la infraestructura vial de las bases de datos oficiales, se procede a construir las redes de transporte y los equipamientos de seguridad a evaluar, y se describe cada elemento construido por sus características operativas; cada red se

caracteriza por sus aspectos físicos y operativos, que se incluyen en la evaluación. Además, se integran los equipamientos de seguridad utilizando herramientas digitales.

Se elabora la red vial del municipio de Pitalito correspondiente al escenario base (2015) junto con sus equipamientos, también conocido como facilidades (Montoya et al., 2017). Los elementos anteriormente mencionados son construidos de acuerdo con su ubicación geográfica real (véase Figura 3).

De forma homóloga, y como se aprecia en la Figura 4, se diseña la red vial para el escenario futuro (2031) con base en la información recopilada en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio (Alcaldía de Pitalito, n.d.). Además, se propone la construcción de nuevos equipamientos de seguridad ubicados en los sectores norte y oriente del municipio, considerando los posibles beneficios traducidos en reducción del tiempo de viaje y reacción de los organismos de seguridad y mayor ahorro de tiempo.

Figura 3

Situación base de infraestructura vial y equipamientos de seguridad (2015)

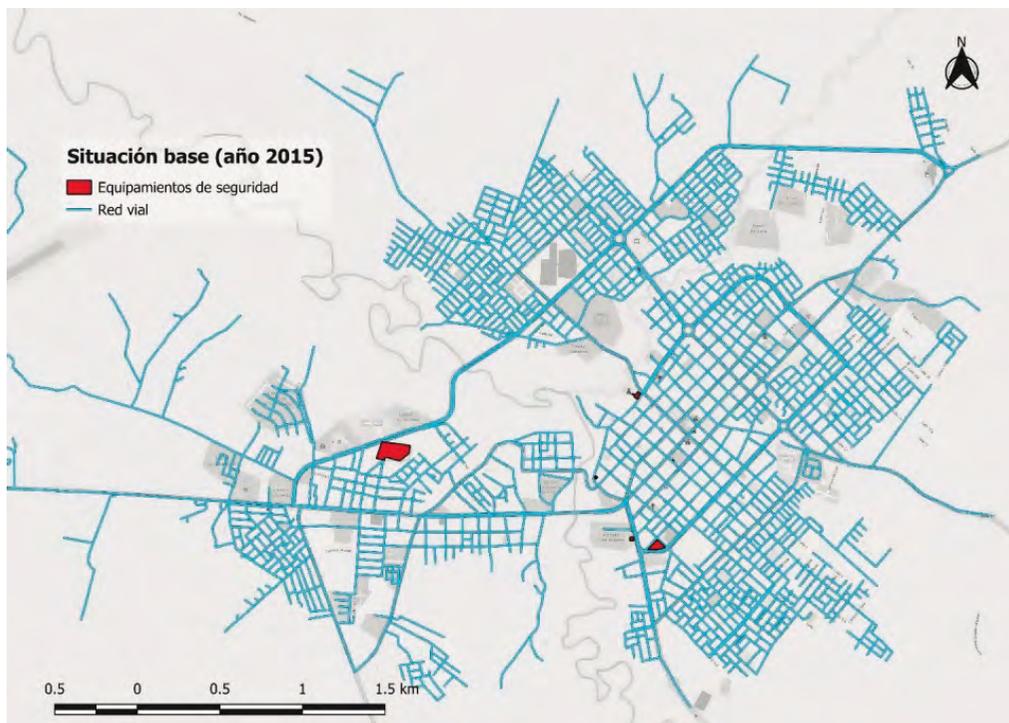
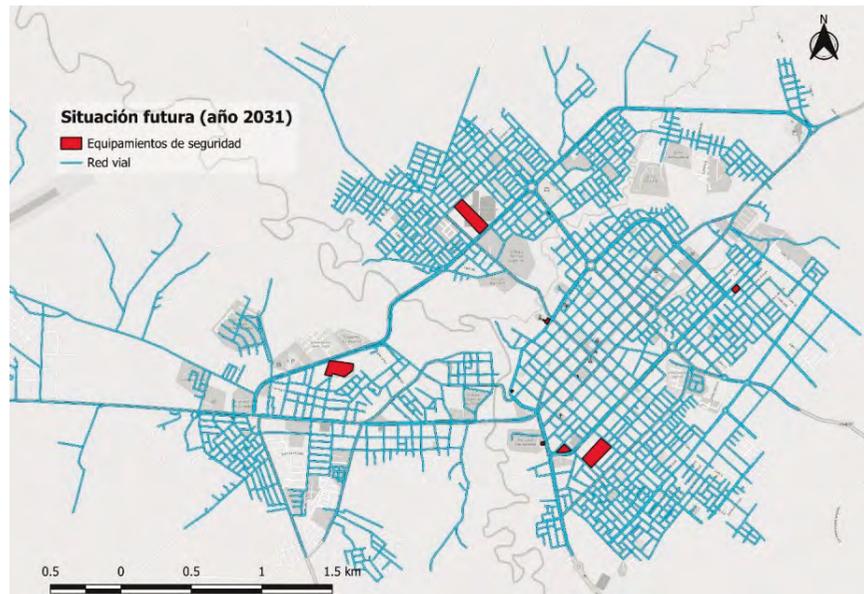


Figura 4

Situación futura de infraestructura vial y equipamientos de seguridad (2031)



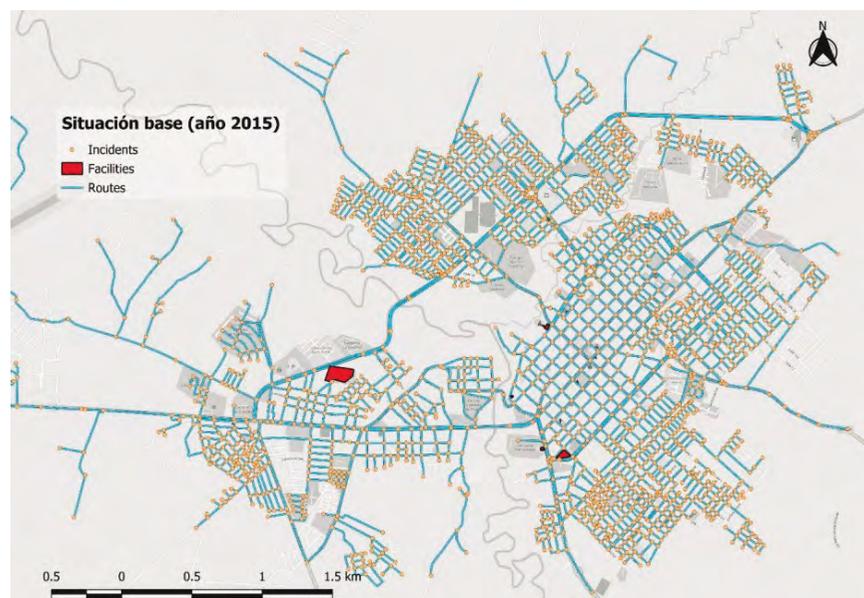
Evaluación mediante accesibilidad geográfica y gradiente de ahorro

Una vez establecidas las redes de infraestructura con sus características respectivas y los equipamientos correspondientes, se vinculan al software ArcMap mediante la extensión Network Analyst - New Closest Facilities (véase Figura 5). Se formulan tres elementos clave para la evaluación: (a) equipamientos de análisis

(*facilities*), (b) puntos de origen de desplazamiento (*incidents*) y (c) segmentos viales para el recorrido (*routes*) (Montoya et al., 2017), como se muestra en la Figura 5. Posteriormente, se ejecuta la herramienta para determinar el tiempo de viaje hacia cada "facilidad" desde cada "incidente". Este cálculo se basa en el algoritmo de Dijkstra, que identifica la ruta más corta (*shortest path*) entre dos puntos, a pesar de las múltiples opciones disponibles (Leyes, 2009; Ramírez et al., 2018).

Figura 5

Elementos para el cálculo de camino más corto; ejemplo de visualización de situación base (2015)



Con los valores de tiempo de viaje obtenidos, se construye una matriz de tiempo que relaciona las coordenadas geospaciales de cada incidente con el costo de desplazarse, expresado en tiempo, hacia cada facilidad. Esta matriz se incorpora a la extensión Geostatistical Wizard de ArcMap (Montoya et al., 2017), donde se generan las curvas de accesibilidad utilizando el método de Kriging ordinario como modelo de proyección, y se obtiene como resultado el cálculo de accesibilidad media integral. Este paso es realizado tanto para la situación base como para el escenario futuro.

Como complemento del análisis mediante la accesibilidad media integral, se desarrollan las curvas de ahorro de tiempo (%), que comparan los resultados obtenidos para los escenarios del 2015 y 2031 por medio de la ecuación (1) y la extensión Geostatistical Wizard, siendo At_i el ahorro en el tiempo de viaje obtenido del escenario futuro $Tv_{i(futuro)}$ en comparación con el escenario base $Tv_{i(base)}$.

$$At_i = \frac{Tv_{i(base)} - Tv_{i(futuro)}}{Tv_{i(futuro)}} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

Cobertura

Finalmente, se vinculan las variables de área y población del municipio, con el fin de evaluar la cobertura en cada red hacia estos dos ítems, utilizando como poblaciones las reportadas para el 2015 (125839 habitantes) (DANE, 2018) y 2031 (150532 habitantes) (Consortio Aguas del Huila, 2014).

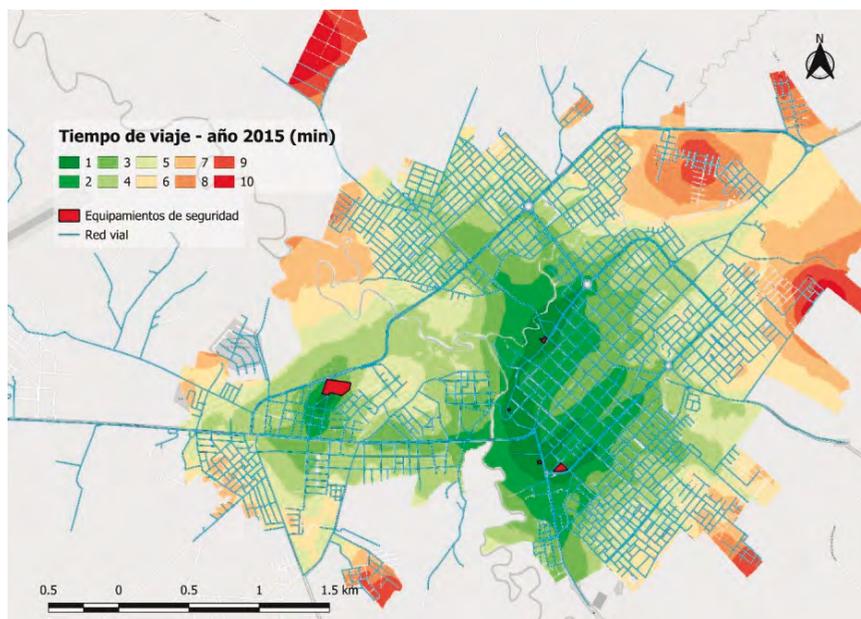
Resultados y discusión

Accesibilidad geográfica y gradiente de ahorro: escenario base y propuesto

En la Figura 6 se muestran los resultados del análisis del costo de desplazamiento hacia las instituciones de seguridad para el 2015. La variación en el costo se evalúa en intervalos de 1 minuto, alcanzando un máximo de 10 minutos hacia los sectores norte, sur y oriente del municipio. Se observa que la ubicación de las instituciones de seguridad favorece el acceso para los residentes del centro, el occidente y áreas cercanas. Sin embargo, se identifica una dificultad significativa de acceso en el sector donde se registra el costo máximo de desplazamiento, lo que sugiere la posible necesidad de establecer un nuevo equipamiento en esta zona.

Figura 6

Accesibilidad media integral a los equipamientos de seguridad – situación base (2015)



Tras las intervenciones en la infraestructura vial y la incorporación de los nuevos equipamientos, se genera un mapa de accesibilidad futuro para el 2031 (véase Figura 7). Se observa la notoria disminución en el costo de desplazamiento en comparación con el 2015, dado que la implementación de nuevos equipamientos está orientada hacia la zona suroriental del municipio, sector en el cual está centrada la expansión urbana del mismo. El costo de desplazamiento máximo no supera los 9 minutos hacia los sectores norte y sur del municipio, con una disminución significativa de hasta 7 minutos en el sector oriental, mitigando así las necesidades de la población. Además, se

evidencia la necesidad de nuevos equipamientos en áreas de expansión para satisfacer la demanda prevista para el 2031.

El mapa de ahorro (véase Figura 8) muestra la variación en el ahorro percibido entre el 2015 y 2031. Se observa que la mayor percepción de ahorro se encuentra en áreas con implementación de nuevos equipamientos en seguridad, centrándose en los sectores norte y oriental. Esto indica que la oferta de servicios dispersos por los territorios mejora la oportunidad de acceder a ellos, por lo que es importante la mixtura de suelos y la diversificación de servicios en las ciudades (Aristizábal et al., 2023).

Figura 7

Accesibilidad media integral a los equipamientos de seguridad – situación futura (2031)

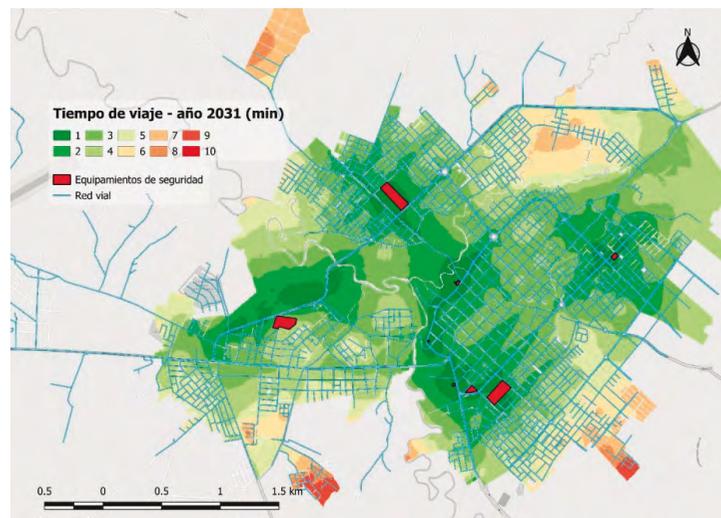
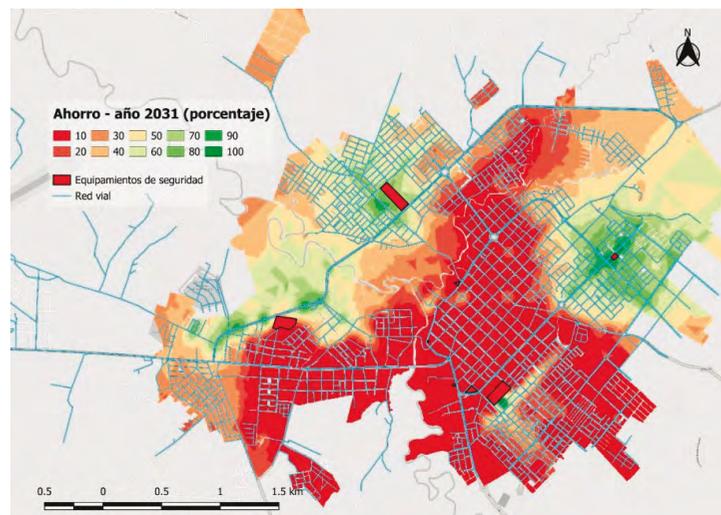


Figura 8

Ahorro de accesibilidad a los equipamientos de seguridad – situación base (2015) versus situación futura (2031)



Cobertura: escenario base y propuesto

La Figura 9 muestra el comportamiento de la cobertura generada por las instituciones de seguridad en el 2015. Se observa una cobertura muy cercana a la homogeneidad tanto en área como en población, lo que significa que el total de cobertura de ambas en un tiempo cercano es de 10 minutos.

La Figura 10 muestra la variación en la cobertura para el 2031 después de las intervenciones. Se observa aún mayor homogeneidad entre las variables en comparación con el 2015; además, se obtiene una reducción de aproximadamente 3 minutos para lograr la totalidad de la cobertura. Nótese, como ejemplo, que la cobertura mejoró cerca del 25% en un tiempo de respuesta de 3 minutos, brindando así una mejor respuesta de los organismos de seguridad y consiguiendo, inherentemente, una mejoría en la seguridad del municipio.

Figura 9

Cobertura acumulada a los equipamientos de seguridad – situación base (2015)

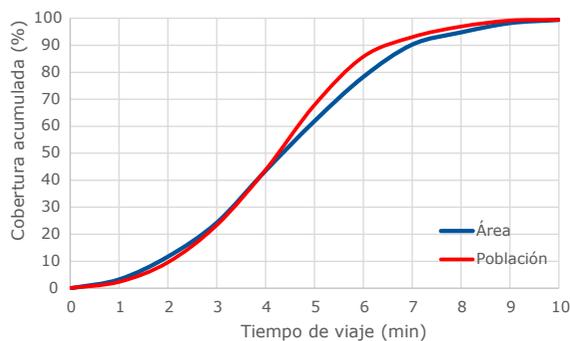
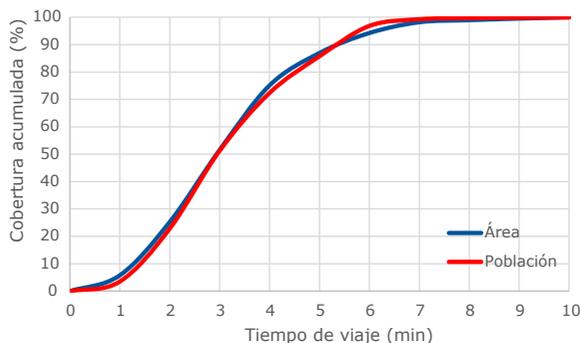


Figura 10

Cobertura acumulada a los equipamientos de seguridad – situación futura (2031)



Discusión

Los resultados de este producto investigativo resultan una herramienta de gran utilidad a la hora de planificar a futuro los equipamientos de seguridad, pues permite identificar en qué lugares se obtendrían los mayores beneficios, tanto en tiempo de viaje como en coberturas acumuladas, con la implantación de nuevos equipamientos de seguridad. Adicionalmente, es una metodología que puede ser replicable en cualquier municipio del territorio colombiano con el cual se cuente información de población y extensión, la cual se encuentra ampliamente recopilada y suministrada por el Departamento Nacional de Estadística – DANE, siendo esta una oportunidad para evaluar la ubicación de los equipamientos (de seguridad, salud, educativos, etc.) en los municipios colombianos.

Para complementar esta información, y estar en concordancia con la planificación específica de los municipios, las futuras investigaciones deberían contemplar estas herramientas de los territorios tales como los Planes de Ordenamiento Territorial – POT, Planes Básicos de Ordenamiento Territorial – PBOT y Esquemas de Ordenamiento Territorial – EOT. El uso de estos elementos, permitirán determinar el uso del suelo de los municipios y, de esta manera, poder brindar propuestas de ubicación de equipamientos que sean acordes a estos (usos del suelo).

Para futuras investigaciones, se propone analizar la incorporación de nuevos equipamientos en los sectores de expansión urbana del municipio, la cual permita determinar el impacto en la accesibilidad causado por dicha incorporación, así como posibles reducciones en los costos de desplazamiento para la comunidad.

Conclusiones

La evaluación de la accesibilidad en el año 2015 ha permitido determinar una baja cobertura, expresada en tiempos de viaje y coberturas acumuladas, de las instituciones de seguridad en algunos sectores del municipio, lo cual supone una desventaja a la hora de atender emergencias que presenten sus habitantes. Esto permite determinar que, en caso de planearse

realizar intervenciones en los equipamientos de seguridad, ya sea por reubicación o por instalación de nuevos puntos, los sectores norte y oriente de Pitalito presentan las ubicaciones ideales, pues aumentarán la cobertura en seguridad del municipio y reducirán el tiempo de viaje para la atención de emergencias, tal como se evidencia en los resultados de la accesibilidad en el escenario propuesto por esta investigación.

La metodología de accesibilidad geográfica resulta una herramienta de gran utilidad para la planificación de los municipios, pues su aplicación permite una asignación eficiente de los recursos y una maximización de los beneficios para la comunidad. Puede utilizarse para analizar cualquier tipo de servicio como lo son la seguridad (caso de estudio de esta investigación), la salud, la educación, la recreación, el deporte, entre otros.

Complementar la metodología propuesta con herramientas de planificación de los municipios servirá para obtener panoramas más factibles de acuerdo con el uso del suelo (cuando haya planificación territorial definida) u óptimos (si se utiliza para elaborar dicha planificación).

Finalmente, para el municipio de Pitalito se recomienda la creación de una red vial de carácter primario que una, mediante la periferia del municipio, los extremos de este; esto mejoraría notablemente el desplazamiento y reduciría los tiempos de viaje.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Semillero de Investigación en Análisis de Accesibilidad del Grupo de Investigación en Movilidad Sostenible (GIMS) de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.

Referencias

- Alcaldía de Pitalito. (n.d.). *Plan de Ordenamiento Territorial*. https://alcaldiapitalito.gov.co/normatividadvigente/Acuerdo_023-2021.pdf
- Alcaldía de Pitalito. (2015). *Información general*. <http://www.alcaldiapitalito.gov.co/web1/index.php/pitalito/informacion-general>

- Aristizábal, J. E., Sarache, W., & Escobar, D. A. (2023). Spatial regression model of urban walkability under the 15-minute city approach. *Geojournal of Tourism and Geosites*, 49(3), 1037-1045. <https://doi.org/10.30892/gtg.49319-1103>
- Arriagada, I., & Godoy, L. (1999). Seguridad ciudadana y violencia en América Latina: diagnóstico y políticas en los años noventa. *CEPAL-SERIE Políticas Sociales*, 32. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/0649aeaf-1e25-4bf2-b82e-f2120a025b25/content>
- Cheng, J., Bertolini, L., & le Clercq, F. (2007). Measuring sustainable accessibility. *Transportation Research Record*, 2017(1), 16-25. <https://doi.org/10.3141/2017-03>
- Consortio Aguas del Huila. (2014). *Consultoría para la elaboración de los estudios y diseños de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la zona urbana, que fueren necesarios del municipio de Pitalito, departamento del Huila. Producto I componente de agua potable informe 5 diseños definitivos*. https://www.sirhuila.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/37-INFORME_CALIDAD_DEL_AGUA_DE_LOS_MUNICIPIOS_2014.pdf
- Dalvi, M. (1978). Behavioural modelling accessibility, mobility and need: Concepts and measurement. En D. A. Hensher, & P. R. Stopher (Eds.), *Behavioural travel modelling* (pp. 639-653). Croom Helm.
- Departamento Nacional de Estadística (DANE). (2018). *Estimación y proyección de la población nacional, departamental y municipal por área 1985-2020*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2015). *Ficha de caracterización*. http://www.sirhuila.gov.co/files/Fichas_DNP/Fichas_de_caracterizacion_territorial/PITALITO.pdf
- Escobar, D. A., Aristizábal, J. E., & Moncada, C. A. (2022). Análisis de la distribución espacial de cruces peatonales aplicando un modelo de accesibilidad geográfica. Caso de estudio: Avenida Santander, Manizales

- (Colombia). *Información Tecnológica*, 33(2), 157-168. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642022000200157>
- Escobar, D., Cadena, C., & Salas, A. (2015). Cobertura geoespacial de nodos de actividad primaria. Análisis de los aportes a la sostenibilidad urbana mediante un estudio de accesibilidad territorial. *Revista EIA*, 12(23), 14-27. https://www.redalyc.org/pdf/1492/Resumenes/Resumen_149240051002_1.pdf
- Hansen, W. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2), 73-76. <https://doi.org/10.1080/01944365908978307>
- Jones, P. (2011). Developing and applying interactive visual tools to enhance stakeholder engagement in accessibility planning for mobility disadvantaged groups. *Transportation Business & Management*, 2, 29-41. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2011.08.001>
- Kotavaara, O., Antikainen, H., & Rusanen, J. (2011). Population change and accessibility by road and rail networks: GIS and statistical approach to Finland 1970-2007. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 926-935. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.10.013>
- Leyes, J. M. S. (2009). *Métodos cuantitativos de organización industrial I* (vol. 86). Universitat Politècnica de Catalunya.
- López, E., Gutiérrez, J., & Gómez, G. (2008). Measuring regional cohesion effects of large-scale transport infrastructure investment: An accessibility approach. *European Planning Studies*, 16(2), 277-301. <https://doi.org/10.1080/09654310701814629>
- Montoya, J. A., Escobar, D. A., & Sabogal, O. A. (2017). ¿Dónde ubicar nuevos nodos comerciales en la ciudad de Manizales-Colombia? Aplicación de un análisis geográfico. *Revista Espacios*, 38(53), 1-12. <https://www.revistaespacios.com/a17v38n53/a17v38n53p07.pdf>
- Morris, J., Dumble, P., & Wigan, M. (1978). Accessibility indicators for transport planning. *Transportation Research A: General*, 13(2), 91-109. [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(79\)90012-8](https://doi.org/10.1016/0191-2607(79)90012-8)
- Pirie, G. (1979). Measuring accessibility: A review and proposal. *Environment and Planning A*, 11, 299-312. <https://doi.org/10.1068/a110299>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2015). *Perfil productivo, municipio Pitalito, Huila*. https://issuu.com/pnudcol/docs/perfil_productivo_pitalito
- Ramírez, D., Cardona, S., & Escobar, D. A. (2018). New transportation infrastructure impact in terms of global average access-intersection "La Carola" Manizales (Colombia). Case study. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(5), 215-227. <https://doi.org/10.12988/ces.2018.812>
- Reis, A., Portella, A., Bennett, J., & Lay, M. (2003). Accessibility and security. Proceedings. *4th International Space Syntax Symposium*. <https://www.spacesyntax.net/symposia-archive/SSS4/fullpapers/44ReisPortellaBennetpaper.pdf>
- Stauber, B., & Parreira do Amaral, M. (2015). Access to and accessibility of education: An analytic and conceptual approach to a multidimensional issue. *European Education*, 47(1), 11-25. <https://doi.org/10.1080/10564934.2015.1001254>
- Wachs, M., & Kumagai, T. G. (1973). Physical accessibility as a social indicator. *Socio-Economic Planning Sciences*, 7(5), 437-456. [https://doi.org/10.1016/0038-0121\(73\)90041-4](https://doi.org/10.1016/0038-0121(73)90041-4)
- Zuluaga, J. D., Escobar, D. A., & Hincapié, J. D. (2017). Calidad en la educación e infraestructuras del transporte desde la accesibilidad territorial. Departamento de Caldas en Colombia como caso de estudio. *Información Tecnológica*, 28(6), 169-180. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000600018>