

CONSIDERACIONES PARA LA EXPANSIÓN DEMOGRÁFICA AMBIENTALMENTE SOSTENIBLE MEDIANTE SUPERPOSICIÓN DIFUSA UTILIZANDO ARCGIS: CASO ESTUDIO NEIVA-COLOMBIA

María D. Pulido-Osorio¹ Diever James Santanilla-Quiñonez² Sergio Castro-Hermosa³

¹María Daniela Pulido Osorio, Ingeniera ambiental, investigadora, Fundación Escuela Tecnológica de Neiva - FET. maria.pulidoosorio8@gmail.com.

²Diever James Santanilla Quiñonez, Ingeniero ambiental, Fundación Escuela Tecnológica de Neiva - FET. diever_santanillaqu@fet.edu.co.

³Sergio Alexis Castro Hermosa, Ingeniero mecatrónico, Fundación Escuela Tecnológica de Neiva - FET. sergio_castrohe@fet.edu.co.

RESUMEN

Este estudio busca la generación de espacios adecuados con criterios socioambientales para el crecimiento demográfico, generando una proyección de ordenamiento territorial del municipio por medio de los Sistemas de Información Geográfica incluyendo parámetros de criterio suministrados por la oficina de planeación de la gobernación del Huila, utilizando la superposición difusa, para la identificación de las áreas aptas de expansión demográfica, evidenciando que la zona urbana y suburbana del municipio, posee un 3% de área para zonas óptimas, 22% de área para zonas buenas, determinando que se puede realizar expansión hacia el sur y el oriente de la ciudad ambientalmente responsable.

Palabras clave: Desarrollo sostenible; Sistemas de información Geográfica; Superposición difusa; Uso del suelo.

Recibido: 23 de diciembre de 2022. Aceptado: 26 de febrero de 2023

Received: December 26, 2022. Accepted: February 26, 2023



CONSIDERATIONS FOR ENVIRONMENTALLY SUSTAINABLE DEMOGRAPHIC EXPANSION BY FUZZY OVERLAY USING ARCGIS: NEIVA-COLOMBIA CASE STUDY

ABSTRACT

The aim of this study is to generate adequate spaces for demographic growth with a socio-environmental criteria giving a projection for the territorial ordering of the municipality through Geographic Information Systems, including criteria parameters provided by the Huila government planning office, and using the diffuse overlap for the identification of suitable areas for demographic expansion. The results evidence that the urban and suburban area of the municipality has a 3% for optimal areas and 22% for good areas, determining that expansion can be carried out towards the south and east of the environmentally responsible city.

Keywords: Sustainable development, Geographic information systems, Fuzzy overlay, Land use.

Cómo citar este artículo: Pulido-Osorio, M. D., Santanilla-Quiñonez, D. J., Castro-Hermosa S. (2023). "Consideraciones para la expansión demográfica ambientalmente sostenible mediante superposición difusa utilizando ArcGIS: caso estudio Neiva-Colombia" *Revista Politécnica*, 19(37), 119-132. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v19n37a9>

1. INTRODUCCIÓN

El Banco mundial afirma que aproximadamente mil millones de personas en todo el planeta, habitan en lugares con condiciones de calidad deficientes [1]. Actualmente, el crecimiento de la población humana y la expansión urbana, vienen generando diferentes impactos socioambientales [2]. Se realizó un estudio en las principales ciudades de Latinoamérica (Buenos aires, Ciudad de México, Río de Janeiro y São Paulo) dónde determinaron que la dispersión y segmentación espacial son dos patrones que se relacionan con expansión urbana [3].

En México se evidencia que en el periodo de 1980 hasta el 2017, tuvo una disminución del 37% de los cuerpos hídricos por la expansión urbana y el uso del suelo [1]. Por estas razones, México no puede ser visto cómo un país autosuficiente [4]; y desde la perspectiva de la seguridad alimentaria, un estudio en Argentina evidencia que la expansión urbana ha generado problemas con relación a la disminución en un 88% en la provisión de alimentos de proximidad [5], por esto surge la necesidad mundial para generar planificación territorial.

Colombia, no siendo ajeno a las problemáticas demográficas también ha generado adaptación a políticas y estrategias; [6] relaciona el crecimiento de Colombia en un periodo de 1985 a 2012 con el componente económico, en torno a los recursos de cada región. Por ejemplo, Bogotá desarrolló crecimiento informal y periférico [7] y generó un programa denominado: “Red de espacios y corredores que sostienen y conducen la biodiversidad y los procesos ecológicos esenciales, a través del territorio del Distrito Capital” [8].

La ciudad de Neiva es un centro urbano de alto crecimiento económico y demográfico ya que es la principal vía de acceso y conexión de la región sur del país [6]. De hecho, el departamento del Huila se registra como el departamento con más producción de café del país, genera el 18.13% de la producción [9]. Sin embargo, se mantiene por encima del promedio nacional de pobreza [10]. La falta de planificación ha tenido incidencia en el deterioro ambiental y social del municipio, pues la última actualización del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) fue editada en el acuerdo 026 del año 2009.

Actualmente, el acuerdo 026 del 2009, expone políticas de crecimiento urbano y estrategias de consolidación [11], pero no presenta de forma detallada la metodología que se realiza para determinar estas políticas. Por lo que es necesario, establecer una metodología clara que permita determinar las áreas aptas para la edificación de nuevos asentamientos, sin poner en riesgo a la población o al ambiente.

De tal forma, este artículo muestra un mapa de aptitudes, generado con la metodología basada en la lógica Fuzzy (difusa) de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y criterios de conservación ambiental para determinar las posibles áreas de crecimiento urbano.

Teniendo en cuenta las características fisiográficas del área de estudio, se presenta una alternativa de diseño para el crecimiento demográfico que sirve para ordenar geográficamente a ciudades en vía de desarrollo (con Neiva como caso de estudio), además, permite disminuir los conflictos socioambientales que se han presentado durante el crecimiento del territorio urbano.

Todo esto debido a la vulnerabilidad que tiene la sociedad frente a riesgos provenientes de amenazas naturales, y a la afectación del medio ambiente por los asentamientos urbanos en zonas de protección y conservación ambiental.

2. MATERIALES Y MÉTODO

2.1. Proyección del crecimiento poblacional.

A partir de la información poblacional de los años 1985, 2005 y 2019 generada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), se realizó una proyección del crecimiento poblacional para un periodo de 25 años siguiendo las condiciones del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) de Colombia, este periodo es comprendido entre los años 2020 y 2045. Por tanto, para proyectar la población de Neiva, se utilizó el siguiente método geométrico (Ver ecuación 1)

$$Pf=PUC*1+rTf-TUC$$

Ecuación (1)

donde “Pf” representa la población proyectada para el año 2045, “Puc” es la población del último censo, “Tf” es el año futuro, “Tuc” es el año del último censo y “r” es la tasa de crecimiento anual que se despeja con la siguiente fórmula (Ver ecuación 2):

$$r=PUCPci1TUC-Tci-1$$

Ecuación (2)

Donde, “Pci” es la población del censo inicial y “Tci” es el año del censo inicial.

2.2. Delimitación área de estudio:

El área de estudio se delimitó teniendo como referencia el perímetro urbano de la ciudad suministrado por secretaría de planeación del departamento y se utilizaron las herramientas ArcMap y Arctoolbox del software ArcGIS, para la selección, construcción y procesamiento de los mapas basados en cada uno de los criterios de estudio.

2.3. Criterios de estudio y notas de aptitud:

Se seleccionaron los siguientes criterios para realizar el mapa de aptitudes, siguiendo lineamientos ambientales y sociales: Hidrografía, geología, zonificación ambiental, pendiente, cobertura y suelos (Ver anexo 1). Las notas de actitud fueron basadas en [12], quienes utilizaron estas notas de aptitud para adecuar la red de suministro de agua en el municipio de Formosa Goiás en Brasil.

2.4. Reclasificación de mapas

Se asignó una numeración a las descripciones de cada uno de los criterios de estudio, generando una clasificación a las áreas con alta probabilidad de ser seleccionadas como zonas de expansión y las áreas que no son favorables para los asentamientos urbanos. Este proceso se realizó ingresando la numeración a la tabla de atributos de los mapas temáticos, utilizando la herramienta de ArcMap del software ArcGIS.

La numeración para la reclasificación se constituye a complacencia; pero en este caso, fue diseñada teniendo en cuenta el estudio de [12], Se le añadió a esta información una gama de colores estándar para cada valor (Ver tabla 1).



Notas de Aptitud		
Nota	Aptitud	Color
1	Muy Bajo	Rojo
2	Bajo	Naranja
Indicador	Clasificación	Color
3	Medio	Amarillo
4	Bueno	Verde
5	Óptima	Azul

Tabla 1. Descripción notas de aptitud. Fuente: Autores.

La nota otorgada puede ser 1, 2, 3, 4 o 5 representando “Muy bajo”, “Bajo”, “Medio”, “Bueno” u “Óptima” respectivamente. Por ejemplo, si la zona es apta para urbanización entonces recibirá una nota de 5. De igual forma, se otorgó un color para cada zona basado en su nota de actitud, dichos colores fueron rojo (1), naranja (2), amarillo (3), verde (4) y azul (5).

2.5. Análisis multicriterio:

Para la obtención del análisis multicriterio se tuvo en cuenta los criterios de estudio, reclasificados y descritos anteriormente. Y mediante la metodología “Análisis multicriterio” el cual es la combinación de criterios numéricos asociado a la técnica Superposición Fuzzy (difusa), con el objetivo de determinar el mapa de aptitud para la ocupación urbana de Neiva.

2.6. Superposición Fuzzy (difusa), escenarios y mapa de zonificación de áreas adecuadas:

Mediante la lógica difusa que permite la clasificación basada en lo verdadero y falso únicamente [21] Se realizó la combinación de los mapas de los criterios de estudio, usando formato de archivos ráster y con la herramienta de “Análisis espacial y superposición Fuzzy” [13] [14] [20] con el software ArcGIS, se logra obtener el mapa final de las combinaciones en formato ráster.

Para esta fase, las variables no se categorizan en números binarios, por el contrario, es difuso o gradual, es decir, son valores intermedios que se ajustan entre un nivel de vulnerabilidad (0) y un valor máximo de vulnerabilidad (1) [20]. Para completar este proceso, se debe generar la elección de factores y establecimiento de pesos relativos, el cual se soportará con la información de las capas o “layers” [20] para este caso estudio se obtuvo uso del suelo, zonificación ambiental, pendientes, suelos y geología.

Después de tener los criterios en formato ráster se procede a realizar la combinación que se obtiene con la herramienta de Arctoolbox de ArcGIS, en la característica de herramienta de análisis espacial y superposición Fuzzy, obteniendo el mapa en formato ráster de las combinaciones. La identificación de los escenarios se desarrolla con la creación de un formato shapefile “shp” para delimitar las áreas óptimas que arrojó la técnica superposición Fuzzy por medio de polígonos.

La zonificación de las áreas adecuadas para el crecimiento del municipio de Neiva se desarrolla anexando las zonas de restricciones cercanas al perímetro urbano, generando un “shp” que contiene las zonas de restricción o

las zonas no aptas. Finalmente, el uso de Python permitió hacer un conteo de píxeles de cada zona, lo que permitió determinar el porcentaje de ocupación de cada una.

2. RESULTADOS

La ciudad de Neiva, ha desarrollado un crecimiento exponencial, siendo delimitado por tres cuencas: Cuenca Río Magdalena, Cuenca Río Las Ceibas y Cuenca Río Loro. A continuación, se relacionan dos imágenes satelitales que evidencian un cambio en la morfología en relación al crecimiento urbanístico.

2.1. Proyección del crecimiento poblacional



Figura 2. Neiva (1985). Fuente: Google Earth Image Landsat / Copernicus.



Figura 3. Neiva (2022) Fuente: Google Earth. CNES / Airbus.

De acuerdo con la información suministrada en el último censo del DANE en el año 2018, Neiva cuenta con una población de 357.392 de los cuales el 94% viven en la zona urbana que consta de un área de 45.94 km². Así, la zona urbana tiene una densidad demográfica muy alta de aproximadamente de 7200 habitantes por km², mientras que la zona rural muestra una densidad de tan solo 19 habitantes por km², es decir, 1 habitante tiene derecho a 140 m², cifra que viene representando el área de vivienda aproximadamente.

Según la información del DANE, para el año 1985, existía una población de 181.396 habitantes y se evidencia un desarrollo urbanístico de sur a norte (Figura 2), en el 2005 incrementó a 295.961 habitantes y para el 2018 se generó un total de 314.519 habitantes evidenciando que, en un periodo de 37 años, la población generó un incremento exponencial generando un poco menos del doble de la población que había en el año 1985 y una expansión urbanística hacia el oriente y sur de la ciudad (Figura 3).

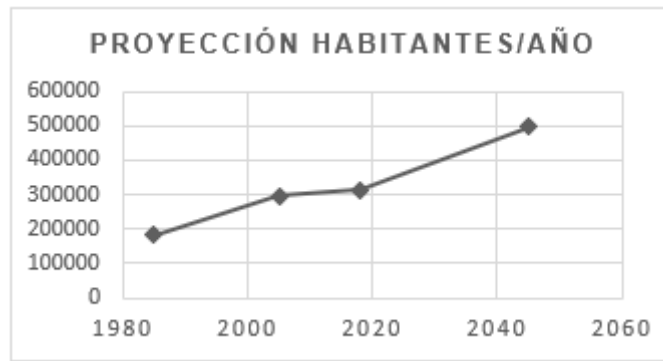


Figura 4: Información de los habitantes de los años 1985, 2005, 2018 y la proyección de habitantes al año 2045. **Fuente:** Autores.

2.2. Criterios de estudio y notas de aptitud

Siguiendo las notas de aptitud (ver Anexo 2), se realizó una reclasificación de los mapas temáticos los cuales se presentan en la Figura 5 y se basa en los aspectos ambientales que se relacionan con los componentes de hidrografía, coberturas vegetales y geomorfología. Estos criterios determinan el desarrollo basado en un sistema ambientalmente sostenible.

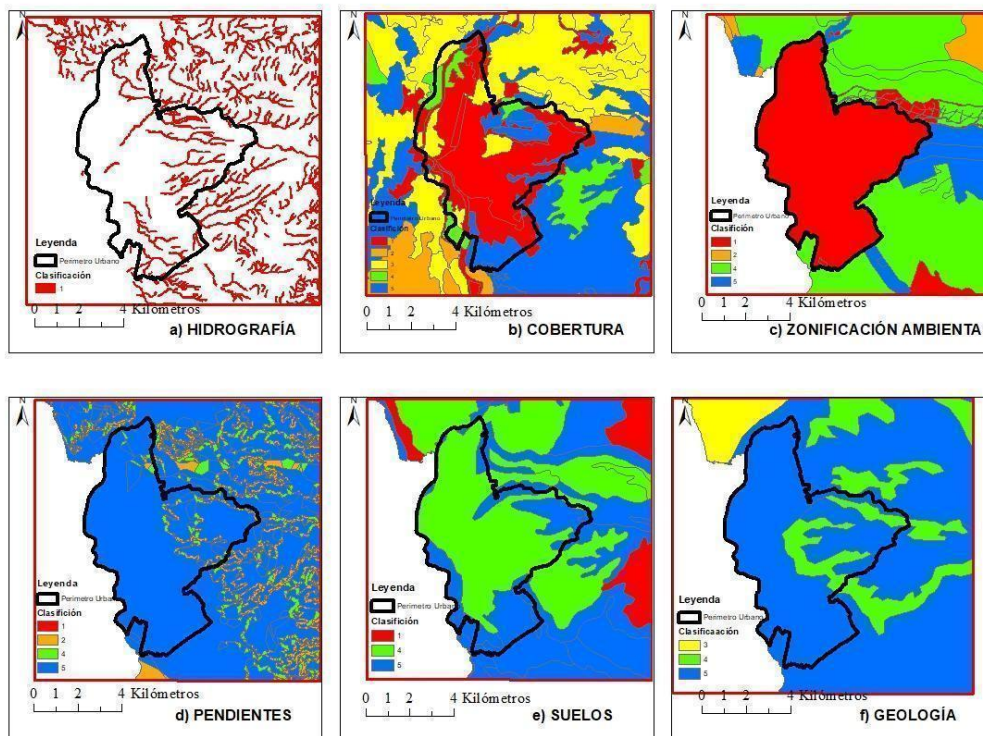


Figura 5. Mapas reclasificados según la nota de aptitud. Los mapas muestran la hidrografía (a), uso del suelo (b), zonificación ambiental (c), pendientes (d), suelos (e) y geología (f). La línea negra indica el perímetro urbano de la ciudad de Neiva. **Fuente:** Autores.

2.3. Superposición Fuzzy (difusa), escenarios y mapa de zonificación de áreas adecuadas

Una vez reclasificados los mapas, se utilizó la técnica de superposición Fuzzy [13] [14], para combinar los mapas de cada criterio agrupando las características numéricas de la reclasificación. Esta numeración se relaciona de

forma ascendente, siendo 1 las regiones que son inaptas para el desarrollo urbanístico, el 2 y el 3, son áreas que pueden ser estudiadas y acondicionadas para un desarrollo urbano y; las pertenecientes al 4 y 5, son características que tienen la probabilidad de expansión urbana. Después de la técnica Fuzzy, se identificaron y delimitaron los posibles escenarios de expansión urbana.

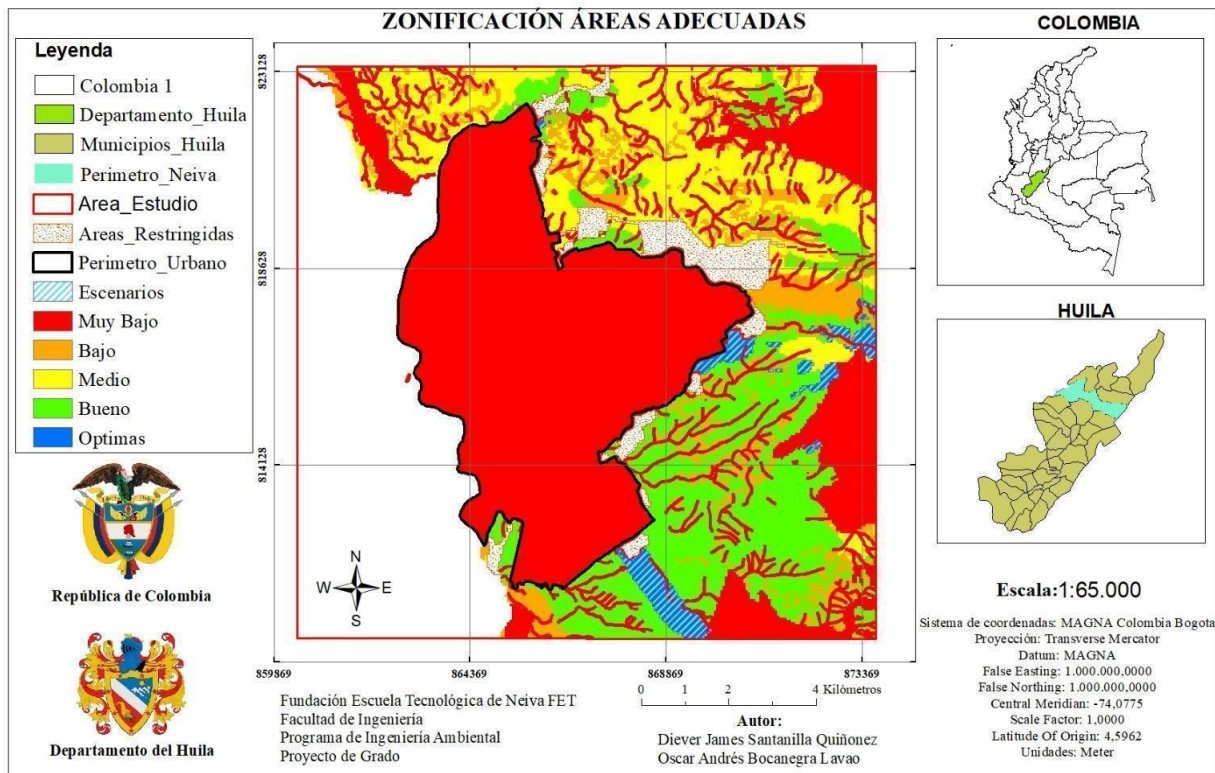


Figura 6. Zonificación Áreas Adecuadas de acuerdo con la superposición difusa y criterios de protección ambiental. **Fuente:** Autores.

Con este proceso, se identificaron 10 áreas que representan los espacios propicios para que el municipio desarrolle asentamientos urbanos. Como resultado se obtuvo un mapa con la zonificación de áreas adecuadas, el cual se muestra en la Figura 6. Este mapa presenta una delimitación de las áreas aptas de expansión y, las áreas restringidas alrededor del perímetro urbano. Se ilustran franjas rojas (Muy bajo) que representan áreas no aptas, puesto que son zonas que combinan la presencia de microcuencas, bosques de galería, zonas de recuperación ambiental, terrenos muy escarpados, entre otros. Mientras que las zonas de color azul (áreas óptimas) representa las regiones con las características más adecuadas para la expansión urbana, ya que sus terrenos son planos, están dentro de un corredor suburbano, y no afectan el medio ambiente.

Al realizar un procesamiento de imágenes, se pudo determinar el porcentaje de ocupación de cada una de las zonas determinadas por medio de la metodología expuesta en este trabajo. El conteo de píxeles permitió determinar el porcentaje de ocupación de cada zona (ver Figura 7). Dichos porcentajes permitieron calcular el área total estimada de cada sector.

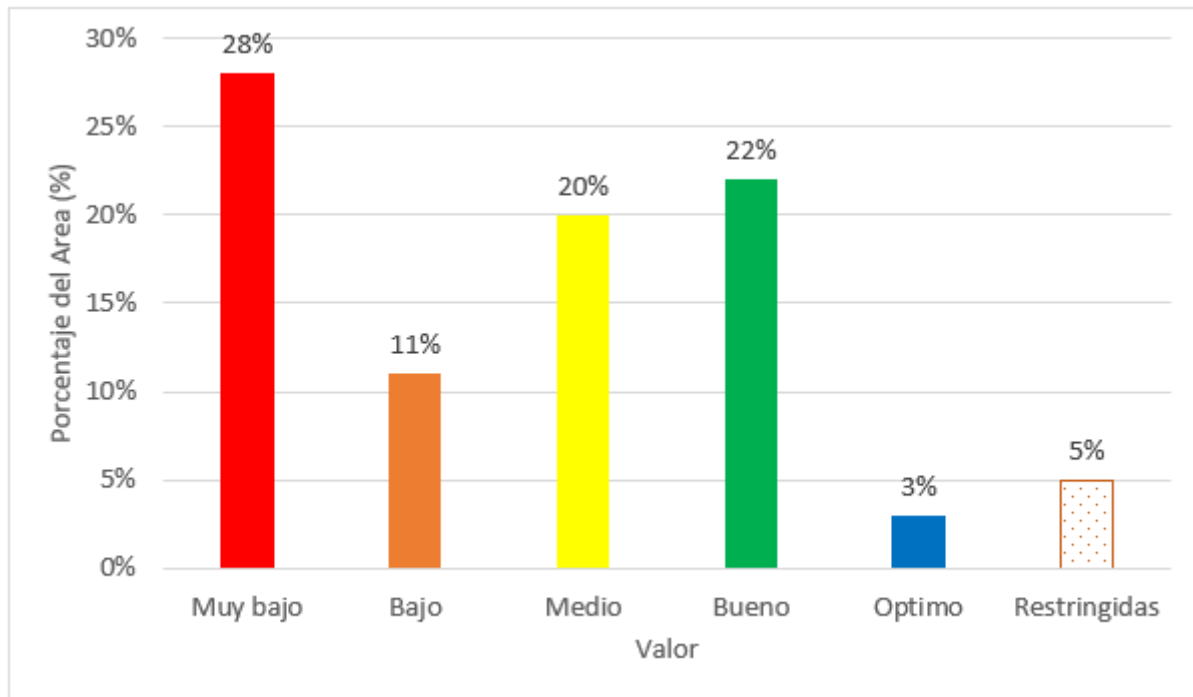


Figura 7. Porcentaje de ocupación de cada zona. Fuente: Autores.

Debido a la geomorfología de la ciudad de Neiva y que, en la clasificación relacionada, se evaluó el criterio de “pendiente”, los valores arrojados demuestran que las zonas más “óptimas” son aquellas que se distribuyen en el sur y occidente de la ciudad, teniendo en cuenta que la morfología de Neiva es un valle que se ubica de norte a sur. Así mismo, el área “buena” para expansión urbanística también se relaciona con la zona sur de la ciudad.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Proyección del crecimiento poblacional

Neiva, siendo la principal vía de acceso al sur colombiano [6] y siendo uno de los municipios del departamento más productor de café de Colombia [9], ha venido desarrollando una expansión en los últimos 37 años evidenciada en la infraestructura y en la cantidad de habitantes.

Las Figuras 2 y 3 muestran la evolución en la infraestructura demográfica de Neiva desde 1985, también se evidencia como el desarrollo urbanístico se ha llevado hacia el oriente, norte y sur de la ciudad invadiendo zonas ambientales como por ejemplo el humedal de los Colores, que según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, entre 1993 y 2014 este humedal vio su área reducida en un 74.6% [15].

La alta concentración en zona urbana se debe principalmente al crecimiento acelerado de la economía en zona urbana por el desplazamiento forzado de las comunidades rurales lo que ha provocado una gran migración desde las zonas rurales o pueblos cercanos hacia Neiva.

El crecimiento demográfico sin duda implica un gran crecimiento urbanístico por lo que la construcción de viviendas ha aumentado existiendo una preferencia hacia las construcciones verticales. No obstante, estas nuevas edificaciones no han sido planificadas dentro del Plan de Ordenamiento Territorial y se han venido afectando áreas naturales como cuencas de ríos, bosques y humedales.

Un estudio realizado en México [17], determinó tres escenarios de expansión demográfica mediante análisis estadístico espacial aplicando sistemas de información geográfica, concluyendo la importancia del uso de estas metodologías para la planificación y uso del suelo adecuado. Por otro lado, en Chile [18] se manifiesta la potencialidad de las imágenes satelitales y los sensores remotos, para la actualización y ordenamiento del crecimiento urbano.

De la misma forma, se puede mencionar la salud pública como un objetivo de gestión con la información geográfica, por ejemplo, en Cuba [19] se realizó un estudio en el año 2006, donde se relaciona la cartografía bioestadística como un elemento clave para la distribución espacial de los grupos de población con riesgos de padecer o morir por alguna patología.

Teniendo en cuenta la información numérica de la población de Neiva, se proyectó la población con el método geométrico (Ecuación 2) al año 2045, el cual se estima una población de 495,817 para este año. Esto indica que, para la proyección de 26 años, la población seguirá teniendo un incremento exponencial, generando la necesidad de plantear metodologías estratégicas para conservar el espacio público y un estado óptimo de las condiciones ambientales; esta estimación revela el crecimiento demográfico que tendrá la zona urbana de Neiva, y evidencia la necesidad de identificar áreas adecuadas para la expansión urbana.

3.2 Criterios de estudio, notas de aptitud Superposición Fuzzy (difusa), escenarios y mapa de zonificación de áreas adecuadas

Siguiendo la figura 6, se determinó que el área óptima total para la expansión demográfica de la ciudad de Neiva es de 3 km² y está compuesta por dos grandes zonas ubicadas al sur y oriente del municipio. No obstante, el estudio también demostró que 5 km² del área de posible expansión son zonas restringidas debido a que pertenecen a resguardos de comunidades indígenas las cuales son propietarias de dichas zonas.

Así mismo, el 28% del área de posible expansión (franjas rojas) no es apta para ser ocupada por asentamientos urbanos, debido a que son puntos de alto valor ambiental, estar cerca de fuentes hídricas, son áreas con características de suelo poco estables para la construcción de centros urbanos por tener pendientes mayores al 25% de inclinación, o incluso ser zonas de explotación mineral y son áreas que ya estarían habitadas en la zona urbana. Afortunadamente, se evidencia que el 22% del área de futura expansión tiene buenas condiciones para el asentamiento de la nueva población (zonas verdes).

Sumando las áreas óptimas y buenas, se tiene que para futuros asentamientos existe una disponibilidad del 25% del total del área próxima al actual perímetro urbano, lo que representa 25km² que deberán albergar a 138.425 nuevos habitantes. Por lo tanto, si se destina el total de área óptima y buena para nuevos asentamientos, la nueva zona urbana tendría una densidad poblacional de 55 hab/Ha garantizando condiciones óptimas de vivienda similares a países desarrollados como España y Reino Unido y lejos del valor medio actual de Colombia (151 hab/Ha) según [16]. En un segundo escenario, si solo se destina el 40% del total del área apta para la expansión demográfica (10km²), la densidad media (138 hab/Ha) seguirá estando por debajo del estándar nacional indicando una mejor calidad de vida para los nuevos pobladores.

Se debe relacionar que las poblaciones son vulnerables a desastres naturales y demás factores antrópicos, en España [20] se aplicó la metodología de superposición Fuzzy como alternativa metodológica que genera una respuesta clara sobre el ordenamiento de la población en relación a la superficie del suelo.

4. CONCLUSIONES

En el presente estudio, se mostró como la metodología superposición difusa permitió establecer las futuras áreas de expansión urbana en la ciudad de Neiva teniendo en cuenta criterios ambientales, se determinan las zonas más aptas según criterios como proximidad a fuentes hídricas, uso del suelo, zonas de importancia ambiental o protegidas, pendientes, tipos de suelos y geología. Como resultado principal se obtuvo un mapa de zonificación de las áreas adecuadas para la futura expansión demográfica sin afectación del medio ambiente y protegiendo a los futuros pobladores de desastres naturales.

Se proyecta, que el crecimiento urbanístico debe realizarse en dirección oriental y sur de la ciudad, mientras que se resaltan áreas restringidas al noroccidente. Un total de 25km² es apto para albergar a los 138.425 futuros habitantes que se proyectan para el año 2045. Así, en el mejor de los escenarios (uso del 100% del área apta), se estima una densidad poblacional de 55 hab/Ha garantizando condiciones óptimas de vivienda. De igual forma, si se analiza un escenario menos idealista, sólo 40% del territorio será destinado a vivienda, la densidad media será de 138 hab/Ha estado por debajo del promedio nacional (155hab/Ha).

Este artículo, plantea una solución estructurada para contribuir en el desarrollo de nuevos planes de ordenamiento territorial, considerando la biodiversidad su importancia y alineándose con las políticas mundiales de desarrollo sostenible.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Fundación Escuela Tecnológica de Neiva – FET, al estudiante Oscar Andrés Bocanegra y al docente Juan Catamusca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

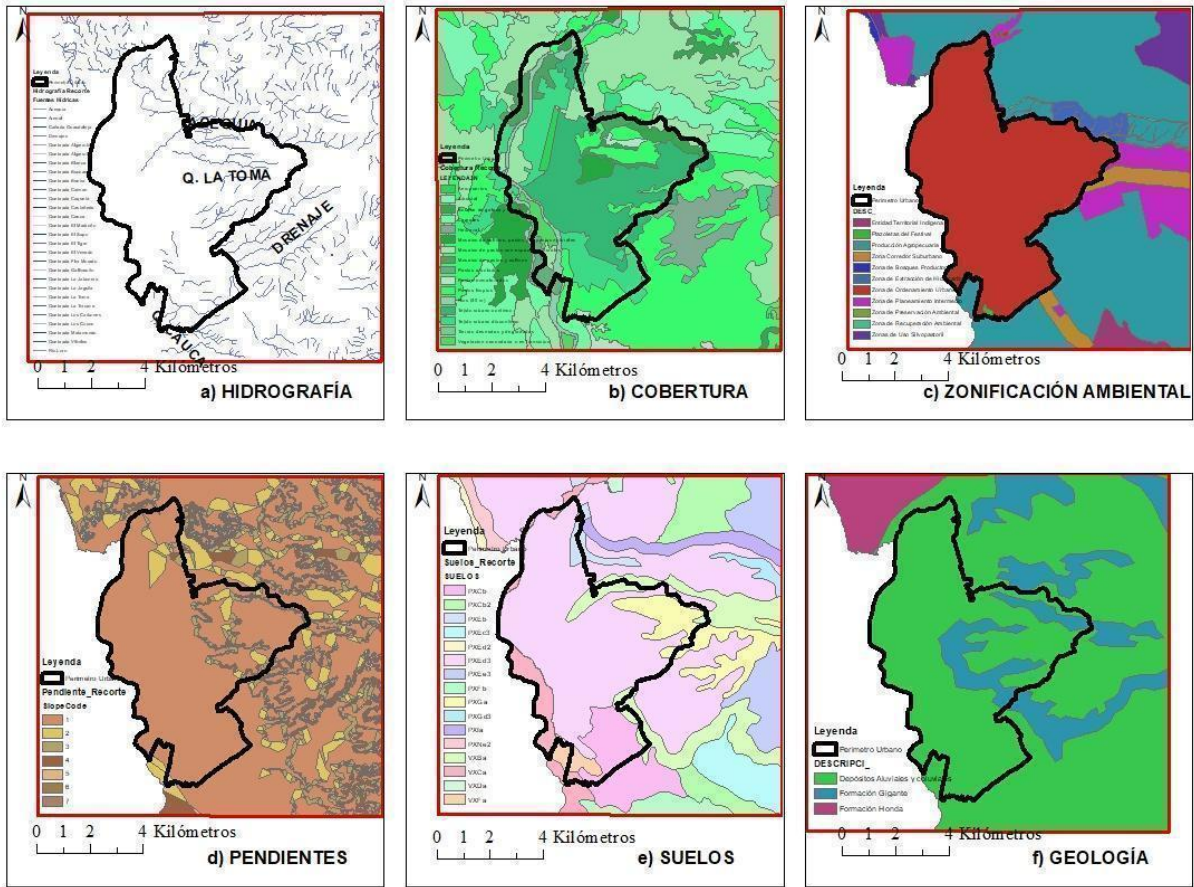
- [1] Robinson, J., Scott, A., y Taylor, P. (2016). Working, housing: urbanizing. The international year of global understanding – iygu. Cham, Switzerland: Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-45180-0>.
- [2] Guzmán C., Bolivia R., (2022). Efectos sociales y ambientales de la expansión urbana descontrolada en la comunidad Buena Vista – Sacaba.
- [3] Cruz-Muñoz, F. (2021). Patrones de expansión urbana de las megaurbes latinoamericanas en el Nuevo Milenio. *Eure*, 47(140). <https://doi.org/10.7764/eure.47.140.02>.
- [4] Adame Martínez, S., Sánchez Nájera, R. M., & Hoyos Castillo, G. del C. (2021). Factores socioterritoriales de cambio de uso de suelo en el centro de México. Caso oriente de la Zona Metropolitana de Toluca, México. *Revista Universitaria de Geografía*, 29(1). <https://doi.org/10.52292/j.rug.2020.29.1.0006>.
- [5] Cahe, E., & de Prada, J. (2022). Evolución de la expansión urbana y riesgos para la agricultura de proximidad en el sur de Córdoba, Argentina. *EURE*, 48(144). <https://doi.org/10.7764/eure.48.144.11>.
- [6] Galvis, L. A. (2015). Crecimiento económico y demográfico regional en Colombia, 1985-2012. *Revista de Economía Institucional*, 17(33), 183–201 <https://doi.org/10.18601/01245996.V17N33.08>.
- [7] Páez Chávez J. V., (2016). Modelo de desarrollo local para una zona de Bogotá-Colombia, relacionando la estructura ecológica principal y el proceso de expansión urbana
- [8] Alcaldía Mayor de Bogotá –AMB-. 2013. Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá.
- [9] Comité de cafeteros del Huila. (2022). Huila sigue liderando el ranking de la producción cafetera del país. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.
- [10] Delgado M., Ulloa C. S., Ramírez J. M., (2015). La economía del departamento del Huila: Diagnóstico y perspectivas de mediano plazo.
- [11] Municipal, D. a. (2009). Acuerdo 026 del 2009 del POT Neiva. Neiva: secretaria de Planeación y Ordenamiento Territorial.

-
- [12] Araujo, D.L.; Lara, H.G.A. (2015) Planificación Ambiental En Concepción De Red De Distribución De Agua: Estudio De Caso De Formosa – GO. Monografía del Proyecto Final, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Brasilia, Brasilia, DF, 131 P.
- [13] Champati Ray PK, Dimri S, Lakhera RC, Sati S (2007) Fuzzy-based method for landslide hazard assessment in active seismic zone of Himalaya. *Landslides* 4:101–111. doi:10.1007/s10346-006-0068-6
- [14] Pourghasemi H, Pradhan B, Gokceoglu C (2012) Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Nat Hazards* 63:965–996. doi:10.1007/s11069-012-0217-2
- [15] Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2016, June 20). Humedal Los Colores en Neiva está al borde de la extinción por la “jungla de cemento.”
- [16] Jiménez Romera, Carlos (2015) Tamaño y densidad urbana. Análisis de la ocupación de suelo por las áreas urbanas españolas. Tesis Doctoral. Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid. Recurso electrónico en línea: http://habitat.aq.upm.es/tydu/atydu_2.html.
- [17] Suarez Manuel y Delgado Javier (2019). La expansión urbana probable de la ciudad de México. Un escenario pesimista y dos alternativos para el año 2020. *Estudios demográficos urbanos* Vol. 22 n.1. <https://doi.org/10.24201/edu.v22i1.1295>.
- [18] Herrera V. (2001). Estudio del crecimiento urbano de la ciudad de Valdivia (Chile) a través del uso integrado de imágenes de satélite, SIG y equipos GPS. Universidad de Santiago de Chile
- [19] Fernández Héctor. (2006). SIG-ESAC: Sistema de Información Geográfica para la gestión de la estadística de salud de Cuba. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.
- [20] Guerra Olga, Velasco Pedro. (2019) Vulnerabilidad territorial y demográfica en España, posibilidades del análisis multicriterio y la lógica difusa para la definición de patrones espaciales. Universidad de Cantabria.
- [21] Sánchez Altor, Domínguez-Ballesteros Eder, García-Rojas Malte, Prieto Alejandro, Calvo Altor y Ordoño Javier. (2016) Patrones de aprovisionamiento de sílex de las comunidades superopaleolíticas del Pirineo Occidental: el “coste” como medida de análisis a partir de los SIG. doi: 10.21630/maa.2016.67mis02
- [22] Pistocchi A, Luzi L, Napolitano P (2002) The use of predictive modeling techniques for optimal exploitation of spatial databases: a case study in landslide hazard mapping with expert system-like methods. *Environ Geol* 41:765–775. doi:10.1007/s002540100440



ANEXOS

ANEXO 1



Mapas dentro del área de estudio. Los mapas muestran la hidrografía (a), uso del suelo (b), zonificación ambiental (c), pendientes (d), suelos (e) y geología (f). La línea negra indica el perímetro urbano de la ciudad de Neiva. Fuente: Autores.

ANEXO 2

Tabla 1. Descripción de notas para aptitud para cada criterio

Nota	Hidrografía	Uso de suelos	Suelos	Zonificación Ambiental	Pendientes	Geología
Clases						
1	-Microcuencas -Drenajes	-Tejido urbano continuo -Tejido urbano discontinuo -Aeropuertos -Bosque de galería y ripario -Vegetación secundaria o en transición -Ríos (50 m)	Escarpes y taludes	-Entidad Territorial Indígena -Zona de Ordenamiento Urbano -Plazoletas del Festival -Zona Extracción Hidrocarburos -Zona Recuperación Ambiental -Zona Preservación Ambiental -Acuíferos, Nacimientos de Agua y Rondas Hídricas	-Escarpado -Muy escarpado	
2		-Cereales		-Zona Corredor Suburbano -Zona de Planeamiento Intermedio -Zona Producción Agropecuaria ecoeficiente -Zona Bosque Productores -Zona Uso Silvopastoril	-Muy inclinado -Moderadamente escarpado	
3		-Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales -Mosaico de pastos con espacios naturales	Glacis de erosión Valles Aluviales			Th

		-Arbustal				
4		-Pastos arbolados -Mosaico de pastos y cultivos -Herbazal -Tierras desnudas y degradadas	-Colinas y lomas -Abanicos y conos aluviales		-Moderadamente inclinada	Tgi
5		-Pastos limpios -Pastos enmalezados		-Zona Corredor Suburbano -Zona de Planeamiento Intermedio	-Plano a ligeramente plano -Ligeramente inclinado	Qac