UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

FACULTAD DE INFORMÁTICA CULIACÁN

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL ESPACIO

DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA INFORMACIÓN

INDICADORES URBANOS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE: UN ENFOQUE GEOESPACIAL EN LA CIUDAD DE CULIACÁN, SINALOA

TESIS

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS DE LA INFORMACIÓN

PRESENTA:

ANA GUADALUPE ZAZUETA TERRAZAS

DIRECTORES DE TESIS:

DR. WENSESLAO PLATA ROCHA

DR. SERGIO ALBERTO MONJARDÍN ARMENTA

CULIACÁN ROSALES, SINALOA. SEPTIEMBRE DE 2026

Universidad Autónoma de Sinaloa

Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional Buelna

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

Dirección General de Bibliotecas
Ciudad Universitaria
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios
C.P. 80010 Culiacán Sin. Méx.
Tel (667) 713 78 32 y (667) 712 50 57
dgbuas@uas.edu.mx

Dedicatoria

A Ana María, Alejandro y Daniela.

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios de doctorado con No. de CVU 907528.

Al Posgrado de Ciencias de la Información de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), por brindarme la oportunidad de continuar mi formación académica y profesional en un entorno de aprendizaje, compromiso y excelencia.

Expreso un agradecimiento especial a sus coordinadores, la Dra. Xiomara Penélope Zaldívar Colado y al Dr. Rosendo Romero Andrade, por su disposición, apoyo y acompañamiento durante este proceso académico. Asimismo, agradezco profundamente a los docentes de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio y Facultad de Informática de Culiacán, quienes a través de sus conocimientos, enseñanzas y experiencias, contribuyeron significativamente a mi formación y al fortalecimiento de esta investigación.

A mis directores de tesis, el Dr. Wenseslao Plata Rocha y el Dr. Sergio Alberto Monjardín Armenta, les expreso mi más profundo agradecimiento por su orientación, paciencia y compromiso a lo largo de este trabajo. En especial, agradezco al Dr. Wenseslao Plata Rocha por el respaldo constante e invaluable que me ha brindado desde mis estudios de licenciatura, así como por la confianza depositada en mi desarrollo académico. De la misma manera, agradezco al Dr. Sergio Alberto Monjardín Armenta por compartir generosamente su experiencia, conocimientos y consejos, los cuales fueron fundamentales para guiarme durante este proceso de aprendizaje, investigación y crecimiento personal.

Agradezco también a la Dra. Yazmín Paola Íñiguez Ayón, por su valiosa colaboración y orientación en el ámbito del urbanismo, con aportaciones académicas que enriquecieron de manera significativa a esta investigación. De igual forma, extiendo mi sincero agradecimiento a la Dra. Lidia Yadira Pérez Aguilar por sus observaciones, sugerencias y acertadas correcciones que contribuyeron al fortalecimiento y mejora de este trabajo. Finalmente, agradezco al Dr. Cuauhtémoc

Franco Ochoa por sus comentarios y valiosas aportaciones, las cuales permitieron ampliar y enriquecer la perspectiva de esta investigación.

A todas y cada una de las personas que formaron parte de este proceso académico, gracias por su apoyo, motivación y acompañamiento. Su presencia y respaldo fueron una fuente constante de inspiración que enriqueció profundamente mi experiencia académica y personal, dejando una huella significativa en esta etapa de mi formación.

Resumen

El acelerado crecimiento de la población mundial y los procesos de urbanización contemporáneos han intensificado diversos desafíos ambientales, sociales y territoriales en las ciudades. Este fenómeno, asociado a la denominada explosión demográfica, se relaciona con problemáticas como el agotamiento de recursos naturales, la degradación ambiental y el incremento de desigualdades espaciales. En la actualidad, la población mundial ha alcanzado los 8 000 millones de habitantes, situación que resalta la necesidad de promover estrategias orientadas al cuidado del entorno natural y de los espacios construidos, a fin de evitar impactos que comprometan la calidad de vida de la población y el futuro de las ciudades. Bajo esta perspectiva, las áreas urbanas adquieren un papel fundamental en el desarrollo del planeta, al constituirse como espacios donde convergen dinámicas económicas, sociales y ambientales que determinan, en gran medida, el futuro de la humanidad.

En este contexto, la presente investigación, titulada *indicadores urbanos para el desarrollo sostenible: un enfoque geoespacial de la ciudad de Culiacán, Sinaloa,* tiene como propósito reconocer, describir y analizar indicadores urbanos vinculados con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 11 de las Naciones Unidas: Ciudades y comunidades sostenibles, mediante la aplicación de tecnologías y técnicas de análisis geoespacial.

La investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo basado en el manejo y procesamiento de información estadística, vectorial y ráster, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el análisis espacial.
La metodología propuesta se estructura en seis etapas generales: adquisición de información, análisis de la información recopilada, selección de indicadores urbanos, configuración de metodologías, procesamiento de datos y análisis de resultados. A través de este procedimiento se evaluaron componentes relacionados con el crecimiento urbano, la equidad espacial, accesibilidad a espacios abiertos para uso público, el acceso al transporte público y la calidad del aire, considerando parámetros de sostenibilidad urbana establecidos por organismos internacionales.

Los resultados evidencian diferencias en el comportamiento de los indicadores urbanos analizados. En el indicador de la relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento poblacional, se obtuvo un valor de 1.4369 para el período 2000-2010, lo que refleja un uso ineficiente del suelo, mientras que para el período 2010-2020 la relación disminuyó a 0.5755, indicando una mejora en la eficiencia del crecimiento urbano. Respecto al acceso al transporte público, se determinó que el 98.21% de la población y el 87.21% de las viviendas se localizan a una distancia máxima de 500 metros de una parada de transporte público. En cuanto a los espacios abiertos para uso público, estos representan el 7.68% de la superficie total de la ciudad y el 26.99% del área construida; además, el 99.31% de la población urbana se encuentra a una distancia máxima de 400 metros de estos espacios. Finalmente, el análisis de la calidad del aire permitió caracterizar el comportamiento de las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO_2) mediante la integración de información satelital Sentinel-5P y registros de una estación de monitoreo terrestre, identificando patrones temporales similares entre ambas fuentes de información.

En síntesis, la presente investigación constituye un marco metodológico integrado para el análisis de algunos aspectos de la sostenibilidad urbana, en el que convergen cinco enfoques de investigación desarrollados mediante herramientas geoespaciales, estadísticas y de análisis territorial. El conjunto de metodologías desarrollado permite analizar distintas dimensiones de la ciudad desde perspectivas complementarias donde cada metodología responde a un indicador urbano específico, proporcionando procedimientos sistemáticos para su evaluación y generando una base metodológica para orientar futuras investigaciones y contribuir a la formulación de estrategias de planificación y gestión urbana. De esta manera, la investigación busca aportar evidencia geoespacial útil para fortalecer la comprensión de la estructura urbana de la ciudad de Culiacán, Sinaloa y favorece la formulación de políticas públicas sustentadas en criterios de desarrollo urbano sostenible.

Abstract

The rapid growth of the world's population and contemporary urbanization processes have intensified various environmental, social, and territorial challenges in cities. This phenomenon, associated with the so-called population explosion, is linked to problems such as the depletion of natural resources, environmental degradation, and increasing spatial inequalities. Currently, the world's population has reached 8 billion, a situation that highlights the need to promote strategies aimed at caring for the natural environment and built spaces, in order to avoid impacts that compromise the quality of life of the population and the future of cities. From this perspective, urban areas acquire a fundamental role in the development of the planet, as they constitute spaces where economic, social, and environmental dynamics converge, largely determining the future of humanity.

In this context, the present research, entitled *urban indicators for sustainable development: a geospatial approach to the city of Culiacan, Sinaloa*, aims to identify, describe, and analyze urban indicators associated with United Nations Sustainable Development Goal (SDG) 11: Sustainable Cities and Communities, through the application of geospatial analysis technologies and techniques.

The research is developed using a quantitative approach based on the management and processing of statistical, vector, and raster data, utilizing Geographic Information Systems (GIS) for spatial analysis.
The proposed methodology is structured in six general stages: information acquisition, analysis of collected information, selection of urban indicators, configuration of methodologies, data processing, and results analysis. Through this procedure, components related to urban growth, spatial equity, accessibility to open spaces for public use, access to public transportation, and air quality are evaluated, considering urban sustainability parameters established by international organizations.

The results reveal differences in the behavior of the urban indicators analyzed. For the indicator assessing the relationship between the land consumption rate and the population growth rate, a value of 1.4369 was obtained for the 2000-2010 period, reflecting inefficient land use, whereas the ratio decreased to 0.5755 for the 2010-2020 period, indicating an improvement in the efficiency of urban growth. Regarding access to public transportation, it was determined that 98.21% of the population and 87.21% of dwellings are located within a maximum distance of 500 meters from a public transport stop. Concerning open public spaces, these account for 7.68% of the city's total surface area and 26.99% of the built-up area; moreover, 99.31% of the urban population is located within a maximum distance of 400 meters from these spaces. Finally, the air quality analysis characterized the behavior of carbon monoxide (CO) and nitrogen dioxide (NO_2) concentrations through the integration of Sentinel-5P satellite data and records from a ground-based air monitoring station, identifying similar temporal patterns between both data sources.

In summary, this research constitutes an integrated methodological framework for analyzing selected aspects of urban sustainability, bringing together five research approaches developed through geospatial, statistical, and spatial analysis tools. The set of methodologies developed enables the analysis of different dimensions of the city from complementary perspectives, where each methodology addresses a specific urban indicator by providing systematic procedures for its assessment and establishing a methodological foundation to guide future research and support urban planning and management strategies. In this way, the study provides useful geospatial evidence to strengthen the understanding of the urban structure of Culiacan, Sinaloa, and to support the formulation of public policies based on sustainable urban development principles.

Índice general

CAPÍTULO I: ASPECTOS PROTOCOLARIOS 1
1.1. Introducción 1
1.2. Antecedentes del tema 3
1.3. Planteamiento del problema 6
1.4. Justificación 11
1.5. Objetivos de la investigación 13
Objetivo general: 13
Objetivos particulares: 13
1.6. Preguntas de investigación 14
1.7. Hipótesis 14
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO 15
2.1. Estado del arte de los indicadores urbanos seleccionados 15
2.2. Marco teórico 34
2.2.1. Desarrollo sostenible 35
2.2.2. Indicadores 36
2.2.3. Indicadores urbanos 39
2.2.4. Indicadores urbanos globales 41
2.2. Indicadores urbanos del área de estudio 43
2.3. Limitaciones de la selección de indicadores urbanos 44
2.4. Indicadores urbanos sostenibles 45
2.5. Descripción de los indicadores urbanos del modelo propuesto 52
CAPÍTULO III: ÁREA DE ESTUDIO 58
3.1. Reconocimiento del área de estudio 58
3.2. Características económicas del área de estudio 58
3.3. Evolución de la urbanización de la ciudad de Culiacán, Sinaloa 60
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA GENERAL 64

4.1. Propuesta metodológica 64

CAPÍTULO V: INDICADOR RELACIÓN ENTRE LA TASA DE CONSUMO DE SUELO Y LA TASA DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN 67

5.1. Descripción del indicador relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población 67

5.2. Metodología para el análisis del indicador relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población 70

5.3. Resultados del análisis del indicador: relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población 79

5.3.1. Resultados del análisis de las imágenes de Landsat 5TM C2N1 80

5.3.2. Resultados del análisis de las imágenes de Sentinel 2-A Nivel 2A 81

5.4. Conclusiones del análisis del indicador relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población 94

CAPÍTULO VI: INDICADOR PROPORCIÓN DE LA POBLACIÓN QUE TIENE ACCESO CONVENIENTE AL TRANSPORTE PÚBLICO, DESGLOSADA POR SEXO, EDAD Y PERSONAS CON DISCAPACIDAD 97

6.1. Descripción del indicador proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público, desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad 97

6.1.1. Movilidad 98

6.1.2. Movilidad urbana 99

6.1.3. Distancia peatonal 101

6.1.4. Transporte público 103

6.2. Metodología para el análisis de este indicador 106

6.3. Resultados del análisis del indicador proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público, desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad 114

6.3.1. Cálculo del indicador proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público, desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad 121

6.4. Conclusiones del análisis de este indicador 125

CAPÍTULO VII: INDICADOR PROPORCIÓN PROMEDIO DEL ÁREA CONSTRUIDA DE LAS CIUDADES QUE ES ESPACIO ABIERTO PARA USO PÚBLICO PARA TODOS, POR SEXO, EDAD Y PERSONAS CON DISCAPACIDAD……...128

7.1. Descripción del indicador proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad 128

7.1.1. Espacios abiertos 129

7.1.2. Clasificación de espacios abiertos 131

7.1.3. Áreas verdes 134

7.1.4. Beneficios de los espacios abiertos y áreas verdes 136

7.2. Metodología para el análisis del indicador proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad 141

7.3. Resultados del análisis del indicador: proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad 145

7.3.1. Cálculo del indicador proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad..... 152

7.4. Conclusiones del análisis del indicador proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad 153

CAPÍTULO VIII: INDICADOR PROPORCIÓN DE LA POBLACIÓN QUE TIENE ACCESO A LOS ESPACIOS ABIERTOS A UNA DISTANCIA DE 400 METROS, POR SEXO, EDAD Y PERSONAS CON DISCAPACIDAD..... 156

8.1. Descripción del indicador proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros, por sexo, edad y personas con discapacidad 156

8.1.1. Accesibilidad..... 156

8.1.2. Accesibilidad urbana..... 158

8.1.3. Proximidad de población a espacios abiertos 160

8.2. Metodología para el análisis del indicador proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros, por sexo, edad y personas con discapacidad 162

8.3. Resultados del análisis del indicador proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros, por sexo, edad y personas con discapacidad 166

8.3.1. Cálculo del indicador proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros, por sexo, edad y personas con discapacidad..... 171

8.4. Conclusiones del análisis del indicador proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros, por sexo, edad y personas con discapacidad 175

CAPÍTULO IX: INDICADOR CALIDAD DEL AIRE 177

9.1. Descripción del indicador calidad del aire 177

9.1.1. Monóxido de carbono (CO)..... 178

9.1.2. Bióxido de nitrógeno (NO2) 182

9.2. Metodología para el análisis del indicador de la calidad del aire 183

9.3. Resultados del análisis del indicador calidad del aire 187

9.3.1. Resultados del análisis de correlación de Pearson de la calidad del aire.. 201

9.4. Conclusiones del análisis del indicador de la calidad del aire 204

CAPÍTULO X: CORRELACIÓN ESPACIAL ENTRE INDICADORES ANALIZADOS……..……...208

10.1. Determinación de la correlación espacial entre indicadores analizados 208

CAPÍTULO XI: CONCLUSIONES GENERALES DEL ESTUDIO..... 219

11.1. Conclusiones generales del estudio 219

CAPÍTULO XII. APORTACIONES DE LA INVESTIGACIÓN 228

12.1. Aportaciones científicas..... 228

12.2. Aportaciones metodológicas..... 228
12.3. Implicaciones para la planeación urbana y la formulación de políticas públicas 229
CAPÍTULO XIII. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN..... 231
13.1. Limitaciones del estudio 231
CAPÍTULO XIV: ANEXOS..... 233
14.1. Anexos..... 233
BIBLIOGRAFÍA 259

Índice de tablas

Tabla 1. Modelo de Indicadores Urbanos propuesto para la ciudad de Culiacán, Sinaloa. Fuente: propia con información recopilada de indicadores urbanos globales……...47

Tabla 2. Síntesis de los indicadores del estudio con respecto a su impacto urbano. Fuente: propia 56

Tabla 3. Población histórica de Culiacán, Sinaloa. Fuente: INEGI (2020), https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/#tabMCcollapse-Indicadores..... 62

Tabla 4. Información de las imágenes de Landsat 5TM empleadas. Fuente: propia con información del USGS, (2024)..... 80

Tabla 5. Valor de Kappa para el análisis del año 2000. Fuente: propia..... 80

Tabla 6. Valor de Kappa para el análisis del año 2010. Fuente: propia..... 80

Tabla 7. Información de las imágenes de Sentinel-2A empleadas. Fuente: propia con información de Copernicus, (2024)..... 81

Tabla 8. Valor de Kappa para el análisis del año 2020. Fuente: propia..... 82

Tabla 9. Proporción de aumento de la población y superficie del área de estudio. Fuente: propia 84

Tabla 10. Resumen de superficies de usos de suelo analizados. Fuente: propia 86

Tabla 11. Resultados del análisis estadístico. Fuente: propia 87

Tabla 12. Resultados del procesamiento del indicador. Fuente: propia..... 150

Tabla 13. Coordenadas del centroide de la cabina de monitoreo terrestre. Fuente: propia……186

Tabla 14. Valores de la correlación de Pearson. Fuente: propia con información de Hernández et al., (2018)..... 202

Tabla 15. Literatura consultada para la selección de indicadores urbanos. Fuente: elaboración propia con información de cada documento integrado 233

Índice de figuras

Fig. 1 Porcentaje de población que se presenta en México de 1950 al 2020. Fuente: elaboración propia con datos del INEGI (s.f.)..... 9

Fig. 2 Diagrama conceptual de los indicadores urbanos del estudio. Fuente: propia……...54

Fig. 3 Área de estudio. Fuente: propia con información de INEGI, (2020)..... 60

Fig. 4 Crecimiento histórico poblacional de la ciudad de Culiacán. Fuente: Instituto Municipal de Planeación Urbana de Culiacán (IMPLAN). (Achoy, 2008). 62

Fig. 5 Metodología general. Fuente: propia 65

Fig. 6 Esquema metodológico general para el análisis de la relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población. Fuente: propia……...70

Fig. 7 Metodología para el análisis de TCTPTCP con imágenes de Landsat 5TM C2N1. Fuente: propia con información de Vargas et al., (2020) y complementaria……..77

Fig. 8 Metodología para el análisis de TCTPTCP con imágenes de Sentinel-2A nivel 2A. Fuente: propia con información de Phiri et al., (2020) y Romero y Hernández, (2022) 78

Fig. 9 Grados de aceptación del índice Kappa. Fuente: Abraira (2000) 81

Fig. 10 Desarrollo del suelo urbano del área de estudio. Fuente: propia..... 82

Fig. 11 Crecimiento de la población del área de estudio. Fuente: propia 83

Fig. 12 Superficie de usos de suelo del área de estudio en el 2000. Fuente: propia……...85

Fig. 13 Superficie de usos de suelo del área de estudio en el 2010. Fuente: propia……..85

Fig. 14 Superficie de usos del suelo del área de estudio en el 2020. Fuente: propia……...86

Fig. 15 Clasificación de usos del suelo del área de estudio en 2000. Fuente: propia……...90

Fig. 16 Clasificación de usos del suelo del área de estudio en 2010. Fuente: propia……...91

Fig. 17 Clasificación de usos del suelo del área de estudio en 2020. Fuente: propia……...92

Fig. 18 Crecimiento del área de estudio del 2000-2020. Fuente: propia..... 93

Fig. 19 Rutas urbanas de Culiacán. Fuente: IMPLAN, (2005). https://implanculiacan.mx/descargas/planes/Plan_Parcial_de_Movilidad/CARTOGRAFIA/030_rutas_de_transporte.pdf..... 105

Fig. 20 Navegador GPS. Fuente: propia..... 107

Fig. 21 Vialidades de la ciudad de Culiacán, Sinaloa. Fuente: propia 108

Fig. 22 Metodología para el análisis de la proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad. Fuente: propia con información de ONU-Hábitat, (s.f.)..... 109

Fig. 23 Procesamiento de información en ArcMap 10.5. Fuente: propia 110

Fig. 24 a) *Buffer* aplicado a vialidades, b) Áreas de servicio de un sistema de transporte. Fuente: Morang, (2016)..... 111

Fig. 25 Paradas de transporte público de la ciudad de Culiacán, Sinaloa. Fuente: propia……115

Fig. 26 Área de servicio de las paradas de transporte público en la ciudad de Culiacán, Sinaloa. Fuente: propia 117

Fig. 27 Intersección entre domicilios y área de servicio. Fuente: propia..... 119

Fig. 28 Población que se encuentra a una distancia máxima de 500 metros para acceder al transporte público del área de estudio. Fuente: propia..... 122

Fig. 29 Población con acceso al transporte público a una distancia máxima de 500 metros clasificada por edad. Fuente: propia..... 123

Fig. 30 Metodología general para el análisis de la proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto. Fuente: propia con información de ONU-Hábitat (2020) 141

Fig. 31 Metodología para el análisis de la proporción promedio del área construida en las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad. Fuente: propia con información de ONU-Hábitat, (2020)..... 145

Fig. 32 Espacios abiertos de uso público de la ciudad de Culiacán, Sinaloa, 2020. Fuente: propia con información del IMPLAN, Mapasin, INEGI y digitalización propia……148

Fig. 33 Superficies analizadas en el área de estudio. Fuente: propia..... 149

Fig. 34 El radio caminable. Fuente: ONU-Hábitat (2022): https://onuhabitat.org.mx/index.php/el-radio-caminable 161

Fig. 35 Metodología para analizar la proximidad de la población a espacios abiertos. Fuente: propia 163

Fig. 36 Área de servicio de espacios abiertos de la ciudad de Culiacán a 400 metros. Fuente: propia 167

Fig. 37 Domicilios dentro del área de servicio estudiada. Fuente: propia..... 169

Fig. 38 Población con acceso a espacios abiertos a una distancia máxima de 400 metros, por sexo y condición de discapacidad. Fuente: propia..... 172

Fig. 39 Población con acceso a espacios abiertos a una distancia máxima de 400 metros clasificada por edad. Fuente: propia..... 173

Fig. 40 Emisión de monóxido de carbono (CO) por municipio en 2008. Fuente: SEMARNAT. Inventario Nacional de Emisiones de México (INEM) 2008. (2013), citado en SEMARNAT, (2016)..... 180

Fig. 41 Emisión por monóxido de carbono por municipio 2016. Fuente: INEM, (2016)……181

Fig. 42 Metodología para el análisis de la calidad del aire en el área de estudio. Fuente: propia con información de Belzunce (2022) 184

Fig. 43 Concentración de NO_2 registrada en estación de monitoreo terrestre. Fuente: propia 187

Fig. 44 Concentración de NO_2 en imágenes de Sentinel-5P analizadas en SNAP. Fuente: propia 190

Fig. 45 Concentración de NO_2 registradas en estación de monitoreo terrestre y en imágenes de Sentinel-5P analizadas en SNAP. Fuente: propia..... 191

Fig. 46 Concentración de CO registrada en estación de monitoreo terrestre. Fuente: propia 193

Fig. 47 Concentración de CO en imágenes de Sentinel-5P en SNAP. Fuente: propia……195

Fig. 48 Concentración de CO registradas en estación de monitoreo terrestre y en imágenes de Sentinel-5P en SNAP. Fuente: propia..... 197

Fig. 49 Correlación de Pearson aplicado a los resultados de las variables analizadas de NO_2. Fuente: propia 201

Fig. 50 Correlación de Pearson aplicado a los resultados de las variables analizadas de CO en imágenes satelitales y la estación de monitoreo terrestre. Fuente: propia 201

Fig. 51 Densidad de domicilios en áreas de servicio. Fuente: propia 210

Fig. 52 Densidad de paradas de transporte público en el área de servicio. Fuente: propia……211

Fig. 53 Densidad de espacios abiertos en el área de servicio. Fuente: propia ……..212

CAPÍTULO I: ASPECTOS PROTOCOLARIOS

1.1. Introducción

Esta investigación, titulada indicadores urbanos para el desarrollo sostenible: un enfoque geoespacial en la ciudad de Culiacán, Sinaloa, tiene como objetivo analizar un conjunto de indicadores urbanos mediante la aplicación de metodologías de análisis geoespacial sustentadas en marcos internacionales de sostenibilidad. A partir de este enfoque, se evalúan distintas dimensiones del entorno urbano con el propósito de generar evidencia científica que permita comprender la dinámica territorial de la ciudad y fortalezca los procesos de planificación, gestión y evaluación del desarrollo urbano sostenible. De manera complementaria, la investigación incorpora un análisis de la relación espacial entre indicadores urbanos, integrando la accesibilidad al transporte público con los indicadores asociados al acceso y disponibilidad de espacios abiertos para uso público. Esta aproximación permitió identificar patrones espaciales de coincidencia entre dichos indicadores y reconocer áreas con mayores y menores condiciones de vulnerabilidad urbana, proporcionando una perspectiva integral para apoyar la toma de decisiones en materia de planificación territorial.

A pesar de los avances en la evaluación de la sostenibilidad urbana mediante indicadores promovidos por organismos internacionales como ONU-Hábitat, la revisión de la literatura permitió identificar una limitada evidencia sobre su aplicación integral en el área de estudio. En particular, no se detectaron investigaciones que evaluaran de manera sistemática indicadores alineados al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS)11: Ciudades y comunidades sostenibles, mediante metodologías geoespaciales adaptadas a las características territoriales y a la disponibilidad de información del contexto local. Asimismo, la revisión permitió identificar la ausencia de estudios relacionados con la disponibilidad y accesibilidad al transporte público a partir de la distribución espacial de las paradas de transporte y accesibilidad de los espacios abiertos para uso público bajo los criterios metodológicos establecidos por ONU-Hábitat. Esta situación evidencia una brecha de conocimiento respecto a la generación de información territorial basada en estándares internacionales que contribuya a comprender distintas dimensiones de la sostenibilidad urbana y

proporcione evidencia para apoyar los procesos de planeación y la toma de decisiones.

En este contexto, la presente investigación busca contribuir a atender dicha brecha mediante la aplicación y adaptación de metodologías propuestas por ONU-Hábitat para la evaluación de algunos indicadores asociados al ODS 11, empleando herramientas de análisis geoespacial para evaluar diferentes componentes de la sostenibilidad urbana del área de estudio.

En consecuencia, el estudio no solo evalúa indicadores urbanos de sostenibilidad, sino que también genera evidencia territorial que amplía la evidencia disponible sobre la aplicación de metodologías internacionales en el contexto local, proporcionando información útil para futuras investigaciones y para los procesos de planificación urbana.

La pertinencia de esta perspectiva radica en la dotación de procedimientos metodológicos sustentados en criterios reconocidos internacionalmente, susceptibles de ser replicados y adaptados en otros contextos urbanos, contribuyendo tanto al desarrollo de futuras investigaciones como a la generación de información de apoyo para instituciones públicas, organizaciones y ciudadanía interesadas en el estudio y seguimiento de la sostenibilidad urbana.
La relevancia del tema se sustenta en la necesidad de promover un desarrollo urbano sostenible que permita a las ciudades responder de manera eficiente a los retos derivados de su crecimiento y transformación, por lo que organismos internacionales como ONU-Hábitat destacan la importancia de orientar el desarrollo de las áreas urbanas hacia modelos que favorezcan la equidad, la inclusión y el bienestar de la población. En congruencia con este planteamiento, la presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, empleando información estadística, vectorial y ráster, procesada mediante el empleo de tecnologías de análisis geoespacial que permiten evaluar los indicadores seleccionados. De esta manera, el estudio proporciona una base metodológica y analítica para comprender distintas dimensiones de la sostenibilidad urbana en la ciudad de Culiacán, generando evidencia que puede respaldar tanto la formulación de políticas públicas

como el desarrollo de futuras investigaciones en el ámbito del urbanismo y la planificación territorial.

En este contexto, el estudio sobre la sostenibilidad urbana del área de estudio requiere enfoques científicos capaces de integrar, organizar e interpretar información proveniente de múltiples fuentes, con el propósito de generar conocimiento que contribuya a la comprensión de la complejidad territorial y al diseño de estrategias de desarrollo sostenible. Bajo esta perspectiva, este estudio se inserta en la línea de investigación de geodesia y geomática, donde las ciencias de la información desempeñan un papel fundamental al proporcionar los principios, métodos y herramientas para la generación de conocimiento a partir de información geoespacial. En consecuencia, la investigación no solo aporta evidencia para el análisis de la sostenibilidad urbana, sino que también pone de manifiesto la contribución de las ciencias de la información como un enfoque esencial para el estudio del territorio y el fortalecimiento de investigaciones de esta naturaleza.

1.2. Antecedentes del tema

La ciudad, de acuerdo a Borja (2000), es un producto cultural o bien, la realización humana más compleja y significativa que históricamente se ha recibido, misma que se construye diariamente entre todos los individuos que la habitan. Es decir, la ciudad es por sí misma confusa, lo que hace que su abordaje y análisis también lo sean, no obstante, su importancia para el desarrollo de la humanidad es innegable. ONU-Hábitat (2022), señala que las ciudades y las áreas metropolitanas son las encargadas de impulsar el crecimiento económico en el mundo, pues contribuyen a aproximadamente el 60% del Producto Interno Bruto (PIB) global, al mismo tiempo en que representan alrededor del 70% de las emisiones globales de carbono y rebasa el 60% del uso de los recursos, pero que con una buena planificación y gobernanza pueden contribuir significativamente a abordar dichos desafíos globales, incluida la pobreza y el cambio climático.

El crecimiento urbano es un fenómeno característico de la época actual y sus orígenes se sitúan en la estructura de la sociedad misma y evolución histórica (García-Moran, 1992 citado por Chávez, 2019) y, de acuerdo a Bottino (2009), se

ha convertido en uno de los hechos geográficos de gran interés, por sus implicaciones políticas, económicas, sociales, culturales y espaciales.

Lo anteriormente dicho ha derivado en estudios sobre el territorio tras la búsqueda de una mejor planificación urbana que contribuya a su sostenibilidad mediante la adoptación de medidas, acciones y las gestiones que se consideren necesarias para alcanzarla. Moreno (2014), destaca la aparición de indicadores ambientales a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano celebrada en Estocolmo en 1972, en donde se comparten las primeras estadísticas de impacto ambiental e información referente al tema y su vínculo con el hombre, siendo punto de partida para la difusión del quehacer ambiental y la necesidad por contar con indicadores ambientales y de desarrollo sustentable dado a que en las grandes zonas metropolitanas se empezaba a cuestionar la viabilidad de la sustentabilidad urbana, además de mencionar que en el ámbito de este último es importante generar y conocer indicadores que nos faciliten el conocimiento de la condición urbana, demográfica, económica y social a nivel local, con la finalidad de que la sociedad civil y los tomadores de decisiones puedan traducirse en acciones.

Años más tarde se produjeron importantes avances en lo que respecta al desarrollo de los indicadores urbanos, lo que culminó en la publicación del primer informe de indicadores del medio ambiente urbano en 1978. (Albertini y Bettini, 1996)

Con la primicia de información rumbo a la sostenibilidad de la condición urbana, fue posible la realización de estudios e informes acerca del tema, a continuación, se presentan algunos ejemplos que se consideraron pertinentes para este trabajo.

Díaz et al., (2007), publicaron un artículo en el que exponen su propuesta de un sistema de indicadores de sostenibilidad para la movilidad y el transporte urbano en la ciudad de Alcalá de Henares, España; a través de la elaboración de un sistema de indicadores territoriales destinados a medir las diferencias espaciales que se manifiestan como consecuencia de la estructura espacial de la ocupación del suelo, redes de transporte, localización de recursos, etc. Los autores trabajaron con distintas fuentes de información como la cartografía de referencia en formato digital y datos demográficos que permitieron la incorporaron de variables reconocidas

actualmente como determinantes en la sostenibilidad urbanística tales como la densidad demográfica, diversidad funcional y fragmentación, además de mapas analógicos. Esta información fue integrada en un SIG con la intención de conseguir un mayor grado de precisión espacial en la distribución con la que estaban trabajando, tener una buena correspondencia espacial entre las distintas capas temáticas que se utilizaron y optimizar el procedimiento de mediciones de distancias, cálculos de áreas, entre otros más, con lo cual los SIG se destacan como una herramienta fundamental para trabajos de análisis territoriales.

A escala nacional se consideró el Estudio para la definición de indicadores del desarrollo urbano sostenible del municipio de Chihuahua, publicado en 2018 por el Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN) de Chihuahua para integrarse en este apartado dado a la pertinencia que tiene su contenido para esta investigación. Dicho documento parte de la necesidad de hacerle frente a las problemáticas consideradas urgentes en materia económica, ambiental y social efectuadas en las ciudades por la rápida evolución del desarrollo urbano, por lo cual buscan facilitar el proceso de toma de decisiones por parte del municipio de Chihuahua a partir de la determinación de indicadores para el monitoreo del desarrollo sostenible que vayan de la mano con los índices prioritarios de Desarrollo Sostenible y ONU-Hábitat. El estudio tiene un enfoque descriptivo e integrativo, partiendo de estrategias ya establecidas como el Índice de Ciudades Prósperas (CPI, por sus siglas en inglés), algunas de las consultas observadas fueron a partir de plataformas *online* y datos procesados en el departamento de geomática, haciendo referencia nuevamente a la importancia de las tecnologías geoespaciales para el análisis territorial.

En el aspecto local, ONU-Hábitat (2018), publica un informe destinado al municipio de Culiacán orientado a su índice como ciudad próspera. El documento tiene como objetivo proporcionar herramientas a los tomadores de decisiones de los municipios para identificar oportunidades y desafíos que hagan posible la definición de una visión estratégica para la ciudad. El índice de prosperidad de la ciudad (CPI, por sus siglas en inglés), articula distintos niveles de información sectorial conformadas por 6 dimensiones, 22 subdimensiones y 40 indicadores mediante los cuales se

analizan los temas de mayor impacto en el desarrollo de las ciudades. Entre la información sectorial, de forma general, se encuentra la gobernanza y legislación urbana y sostenibilidad ambiental, densidad poblacional, áreas verdes per cápita, etc. Una parte fundamental para la elaboración de este trabajo fue la realización de procesos de análisis espacial de detección a partir de imágenes satelitales de Sentinel 2 y Landsat 8, a partir de las cuales se determinó la aglomeración urbana de la ciudad de Culiacán, lo que además permitió la delimitación de su huella urbana. (ONU-Hábitat, 2018)

Para el 2021, el IMPLAN de Culiacán publica el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Culiacán, cuyo propósito es diseñar una planeación urbana que corresponda a estrategias y propuestas factibles para el municipio, además de establecer la estructura territorial del centro de población. Este documento hace referencia a distintas leyes para su sustento además de presentar un compendio de planes estatales de desarrollo realizados anteriormente para fundamentar su finalidad. El análisis llevado a cabo consideró distintos elementos del medio físico natural como es la geología, edafología, topografía, entre otros más, aunados a aspectos demográficos como densidad habitacional, calidad de la vivienda, etc. Lo referente a la cobertura de usos del suelo de Culiacán fue abordado por el IMPLAN a partir de su análisis mediante el empleo de imágenes satelitales Landsat para la obtención de mayor precisión con respecto a las imágenes proporcionadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), por otro lado, se propone mantener actualizados los datos cartográficos (actualización de predios y baldíos) mediante sistemas de información geográfica (SIG) y difundirlos a través de ellos.

1.3. Planteamiento del problema

El acelerado crecimiento de la población mundial ha conducido a la llamada explosión demográfica, fenómeno que se relaciona potencialmente con aspectos como el agotamiento de recursos y de problemas ambientales (Camarero, 2002). Mohd (2022), señala que la población mundial ha alcanzado los 8 000 millones de habitantes, por lo que el cuidado al entorno natural y lo ya construido resulta de vital importancia, si es que no se quiere correr el riesgo de arruinar el planeta y tener

efectos como el desplazamiento de millones de personas como resultado de esto. Se menciona además que el futuro del planeta y de la humanidad misma será determinado en las ciudades, subrayando que estas tienen un propósito fundamental en el desarrollo del planeta, por lo que destaca como la unidad de análisis de esta investigación

Autores como Álvarez de la Torre (2007), señalan que el espacio intraurbano se encuentra en constante evolución, por otra parte, Piccinato (1974, citado por Jiménez, 2015), asegura que la ciudad está destinada a crecer indefinidamente y el problema de su delimitación no se plantea en realidad, señalando que dicho crecimiento debe ser entendido como un fenómeno natural e indiscutible.

Las Naciones Unidas (s.f.), reconocen que el acelerado proceso de urbanización ha convertido en las ciudades en el principal escenario del desarrollo humano a escala mundial. En 2022, la población mundial superó los 8 000 millones de habitantes y más del 50% residía en áreas urbanas. Las proyecciones demográficas indican que esta tendencia continuará en las próximas décadas, estimándose que para el año 2050 alrededor del 70% de la población mundial habitará en ciudades. Esta rápida urbanización plantea desafíos puesto que, en muchos casos, la expansión urbana ocurre a un ritmo superior a la capacidad de las ciudades para desarrollar infraestructura, vivienda y servicios básicos, favoreciendo la proliferación de asentamientos con condiciones de vulnerabilidad.

El párrafo anterior da a conocer algunos de los efectos negativos que la urbanización produce, ya que esta palabra no es un sinónimo puro de bienestar, sin embargo y, para efecto de lograr que las ciudades sean más sostenibles, la Organización de las Naciones Unidas (ONU), aprueba en 2015 la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, dándola a conocer como una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino para mejorar la vida de todos, con la intención de no dejar a nadie atrás (Naciones Unidas, s.f.). Esta Agenda cuenta con 17 ODS y son los siguientes:

1. Fin de la pobreza
2. Hambre cero

3. Salud y bienestar
4. Educación de calidad
5. Igualdad de género
6. Agua limpia y saneamiento
7. Energía asequible y no contaminante
8. Trabajo decente y crecimiento económico
9. Industria, innovación e infraestructura
10. Reducción de las desigualdades
11. Ciudades y comunidades sostenibles
12. Producción y consumo responsables
13. Acción por el clima
14. Vida submarina
15. Vida de ecosistemas terrestres
16. Paz, justicia e instituciones sólidas
17. Alianzas para lograr los objetivos

La ONU describe 169 metas en total para alcanzar los ODS y datos destacables de cada uno de ellos, siendo el número 11 el que tiene impacto en este trabajo: ciudades y comunidades sostenibles. Entre sus metas se encuentran aumentar la urbanización inclusiva y sostenible, así como la capacidad para la planificación de los asentamientos humanos en todos los países, además de proporcionar acceso a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles (Naciones Unidas, s.f.). Lo anteriormente señalado resalta la importancia que hay en cubrir todos los aspectos que conduzcan a los países hacia la sostenibilidad, con lo cual se busca que las sociedades se beneficien de los efectos positivos y buscar la equidad entre sus individuos.

En lo que a México respecta, el INEGI (s.f.), señala que una localidad es rural cuando tiene menos de 2 500 habitantes y urbana cuando tiene un número mayor a este. El INEGI atribuye el aumento en la cantidad de habitantes en localidades urbanas a la constante migración del campo a las ciudades e indica los siguientes porcentajes de ocupación poblacional en localidades urbanas del país:

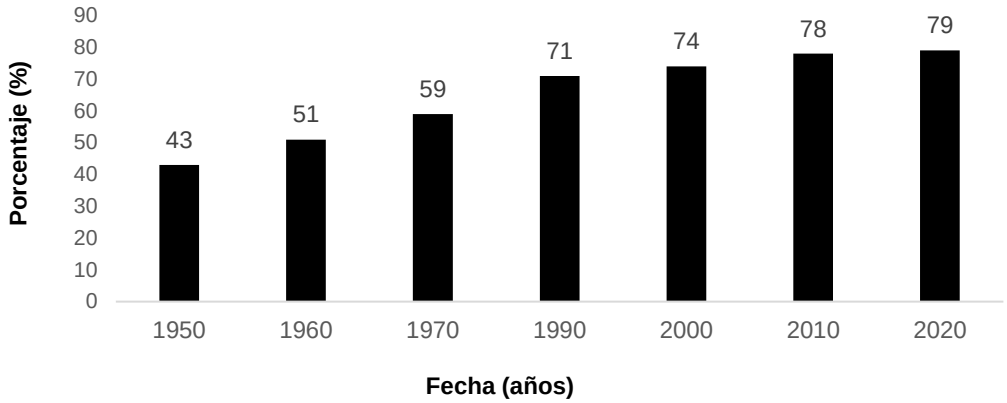


Fig. 1 Porcentaje de población que se presenta en México de 1950 al 2020. Fuente: elaboración propia con datos del INEGI (s.f.)

Analizando la Fig. 1 es posible apreciar que el 79% del total de la población mexicana se encuentra en zonas urbanas del país y que existe una probabilidad alta (con respecto a los antecedentes) de que esta cifra aumente con el transcurso de los años, destacando nuevamente la necesidad por contar con una urbanización bien planeada para el bienestar de toda la población, siendo fundamental la presencia de organismos que trabajen por esto, como lo es ONU-Hábitat.

ONU-Hábitat es un programa de las Naciones Unidas cuyo mandato fue recibido por parte de la Asamblea General de las Naciones Unidas en 1978, para abordar los problemas del crecimiento urbano y trabajar por un mejor futuro urbano alrededor del mundo, promoviendo el desarrollo de asentamientos humanos social y ambientalmente sostenibles. (ONU-Hábitat, 2022)

ONU-Hábitat (2018), señala que la urbanización a nivel mundial ha crecido sin precedentes y evidencia la necesidad de entender al desarrollo urbano a partir de una perspectiva integral y basándose en el paradigma del desarrollo sostenible. Su publicación es el resultado de un amplio trabajo de análisis en 305 municipios de México, entre ellos Culiacán. En este contexto, se considera al CPI una herramienta estratégica para detectar oportunidades y los desafíos de las ciudades, proporcionando información que respalda la formulación de políticas públicas y el

seguimiento del cumplimiento de los ODS. En el caso de Culiacán, el índice reporta un valor de 58.52%, clasificación que corresponde a un nivel de prosperidad moderadamente débil. A partir de estos resultados, ONU-Hábitat sugiere fortalecer las políticas públicas en los ámbitos donde la ciudad obtiene los resultados menos favorables como la densidad poblacional y el crecimiento económico.

Culiacán tuvo una explosión demográfica entre 1970 y 2020, lo cual derivó en la cuadruplicación de su población durante este período, en contraste con registros anteriores, por ejemplo, en los años 60 estaba conformada por 26 colonias y para el 2015 más de 500, experimentando con esto una reurbanización (Ibarra, 2018). Estos resultados coinciden con la explosión demográfica también manifestada por México (Fig.1). El autor señala además que, a partir de los años 70, Culiacán experimenta un crecimiento en su mancha urbana, especialmente hacia el noreste, comprendiendo una extensión territorial de 1 833 hectáreas para 1980, con un crecimiento significativo para el 2000, con un total de 8 312, es decir, en 30 años la población de Culiacán se duplicó y su mancha urbana manifestó una expansión de 4.5 veces, rebasando el valor de 3.5 que se registró entre 1960 y 1980. Por su parte, Aguilar (2012, citado por ONU-Hábitat, 2018), menciona que Culiacán se enfrenta a problemas ambientales como producto de su expansión urbana desordenada, dispersa e insustentable, como es el consumo innecesario de suelo de alto valor ambiental.

Habiendo ya señalado muchos de los efectos del crecimiento de la urbanización a diferentes escalas y bajo el sustento de que ONU-Hábitat (2022) reconoce que la toma de decisiones debe basarse en evidencia e indicadores sólidos, se plantea la búsqueda, identificación y análisis de estos en el presente trabajo de investigación para encontrar oportunidades y áreas potenciales de intervención destinadas a los gobiernos, mismos que podrán diseñar e implementar mejores políticas, planes y proyectos.

1.4. Justificación

El empleo de indicadores ha adquirido una importancia creciente como herramienta para medir, monitorear y evaluar fenómenos asociados al desarrollo de las sociedades. Su evolución ha estado estrechamente vinculada con las necesidades de información surgidas en distintos contextos y momentos históricos, dando origen a diversas categorías de indicadores orientadas a la evaluación de dimensiones ambientales, sociales, económicas, urbanas y de sostenibilidad. En este apartado se presentan algunos de los antecedentes más representativos que evidencian la evolución de los indicadores y su consolidación como instrumentos fundamentales para el análisis y la toma de decisiones.

En 1972 se lleva a cabo en Estocolmo, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano en la que se presentan las primeras estadísticas referentes al impacto ambiental y su relación con el ser humano, resaltando la necesidad que hay por contar con indicadores ambientales y de desarrollo sustentable en las grandes zonas metropolitanas (Moreno, 2014), siendo indicios sobre el valor que los indicadores resultan ser en el estudio de distintas áreas.

Para 1978 la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), presenta el Informe de Indicadores de Medio Ambiente Urbano, considerado el primer estudio sobre esta temática. El documento se encuentra orientado a la evaluación de la calidad de vida de los habitantes de áreas urbanas, específicamente en temas de equipamientos, servicios y condiciones del entorno ambiental y sociocultural que se manifiestan en las ciudades (Bettini, 1998). Los indicadores urbanos deberán de tener la capacidad de representar estos aspectos y fungir como herramientas a través de las cuales sea posible la representación de su información apegado a la realidad que se monitorea.

A escala nacional, resulta importante dar a conocer el surgimiento ocurrido en 1994 del desarrollo de indicadores en México, como resultado de la creación de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), quienes tomaron como referencia el enfoque metodológico de la OCDE para el desarrollo de

un sistema de indicadores destinados a la evaluación del desempeño de la política ambiental. (Moreno, 2014)

Los organismos mundiales representan un pilar en el tema del reconocimiento y generación de indicadores urbanos, debido a la pertinencia y globalidad con los que son presentados, por lo que en este caso resulta de importancia destacar nuevamente el cargo de ONU-Hábitat, al ser un organismo cuya función principal es el monitoreo del óptimo desarrollo urbano de las ciudades del mundo bajo lineamientos de sostenibilidad.

ONU-Hábitat aborda la necesidad mundial de mejorar los conocimientos urbanos para apoyar a los países y sus ciudades en el diseño, recopilación y aplicación de datos acerca de indicadores orientados a políticas. Esta organización presenta la primera base de datos de indicadores urbanos mundiales conocida como Base de Datos de Indicadores Urbanos Mundiales (*Global urban indicators database*) versión 1, lanzada después de la conferencia Hábitat II. Posteriormente, lanzan la versión 2, en donde incluyen temas como el producto de la ciudad, residuos, infraestructura, salud y educación, resultado de la recopilación y análisis de los indicadores incluidos en la versión 1 y de encuestas. (ONU-Hábitat, 2002)

En función de lo expuesto en este apartado, la justificación del presente trabajo se considera pertinente, dado que aporta al conocimiento del área de estudio mediante el análisis de las características del tejido urbano. Este análisis permite identificar el grado de incidencia que presentan diversos indicadores urbanos en las distintas zonas de la ciudad. De esta manera, la investigación contribuye a una comprensión más profunda de la estructura y dinámica urbana local, proporcionando una base analítica que puede sustentar futuros estudios orientados al desarrollo urbano sostenible y a la planificación territorial informada.

1.5. Objetivos de la investigación

Objetivo general:

Analizar un conjunto de indicadores urbanos de la ciudad de Culiacán, Sinaloa, mediante la aplicación de metodologías de análisis geoespacial sustentadas en marcos internacionales de sostenibilidad para la evaluación de distintas dimensiones del entorno urbano y la generación de evidencia científica que fortalezca los procesos de planificación, gestión y evaluación del desarrollo urbano sostenible.

Objetivos particulares:

1. Analizar los fundamentos conceptuales y teóricos relacionados con los indicadores urbanos y el desarrollo urbano sostenible, con base en la literatura científica y en los lineamientos establecidos por organismos internacionales.
2. Seleccionar el conjunto de indicadores urbanos que serán objeto de estudio, considerando su pertinencia y correspondencia con las métricas de sostenibilidad propuestas por ONU-Hábitat.
3. Realizar trabajo de campo para la obtención de información espacial requerida en la investigación.
4. Integrar y estructurar bases de datos geoespaciales mediante la recopilación, organización, depuración y creación de información vectorial.
5. Desarrollar las metodologías de análisis para cada uno de los indicadores urbanos seleccionados, definiendo las variables, criterios y procedimientos necesarios para su evaluación mediante tecnologías y técnicas de análisis geoespacial.
6. Aplicar las metodologías propuestas para obtener resultados que permitan evaluar cada uno de los indicadores urbanos seleccionados, de acuerdo con la naturaleza de la información y los criterios establecidos para su análisis.
7. Correlacionar los resultados para reconocer las áreas de oportunidad y diferencias presentes en las distintas zonas del área de estudio.

1.6. Preguntas de investigación

1. ¿Cuáles serán los fundamentos conceptuales y teóricos que sustentan el análisis de los indicadores urbanos desde la perspectiva del desarrollo sostenible?
2. ¿Cuáles indicadores urbanos resultan pertinentes para evaluar distintas dimensiones de la sostenibilidad urbana en el área de estudio de acuerdo con los criterios establecidos por ONU-Hábitat?
3. ¿Qué variables, criterios y procedimientos metodológicos conforman el análisis de cada uno de los indicadores urbanos seleccionados?
4. ¿Cuáles fueron los resultados de la aplicación de las metodologías propuestas para el análisis de los indicadores urbanos del área de estudio?
5. ¿Qué se determinó a partir de la correlación de los resultados de la investigación?

1.7. Hipótesis

Se plantea que el análisis integrado de indicadores urbanos sustentados en criterios internacionales de sostenibilidad, mediante metodologías de análisis geoespacial, permita caracterizar aspectos de la estructura urbana de la ciudad de Culiacán desde una perspectiva multidimensional, evidenciando diferencias territoriales entre sus distintas zonas y revelando áreas donde las condiciones de sostenibilidad presentan mayores rezagos. Asimismo, se espera que la integración de información espacial inédita y de bases de datos construidas específicamente para esta investigación fortalezca la capacidad de evaluación de dichos indicadores y proporcione una representación más precisa de la realidad urbana del área de estudio.

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte de los indicadores urbanos seleccionados

En este apartado se dan a conocer estudios que han sido realizados a lo largo de los años por distintos autores sobre cada uno de los indicadores urbanos analizados en este documento, permitiéndonos profundizar en ellos y en su variabilidad de análisis. El primer indicador es el de la relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población.

De acuerdo a Suárez y Delgado (2007), la relación existente entre el crecimiento poblacional y la expansión urbana parece obvia, sin embargo, son escasos los intentos por ligar las explicaciones teóricas que hay con el fenómeno observable, siendo sus resultados poco claros.

Ma y Xu (2010), llevaron a cabo un estudio de la extensión urbana del área urbanizada de la ciudad de Guangzhou, China, en el lapso de tiempo comprendido entre el año 1979 y 2002 mediante la utilización de datos de teledetección provenientes de Landsat MSS (*Multi Spectral Scaner*), TM (*Thematic Mapper*), ETM (*Enhanced Thematic Mapper*) y técnicas de extracción específica y clasificación supervisada de la información. Para la clasificación supervisada de imágenes se tomó en cuenta el algoritmo de máxima verosimilitud y se superpusieron imágenes MSS para estudiar el cambio en la expansión urbana del lugar. Una vez que fueron obtenidos los valores del cambio en la expansión urbana de su área de estudio, fue posible analizar la tasa de expansión urbana, así como su relación con la influencia del entorno geográfico, desarrollo económico, crecimiento demográfico), el ingreso de los residentes, la infraestructura de la ciudad y con los elementos de planificación y política urbana.

Merlotto et al., (2012), realizaron un estudio para evaluar la dinámica del crecimiento urbano y cambios de usos de suelo en las ciudades de Necochea y Quequén de Buenos Aires, Argentina entre los años 1967, 1984 y 2004. Su unidad de análisis fue a nivel manzana y utilizaron información del plano catastral de su área de estudio, mapas históricos, fotografías aéreas e imágenes satelitales *QuickBird* de *Google Earth* del suelo urbano de sus ciudades de interés, información que fue

georreferenciada y digitalizada en escáner de alta resolución. Una vez obtenidos los valores de expansión urbana y usos de suelo, prosiguieron con la comparación de estos resultados con respecto a los registros de la cantidad de habitantes entre 1960 y 2001, evidenciando que el proceso de densificación de la ocupación urbana fue mayor a la expansión de la mancha urbana.

Congedo y Macchi (2015), exploraron la relación que hay entre el crecimiento demográfico y la expansión urbana de la ciudad de Dar es Salaam. Para esto, analizaron la expansión urbana que se produjo durante una década, comparando su comportamiento y tendencia con datos demográficos provenientes del censo de población, además de proponer una metodología para estimar la población haciendo uso de la teledetección para combinar información de la cobertura del suelo y la densidad de hogares registrada en encuestas primarias. Utilizaron imágenes de los satélites Landsat 5 y 7 y desarrollaron un complemento para el *software* QGIS que les permitió llevar a cabo la clasificación supervisada semiautomática de las imágenes.

De la Garza (2017), llevó a cabo un trabajo dividido en dos evaluaciones, en donde la segunda se enfoca en la relación que hay entre el consumo del suelo a través del tiempo con el crecimiento de la población de la ciudad de Chihuahua, México en un período de 25 años que va desde 1990 hasta el 2015. Para el proceso de medición de su trabajo requirió del manejo de SIG e información demográfica proveniente de los censos de población y vivienda nacionales y del IMPLAN de Chihuahua. La estimación de densidad de población fue tomada de acuerdo a la cantidad de habitantes por ¼ de km^2, estableciendo rangos de medición de 0 a 4 300 habitantes por celda. De forma general, los resultados arrojaron que se aprecia una distribución desigual de la población que muestra un notorio contraste de densidades a lo largo del territorio.

Por su parte, García et al., (2019), realizaron una investigación en la cual identificaron los procesos de crecimiento que fueron generados por el incremento de la población de distintas localidades rurales-urbanas de la Zona Metropolitana de Pachuca, además de evaluar el crecimiento de las localidades a partir del

volumen de población a través del análisis espacial; entre la información con la que trabajaron se encuentra la proveniente del Censo de Población y Vivienda de 1990 y 2010 del INEGI, fotografías aéreas e imágenes satelitales de distintas temporalidades. La información fue procesada en SIG para obtener una representación cartográfica por medio de interpolación de isolíneas que considerara los datos acerca de la población total a escala de localidades.

Molina et al., (2019), estudian las relaciones que se producen entre la expansión urbana, el crecimiento poblacional, los consumos de energía e índices de vegetación del Área Metropolitana de Mendoza. Los autores utilizaron distintas tareas, métodos y técnicas como el análisis de las leyes de loteo y políticas de vivienda entre 1970 y 2017, trabajaron con información cartográfica oficial para la preparación de mapas base mediante la cual se logró la determinación de la expansión urbana de su área de estudio y la distribución de su población, imágenes satelitales Landsat 5 TM entre 1984 al 2011 e información catastral y censal. Su análisis permitió la obtención de los valores de la expansión y distribución urbana del Área Metropolitana de Mendoza utilizando una recta de regresión lineal.

Wiatkowska et al., (2021), estudian los cambios espacio-temporales de usos de suelo de la ciudad de Opole, Polonia, mediante técnicas de teledetección y SIG, proponiendo el manejo de imágenes satelitales multiespectrales Landsat 5 TM, Landsat 8 *Operational Land Imager* (OLI) y Sentinel 2 *Multi Spectral Imager* (MSI), fotografías aéreas y datos demográficos de su área de estudio, con el objetivo de cuantificar su expansión urbana del año 2000 al 2020 en períodos de 5 años. Su clasificación de usos de suelo fue área construida, áreas de vegetación, áreas boscosas y zonas de aguas superficiales. La tasa de cambio de los usos de suelo se analizó mediante índices de cadenas relativas y la aplicación de ecuaciones de ONU-Hábitat y de Corbane et al., (2016), para determinar la relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento poblacional.

Ccama (2021), analiza los cambios territoriales, físico-ambientales, que se efectúan en el centro urbano de Salcedo, ocasionados por el crecimiento poblacional. Su metodología se basó en el análisis de cartografía temática del área de estudio e

imágenes satelitales procesados en SIG, especialmente con el *software Arc View* 3.2, además desarrolló un modelo de análisis territorial que permitió analizar aspectos demográficos, físico-espaciales y los aspectos físico-ambientales, para posteriormente lograr explicar los cambios identificados durante su investigación.

Romano y Roca (2022), hicieron un estudio que se basa en las transformaciones urbanas que se han producido en paisajes de España por el incremento de su población, pasando de ser un país agrícola a uno más urbanizado, en el cual hacen uso de *Google Earth* como herramienta para la fotointerpretación y digitalización de imágenes que posteriormente fueron convertidas en formato .KML para ser analizadas en SIG.

Montejano et al., (2023), buscaron establecer si en México el ritmo del crecimiento tanto edificado como del suelo urbano edificado se ha producido a la par del aumento de la población en general y de la población urbana en particular, además de determinar si las ciudades han crecido o no de forma dispersa. Para su trabajo fue necesario realizar una estimación entre 1975 y el 2020 basada principalmente en fuentes de percepción remota destacando la utilización de imágenes satelitales con un previo postproceso de clasificación del suelo de los años 1975, 1990, 2010, 2014 y 2019 de Sentinel 1 y 2 y la utilización del *software* Arc GIS 10.3, en el cual cada pixel con valor de 0 representaba lo no edificado y todo aquel con valor de 1 sería el suelo edificado. Utilizaron también la base de datos *Global Population of the World Project (GHS-POP),* de la NASA para la estimación de los cambios en el grado de urbanización en las ciudades y el cálculo de la expansión del suelo edificado de todo el país.

Bounoua et al., (2023), realizaron el análisis del desarrollo sostenible de las áreas urbanas de Argelia enfocado en el crecimiento demográfico y el consumo del suelo, partiendo de los estándares del indicador del ODS 11.3.1. Los autores se basan en los ODS de ONU-Hábitat y toman en cuenta sus ecuaciones en donde intervienen los valores del área construida en el año anterior y el año actual, así como su población actual y anterior. En cuanto a los materiales utilizados para cartografiar el área urbana de cada año (2008 y 2018), resaltaron conjuntos de datos anuales del

Área Impermeable Artificial Global (GAIA, por sus siglas en inglés), compuestos por archivos completos de imágenes Landsat de 1985 al 2018, así como datos de luz nocturna y datos radar de Sentinel 1 e información demográfica obtenida de dos censos realizados en 2008 y 2018 por parte de la Oficina Nacional de Estadística (ONS, por sus siglas en inglés). La información fue procesada a través de SIG y fue posible derivar estadísticas y caracterizar espacialmente el fenómeno del área de estudio.

En lo que respecta al indicador de la proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad, también cuenta con una amplia variedad de trabajos que lo han analizado, algunos de ellos se muestran a continuación.

García y Lira (2010), estudian las estructuras urbanas de la Ciudad de México por medio de dos imágenes óptimas Terra/Aster y pares estereoscópicos del sensor Spot-5. Los autores aplicaron distintas metodologías, destacando la implementación de un modelo de textura-relieve, segmentación y clasificación urbano-regional de edificios, áreas verdes, zonas industriales, zonas residenciales y áreas agrícolas y la generación de un modelo digital de elevaciones con pares estereoscópicos del sensor SPOT-5, en un período de tiempo del 2003-2006, con lo que lograron conocer los cambios de uso de suelo de rural a urbano, estudios de manifestaciones de impacto ambiental y la textura-relieve de su área de estudio.

Por su parte, Jaraíz et al., (2010), analizaron espacialmente los cambios en las zonas forestales, vegetación natural y espacios abiertos de la Raya Central Ibérica. Los autores emplearon variables socioeconómicas, agrícolas, de accesibilidad y físicas para dar respuesta a los cambios observados en las zonas forestales y áreas con vegetación natural de 1990 al año 2000, utilizando además cartografía elaborada a partir de imágenes de satélite y la regresión logística con la función *Generalized Linear Models (GLM)* del programa estadístico R, como técnica para explicar los cambios de cobertura del suelo.

Soriano (2017), generó clasificaciones de usos del suelo de 15 distintas ciudades de Europa, para el posterior cálculo de métricas de fragmentación y distribución

espacial de las zonas verdes que permitieron relacionarlas con indicadores estándar de calidad ambiental de las zonas urbanas, todo esto con la utilización de imágenes satelitales de Sentinel 2, información demográfica de la OCDE e información vectorial de la delimitación de los municipios de cada ciudad, proporcionada por DIVA-GIS, un programa informático gratuito que tienen datos espaciales para todo el mundo. Para el procesamiento de datos, utilizó programas como *ArcMap* y ENVI y aplicó el método de clasificación supervisada por mínima distancia para llevar a cabo la clasificación de sus usos de suelo que fueron agua, suelo desnudo, suelo urbano y vegetación, permitiéndole determinar las zonas verdes por habitante, proximidad a zonas verdes con la herramienta de área de influencia (*buffer*) y la caracterización mediante mapas de sus resultados.

Vujačić et al., (2025), estimaron el ODS 11.7.1 en Podgorica, capital de Montenegro para los años 2000, 2006, 2012 y 2018. Para ello, los autores emplearon una metodología basada en el análisis de diversos subindicadores apoyados en información espacial del territorio y en la aplicación de técnicas geoespaciales dentro de entornos de SIG. El procesamiento de datos lo hicieron en los programas OQGIS y SAGA GIS, herramientas que permitieron tanto el cálculo de las variables requeridas por el indicador conforme a las métricas propuestas por ONU-Hábitat como la representación cartográfica de los resultados. A partir de este análisis, los autores identificaron desigualdades en términos de accesibilidad, disponibilidad y calidad de los espacios públicos.

Khalaim et al., (2021), llevaron a cabo un estudio de caso acerca de la combinación de métodos de inventario de vegetación urbana, abierto y de bajo costo para ser utilizado por los gobiernos municipales y administradores de tierras privadas, para que estos pudieran estimar la contribución de los árboles urbanos a la mitigación del calor urbano como efecto del cambio climático, en la ciudad de Kiev, Ucrania. Para que esto fuera posible, utilizaron imágenes térmicas y visuales del satélite de Kiev para la estimación de la densidad de los edificios y la vegetación, imágenes térmicas obtenidas con vehículos aéreos no tripulados, información de *Open Street Maps* para la definición de los límites de los distritos e imágenes de *Google Earth,*

además de instalar un total de 16 sensores portátiles de temperatura y humedad en áreas sombreadas y expuestas a la luz solar para una etapa complementaria de la investigación, dando como resultado información acerca de los registros de temperatura, algunos componentes atmosféricos y tipos de vegetación, con lo cual se dieron recomendaciones para la planificación y gestión de espacios verdes urbanos en pueblos y ciudades ucranianas que han sufrido impactos del cambio climático.

Morgado et al., (2022), se dieron a la tarea de realizar un estudio en el que reconocen la relevancia que el espacio abierto público tiene en el desarrollo de las actividades físicas, medioambientales y psicológicas de los habitantes de un lugar. Su investigación se enfocó en analizar a partir de una metodología diseñada por el Observatorio Urbano Arquitectónico de Entornos Saludables (OUAES) la Universidad Veracruzana, los espacios abiertos y áreas verdes de la ciudad de Córdoba, Veracruz, México, para su posterior diagnóstico e intervención en la que se contemplen los parámetros que la OMS maneja y los objetivos de la Agenda 2030 de la ONU. El instrumento generado por la OUAES permitió la identificación de los espacios y medición de indicadores de espacios saludables a partir del análisis de campo y el diagnóstico y registro de categorización del espacio.

Otro ejemplo de trabajo para el análisis de este indicador es el de Ramírez et al., (2023), caracterizado por ser un estudio cuantitativo con alcance correlacional en el que lo calcularon a partir de la integración de información estadística y geoespacial basada en los procesos determinados por ONU-Hábitat, con lo que lograron desarrollar una metodología con énfasis geoespacial enfocada en el procesamiento de imágenes satelitales para la obtención de métricas de las áreas construidas, el consumo del suelo urbano y los espacios abiertos, interviniendo técnicas analíticas espaciales, procesamiento de imágenes y algoritmos de *Machine Learning* (concepto que hace referencia al aprendizaje automático) y, haciendo uso de información proveniente del catastro de su área de estudio, imágenes de Sentinel-2, manzanas censales, grupos de población y topónimos.

Afriyani et al., (2023), analizaron el rápido desarrollo urbano y de población que la ciudad de Banda Aceh, Indonesia, ha manifestado, y que ha dado lugar a un aumento en la transferencia de terrenos de espacios abiertos a espacios urbanizados, hecho que impactó en la reducción de espacios verdes abiertos. Lo anterior impulsó su estudio para determinar si esta ciudad ha cumplido con el área suficiente de espacios verdes de su total, utilizando aplicaciones de teledetección y SIG para trabajar con imágenes de *Google Earth* del 2020 y 2021*,* lo que permitió analizar espacialmente esta problemática y concluir con que faltan espacios verdes públicos en todos los sub distritos de Banda Aceh, con una distribución de espacios desigual.

González y Pérez (2023), reconocen a los espacios públicos abiertos como uno de los componentes más importantes de las ciudades, por lo que realizaron un trabajo en el que caracterizaron de forma socioespacial los parques y jardines ubicados en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí, a partir de un enfoque cuantitativo basado en el análisis físico-espacial-ambiental, en el que, debido a la falta de actualización de las imágenes de *Google Maps* y la cartografía del INEGI, decidieron recurrir a las visitas de campo para obtener información a través de videos y fotografías aéreas realizadas con su propio dron, logrando con esto el registro y conocimiento de las características de los espacios públicos abiertos, que posteriormente fueron digitalizados en el *software* Autocad para la elaboración de un catálogo de consulta abierto al público, logrando determinar la cantidad y superficie ocupada por estos, su proporción dirigida a jóvenes, accesibilidad física que se tiene a ellos, entre otros aspectos más.

En cuanto al indicador de proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros, a continuación, se dan a conocer estudios relacionados con este tema. Es importante señalar que este indicador se encuentra estrechamente vinculado con el analizado previamente, ya que constituye una dimensión complementaria dentro de su evaluación integral.

Muñoz (2014), analizó las áreas verdes urbanas de Ciudad Juárez, Chihuahua, resultantes del acelerado crecimiento de la mancha urbana en los últimos cincuenta

años, esto a partir de una perspectiva enfocada en su accesibilidad y después analizó el grado de accesibilidad que los usuarios tienen hacia estos espacios. Entre las variables que consideró para determinar la cobertura se encuentra la densidad, la distribución y la aglomeración, así como cuestiones de iluminación y condiciones de la vegetación, además de la aplicación de métodos estadísticos durante la determinación del índice de accesibilidad como el índice de Morán y el de Gini. Sus resultados fueron representados por medio de mapas en donde se aprecian distintas directrices de la problemática estudiada.

Gómez y Mesa (2015), analizaron las distintas formas de acceso y los patrones de uso de espacios verdes del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina, con el objetivo de desarrollar un plan de inclusión de nuevos espacios que tomaran en cuenta los ejes de cantidad y de igualdad de acceso peatonal, para esto fueron necesarias cuatro etapas: relevamiento de las características y distribución de los espacios actuales (utilizando cartografía catastral procesada mediante SIG), reconocimiento de los hábitos de la población del área de estudio (mediante encuestas), identificación de las áreas de la zona urbana con déficit de espacios de recreación y la propuesta de intervención (en la que se señalaron las zonas con vacíos urbanos y carencias de espacios públicos de acceso peatonal), logrando demostrar que la mayoría de las personas encuestadas llegan a estos espacios caminando, además de reconocer una relación entre el medio de transporte y la frecuencia con la que asisten a estos espacios y por último, un radio de acción reconocido que va entre los 300 y 400 metros según la superficie del espacio.

Por su parte, García y Lara-Valencia (2016), llevaron a cabo un estudio en el cual examinaron los niveles y modalidades que la provisión de los espacios públicos abiertos (EPA) urbanos que hay en la ciudad de Hermosillo, Sonora, además de analizar el nivel de desigualdad socio-espacial que existe en las mujeres residentes de este lugar en cuanto a su grado de accesibilidad a los EPA. Esto fue posible con la implementación de una metodología mixta basada en la utilización de datos cuantitativos y cualitativos, tomando en cuenta la cantidad de parques que existen en una colonia (utilizando SIG), con respecto al área total del EPA y relacionando

este resultado con la población residente total, además de trabajar con la distancia en línea recta entre el centro geográfico de una colonia y el del EPA más cercano y realizar recorridos de campo para la aplicación de entrevistas. Con su investigación determinaron que no todos los ciudadanos de su área de estudio manifiestan una accesibilidad equitativa hacia los servicios de la ciudad, los ciudadanos pobres tienen menos contacto con la naturaleza, debido a que tienen menor disponibilidad de EPA en sus colonias y, por último, dieron a conocer que las mujeres perciben una tensión al hacer uso de esos espacios, pues los llegan a ver como fuentes de riesgo en el que influyen factores de iluminación y vigilancia.

Saavedra (2019), analizó el acceso que tiene la población del distrito de Villa El Salvador en la ciudad de Lima, siendo uno de los principales ejemplos de expansión urbana. Su análisis se basó en el uso de SIG para establecer el área de influencia a 300 metros que los espacios abiertos y todos aquellos espacios para recreación y actividades sociales se encuentran de la población de su área de estudio y logró determinar que una proporción significativa de la población está próxima a un espacio abierto, además de encontrar algunos patrones en su configuración que denotan aspectos de desigualdad socioespacial y que a su vez inciden en la calidad de vida de las personas.

Ortega (2019), presentó un artículo cuyo objetivo principal fue el análisis de la accesibilidad peatonal que los equipamientos de proximidad, espacios libres y zonas verdes del municipio de Oviedo (capital de la Comunidad Autónoma del Principiado de Asturias, España), tienen con las viviendas del lugar, utilizando el *software* ArcGIS y su herramienta coste por distancia (*cost distance*), para el manejo de datos ráster. Esta herramienta se caracteriza por proporcionar un archivo ráster con el espacio peatonal, para lo cual se trabajó con información vectorial de Oviedo a nivel manzanas y se utilizó a la vivienda como unidad de medida espacial. Como resultado de su análisis, logró determinar que los métodos de redes vectoriales y coste por distancia son válidos, demostrando mayor similitud a la realidad del espacio, permitiendo graduar la velocidad y realizar simulaciones.

Continuando con este indicador, Andrade et al., (2020), llevaron a cabo un estudio acerca de la relación que existe entre el nivel socio económico y la calidad de los espacios públicos abiertos en tres ciudades de Ecuador en comparación con su índice de calidad de vida. Los autores emplearon un formulario propuesto por ONU-Hábitat, mediante el cual se podrían conocer variables de los espacios, tales como accesibilidad y confort. La información obtenida de la aplicación de dicho formulario fue depurada y procesada en tablas de cálculo y capas en SIG, para posteriormente clasificarlos, asignarles un valor y hacer una sumatoria de los mismos. También se tomó en cuenta la información demográfica del año 2010 para conocer el nivel socio económico de la población clasificada en cuartiles y así poder relacionar estos datos con los obtenidos en el paso anterior, además de realizar un análisis estadístico aplicando diagramas de caja en *Microsoft Excel* y R. Con lo anterior, lograron determinar la existencia de una diferencia estadística entre el nivel socio económico de un sector y la calidad de sus espacios abiertos.

Romo y Maldonado (2022), abordan la temática del análisis de este indicador desde el concepto de justicia social y cómo la accesibilidad a los espacios públicos en Ciudad Juárez, Chihuahua, México llega a contextos de marginación urbana en este lugar. Ellos consideran la problemática desde un análisis espacial con la utilización de cartografía a nivel AGEB y la información del índice de marginación urbana que proporciona el Consejo Nacional de Población (CONAPO), interviniendo procesos de georreferenciación y caracterización de los espacios públicos para evaluar la accesibilidad de la población hacia estos sitios, con lo que lograron determinar la existencia de una distribución desigual y fragmentada, con niveles altos de marginación, además de la falta de equipamiento y cuidado a los espacios en cuestión.

Bolea et al., (2022), hicieron una valoración de la proximidad de las zonas verdes urbanas (ZVU) de la ciudad de Zaragoza, España, como respuesta a las restricciones de la movilidad de su ciudadanía declaradas el 14 de marzo de 2020 por efectos de la pandemia por COVID-19. Los autores realizaron un análisis exploratorio de la proximidad de la población a las ZVU a 150, 300 y 500 metros en

2020 mediante SIG y la herramienta de área de influencia, utilizando información de parques urbanos, zonas ajardinadas, plazas o espacio abiertos peatonales y con vegetación y espacios naturales o seminaturales y el formato para almacenamiento de datos espaciales conocido también como *shapefile* o .shp (Environmental Systems Research Institute, ESRI, 1998), de las manzanas urbanas de la ciudad con información sociodemográfica de su población, con lo que obtuvieron umbrales y el porcentaje de la población a la que llegan además de encontrar diferencias relevantes en la proximidad a las ZVU entre los barrios de la ciudad, con lo cual también reflejan la problemática de densidad de algunas zonas del área de estudio.

Florindo et al., (2023), analizaron los efectos que los espacios públicos abiertos y el paseo en el tiempo libre entre 2014 y 2021 en la ciudad de Sao Paulo, Brasil, en lo que respecta al desempeño de actividades físicas por parte de la población. Para esto, consideraron una distancia de 500 metros como zona de amortiguamiento, basándose en la dirección de los hogares. Los autores consideraron 3 tipos de espacios públicos abiertos: parques, plazas públicas y carriles de bicicletas y, para finalizar, realizan un análisis estadístico en el que calculan la frecuencia de cambios en el acceso a los espacios públicos abiertos (%).

A continuación, se centra en el indicador referente a la proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público, desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad. Para ello, se revisaron diversas investigaciones que han abordado su evaluación y aplicación en diferentes contextos urbanos y se muestran enseguida.

Baldwin (2009), analizó las asociaciones que hay entre los adultos mayores de las ciudades de San José, California y Buffalo, Nueva York, que utilizan o no el transporte público de ruta fija, así como el acceso a pie de donde viven hacia autobuses y trenes, esto al identificar la tendencia que existe en las personas de 60 años o más de manifestar niveles más bajos de actividad física. El autor consideró características demográficas del área de estudio y toma en cuenta la información obtenida a partir de una encuesta realizada a finales de 2005 y principios de 2006 para conocer las barreras percibidas y objetivas que enfrentan los adultos mayores

al utilizar el servicio público, además de la aplicación de cuestionarios (de donde se obtuvieron datos sobre el tiempo de caminata percibido por las personas en minutos para llegar al transporte público). Posteriormente, realizó un análisis de regresión multivariante para conocer la asociación entre la distancia recorrida percibida y la decisión de las personas de utilizar el transporte público.

Foda y Osman (2010), publicaron un estudio en el que destacan la relevancia que las paradas de autobuses tienen con respecto al servicio de tránsito, pues señalan que son los puntos principales de contacto entre el usuario y el autobús, además de reconocer que sus ubicaciones se relacionan con el desempeño de este servicio y a la satisfacción de los pasajeros, por lo que estiman la cobertura de acceso a las paradas de transporte público en función de la red vial peatonal que las rodea. En su estudio destacaron la sobreestimación de cobertura que se tiende a obtener con la utilización de un *buffer* circular, por lo que, en su caso, utilizan un enfoque con el que identifican todos los enlaces de la red de carreteras peatonales que se sitúan dentro de una distancia máxima especificada de 400 metros mediante el manejo de funciones de análisis de red de los SIG. Este valor es medido a lo largo de los caminos de las redes que rodean a las paradas de autobús, uniendo después los extremos de dichos enlaces para crear un área poligonal o bien, lo que denominan como cobertura de acceso real a la parada de autobús.

Gutiérrez et al., (2014), llevaron a cabo un trabajo en la ciudad de Mérida, en el cual analizaron el nivel de accesibilidad que los habitantes de este lugar tienen al servicio de autobús urbano, es decir, si las paradas de transporte se encuentran bien distribuidas en el área de estudio acorde a la localización de la población, para lo cual utilizaron la medida de oportunidades acumuladas, el indicador de accesibilidad absoluta y un parámetro vinculado a este último de tiempos mínimos, siendo necesario tener información de la red viaria y datos de las paradas del servicio, además de la referente a su población. El manejo de dicha información fue mediante ArcGIS en su versión 9.3, realizando la modelización del sistema territorial y de transporte, cálculo de los tiempos de viaje mediante la aplicación de algoritmos de caminos mínimos, entre otros procesos más. Al finalizar, lograron resultados que

fueron representados mediante mapas, en los que es posible observar la población que se encuentra a menos de 5 y 10 minutos de cada una de las paradas del transporte público.

Por su parte, Talavera y Valenzuela (2012), propusieron analizar la configuración espacial de la localización de las paradas del sistema de transporte público según su accesibilidad peatonal, tomando como objeto de estudio el proyecto del metro ligero en el Área Metropolitana de Granada, España. Se plantearon como objetivos maximizar la cobertura del servicio y maximizar la atracción del peatonal. Para analizar la cobertura de servicio de las paradas, se digitalizaron y caracterizaron la red peatonal de su objeto de estudio y posteriormente generaron sus coberturas de servicio a una distancia de 500 metros, logrando con esto obtener las coberturas de servicio sobre la red peatonal, así como determinar la relación que poseen con respecto a distintos aspectos demográficos de la población servida.

Talavera et al., (2018), se dieron a la tarea de evaluar la influencia de la calidad que la distancia peatonal tiene en la cobertura de paradas del metro ligero de la ciudad de Granada, España, para lo cual desarrollaron una medida de distancia peatonal al transporte público, misma que se basó en la calidad del entorno urbano y las características del entorno social, tomando en cuenta la idea de Gehl de 1971 sobre la distancia peatonal aceptable como equilibrio entre la longitud del recorrido y su calidad, además de basarse en su propuesta acerca de la calidad peatonal que fundamentaron en 2014. Entre las herramientas que utilizaron se encuentra el módulo *Network Analyst* del *software* ArcGIS versión 10 y sus resultados fueron representados a través de mapas temáticos como los valores de la calidad peatonal de los entornos de movilidad y la cobertura de las paradas en la población.

Kharel et al., (2019), hicieron referencia al aumento de la población de la ciudad de Bengaluru, India, y de cómo esto ha desatado un crecimiento drástico en el número de vehículos y a la problemática de congestión del tráfico. Para abordar lo anterior, los autores resaltaron la importancia de monitorear la ubicación de las paradas de autobuses existentes en su área de estudio, ya que, para ellos, la congestión del tráfico vial se debe principalmente a la aglomeración de vehículos en estas. El

objetivo principal de su estudio fue proporcionar soluciones para la reducción de este tráfico y así facilitar la movilidad de las personas, esto a partir de la utilización del módulo de *network analyst* de ArcGIS. Utilizaron datos espaciales obtenidos de la plataforma *Open Street Map*, imágenes pancromáticas del satélite Cartosat-2 y del satélite LISS 4. Durante el desarrollo de su metodología crearon conjuntos de datos de la red en los que incluían las barreras que existían en estas para posteriormente generar los polígonos de las áreas de servicio resultantes (tomando en cuenta una distancia inicial de 500 metros de radio alrededor de cada parada de autobús), posteriormente ubicaron todas las paradas de autobuses a lo largo de una ruta y desarrollaron un sistema de apoyo dirigido al usuario para utilizar el mejor modo de transporte conforme a su ubicación y disponibilidad de tiempo y recursos.

Daudu et al., (2022), publicaron un artículo basado en el análisis espacial que realizaron a las paradas de autobús con el objetivo de determinar su accesibilidad física de la metrópolis de Kaduna, Nigeria. Durante el desarrollo de su metodología, llevaron a cabo un análisis de área, red y zona de influencia (consideraron una distancia de 400 metros a pie delimitada desde el umbral de acceso que se encuentra alrededor de cada parada de autobús) mediante el manejo de SIG, específicamente ArcGIS en su versión 10.8.1, trabajando con información ráster, documentos de la ley de medio ambiente y tráfico de su área de estudio, además de información del sistema global de navegación satelital. Una vez obtenida el área de influencia de cada parada de autobús, procedieron a la aplicación de métodos estadísticos para comparar la cobertura de acceso ideal con la real.

Alamri et al., (2023), adoptaron un enfoque de accesibilidad durante el desarrollo de un modelo nuevo de medición de esta, en el transporte público en áreas residenciales del área metropolitana de Merbourne, Victoria, Australia. Los autores utilizaron información de transporte público de su área de estudio proveniente del organismo del Transporte Público de Victoria, el conjunto de datos de la red de carreteras (*OpenStreeMap*) y datos de los límites obtenidos de la Oficina de Estadísticas de Australia. Esta información fue procesada con la ayuda del *software* QGIS versión 3.18 en donde se implementaron algoritmos en SQL espacial para el

mapeo de datos, adoptando una distancia a pie de hasta 400 metros de las personas hacia una estación de autobuses y de hasta 800 metros para llegar a una estación de tren, que también fue establecida a partir de la configuración e implementación de algoritmos. Con su metodología, los autores lograron determinar cuáles son las zonas de su área de estudio que tienen acceso a los distintos medios de transporte disponibles a ciertas distancias, así como aquellas en las que viven personas que definitivamente no tienen ningún tipo de acceso al transporte público a la distancia a pie requerida, entre otros aspectos más.

En la última sección de este apartado, se presentan diversas investigaciones orientadas al estudio de la calidad del aire a partir del uso de herramientas y productos geoespaciales.

Wallo et al., (2004), analizaron la presencia de la calidad del aire en las regiones circundantes a la Bahía de la Habana, a partir de información previamente capturada en cuatro puntos de monitoreo del año 1998 hasta el 2002 y su procesamiento en SPRING, que se trata de un SIG en el cual se georreferenció la información a escala 1:50 000 e incorporaron ahí las mediciones de los contaminantes con lo cual se obtuvo un mapa de isolíneas de sus distintas concentraciones y tiempos. Posteriormente aplicaron métodos de interpolación basados en la media ponderada, con lo cual fue posible determinar los valores medios de los contaminantes en el área de estudio y su representación a través de mapas.

Nájera et al., (2005), estudiaron el comportamiento del ozono troposférico de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) del Estado de Jalisco, para lo cual fue necesario contar con información de la Red Automática de Monitoreo Ambiental (RAMA) de noviembre de 1995 hasta agosto del 2004 y el manejo de SIG para el análisis espacio-temporal de este gas. Inicialmente fue necesario ubicar y representar por medio de un mapa, las ocho estaciones de monitoreo ambiental del área de estudio, para posteriormente integrar los valores registrados de ozono en el *software ArcView*, aplicando después la herramienta de interpolación espacial

Kriging, para obtener una estimación lineal de la concentración del ozono en las regiones de interés.

Constantin et al., (2013), estudiaron la concentración del dióxido de nitrógeno (NO_2) en siete ciudades de Rumania en el período de 1996-2010, apoyándose en información proveniente de instrumentos a bordo de los satélites GOME-1, SCIAMACHY, OMI y GOME-2. Los resultados de los tres últimos satélites mencionados (los de GOME-1 fueron excluidos al presentar grandes lagunas de datos), mostraron una variación estacional de un punto a otro, con mayores diferencias en las estaciones frías y cálidas de las ciudades que manifiestan actividad industrial o tráfico intenso, lo que les permitió relacionar estos datos con características de la evolución de la industria y el transporte de Rumania.

Céspedes et al., (2015), evaluaron el impacto del material particulado fino (PM_{10}) resultado de la producción agroindustrial en zonas de cultivo de Caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia, a partir de una metodología basada en el estudio de las imágenes satelitales del sensor TERRA MODIS, específicamente del producto MOD02, para su posterior procesamiento mediante *Scripts Python*. Su propuesta metodológica ofrece una resolución a la problemática que las estaciones de monitoreo terrestres presentan al capturar, en su mayoría, información a radios de acción cercanos, al abarcar información que se encuentre distante mediante métodos de interpolación. Los resultados permitieron estimar las zonas donde la tasa de emisión de quema es elevada y, posteriormente, el modelamiento del material particulado que se produce de la quema de caña de azúcar a través del *software* AIRVIRO (sistema de gestión de la calidad del aire), para poder determinar la relación que hay entre la quema de caña de azúcar y las concentraciones de PM_{10}.

Álvarez y Padilla (2016), llevaron a cabo una investigación para definir si índices ambientales que se generan mediante imágenes satelitales en conjunto con datos de campo que se complementan con modelos de regresión simple y múltiple pueden ser utilizados en el Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador, tomando como punto de partida los resultados de una metodología similar en las zonas áridas de Arabia

Saudita. Su análisis fue realizado con imágenes de Landsat ETM+ de los años 2005, 2008 y 2011 para la determinación de PM_{10} y la comparación de su información con la de las estaciones pasivas y semiautomáticas de monitoreo de aire del área de estudio.

Moreno et al., (2020), realizaron un análisis estadístico de la relación espacial que hay entre el *Aerosol Optical Depth* (AOD) del sensor *MODerate resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) y el PM_{10} superficial en la comunidad de Madrid. Para que esto fuera posible trabajaron con información obtenida de estaciones de monitoreo terrestre de las PM_{10} (un total de 35 estaciones superficiales), de los tiempos de verano e invierno, información vectorial y una ortofoto del área de estudio, además de información remota del AOD con resolución espacial de 10km. Su metodología estuvo basada en distintas técnicas estadísticas exploratorias uni y bivariadas, como lo son las correlaciones lineales, filtrado de ciertos datos, clasificación de datos de AOD y PM_{10}, segmentación de datos por días y satélites para cada tiempo y examinación de días selectos, para lo cual hicieron uso de sistemas estadísticos como el *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) y NCSS además del ArcGIS para la elaboración de mapas.

Tello y Díaz (2021), desarrollaron una metodología para analizar la contaminación ambiental de la ciudad de Medellín, Colombia, con el manejo de imágenes satelitales de Landsat 7 y 8, además de datos obtenidos de estaciones meteorológicas que abarcaban variables como el NO_2, O_3, $PM_{2.5}$ y PM_{10}, con las mismas fechas que las imágenes satelitales. Emplearon técnicas de teledetección en el *software* ENVI 5.0 para el preprocesamiento de las imágenes, estimación de la temperatura de la superficie, la estimación del índice de vegetación normalizado (NDVI), estimación del índice de vegetación ajustado al suelo transformado (TSAVI), también estimaron el índice de diferencia normalizada del agua (NDWI), además de emplear métodos de interpolación para determinar las variables de calidad del aire previamente mencionadas.

Seham et al., (2022), buscaron detectar los parámetros de contaminación del aire y su relación con los parámetros meteorológicos a lo largo de la vía del tren Al-Shamal

de la ciudad de Al-Qurayyat en Arabia Saudita, mediante información satelital. Para su estudio realizaron visitas de campo y aplicaron cuestionarios a los residentes en donde se buscaba conocer su estado de salud además de su opinión acerca de la calidad del aire que percibían. Con base en las respuestas de los cuestionarios analizaron la información de imágenes de los satélites Landsat-8, Sentinel-5 y MODIS para detectar la concentración de algunos contaminantes primarios del aire como es el NO_2, entre otros más. Durante el procesamiento de la información utilizaron programas como *Erdas Imagine,* SNAP, ArcGIS y, para la etapa final, utilizaron el coeficiente de correlación de Pearson para conocer la relación entre los contaminantes del aire con la temperatura y velocidad del viento.

Por último, se habla sobre el estudio que llevaron a cabo Ochante et al., (2023), para determinar la cantidad de monóxido de carbono (CO) concentrado en la provincia de Huamanga, Perú, en el que contemplaron un período de tiempo que fue desde el inicio de la pandemia del COVID 19 hasta el 2022. Su objetivo principal fue la creación de códigos en lenguaje de Python para ser ejecutados en *Google Earth Engine* y así obtener información del satélite Sentinel-5P de las variables del gas, que posteriormente sería exportada al *software* ArcGIS para su procesamiento en las etapas de interpretación, análisis y monitoreo de CO.

2.2. Marco teórico

La definición de ciudad no es una tarea fácil, debido a las múltiples y variadas aproximaciones que autores han hecho sobre este concepto. Una ciudad nunca será igual a la otra, cada una está compuesta por sus propios elementos: población, vialidades, edificaciones, comercios, áreas verdes y de esparcimiento, servicios, costumbres, actividades económicas, medios de transporte, distribución territorial, etc., por lo que su análisis no puede llevarse a cabo de una manera única para determinar el estatus de cada uno de ellos.

Partiendo de lo anterior, y considerando que las ciudades constituyen sistemas complejos cuyas características y dinámicas varían de un contexto a otro, esta investigación centra su atención en el análisis de indicadores urbanos de la ciudad de Culiacán, Sinaloa. dichos indicadores permiten evaluar de manera objetiva distintos aspectos del entorno urbano y contribuyen a comprender su funcionamiento desde una perspectiva territorial.

Para ello, se emplean tecnologías geoespaciales integradas por diversas metodologías, herramientas y fuentes de información, entre las que destacan los SIG, las bases de datos espaciales, las imágenes satelitales y la información vectorial. El aprovechamiento de estos recursos tecnológicos permite analizar los indicadores urbanos con un enfoque espacial, favoreciendo la identificación de patrones y relaciones territoriales que contribuyen a una comprensión más integral de la estructura y dinámica urbana del área de estudio. Asimismo, se espera que los resultados constituyan una fuente de información útil para futuras investigaciones y para la formulación de metodologías orientadas a la evaluación de la sostenibilidad urbana y al apoyo en los procesos de planificación y gestión del territorio.

No obstante, antes de abordar el análisis de los indicadores urbanos, resulta indispensable establecer el marco conceptual que sustenta su utilización. Si bien estos han sido ampliamente empleados para evaluar distintos aspectos del desarrollo urbano, la literatura especializada presenta diversas aproximaciones respecto a su definición, describiéndolos como herramientas, instrumentos de

evaluación, medidas cuantificables o conjuntos de información capaces de representar fenómenos urbanos específicos. En este sentido, y considerando que su análisis se inscribe en el paradigma del desarrollo sostenible, es fundamenta precisar los conceptos que orientan la presente investigación.

Para ello, a continuación, se desarrolla el marco teórico que sustenta el estudio, abordando de manera sistemática los conceptos centrales que lo estructuran. Esta revisión permite delimitar el fundamento conceptual y metodológico de la investigación, otorgándole coherencia teórica y proporcionando las bases necesarias para la interpretación de los resultados.

2.2.1. Desarrollo sostenible

De acuerdo a Shakir y Cesaretti (2020), el desarrollo sostenible es el tema más crítico de nuestra historia y de la humanidad. Por su parte, Jabareen (2008), señala que este concepto presenta definiciones imprecisas, caracterizadas por el uso de términos ambiguos y por falta de claridad conceptual.
En consecuencia, su comprensión y operacionalización representan un desafío teórico y metodológico para la investigación académica, lo que ha dado lugar a múltiples interpretaciones y enfoques en la literatura especializada.

En cuanto a la literatura inicial de este tema, López (2015), puntualiza en que, desde finales del siglo XX, particularmente a partir de la década de 1980, se consolidó a nivel internacional un proceso de reflexión sin precedentes, impulsado inicialmente por las Naciones Unidas y posteriormente por la Unión Europea, orientado a situar la sostenibilidad y el desarrollo sostenible como desafíos centrales para las sociedades del siglo XXI y, reconociendo que la publicación del Informe de Brundtland en 1987 constituyó un punto de inflexión al proponer una definición de desarrollo sostenible que continúa siendo un referente fundamental en el debate académico y político contemporáneo. Para la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (*World Commission on Environment and Development* [WCED], 1987), la humanidad es capaz de alcanzar un desarrollo sostenible que permita satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las propias.

Para 2015, el economista y asesor de las Naciones Unidas, Jeffrey Sachs menciona la oportunidad de ese momento por establecer objetivos y caminos que conduzcan a un mundo más seguro, mejor y más próspero, resaltando la urgencia de que el mundo cambie de rumbo hacia una senda más sostenible (Naciones Unidas, 2015), confirmando así la pertinencia de adoptar a los ODS como marco analítico y normativo para el abordaje de problemáticas complejas vinculadas al desarrollo urbano.

En este contexto, el uso de los ODS en la presente investigación permitió articular el análisis empírico con un enfoque de responsabilidad coincidente con las Naciones Unidas (s.f.), quienes determinan que la participación deberá de ser compartida entre los Estados, instituciones y actores sociales, reforzando la idea de que la sostenibilidad exige acciones coordinadas y participativas. Asimismo, la incorporación de este marco responde al llamado de la Agenda 21 y al principio 10, al situar al factor humano y a la participación social como ejes centrales del desarrollo sostenible, por lo que se concluye que la presencia de los ODS en esta investigación no responde únicamente a una decisión metodológica, sino a una postura epistemológica que concibe el desarrollo como un proceso medible, evaluable y orientado al bienestar colectivo.

Trabajar desde este marco permite generar conocimiento riguroso, alineado con estándares internaciones y pertinente para el análisis del territorio, fortaleciendo la solidez teórica y la relevancia práctica de la investigación.

2.2.2. Indicadores

El análisis de la literatura permite conocer la definición que distintos autores han asignado al concepto de indicador, muchos de ellos coinciden en el hecho de que se trata de una herramienta, otros más mencionan que es una variable, una característica, una unidad de medición, un dato, etc. Con la intención de profundizar en este concepto, a continuación, se dan a conocer definiciones proporcionadas por distintos autores, las cuales brindarán una mejor comprensión del tema.

Para Ferrer (1997), se trata de un instrumento capaz de proporcionar información relevante acerca de algún aspecto importante de la realidad educativa, cuyo origen

histórico se basa en los indicadores económicos que fueron desarrollados con la intención de facilitar la comprensión y representación de una realidad complicada mediante un conjunto limitado de datos significativos. De acuerdo con Mondragón (2022), no existe una definición oficial asignada por parte de un organismo nacional o mundial para el concepto de indicador, teniendo únicamente algunas referencias que lo describen como una herramienta utilizada para clarificar y definir objetivos, medidas verificables de cambio cuyo diseño cuenta con un estándar contra el cual evaluar el progreso de un fenómeno, etc. Además, la autora menciona que los primeros indicios acerca de los indicadores fueron en el ámbito social, resaltando la definición de Bauer en 1966, misma que había sido utilizada por distintos organismos y autores y que hace referencia a que los indicadores sociales se tratan de estadísticas o cualquier forma de indicación que facilita estudiar dónde estamos y hacia dónde nos dirigimos con respecto a objetivos y metas planteados con antelación.

Por su parte, De Sena (2012), presenta un compendio histórico de definiciones del concepto de indicador, este ha sido utilizado por distintas disciplinas y contextos, destacando la investigación y en el desarrollo y procesos evaluativos de políticas públicas. Para ella, los primeros indicios de la noción de indicador posiblemente estuvieron a cargo de Durkheim en su obra publicada en 1985, en donde vincula al indicador con la necesidad de observación de un hecho social mediante signos exteriores que lo hagan perceptible. En su escrito hace referencia a la cita proporcionada por Samaja (1993), quien define al indicador como un tipo de procedimiento que habrá de ser aplicado a alguna dimensión de la variable que se requiere para establecer qué valor de ella corresponde a una unidad de análisis determinada, mientras que Jiménez (2015), lo define como un dato o bien, una información que sirve como aproximación a una realidad considerada como compleja, cuya interpretación debe de ser lo menos conflictiva posible.

De acuerdo a la literatura, un indicador consta de ciertas características y aspectos que lo hacen posible, por lo que Mondragón (2002), hace un listado de aquellos que un indicador debe manifestar y que sugiere tomar en cuenta en el momento de su construcción:

- Los indicadores deben estar inscritos en un marco teórico o conceptual.
- Deberán de ser posibles de ubicarlos en un marco explicativo.
- Tienen que ser específicos, estando vinculados con fenómenos que se producen en distintas áreas: sociales, económicos, culturales o de otra naturaleza, esto con la finalidad de que se pueda actuar en estas.
- Se recomienda que sean pocos indicadores para cumplir las metas y objetivos que se propongan.
- Cuenten con disponibilidad para varios años, para que sea posible realizar un análisis longitudinal del fenómeno que se desea estudiar.
- Tienen que considerarse relevantes y oportunos para la aplicación de políticas.
- Necesitan tener un significado claro y fácil de comprender.
- Es necesario que cada indicador tenga una definición, fórmula de cálculo y metadatos para su comprensión.
- Tienen que ser confiables, exactos en cuanto a su metodología de cálculo y consistente.
- Que la construcción del mismo indicador sea posible año con año a través de la recolección de la información.
- Tienen que ser sensibles a cambios en el fenómeno que se estudia.
- La elección de los indicadores no tiene que basarse exclusivamente en la disponibilidad de información, también se tienen que tomar en cuenta los objetivos fijados en los programas que los buscan diseñar.
- Que sean medibles a partir de los datos disponibles.

Los puntos anteriores facilitan la categorización de indicadores, permitiendo su identificación en poco tiempo, conocer su comportamiento y las similitudes entre ellos.

Al tener el conocimiento de distintas definiciones de indicador, es posible concluir con que se trata de un dato que permite conocer las características de un fenómeno o hecho que se busca analizar y que habrá de ser medible y observable, teniendo que describir claramente lo que se está midiendo y definir su función. Una vez

comprendido el concepto general de indicador y sus principales características, resulta pertinente avanzar hacia un enfoque más específico y abordar el concepto de indicadores urbanos, eje central del análisis desarrollado en este documento.

2.2.3. Indicadores urbanos

Durante los años setenta se produjeron importantes avances en el desarrollo de los indicadores urbanos, adelantándose a la evolución de los indicadores ambientales (Alberti y Bettini, 1996). Castro (2002), señala que en 1997 la OCDE realizó una publicación referida a indicadores urbanos en la cual destaca el excesivo énfasis sobre la cuantificación y el empleo de las estadísticas existentes. Si bien, en esa época no se prestaba tanta atención a la comprensión de la complejidad de las ciudades, en la actualidad sí, ya que progresivamente se ha mostrado la necesidad de diseñar indicadores más cercanos y con mayor utilidad para la toma de decisiones en el ambiente urbano. En ese mismo año se propone un Sistema de Indicadores Urbanos por parte de la Conferencias de Naciones Unidas sobre Asentamientos Humanos (UNCHS por sus siglas en inglés) y Hábitat, con el propósito de servir como base para establecer mundialmente una Red de Observatorios Urbanos y lograr la evaluación y control de la Agenda 21 así como de los Programas Hábitat.

Para ONU-Hábitat (2021), los indicadores urbanos son un método integral que contribuyen al seguimiento y evaluación de las condiciones, tendencias y problemas urbanos que se manifiestan a nivel global, esto a partir de datos desglosados adecuadamente tomando en cuenta aspectos como la edad, educación, género, riqueza, etc., y de una herramienta adecuada para la evaluación de la Nueva Agenda Urbana. También es definida por Leva (2005), quien los reconoce como una variable dotada de un significado añadido, que va más allá de describir un entorno urbano, más bien refleja de manera sintética una preocupación social con respecto al medio ambiente urbano cuya información puede emplearse en el proceso de toma de decisiones de una ciudad.

Una definición puntual del indicador urbano puede ser la mencionada por el Ayuntamiento de A. Coruña (2020), denominándolo un instrumento de planeación

esencial de las políticas urbanas que se encuentra especialmente relacionada a aspectos ambientales, sociales, de movilidad, acceso a la vivienda, etc., con lo cual es posible interpretar que los indicadores urbanos son fundamentales para la implementación de estrategias urbanas mediante las cuales se busca alcanzar un equilibrio en los aspectos que conducen a una ciudad.

De acuerdo a Mariani (2010), los indicadores urbanos se establecen en función de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y la Agenda Hábitat (AH). Respecto a los ODM, señala que en el 2000 se establecieron un total de 8 con 21 metas cuantificables y supervisadas a través de 60 indicadores, que todavía en el año 2010 se encontraban en estado de elaboración. Por otro lado, de la AH se menciona que la ONU-Hábitat es el organismo encargado de su implementación a nivel internacional, no obstante, los indicadores urbanos no son exclusivos de ONU-Hábitat.

Varias ciudades en el mundo han construido sus propias visiones y metodologías, entre ellas la ciudad de México. Álvarez (2007), destaca que este organismo ha sido pionero en la construcción y recopilación de indicadores urbanos, remontándose a 1991 con un programa de indicadores de vivienda y dos años más tarde, incluyendo temas urbanos. Es decir, para 1993 se centró en una amplia gama de problemas urbanos a partir del Programa de Indicadores Urbanos, el cual produjo dos bases de datos (en 1996 y 2001), bajo el nombre de bases de datos de indicadores urbanos globales I y II, mismas que se presentaron en la Conferencia Hábitat II y Estambul +5, ayudando a establecer tendencias regionales en temas urbanos clave. Como resultado directo de la Conferencia Hábitat II se presenta la Agenda Hábitat, en la que los Estados Miembros y los Socios de la Agenda Hábitat hicieron una solicitud para que ONU-Hábitat monitoreara las condiciones urbanas del mundo. (*United Nations Human Settlements Programme*, 2004)

Para alcanzar los indicadores, CNUAH/Hábitat (s.f.), considera fundamental la obtención de información precisa, por ejemplo, los datos más recientes, pero si esto no es posible o no existen datos publicados, se deberán de obtener las mejores estimaciones posibles. También se deben de considerar otras limitaciones en la

recolección de información para llevar a cabo el análisis de los indicadores, como el hecho de que existan muchas agencias gubernamentales que tengan información, provocando que esta última provenga de distintas fuentes (organismos, autoridades, empresas, etc.) y sectores (público y privado), por ejemplo, en indicadores que hagan referencia a aspectos de manejo de agua y transporte. Lo anterior ocasionaría que el tiempo de recolección sea extenso y que no sea posible la homogenización de una metodología para el análisis que se busca llevar a cabo, convirtiéndose en posibles escenarios con la capacidad de problematizar el desarrollo de la investigación.

2.2.4. Indicadores urbanos globales

La identificación de los indicadores urbanos globales que sustentan la presente investigación requirió una revisión sistemática de diversas fuentes de información, con el propósito de seleccionar aquellos referentes conceptuales y metodológicos ampliamente reconocidos en la literatura especializada. Este proceso permitió identificar los principales marcos internacionales orientados a la evaluación del desarrollo urbano sostenible, así como los criterios para la aplicación de indicadores urbanos. En consecuencia, el presente apartado expone las fuentes de referencia que fundamentan la selección de los indicadores considerados en esta investigación.

La revisión de literatura acerca de indicadores urbanos hizo posible el conocimiento de una amplia variedad de estos, mismos que han sido asignados históricamente por distintos organismos y autores del mundo a distintas áreas de estudio. De acuerdo al documento del Gobierno del Estado de México (2022), utilizar fuentes confiables de información e indicadores ya consolidados garantizan un apropiado monitoreo de las fortalezas y oportunidades que tienen las ciudades, teniendo un impacto positivo en el sistema local, regional, nacional e internacional.

La información de los indicadores urbanos globales que fungieron como base para la selección de los indicadores urbanos a abordar en esta investigación puede encontrarse en el apartado de anexos. Los listados de múltiples indicadores urbanos que ahí se observan, se rigen por distintos factores, por ejemplo, la asociación que

estos tienen con problemas que se presentan en la ciudad y que precisamente se esperan analizar a través de los indicadores que se proponen, además, se atiende a los señalado por Nacif (2016), quien indica la inexistencia de un sistema único de indicadores que puedan ser aplicados de manera universal, ya que los indicadores responden a un marco conceptual previamente determinado y hacen referencia a la interpretación que este realiza de la realidad que se busca analizar.

2.2. Indicadores urbanos del área de estudio

La selección de los indicadores urbanos considerados en esta investigación respondió a un proceso analítico y metodológicamente fundamental, orientado a garantizar su pertinencia, disponibilidad y coherencia con los objetivos de estudio.

En primer lugar, se tomó en cuenta la viabilidad de obtener información confiable y actualizada, de acuerdo a lo señalado por Frausto et al., (2005), quienes destacan la factibilidad de construir indicadores con base en información procedente de encuestas nacionales y censos, esto por su generalidad, periodicidad y solidez metodológica, además de que esta puede enriquecerse con información procedente de otras fuentes; para él, la construcción de un buen indicador se basa en la buena disponibilidad que tengan los datos obtenidos a través de las fuentes, teniendo que poner especial atención en este y otros detalles. En este sentido, se priorizaron aquellos indicadores cuya información pudiera ser tratada mediante tecnologías de análisis geoespacial, descartando los que, por su naturaleza cualitativa o por falta de datos desagregados, no resultaron aptos de ser analizados espacialmente.

Asimismo, la selección se orientó bajo los lineamientos establecidos por los ODS de ONU-Hábitat, particularmente el ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles, con el propósito de asegurar la contribución del estudio a la sostenibilidad urbana. Para esto fue necesario consultar listados y bases de datos de organismos internacionales, así como fuentes bibliográficas especializadas, con el fin de identificar indicadores pertinentes y metodológicamente consistentes.

Finalmente, fueron seleccionados cinco indicadores urbanos que cumplían con criterios primordiales: contar con información disponible y comparable en distintas temporalidades, capacidad de ser analizados espacialmente y estar alineados a los ODS. De esta manera, la selección realizada no solo responde a la viabilidad técnica del análisis, sino también a la necesidad de fortalecer la comprensión de los procesos urbanos de Culiacán desde una perspectiva sostenible y basada en evidencia territorial, permitiendo interpretar de manera integral la organización y funcionamiento de variables de la ciudad. De esta manera, la selección permite analizar dimensiones clave del desarrollo urbano del área de estudio desde una

perspectiva territorial, al posibilitar la identificación de dinámicas espaciales relacionadas con el crecimiento urbano, movilidad y el acceso a la infraestructura urbana, aportando evidencia para la comprensión de los procesos que inciden en la sostenibilidad del área de estudio.

2.3. Limitaciones de la selección de indicadores urbanos

Durante el proceso de selección de los indicadores urbanos se identificaron diversas limitaciones que condicionaron su incorporación al estudio. Entre las principales se encontraron la disponibilidad de información, la escala espacial de los datos y la viabilidad de aplicar técnicas de análisis geoespacial. En consecuencia, algunos indicadores que, desde el punto de vista conceptual, resultaban relevantes para la evaluación del desarrollo urbano sostenible tuvieron que ser descartados debido a las restricciones que presentaban sus fuentes de información.

Un ejemplo de ello corresponde al indicador relacionado con la entrega del plan anual. Si bien este permite conocer los objetivos establecidos para un período determinado, así como evaluar su grado de cumplimiento y desempeño, la información disponible en las dependencias municipales posee un carácter predominantemente cualitativo. Esta condición dificulta su representación espacial y limita la aplicación de metodologías de análisis geoespacial, por lo que se determinó que dicho indicador no era compatible con el enfoque metodológico de la presente investigación.

De manera similar, el indicador referente a la evolución de los salarios de la población habría permitido estimar variables como los ingresos monetarios, la población ocupada y el salario promedio mensual. No obstante, de acuerdo con el Gobierno de México (s.f.), esta información únicamente se encuentra disponible a escala de entidad federativa, es decir, para el estado de Sinaloa, sin contar con datos desagregados a nivel municipal. Esta limitación impide caracterizar con precisión las condiciones socioeconómicas del área de estudio, razón por la cual el indicador también fue excluido del análisis.

Los casos descritos evidencian que la selección de indicadores urbanos no depende únicamente de su relevancia conceptual o de su contribución al estudio del

desarrollo sostenible, sino también de la disponibilidad, calidad, nivel de desagregación y compatibilidad de la información con las metodologías empleadas. En este sentido, reconocer estas limitaciones desde las etapas iniciales de la investigación permitió delimitar el alcance del estudio y garantizar que los indicadores finalmente seleccionados contaran con información confiable, espacialmente referenciales y metodológicamente consistentes para su análisis mediante tecnologías geoespaciales.

2.4. Indicadores urbanos sostenibles

La selección de los indicadores urbanos considerados en la presente investigación se fundamentó en un proceso de revisión y evaluación de aquellos que presentan una relación directa con alguno de los 17 ODS planteados por ONU-Hábitat. Este proceso permitió justificar la pertinencia de los indicadores seleccionados y asegurar que su análisis contribuya a la evaluación de aspectos relevantes para la sostenibilidad urbana del área de estudio.

Dentro del marco de la base de datos de indicadores urbanos publicado por ONU-Hábitat (2021), que a su vez están ligados al cumplimiento de los ODS se incluyen los siguientes indicadores urbanos:

- Calidad del aire.
- Espacios abiertos y áreas verdes.

Los dos indicadores anteriores se consideran claros, viables y pertinentes de analizar con base a la información estadística, ráster y vectorial con la que se cuenta, sin embargo, con la intención de agregar más a este listado, se decidió vincular los indicadores del ODS 11 de la Agenda 2030 en América Latina y el Caribe (s.f.). Para ello, se realizó una revisión de los indicadores propuestos en dicho marco, identificando aquellos cuya naturaleza y características metodológicas permitieran su análisis a partir de enfoques geoespaciales, así como aquellos para los cuales existiera disponibilidad de información para su estudio. Como resultado de este proceso de revisión y selección, se incorporaron al análisis los siguientes indicadores:

11.2.1: Proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público, desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad.

11.3.1: Relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población.

Para finalizar, se agrega el indicador que hace referencia a la proximidad de la población a espacios abiertos, esto considerando que el indicador de espacios abiertos previamente seleccionado proporcionaría la información necesaria para hacer posible su análisis, otorgando con esto, una mejor comprensión acerca de este aspecto del área de estudio. De acuerdo al documento de ONU-Hábitat (2020), este indicador es uno de los pasos a seguir para la determinación de la proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto y se determina la estimación de la proximidad de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros.

Bajo las consideraciones anteriormente mencionadas, el listado de los indicadores urbanos a estudiar en el área de estudio es el siguiente:

- Calidad del aire.
- Proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público, desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad.
- Relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población.
- Proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad.
- Proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros.

Una vez que ha sido explicado lo referente a la selección de los indicadores urbanos para el área de estudio, se presenta el siguiente modelo explicativo de cada uno de ellos.

Tabla 1. Modelo de Indicadores Urbanos propuesto para la ciudad de Culiacán, Sinaloa. Fuente: propia con información recopilada de indicadores urbanos globales

SOCIAL				
INDICADOR	**OBJETIVO**	**FUENTES DE INFORMACIÓN**	**FÓRMULA Y/O METODOLOGÍA**	**CONTRIBUCIÓN A LOS ODS**
Proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público, desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad.	Identificar las necesidades de las personas en situación de vulnerabilidad y aquellas con acceso conveniente al transporte público.	INEGI: Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) urbanos del área de estudio 2020. Mapasin: vialidades del área de estudio del 2023. Información vectorial de las paradas de transporte públicos representados por puntos en archivo *.shp* del área de estudio.	Se seguirá una metodología sugerida por ONU-Hábitat (s.f.), en su metadato: (https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/11/metadata_on_sdg_indicator_11.2.1_2020_1.pdf) 1. Delimitación del área urbana o ciudad de análisis 2. Inventario de las paradas de transporte público 3. Análisis de la red de calles hacia las paradas a una distancia de 500 metros 4. Estimación de la población total dentro de la distancia caminable al transporte público 5. Cálculo del porcentaje de población con acceso conveniente a transporte público, respecto al total de población de la ciudad. % población con acceso conveniente al transporte público: [Población con acceso conveniente al TP/Población de la ciudad] x 100	

MEDIO AMBIENTE				
INDICADOR	**OBJETIVO**	**FUENTES DE INFORMACIÓN**	**FÓRMULA Y/O METODOLOGÍA**	**CONTRIBUCIÓN A LOS ODS**
Calidad del aire.	Conocer el riesgo medioambiental al que la población se enfrenta en el área de estudio.	Información diaria de las siguientes fechas: Octubre-Diciembre:2018 Enero-febrero y agosto-diciembre: 2019 Enero-Junio: 2020 Enero-Junio:2021 De las partículas: Monóxido de Carbono (CO) y Bióxido de Nitrógeno (NO_2), Imágenes de Sentinel-5P	Se empleará la metodología de Belzunce (2022), mediante el análisis de imágenes satelitales de Sentinel-5P y su procesamiento en distintos *softwares* especializados.	

OCUPACIÓN DEL SUELO				
INDICADOR	**OBJETIVO**	**FUENTES DE INFORMACIÓN**	**FÓRMULA Y/O METODOLOGÍA**	**CONTRIBUCIÓN A LOS ODS**
Proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad	Determinar la proporción media de la superficie que se encuentra construida en las ciudades que corresponde a espacio abierto para sus habitantes.	Imágenes satelitales: *Planet Scope* 2020. INEGI: AGEB urbanos, SCINCE e inventario de espacios abiertos. IMPLAN: Inventario de espacios abiertos. Mapasin: Inventario de espacios abiertos. Inventario propio.	Para el cálculo de los espacios abiertos se retomó la metodología del procesamiento de las imágenes satelitales del indicador 11.3.1. El método de cálculo es proporcionado por el metadato del indicador 11.7.1 que se encuentra en la siguiente liga: https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/11/metadata_on_sdg_indicator_11.7.1_02-2020_1.pdf	 

INDICADOR	OBJETIVO	FUENTES DE INFORMACIÓN	FÓRMULA Y/O METODOLOGÍA	CONTRIBUCIÓN A LOS ODS
Proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros.	Conocer el grado de accesibilidad que la población tiene a este servicio básico.	Resultados del análisis del indicador anterior. INEGI: manzanas del área de estudio.	Se utilizarán los resultados del indicador anterior y se continuará con el análisis tomando en cuenta lo señalado en la metodología que se describe en el siguiente enlace: https://unhabitat.org/sites/default/files/2019/02/Indicator-11.7.1-Training-Module_Public-spaces_Jan_2019.pdf	  

INDICADOR	OBJETIVO	FUENTES DE INFORMACIÓN	FÓRMULA Y/O METODOLOGÍA	CONTRIBUCIÓN A LOS ODS
Relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población.	Conocer el cociente entre la tasa de consumo de tierras y la tasa de crecimiento de la población para lograr que la ciudad y los asentamientos humanos sean seguros, sostenibles, resilientes e inclusivos. Este indicador ayuda a realizar acciones para frenar la urbanización descontrolada en el área de estudio.	Imágenes satelitales: Landsat 5 TM C2N1 Sentinel-2A Nivel 2A INEGI: AGEB urbanos e información del Censo de Población y Vivienda.	Se analizarán las imágenes satelitales con la metodología de Vargas et al., (a, 2020) y Phiri et al., (b, 2020) respectivamente. Posteriormente, el método de cálculo estará guiado por lo señalado en el Metadato de ONU-Hábitat (2018).	

Con base a la información de la Tabla 1, se considera que el análisis de estos cinco indicadores urbanos será posible debido a su claridad, disponibilidad de información, pertinencia y viabilidad de analizarse espacialmente, además de que cada uno de ellos puede considerarse confiable, al contar con metodologías y métricas establecidas por ONU-Hábitat.

2.5. Descripción de los indicadores urbanos del modelo propuesto

- Calidad del aire: en términos generales, el ODS 11.6 plantea que, hacia el año 2030 se debe reducir el impacto ambiental negativo de las ciudades, prestando atención a la calidad del aire y a la gestión de los residuos urbanos (UN-Habitat, 2018). En este contexto, el indicador ODS 11.6.1 se enfoca en la consideración de los niveles medios de partículas finas en el aire de las ciudades (por ejemplo, el $PM_{2.5}$ y PM_{10}). (UN-Habitat, 2021)
- Proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público, desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad: determinará el porcentaje de la población que tiene acceso al transporte público con el objetivo de que los resultados contribuyan a la identificación de las zonas y población más vulnerable.
- Proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad: es una clasificación que aborda la base de datos de ONU-Hábitat (2021) y que fue identificado en otros modelos de indicadores urbanos a nivel global, razón por la que se considera fundamental. Los datos de este indicador estarán orientados a la proporción estimada del área urbana de la ciudad de Culiacán, que se encuentre destinada a espacios públicos abiertos.
- Proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros: contribuye a conocer el grado de accesibilidad que la población tiene a este servicio considerado como básico en su vida.
- Relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población: este indicador busca medir y comparar los aumentos simultáneos de consumo de suelo y de la población del área de estudio, para contribuir en la urbanización inclusiva y sostenible.

Es importante destacar que el conjunto de indicadores seleccionados se inscribe dentro del sistema global de monitoreo del ODS 11, impulsado por ONU-Hábitat, conformado por un marco articulado de métricas orientadas a evaluar distintas dimensiones del desarrollo urbano sostenible. En este sentido, los indicadores seleccionados comparten una base conceptual común y responden a la misma agenda internacional, lo que permite su integración dentro de un sistema coherente de seguimiento.

No obstante, desde el punto de vista metodológico, cada indicador posee autonomía en su construcción y análisis. Esto implica que cuentan con definiciones operativas específicas, metodologías de cálculo propias y unidades de medida diferenciadas, diseñadas para analizar aspectos particulares de la dinámica urbana, por ello, sus resultados no son interdependientes ni están concebidos para ser interpretados de manera directa entre sí.

Bajo esta lógica, el análisis independiente de cada indicador garantiza la consistencia técnica y la validez de los resultados obtenidos, al tiempo que permite una comprensión más precisa de cada dimensión evaluada. Finalmente, se reconoce que, de manera complementaria, algunos resultados pueden ser considerados conjuntamente en ejercicios de análisis espacial (como la superposición de capas o la identificación de patrones territoriales) sin que ello implique una integración metodológica de los indicadores, sino más bien una aproximación analítica orientada a enriquecer la interpretación del fenómeno urbano del estudio. Este ejercicio no implica una integración metodológica de los indicadores, sino una superposición analítica orientada a explorar patrones territoriales y posibles áreas de convergencia, manteniendo en todo momento la independencia conceptual y técnica de cada indicador.

Una vez expuestos los criterios que fundamentan la selección y se dan a conocer los indicadores urbanos que orientan a este trabajo, se presenta el siguiente diagrama que integra de manera esquemática los indicadores considerados en el marco del ODS 11, así como su vinculación con el proceso de análisis geoespacial. En él se ilustra la dimensión urbana en la que impacta cada uno de ellos y las etapas metodológicas empleadas, desde la integración de información ráster y vectorial hasta su procesamiento y la obtención de resultados, permitiendo visualizar de forma clara la lógica general del análisis desarrollado.

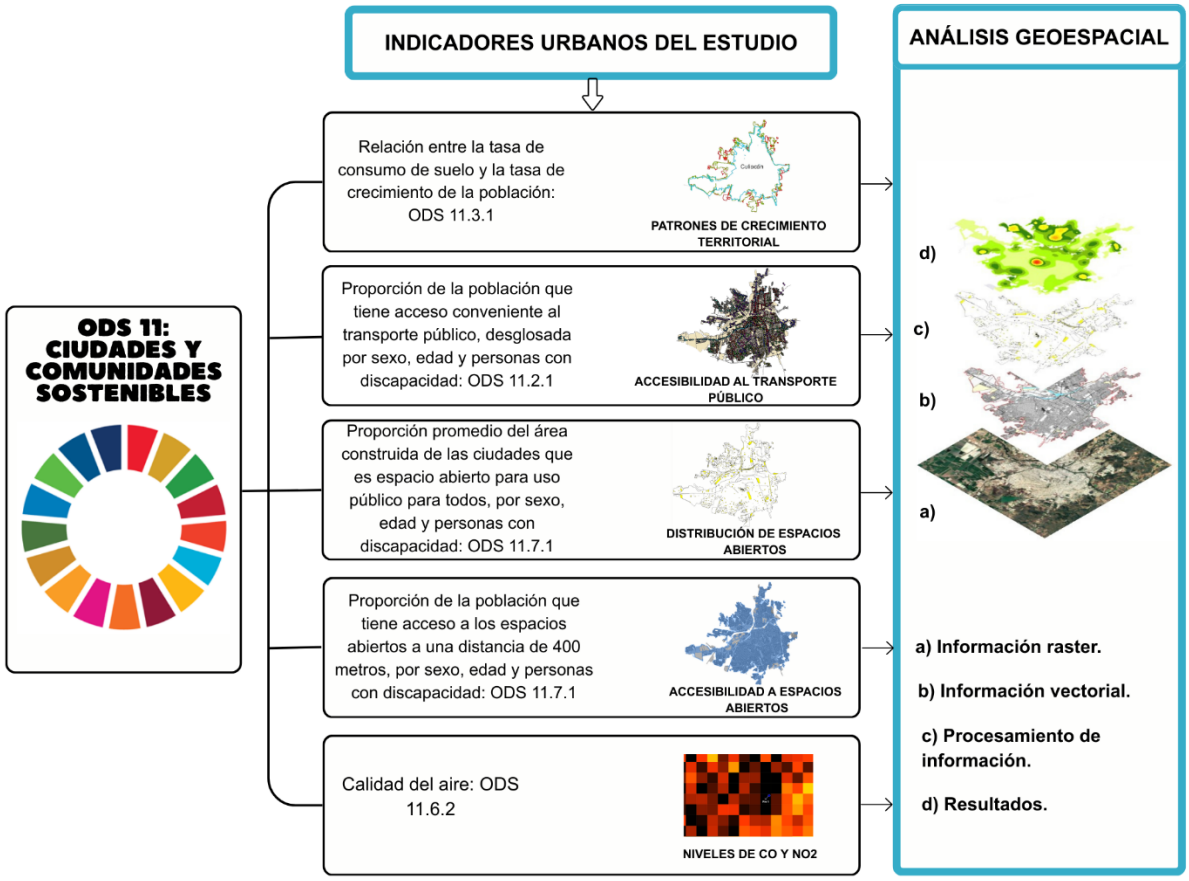


Fig. 2 Diagrama conceptual de los indicadores urbanos del estudio. Fuente: propia

Si bien las metodologías e indicadores propuestos por ONU-Hábitat constituyen una base sólida y estandarizada para el análisis urbano, su aplicación en contextos locales requiere una interpretación crítica y contextualizada. En particular, es necesario reconocer que estos marcos globales no siempre capturan las dinámicas socioespaciales, institucionales y de gestión propias del territorio de estudio. En el caso de Culiacán, una limitante relevante radica en la actualización de la información disponible por parte de organismos gubernamentales, asimismo, existen diferencias importantes en la estructura urbana y en la oferta de servicios (como un sistema de transporte público predominante basado en autobuses, en contraste con ciudades que integran redes multimodales), así como vacíos en información clave, por ejemplo, en el inventario de espacios abiertos o en el monitoreo de la calidad del aire. Estas condiciones limitan la comparabilidad directa con otros contextos y obligan a que la adopción de los indicadores no sea automática, sino que implique un proceso de interpretación orientado a reflejar las particularidades locales. En este sentido, los indicadores se entienden como referentes analíticos que requieren ser contextualizados para fortalecer su pertinencia y validez en el análisis realizado.

Con la finalidad de sintetizar la operatividad de las variables analizadas, la siguiente tabla correlaciona los indicadores del estudio con algunos ejes transversales de la sostenibilidad urbana. En ella se evidencia cómo cada indicador trasciende la medición estadística para convertirse en un factor de impacto directo sobre la morfología, la equidad y la calidad ambiental de la ciudad.

Tabla 2. Síntesis de los indicadores del estudio con respecto a su impacto urbano. Fuente: propia

INDICADOR ODS	DIMENSIÓN DE SOSTENIBILIDAD	ESCALA ESPACIAL	TIPO DE IMPACTO URBANO
11.3.1 (Consumo de suelo vs. Población)	Territorial	Ciudad/Píxel	Eficiencia en la expansión territorial y patrones de crecimiento
11.2.1 (Acceso a transporte público)	Social / Económica	Ciudad/AGEB urbanas	Movilidad inclusiva, equidad territorial, inclusión social.
11.7.1 (Proporción de espacio abierto público)	Ambiental / Social	Ciudad/Manzanas	Servicios ecosistémicos y cohesión social, salud pública.
11.7.1 (Acceso a 400m del espacio público)	Social / Calidad de Vida	Ciudad/Manzanas	Proximidad y accesibilidad.
11.6.2 (Calidad del aire)	Ambiental / Salud	Píxel	Externalidades y riesgos ambientales.

En la Tabla 2 se observa una síntesis estructurada de los indicadores empleados en este estudio, organizados a partir de tres criterios analíticos: la dimensión de sostenibilidad, la escala espacial y el tipo de impacto urbano asociado. Esta organización permite comprender de manera integral cómo cada indicador contribuye al análisis de distintas problemáticas urbanas.

En primer lugar, el indicador 11.3.1 se inscribe en la dimensión territorial y se analiza a escala de ciudad y píxel. Su principal aporte radica en evaluar la eficiencia de la expansión urbana, permitiendo identificar patrones de crecimiento como la eficiencia de expansión.

Por otro lado, el indicador 11.2.1 se vincula con las dimensiones social y económica, y se examina a escala de ciudad y AGEB urbanas. Este indicador permite analizar aspectos clave como la movilidad inclusiva, la equidad territorial y el grado de inclusión social en el acceso a servicios de transporte.

En cuanto al indicador 11.7.1, este se relaciona con las dimensiones ambiental, social y económica, y se estudió a escala de ciudad y manzanas. Su análisis se enfoca en los beneficios asociados a la accesibilidad y proximidad a espacios públicos, tales como los servicios ecosistémicos, la cohesión social, aspectos fundamentales para el bienestar urbano.

Finalmente, el indicador 11.6.2 se ubica dentro de la dimensión ambiental y de salud y se analiza a escala de píxel, con el objetivo de identificar externalidades y riesgos ambientales que inciden directamente en la calidad de vida de la población.

En conjunto, la tabla evidencia la diversidad de enfoques desde los cuales pueden abordarse los indicadores que dirigen a este estudio, destacando su utilidad como marco analítico multidimensional para el estudio de la dinámica urbana.

CAPÍTULO III: ÁREA DE ESTUDIO

3.1. Reconocimiento del área de estudio

Culiacán, ciudad capital del Estado de Sinaloa, es el punto central del análisis de este trabajo de investigación, motivo por el que a continuación, se dan a conocer algunas de sus principales características.

En términos de su localización geográfica, la ciudad de Culiacán coincide en sus límites con distintas sindicaturas. Al norte con Jesús María y Tepuche; al sur con Costa Rica y Las Tapias; al este con las sindicaturas de Sanalona e Imala; y al oeste con la sindicatura de Aguaruto y el municipio de Navolato. Asimismo, hacia el noreste colinda con la sindicatura de Villa Adolfo López Mateos (El Tamarindo). Culiacán es la ciudad con mayor concentración de población del estado de Sinaloa y uno de sus principales centros de actividad económica. De acuerdo con la información oficial, concentra aproximadamente el 23% de la población estatal y genera alrededor del 34.3% del Producto Interno Bruto (PIB), del estado, lo que refleja su importancia demográfica y económica dentro de la entidad. (Comisión Nacional del Agua, 2014)

Las características geográficas, demográficas y territoriales descritas permiten contextualizar la importancia de Culiacán como área de estudio y proporcionan un marco de referencia para comprender las dinámicas urbanas que serán analizadas en los apartados siguientes. En este contexto, resulta pertinente abordar las principales características económicas de la ciudad, debido a su estrecha relación con los procesos de desarrollo urbano y la configuración del territorio.

3.2. Características económicas del área de estudio

Hablar acerca de las características económicas de un lugar requiere de una detallada consulta de información ya que las fuentes pueden provenir tanto de instituciones públicas, funcionarios, expertos sobre el tema, etc. En este apartado se presenta una recopilación de este aspecto de Sinaloa y más puntualmente de Culiacán.

Entre las actividades económicas más importantes de Sinaloa destaca el comercio, agricultura, construcción y servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes inmuebles e intangibles (Cajal, 2017). Con respecto a Culiacán, su Ayuntamiento (s.f.), lo reconoce como el municipio líder en la industria alimentaria, produciendo alrededor de 5 millones

de toneladas de maíz, al mismo tiempo que lidera la producción de tomate, pepino, chile, calabaza, berenjena y frutas. Por su parte, el Gobierno de México (s.f.), lleva el registro de distintas características del área de estudio, por ejemplo, en cuanto a su economía, señala que las ventas internacionales de Culiacán en 2022 alcanzaron un 5.29% más que en 2021, distribuidas en productos de carne animal de la especie bovina fresca o refrigerada, tomates frescos o refrigerados y otras verduras, frescas o refrigeradas, mientras que las compras internacionales tuvieron un crecimiento del 5.51% con respecto al 2021, destacando la compra de carne de animales de la especie porcina, fresca, refrigerada o congelada, semillas, frutos y esporas, para siembra y coches de pedales y juguetes con ruedas similares; modelos a escala y modelos similares, para entretenimiento y rompecabezas de todo tipo.

Históricamente la economía de Culiacán ha sobresalido, por ejemplo, en 2017 fue reconocida por Jesús Valdés, presidente municipal de ese momento, como la ciudad con la economía más estable de México, realzando la importancia del traslado diario de millones de productos que se realizan y exponiendo además que sus principales actividades económicas son la agricultura, ganadería, pesca y minería, sin dejar de lado la industria de la construcción, química y alimentaria. (El Debate, 2017)

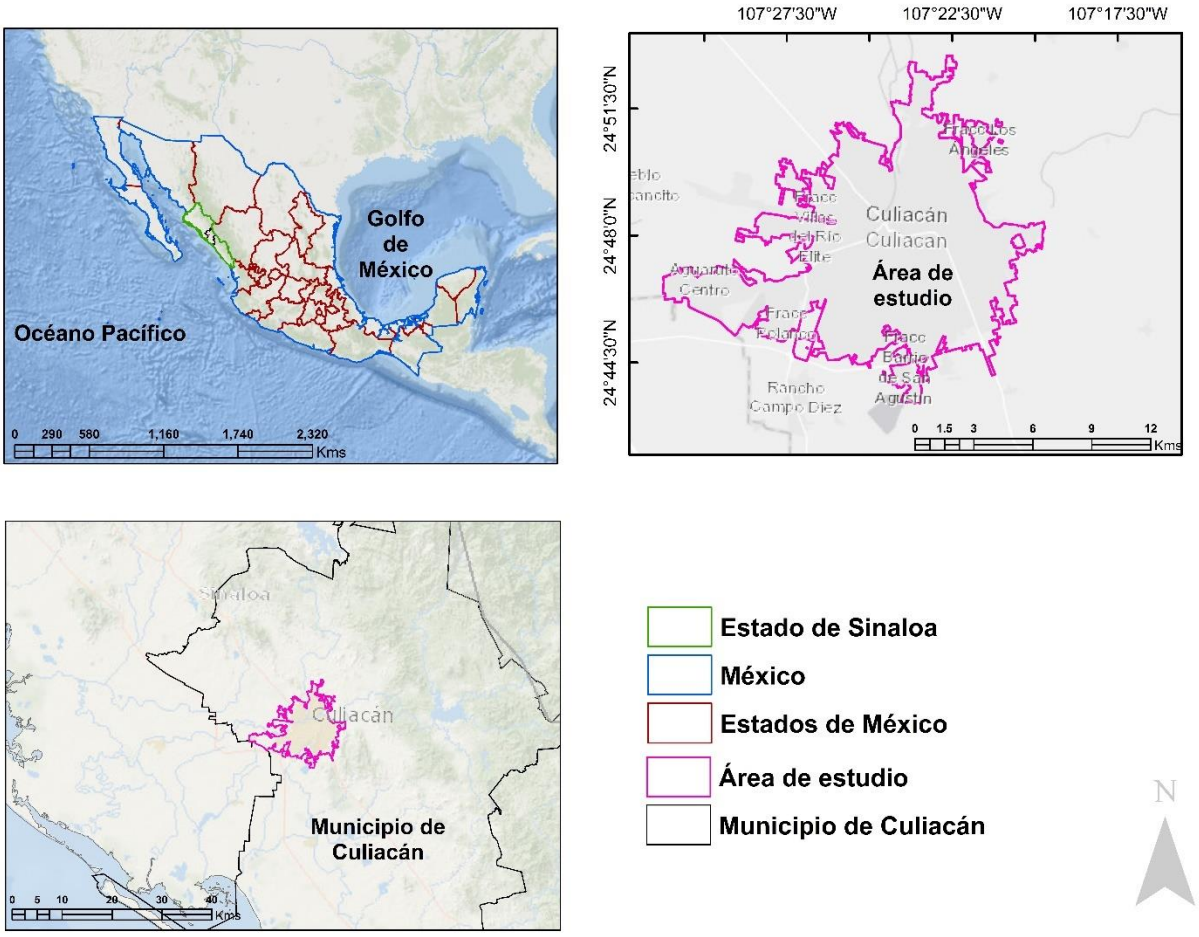


Fig. 3 Área de estudio. Fuente: propia con información de INEGI, (2020)

3.3. Evolución de la urbanización de la ciudad de Culiacán, Sinaloa

Conocer el pasado de una ciudad, ayuda a comprender su presente. Su distribución y diseño son reflejos de los indicios que ahí ocurrieron y nos proporcionan información tangible acerca de la historia y su evolución a lo largo de los años.

En una escala global, las ciudades manifiestan un apresurado proceso de urbanización que posteriormente denotan falta de empleos, servicios y equipamientos urbanos, provocando que la población emigre a las grandes ciudades y Sinaloa no es una entidad ajena a este fenómeno. (IMPLAN, 2021)

En cuanto a los antecedentes históricos del área de estudio, Culiacán fue reconocida con la categoría de ciudad el 21 de julio de 1823. Previamente, mantuvo una categoría de

villa hasta la consumación de la Independencia de México, momento a partir del cual inició una nueva etapa en su desarrollo político y administrativo (Ayuntamiento de Culiacán, s.f.). De acuerdo al H. Ayuntamiento de Culiacán (2005), los inicios de edificaciones se manifestaron en el margen derecho del río Tamazula, continuando posteriormente a una orientación este-oeste, con tendencia a concentrar población en el centro de la ciudad.

En lo que respecta a su modernización arquitectónica, el Instituto Sinaloense de Cultura (2022), señala su inicio en 1938, gracias a la construcción del malecón viejo situado en la ribera sur del río Tamazula, sumada a la lotificación y urbanización de cinco manzanas desde el Casino Culiacán hasta la calle Vicente Riva Palacio.

De manera general el IMPLAN (2021), determinó que, desde finales del siglo XX, la ciudad de Culiacán experimentó un crecimiento acelerado y disperso, con registros de ocupación espacial para 1980 de 1 833 hectáreas. En los siguientes 10 años se tuvo un acelerado proceso de expansión del territorio, alcanzado las 7 318 hectáreas (1990), de manera que en este período la ciudad agregó 5 485 hectáreas. Por su parte, el crecimiento demográfico que se tuvo para el mismo período, la Tasa de Crecimiento Medio Anual (TCMA) fue de 2.90%, lo que significa que la población de Culiacán pasó de 304 826 habitantes (1980) a 540 823 para el año 2000, significando un incremento en veinte años de 235 997 nuevos habitantes.

Sin duda alguna, los cambios en la estructura de la ciudad de Culiacán se han podido apreciar con el tiempo, por ejemplo, retomando los aspectos históricos que se mencionaron en el planteamiento del problema, se tiene la explosión demográfica que se manifestó de 1970 al 2020, además del notable incremento en su número de colonias, de un total de 26 en los años 60 hasta más de 500 registradas para el 2015 y que han producido una reurbanización (Ibarra, 2018), por su parte, Achoy (2008), refuerza esta información, al enfatizar en que esta ciudad ha tenido un acelerado crecimiento demográfico desde la década de los ochenta y los noventa, provocando una fuerte demanda de infraestructura urbana y confirmando lo dicho anteriormente.

Tabla 3. Población histórica de Culiacán, Sinaloa. Fuente: INEGI (2020), https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/#tabMCcollapse-Indicadores

PERÍODO	NÚMERO DE PERSONAS
1995	696 262
2000	745 537
2005	793 730
2010	858 638
2020	1 003 530

Para una mejor caracterización del fenómeno demográfico ocurrido con el paso de los años en el área de estudio, se presenta la siguiente imagen:

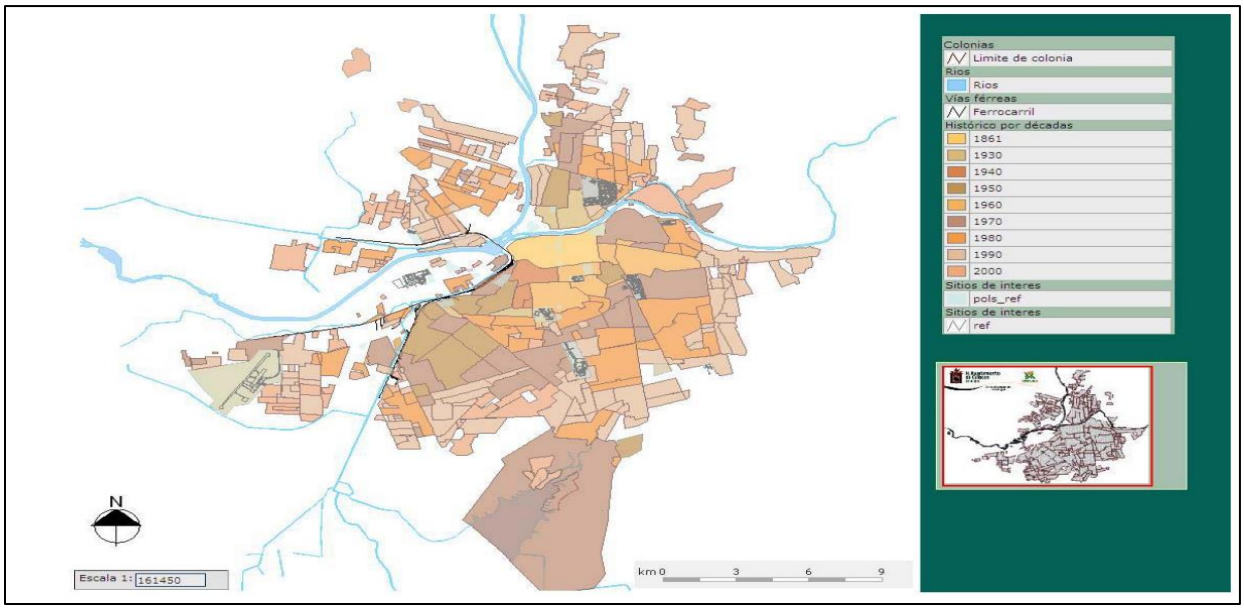


Fig. 4 Crecimiento histórico poblacional de la ciudad de Culiacán. Fuente: Instituto Municipal de Planeación Urbana de Culiacán (IMPLAN). (Achoy, 2008)

El IMPLAN (s.f.), señala que la mayoría de la urbanización de Culiacán ha sido desarrollada en los suelos conglomerados, ya que estos presentan riesgo únicamente cuando hay actividad sísmica, por lo que son factibles para el desarrollo urbano. Ahora bien, en cuanto a los cambios de uso de suelo, el IMPLAN (2021), señala que son modificaciones producidas a partir de distintos aspectos, como es el incremento exponencial de la población. Los cambios de uso de suelo algunas veces producen efectos negativos como son la pérdida de biodiversidad, el cambio climático, entre otros más, por lo que su estudio resulta de vital importancia. En el mismo documento se presentan los resultados del estudio de las distintas coberturas de usos de suelo de Culiacán, realizado a partir del análisis de las series de usos de suelo de INEGI IV, V y VI de los años 2007 y 2017, obteniendo las categorías de zona urbana, agropecuario, pastizales, selvas y cuerpos de agua. Con un total de 77 542.93 hectáreas de superficie analizadas se determinó que para 2017 el 20% del suelo se encontraba ocupado por la mancha urbana, superando el 11% registrado en 2007, este resultado ha provocado la disminución en porcentajes del suelo destinado para la vegetación y agricultura, ocasionando su desplazamiento de la zona urbana.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA GENERAL

4.1. Propuesta metodológica

En este apartado se muestra la propuesta metodológica general mediante la cual se buscan cumplir los objetivos planteados.

A través del análisis de buenas prácticas respecto al tema, como las que fueron expuestas en los antecedentes de este documento, fue posible destacar la relevancia de las tecnologías de análisis geoespacial (especialmente de los SIG), incorporación de imágenes satelitales durante los procesos y la presencia de la geomática en los estudios territoriales, mostrando efectividad y optimización del trabajo, por lo cual son tomados en cuenta en esta investigación como componentes fundamentales de la metodología.

Se propone una metodología con enfoque cuantitativo, estructurada mediante un conjunto de procedimientos sistemáticos orientados al desarrollo de una investigación de carácter descriptivo. Este enfoque permite caracterizar el área de estudio a partir del análisis de los indicadores urbanos seleccionados, proporcionando una base objetiva para comprender sus principales características y dinámicas desde una perspectiva territorial.

A continuación, se presenta un esquema general que integra las metodologías empleadas en este trabajo, con el propósito de ofrecer una visión sintética de su articulación y secuencia.

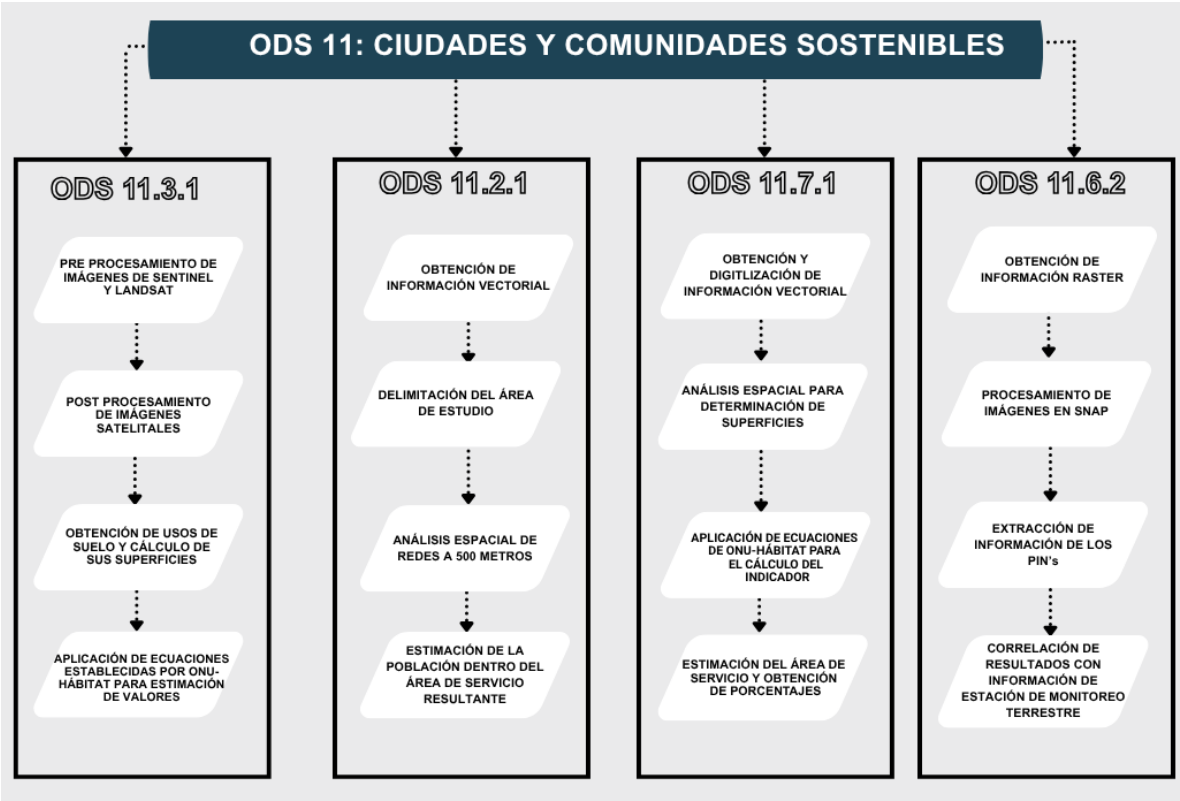


Fig. 5 Metodología general. Fuente: propia

- La adquisición de información se considera la etapa más temprana de esta investigación, dado a que incluye la recopilación de información bibliográfica que permite seleccionar los lineamientos teóricos y metodológicos que serán referencia para este trabajo. Se busca contar con información procedente de organismos mundiales y gubernamentales para una mayor confianza de esta, además de seleccionar la misión satelital que, con sus especificaciones, brinden la mejor precisión para trabajar en el análisis geoespacial.
- Posteriormente, será posible el análisis de la información recolectada, seleccionando la adecuada a los parámetros necesarios para el estudio.
- La selección de indicadores fue el resultado del proceso anterior, los cuales hicieron posible la caracterización del área de estudio.
- La configuración de metodologías fue una etapa indispensable dado a las particularidades de cada indicador urbano.

- El procesamiento de datos se realizó mediante SIG, buscando la homogeneización de proyecciones cartográficas y sistemas de coordenadas que faciliten la interpretación de las relaciones espaciales de la información, además de trabajar con bases de datos y técnicas geoestadísticas.
- Para finalizar, se analizaron los resultados, ofreciendo una interpretación, caracterización y representación de distintos aspectos del área de estudio.

La metodología descrita en este apartado presenta una visión general del procedimiento seguido durante el desarrollo de la investigación, estableciendo las principales etapas que estructuran el proceso metodológico. No obstante, debido a que cada indicador urbano posee objetivos, fuentes de información, criterios de selección y procedimientos de análisis particulares, en los capítulos siguientes se describe de manera individual la metodología específica empleada para su estudio. Esta organización permite detallar las técnicas, herramientas y materiales utilizados en cada caso, garantizando la consistencia metodológica de la investigación.

CAPÍTULO V: INDICADOR RELACIÓN ENTRE LA TASA DE CONSUMO DE SUELO Y LA TASA DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN

5.1. Descripción del indicador relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población

El análisis del ODS 11.3.1 busca dar a conocer la relación que se ha manifestado en 2000, 2010 y 2020 entre el crecimiento de la mancha urbana del área de estudio y la tasa de crecimiento de la población registrada en las mismas fechas, requiriendo entonces definir puntualmente estos dos componentes para hacerlo posible.

El monitoreo a lo largo del tiempo de los asentamientos humanos, mediante la utilización de imágenes satelitales, se ha convertido en una constante necesidad para el estudio de los sistemas urbanos y cómo estas se relacionan con los sistemas naturales (Silván et al., 2021), por lo que conocer acerca de la evolución de las ciudades se considera importante para proporcionar una mejor comprensión acerca del fenómeno que se genera.

Desde la antigua Grecia, hasta nuestros días, la ciudad ha sido considerada como una organización social de las relaciones entre grupos, constituida por la espacialidad, expresando la correlación de fuerzas sociales y políticas (Sánchez, 2002). Por su parte, Soto-Cortés (2015), menciona que las personas fueron estableciéndose en sitios que mostraban ciertas ventajas para ellos, como la presencia de la actividad agrícola y aspectos de seguridad, dicho proceso impulsó la formación de familias, mismas que se unieron para constituir comunidades que posteriormente se convirtieron en pequeños y dispersos pueblos. El crecimiento de estos últimos dio lugar a la configuración de ciudades contiguas que después llegaban a convertirse en grandes metrópolis, modificando el paisaje y ocupando territorios.

Indudablemente, las ciudades son fenómenos urbanos que funcionan como apoyo en el proceso de transformación de las sociedades en el mundo, cuyo campo de estudio no es posible de explicar mediante solamente una teoría general, requiriendo una perspectiva interdisciplinaria para su análisis (Casado, 2010).

Tal y como lo señala García (2013), en las últimas décadas del siglo XX y las primeras dos del siglo XXI, las ciudades latinoamericanas han manifestado cambios como

consecuencia de distintos procesos como la globalización y la emergencia de paradigmas de la sostenibilidad, por lo que Dávila et al*.,* (2017), indican que la forma en que la ciudad se manifiesta actualmente reclama ser vista desde un enfoque integral y holístico que permita entender la conducta de cada una de las partes que la integran. Por su parte, Anzano (2012), menciona que la urbanización ha sido progresiva desde la aparición de las primeras ciudades en Mesopotamia, creciendo después en la Edad Media y siendo en el siglo XIX y durante la Revolución Industrial, los momentos más importantes para la verdadera explosión urbana en el mundo que ha sido posible apreciar en los últimos cuarenta y cincuenta años.

La expansión urbana, debido a su dinamismo y complejidad, puede deberse a distintas causas, como son los procesos demográficos progresivos que producen cambios en el uso y cobertura del suelo (Wiatkowska et al., 2021). Para ONU-Hábitat (2018), la relación que existe entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento demográfico se trata de un buen indicador para medir la eficiencia del uso del suelo de un lugar, siendo deseable una tasa de consumo de suelo menor a la tasa de crecimiento demográfico para lograr un uso óptimo del suelo urbano, mencionando además que para el monitoreo efectivo del crecimiento del consumo de la tierra no se requiere únicamente la información sobre la cobertura del suelo que hay en un lugar determinado, también se necesita contar con la capacidad de monitorear los cambios que ahí suceden, como es lo referente al aumento de la población, debido a que las ciudades necesitan presentar una expansión urbana que sea ordenada y que proporcione eficiencia del suelo.

Conocer el comportamiento del crecimiento de las ciudades con respecto a su población permite entender este fenómeno para contribuir en la implementación de acciones que frenen la urbanización descontrolada y entonces generar una que sea inclusiva, sostenible, segura y resiliente (ODS, 2023). Durante el proceso de crecimiento y expansión urbana, las ciudades se adhieren y llegan a absorber tierras que tienen una finalidad distinta a la urbana, siendo necesario controlar y orientar la ocupación del suelo (Dávila et al., 2017), además del reconocimiento de que este fenómeno produce una problemática del proceso de urbanización en el cual la ciudad tiende a crecer y con ella las distintas formas en que se comportan las colectividades, presentando en algunas

ocasiones problemas de marginalidad, desigualdad y desequilibrios (Moreno, 2010), por lo que la planeación del desarrollo deberá de ir más allá del planteamiento de objetivos para regular ciertos aspectos del mercado, requiriendo la determinación de metas a corto, mediano y largo plazo. (Achoy, 2008)

Como se mencionó en el planteamiento del problema, el espacio intraurbano se encuentra en constante evolución (Álvarez de la Torre, 2007), manifestando un proceso de conversión de las tierras cuyo uso es natural o agrícola a usos residenciales que tiende a acelerarse en áreas urbanas mediante una expansión horizontal, mayormente en la periferia de las ciudades, siguiendo patrones orientados a intereses privados o económicos, provocando que el suelo sea percibido como mercancía ofertada al mejor costo con base a las leyes de mercado (Soto-Cortés, 2015).

La relación que existe entre el crecimiento de la cobertura urbana en un lugar y la dinámica poblacional resulta de gran interés para las personas encargadas de diseñar políticas demográficas (Silván et al., 2021), por lo que la planeación del espacio físico no debe de postergarse, debido a la evidente necesidad que hay, además deberá apoyarse en instrumentos tales como el ordenamiento del territorio y un enfoque de sustentabilidad, siendo esta última una posibilidad para satisfacer las necesidades de la población que minimiza los costos ambientales del futuro (Dávila et al., 2021), además, se reconoce que este indicador se encuentra conectado con otros indicadores de los ODS, lo que produce una mejor integración entre ellos, como en objetivos de cambio climático, salud, educación y pobreza. (ONU-Hábitat, 2018)

Esta sección se centra en el enfoque metodológico del análisis de la relación del crecimiento de la mancha urbana de una ciudad respecto al crecimiento de su población, presentando las técnicas, métodos e instrumentos empleados, contribuyendo con esto al cumplimiento de objetivos que han sido planteados.

Wang et al., (2020), indican que la investigación acerca de este indicador todavía se encuentra en una etapa temprana y que existe una escasa cantidad de literatura relacionada al tema y pocos informes de países y organizaciones, lo que ha dificultado la determinación de una metodología general a seguir.

No obstante, durante la consulta de bibliografía respecto al tema se encontraron distintas

metodologías basadas en diversos sustentos teóricos, además de considerar las necesidades y particularidades de cada estudio, dejando con esto claro lo mencionado por Chuvieco (1995), quien resalta que las aplicaciones de la teledetección espacial resultan ser cuantiosas, por lo que establecer un marco general es una tarea compleja, sin embargo, este indicador se considera conceptualmente claro y cuenta con una metodología internacional determinada y normas disponibles (Gobierno de Colombia, 2021), por parte de ONU-Hábitat, haciendo que los resultados tengan un mayor grado de confiabilidad.

5.2. Metodología para el análisis del indicador relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población

La metodología se encuentra guiada por un enfoque cuantitativo basada en una sucesión de diversos pasos y técnicas que se muestran a continuación:

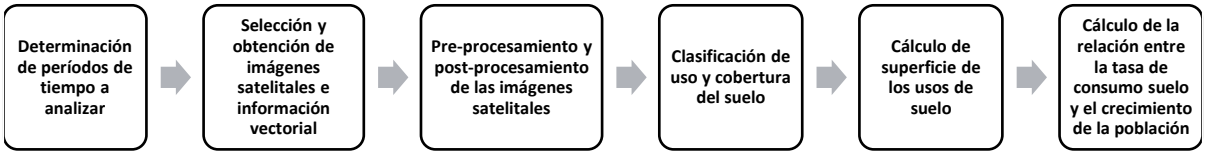


Fig. 6 Esquema metodológico general para el análisis de la relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población. Fuente: propia

- Determinación de períodos de tiempo a analizar: El factor temporal del hace referencia al período o fechas en las que se centrará su estudio. Su determinación, en este caso, se realizó considerando distintos aspectos como el mencionado por Mondragón (2002), quien señala necesario que se cuente con información disponible para varios años que permita llevar a cabo la construcción de un indicador. Esto conduce a una investigación longitudinal que permite no únicamente la obtención de resultados, sino también la posibilidad de comparación entre estos para analizar los cambios que el área de estudio ha tenido en distintos momentos del tiempo. Con base a esto y el análisis de la

factibilidad de su estudio basada en la disponibilidad de información, se determinó que los años a analizar serían: 2000, 2010 y 2020, específicamente, se consideraron imágenes del mes de octubre-diciembre del 2000, 2010 y 2020, con la finalidad de homologar la temporalidad entre ellas y facilitar la comparación en sus resultados, además de abarcar la posibilidad de reducción de la presencia de efectos atmosféricos ocasionados por las lluvias, puesto que, de acuerdo al INEGI (s.f.), Sinaloa presenta su período de lluvias durante los meses de julio a septiembre.

- Selección y obtención de imágenes satelitales e información vectorial: una vez que se ha determinado que el indicador será abordado a partir de sensores espaciales, Chuvieco (1995) señala la necesidad de definir una serie de aspectos que se deben de tomar en cuenta respecto al tipo de información con la que se trabajará, como es la fecha de adquisición (resolución temporal) y el número de bandas. En cuanto a resolución temporal, el autor menciona que esta habrá de tener una estrecha relación al estudio que se va a realizar, por ejemplo, si se tratase de un inventario de regadíos, será mejor analizar imágenes de meses que tengan un contraste más claro, como julio y agosto. Por otro lado, la fecha de adquisición también ayuda a delimitar con cuáles imágenes puedes y con cuáles no puedes trabajar, ya que sería imposible realizar un análisis del año 2010 con imágenes producto de misiones satelitales que se pusieron en órbita en años posteriores.

  La selección de datos de teledetección para aplicaciones de detección de cambios requiere, en su modo óptimo, que tengan las mismas características de sensor y fechas de adquisición (Lu et al., 2004), no obstante, generalmente los datos provienen de distintos sensores, complicando la obtención de datos secuenciales de un solo sensor para las fechas determinadas. (Deng et al., 2019)

  Para este estudio, se ha decidido el uso de imágenes libres, evitando con esto problemas de accesibilidad y garantizando la realización del análisis, siendo imágenes de las misiones Landsat 5 TM colección 2 nivel 1 (se destaca su resolución espacial de 30 metros que ya no están disponibles las imágenes de la colección 1 desde el 30 de diciembre de 2022 y considerando que las del

nivel 1 cuentan con mayor calidad que las del nivel 2, con una tolerancia <12 metros de error medio cuadrático, esto de acuerdo al Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés, 2018) y Sentinel-2A Nivel 2A (con resolución espacial de 10 metros lanzadas en 2015 y que cuentan con correcciones geométricas, radiométricas y atmosféricas) las que se utilizarán, además del caso específico de Sentinel-5P L2 (Tropomi nivel 2) para el análisis de la calidad del aire, resaltando que el uso de los productos del nivel 1 no eran posibles de utilizar ya que sus bandas no están procesadas (Sentinel-Hub, s.f.). Su obtención es posible mediante el sitio de https://earthexplorer.usgs.gov/ y https://dataspace.copernicus.eu/ respectivamente.

Es importante seleccionar imágenes que tengan poca nubosidad sobre la mancha urbana para una mejor visualización de esta.

En lo que respecta a la información complementaria, se trabajará con información vectorial del área de estudio de los años previamente establecidos e información demográfica del mismo período de tiempo en formato espacial obtenida del INEGI.

- Pre-procesamiento y post-procesamiento de las imágenes satelitales: La dificultad que existe de obtener imágenes que provengan del mismo sensor y que por consiguiente tengan las mismas características, denota la necesidad de configurar una metodología híbrida que haga posible el análisis del fenómeno deseado.

  Young et al., (2017), mencionan que los datos que son obtenidos mediante el USGS requieren ser pre-procesados antes de llevar a cabo cualquier análisis urbano o de recursos naturales. Señalan además que las imágenes Landsat y Sentinel-2 presentan distorsión debido a efectos solares, atmosféricos y topográficos, por lo que el pre-procesamiento resulta esencial en su tratamiento, pues reducen estos efectos en las imágenes y ayudan a tener condiciones atmosféricas similares cuando se trata de imágenes provenientes de distintos sensores.

  Durante la exploración de la literatura, es posible encontrar distintas recomendaciones que incluso llegan a ser contradictorias acerca de los pasos a seguir en la etapa del pre-procesamiento de las imágenes satelitales (Arreola,

2019), por lo habrá de tener un importante cuidado en la determinación de estos. Adoptando el procedimiento de Vargas et al., (2020), fue posible determinar los pasos para el pre-procesamiento de las imágenes de Landsat 5TM C2L1, mientras que para Sentinel-2A Nivel 2A se adoptó lo señalado por Phiri et al., (2020), quienes trabajan con las imágenes de este satélite, pero del Nivel 1C, las cuales únicamente difieren por no estar corregidas atmosféricamente a diferencia de la Nivel 2A, omitiendo entonces el paso de esta corrección en durante el desarrollo de la metodología.

Siendo descargadas las imágenes, se realizaron los pasos para su procesamiento. Se llevó a cabo la corrección atmosférica en el *software* QGIS 3.28.1 y posteriormente, la combinación de sus bandas en *software* ArcMap 10.5 (utilizando las bandas 1 a la 3 para las imágenes del 2000 y 2010) y continuando con el recorte de la imagen con respecto al área de estudio haciendo uso de la herramienta *Extract by Mask.*

Una vez que se lleven a cabo los pasos del pre-procesamiento de las imágenes de cada sensor respectivamente, se continúa con el post procesamiento.

- Clasificación de uso y cobertura del suelo: Siguiendo algunos de los principios metodológicos de Vargas et al., (2020), es posible determinar que ya realizado el pre-procesamiento y el post-procesamiento en las imágenes de Landsat 5TM C2L1, se continuará con la fase de obtención de coberturas vectoriales, misma que será posible a partir de la ejecución de los siguientes pasos.

  Se realizó el recorte de la imagen con las bandas previamente ordenadas en color natural y después se hizo el muestreo aleatorio estratificado de uso de suelo urbano, vegetación y cuerpos de agua, con lo cual fue posible obtener las zonas de entrenamiento y crear firmas espectrales, ello responde a la configuración de una nueva capa de puntos, siguiendo el criterio de un número mayor de 50 muestras por clase (Sánchez, 2016), con un total de 55 puntos para cada clase y asignándole un valor a cada clasificación que oscilaban entre el 1, 2 y 3, siendo el 1 el valor para el suelo urbano, el 2 para la vegetación y el 3 para el cuerpo de agua.

Una vez definidas las zonas de entrenamiento, se procedió a la generación de las firmas espectrales mediante la herramienta de creación de firmas (*create signatures*), en donde se configuró incluyendo la capa en dónde necesitamos que se crearan estas firmas a partir de la capa de puntos de zonas de entramiento recientemente obtenidas. Una vez conseguidas las firmas espectrales del paso anterior, se realizó la clasificación, en este caso supervisada por el método de máxima verosimilitud, que posteriormente permitió contar con un archivo ráster de los usos del suelo del área de estudio, mismo que después fue convertido en formato vectorial para el cálculo de las superficies.

En lo que respecta a las imágenes de Sentinel, Romero y Hernández (2022), indican que después de las etapas descritas en el pre-procesamiento se continúa con la clasificación y validación. La primera es posible mediante la combinación de índices espectrales, ya que permite el mejoramiento del mapeo y el análisis de la clasificación (Rouibah y Belabbas, 2020), se determinan las zonas de entrenamiento y posteriormente se hizo una clasificación supervisada por el método de máxima verosimilitud considerando los mismos tres usos de suelo de las imágenes de Landsat.

Para finalizar, se evaluó la precisión de las clasificaciones mediante la estimación del índice Kappa en ArcGIS, el cual contribuye a evaluar la concordancia que existe entre instrumentos de medida cuyo resultado se trata de 2 o más categorías (Abraira, 2000), además de ser fundamental para contribuir en el control de calidad en procesos de clasificación temática realizada mediante técnicas de fotointerpretación (Sánchez, 2016).

Se continuó con la configuración de la tabla de atributos del archivo obtenido del proceso anterior añadiendo una nueva columna para el cálculo de superficie de cada clasificación.

- Cálculo de superficie (km^2) de los usos de suelo: Una vez que se ha realizado el proceso anteriormente descrito para las imágenes de Landsat y Sentinel, se continuó con la determinación de la superficie de las distintas coberturas de suelo en cada imagen analizada. Este proceso se hizo en el *software* ArcGIS 10.5.

- Cálculo de la relación entre la tasa de consumo de suelo y el crecimiento de la población: Como se ha mencionado, este indicador posee una metodología determinada por ONU-Hábitat para su análisis, misma que es posible de aplicar en esta fase, habiendo ya analizado la cobertura del suelo del área de estudio para los distintos años seleccionados.

  ONU-Hábitat (2018), determina que este indicador es conceptualmente claro y ofrece un metadato que permite realizar el cálculo de este. Las ecuaciones se muestran a continuación:

  Paso 1. Estimación de la tasa de crecimiento de la población.

$$TCP = \frac{(LN(Pop_{(t+n)}/Pop_t)}{(y)} \qquad \text{Ec. (1)}$$

  En donde:

  TCP= Tasa de crecimiento de la población.

  Pop_t= Población total dentro de la extensión urbana en el año pasado/inicial.

  $Pop_{(t+n)}$ = Población total dentro de la extensión urbana en el año actual/último.

  y= número de años entre los dos períodos de medición.

  Paso 2. Estimación de la tasa de consumo de tierra.

  En este paso se busca determinar la progresividad de la expansión espacial de una ciudad y su ecuación es la siguiente:

$$TCT = \frac{(LN(Urb_{(t+n)}/Urb_t)}{(y)} \qquad \text{Ec. (2)}$$

  En donde:

  TCT= Tasa de consumo de tierra.

  Urb_t = Área total de la extensión urbana del en km2 durante el año pasado/inicial.

  $Urb_{(t+n)}$ = Área total de la extensión urbana en km2 para el año en curso.

  y= número de años entre los dos períodos de medición.

Paso 3. Estimación de la relación entre la tasa de consumo de tierra y la tasa de crecimiento demográfico.

$$\text{TCTPTCP}=\frac{(Tasa\ anual\ del\ consumo\ de\ Tierra)}{(Tasa\ anual\ del\ crecimiento\ de\ la\ población)} \quad \text{Ec. (3)}$$

De acuerdo a ONU-Hábitat (2018), los períodos de ambas variables: la expansión urbana y la tasa de crecimiento demográfico, deben poseer una escala comparable, por lo que proponen la aplicación de la ecuación siguiente:

$$\text{TCTPTCP} = \frac{\frac{(LN(Urb_{(t+n)}/Urb_t)}{(y)}}{\frac{(LN(Pop_{(t+n)}/Pop_t)}{(y)}} \quad \text{Ec. (4)}$$

En el mismo documento recientemente mencionado, se señala que, si el valor obtenido es inferior a 1, esto significa que hay un uso eficiente del suelo, mientras que un valor superior implicaría lo contrario. No obstante, en este resultado intervendrían varios problemas, como es el hecho de que la metodología ofrece una medida del cambio y no un valor absoluto, por otro lado, existe la posibilidad de que se obtengan valores negativos, lo que supondría pérdida de la población o reducción de la mancha urbana. Las metodologías configuradas para el análisis de este indicador con imágenes Landsat y Sentinel, se muestran a continuación:

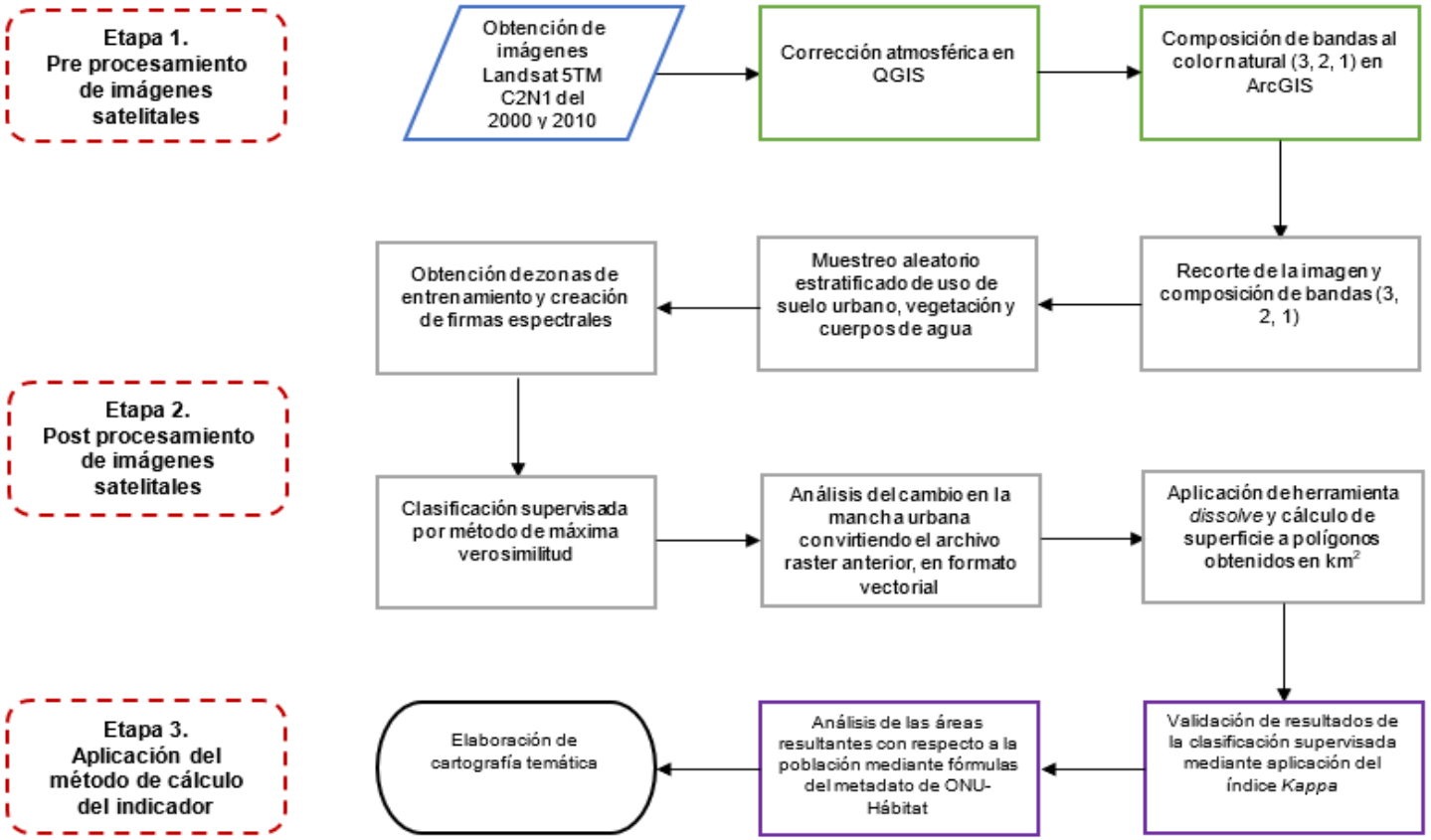


Fig. 7 Metodología para el análisis de TCTPTCP con imágenes de Landsat 5TM C2N1. Fuente: propia con información de Vargas et al., (2020) y complementaria

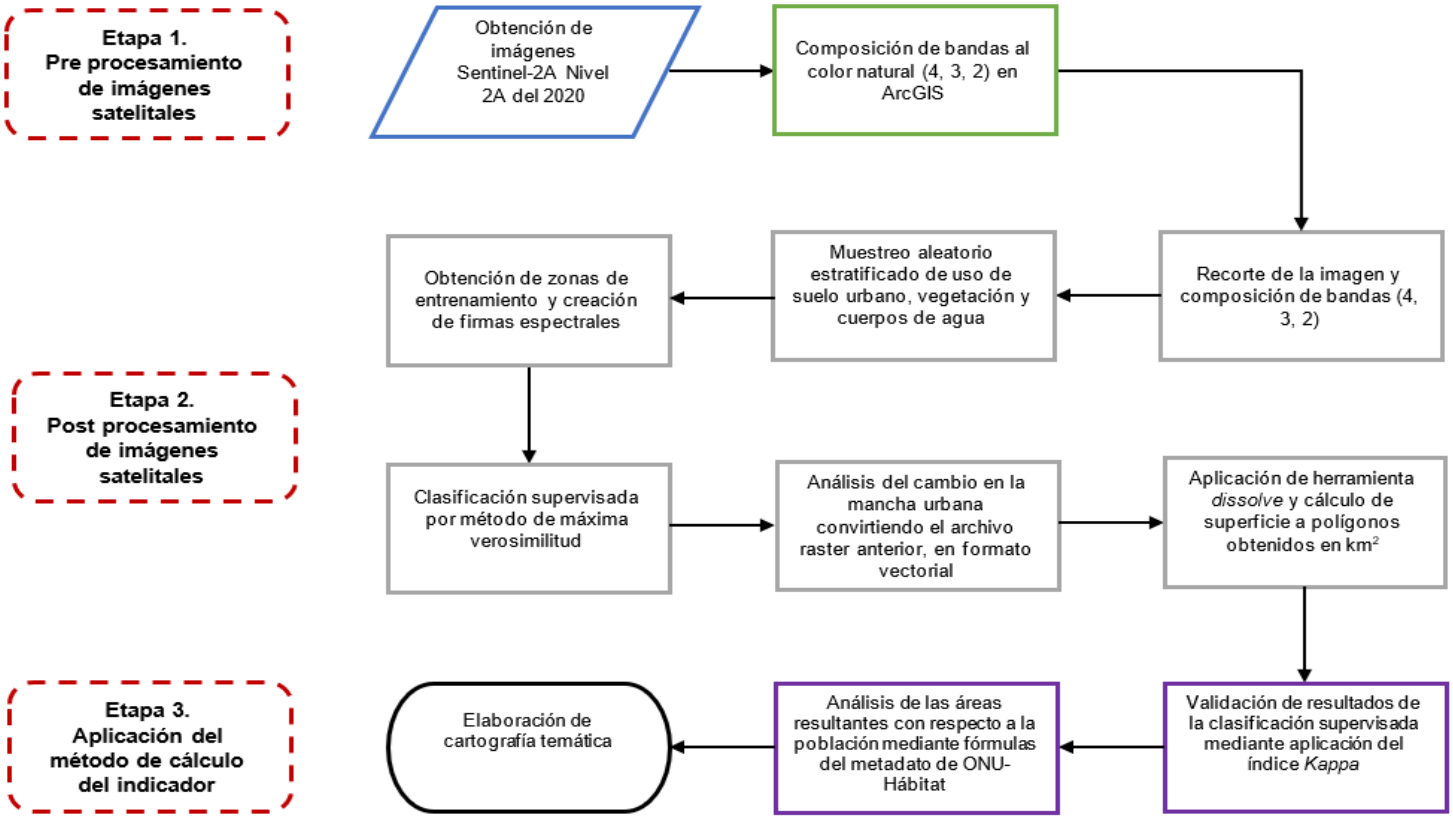


Fig. 8 Metodología para el análisis de TCTPTCP con imágenes de Sentinel-2A nivel 2A. Fuente: propia con información de Phiri et al., (2020) y Romero y Hernández, (2022)

5.3. Resultados del análisis del indicador: relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población

En este apartado se presentan los resultados de la aplicación de las metodologías propuestas anteriormente para el indicador de la relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población. Dichas metodologías fueron implementadas de manera sistemática con el objetivo de evaluar la relación entre el crecimiento poblacional y la expansión del suelo urbano, permitiendo así identificar el comportamiento de la dinámica de crecimiento del área de estudio.

En primera instancia, se presentan los valores numéricos obtenidos, correspondiente al coeficiente del índice Kappa para cada uno de los períodos de tiempo analizados, con el fin de evaluar la confiabilidad de las clasificaciones realizadas. Esta información permite determinar el grado de concordancia entre la clasificación generada y los datos de referencia, constituyendo un criterio fundamental para validar la calidad del procesamiento. Después se incorporan gráficas correspondientes a los años 2000, 2010 y 2020, en las cuales se detallan las superficies, expresadas en km^2, de cada uno de los usos de suelo analizados. Estas representaciones permiten identificar de manera clara las variaciones en la extensión de las distintas clases a lo largo del tiempo, facilitando la comparación entre período. Posteriormente, se presentan los valores derivados de la aplicación de las ecuaciones correspondientes al indicador, a partir de los cuales se establece la relación entre las variables analizadas.

Para concluir, se incluyen los productos cartográficos derivados, los cuales permiten visualizar espacialmente los resultados de la clasificación supervisada de usos de suelo. A través de estos mapas, es posible identificar la distribución y extensión de las distintas clases, así como los cambios ocurridos a lo largo del tiempo, complementando y reforzando la interpretación de los resultados cuantitativos.

5.3.1. Resultados del análisis de las imágenes de Landsat 5TM C2N1

Estas fueron las imágenes con las que se trabajaron:

Tabla 4. Información de las imágenes de Landsat 5TM empleadas. Fuente: propia con información del USGS, (2024)

Satélite	Año de obtención de la información	ID de la imagen
Landsat 5 TM	2000	LT05_L1TP_032043_20001017_20200906_02_T1
	2010	LT05_L1TP_032043_20101029_20200823_02_T1

Los resultados del proceso de la clasificación supervisada de las imágenes de cada año del análisis fueron validados a partir de la aplicación del índice Kappa mediante ArcMap 10.5 y se muestran a continuación:

Tabla 5. Valor de Kappa para el análisis del año 2000. Fuente: propia

OID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	Total	U_Accuracy	Kappa
0	C_1	98	7	0	105	0.933333	0
1	C_2	0	72	0	72	1	0
2	C_3	0	5	5	10	0.5	0
3	Total	98	84	5	187	0	0
4	P_Accuracy	1	.857143	1	0	0.935829	0
5	Kappa	0	0	0	0	0	0.879231

Y para el análisis del 2010:

Tabla 6. Valor de Kappa para el análisis del año 2010. Fuente: propia

OID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	Total	U_Accuracy	Kappa
0	C_1	118	3	0	121	0.975207	0
1	C_2	8	49	0	57	0.859649	0
2	C_3	0	0	10	10	1	0
3	Total	126	52	10	188	0	0
4	P_Accuracy	0.936508	0.942308	1	0	0.941849	0
5	Kappa	0	0	0	0	0	0.878596

El valor encerrado en el recuadro rojo se encuentra en el rango superior de la siguiente tabla que da a conocer los grados de acuerdo del índice Kappa:

Kappa (κ)	Grado de acuerdo
< 0,00	Sin acuerdo
0,00-0,20	Insignificante
0,21-0,40	Mediano
0,41-0,60	Moderado
0,61-0,80	Sustancial
0,81-1,00	Casi perfecto

Fig. 9 Grados de aceptación del índice Kappa. Fuente: Abraira (2000)

Por lo que se determina que el resultado es un valor aceptable para este análisis.

5.3.2. Resultados del análisis de las imágenes de Sentinel 2-A Nivel 2A

Tabla 7. Información de las imágenes de Sentinel-2A empleadas. Fuente: propia con información de Copernicus, (2024)

Satélite	Año de obtención de la información	ID de la imagen
Sentinel 2-A Nivel 2A	2020	S2A_MSIL2A_20201229T174741_N0500_R098_T12RZN_20230308T050844.SAFE

Las imágenes obtenidas pasaron por cada uno de los pasos que se describieron para las imágenes de Landsat 5TM C2N1, a excepción del proceso de corrección atmosférica, debido a que las imágenes de Sentinel 2-A Nivel 2A incluyen dicha corrección dentro de sus propiedades. El resultado de la estimación del índice Kappa para la clasificación supervisada aplicada en las imágenes del 2020 es el siguiente:

Tabla 8. Valor de Kappa para el análisis del año 2020. Fuente: propia

OID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	Total	U_Accuracy	Kappa
0	C_1	140	4	0	144	0.972222	0
1	C_2	3	59	0	62	0.951613	0
2	C_3	0	9	1	10	0.1	0
3	Total	143	72	1	216	0	0
4	P_Accuracy	0.979021	0.819444	1	0	0.925926	0
5	Kappa	0	0	0	0	0	0.839926

Con esto concluye el procesamiento de la información para el análisis del indicador de la relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población y, a continuación, se presentan los resultados puntuales del análisis de cada año estudiado, con los resultados absolutos y su representación gráfica.

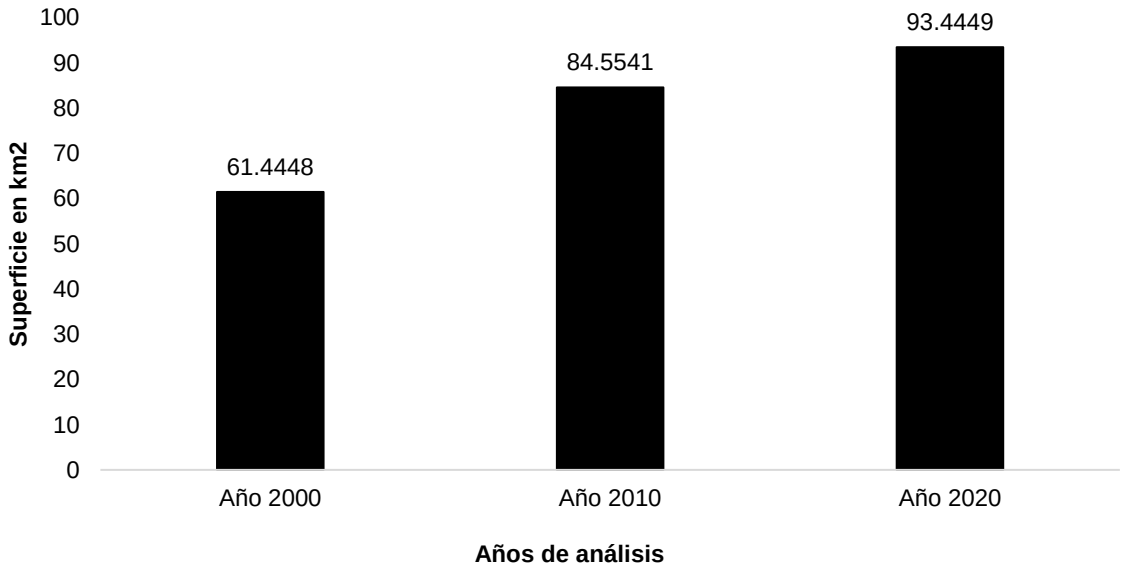


Fig. 10 Desarrollo del suelo urbano del área de estudio. Fuente: propia

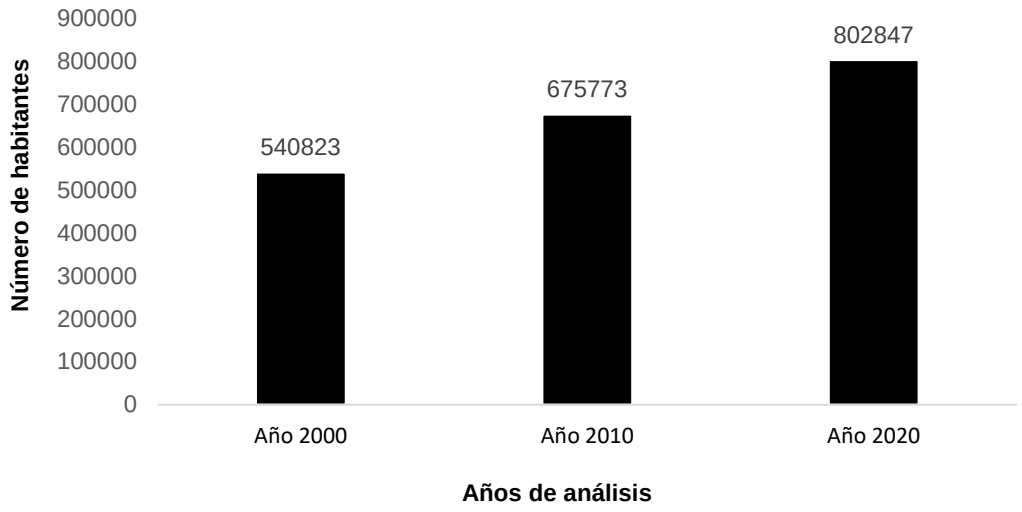


Fig. 11 Crecimiento de la población del área de estudio. Fuente: propia

El análisis en conjunto de la expansión de la superficie urbana y el crecimiento poblacional permite identificar patrones diferenciados de crecimiento de la ciudad durante el período 2000-2020.

La Fig. 9 muestra un crecimiento sostenido en la superficie urbana del área de estudio durante los años 2000, 2010 y 2020. En el año 2000, la superficie urbanizada era de 61.44 km^2, aumentando a 84.55 km^2 en el 2010 y alcanzando 93.44 km^2 para el 2020. Estos valores representan un aumento total del 52.1% en el período de 20 años del análisis.

Por su parte, la Fig. 10 presenta el crecimiento de la población del área de estudio en los mismos años que la figura anterior. En el 2000, la ciudad registró un total de 540,823 habitantes, aumentando a 675,773 en 2020 y llegando a 802,847 en 2020, representando así un aumento del 48.4% en los años analizados.

Desde una perspectiva urbanística, los resultados anteriormente señalados evidencian que la ciudad ha experimentado un proceso de expansión territorial ligeramente superior al crecimiento demográfico, lo que sugiere una tendencia hacia un modelo de crecimiento extensivo. El hecho de que la expansión territorial supere al crecimiento poblacional sugiere un aprovechamiento menos eficiente del suelo,

donde la urbanización se extiende hacia la periferia sin una correspondiente intensificación del uso del espacio ya consolidado.

Este comportamiento implica un mayor consumo de suelo por habitante, lo cual puede traducirse en desafíos asociados a la provisión de infraestructura y la presión sobre los recursos naturales, al transformar suelos no urbanizados y reducir áreas con valor ambiental, además de propiciar una mayor dependencia del transporte motorizado, incrementando tiempos de traslado y contribuyendo a problemáticas como la congestión y la contaminación. En este sentido, los resultados reflejan una dinámica que se aleja de los principios de ciudad compacta y sostenible, evidenciando la necesidad de promover estrategias de ordenamiento territorial orientadas a la densificación, la consolidación urbana y el uso más eficiente del suelo.

A continuación, se presenta una tabla con la proporción del aumento de superficie y de población respectivamente en los años comprendidos por el análisis:

Tabla 9. Proporción de aumento de la población y superficie del área de estudio. Fuente: propia

Período de tiempo analizado	Aumento de la superficie (%)	Aumento de la población (%)
2000-2010	37.60%	24.90%
2010-2020	10.50%	18.80%
2000-2020	52.10%	48.40%

En términos generales, los resultados evidencian una transición en el patrón de crecimiento urbano a lo largo del período analizado. Mientras que entre 2000 y 2010 predominó una dinámica claramente expansiva, caracterizada por un consumo de suelo superior al crecimiento poblacional, en la década 2010-2010 se observa un cambio hacia un modelo relativamente más eficiente, donde la población crece a un ritmo mayor que la superficie urbana. No obstante, el balance acumulado para el período 2000-2020 muestra que la expansión territorial aún supera ligeramente al

crecimiento demográfico, lo que indica que la ciudad mantiene una inercia de crecimiento extensivo. En este sentido, si bien se identifican avances hacia una mayor eficiencia en el uso del suelo, los resultados sugieren que aún persisten desafíos estructurales para consolidar un modelo de desarrollo urbano plenamente sostenible, en concordancia con los principios establecidos en el ODS 11.

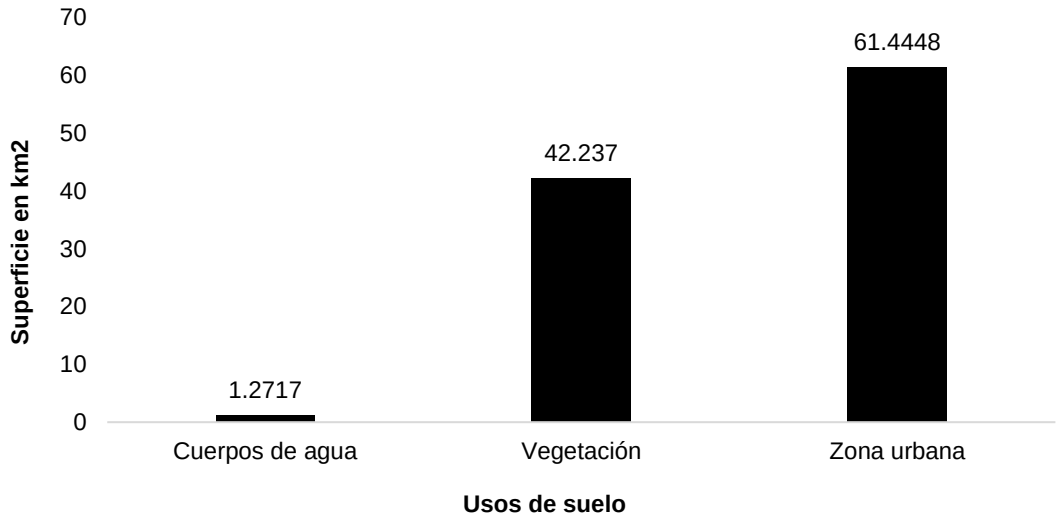


Fig. 12 Superficie de usos de suelo del área de estudio en el 2000. Fuente: propia

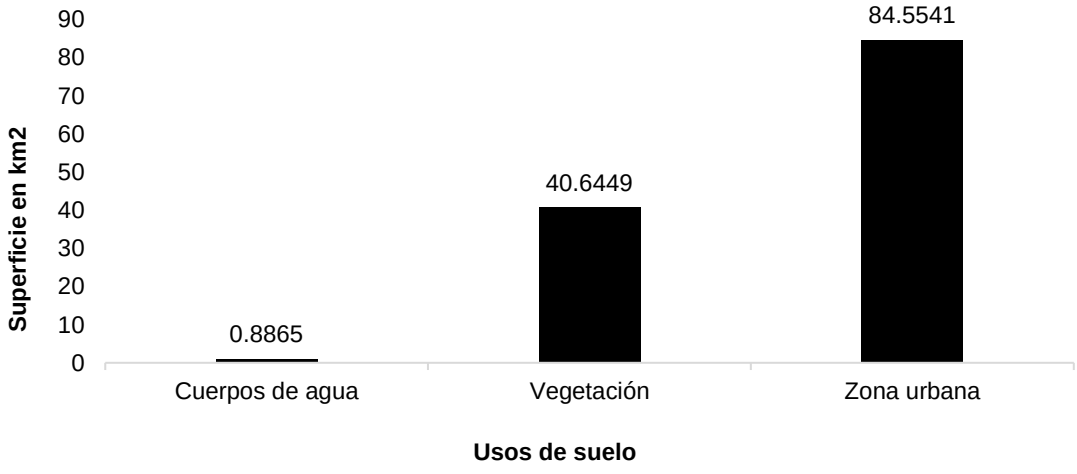


Fig. 13 Superficie de usos de suelo del área de estudio en el 2010. Fuente: propia

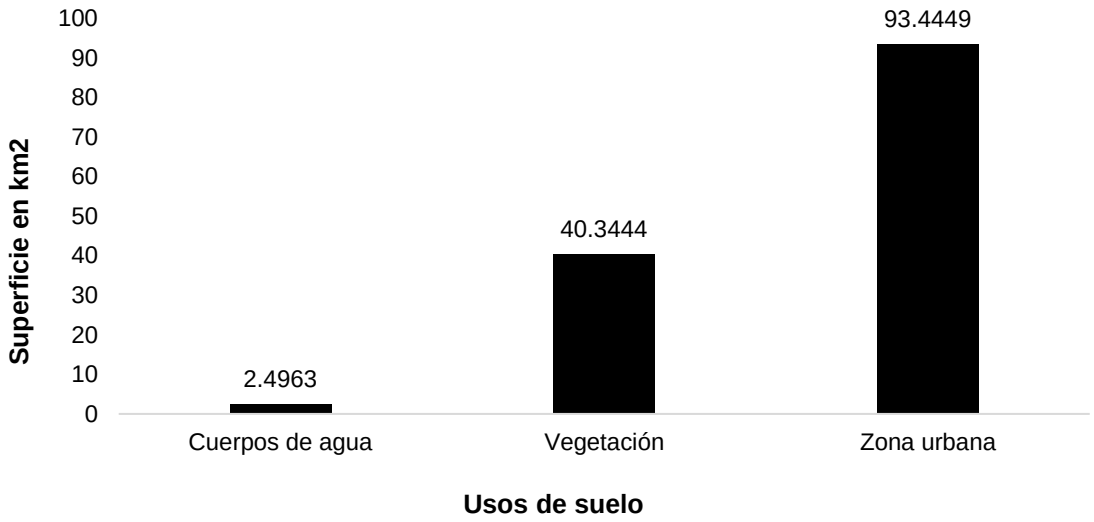


Fig. 14 Superficie de usos del suelo del área de estudio en el 2020. Fuente: propia

Desde la Fig. 11 a la Fig. 13 se presentan los resultados de la superficie en km^2 de los tres usos de suelos analizados: cuerpos de agua, vegetación y zona urbana. El resumen de los resultados se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 10. Resumen de superficies de usos de suelo analizados. Fuente: propia

AÑO ANALIZADO	CUERPO DE AGUA	VEGETACIÓN	ZONA URBANA
2000	1.2717	42.237	61.4448
2010	0.8865	40.6449	84.5541
2020	2.4963	40.3444	93.4449

El contenido de la Tabla 10 permite determinar que la superficie urbana aumentó significativamente del año 2000 al 2020 con un incremento aproximado del 52%, lo cual sugiere un proceso sostenido de urbanización posiblemente relacionado al aumento poblacional, expansión de fraccionamientos y desarrollo en la infraestructura de la ciudad de Culiacán, reflejando un proceso continuo de urbanización y consolidación de la mancha urbana.

En lo que respecta a la vegetación, se observa una tendencia ligeramente decreciente (de 1.89 km^2 en las dos décadas analizadas). Aunque esta disminución

no es drástica, sí indica una presión constante sobre las áreas naturales, asociada al crecimiento urbano, lo cual puede incidir en la pérdida de servicios ecosistémicos y en la calidad ambiental de la ciudad. Por último, se observa un incremento en la superficie de cuerpos de agua en las décadas analizadas, con un valor de 1.2246 km^2, este comportamiento sugiere la influencia de factores externos como condiciones hidrológicas, cambio en la delimitación o mejoras en los procesos de identificación, por lo que su interpretación debe realizarse con cautela.

En conjunto, la información de la Tabla 10 evidencia una dinámica territorial dominada por la expansión urbana, con impactos visibles sobre las coberturas naturales, lo que pone de manifiesto la necesidad de fortalecer estrategias de planeación orientadas a un crecimiento más equilibrado, que integre la conservación ambiental y el uso eficiente del suelo.

Es importante también resaltar que los resultados provienen de la aplicación de una metodología específica cuyos valores podrían variar en dependencia del número de pruebas y del proceso de validación empleado.

Aplicando las ecuaciones 1-4, se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 11. Resultados del análisis estadístico. Fuente: propia

PERÍODO DE AÑOS ANALIZADOS	TASA DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN	TASA DE CONSUMO DE SUELO	RELACIÓN ENTRE LA TASA DE CONSUMO DE SUELO Y LA TASA DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN
2000-2010	0.0222	0.0319	1.4369
2010-2020	0.0172	0.0099	0.5755

La Tabla 11 presenta los resultados del análisis del indicador que relaciona la tasa de consumo de suelo con la tasa de crecimiento poblacional, como resultado del procesamiento descrito previamente en esta sección. Destacan los valores de la última columna: 1.4369 para el período del 2000-2010 y 0.5755 para el período 2010-2020. De acuerdo a los parámetros establecidos por ONU-Hábitat (2018), un valor superior a 1 indica que no existe un uso eficiente del suelo, esto se observa

en el primer período de tiempo analizado, mientras que para el segundo se determina que, al ser un valor que se encuentra entre 0 y 1, sí hubo un uso eficiente del suelo.

El valor de 1.4369 correspondiente al período del 2000-2010 indica que la expansión urbana ocurrió a un ritmo más acelerado que el crecimiento de la población, evidenciando un uso ineficiente del suelo. Este comportamiento es característico de procesos de crecimiento extensivo, donde el aumento del área urbanizada no responde proporcionalmente a la demanda demográfica.

En contraste, para el período 2010-2020, el valor obtenido de 0.5755 refleja un uso más eficiente del suelo, sugiriendo una dinámica de crecimiento más contenida, posiblemente asociada a procesos de densificación o consolidación urbana.

En conjunto, la Tabla 11 evidencia un cambio significativo en la dinámica de crecimiento urbano, pasando de un modelo expansivo y menos eficiente en la primera década del estudio, a uno más equilibrado en la segunda. Esta transición sugiere una mejora en la relación entre población y uso del suelo; sin embargo, también pone de manifiesto la necesidad de consolidar estas tendencias hacia un desarrollo urbano más eficiente y sostenible en el largo plazo.

Las figuras 15, 16 y 17, de los años 2000, 2010 y 2020 respectivamente, evidencian una transformación significativa en el uso de suelo de la ciudad de Culiacán. A lo largo de los 20 años de análisis, se observa una marcada expansión urbana, representada en color gris, que ha ido ocupando de forma progresiva las áreas anteriormente destinadas a la vegetación. Esta urbanización no solo ha incrementado en superficie, sino que ha generado una fragmentación del paisaje natural, lo cual ha reducido la continuidad ecológica y disminuyendo los espacios verdes.

La vegetación, representada en color verde, muestra una pérdida constante, pasando de estar ampliamente distribuida en el 2000, a quedar reducida a pequeños parches aislados en 2020, lo cual indica una presión directa sobre el entorno natural por parte del crecimiento urbano.

En cuanto a los cuerpos de agua (representados en color azul), su presencia se considera relativamente constante, aunque en el 2020 se percibe un aumento en su extensión, lo cual, como se mencionó anteriormente, podría estar relacionado con el aumento de precipitaciones o con intervenciones antrópicas.

Por otro lado, en la Fig. 18 es posible observar los límites territoriales del área de estudio, facilitando la interpretación del crecimiento de la ciudad de Culiacán en el período de tiempo comprendido durante el análisis. Este recurso cartográfico permite contextualizar espacialmente los cambios identificados, al delimitar con claridad el ámbito geográfico en el que se desarrollan las dinámicas urbanas examinadas.

En conjunto, los mapas presentan una tendencia clara hacia la urbanización, con impactos visibles sobre los ecosistemas urbanos, especialmente con respecto a la cobertura vegetal. Asimismo, los patrones espaciales identificados sugieren que el proceso de expansión no ha sido homogéneo, sino que responde a dinámicas específicas de ocupación del territorio. En este sentido, los resultados subrayan la importancia de incorporar criterios de planificación urbana orientados a la conservación y recuperación de la cobertura vegetal, con el fin de mitigar los efectos del crecimiento urbano y avanzar hacia un modelo de desarrollo más equilibrado y sostenible.

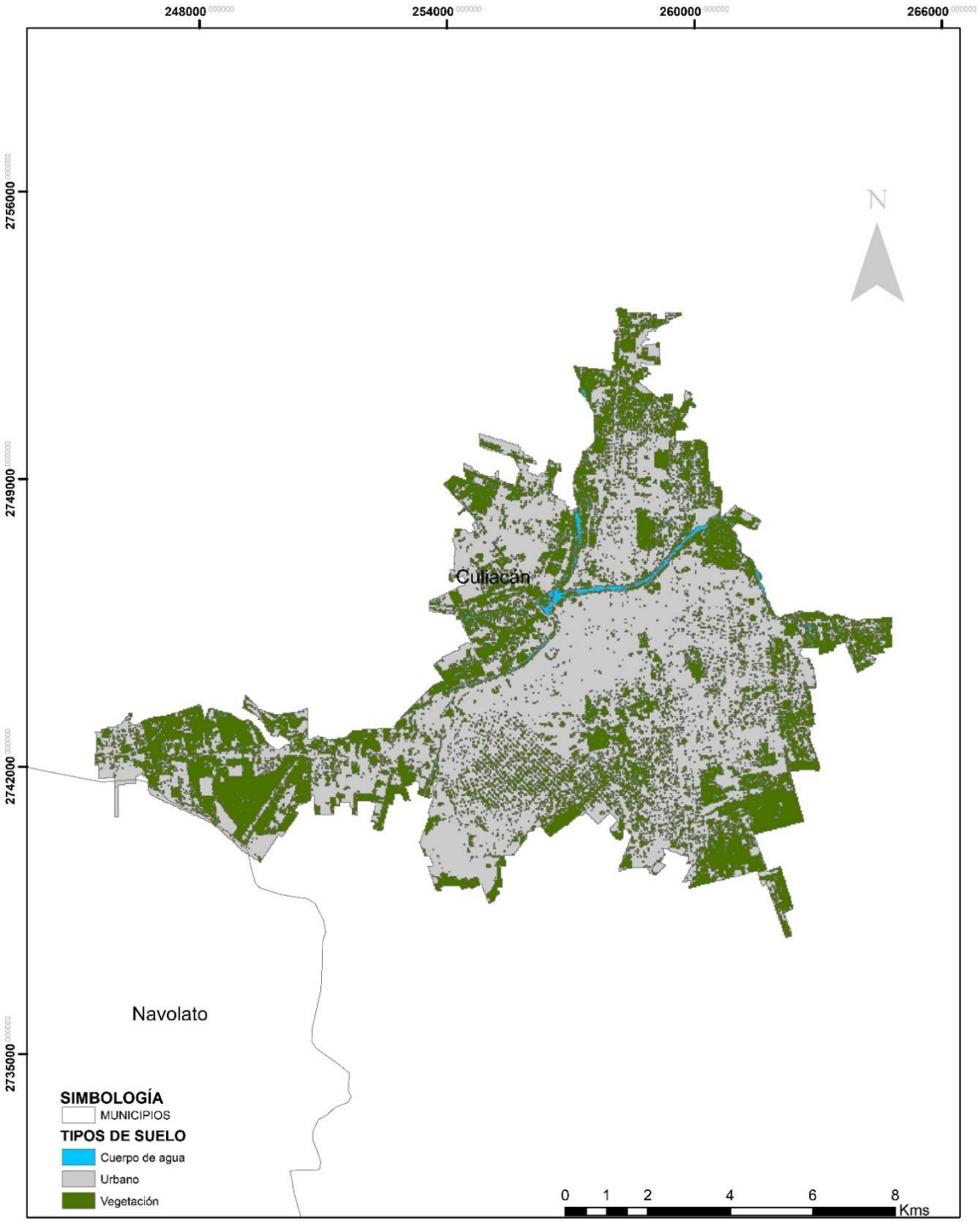


Fig. 15 Clasificación de usos del suelo del área de estudio en 2000. Fuente: propia

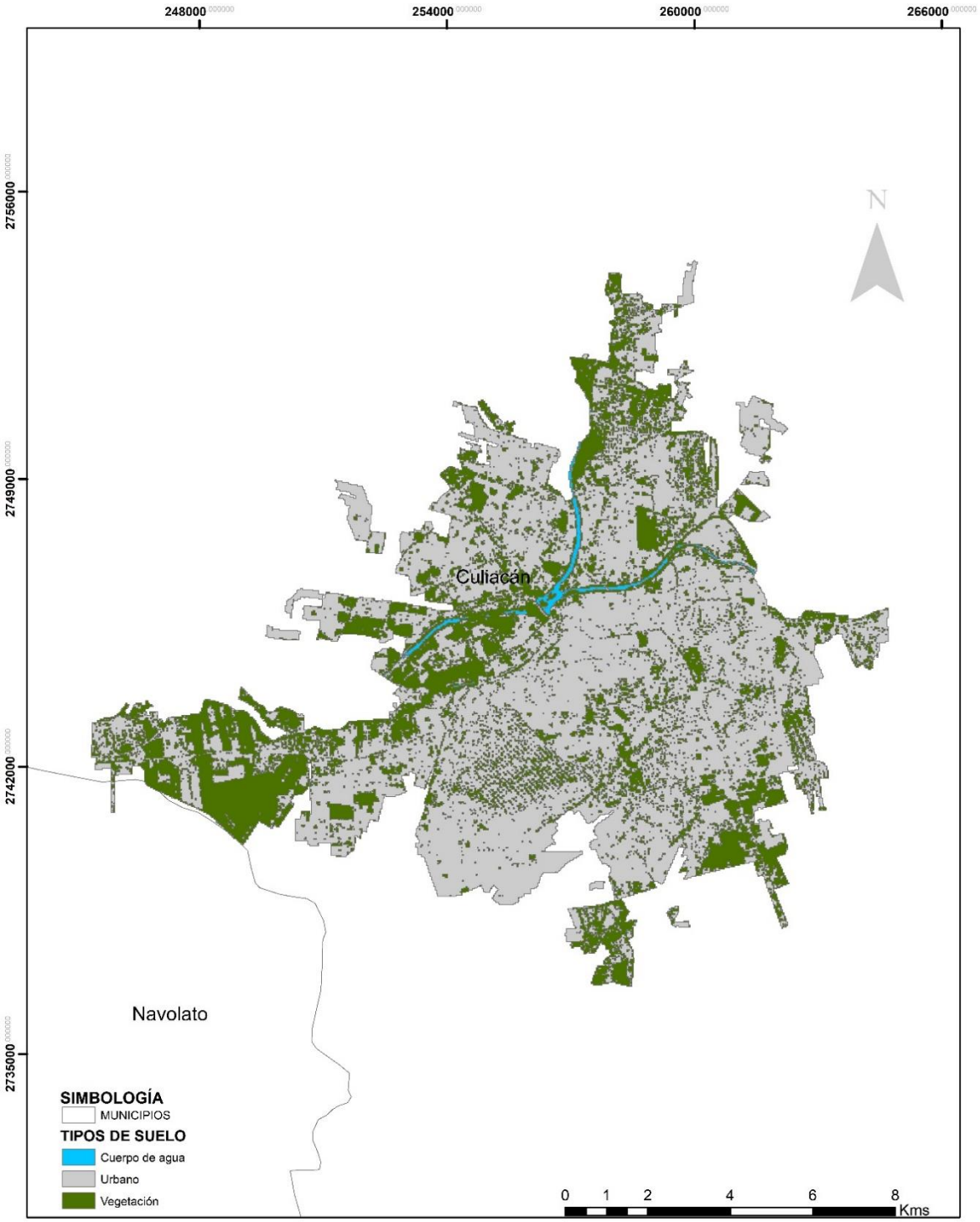


Fig. 16 Clasificación de usos del suelo del área de estudio en 2010. Fuente: propia

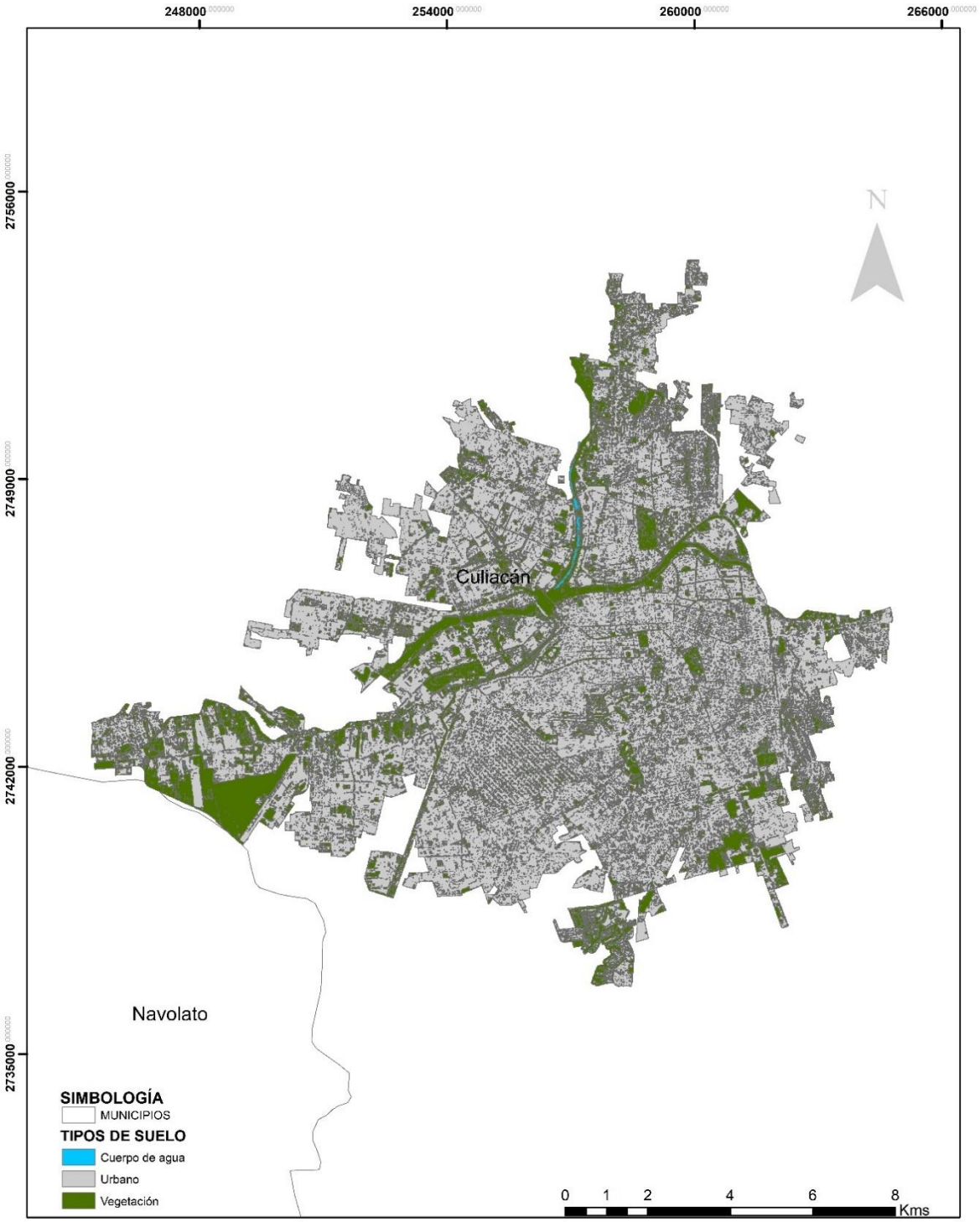


Fig. 17 Clasificación de usos del suelo del área de estudio en 2020. Fuente: propia

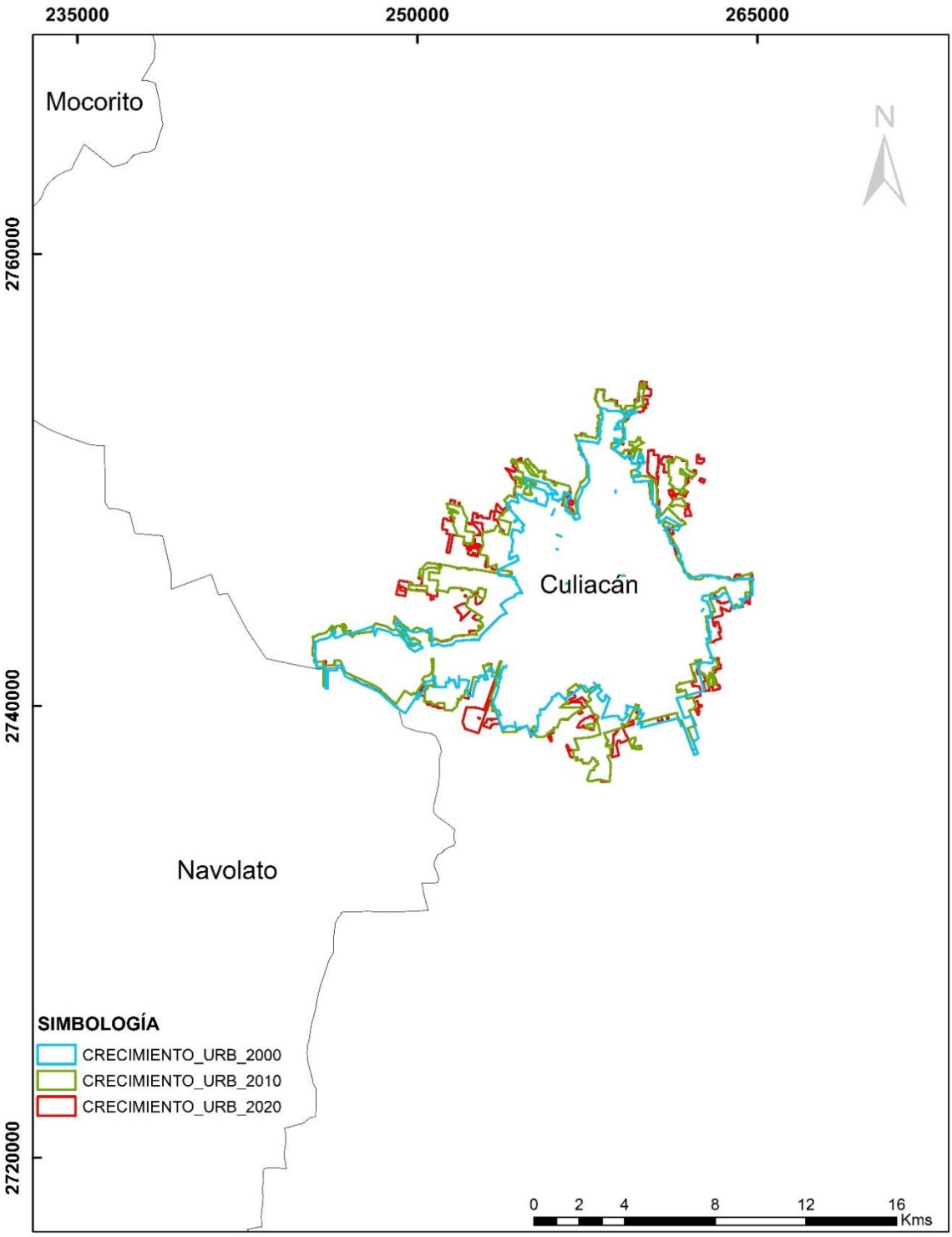


Fig. 18 Crecimiento del área de estudio del 2000-2020. Fuente: propia

5.4. Conclusiones del análisis del indicador relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población

De acuerdo a Holobâcă et al., (2022), la esencia de este indicador es medir el crecimiento sostenible del desarrollo urbano en escala espacial y temporal, convirtiéndose en una buena herramienta para la identificación de la trayectoria espacial de las áreas analizadas con una directa utilidad para las administraciones locales y centrales en el contexto de desarrollo sostenible y en la planificación y diseño urbano.

El análisis espacial realizado para el indicador ODS 11.3.1, permitió determinar la relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento demográfico en dos períodos decenales: 2000–2010 y 2010–2020, así como conocer los cambios espaciotemporales del área de estudio, los cuales reflejan un cambio significativo en la eficiencia del uso del suelo urbano a lo largo del tiempo.

Durante el primer período (2000–2010), se observó una tasa de consumo de suelo (0.0319), superior a la tasa de crecimiento poblacional (0.0222), lo que dio como resultado una relación de 1.4369, valor que, de acuerdo al documento de ONU-Hábitat (2018), representa un uso ineficiente del suelo, es decir, una expansión urbana desproporcionada en relación con el crecimiento demográfico. En contraste, para el período 2010–2020, la relación fue de 0.5755, al presentarse una tasa de consumo de suelo (0.0099), menor que la de crecimiento poblacional (0.0172). Este valor se encuentra dentro del rango del uso eficiente del suelo (entre 0 y 1), lo cual sugiere una mejora significativa en la eficiencia del uso del suelo urbano, posiblemente relacionada con procesos de densificación, contención del crecimiento horizontal o políticas de planificación más controladas.

De acuerdo con los parámetros de medición del indicador, se observa que este presenta una lógica limitada al clasificar los resultados como valores eficientes o ineficientes dentro de un rango numérico restringido. Esta forma de evaluación puede conducir a interpretaciones reduccionistas, al no considerar adecuadamente la complejidad y la heterogeneidad inherentes al contexto urbano.

En este sentido, ONU-Hábitat (2018), menciona que la interpretación de los resultados manifiesta problemas como es el hecho de que la medición del uso del suelo se trata únicamente de una medida de cambio y no es absoluta, que el aumento de la densidad no necesariamente refleja un uso más eficiente pues podrían existir escenarios de hacinamiento en la población y sin servicios, entre otros aspectos que podrían ser abordados técnicamente.

Aunado a lo anterior, Angel et al., (2024), resaltan la utilidad del indicador para monitorear el progreso hacia los ODS, pero advierten que su formulación actual presenta limitaciones significativas tanto en términos de medición como de interpretación. Por ello, proponen complementar el análisis con otros parámetros, como la tasa de cambio del consumo de suelo per cápita y la tasa de cambio de densidad urbana, con el fin de obtener resultados más precisos y menos ambiguos.

En conjunto, los hallazgos una tendencia clara hacia la urbanización, con impactos visibles sobre los ecosistemas urbanos, particularmente en la reducción de la cobertura vegetal. Asimismo, los patrones espaciales identificados muestran que el proceso de expansión no ha sido homogéneo, sino que responde a dinámicas específicas de ocupación del territorio. Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de incorporar criterios de planificación urbana orientados a la conservación y recuperación de la cobertura vegetal, con el propósito de mitigar los efectos del crecimiento urbano y favorecer un desarrollo territorial más equilibrado y sostenible.

No obstante, los resultados deben interpretarse considerando las limitaciones inherentes a la metodología empleada. Una de las principales corresponde a la resolución espacial de las imágenes utilizadas, cuya disponibilidad gratuita permitió desarrollar el análisis multitemporal, pero restringe el nivel de detalle con el que pueden identificarse determinados cambios en la cobertura del suelo, especialmente en zonas de transición urbano-rural o en áreas con coberturas heterogéneas. Asimismo, aunque la metodología permitió estimar la relación entre la tasa de consumo de suelo y el crecimiento poblacional mediante indicadores sintéticos, resulta necesario complementar estos análisis con la evaluación de los

valores absolutos de cambio en la superficie urbanizada y en la población, a fin de comprender con mayor profundidad las dinámicas que explican el comportamiento del indicador.

En este sentido, futuras investigaciones podrían fortalecer la metodología mediante el empleo de imágenes satelitales de mayor resolución espacial o la integración de información obtenida con vehículos aéreos no tripulados, cuando su disponibilidad lo permita. Asimismo, sería conveniente incorporar variables complementarias relacionadas con los patrones de ocupación del suelo, la densidad urbana y los cambios de uso del suelo a nivel intraurbano, con el propósito de obtener una caracterización más detallada de los procesos de expansión y consolidación urbana y fortalecer la evaluación de la sostenibilidad territorial.

CAPÍTULO VI: INDICADOR PROPORCIÓN DE LA POBLACIÓN QUE TIENE ACCESO CONVENIENTE AL TRANSPORTE PÚBLICO, DESGLOSADA POR SEXO, EDAD Y PERSONAS CON DISCAPACIDAD

6.1. Descripción del indicador proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público, desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad

El acceso de la población al transporte público constituye un elemento fundamental para promover la movilidad urbana sostenible, al facilitar el desplazamiento de las personas hacia sus actividades cotidianas y favorecer una mayor inclusión social. En este contexto, el objetivo de analizar el indicador de la proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público, desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad, también reconocido como indicador 11.2.1 por ONU-Hábitat (2018), es determinar la cantidad de habitantes de la ciudad de Culiacán que se encuentran a una distancia máxima de 500 metros para el acceso al transporte público.

De acuerdo a ONU-Hábitat (2018), el indicador 11.2.1 tiene como objetivo monitorear el uso y acceso que las personas tienen a los sistemas de transporte público y poder entonces reducir la dependencia de los medios de transporte privados, con la finalidad de mejorar las condiciones de una alta proporción de grupos desfavorecidos en transporte, como es el caso de las personas mayores, personas con bajos ingresos y aquellas con discapacidades físicas.

En este contexto, los conceptos de movilidad y movilidad urbana adquieren un papel fundamenta para comprender el alcance del indicador 11.2.1. Al respecto, ONU-Hábitat (2018), resalta la necesidad que el paradigma de la movilidad urbana tiene por contar con sistemas de transporte público que se encuentren localizados a distancias cómodas para ser caminadas o transitadas en bicicleta por las personas desde sus hogares y trabajos. A continuación, se presentan los conceptos de interés para esta investigación.

6.1.1. Movilidad

De acuerdo a Gutiérrez (2012), existe una escasa explicitación del concepto de movilidad, sumada a la amplia variedad de usos que se le asigna, dificultando así la articulación de un cuerpo teórico metodológico que contribuya a su reflexión. Lo anterior no revela la inexistencia de una definición de movilidad, pero sí de la presencia de diversas formas para explicarla, por lo que en este apartado se incluyen algunas ideas que dan a conocer este concepto a partir de la perspectiva de distintos autores.

Cuando se habla sobre movilidad, se hace referencia a aquellas personas que se desplazan para movilizarse de un sitio a otro (Velásquez, 2015), ya que, dado a su naturaleza, las personas son seres sociales y de encuentro, ocasionando que el desplazamiento de un lugar hacia otro sea considerado una necesidad (Peña y Ausín, 2015).

Remarcando lo anterior, la Comisión Ambiental de la Megalópolis (2018), señala que la movilidad es una actividad que implica el desplazamiento de personas de un punto A hacia un punto B mediante sus propios medios de locomoción o bien, utilizando algún tipo de transporte para hacerlo posible. Esta actividad responde a una necesidad imperante de la población por trasladarse a sus sitios de interés. También puede entenderse como un derecho que debe ser ejercido con responsabilidad, pues diariamente se llevan a cabo millones de desplazamientos en las zonas urbanas a nivel mundial que involucran un alto volumen de consumo de recursos naturales y la generación de contaminantes a la atmósfera. Por otro lado, la Ley General de Movilidad y Seguridad Vial (2022), coincide con lo anterior al reconocer a la movilidad como un derecho que todas las personas tienen para trasladarse y de disponer de un sistema integral de movilidad de calidad, suficiente y accesible que presente condiciones de igualdad y sostenibilidad. Se deberán de considerar el desplazamiento de personas, bienes y mercancías que contribuyan al ejercicio y garantía de otros derechos humanos, siendo las personas el centro del diseño y del desarrollo de los planes y estrategias sobre el tema.

La movilidad tiende a variar de acuerdo a condiciones objetivas que envuelven la cantidad y distribución en el territorio de la infraestructura y los servicios de transporte, además de aquellos destinados a la salud, educación, empleo, etc., en conjunto. Finalmente, se puede concluir con que la movilidad se trata de una práctica social de desplazamiento que se produce en el territorio con la finalidad de concretar actividades cotidianas, conjugando deseos y necesidades para llevarse a cabo. (Gutiérrez, 2012)

6.1.2. Movilidad urbana

Si bien la movilidad es entendida, en términos generales, como el desplazamiento de las personas, bienes y mercancías de un lugar a otro, el concepto de movilidad urbana hace referencia específica a la manera en que dichos desplazamientos se desarrollan dentro de la estructura y dinámica de las ciudades.

La movilidad urbana es definida por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, 2018), como el movimiento que las personas y los bienes realizan en las ciudades, sin importar el medio que utilicen para llevar a cabo esta acción, pudiendo ser a pie, en automóvil, bicicleta, transporte público, etc.

Por sí misma, la movilidad fue una pieza fundamental en la Sociología Urbana y de la Geografía Crítica en los años setenta, enfocándose en la desigualdad social territorial del transporte. Dos décadas más tarde, el término de movilidad visitó el campo de lo urbano, debido a distintos aspectos económicos de las reformas neoliberales del estado y, para comienzos del 2000, se vinculó con el modelo del desarrollo urbano, mostrando una transición cambiante ante el paradigma de pensamiento, del transporte a la movilidad. (Miralles-Guasch, 2002)

Fue precisamente en la década de los setenta cuando se finalizó el modelo espacial basado en el coche, como la solución a la las nuevas necesidades de la movilidad y el crecimiento urbano poco controlado, aunado al aumento de los costos de los servicios urbanos que se manifestaban, reconociendo la presencia de la movilidad urbana en el rol estructurante que conformaba a las metrópolis incluyendo alternativas de desplazamiento como el metro, los ferrocarriles interurbanos, desplazamiento peatonal, entre otros. (Velásquez, 2015). De acuerdo a Serrano

(2019), uno de los primordiales retos de la ciudad contemporánea ha sido lograr la satisfacción en los requerimientos de todas las formas de movilidad que los distintos grupos sociales exigen para sustituir sus necesidades dentro de contextos urbanos. En este sentido, el reto de la movilidad urbana no solo radica en garantizar la accesibilidad y eficiencia del desplazamiento, sino también en promover un sistema equitativo e inclusivo que responda a la diversidad social y espacial de la ciudad contemporánea.

El Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (2013), reconoce que el futuro de América Latina es urbano y que el sistema de transporte público es un elemento definitorio en las dinámicas de desarrollo de sus ciudades, además de determinar que la movilidad urbana se trata de un factor determinante en la productividad económica de la ciudad y en la calidad de vida de sus ciudadanos, otorgando facilidades en el acceso a los servicios básicos de salud y educación. Por su parte, ONU-Hábitat (2018), añade que esta debería provocar y permitir que las ciudades florezcan sin la necesidad de que exista una dependencia dirigida hacia ningún modo de viaje en particular.

Dentro del campo de análisis de los sistemas de transporte, el tema de la movilidad urbana localiza sus principios en los debates acerca de la ciudad, sobre la base de la planificación y ordenación urbanística en donde los actores sociales se desplazan, haciendo que la movilidad no se reduzca a un hábito, más bien se aprende, se prepara y se construye (Velásquez, 2015). Por su parte, Herce y Magrinyà (2013), mencionan que un modelo sostenible de planeación de la movilidad urbana se conforma con la adecuación del espacio de la ciudad a otras formas de movilidad, la distribución de la infraestructura y de la inversión pública con mayor igualdad, capaz de favorecer la coexistencia y el acceso a distintos tipos de transporte por grupos sociales.

La movilidad urbana es una causa y efecto del desenvolvimiento urbano, por lo que su planificación debe contar con elementos de la ordenación urbanística que considere aspectos como la habitabilidad para sus usuarios, además de servir como canal de comunicación. También es necesario tomar en cuenta que el espacio

urbano no es estático, por lo que cualquier plan estratégico debe de incluir aspectos que trabajen de acuerdo a las múltiples actividades que las personas pueden realizar en todo el día y que a su vez, condicionan su funcionalidad. (Velásquez, 2015)

6.1.3. Distancia peatonal

La configuración de una ciudad permite conocer las opciones de servicios a los cuales sus habitantes tienen la oportunidad de acceder, sin embargo, en muchas ocasiones esto no es una tarea sencilla debido a que es incluso la misma configuración la que no facilita esta acción. El concepto de distancia peatonal derivado de la movilidad peatonal y de la movilidad en sí, permite comprender mejor las oportunidades que los habitantes de una ciudad tienen para realizar desplazamientos.

El caminar es considerado por Aguilar (2016), como un acercamiento a un mundo social e interpersonal delineado por el traslado. Para el autor, el desplazamiento peatonal es un fenómeno que adquiere mayor relevancia cuando la movilidad de las ciudades es un tema a discusión, motivado por la preocupación que surge sobre asuntos de contaminación, sustentabilidad o del derecho al que los habitantes tienen para realizar traslados con eficacia hacia distintos puntos de la ciudad. Si bien es cierto que en las grandes ciudades la movilidad se centra en las redes de transporte, no se deben olvidar los desplazamientos peatonales que se llevan a cabo y que tienen un importante significado social. La movilidad peatonal es considerada por Talavera y Valenzuela (2017), como una pieza clave para que el sistema de transporte público tenga éxito, ya que los desplazamientos a pie que realizan las personas son los que sustentan al servicio de transporte público. Esto provoca que la distancia peatonal que existe a la parada de transporte público condicione la propia accesibilidad a las mismas. La distancia peatonal no se considera estática, más bien, puede variar en función de las características demográficas del lugar (Hess, 2012), sin embargo, su importancia persiste.

Las paradas de transporte son definidas como las zonas de detención de los vehículos establecidas a una distancia determinada una de otra y en las cuales se

permite el ascenso y descenso de usuarios del transporte público colectivo. (Comisión Nacional de los Derechos Humanos, 2018)

Mapasin (2022), reconoce que la modernización y mejora del transporte público es un tema pendiente para Culiacán cuya prioridad debería prevalecer, sin embargo, se consideran opciones más rápidas para mitigar los efectos ocasionados por la deficiencia en el área, como es el establecimiento de paradas para el transporte público, ya que si las unidades de transporte se detuvieran únicamente en los puntos establecidos, el tráfico generado por otros medios de transporte como el automóvil privado, fluiría mejor. Las paradas de transporte deberán de situarse en lugares accesibles para todos e indicarlas con ayuda de infraestructura vertical, señalética o mobiliario urbano que permita a las personas identificar lo que son, además de respetar guías de diseño que permitan la inclusión de todas y todos los peatones.

La accesibilidad geográfica es fundamental, especialmente en el tema de la calidad del servicio de transporte público. Celi (2018), determina que un valor menor de 350 metros es la distancia óptima que las personas deben de caminar para acceder a este, mientras que Talavera y Valenzuela (2017), gracias al análisis de distintos artículos acerca del transporte en general, establecen una distancia que va de 400 a 800 metros.

Ante la variabilidad en los umbrales de proximidad propuestos en la literatura, resulta necesario adoptar un criterio operativo que permita estandarizar el análisis y garantizar su comparabilidad. En este sentido, se ha optado por emplear la distancia de 500 metros establecida por ONU-Hábitat (2018), la cual es ampliamente reconocida como un referente técnico en la medición de indicadores urbanos a escala internacional. Este umbral representa una distancia caminable denominada por este organismo como conveniente bajo condiciones promedio. Asimismo, su adopción permite alinear el análisis espacial con metodología estandarizadas utilizadas en la evaluación del acceso al transporte público en el marco de los ODS. Por tanto, el presente estudio considerará un umbral de 500 metros como criterio de accesibilidad a paradas de transporte público, lo que no

solo facilita la consistencia metodológica, sino que también contribuye a la generación de resultados comparables y pertinentes para la formulación de políticas urbanas.

6.1.4. Transporte público

Los individuos que forman parte de un entorno urbano están relacionados con distintos tipos de transporte que la infraestructura del lugar les provee.

De manera general, se reconoce que el incremento de la población mundial, así como el aumento de distintas urbes producen un crecimiento desmedido del parque automotor, debido a la gran necesidad y demanda que ocurre porque la ciudadanía se logre movilizar, situación que exige un constante rediseño en la gestión y administración de los servicios de transporte público (Celi, 2018).
El servicio de transporte público es una actividad mediante la cual la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes y los gobiernos de las entidades federativas en unión con los municipios, cubren las necesidades que la comunidad tiene de contar con un transporte accesible e incluyente de pasajeros o de carga dentro del área de su jurisdicción. En lo referente al transporte público destinado a pasajeros, es reconocido como el medio de traslado que se brinda de forma continua, uniforme, regular y sujeta a cambios de horarios o distintos criterios de optimización que son impuestos por entidades o concesionarios al público en general (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2022). Por su parte, Hernández (2017), lo reconoce como una herramienta clave para garantizar la capacidad de las personas para que estas logren acceder a las distintas oportunidades que les ofrece una ciudad.

Celi (2018), menciona que en la mayor parte de América Latina y el Caribe los autobuses son el transporte urbano que más se utiliza, a pesar de la ineficiencia de la mayoría de las unidades al provocar retraso en la llegada de los usuarios, accidentes de tráfico, entre otros más. Para México, se ha identificado que el 56% de las viviendas del país no cuenta con infraestructura de acceso al transporte público, lo cual incumple con el derecho constitucional a una movilidad segura, sustentable y equitativa para las personas, hecho que diariamente impacta en la

vida de la población que se ve obligada a destinar más de dos horas diarias en el tiempo que requiere para llegar a sus centros de trabajo (El Economista, 2023).

Para la ciudad de Culiacán, en 2015 se registró que el 38% de los desplazamientos realizados por las personas para satisfacer sus necesidades de movilidad correspondían al uso de este medio de transporte, muy por debajo del 60% que es la media nacional, revelando un sistema de transporte público deficiente. En esta ciudad, el 98% de los vehículos que la transitan son privados, con un promedio de 1.5 automóviles por familia. Esta situación representa un efecto negativo dado a los contaminantes que producen de manera individual y aún más de forma colectiva, además de los congestionamientos viales, por lo que la movilidad moderna intenta desmotivar el empleo de vehículos privados impulsando las mejoras en el sistema de transporte público (Meza, 2015). Posteriormente, Bustamante (2023), cita lo declarado por Luis Ernesto Castro Castro (director de Mapasin), quien menciona la necesidad que Culiacán tiene por contar con un transporte público moderno y digno que suministre una movilidad libre y segura, siendo esto un derecho de las personas.

Sin duda alguna, las infraestructuras de transporte urbano representan la base del funcionamiento de la movilidad que se necesita efectuar en los asentamientos humanos (Montezuma, 2003), por lo que es necesario que se configuren estrategias para mejorar este sistema pues no resulta suficiente el hecho de que haya disponibilidad, sino que este deberá de percibirse digno y seguro para su utilización, buscando dejar de lado el estigma al que ONU-Hábitat y el Ayuntamiento de Madrid, (2016), hacen referencia del transporte urbano asociadas a percepciones negativas como a un alto costo, deficiencias en seguridad y protección, así como con la desorganización derivada de la falta de coordinación horaria en la prestación de los servicios.

La Fig. 19 presenta las rutas de transporte público de la ciudad de Culiacán presentado por IMPLAN (2005), en esta se representa la distribución espacial de las distintas rutas que conformaban el sistema de transporte urbano, así como su cobertura dentro de los diferentes sectores de la ciudad. Su contenido permite

apreciar la organización territorial del servicio y constituye un antecedente que facilita la comprensión de la configuración del transporte público en ese período.

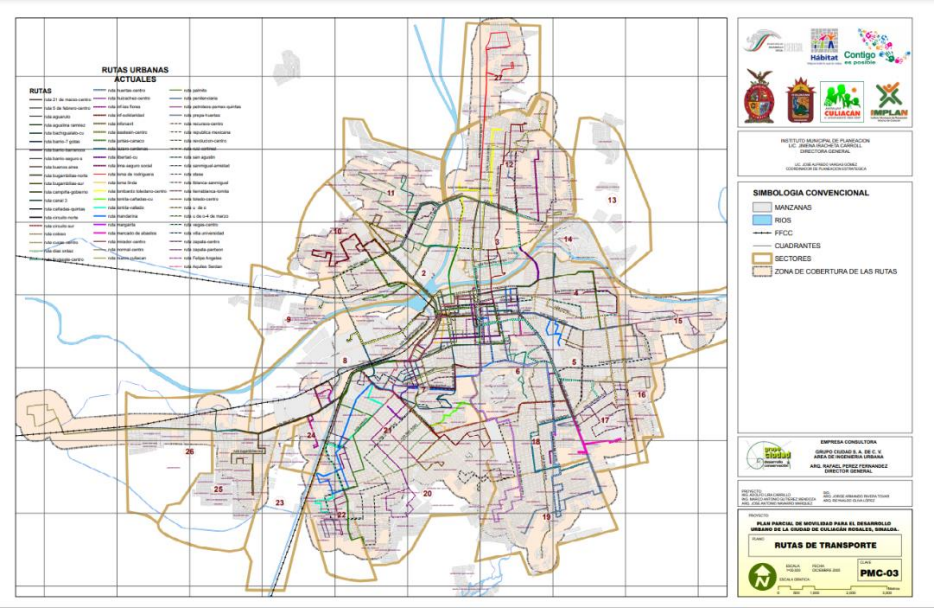


Fig. 19 Rutas urbanas de Culiacán. Fuente: IMPLAN, (2005). https://implanculiacan.mx/descargas/planes/Plan_Parcial_de_Movilidad/CARTOGRAFIA/030_rutas_de_transporte.pdf

6.2. Metodología para el análisis de este indicador

La relevancia e impacto del análisis de este indicador ya ha sido expuesto anteriormente y en este apartado se procede a presentar la metodología a aplicar para llevarlo a cabo.

En el documento de ONU-Hábitat (2018), se le señala como un indicador de Nivel II, conceptualmente claro y con una metodología establecida. Sin embargo, se reconoce que los datos necesarios para su análisis no siempre se encuentran disponibles pero, en caso de que sí lo estén, probablemente no están armonizados con los datos globales, lo que produce que no puedan compararse a nivel mundial para tener una mejor interpretación o criterio de estos, por lo que se tendrá que trabajar con la información que existe, recopilando a nivel municipal o ciudad, según sea el caso y con el conocimiento de la posibilidad que hay de experimentar graves deficiencias si no se cuenta con los datos requeridos que, de acuerdo a este documento, son los que se enlistan a continuación:

- Datos sobre la ubicación de paradas de transporte público en la ciudad: se trabajó con información recolectada durante el recorrido de 52 rutas de transporte urbano del área de estudio en julio y agosto de 2024, siendo un total de 3 301 elementos puntuales.
- Unidades de vivienda dentro de un radio de 500 metros de paradas de transporte público: información cartográfica de INEGI del año 2023.
- Número de residentes por unidad de vivienda: información demográfica obtenida de AGEB urbanos del INEGI.
- Datos demográficos para desglose: información demográfica obtenida de INEGI.

Como se puede observar en el listado anterior, la mayor parte de la información con la que se trabajará será obtenida del INEGI, a excepción de la ubicación de las paradas de transporte público, que fueron recolectadas a través del uso de un navegador modelo GPSMAP 64SX marca GARMIN el cual ofrece una precisión de 3.65 metro (+/- 3.66 metros) en la ubicación de acuerdo a sus características y se muestra a continuación:



Fig. 20 Navegador GPS. Fuente: propia

Finalmente, se utilizó información vectorial de las vialidades del área de estudio, correspondiente al año 2023. Esta información fue facilitada directamente por Mapasin en 2024 para su utilización en la presente investigación. Dicha información es representada en la siguiente figura:

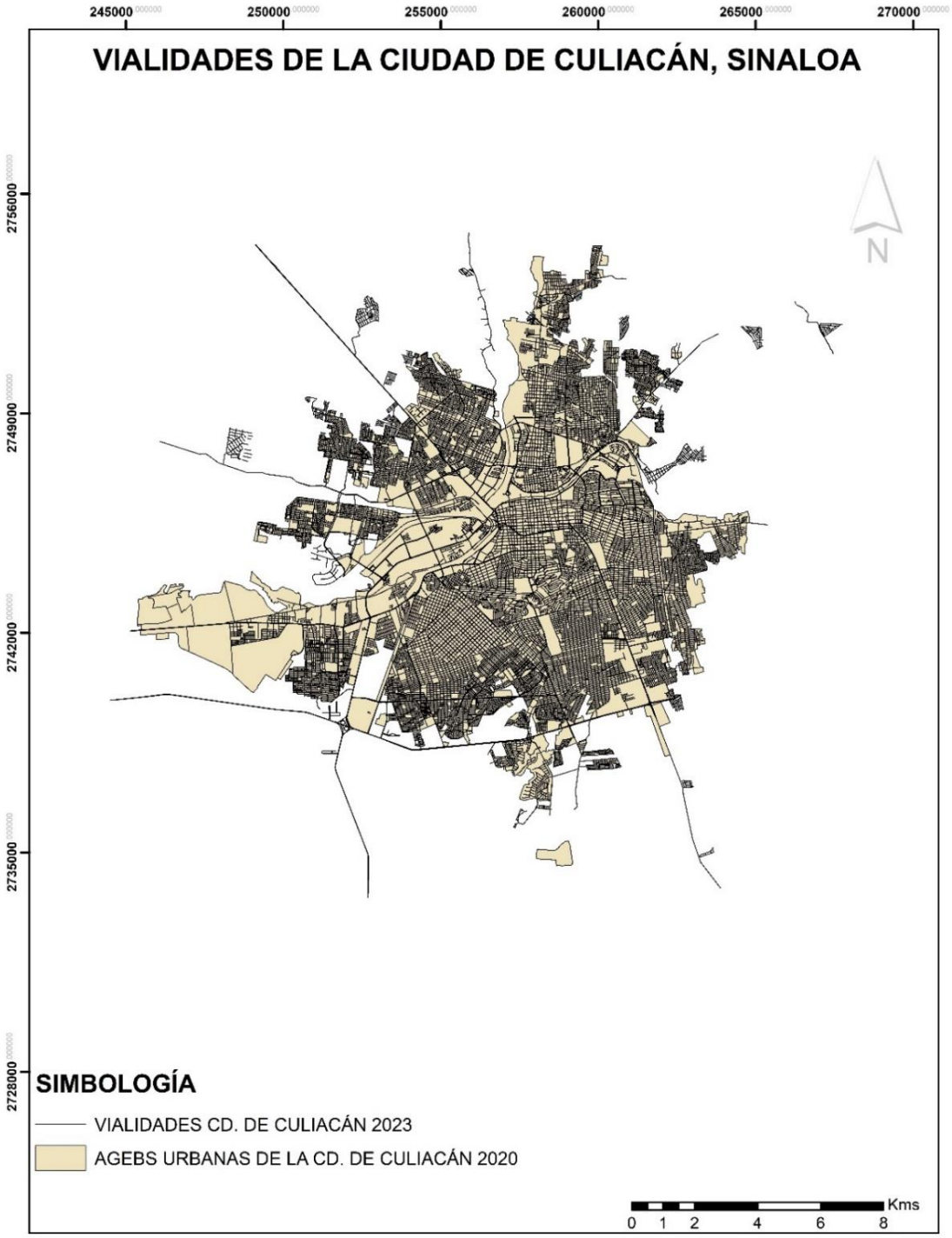


Fig. 21 Vialidades de la ciudad de Culiacán, Sinaloa. Fuente: propia

En adherencia a la información contenida en el documento de ONU-Hábitat (2018), se toma también en cuenta la información que se incluye en el documento de ONU-Hábitat (s.f.), que, si bien no tiene la información sobre el año de su publicación, pareciera ser una actualización del otro documento. En este se explica con mayor detalle los pasos que se deben de seguir para el análisis de este indicador, los cuales se aprecian en la siguiente figura:

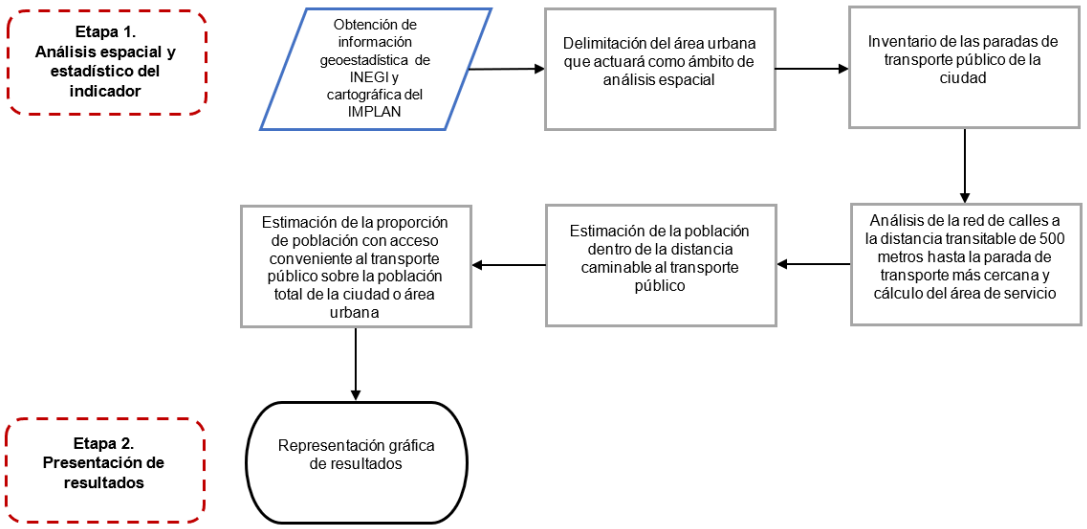


Fig. 22 Metodología para el análisis de la proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad. Fuente: propia con información de ONU-Hábitat, (s.f.)

Los pasos que integran la metodología mostrada en la Fig. 22 se describen a continuación:

- Obtención de información vectorial y geoestadística: se trabajó con cartografía a nivel de AGEB obtenida del INEGI de 2020, la cual cuenta con información demográfica como el número de personas y distintas clasificaciones, unidades de vivienda, vialidades provenientes de Mapasin del año 2023 y el inventario de las paradas de transporte urbano obtenidas en visitas de campo. La información anterior será procesada en ArcMap 10.5

y a continuación, se presenta la visualización de la información vectorial del análisis:

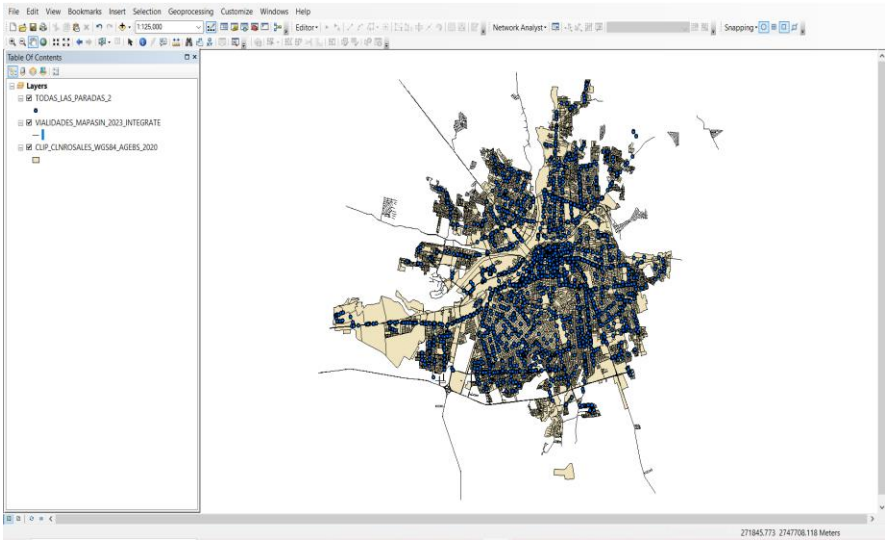


Fig. 23 Procesamiento de información en ArcMap 10.5. Fuente: propia

- Delimitación del área urbana o ciudad que actuará como ámbito de análisis espacial: se tomaron en cuenta los límites espaciales que las AGEB urbanas del área de estudio indican.
- Inventario de las paradas de transporte público de la ciudad o del área de servicio: se cuenta con información espacial de la localización de 3 301 paradas de transporte público del área de estudio.
- Análisis de la red de calles para medir la distancia transitable de 500 metros hasta la parada de transporte más cercana (área de servicio): el análisis de este indicador recomienda utilizar áreas de servicio en lugar de zonas de influencia (*buffers*). De acuerdo a Morang (2016), estas últimas tienden a sobreestimar drásticamente el área cubierta por una línea de transporte (tratándose de un *buffer* aplicado a una vialidad cuya representación es una línea), mientras que aplicar un *buffer* para crear zonas de influencia circulares resulta ser un poco mejor que el lineal, pero no excelente, generando también la sobreestimación del área dentro de una caminata corta de cada parada. Para mitigar lo anterior, la utilización de la herramienta de área de servicio se

considera la mejor opción. Estas son también conocidas como polígonos de tiempo de conducción (*drive time polygons*) o polígonos de distancia a pie y muestran el área accesible desde una determinada ubicación dentro de un límite de tiempo o distancia, por lo que su aplicación alrededor de cada parada de transporte público brinda una estimación con mayor precisión del área en la que incide el sistema de transporte.

Para Esri (2021), el área de servicio es una región que abarca todas las calles accesibles que se encuentran dentro de una distancia específica.

ONU-Hábitat (s.f.), recomienda definirlas mediante el uso de SIG y su herramienta de análisis de red (*Network Analyst*), permitiendo con esto reflejar de una forma más realista la configuración de la red de calles y el reconocimiento de los limitantes de accesibilidad al transporte público. Su aplicación será a cada parada de transporte para posteriormente fusionar todas las áreas de servicio resultantes y crear un polígono de área de servicio continuo.

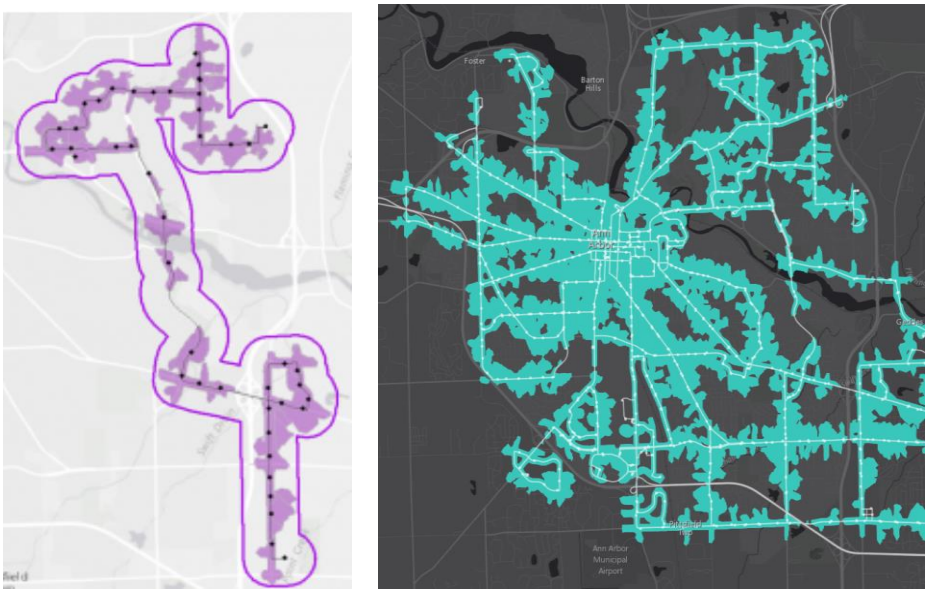


Fig. 24 a) *Buffer* aplicado a vialidades, b) Áreas de servicio de un sistema de transporte. Fuente: Morang, (2016)

En una primera etapa de este análisis se aplicó la herramienta para la delimitación del área de influencia (*buffer*) al archivo de las paradas de transporte, con el objetivo de tener una referencia y, posteriormente, comparar el umbral de influencia resultante con el área de servicio.

Durante el proceso del análisis de esta última fue necesario crear elementos como la base de datos geográfica, conjunto de clases de entidad y el conjunto de datos de red (*geodatabase, feature dataset* y *network dataset*), estableciendo especificaciones como la asignación de su nombre, modelado de giros en la red vial o no, consideración de elevaciones y direcciones de manejo. Para este caso, las configuraciones se enfocaron a trayectos caminando.

Una vez realizados los pasos anteriores, se señala que el archivo .shp de vialidades es identificado como una red, lo cual permitió la aplicación de la herramienta de nueva área de servicio (*New Service Area*), pues esta calcula su área por red y no de forma lineal. Para su configuración fue necesario cargar el archivo de las paradas de autobuses a la carpeta de instalaciones (*Facilities*) y después se especificaron parámetros en su configuración como la distancia del análisis (500 metros), con lo cual fue posible obtener el polígono correspondiente al área de servicio.

- Estimación de la población dentro de la distancia transitable al transporte público: se realizó superponiendo los datos demográficos con las áreas de servicio previamente establecidas, esto en SIG. Además, se toma en cuenta la igualdad dada por la siguiente ecuación, en donde un área de servicio es representada como i, esta se cruza de forma total o parcial con más de una zona de población j $(j=1...J)$. La población que resulta ser la atendida por el transporte público en el área de servicio i, P_i, es entonces igual a la suma de la población de todas las zonas de población que se cruzan con las áreas de servicio creadas, representándose como P_{ij}.

$$\boldsymbol{P_i} = \sum_{\boldsymbol{j=1}}^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{P_{i_j}} \qquad \text{Ec. (5)}$$

- Estimación de la proporción de población con acceso conveniente al transporte público sobre la población total de la ciudad o área urbana: mediante la aplicación de la siguiente ecuación, la cual considerará valores previamente estimados con respecto a la población total de la ciudad.

$$\text{Proporción de la población con acceso conveniente al transporte público (\%)} = \left[\frac{\text{Población con acceso conveniente al transporte público}}{\text{Población de la ciudad}}\right] \text{x } 100 \qquad \text{Ec. (6)}$$

- Estimación de domicilios dentro del área de servicio: se realizó a partir de la delimitación previa del área de servicio y la superposición a esta de la capa vectorial correspondiente a los domicilios del área de estudio (correspondiente al año 2023 y con un total de 292 274 domicilios registrados), con el propósito de identificar aquellos que se encuentran contenidos dentro de los límites establecidos, obteniendo una base cuantitativa y espacialmente explícita que complementa la evaluación de la cobertura y accesibilidad.
- Representación gráfica de los resultados: los valores numéricos obtenidos se representaron cartográficamente para una mejor visualización de estos en el área de estudio.

6.3. Resultados del análisis del indicador proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público, desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad

En este apartado se presentan los resultados derivados de la aplicación de la metodología previamente descrita para el análisis del indicador 11.2.1. Los resultados se estructuran a partir de un enfoque espacial que permite evaluar la distribución territorial del acceso al transporte público y sus diferencias entre grupos poblacionales. En este sentido, el análisis se apoya principalmente en la elaboración de mapas, los cuales representan de manera visual la cobertura del servicio y su accesibilidad a la población y domicilios del área de estudio.

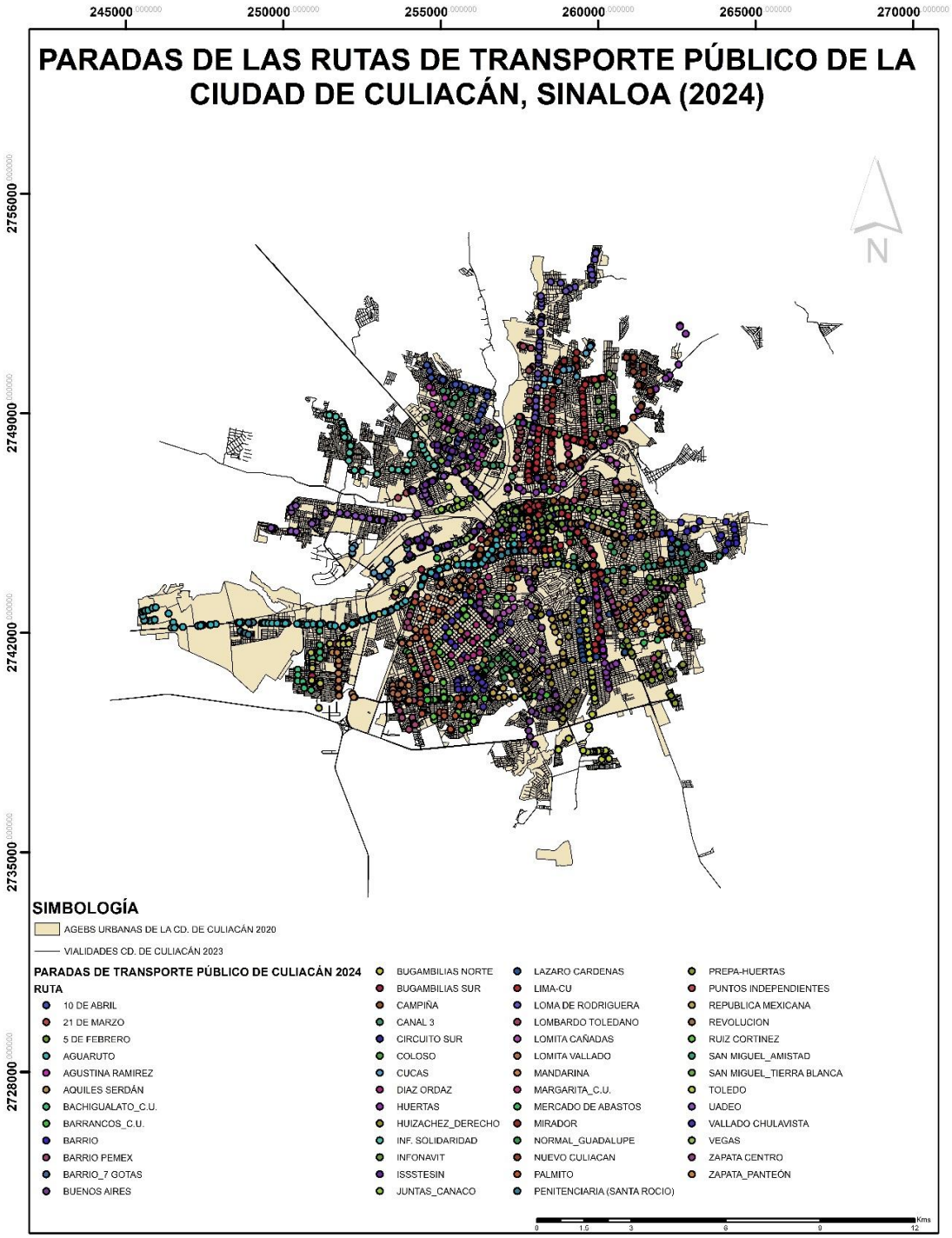


Fig. 25 Paradas de transporte público de la ciudad de Culiacán, Sinaloa.

Fuente: propia

En la Fig. 25 se presenta la localización geográfica de todas las paradas de transporte público registradas en la ciudad de Culiacán. La representación cartográfica permite visualizar con precisión la distribución espacial de las paradas, identificando tanto las zonas con alta densidad de puntos de parada como aquellas áreas donde la presencia del transporte público es escasa o nula.

En términos generales, se observa que Culiacán cuenta con una distribución normalizada de paradas de transporte público, especialmente en zonas centrales. En algunos sectores es posible observar solapamiento entre varias paradas, lo que indica que distintas rutas de transporte comparten tramos similares durante su recorrido. Esta superposición no es casual, sino que responde a patrones de movilidad urbana donde las rutas convergen en vías con alta demanda, ya sea por temas de densidad poblacional, la presencia de centros educativos, hospitales, zonas comerciales o espacios laborales. Además, el mapa permite identificar zonas de baja cobertura, en las cuales el transporte público podría resultar insuficiente para atender las necesidades de movilidad de los habitantes. Estas áreas representan oportunidades clave para mejorar la planeación del sistema de transporte urbano, a fin de garantizar una mayor equidad en el acceso. En conjunto, este mapa no solamente ilustra la ubicación de las paradas de transporte público, sino que constituye una herramienta valiosa para el análisis del acceso, cobertura y eficiencia del sistema de transporte público en Culiacán, así como para la toma de decisiones en futuras intervenciones de movilidad urbana.

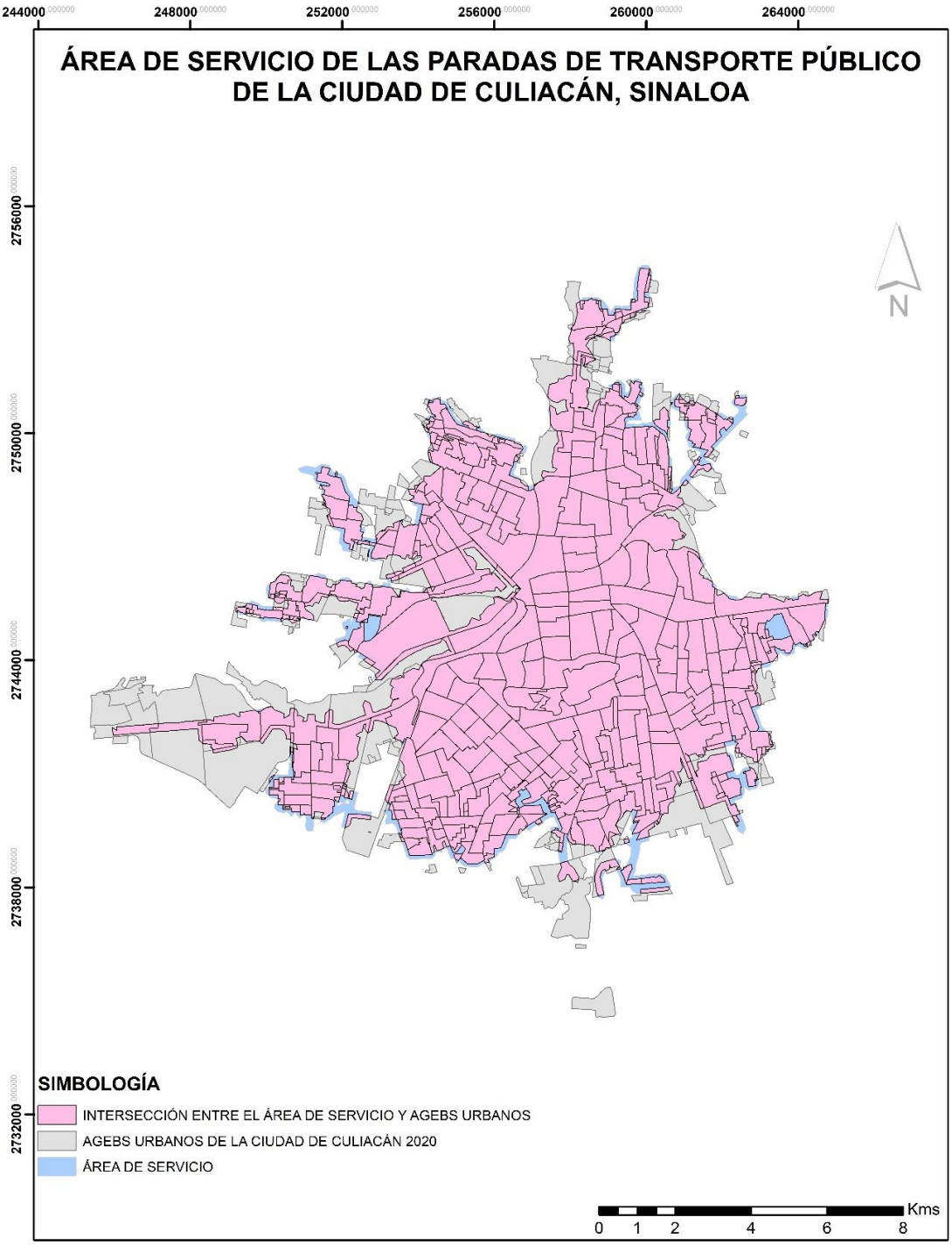


Fig. 26 Área de servicio de las paradas de transporte público en la ciudad de Culiacán, Sinaloa. Fuente: propia

En la Fig. 26 se aprecian los resultados del análisis previamente descrito en esta sección y muestra la cobertura territorial del sistema de transporte público de la ciudad de Culiacán, a partir de la localización de sus paradas con un radio de servicio de 500 metros. El área sombreada en color azul representa la zona de cobertura del transporte público, es decir, aquellos espacios urbanos que se encuentran a una distancia máxima de 500 metros desde cualquier parada de transporte público registrada en el año 2024. Por otro lado, las zonas de color gris representan las AGEB que no se encuentran cubiertas por el área de servicio, lo cual revela la existencia de zonas de la ciudad fuera del alcance inmediato del transporte público y que se encuentran principalmente en sectores periféricos y zonas de reciente urbanización de la ciudad, lo cual sugiere la necesidad de ampliar la red de transporte público o de reubicar estratégicamente sus paradas para garantizar una mayor equidad territorial. Finalmente, las zonas en color rosa indican las AGEB que intersectan con el área de servicio, lo cual implica que la población que ocupa estos espacios tiene acceso a las paradas de transporte público en la distancia máxima de 500 metros deseada. En conjunto, la figura anterior permite la identificación de desigualdades espaciales con respecto al acceso con base en la distancia deseable para llegar a ellas en Culiacán. Si bien gran parte del área urbana se encuentra dentro de la cobertura (color rosa), persisten zonas sin acceso dentro del rango de 500 metros. Este tipo de análisis representa una herramienta clave para la planificación urbana orientada a la movilidad sostenible y a la mejora de la conectividad para la población.

Con la finalidad de reforzar el resultado anterior, se prosiguió con el análisis espacial de la cantidad de domicilios que se posicionan dentro del área de servicio previamente obtenida, para lo cual fue necesario trabajar con esta capa y el archivo de los domicilios geográficos del INEGI que datan del 2023 y son un total de 292 274.

Analizando la tabla de atributos de la capa creada durante la intersección de la información, resulta un total de 254 882 domicilios, es decir que el 87.21% de los domicilios de la ciudad de Culiacán se encuentran a una distancia caminable no

mayor a los 500 metros de las paradas de transporte público, confirmando así, que la mayor parte de la población se encuentra a una distancia accesible a estas. Este porcentaje es altamente significativo, ya que evidencia un nivel de cobertura espacial amplio por parte del sistema de transporte, lo que sugiere condiciones favorables de accesibilidad urbana en términos de proximidad física. En consecuencia, se muestra un mapa que permite la visualización de dichos resultados:

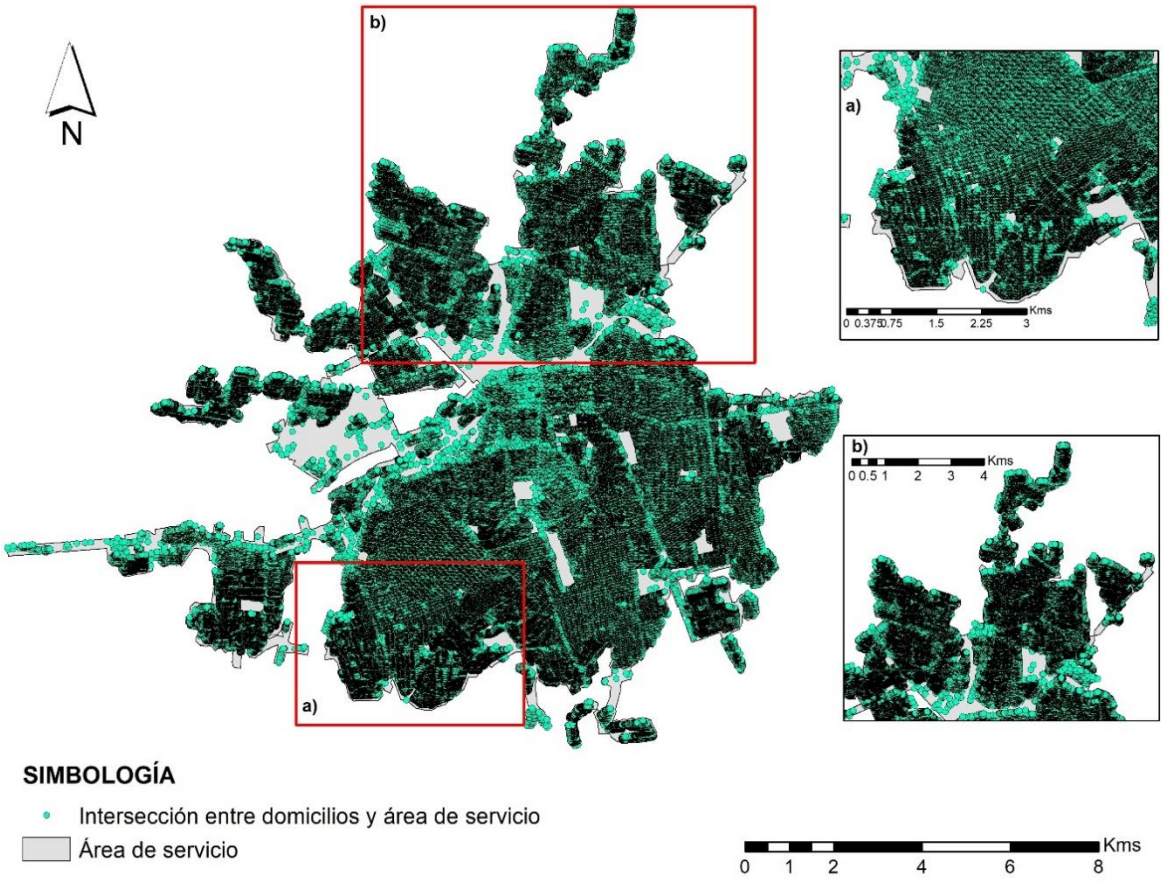


Fig. 27 Intersección entre domicilios y área de servicio. Fuente: propia

En la Fig. 27 muestra la distribución espacial de los domicilios (puntos en color verde) que se encuentran dentro del área de servicio resultante (polígono gris). A nivel general, se observa una alta concentración de domicilios dentro del área de servicio, lo que sugiere una amplia cobertura del acceso a las paradas de transporte

público desde ellos. En los recuadros señalados como a) y b) se aprecian con mayor detalle la dinámica del área de estudio, distinguiendo la densidad de domicilios y la forma en la que el área de servicio se ajusta a la estructura urbana, destacando tanto zonas de inclusión como sectores donde la cobertura es más limitada o fragmentada. Sin embargo, es importante señalar que, a pesar de la cobertura espacial que se visualiza en el mapa, la existencia de un elevado número de domicilios dentro del área de servicio no necesariamente se traduce en un uso efectivo del transporte público por parte de la población, por lo cual se determina que el acceso físico constituye solo una de las dimensiones de accesibilidad, por lo que es necesario considerar otros factores como la calidad del servicio, la frecuencia, conectividad, la seguridad, percepción del usuario, etc.

6.3.1. Cálculo del indicador proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público, desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad

A partir de la información demográfica comprendida en el área de intersección resultante del proceso metodológico anteriormente mencionado en este capítulo, se determinó que 793 960 habitantes cuentan con acceso conveniente al transporte público. Esta cifra representa el 98.21% de la población total del área de estudio (808 416 habitantes, de acuerdo con la cartografía de las AGEB urbanas de INEGI correspondiente al año 2020), lo que evidencia que la mayoría de la población se localiza a una distancia máxima de 500 metros de una parada de transporte público, conforme al criterio establecido por ONU-Hábitat (2018).

El resultado anterior representa un nivel de cobertura excepcionalmente alto en términos de accesibilidad territorial, evidenciando una estructura urbana en la que la localización de las paradas de transporte logra abarcar prácticamente la totalidad del tejido de la ciudad, favoreciendo la integración espacial de la población con el sistema de movilidad. En este sentido, la proximidad generalizada al transporte público no solo implica una ventaja en términos de conectividad, sino que también sugiere un potencial significativo para la reducción de desigualdades en el acceso de oportunidades urbanas, tales como empleo, educación y servicio. No obstante, si bien la cobertura espacial resulta ampliamente satisfactoria, este resultado invita a profundizar en aspectos cualitativos del servicio, como la frecuencia, capacidad y calidad del transporte, los cuales son determinantes para consolidar una accesibilidad efectiva más allá de la cercanía física.

Ahora bien, el indicador señala que los resultados deberán agruparse por sexo, edad y personas con discapacidad, por lo que a continuación, se muestran los resultados:

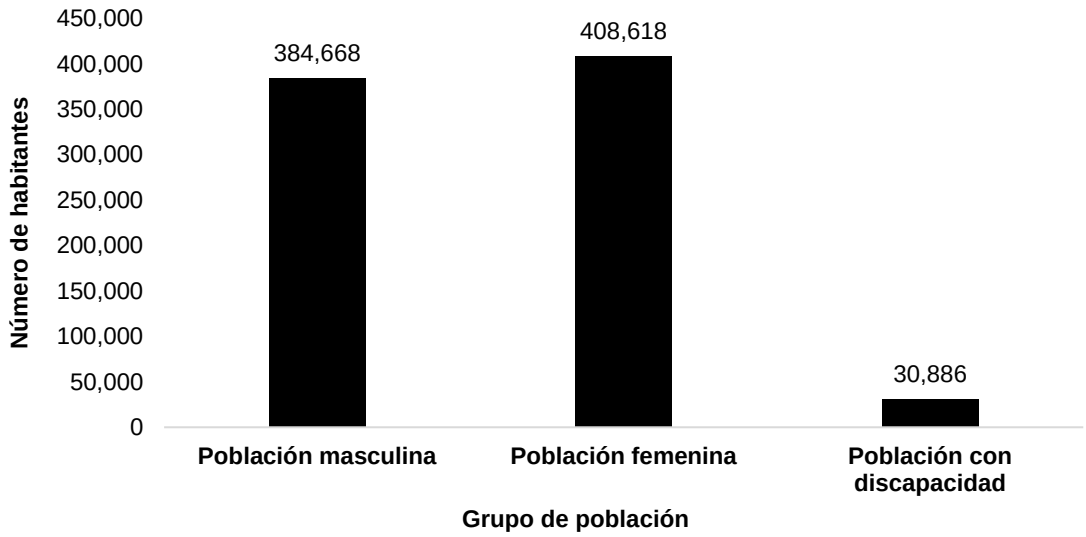


Fig. 28 Población que se encuentra a una distancia máxima de 500 metros para acceder al transporte público del área de estudio. Fuente: propia

La Fig. 28 presenta la distribución de la población comprendida a una distancia máxima de 500 metros de una parada de transporte público en el área de estudio, clasificada por sexo y condición de discapacidad. Se observa que son 408 618 mujeres y 384 668 hombres, reflejando una buena accesibilidad general al transporte público, con una ligera mayoría de mujeres beneficiadas. Asimismo, se identificaron 30 886 personas con discapacidad dentro del radio de estudio, lo cual es un dato relevante para el análisis de accesibilidad universal y en términos de inclusión, más no así con la garantía de un diseño adecuado para esta población, por lo que es importante asegurar que la infraestructura del transporte sea físicamente adecuada y funcional para las personas con discapacidad. En conjunto, estos resultados permiten evaluar no solo la cobertura espacial del transporte público, sino también su equidad social, considerando variables clave como el sexo y la discapacidad.

Con respecto a la edad de las personas que se encuentran en el área de servicio, se presenta la siguiente figura:

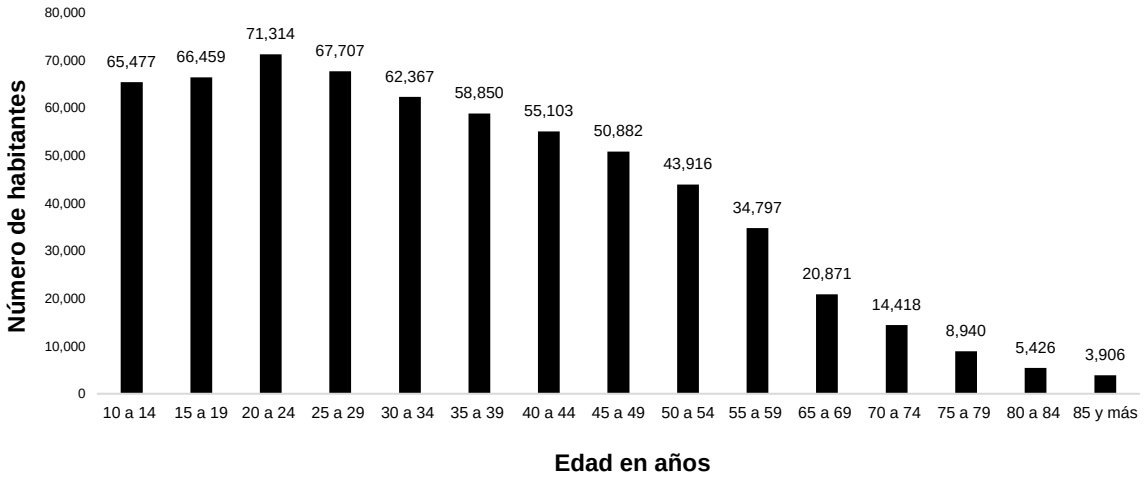


Fig. 29 Población con acceso al transporte público a una distancia máxima de 500 metros clasificada por edad. Fuente: propia

En la Fig. 29 se observa la distribución de la población que se encuentra a una distancia máxima de 500 metros de las paradas de transporte público, clasificada por grupo etario. Es posible determinar que aquellos con mayor presencia en la figura se encuentran entre los 10 y los 29 años, destacando especialmente el rango de 20 a 24 años con un total de 71 314 habitantes, mientras que a partir de los 30 años, la cantidad de personas presenta una disminución progresiva, hasta llegar a los grupos de edad más avanzada (a partir de los 65 años), en donde se presentan cifras considerablemente menores.

La distribución de esta figura sugiere que los sectores más jóvenes de la población analizada se encuentran con mayor proximidad a las paradas de transporte público de Culiacán, hecho que puede estar vinculado a patrones de localización residencial o a la demanda de movilidad cotidiana.

Es importante destacar que la suma de los valores mostrados en las figuras anteriores no necesariamente coincide con el valor absoluto previamente mencionado de 793 960 habitantes. Esto se debe a que el INEGI, por razones de confidencialidad y protección de los informantes, asigna valores negativos a las AGEB urbanas con cifras muy bajas. Esta práctica responde a disposiciones legales

que prohíben la publicación de datos originales que podrían conducir a la identificación de personas o viviendas.

6.4. Conclusiones del análisis de este indicador

El análisis geoespacial realizado en Culiacán revela que el 98.21 % de la población y el 87.21 % de las viviendas se encuentran a una distancia máxima de 500 metros de una parada de transporte público. Este hallazgo representa una alta cobertura espacial que contrasta significativamente con el registro de únicamente 38% de viajes realizados mediante el transporte público en 2015, por ello, se puede concluir en que, a pesar de que exista una alta cobertura espacial no necesariamente significa que exista un uso efectivo del transporte público, por ello se recomienda profundizar el análisis mediante la incorporación de variables complementarias que permitan comprender de manera integral las razones detrás del bajo uso del transporte público, a fin de orientar estrategias más efectivas hacia una movilidad urbana sostenible.

Por otro lado, los bajos valores de población registrados dentro del área de estudio (específicamente en los grupos de personas con discapacidad y adultos mayores), coinciden con lo señalado por Park y Chowdhury (2018), quienes destacan resultados de diversos estudios en donde son precisamente estos grupos de personas los que se enfrentan a distintas dificultades para el acceso al transporte en las estaciones, interviniendo limitantes topográficas y otras barreras ambientales en la cadena de transporte, además de considerar las características del diseño de los vehículos y de las estaciones con escasa preparación para adaptarse a las limitaciones físicas o cognitivas de las personas con discapacidad, lo cual frecuentemente les impide el uso del transporte público.

El acceso adecuado a las paradas de transporte público constituye un elemento clave dentro de la experiencia de viaje, pues condiciona la posibilidad de utilizarlo. En este sentido, Mavoa et al., (2012), destacan que los estudios relacionados al acceso a las paradas de transporte público son importantes dado a que llegar a estas es un componente fundamental del viaje. Por otra parte y, desde el enfoque de la justicia social, Harvey (1973), subraya que generalmente la accesibilidad y la proximidad son características importantes de cualquier sistema urbano y que el

acceso a oportunidades de empleo, recursos y servicios sociales son posibles de obtener a cambio de un precio, como el coste de la distancia y el uso del tiempo.

Bajo este contexto, el análisis geoespacial realizado en la ciudad de Culiacán permite identificar cómo las condiciones de accesibilidad al transporte público influyen en las oportunidades de desplazamiento de la población hacia distintos destinos que forman parte de su vida cotidiana, tales como servicios, centros de trabajo, instituciones educativas y otros espacios de interés urbano. Aunque la mayoría de las viviendas se ubican a menos de 500 metros de una parada de transporte público, seguramente no todas gozan del mismo nivel de conectividad ni eficiencia en los tiempos de traslado, es decir que la equidad en la movilidad urbana no se limita exclusivamente al componente espacial. Si bien la cercanía es una condición necesaria, no es suficiente. La justicia en el transporte también necesita considerar otros aspectos como la seguridad, la frecuencia del servicio, el costo, el tiempo de traslado y la calidad de la experiencia del usuario, por lo cual se recomienda complementar el análisis geoespacial con una evaluación multidimensional del servicio para captar mejor las brechas existentes.

Desde el punto de vista metodológico, el empleo de áreas de servicio sobre la red vial representó una ventaja frente a aproximaciones basadas en distancias euclidianas, al proporcionar una estimación más cercana a las condiciones reales de desplazamiento peatonal. Sin embargo, esta aproximación continúa siendo una representación simplificada de la movilidad urbana, ya que no incorpora variables operativas del sistema de transporte ni las características de la infraestructura peatonal que pueden influir en el acceso efectivo al servicio. En este contexto, futuras investigaciones podrían complementar este enfoque mediante la incorporación de información sobre frecuencias de paso, horarios de operación, tiempos de viaje, transbordos, infraestructura para la movilidad activa y percepción de los usuarios, con el propósito de desarrollar evaluaciones más integrales de la accesibilidad al transporte público.

En conjunto, los resultados constituyen una base técnica para orientar la formulación de políticas públicas dirigidas a fortalecer el derecho a la movilidad y apoyar procesos de planificación urbana más equitativos, inclusivos y sostenibles, al tiempo que demuestran el potencial de las técnicas geoespaciales como herramientas para evaluar y dar seguimiento a los ODS a escala local.

CAPÍTULO VII: INDICADOR PROPORCIÓN PROMEDIO DEL ÁREA CONSTRUIDA DE LAS CIUDADES QUE ES ESPACIO ABIERTO PARA USO PÚBLICO PARA TODOS, POR SEXO, EDAD Y PERSONAS CON DISCAPACIDAD

7.1. Descripción del indicador proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad

Reconocido también como el ODS 11.7.1, el indicador de la proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad busca contribuir al desarrollo de las ciudades y comunidades sostenibles.

Como se ha mencionado, la problemática que resulta de la acelerada urbanización en las ciudades del mundo requiere de estrategias de planificación. Subirats et al., (2012), mencionan que las ciudades que tienen la intención de dirigirse hacia la sostenibilidad urbana son las que realizan cambios en su funcionamiento, como la reducción de recursos externos que emplean, mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes enfocándose en aspectos como ingresos, vivienda, acceso y espacios públicos. Por su parte, Achoy (2008), secunda esta información determinando que la ciudad como conjunto socio-espacial necesita de una planeación urbana capaz de integrar elementos naturales, sociales, políticos y económicos para conducirla hacia la sustentabilidad. Mientras tanto, el IMPLAN (s.f.), menciona que para lograr que una ciudad sea saludable se necesitan llevar a cabo un conjunto de acciones que garanticen una buena gestión en diversos aspectos como el manejo eficiente de residuos sólidos, protección de los recursos naturales y la completa reforestación del lugar y, que en general, el ambiente debe de ser cuidado y protegido, por lo que en los planes de desarrollo urbano de Culiacán es esencial la implementación de programas para estos fines.

De acuerdo a ONU-Hábitat (2020), este indicador se incluye en el tema de espacios abiertos y áreas verdes y declara que contar con un sistema distribuido de forma óptima y jerárquica de espacios públicos abiertos en conjunto con una red de calles

desarrolladas de la manera correcta, aumentan la conectividad, haciendo posible promover interacciones sociales que ofrecen una mejor calidad de vida a los habitantes de una ciudad. Este proceso busca además garantizar la equidad en la distribución de dichos espacios, contribuyendo con la habitabilidad urbana y promoviendo a su vez poblaciones urbanas saludables.

En definitiva, los conceptos de espacios abiertos y áreas verdes son fundamentales en el análisis de las ciudades, sin embargo, su definición no es un trabajo sencillo, ya que, como Mazari (1999) señala, estos términos son generalmente interpretados como sinónimos, aunque su significado no es el mismo e incluso se agrega el término de espacio natural en esta confusa interpretación conceptual.

7.1.1. Espacios abiertos

El concepto de espacio abierto (EA), es resultado del desarrollo de la sociedad contemporánea que lo define como un espacio no cubierto cuyas características permiten hacer clasificaciones en dependencia de las mismas, por ejemplo, el material de su construcción, su uso y su función (Mazari, 1999). Otra definición es la proporcionada por Maruani y Amit-Cohen (2007), quienes los señalan como espacios característicos por tener un bajo nivel de intervención en contraste con ambientes que han sido construidos.

Mazari (1999), determina que el estudio del desarrollo de los espacios abiertos es un claro indicador de la conducta social, mediante el cual es posible revelar la modificación de paradigmas culturales y comprender su transformación morfológica y funcional.

Si se analiza este concepto a partir del enfoque de la ecología del paisaje, estos espacios se reconocen como estructurales para el territorio regional, que tienen la capacidad de cumplir distintas funciones: ecológicas, agrícolas, forestales y de recreación. Anteriormente, se mencionó la confusión entre el empleo de las terminologías de espacios abiertos y áreas verdes, que si bien, no son lo mismo, se reconoce el hecho de que en los espacios abiertos se encuentran incluidos corredores verdes y grandes parques urbanos (Ríos, 2012), confirmando la estrecha relación que ambos conceptos tienen entre ellos.

Desde el punto de vista arquitectónico, los espacios abiertos pueden ser considerados manifestaciones culturales y formas de expresión humana, así como obras artísticas y documentos históricos que pueden provocar experiencias sensoriales en las personas que se relacionan con ellos. Estos espacios pueden también ser construidos, de ser así serían el resultado de la combinación de distintos factores, destacando el trabajo realizado entre la naturaleza y el hombre para hacerlos posible, también intervendrían las necesidades y deseos de la sociedad que estuvo involucrada en el proceso de construcción, en un ambiente físico e histórico establecidos, convirtiéndose en un reflejo cultural de dicha sociedad que deberá ser valorada y conservada debido a su importancia ambiental, histórica y social. (Suárez, 2016)

Pascual y Peña (2012), señalan que en los espacios abiertos es posible llevar a cabo distintas actividades, mismas que son posibles de realizar en distintos tipos de inmuebles. Aún con discrepancias en el uso de las terminologías, coinciden en que los espacios abiertos favorecen a las áreas urbanas, contribuyendo exponencialmente en tres esferas de la sustentabilidad urbana: el aspecto social, ambiental y económico. Por su parte, Miyasako (2009), indica que estos espacios son todo aquello que no cuenta con una construcción encima, pero que, de manera simultánea, acepta designaciones de verdes cuando están plantados y que además pueden contener algún elemento ornamental como una arboleda o una fuente. ONU-Hábitat (2020), concuerda con Miyasako (2009), al señalar que un espacio público abierto se trata de cualquier terreno que no esté urbanizado o bien, sin edificios o estructuras construidas que sea accesible al público sin cargo alguno y que a su vez proporcione áreas recreativas para los residentes y contribuya a mejorar la belleza y calidad ambiental de los vecindarios.

Sin duda alguna, estos espacios poseen un significado importante dentro de la sociedad, atendiendo necesidades de la misma y ofreciéndole significados distintos, por lo que Mazari (1999) exhorta a que se reconozca su valor para que realmente sean parte del bagaje cultural de una ciudad y que su uso y evolución no se

encuentren limitados en dependencia a las cualidades de su forma, función y significación.

7.1.2. Clasificación de espacios abiertos

Todas las actividades humanas requieren de un espacio con los atributos adecuados para su eficaz desempeño, por lo que en todas las poblaciones existen espacios privados y espacios públicos, individuales y sociales, siendo históricamente los espacios en los cuales se han desarrollado distintas funciones. (Mazari, 1999)

La consulta de la literatura permite determinar que la clasificación de los espacios abiertos mediante un criterio único no es sencilla, ya que distintos autores tienen su propia clasificación, por ejemplo, Ríos (2012), menciona que las funciones de estos pueden ser del tipo ecológico, agrícola, forestal y/o de recreación y determina la existencia de espacios abiertos formales e informales.

Por otro lado, para Cranz (1981), los espacios abiertos formales hacen referencia a las áreas verdes urbanas, mismas que tienen sus bases en el higienismo y la salud pública y fueron considerados una solución a los problemas relacionados con el modo de vida urbano, mala calidad del aire y la pérdida del paisaje. Mientras que para Ríos (2012), los espacios abiertos informales son fenómenos que se manifiestan en todo el mundo, tanto en ciudades que se encuentran creciendo, o no.

Otra clasificación es la que proporciona Pascual y Peña (2012), quienes indican que los espacios públicos han evolucionado conforme lo hicieron la sociedad y la ciudad, siendo un reflejo de los cambios históricos. Ellos dan a conocer que la definición más conocida del uso de los espacios abiertos urbanos se desarrolló hace treinta años por O. Newman, con la siguiente categoría:

- Espacio público: son componentes que determinan la funcionalidad y las formas de vida dentro de una ciudad, permiten la conexión de un punto a otro de la ciudad y la percepción de lo urbano.

- Espacio semipúblico: podrían incluirse aquellos espacios que tienen un horario limitado al público o bien, que sean utilizados por grupos individuales.
- Espacio semiprivado: incluyen los espacios que son utilizados por un número limitado de personas, en donde el público general no tiene acceso.
- Espacio privado: Pascual y Peña (2012), indican que posiblemente este espacio sea el más fácil de comprender y que lo conforman los jardines individuales en las viviendas.

UN-Habitat (2020), se aproxima a este tema, mencionando que los espacios públicos abiertos varían de acuerdo a las ciudades, sin embargo, enlista algunos de ellos considerando que son las variaciones más comunes y aceptadas del espacio público abierto. Por ejemplo, de acuerdo a las superficies blandas o duras que puede haber en una ciudad, los espacios públicos abiertos se clasifican en las siguientes categorías:

- Espacios abiertos nacionales/metropolitanos.
- Espacios abiertos regionales/ciudades más grandes.
- Espacios abiertos de distrito/ciudad.
- Espacios abiertos de vecindarios.
- Espacios abiertos locales/de bolsillo.
- Espacios abiertos lineales.

En cambio, si se clasificaran los espacios públicos abiertos por su tipología, la UN-Habitat (2020), reconoce los siguientes:

- Áreas públicas verdes.
- Reservas ribereñas.
- Parques y bosques urbanos.
- Parque infantil.

- Plazas.
- Malecones.
- Cancha deportiva.
- Jardines comunitarios.
- Parques de bolsillo (parques a pequeña escala disponibles para el público en general).

El documento de UN-Habitat (2020), también señala la necesidad que existe por revisar y ampliar la proporción de suelo destinado a estos espacios, en la búsqueda por hacerlos más eficientes, prósperos y sostenibles, ante la rápida urbanización incontrolada que se ha manifestado en muchas ciudades del mundo, siendo esto un justificante ideal para su estudio en esta investigación.

Para el caso de México, la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021 que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación (2022), utiliza el concepto de espacios públicos y los clasifica de acuerdo a su función, administración y por la escala de servicio que brinda. Por ejemplo, en los espacios públicos de la primera clasificación se consideran los siguientes:

- Con función de su equipamiento público: áreas verdes urbanas (parques, jardines y huertos, plazas y explanadas, espacios deportivos, miradores y espacios abiertos en el equipamiento público).
- Con función de infraestructura: se trata de los espacios que, por su diseño y características constructivas, proveen funciones imprescindibles de conexión y traslado para que las personas desarrollen sus actividades como las vías urbanas y de los frentes marítimos y fluviales. En las primeras se incluyen vías peatonales, vías terciarias, vías secundarias y vías primarias, mientras que en los segundos son reconocidos los muelles y malecones.
- Con función de áreas naturales: contribuyen a la dotación de servicios ambientales en el lugar donde se encuentran, proporcionando beneficios a sí mismos y a la población cercana.

- Por su administración: depende de la naturaleza del organismo encargado de la administración del espacio en cuestión y son los de administración federal, estatal, municipal, metropolitana y administración público-privada (APP).
- Por la escala de servicio brindada: indican el área de influencia que tiene un espacio público resultado de su oferta en área, servicios y equipamiento. Esta clasificación será abordada en el apartado de la proximidad de población a espacios abiertos, ya que los parámetros que se incluyen es esta clasificación, serán considerados durante la aplicación de la metodología.

7.1.3. Áreas verdes

La presencia y relevancia de las áreas verdes (AV) en la humanidad ha sido posible de apreciar con el tiempo. Se tienen indicios de que a inicios del siglo XX estos espacios comenzaron a integrar sus funciones y a fungir como espacios de recreación y esparcimiento en el interior de las ciudades, debido a la reducción de jornadas laborales que se llevaron a cabo en ese período, lo cual proporcionó mayor tiempo libre a los trabajadores. Posteriormente, a mediados del mismo siglo, el concepto de área verde evoluciona a ser considerado un espacio con la capacidad de proveer beneficios para la salud mental, el deporte, recreación, descanso y estética, por último, a finales del siglo XX empiezan a imperar las funciones recreativas y ambientales de estos espacios dirigiéndose hacia un concepto de plurifuncionalidad. (Ríos, 2012)

La conceptualización del término de áreas verdes resulta, así como el de espacios abiertos, algo complejo de determinar, dado a los diversos significados que se les asigna. Miyasako (2009), coincide con esto al señalar que las áreas verdes han sido denominadas de muchas formas a lo largo de la historia, lo que ha provocado que su importancia no se concrete, por lo que estos deberían de tener una única definición para facilitar su identificación y trabajar en su protección, manejo y permanencia.

El IMPLAN de Culiacán (2007), define las áreas verdes como todas aquellas superficies que están compuestas por árboles, pasto, plantas, arbustos y ornamentos.

Para Morales et al., (2018), las áreas verdes son espacios esenciales mediante los cuales es posible fomentar la convivencia, el deporte, la socialización y la recreación, además de que pueden tomarse en cuenta como un elemento importante en el concepto de sostenibilidad en el aspecto urbano.

De acuerdo a Ojeda y Espejel (2014), las áreas verdes se consideran infraestructura y no únicamente un servicio, pues forman parte de las construcciones y obras que se llevan a cabo durante el desarrollo urbano, pasando a ser espacios tan importantes como una casa habitación o un puente, considerándolos incluso indicadores de calidad de vida de los habitantes de las ciudades.

El Gobierno de México (2018), reconoce que en el país es común ver una planeación urbana inadecuada que genera un crecimiento desordenado y áreas verdes vulnerables. Para este organismo las áreas verdes son espacios urbanos con funciones importantes, tales como proporcionar oxígeno, regular la temperatura e incrementar la biodiversidad, reducción de estrés y depresión, entre otras más. Para que esto sea posible, entre otras cosas, es necesario tomar en cuenta lineamientos definidos por organismos mundiales como la OMS, quienes señalan la necesidad de que se destinen al menos $16m^2$ de áreas verdes por habitante de una ciudad para garantizar su bienestar, convirtiéndose este en un parámetro mediante el cual será posible medir la calidad de vida proporcionada por este indicador en el análisis que se busca realizar en este trabajo.

En el aspecto exclusivamente urbano, se tiene el concepto de áreas verdes urbanas definidas por la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA, 2002), como espacios urbanos o de la periferia que se encuentran ocupados por árboles, arbustos, herbáceas y otras plantas que no son leñosas y cuyos usos son variados, como el esparcimiento, recreación, ornamentación y recuperación del entorno. Por su parte, la Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (2023), señala que estas áreas verdes urbanas (AVU) son espacios que ayudan a mejorar la

imagen urbana y de otros aspectos de una ciudad, como es el aumento de la cobertura vegetal y arbolado, disminuir contaminantes en la atmósfera y minimizar efectos que el cambio climático tiene sobre esta.

Una definición más amplia de este concepto es la proporcionada por Sorensen et al., (1998), para quienes las AVU se encuentran constituidas por parques, jardines, camellones, glorietas, áreas naturales y deportivas y los panteones que se encuentran en una ciudad. Estos elementos han dejado de ser elementos secundarios del paisaje urbano, los cuales, en un inicio, tenían únicamente fines estéticos y recreativos, para que hoy en día se les consideren espacios de gran importancia por la cantidad de beneficios que ofrecen a la sociedad.

Sin duda alguna, los conceptos de AVU, AV y EA se encuentran estrechamente relacionados e incluso su configuración también lo está. Se podría determinar entonces que tanto las áreas verdes como las áreas verdes urbanas, son un tipo de espacio abierto con características particulares y quizás distintivas de otros espacios, que es la absoluta presencia de elementos de vegetación en su configuración, sus funciones serán varias en una ciudad, así como sus beneficios y clasificación.

7.1.4. Beneficios de los espacios abiertos y áreas verdes

Durante la consulta bibliográfica que se ha llevado a cabo para el desarrollo de este apartado, ha sido posible conocer información respecto a la influencia que los EA y AV tienen en las ciudades y en la vida de sus habitantes. Es tanto lo que se menciona acerca de los beneficios de la presencia de estos espacios en distintos aspectos de la vida humana y de las ciudades, que resulta complicado acotar la información, sin embargo, vale la pena mencionar, como punto de partida, el llamado que Mazari (1999) hace en la búsqueda de una planificación adecuada de la integración de áreas verdes y espacios inertes que conforman la traza urbana de una ciudad y a su estudio.

Contar con un sistema de espacios abiertos urbanos que tengan un buen diseño tiene la capacidad de influir en los índices de comportamientos y mejoramiento de la salud, a su vez, favorecen la educación ambiental y el confort anímico,

proporcionan descanso, la capacidad de realizar actividades deportivas, recreativas y culturales, desarrollando con esto el aspecto social de las personas. (Pascual y Peña, 2012)

La Organización de las Naciones Unidas analiza con detenimiento la relación existente entre estos espacios y la salud sostenible de las zonas urbanas, debido a la importancia que tienen dentro de los ODS y su garantía de alcance. Röbbel (s.f.), en el portal de esta organización, señala que los parques, espacios verdes y los cursos de agua representan un papel importante en la mayoría de las ciudades, debido a que ofrecen soluciones a la repercusión de la rápida urbanización y el bienestar. También menciona que los beneficios sociales y económicos de las AVU son significativos y que deben ser estudiados en un contexto mundial en temas como el cambio climático y otras prioridades de los ODS. De manera general, la autora señala que las AVU proporcionan grandes oportunidades para alcanzar un cambio positivo y desarrollo sostenible en las ciudades, por ejemplo, un espacio verde público que ofrece accesibilidad para caminar y realizar distintas actividades al aire libre suministra una movilidad segura y su acceso a mujeres, niños, personas mayores y grupos demográficos que tienen bajos ingresos, mejorando la igualdad en materia de salud.

Para Matsuoka y Kaplan (2007), los entornos urbanos que brindan contacto con la naturaleza tienen gran valor ya que satisfacen otras necesidades, por lo que habitantes de zonas urbanas de todo el mundo expresan el deseo de estar en contacto con la naturaleza y con otros entornos que permitan recrearse y jugar, además de brindar un sentido de identidad a la ciudad.

Que exista vegetación en calles y parques no contribuye únicamente a que existan espacios saludables para las personas, también generan más servicios ecosistémicos y a distintos grupos faunísticos (Morales et al., 2018). Ríos (2012), complementa esta información al mencionar que los beneficios sociales de las AV nada más tienen la capacidad de ser beneficiosos si son utilizados efectivamente por sus usuarios potenciales, motivo por el cual los factores que condicionan el uso de los espacios abiertos urbanos han sido foco de atención en los últimos años.

Sin duda alguna, los beneficios que las áreas verdes proporcionan a las ciudades son múltiples, destacando los temas de salud, vivienda, integración social, turismo, etc. (Ojeda y Espejel, 2014). En la búsqueda de contar con un listado más preciso, se consideran los tomados en cuenta por Granados (2021), quien trabaja con el término de infraestructura verde y de espacios verdes urbanos para referirse a lo que en esta investigación se tratan como áreas verdes. Su listado se basa en aportaciones de diversos autores y se considera un buen punto de referencia, al estar dirigido a la ciudad de Culiacán, que es la misma área de estudio de este trabajo y se presenta a continuación:

- En la gestión del agua: el agua debería de dejar de ser vista como una preocupación funcional y sanitaria, encontrando su potencial benéfico para aspectos estéticos, sociales y ambientales. Las zonas boscosas ayudan en la reducción de la cantidad de escorrentía y su impacto, la erosión del suelo.
- En la ecología urbana: de acuerdo a McHarg (1969), un ambiente puede ser considerado saludable si está cubierto con al menos el 40% de su área total, por árboles, con base en esta información, la Oficina Regional de la OMS para Europa (2016), menciona que una zona que cuente con mucha vegetación será capaz de proporcionar hábitat para muchas especies. Ayuda también a cambiar la temperatura, el ruido, la luz y la contaminación y contribuye a reducir la pérdida de especies y cambios evolutivos de estas. Otra de las funciones de las áreas verdes en la ecología urbana que menciona McHarg (1969), es en la conectividad con la vida silvestre, mediante la presencia de corredores verdes, que no nada más ofrecen esto, sino protección contra inundaciones y contaminación.
- Beneficios en la salud: el entorno urbano con naturaleza en su diseño ofrece beneficios para la salud mental y física a partir de actividades que se realizan en estos espacios como son las caminatas (Sarkar et al., 2015), reducción en la obesidad infantil (Bell et al., 2008), menores tasas de casos de depresión, ansiedad y estrés (Beyer et al., 2014) y un menor índice de

mortalidad causada por enfermedades respiratorias y cardiovasculares (Villeneuve et al., 2012).

- Beneficios sociales: estudios como el de Beatly (2016), han determinado que las personas expuestas a espacios verdes son más aptas para aprender y trabajar, lo que posteriormente se refleja en beneficios económicos.

  Por su parte, Jennings y Bamkole (2019), mencionan la importancia que estos espacios tienen para mejorar la cohesión social y el sentido de la comunidad a partir de actividades como el ciclismo, ejercicios, realización de barbacoas, etc. Se revela también la asociación que hay entre una vegetación abundante y menores tasas de asalto (Ceccato et al., 2020), es decir, que las AV tienen un impacto en el sentido de seguridad de un lugar. Roe y Aspinall (2011), señalan que existe una relación entre el desarrollo de los niños de manera positiva y su contacto con la naturaleza.

- Regulación de la temperatura: las ciudades urbanizadas y construidas se caracterizan por ser más cálidas a comparación de las áreas rurales que las rodean, produciendo las conocidas islas de calor urbanas. Distintos estudios acerca del tema han sido realizados en diferentes partes del mundo como Tel Aviv, Manchester, Ciudad de México, etc. (Granados, 2021). Por ejemplo, Taha (1997), menciona que investigaciones han demostrado que algunas de las medidas para reducir los efectos del fenómeno de las islas de calor urbanas tienen que ver con el uso de cuerpos de agua y diseños bioclimáticos en las edificaciones, pero la medida más eficaz es añadir vegetación a las superficies, ya que esta tiene la capacidad de influir en el aire a través de la evapotranspiración. Teniendo las condiciones ideales, este efecto podría reducir las temperaturas entre 2 y 8°C. Por su parte, Shishegar (2014), resalta la importancia de las copas de los árboles que impiden la entrada de la luz solar a la superficie, lo que provoca menor calor. Potchter et al., (2006), señala que estudios llevados a cabo en Tel Aviv han mostrado que los parques que tienen mayor cantidad de árboles son más frescos que los que menos tienen, siendo los árboles altos con copas anchas la mejor opción

para transmitir una temperatura fresca en la zona costera del Mediterráneo. No obstante, también señala que un exceso de árboles podría tener un efecto negativo en un espacio, esto al bloquear la entrada del viento.

- Cambio climático: los efectos del cambio climático han trascendido mundialmente en aspectos como el aumento de las temperaturas, aproximadamente 0.6°C y se proyecta un aumento de hasta 5.8°C en los años por venir. El aumento de la temperatura produce a su vez otros fenómenos como olas de calor, inundaciones, tormentas severas, derretimiento en las capas de hielo, etc., por lo que esta situación resulta preocupante (IPCC, 2021). Granados (2021), demanda la creación de estrategias para mitigar las causas del cambio climático, pero a su vez exhorta a la adaptación de las personas a estos inevitables cambios que se aproximan.

7.2. Metodología para el análisis del indicador proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad

El indicador proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad, cuenta con una metodología determinada por ONU-Hábitat (2020), a través de un metadato en el cual se describe su concepto, función, los pasos a seguir para su estudio y las ecuaciones que se necesitan aplicar. Esta información resulta de gran importancia al proporcionarle un mayor grado de confianza al estudio. Incorporado a lo anterior, la configuración de la metodología que se propone para analizar este indicador retoma principios de la metodología presentada para el estudio del ODS 11.3.1, debido a la similitud de fuentes de información y las herramientas que se requieren. A continuación, se muestra el método de cálculo propuesto por ONU-Hábitat (2020):

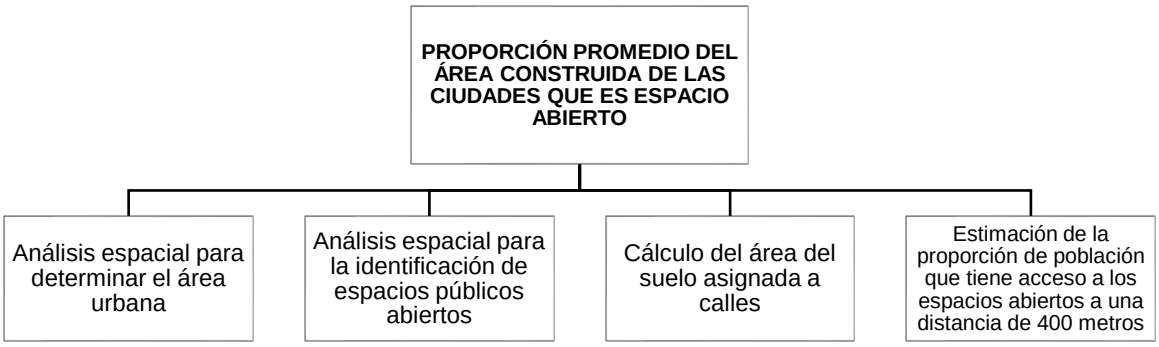


Fig. 30 Metodología general para el análisis de la proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto. Fuente: propia con información de ONU-Hábitat (2020)

- Análisis espacial para determinar el área urbana: este primer paso metodológico busca definir los límites urbanos del área de estudio, para lo cual se trabajó con información vectorial de las AGEB urbanas, las cuales, definidas por CONEVAL (2020), se tratan de áreas geográficas conformadas por un conjunto de manzanas que han sido perfectamente delimitadas y que a su vez forman parte de localidades urbanas que son aquellas con una población mayor a 2 500 habitantes o las cabeceras municipales. Las AGEB urbanas, en conjunto con otras variables urbanas, constituyen una útil herramienta para la identificación de áreas territoriales prioritarias en el ámbito urbano.

  INEGI (1993), establecen que las AGEB urbanas son unidades fundamentales y límites de fácil identificación cuya extensión es la adecuada para fines de captación estadística, razón por la cual se ajusta a las necesidades de mi investigación y se ha decidido utilizarlas como unidades de análisis a nivel de la ciudad.

- Análisis espacial para la identificación de espacios públicos abiertos: una vez establecida el área urbana que será analizada, es posible comenzar con el análisis espacial orientado a la identificación de espacios públicos abiertos que se encuentran en sus límites territoriales, así como la estimación de su área, por lo que se trabajó con información vectorial y ráster del satélite *Planet Scope* del año 2020 (específicamente el 21 de octubre) con una resolución espacial de 3 metros. La metodología del pre-proceso y post-proceso de las imágenes será la misma del indicador 11.3.1 analizado en este documento.

  Posteriormente fue considerada la información vectorial procedente de distintas fuentes de información de los espacios públicos abiertos del área de estudio, (IMPLAN con información del 2023, Mapasin con información del 2018 y INEGI con información del año 2020). Dicha información fue validada de manera mediante observación directa trabajando con información ráster. Durante el proceso anterior fue necesario la digitalización de aquellos

espacios que no se encontraban registrados en la información inicialmente obtenida, destacando parques y áreas verdes, áreas de recreación y deporte, área de uso común, áreas naturales, espacios públicos de transición, jardín, parque, plaza, riberas, camellón, corriente de agua, instalación diversa, glorieta, monumento u obelisco y espacios identificados como sin uso, pero cuyas características se apegan al concepto de espacios abiertos.

Cabe mencionar que ONU-Hábitat (2020), sugiere el manejo de información a nivel ciudad para analizar este indicador. Además, señala la utilización de SIG durante el análisis espacial u otro *software* de gestión de bases de datos para el cálculo de áreas de los espacios que se identifiquen. Para esto último, en el documento de UN-Habitat (2018), se proporciona la siguiente ecuación que se emplea para el cálculo del porcentaje de la Ciudad Ocupada por Espacios Públicos Abiertos (COEPA):

$$\text{COEPA} = 100 * \left[\frac{\text{Área total cubierta por espacios públicos abiertos}}{\text{Área total de la ciudad}}\right] \qquad \text{Ec. (7)}$$

- Cálculo del área del suelo asignada a calles:
  Una vez que ha sido calculado el valor de COEPA fue necesario conocer el área del suelo que está destinado a las calles. Para lograr esto, se siguió la metodología de Ramírez et al., (2023), quienes calculan dicha superficie a partir de una diferencia obtenida del valor de las manzanas del área de estudio con respecto al límite de la cabecera municipal, obteniendo de esta manera una malla que hace referencia a las vialidades del lugar.

El cuarto paso establecido en la Fig. 30 se analizó de manera independiente, ya que previamente fue definido como uno de los cinco indicadores urbanos considerados en esta investigación. Esta decisión metodológica responde a que propuestas como las de la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (2011) y el *Asian Development Bank* (2001), incorporan el análisis de los espacios abiertos o del espacio abierto por habitante como un indicador específico dentro de sus esquemas de evaluación urbana. Tomando como referencia este planteamiento, en la presente investigación se consideró pertinente estudiar este componente de manera independiente para profundizar en su análisis. Una vez concluidas las etapas descritas previamente, es posible aplicar la siguiente ecuación propuesta por UN-Habitat (2018):

Porcentaje del área construida de la ciudad destinada a espacios abiertos de uso público (%) =

$$\left[\frac{\text{Área total de espacios públicos abiertos} + \text{Terreno total asignado a calles}}{\text{Área total de la ciudad}}\right] \text{ x } 100 \qquad \text{Ec. (8)}$$

Si bien la metodología general establece el procedimiento para la estimación del indicador proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad, resulta conveniente presentar el siguiente diagrama metodológico con la finalidad de describir de manera detallada y secuencial las etapas específicas que conforman su análisis.

En la Fig. 31 el procedimiento inicia con la obtención y delimitación de los espacios abiertos presentes en el área de estudio. Posteriormente, se realiza la digitalización de aquellos espacios que no se encuentran identificados como manzanas dentro de la cartografía base, con el propósito de incorporar la totalidad de las superficies destinadas al uso público.

Una vez integrada esta información, se aplican de manera secuencial la Ec. 7 y la Ec. 8, mediante las cuales se obtiene el valor del indicador en cuestión. Finalmente, los resultados se representan mediante cartografía temática y gráficas, lo que

permite visualizar su distribución espacial y facilita el análisis e interpretación de los resultados.

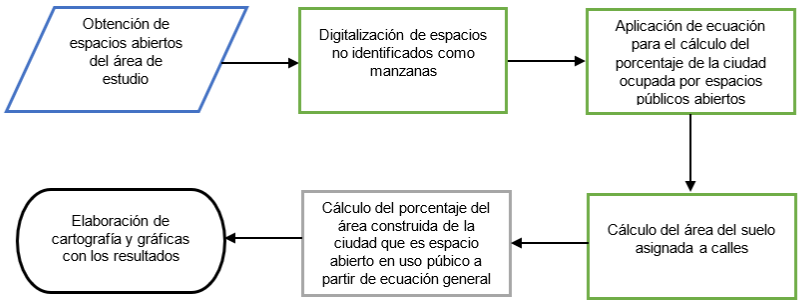


Fig. 31 Metodología para el análisis de la proporción promedio del área construida en las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad. Fuente: propia con información de ONU-Hábitat, (2020)

7.3. Resultados del análisis del indicador: proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad

A continuación, se muestran los resultados derivados de la aplicación de la metodología previamente descrita para el análisis de este indicador, desarrollado a partir de un enfoque espacial que permite identificar la distribución, extensión y accesibilidad de los espacios abiertos para uso público dentro del área urbana, así como su relación espacial con la población.

En primera instancia se exponen los productos cartográficos, correspondientes al procesamiento de la información, constituyendo el principal insumo para la interpretación de los resultados. Dichos productos se describen a continuación.

La Fig. 32 muestra un total de 2 635 representados por polígonos en color amarillo dentro el área de estudio que representan los espacios abiertos resultantes del análisis. Se observa una distribución desigual de dichos espacios, especialmente concentrados en la zona norte y algunos puntos del sur-oeste. En cuanto a la

ausencia de los espacios abiertos dentro del área de estudio, esto sucede en diversos sitios, sin poder generalizar ni afirmar una tendencia.

La presencia de polígonos grandes en algunas zonas, es decir, de espacios abiertos de gran escala, muestra una distribución espacial dispersa, situación que limita su accesibilidad para la población general. Además, destaca la ausencia de espacios abiertos en las zonas periféricas de la ciudad, lo cual podría reflejar un desarrollo urbano acelerado y carente de planeación verde, o bien, un rezago en la provisión de infraestructura pública.

Por último, se observa que algunas franjas de espacios abiertos parecen alinearse con vialidades del área de estudio, pudiendo corresponder a camellones o parques lineales, elementos relevantes dentro del sistema urbano de espacios abiertos en una ciudad.

En conjunto, la Fig. 32 evidencia desigualdades en la distribución espacial de los espacios abiertos para uso público, lo que puede incidir directamente en la calidad de vida de la población y en el acceso equitativo a estos espacios, poniendo de manifiesto la necesidad de fortalecer estrategias de planeación urbana orientadas a incrementar y redistribuir los espacios públicos, particularmente en aquellas zonas con menor cobertura.

En cuanto al cálculo del área del suelo asignada a calles, este valor fue posible de obtener con base en la diferencia que existió entre la información vectorial de las manzanas, cuerpo de agua y polígonos digitalizados que no se encuentran registrados como manzanas del área de estudio que fungen como espacios vacíos con respecto al perímetro urbano del área de estudio.

Posteriormente, la Fig. 33 presenta la configuración espacial del área urbana de Culiacán, integrando distintos elementos territoriales que permiten comprender la estructura y organización del espacio construido. El límite de la ciudad se encuentra delimitado por un polígono en color rojo, dentro del cual se identifican las principales categorías de análisis.

En color beige se representan las manzanas urbanas, que constituyen la mayor parte del tejido urbano, evidenciando una ocupación continua y consolidada en gran parte del territorio. Por su parte, las vialidades, representadas en color negro, configuran la red de conectividad interna, destacando los ejes que articulan la movilidad dentro de la ciudad.

Los espacios abiertos para uso público, mostrados en color amarillo, se distribuyen de manera dispersa y en su mayoría en superficies reducidas, con algunos polígonos de mayor extensión que sobresalen en ciertas zonas. Asimismo, los cuerpos de agua, representados en color azul, destacan como elementos estructurantes del territorio, particularmente el sistema fluvial que atraviesa la ciudad y que incluye en la configuración urbana.

Adicionalmente, se identifican polígonos en color rosa que corresponden a áreas no clasificadas como manzanas urbanas ni como espacio abierto para uso público, lo que sugiere la presencia de usos de suelo diversos o zonas en proceso de transición.

En conjunto, el mapa permite visualizar la relación entre los distintos componentes del entorno urbano, evidenciando una estructura urbana heterogénea, donde la distribución de los espacios abiertos no es uniforme y se inserta dentro de un tejido predominantemente construido, lo que resulta fundamental para el análisis de la disponibilidad y accesibilidad a estos dentro del contexto urbano.

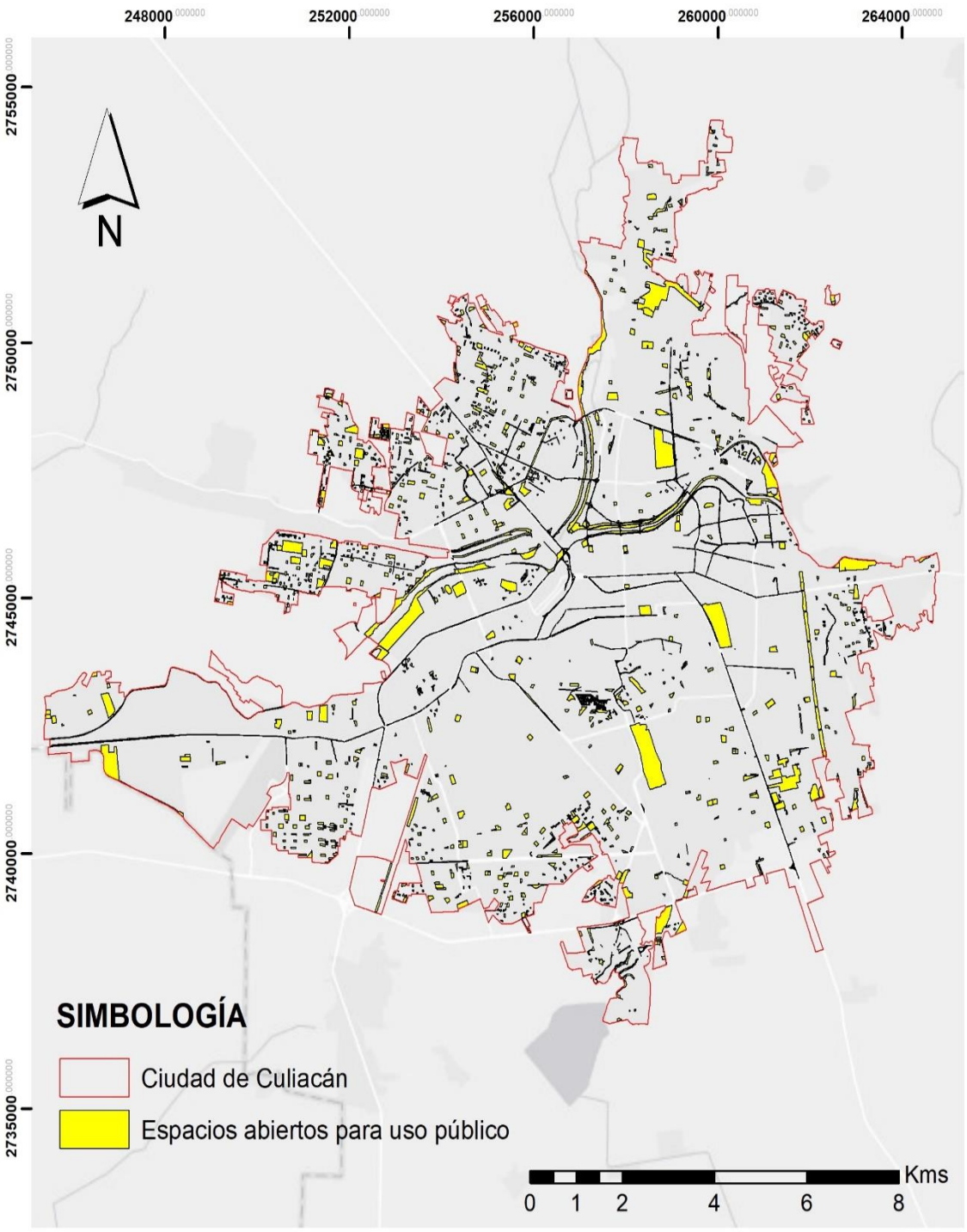


Fig. 32 Espacios abiertos de uso público de la ciudad de Culiacán, Sinaloa, 2020. Fuente: propia con información del IMPLAN, Mapasin, INEGI y digitalización propia

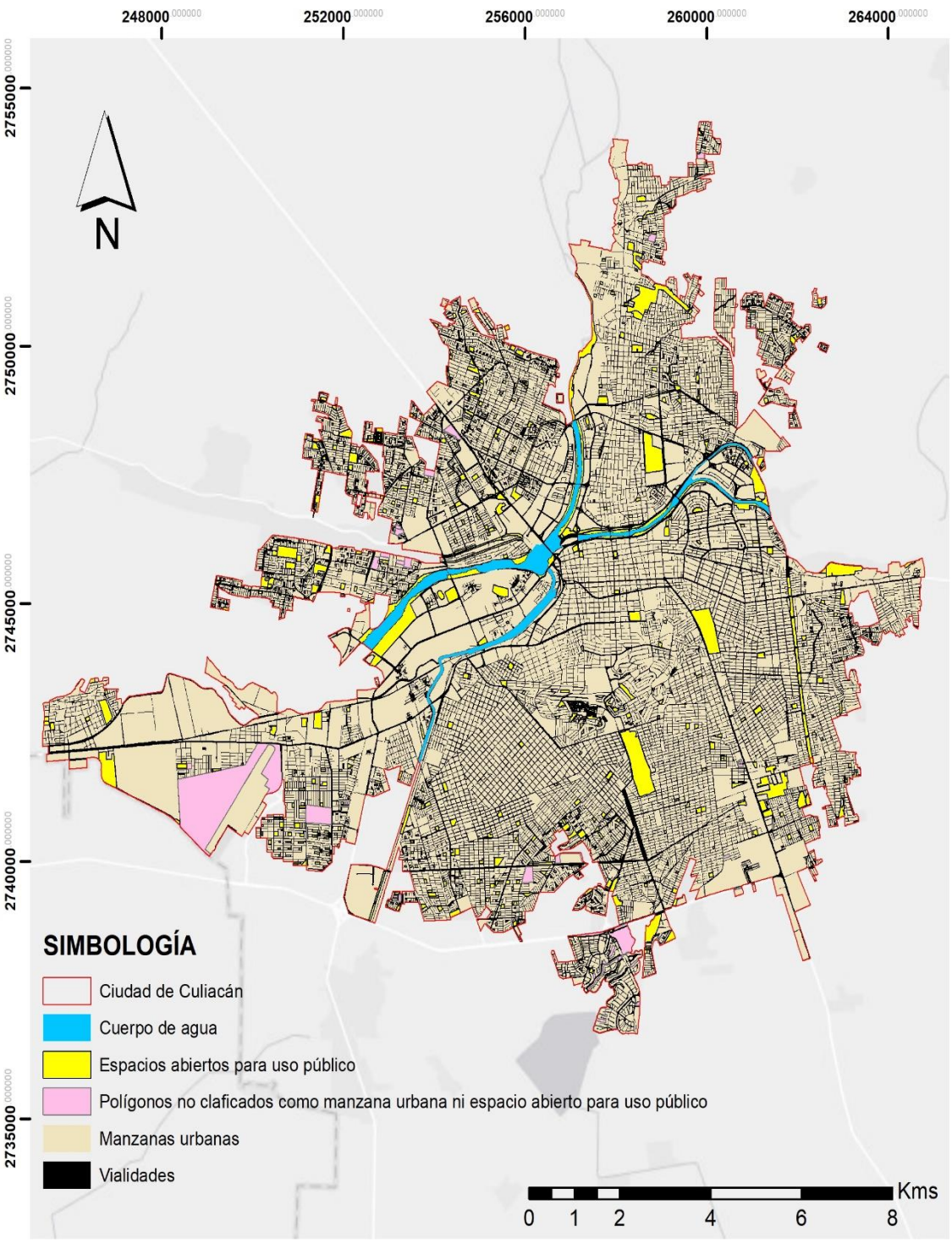


Fig. 33 Superficies analizadas en el área de estudio. Fuente: propia

Como complemento a los resultados presentados en la Fig. 32 y Fig. 33, la Tabla 12 concentra los valores correspondientes a las superficies identificadas durante el análisis realizado en el área de estudio.

Tabla 12. Resultados del procesamiento del indicador. Fuente: propia

Superficies calculadas	**Áreas en km^2**
Área de estudio	134.77
Manzanas	97.88
Vialidades	26.02
Superficie de espacios abiertos	10.36
Superficie de espacios vacíos	8.82
Cuerpo de agua	2.05

Con una superficie total analizada de 134.77 km^2, fue posible identificar y cuantificar los distintos tipos de cobertura de suelo en el área de estudio, conociendo su distribución en el territorio.

En la Tabla 12 se aprecia que la categoría predominante corresponde a las manzanas, con una superficie total de 97.88 km^2, valor que representa el 72.63% del área total, con lo cual se confirma un alto grado de consolidación urbana y una posible relación a la densa ocupación del suelo residencial, comercial y de servicios.

En segundo lugar, se encuentran las vialidades, con 26.02 km^2 equivalentes al 19.31% de Culiacán. Esta proporción puede considerarse una red vial bien desarrollada, siendo favorable para la conectividad urbana o una gran cantidad de suelo impermeabilizado con implicaciones para la movilidad sostenible y la gestión ambiental.

Posteriormente destacan los espacios abiertos con una extensión de 10.36 km^2 (equivalentes al 7.68%) del área analizada. A pesar de que esta cifra pudiera parecer positiva, al compararla con los estándares como UN-Hábitat (2018), quienes

recomiendan un porcentaje entre el 15 y el 20% del área urbana, se observa una importante brecha por cubrir que garantice el acceso equitativo a espacios abiertos de calidad.

En cuanto a la superficie de espacios vacíos, su cobertura es de 8.82 km^2, lo cual corresponde al 6.54% y podrían representar lotes baldíos, áreas en espera de desarrollo o predios no intervenidos constructivamente. Esta categoría es significativa y ofrece una oportunidad clave para la planeación urbana estratégica y para la rehabilitación o creación de infraestructura verde.

Por último, los cuerpos de agua ocupan 2.05 km^2 del área total de la ciudad de Culiacán, apenas el 1.52%. Aunque este valor es relativamente bajo, sigue siendo importante por el valor ecológico, paisajístico y de regulación climática que se ofrecen dentro de la ciudad.

7.3.1. Cálculo del indicador proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad

Con base en los valores obtenidos durante el procesamiento y la configuración de la información de este indicador, se aplicaron las ecuaciones sugeridas por ONU-Hábitat para su análisis. Este procedimiento permitió cuantificar la disponibilidad de espacios públicos abiertos en relación con la superficie total de la ciudad, así como evaluar la proporción de área construida destinada a espacios abiertos de uso público.

El análisis mostró que el porcentaje de la ciudad ocupada por espacios públicos abiertos (COEPA) fue de 7.68%, lo que evidencia una disponibilidad limitada de este tipo de espacios en relación con la superficie urbana total. La baja proporción de estos espacios puede incidir en una menor oferta de áreas para la recreación, la convivencia social y el esparcimiento, así como en una reducción de los beneficios ambientales asociados, tales como la regulación térmica, la infiltración de agua y la mejora de la calidad del aire. El valor de 7.68% pone de manifiesto la necesidad de replantear la planificación y gestión del suelo urbano y evidencia un posible desequilibrio entre las áreas construidas y los espacios destinados al uso colectivo, lo que puede repercutir en la habitabilidad urbana y en la capacidad de la ciudad para ofrecer entornos más sostenibles, inclusivos y resilientes.

Por otro lado, la proporción del área construida de la ciudad que es espacio abierto en uso público fue de 26.99%, valor que representa un poco más de la cuarta parte del suelo urbano se encuentra destinado a funciones colectivas y de libre acceso. Este porcentaje sugiere una presencia relativamente significativa de espacios abiertos dentro de la mancha urbana, lo cual puede contribuir positivamente a la estructura y funcionamiento de la ciudad al favorecer la integración de áreas de esparcimiento, movilidad peatonal y encuentro social.

No obstante, aunque el valor de 26.99% indica una proporción relevante en términos de superficie construida, su interpretación debe matizarse considerando aspectos

como la distribución espacial, la accesibilidad y la calidad de dichos espacios. En este sentido, una proporción adecuada no garantiza por sí misma una cobertura equitativa ni un uso efectivo por parte de la población, por lo que resulta fundamental analizar si estos espacios se encuentran bien articulados con el tejido urbano y si responden a las necesidades sociales y ambientales de la ciudad. Así, el resultado obtenido pone de relieve tanto el potencial de los espacios abiertos como elementos estructurantes del territorio urbano, como la necesidad de fortalecer su planificación para maximizar su impacto en la habitabilidad, la cohesión social y la sostenibilidad urbana.

De manera general se observa que la diferencia entre las dos variables calculadas radica en la referencia espacial que utilizan para calcular el porcentaje de espacios abiertos públicos, sí bien, el primero se refiere a la proporción del área total de la ciudad que está ocupada por espacios públicos abiertos, el segundo se enfoca solo en el área construida de la ciudad, es decir, las zonas urbanizadas con edificios, calles e infraestructura. Los valores obtenidos proporcionan una perspectiva cuantitativa sobre la distribución y disponibilidad de espacios abiertos en la ciudad, clave para la planificación urbana y la toma de decisiones en materia de sostenibilidad y calidad de vida.

7.4. Conclusiones del análisis del indicador proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad

Los resultados revelan una marcada disparidad en la disponibilidad de espacios públicos abiertos dentro del entorno urbano analizado. Por un lado, se identificó que únicamente el 7.68% de la superficie total de la ciudad corresponde a espacios públicos abiertos, en contraste, si se considera únicamente el área construida, se estima que el 26.99% corresponde a espacios abiertos de uso público, lo que representa una proporción más significativa, aunque centrada en una referencia espacial más restringida. La escasa cobertura registrada en este análisis podría

estar relacionada con patrones de urbanización no planificados o con un uso intensivo del suelo que prioriza áreas construidas sobre zonas de esparcimiento.

La diferencia metodológica entre los dos indicadores calculados (uno basado en el total de la ciudad y otro en el área construida) pone de relieve la importancia de definir claramente las referencias espaciales en los análisis urbanos. Si bien el segundo valor (26.99%) podría parecer satisfactorio en términos relativos, no compensa la baja cobertura absoluta a nivel de ciudad. Esta situación enfatiza la necesidad de implementar políticas públicas orientadas a incrementar progresivamente la superficie de espacios abiertos, en coherencia con los ODS, particularmente el ODS 11.7, que busca asegurar el acceso universal a espacios verdes y públicos que sean seguros e inclusivos.

De acuerdo con UN-Habitat (2018), se recomienda que entre el 15% y el 20% del área urbana total esté destinada a espacios públicos abiertos**,** tales como parques, plazas y corredores verdes. Esta proporción contribuiría al desarrollo social y económico de una ciudad, proporcionando sensación de seguridad, comodidad y conveniencia física y ambiental para las personas. En este sentido, el resultado de 7.68% sobre el total de la ciudad representa una severa carencia en términos de cumplimiento de tales estándares.

Aunado a la información anterior, Kabisch et al., (2015), mencionan que la literatura científica sobre planificación del paisaje resalta la importancia de conservar y fomentar los espacios verdes, en virtud de los múltiples beneficios que ofrecen tanto en el ámbito ambiental como en el bienestar social de los habitantes urbanos. Por ejemplo, Jim y Chen (2008), evaluaron la flora arbórea presente en la zona urbanizada de la ciudad de Taipei, Taiwán, con el propósito de utilizar los resultados para perfeccionar la planificación y la gestión de los espacios verdes urbanos y su conservación.

La falta de espacios abiertos en las ciudades da paso a efectos negativos en la misma, por ejemplo, el fenómeno del sobrecalentamiento antropogénico. Ante esta problemática, Rosso et al., (2024), proponen la incorporación estratégica de *pocket*

parks (pequeños parques urbanos), como una alternativa viable ante la dificultad de integrar grandes zonas verdes en tramas urbanas densas. Estos espacios deben diseñarse de forma que se integren fluidamente mediante intervenciones de urbanismo táctico, permitiendo consecutivamente el monitoreo de la percepción climática por parte de la población, a través de encuestas.

Por lo tanto, se considera indispensable replantear las estrategias de planificación urbana incorporando enfoques que prioricen la generación de espacios verdes accesibles, funcionales e inclusivos, como elementos fundamentales para el bienestar colectivo y la resiliencia urbana frente a los retos ambientales actuales y futuros.

Finalmente, es importante reconocer que el desarrollo de este indicador presentó algunas limitaciones asociadas tanto a la disponibilidad como a la calidad de la información utilizada. La inexistencia de una base de datos única, homogénea y actualizada sobre los espacios públicos abiertos del área de estudio hizo necesario desarrollar un procedimiento de identificación, delimitación y digitalización de estos espacios a partir de cartografía e imágenes satelitales. Si bien este proceso permitió construir una base de datos espacial adecuada para la aplicación de la metodología propuesta por UN-Hábitat (2018), es posible que existan imprecisiones derivadas de la resolución espacial de las imágenes empleadas o de la dificultad para determinar, únicamente mediante interpretación visual, si algunos espacios abiertos identificados cumplían efectivamente su función y si son utilizados por la población. En este sentido, aunque la metodología empleada proporciona un marco estandarizado, objetivo y replicable para la evaluación del indicador, futuras investigaciones podrían fortalecer este tipo de análisis mediante la incorporación de enfoques cualitativos, como trabajo de campo, observación directa o percepción de los usuarios, que permitan corroborar las condiciones de uso, accesibilidad y funcionalidad de los espacios identificados. Asimismo, la generación de inventarios geoespaciales oficiales y permanentemente actualizados contribuiría a mejorar la precisión de las estimaciones y facilitaría el monitoreo de este indicador en el marco de los ODS.

CAPÍTULO VIII: INDICADOR PROPORCIÓN DE LA POBLACIÓN QUE TIENE ACCESO A LOS ESPACIOS ABIERTOS A UNA DISTANCIA DE 400 METROS, POR SEXO, EDAD Y PERSONAS CON DISCAPACIDAD

8.1. Descripción del indicador proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros, por sexo, edad y personas con discapacidad

El indicador proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros, por sexo, edad y personas con discapacidad tiene como objetivo dar a conocer el grado de accesibilidad que la población en general y estratificada por sexo, edad y con discapacidad del área de estudio tiene con respecto a los espacios abiertos de los cuales se habló anteriormente.

Los resultados del análisis del indicador referente a la proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad, constituyen el punto de partida del presente capítulo, cuyo propósito es profundizar en el análisis del bienestar de la población mediante la evaluación de su proximidad a estos espacios. En este contexto, el concepto de accesibilidad adquiere especial relevancia, ya que integra diversos aspectos que influyen en las oportunidades de la población para acceder a espacios abiertos de uso público y, por ende, en su calidad de vida. Por ello, resulta pertinente abordar este concepto antes de desarrollar el análisis correspondiente.

8.1.1. Accesibilidad

Arjona (s.f.), señala que el ser humano ha buscado de manera constante mejorar su calidad de vida, lo que le ha llevado a buscar soluciones orientadas a facilitar sus actividades cotidianas, siendo la adecuada accesibilidad una respuesta a algunos aspectos de esta búsqueda. Los inicios de este concepto pueden justificarse a partir de hechos arqueológicos como fue el descubrimiento de una huella de prótesis que databa del 2300 A.C. en Kazajstán o registros de un bajorrelieve en 2000 A.C. en el que se puede apreciar a un príncipe con una pierna apoyada en una especie de bastón o muleta, entre otros registros más de este tipo, volviendo a la necesidad

mencionada del ser humano en la búsqueda de mejoras para aumentar su calidad de vida, en este caso, supliendo la ausencia de alguna funcionalidad de su cuerpo.

La accesibilidad ha sido vista desde distintos contextos, por ejemplo, se ha analizado la accesibilidad que la población tiene a servicios de salud, identificando distintas barreras que podría presentar, como son las barreras geográficas, económicas, administrativas y culturales. En el caso de la accesibilidad definida como un encuentro entre los sujetos y los servicios, se incorpora una dimensión que obliga a pensar en este concepto a partir de otra perspectiva, llevándonos al reconocimiento de su complejidad (Comes et al., 2007). Es decir, la accesibilidad también puede ser conceptualizada mediante la vinculación de los espacios con las oportunidades que los individuos poseen en el momento de la obtención de los bienes y servicios (Sanz, 1997).

Rodríguez (2020), habla de cómo el desarrollo de la accesibilidad ha estado vinculado con paradigmas de la discapacidad y los cambios paralelos que estos conceptos han tenido. Resultado del cambio de valores y desarrollo de este último concepto se ha podido concebir a la accesibilidad como un valor social que mejora la calidad de vida de la población mundial y que hace referencia a derechos de inclusión de las personas, además de ser una condición que los entornos deben de cumplir para brindar a las personas seguridad y comodidad de la manera más autónoma y natural posible, con lo que a su vez se proporcionan principios de inclusión social. Aunado a lo anterior, la autora menciona que la accesibilidad se trata de un concepto técnico y metodológico que no es posible de entender si no se tiene un marco de valores políticos-sociales.

El aspecto político-social es tomado en cuenta por la Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH) del estado mexicano, quienes en su informe acerca del derecho a la accesibilidad en 2019 hacen una revisión que incluye ámbitos del marco jurídico, políticas públicas, planes, programas y acciones de distintas dependencias del Gobierno Federal. El documento explica arduamente distintos conceptos de accesibilidad y enfatiza que el origen de la accesibilidad tiene

referencias en el acceso, señalando además aspectos sobre la igualdad de oportunidades para las personas con discapacidad.

Unificando términos proporcionados por varios autores a la accesibilidad, la CNDH (2019), define a la accesibilidad como un derecho humano para las personas con discapacidad y otros sectores beneficiados para disfrutar en igualdad de condiciones el entorno físico, transporte, información y las comunicaciones incluidos en distintos sistemas, así como las tecnologías de la información y la comunicación, servicios, instalaciones y bienes abiertos al público que se encuentran dentro de zonas urbanas y rurales, esto con la intención de que la sociedad participe en todos los ámbitos de la vida, con dignidad y autonomía.

En conclusión, la accesibilidad, puede definirse como un derecho con el que toda la sociedad debería de contar para vivir con la libertad de llegar a espacios disponibles para todos. Este derecho deberá de encontrarse en un marco político y social que se adecue a las necesidades de la población de un lugar para así garantizar la equidad en sus oportunidades de acceso a distintos entornos.

8.1.2. Accesibilidad urbana

México es un país con gran potencial para ser reconocida una nación con ciudades identificadas como desarrolladas en el futuro próximo, lo que requiere abordar problemas urbanos de forma integral (Castillo, 2017).
La accesibilidad es un indicador que puede representar o no un problema en una ciudad y que da a conocer muchos aspectos de su configuración, infraestructura y sociedad, por lo que su análisis es de gran interés para fines de implementación de planes y estrategias.

De acuerdo a Calonge (2018), las ciudades latinoamericanas han experimentado un crecimiento y dispersión en las últimas décadas, lo cual obliga a plantear nuevas preguntas acerca de su configuración, como en dónde se ubican las poblaciones, cómo se trasladan sus habitantes y la facilidad o dificultad que tienen para llegar a los distintos lugares en donde realizan sus funciones. Para el caso de las ciudades mexicanas, Correa (2015), señala la necesidad que existe por su estudio, pues se prevén que en un futuro sean grandes centros poblacionales, además de que dicho

fenómeno se efectúa por la presión de desarrollo expansivo que cambia usos de suelo y reservas que habían sido establecidas en los planes de desarrollo urbano. Asociado a este crecimiento expansivo, se manifiesta la accesibilidad como una consecuencia de este y que se considera fundamental para la vida cotidiana de los habitantes de las ciudades.

En lo que respecta al área de estudio, el IMPLAN (s.f.), detectó problemas en la accesibilidad de la ciudad, principalmente en las colonias populares, siendo las directrices que se buscan mejorar, así como su población y la pobreza urbana que se vive. Esto se busca llevar a cabo a través de las líneas de acción que se muestran a continuación: pavimentación de accesos a colonias populares, alumbrado y obras de drenaje. Lo anterior demuestra la existencia de otros aspectos que intervienen en la accesibilidad de una ciudad y no únicamente el referente a la accesibilidad a espacios abiertos, por lo que ninguno se considera más importante que otro, más bien, se busca que mediante el estudio y resultados del análisis de cada uno de ellos se puedan integrar para ofrecer una caracterización completa del área de estudio y así comprender un poco más su dinámica.

Para Fernández (2019), la accesibilidad urbana se refiere al potencial que las personas tienen para acceder y lograr participar en las oportunidades que les ofrece una ciudad. Por su parte, Schelotto (2004), menciona que se trata del conjunto de atributos y de las capacidades que hacen posible que la población pueda acceder a los beneficios de la vida urbana.

Gracias a los conceptos proporcionados anteriormente para la accesibilidad, la accesibilidad urbana podría definirse como el derecho que los habitantes de una ciudad tienen o deberían de tener para acceder a los distintos espacios que la infraestructura del lugar proporciona.

8.1.3. Proximidad de población a espacios abiertos

Desde la perspectiva de esta investigación, el desarrollo sostenible en las ciudades es un aspecto en el que se busca contribuir, en este capítulo se realiza bajo la determinación de la proximidad que sus habitantes tienen a los espacios abiertos que están dentro de su configuración.

Si nos enfocamos en áreas verdes como espacios abiertos para uso público, Castelao et al., (2019), señala que la proximidad de la población a estos lugares puede ser reconocida como un indicador y su relevancia se basa en la existencia de zonas verdes y áreas de esparcimiento, pero también de su localización, por lo que es importante que se encuentren integradas al área urbana consolidada y cerca de la población, para que las personas puedan tener un fácil acceso a ellos. Por su parte, Pitarch et al., (2017), también mencionan que la accesibilidad a los espacios verdes urbanos es un elemento de la calidad de vida.

Estos espacios, su oferta y distribución, han actuado como variables que a su vez han sido utilizadas como indicadores que permiten medir la calidad del medio ambiente y su sostenibilidad, convirtiéndolo en uno de los indicadores más empleados para el análisis de la calidad de vida y la equidad espacial de una ciudad.

ONU-Hábitat e INFONAVIT (2018), interpretan la accesibilidad al espacio público abierto como un indicador cuya función es la de medir el porcentaje de área urbana del municipio que está cerca de espacios públicos de acceso libre, como son los parques y plazas. Puede considerarse también una herramienta cuantitativa que tiene dos referencias: la dotación de espacios públicos (que pueden definirse a través de técnicas de fotointerpretación y el análisis de la cartografía que haya disponible) y el área de influencia del espacio público en el interior de la distancia que se considera caminable (400 metros).

Para ONU-Hábitat (2022), la cifra de 400 metros es la distancia máxima a la que las personas deben de encontrarse de un espacio público, siendo considerado el radio caminable y recomendando su evaluación y consideración para la determinación de la calidad de los espacios públicos. El radio caminable es reconocido por este organismo como un círculo centrado alrededor del espacio público dentro del cual

los peatones deberían tener la posibilidad de llegar desde sus casas, hacia todos los espacios públicos y depende de gran medida de la red vial y de la permeabilidad del área. Esta distancia también puede traducirse en 5 minutos de caminata y depende de distintas variables como la ubicación de las zonas, los usuarios objetivo, enfoque del estudio, el contexto y el riesgo de transitabilidad.

En función de lo anterior, y con el propósito de mantener coherencia con referentes metodológicos internacionales, el presente estudio adopta de manera definitiva un umbral de análisis correspondiente a 400 metros como criterio de accesibilidad. Esta decisión se sustenta en los lineamientos establecidos por ONU-Hábitat (2022), haciendo que su implementación responda a un criterio técnico validado que fortalece la consistencia analítica del estudio, al tiempo que asegura su alineación con estándares internacionales ampliamente aceptados para la medición de la accesibilidad urbana. Bajo este criterio, la Fig. 34 representa de forma esquemática el radio caminable de 400 metros considerado para este estudio.

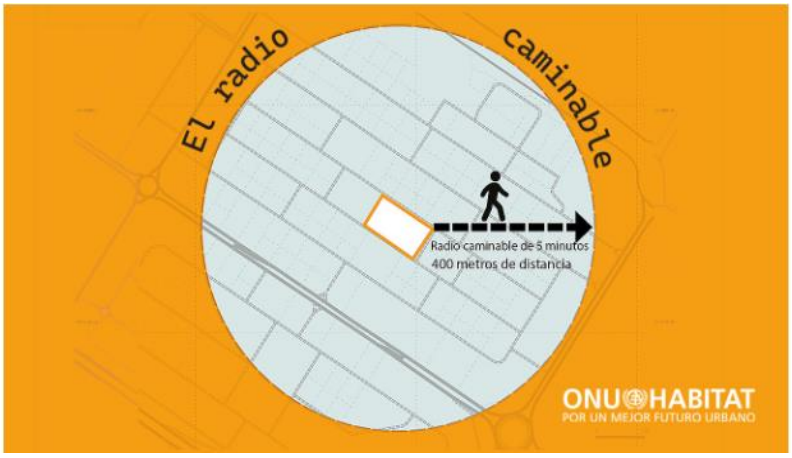


Fig. 34 El radio caminable. Fuente: ONU-Hábitat (2022): https://onuhabitat.org.mx/index.php/el-radio-caminable

8.2. Metodología para el análisis del indicador proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros, por sexo, edad y personas con discapacidad

El análisis del indicador proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros, por sexo, edad y personas con discapacidad es el último paso que describe la metodología general del ODS 11.7.1, la cual se presentó anteriormente. En el metadato de UN-Habitat (2020), correspondiente a ese indicador se presenta una metodología para analizar la proporción de población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros. En el documento se menciona que la metodología se basa en una traza de la zona de área de servicio con respecto a la red de calles que la conforman, tomando en cuenta el umbral de acceso de los 400 metros, lo que posteriormente permitió identificar la población que se encuentra dentro de este umbral, incluyendo todos los grupos de personas: niños, discapacitados, mujeres, hombres y ancianos. Otro aspecto a destacar de su metodología es que consideran que todos los espacios abiertos tienen la misma área de influencia, a pesar de que en otros contextos los espacios que tienen mayor superficie tienen un área de influencia mayor que los otros.

La metodología que se desarrolló durante la investigación se muestra en la siguiente figura:

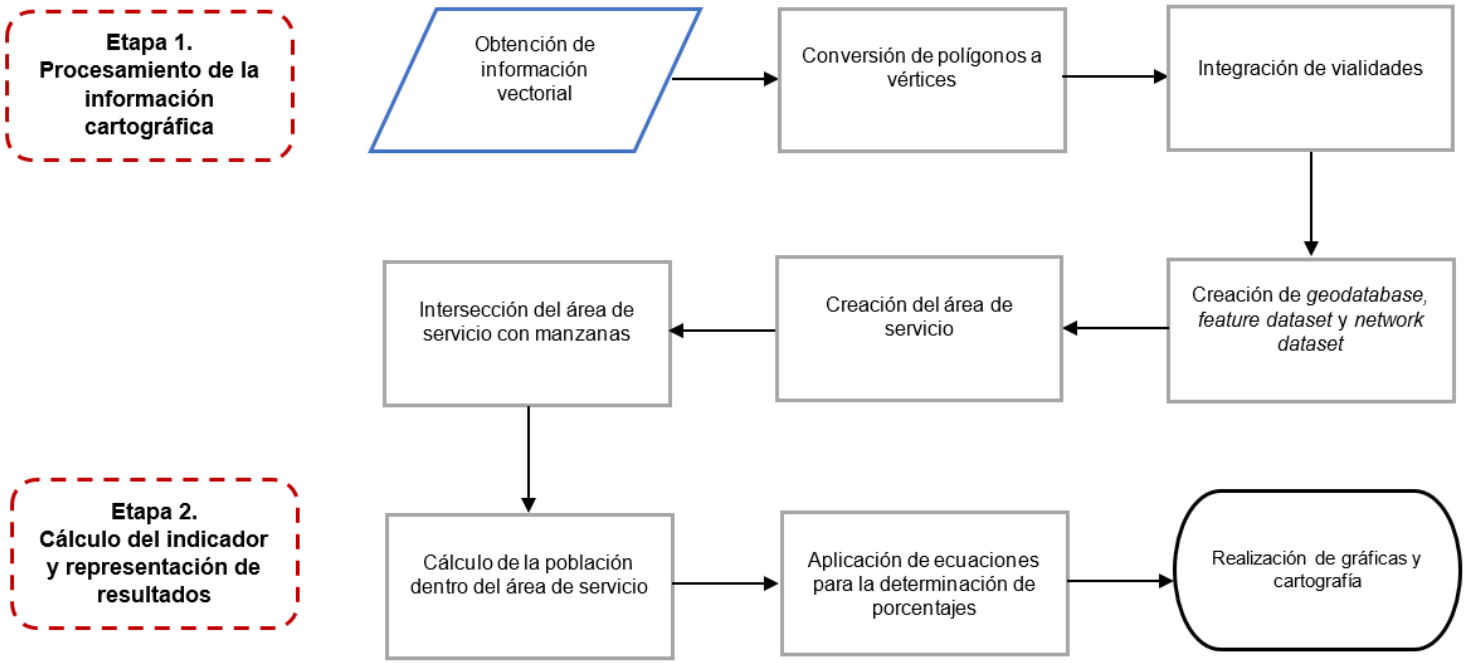


Fig. 35 Metodología para analizar la proximidad de la población a espacios abiertos. Fuente: propia

La Fig. 35 presenta de forma esquemática el procedimiento metodológico empleado para calcular el indicador de la proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros, por sexo, edad y personas con discapacidad. El proceso se estructura en dos etapas complementarias: la primera comprende el procesamiento de la información cartográfica necesaria para la generación de áreas de servicio, mientras que la segunda corresponde a la determinación del indicador mediante la aplicación de las ecuaciones propuestas para su estudio y la representación de los resultados. A continuación, se describen de manera detallada las actividades que conforman cada una de estas etapas.

- Obtención de información vectorial: se trabajó con la información vectorial de los espacios abiertos para uso público previamente identificados en el área de estudio y que se visualizan en la Fig. 32.
- Conversión de polígonos a vértices: la obtención de vértices de los espacios abiertos permitió la aplicación de la herramienta de análisis de red en ArcMap 10.5
- Integración de vialidades: se aplicó la herramienta integrar (*integrate*) a la capa de vialidades, con la finalidad de asegurar la correcta conectividad y la eliminación de errores geométricos para garantizar la precisión del análisis.
- Creación de la base de datos geográfica, conjunto de clases de entidad y el conjunto de datos de red (*geodatabase*, *feature dataset* y *network dataset*)**:** se estructuró la información espacial mediante la creación de estos elementos, considerando criterios de distancia y especificaciones de tránsito.
- Estimación del área de servicio: se delimitó el área de servicio considerando los criterios especificados en el paso anterior, aunado a la determinación de 400 metros como análisis.
- Intersección entre el área de servicio con manzanas: se realizó con el fin de identificar aquellas que se encuentran total o parcialmente dentro de la cobertura del servicio.
- Cálculo de la población dentro del área de servicio: se estimó para cuantificar la población con acceso potencial a los espacios abiertos.

- Aplicación de ecuaciones para la determinación de porcentajes: se aplicaron las ecuaciones establecidas por ONU-Hábitat (2020):

Porcentaje de población con acceso a espacios abiertos en espacios públicos (%)

$$= \left[\frac{Población\ total\ dentro\ de\ áreas\ de\ servicio\ de\ 400\ metros}{Población\ total\ dentro\ de\ la\ ciudad\ o\ extensión\ urbana} \right] \quad \text{x } 100 \qquad \text{Ec. (9)}$$

Si después de su análisis se obtuvieran resultados con un valor bajo, esto significaría que una importante cantidad de personas necesitan recorrer distancias largas para llegar a estos espacios, lo que refleja una distribución espacial inadecuada e insuficiente que no permitiría la sencilla realización de funciones sociales, culturales y ecológicas que se tienen destinadas para estos lugares. La accesibilidad al espacio público abierto se relaciona directamente con la prosperidad de las ciudades y el bienestar de su población, es decir, que influye en la calidad de vida y en la salud de sus habitantes, proporcionándole un alto valor de interés en su estudio. (ONU Hábitat e INFONAVIT, 2018)

- Realización de gráficas y cartografía: se elaboraron con el propósito de visualizar y facilitar la interpretación de los resultados.

8.3. Resultados del análisis del indicador proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros, por sexo, edad y personas con discapacidad

Una vez analizado el indicador referente a la proximidad de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros, fue posible tener la información vectorial de los espacios abiertos que permitieron continuar con esta segunda parte del análisis, ahora enfocados a la proximidad que estos tienen hacia la población (a nivel manzanas), con una distancia máxima de 400 metros. Este enfoque permite no solo identificar la disponibilidad de espacios abiertos, sino también analizar su accesibilidad efectiva en términos espaciales, lo cual resulta fundamental para una evaluación más integral del indicador.

A continuación, se presentan los productos cartográficos derivados de la aplicación de la metodología, los cuales permiten visualizar las áreas de cobertura y las zonas con acceso potencial a estos espacios. Asimismo, se incluyen las gráficas correspondientes, en las que sintetizan los resultados cuantitativos obtenidos, facilitando la interpretación de la proporción de población que cumple con el criterio de proximidad establecido.

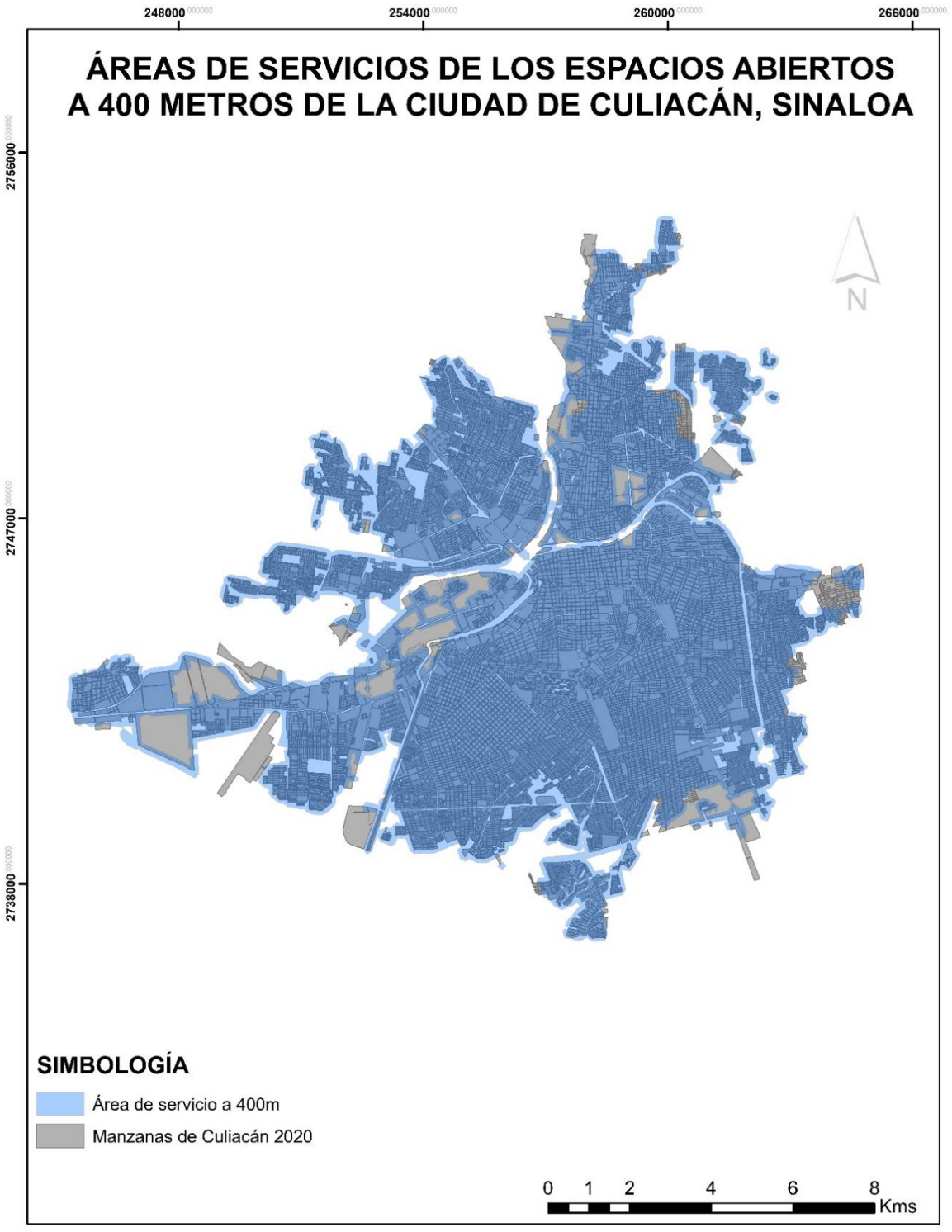


Fig. 36 Área de servicio de espacios abiertos de la ciudad de Culiacán a 400 metros. Fuente: propia

En la Fig. 36 se representa en color azul el área de servicio resultante del análisis de accesibilidad a 400 metros desde los espacios abiertos hacia las manzanas del área de estudio, representadas en color gris. Esta distancia fue establecida como un umbral razonable de caminabilidad para evaluar el acceso de la población a dichos espacios. Como puede observarse, la mayoría de las manzanas quedan dentro de esta área de influencia, lo que indica que una proporción significativa de la población se encuentra a una distancia de 400 metros de algún espacio abierto.

Este resultado sugiere que una gran parte de los habitantes del área de estudio cuenta con acceso cercano a espacios públicos abiertos, lo cual representa un indicador positivo en términos de equidad espacial. En otras palabras, la distribución de estos espacios en la ciudad permite que distintos sectores poblacionales, sin importar su ubicación, puedan beneficiarse de ellos, promoviendo una ciudad más justa y accesible desde el punto de vista urbano y ambiental.

Con el objetivo de fortalecer los resultados y permitir una comparación entre ellos, se realizó una intersección espacial entre el área de servicio y los domicilios, desarrollando así un análisis más detallado, considerando la diferencia de ocupación espacial de estos últimos, con respecto a las manzanas. El resultado se muestra a continuación:

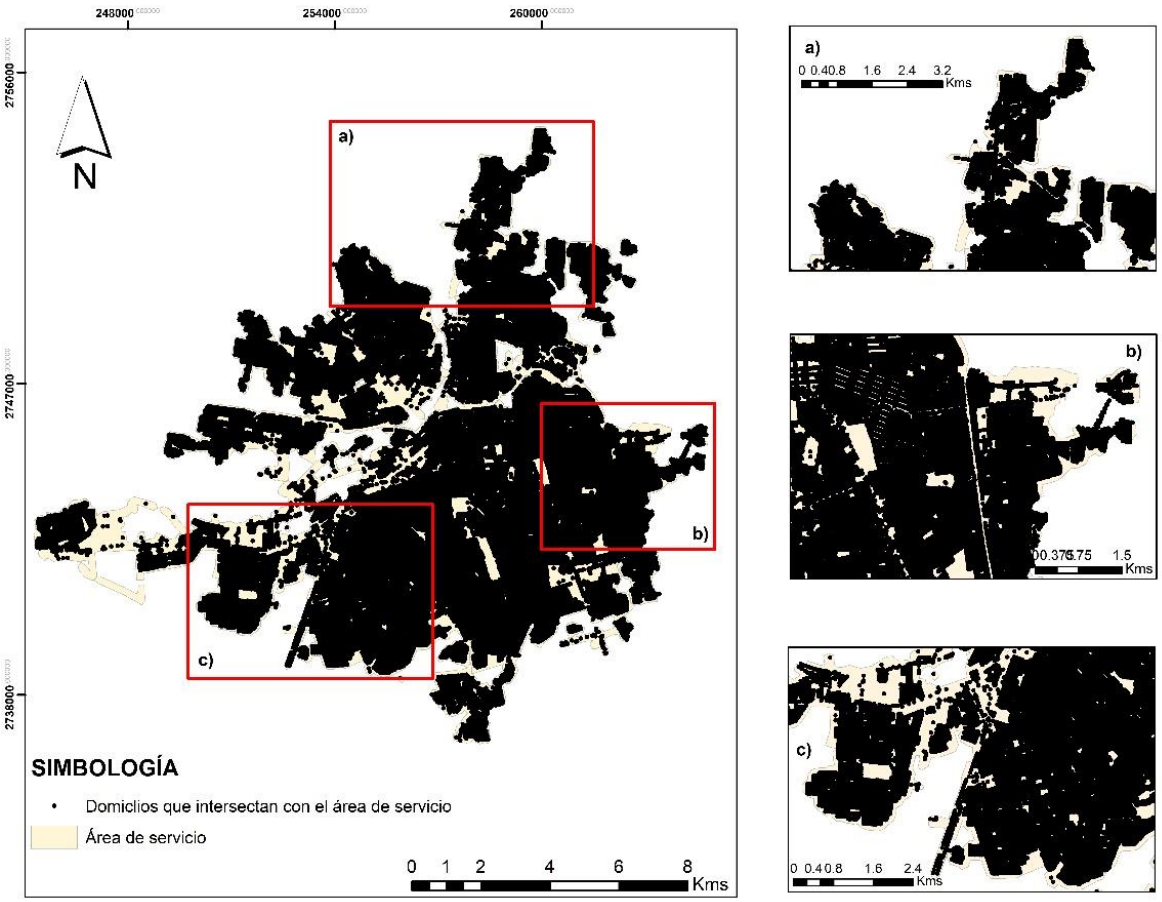


Fig. 37 Domicilios dentro del área de servicio estudiada. Fuente: propia

La Fig. 37 representa la distribución espacial de los domicilios localizados dentro del área de servicio previamente obtenida, mediante una alta densidad de puntos que permiten identificar visualmente las zonas con mayor y menor concentración de viviendas. La disposición de estos puntos facilita el reconocimiento de patrones de ocupación residencial al interior del área de influencia, evidenciando sectores con una mayor intensidad habitacional frente a otros con una presencia más dispersa

de domicilios. Asimismo, esta representación espacial contribuye a comprender la relación entre la localización de las viviendas y la cobertura proporcionada por el área de servicio, lo que resulta relevante para el análisis de accesibilidad y para la evaluación del alcance territorial de los espacios abiertos de uso público.

Analizando las propiedades de las capas que constituyen a la Fig. 37, obtenemos que, de 292 274 domicilios del área de estudio, 280 791 se encuentran en el área de servicio a 400 metros de los espacios abiertos del análisis, lo cual representa el 96.07% del total de los domicilios del área de estudio. Esto significa que la gran mayoría de los domicilios se encuentran dentro de una distancia accesible de 400 metros a un espacio abierto**,** lo que sugiere una alta disponibilidad de estas áreas en la ciudad. El porcentaje apunta a que la ciudad presenta una estructura territorial en la que los espacios abiertos están ampliamente integrados en el tejido urbano, permitiendo que la gran mayoría de la población disponga de opciones cercanas para la recreación, el esparcimiento y la interacción social. Sin embargo, aunque el resultado es altamente favorable en términos cuantitativos, su representación debe complementarse con un análisis cualitativo que considere la distribución equitativa, la funcionalidad y las condiciones de los espacios abiertos, ya que estos factores son fundamentales para garantizar que dicha accesibilidad se traduzca en un uso efectivo y en beneficios reales para la población.

8.3.1. Cálculo del indicador proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros, por sexo, edad y personas con discapacidad

El proceso de intersección permitió conocer la información demográfica a nivel manzanas del área de influencia de los espacios abiertos identificados. Como resultado, se analizó la tabla de atributos de este archivo, con lo que fue posible determinar que 797 179 personas se encuentran en el umbral de 400 metros que fue empleado durante el estudio.

Es decir, de las 802 714 personas registradas en las manzanas del área de estudio en el año 2020, 797 179 se encuentran a una distancia máxima de 400 metros de los espacios abiertos, lo que representa el 99.31% de la población.

El porcentaje obtenido representa un nivel de accesibilidad prácticamente universal, evidenciando una cobertura territorial sumamente eficiente en la provisión de espacios abiertos. La proximidad de la mayoría de la población a los espacios abiertos sugiere que se encuentran bien distribuidos en el territorio urbano, permitiendo que una gran parte de los habitantes tenga acceso a ellos sin recorrer grandes distancias, no obstante, se considera importante complementar este análisis con una evaluación de la calidad, mantenimiento y capacidad de los espacios abiertos para garantizar que sean funcionales y cumplan con las necesidades de la población.

Por otro lado, es importante matizar la interpretación del 99.31% con los criterios metodológicos empleados. Tal como lo plantea ONU-Hábitat (2018), la evaluación de la accesibilidad a espacios abiertos puede realizarse a partir de distintos parámetros y configuraciones analíticas, por lo que no existe una única forma de medición. En este sentido, el resultado depende directamente de los parámetros que se establecen durante la aplicación metodológica enfocado en el objetivo principal y lo que se busca determinar.

Bajo la perspectiva anterior, es posible señalar que, si se modifican parámetros, por ejemplo, el tipo de creación de polígonos esperados en el resultado, los resultados podrían variar de manera significativa. Por lo tanto, aunque el 99.31% constituye un

valor altamente favorable, este debe entenderse como una aproximación condicionada por las decisiones metodológicas adoptadas, lo que refuerza la necesidad de complementar este tipo de análisis con enfoques integrales que permitan evaluar la accesibilidad de manera más robusta y contextualizada.

El indicador establece que los resultados deben agruparse con respecto al sexo, edad y condición de discapacidad de la población**,** permitiendo un análisis más detallado de la accesibilidad a los espacios abiertos. A continuación, se presentan los resultados estratificados de acuerdo a estos criterios.

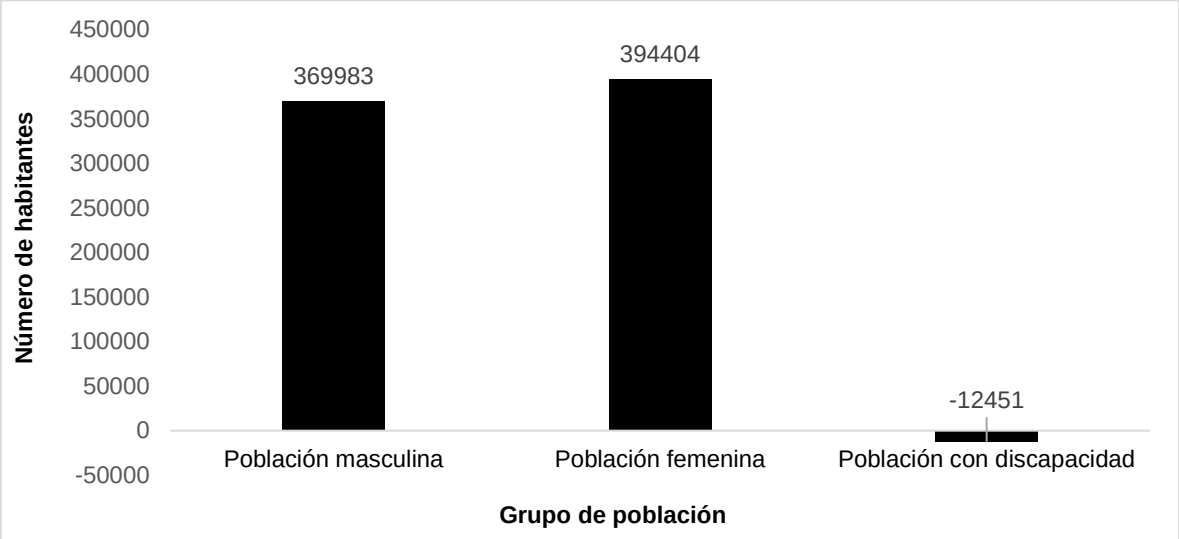


Fig. 38 Población con acceso a espacios abiertos a una distancia máxima de 400 metros, por sexo y condición de discapacidad. Fuente: propia

La Fig. 38 presenta el número de personas que se encuentra a una distancia máxima de 400 metros de un espacio abierto, desglosado por sexo y con discapacidad.

La primera barra corresponde a la población masculina que se obtuvo del análisis espacial, con un total de 369 983 habitantes, mientras que la barra del medio representa a la población femenina, con un valor ligeramente superior de 394 404 habitantes. En lo que respecta a la barra de personas con discapacidad, se observa un valor negativo equivalente a -12 451. Este último valor no refleja directamente

una disminución real de la población, sino que se relaciona con los mecanismos de confidencialidad que utiliza el INEGI específicamente para este grupo poblacional.

En conjunto, los datos de la Fig. 38 reflejan una amplia cobertura de acceso a espacios abiertos tanto para hombres como para mujeres, indicando una distribución relativamente equitativa en términos de género. Sin embargo, la interpretación precisa del acceso para personas con discapacidad queda limitada debido a las restricciones de la base de datos utilizada.

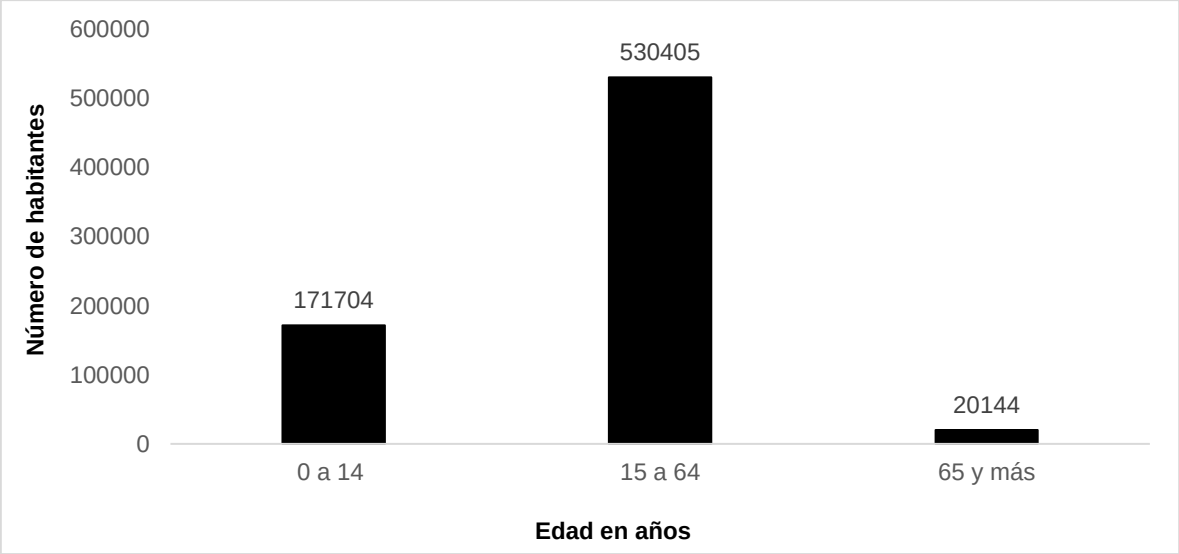


Fig. 39 Población con acceso a espacios abiertos a una distancia máxima de 400 metros clasificada por edad. Fuente: propia

En la Fig. 39 es posible observar que existe mayor accesibilidad para la población entre 15 a 64 años, siendo el grupo con la mayor cantidad de personas dentro del rango de 400 metros de espacios abiertos, representando la gran mayoría de la población en el área analizada con un total de 530 405. Por su parte, los niños y adolescentes (0 a 14 años) también tienen buena accesibilidad, con 171 704 individuos, lo cual deduce un beneficio significativo del acceso a espacios abiertos, mientras que el grupo de edad con menor accesibilidad a los espacios abiertos es el de adultos mayores (65 y más), con únicamente 20 144 personas. Esto último puede indicar una menor disponibilidad de espacios abiertos en zonas donde

predominan los adultos mayores o barreras en el acceso a estos espacios, para lo cual se recomienda evaluar dicha accesibilidad tomando en cuenta si existen suficientes espacios abiertos en zonas donde predominan estas edades.

8.4. Conclusiones del análisis del indicador proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros, por sexo, edad y personas con discapacidad

El análisis geoespacial realizado sobre el indicador urbano correspondiente a la proporción de la población con acceso a espacios abiertos a una distancia máxima de 400 metros, vinculado al ODS 11.7.1, permitió evidenciar un alto nivel de accesibilidad en el área de estudio. De acuerdo con los resultados, el 99.31% de la población total registrada en las manzanas urbanas reside dentro del umbral establecido de proximidad a estos espacios, lo que denota una cobertura territorial adecuada en términos generales.

No obstante, al incorporar una perspectiva de estratificación por grupos etarios y condiciones de discapacidad, se observan importantes matices relacionados con la equidad espacial y la justicia social. Si bien la población con edad de 15 a 64 años representa el grupo más beneficiado por esta cobertura (en parte debido a su peso demográfico y a la localización urbana de las viviendas), los adultos mayores de 65 años o más, registran los niveles más bajos de accesibilidad, hecho que plantea interrogantes relevantes sobre la inclusividad del entorno urbano y la necesidad de considerar las particularidades físicas y sociales de los grupos más vulnerables en los procesos de planificación.

Por otro lado, la considerable presencia de niños y adolescentes dentro del radio de influencia de los espacios abiertos puede interpretarse positivamente, al tratarse de un grupo que se beneficia ampliamente del contacto con áreas verdes y recreativas. Sin embargo, se recomienda que este dato sea complementado con un análisis cualitativo del tipo, calidad y seguridad de dichos espacios para garantizar que su existencia se traduzca en un verdadero uso y apropiación.

En conjunto, los resultados evidencian que, aunque el elevado porcentaje global de accesibilidad podría sugerir una adecuada cobertura territorial de espacios abiertos para uso público, el análisis desagregado por grupos de población permite identificar diferencias que ponen de manifiesto la necesidad de incorporar criterios de equidad

e inclusión en la planificación urbana. En este sentido, el empleo de técnicas de análisis geoespacial, mediante áreas de servicio construidas sobre la red vial y la aplicación de los lineamientos metodológicos establecidos por UN-Habitat (2020), proporcionó un procedimiento objetivo, estandarizado y replicable para la evaluación del indicador, favoreciendo su aplicación en otros contextos urbanos y la comparabilidad de los resultados. No obstante, es importante reconocer que la metodología considera la accesibilidad desde una perspectiva predominantemente espacial, por lo que no incorpora factores que pueden condicionar el acceso efectivo a los espacios, como su calidad y funcionalidad, las condiciones de la infraestructura peatonal, la percepción de seguridad, las barreras físicas para personas con movilidad reducida o las características propias del entorno urbano. Asimismo, la precisión de las estimaciones depende de la calidad y actualización de la información geográfica utilizada para la delimitación de los espacios abiertos de uso público y de la red vial. Por ello, futuras investigaciones podrían fortalecer este enfoque mediante la incorporación de evaluaciones cualitativas, trabajo de campo y análisis de percepción ciudadana que permitan complementar la dimensión espacial de la accesibilidad con aspectos relacionados con el uso, la apropiación y la experiencia de la población. De esta manera, sería posible avanzar hacia diagnósticos más integrales que contribuyan a la formulación de políticas públicas orientas a garantizar el derecho a la ciudad y el acceso equitativo a espacios seguros, inclusivos y funcionales.

CAPÍTULO IX: INDICADOR CALIDAD DEL AIRE

9.1. Descripción del indicador calidad del aire

Este indicador se encuentra en la base de datos de los indicadores urbanos de ONU-Hábitat y forma parte del ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles, de ONU-Hábitat, específicamente del 11.6, cuyo objetivo es, de acuerdo a ONU-Hábitat (2023), que para el 2030 se logre reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, esto mediante distintas acciones como el análisis de la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo. Posteriormente, ONU-Hábitat (2018), lo identifica como el indicador 11.6.2, destinado al análisis de los niveles medios anuales de partículas finas en el aire, como son el PM2.5 y PM10 en las ciudades.

SEMARNAT (2016), reconoce que el incremento de la población producido en zonas urbanas trajo consigo una concentración de actividades económicas y productivas en zonas pequeñas que posteriormente agudizaron problemas como el adecuado suministro del agua y la mala calidad del aire.
De acuerdo a la OMS (2006), el aire limpio es un requisito básico en el bienestar y salud de los humanos, no obstante, su contaminación continúa representando una importante amenaza para la salud de la población global.

La contaminación del aire es un problema percibido en la mayor parte del mundo que tiene la capacidad de modificar el comportamiento de los ecosistemas y de afectar la salud de sus habitantes (Gobierno del Estado de Sinaloa y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, s.f.). De acuerdo a Belzunce (2002), el mejoramiento de la calidad del aire es un desafío para la mayoría de las principales ciudades en América Latina y el Caribe. Estadísticamente se tiene el reporte de que cada año fallecen 138 000 personas a causa de esta situación, por lo que es una problemática que no debe ser ignorada (CODS, 2019). De manera general, la exposición a la contaminación atmosférica se relaciona con enfermedades cardiovasculares y respiratorias, puntualizando en que la mala calidad del aire puede causar inflamaciones pulmonares que vulneran a las personas sanas y a las que tienen enfermedades persistentes.

El propósito del análisis y gestión de la calidad del aire es proteger la salud de la población, esto será posible a través de los registros de las concentraciones de los contaminantes que son detectados con estaciones, mismas que forman parte de los sistemas de monitoreo atmosférico en un lugar. (Mapasin, 2022)

Para la ciudad de Culiacán, el aspecto de la calidad del aire es también importante y en el documento Programa de gestión para mejorar la calidad del aire del Estado de Sinaloa (s.f.), se señala que el área de estudio es uno de los municipios de Sinaloa que mayores emisiones manifiesta de PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2 y compuestos orgánicos volátiles. De forma general, se menciona que en el estado de Sinaloa la información que se encuentra disponible acerca de la calidad del aire es escasa, sin embargo, permite conocer la posibilidad de que haya problemas de contaminación provocadas por partículas suspendidas $PM_{2,5}$.

Para esta investigación, se obtuvo información por parte de la Subsecretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Sinaloa para distintos meses de los años del 2018 al 2021, de los siguientes contaminantes: monóxido de carbono (CO), bióxidos de nitrógeno (NO_2), bióxidos de azufre (SO_2), ozono (O_3) y partículas (Pm 2.5). No obstante, aunque Sentinel-5P dispone de productos para el análisis de CO, NO_2, SO_2 y O_3, el alcance metodológico de la presente investigación se delimitó al procesamiento de CO y NO_2, para los cuales fue posible implementar un procedimiento metodológico basado en un referente previamente documentado y adaptado al contexto de estudio.

9.1.1. Monóxido de carbono (CO)

Se reconoce como uno de los mayores contaminantes de la atmósfera terrestre y uno de los principales problemas ambientales de América Latina. Sus principales fuentes productoras son los vehículos automotores que utilizan gasolina o diesel como combustible, así como los procesos industriales que emplean compuestos del carbono, siendo responsables de aproximadamente el 80% del total de las emisiones, sin embargo, también intervienen los incendios forestales y urbanos, la incineración de materia orgánica, el uso creciente de electrodomésticos y gasodomésticos, chimeneas y sistemas de calefacción. Estos últimos han

incrementado el factor de riesgo por intoxicación intradomiciliaria. Es decir, su toxicidad en los humanos es altamente identificada, con efectos adversos a largo plazo que son poco conocidos y otros más agudos en donde se incluye la muerte (Téllez, et al., 2006). Por su parte, la Secretaría de Salud por medio del Gobierno de México (2015), menciona que la acumulación de este gas puede producirse en espacios cerrados o semicerrados, siendo los síntomas de intoxicación más comunes el dolor de cabeza, mareos, debilidad, náuseas, confusión, dolor de pecho y vómito. Poblete et al., (2005), coinciden con lo anterior al referirse al monóxido de carbono como un gas, con las características de ser incoloro, inodoro e insípido que se manifiesta durante la combustión incompleta de materiales orgánicos que se componen por carbono. La intoxicación que este gas llega a producir suele ser de manera involuntaria, especialmente en el período de otoño-invierno, sin embargo, no únicamente existe el riesgo por inhalar este gas, también se considera la posible contaminación cutánea por impregnación de la piel, en caso de que una persona haya estado en contacto con ambientes altamente contaminados.

La relevancia del análisis de la presencia del monóxido de carbono en el área de estudio tiene como objetivo determinar las concentraciones del mismo que se han producido en los últimos años, ya que, como se puede ver en el mapa siguiente, se encuentra con un alto índice de este gas:

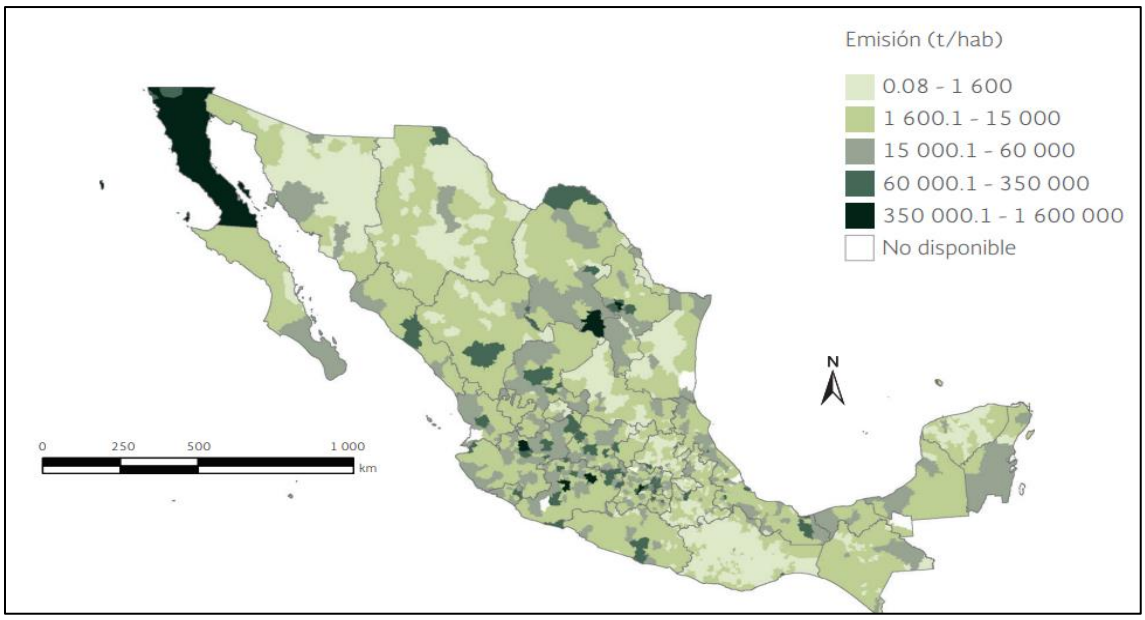


Fig. 40 Emisión de monóxido de carbono (CO) por municipio en 2008. Fuente: SEMARNAT. Inventario Nacional de Emisiones de México (INEM) 2008. (2013), citado en SEMARNAT, (2016)

El INEM permite conocer la realidad de la presencia de distintos gases en México, para el año 2016, a través de su portal, fue posible obtener resultados más recientes para nuestra área de estudio y se muestran a continuación:

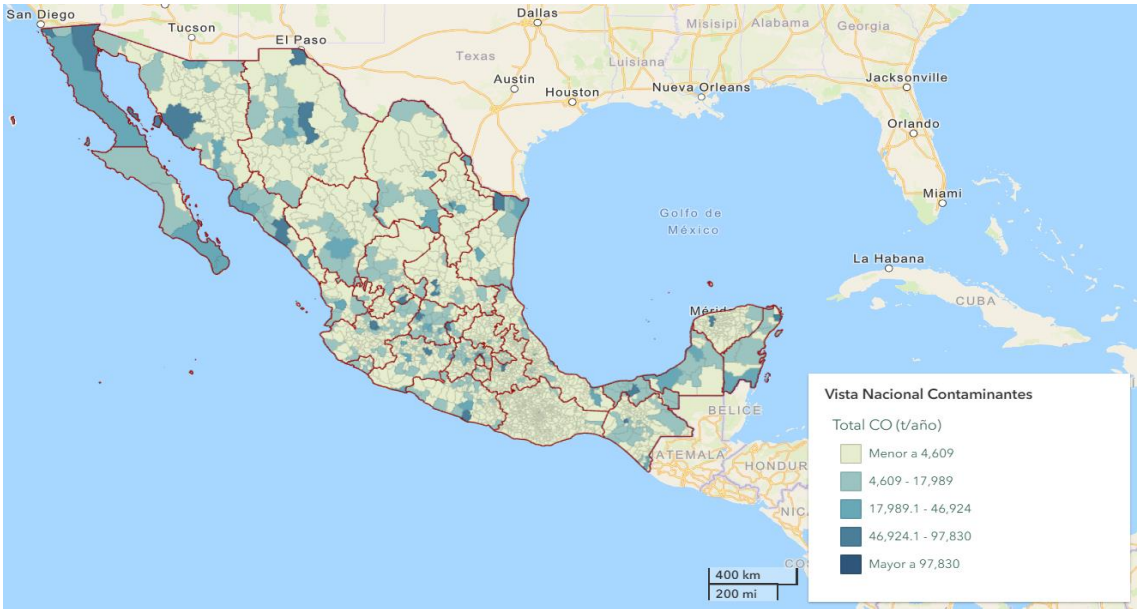


Fig. 41 Emisión por monóxido de carbono por municipio 2016. Fuente: INEM, (2016)

Ochoa (2023), menciona el alarmante segundo lugar que Sinaloa ocupa a nivel nacional con respecto a los casos de fallecimiento por intoxicación de este gas, principalmente en temporadas invernales, coincidente con la información previamente expuesta sobre el tema.

Legislativamente, existe una Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles que considera los valores que son recomendados por la OMS, se trata de la NOM-021-SSA1-2021, la cual establece criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al CO, como medida de protección a la salud de la población y es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional. De acuerdo al Centro Estatal de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades (2023), esta norma solicita la medición por 8 horas móvil con un valor límite de 9.0 p.p.m.

No obstante, esta Norma está enfocada en la determinación de la concentración de este gas por medio del monitoreo de la calidad del aire utilizando equipos de medición en estaciones, lo que para esta investigación no será así, más bien, se

utilizarán los valores que fueron obtenidos por estos medios como puntos de partida y comparación de los resultados del análisis en las imágenes satelitales.

La presencia del monóxido de carbono para distintos años en el área de estudio de esta investigación se puede observar claramente en los dos mapas anteriores y, conociendo ya el peligro que este gas representa para las personas, resulta de gran importancia su estudio.

9.1.2. Bióxido de nitrógeno (NO2)

Se trata de contaminantes generados en el momento en el cual el nitrógeno que se encuentra contenido en los combustibles y en el aire es oxidado en un proceso de combustión, es decir, el NO_2 se deriva de los procesos de combustión, siendo esta la principal fuente del vertimiento que se produce a la atmósfera. También es identificado como un contaminante primario que realiza un doble papel en materia medio ambiental, pues se le reconoce su efecto potencialmente dañino de forma directa, pero a su vez, es uno de los precursores del ozono. La acumulación de este contaminante en el cuerpo humano representa un riesgo para las vías respiratorias, debido a que inicia, reactiva y puede alterar la capacidad de respuesta de las células en el proceso inflamatorio, tal como sucede con las células polimorfonucleares y los linfocitos, resultando ser más frecuente en casos de bronquitis crónica. (SEMARNAT, 2018)

Su medición, de acuerdo a la NOM-023-SSA1-2021 es a cada hora, con un valor límite de 0.106 p.p.m. Se considera de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para ser considerada por las autoridades que tienen a su cargo la vigilancia de la calidad del aire. (Secretaría de Gobernación (SEGOB), 2021)

9.2. Metodología para el análisis del indicador de la calidad del aire

El metadato del indicador 11.6.2 de ONU-Hábitat (2018), da a conocer que las fuentes y procesos de recopilación de datos necesarios para analizarlo son variadas, considerando aquellos que son obtenidos a través de mediciones terrestres de redes de monitoreo y de teledetección satelital, siendo este último el recurso que será tomado en cuenta durante el desarrollo metodológico.

En este contexto, el empleo de las imágenes satelitales representa una posible solución alternativa para el monitoreo de la calidad del aire en lugares donde no se llevan a cabo (Guevara et al., 2018). En particular, el satélite Sentinel-5P proporciona observaciones diarias de diversos componentes atmosféricos a escala global, entre los que destacan el CO, NO_2, SO_2 y O_3, (Sentinel-Hub, s.f.). En lo que respecta a las partículas $PM_{2.5}$, Mamić, Gašparović y Kaplan (2023), señalan la inexistencia de sensores satelitales disponibles que por sí solos permitan rastrearlas, resaltando la validez que tienen los datos que se obtienen a través de estaciones terrestres. No obstante, la información satelital en conjunto con otros datos de detección remota de código abierto, además de su manejo durante la aplicación de métodos de aprendizaje automático, hacen posible la obtención de modelos que permitan estimar estos valores. Dado el alcance metodológico de la presente investigación, el análisis se delimitó a las concentraciones de CO y NO_2, para las cuales fue posible implementar un procedimiento de procesamiento y análisis basado en la metodología propuesta por Belzunce (2022), tomada como referente para la configuración metodológica desarrollada en este estudio.

La metodología empleada para el análisis de la calidad del aire se presenta en la Figura siguiente:

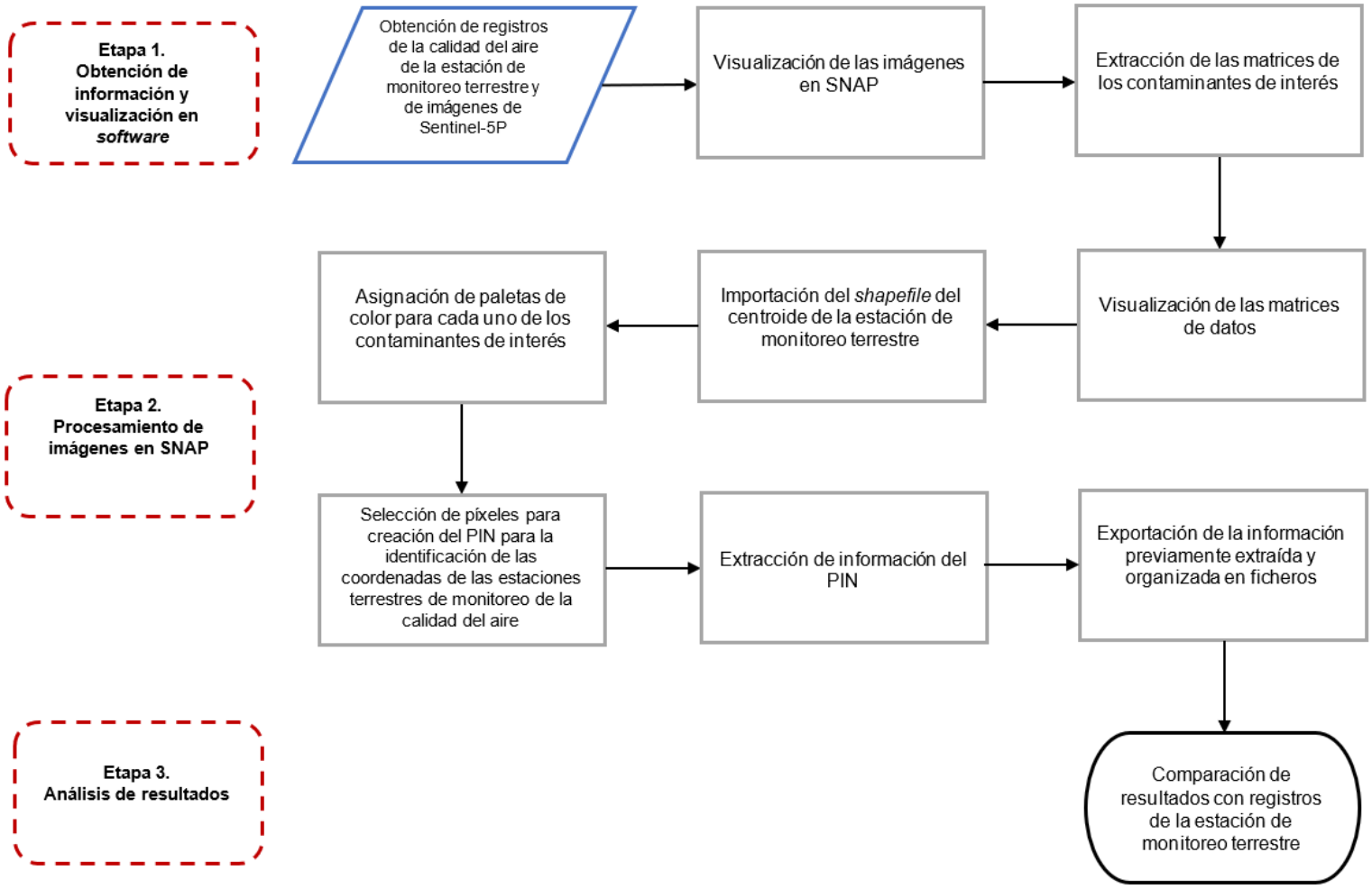


Fig. 42 Metodología para el análisis de la calidad del aire en el área de estudio. Fuente: propia con información de Belzunce (2022)

La Fig. 42 sintetiza el procedimiento metodológico empleado para el análisis de la calidad del aire. A continuación, se describen de manera detallada cada una de las etapas que lo integran.

- Obtención de registros de la calidad del aire de la estación de monitoreo terrestre y de imágenes de Sentinel-5P: se empleó información proveniente de la estación de monitoreo terrestre correspondiente a los períodos de octubre a diciembre de 2018; enero a febrero y agosto a diciembre de 2019; así como de enero a junio de 2020 y 2021. Las imágenes de Sentinel-5P empleadas para el análisis fueron obtenidas para las mismas fechas, a fin de asegurar la correspondencia temporal entre la información satelital y los datos registrados por la estación de monitoreo terrestre.
- Visualización de las imágenes en SNAP: las imágenes satelitales fueron importadas y visualizadas en SNAP (*Sentinel Application Platform*), *software* desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés), para el procesamiento, análisis y visualización de datos de observación de la Tierra (ESA, s.f.).
- Extracción de las matrices de los contaminantes de interés: se identificaron y seleccionaron las matrices correspondientes a las concentraciones de CO y NO_2 contenidas en cada imagen satelital, las cuales constituyeron la información base para el análisis.
- Visualización de las matrices de datos: fueron representadas espacialmente dentro de SNAP con el fin de verificar la distribución de los valores registrados y comprobar la correcta identificación de cada contaminante.
- Importación de *shapefile* del centroide de la estación de monitoreo terrestre: se incorporó al proyecto el archivo vectorial que contiene la ubicación del centroide de la estación de monitoreo terrestre, con el propósito de localizar espacialmente el sitio de comparación entre la información satelital y los registros obtenidos en superficie. Las coordenadas del centroide se incluyen en la Tabla 13.
- Asignación de paletas de color para cada uno de los contaminantes de interés: se aplicaron las escalas de color específicas para las

concentraciones de CO y NO_2 respectivamente, facilitando la visualización e interpretación espacial de la variación de sus valores.

- Selección de píxeles para creación del PIN para la identificación de las coordenadas de las estaciones terrestres de monitoreo de la calidad del aire: se idenificó el píxel asociado a la ubicación de la estación de monitoreo terrestre y se generó un PIN (*Point of Interest*) para extraer los valores de concentración registrados por la imagen satelital en dicho punto.
- Extracción de información del PIN: se obtuvieron los valores de concentración de CO y NO_2 asociados al PIN generado, correspondientes a cada una de las fechas analizadas.
- Exportación de la información previamente extraída y organizada en ficheros: los valores obtenidos fueron exportados desde SNAP en archivos compatibles para su organización y posterior procesamiento estadístico y cartográfico.
- Comparación de resultados con registros de la estación de monitoreo terrestre: finalmente, los valores de concentración obtenidos mediante Sentinel-5P fueron comparados con los registros de la estación de monitoreo terrestre correspondientes a las mismas fechas, con el propósito de evaluar el grado de concordancia entre ambas fuentes de información.

Tabla 13. Coordenadas del centroide de la cabina de monitoreo terrestre. Fuente: propia

UTM Zona 13N (este)	**UTM Zona 13N (norte)**	**Geodésica (latitud)**	**Geodésica (longitud)**
258055.914951	2745673.21244	24.7984° N	-107.4266° O

9.3. Resultados del análisis del indicador calidad del aire

A partir del procesamiento de la información satelital y de los registros de la estación de monitoreo terrestre, fue posible identificar las concentraciones de CO y NO_2 durante el período considerado en la investigación. Sin embargo, la disponibilidad de datos no fue continua, debido a la existencia de vacíos en los registros de la estación terrestre, lo que restringió la comparación sistemática entre fuentes de información. Pese a estas limitaciones en la disponibilidad de información, los datos disponibles permitieron realizar el análisis correspondiente, los resultados se presentan a continuación.

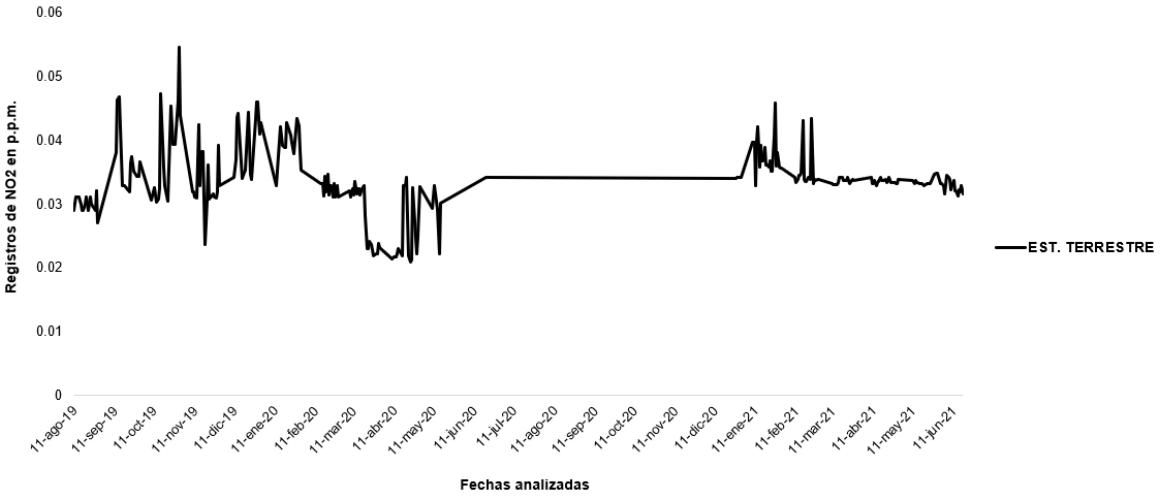


Fig. 43 Concentración de NO_2 registrada en estación de monitoreo terrestre. Fuente: propia

El contenido de la Fig. 43 permite conocer las concentraciones de NO_2 que se registraron en los datos provenientes de una estación de monitoreo terrestre desde el mes de agosto del 2019 hasta junio del 2021, utilizando las partes por millón (p.p.m.) como unidad de medida.

De manera general es posible mencionar que desde agosto del 2019 hasta principios del 2020 se observan concentraciones variables de NO_2 entre 0.02 y 0.05 p.p.m., manifestándose también un pico que supera el valor de 0.05 p.p.m. en

noviembre del 2019, situación que sugiere el posible aumento en actividades urbanas o industriales, dado a la naturaleza del NO_2. Estas variaciones evidencian la sensibilidad del entorno urbano ante cambios en la intensidad de las actividades cotidianas, poniendo de manifiesto la necesidad de fortalecer estrategias de planificación orientadas a la reducción de emisiones, tales como la promoción del transporte sostenible, la regulación de fuentes contaminantes y la integración de infraestructura verde. En este sentido, el comportamiento del NO_2 no solo actúa como un indicador de la calidad ambiental urbana, sino también como un insumo clave para la toma de decisiones en materia de gestión territorial y desarrollo urbano sostenible.

En el primer semestre del 2020 se manifiesta una abrupta y sostenida disminución de las concentraciones de NO_2, incluso bajando a valores cercanos de 0.02 p.p.m., situación que podría estar relacionada con la disminución de actividades humanas que se registraron durante los confinamientos a causa de la pandemia de COVID-19 y que estaría en concordancia con lo documentado en el mundo, como en el estudio de Venter et al., (2020), quienes confirmaron su hipótesis de disminución de la concentración del NO_2 durante este período en todo el planeta.

Durante la segunda mitad de 2020 y hasta principios de 2021 se observa un incremento paulatino y sostenido en las concentraciones de NO_2, aunque sin alcanzar los niveles registrados en 2019. Este comportamiento podría estar asociado con la reactivación gradual de las actividades económicas tras el confinamiento por la pandemia de COVID-19. Estos comportamientos en las concentraciones de NO_2 sugieren una relación directa entre la reactivación de las actividades urbanas y el deterioro de la calidad del aire. El hecho de que las concentraciones no hayan alcanzado los niveles de 2019 podría indicar cambios en los patrones de desplazamiento o una recuperación económica aún parcial; sin embargo, el repunte observado evidencia la persistencia de fuentes emisoras relevantes dentro del sistema urbano.

En el primer trimestre de 2021 se registra un aumento más notable en los niveles de NO_2, alcanzando concentraciones cercanas a 0.05 p.p.m., en comparación con los valores observados durante 2020. No obstante, en los meses posteriores se evidencia una disminución en las concentraciones, con una menor variabilidad respecto a períodos anteriores, lo cual podría reflejar una mayor estabilidad en la calidad del aire. En términos de impacto en la ciudad, estos resultados resaltan la necesidad de consolidar estrategias de planificación que permitan mantener niveles de contaminación controlados aun en contextos de reactivación económica, impulsando, por ejemplo, políticas de movilidad sostenible y regulación de emisiones urbanas con la finalidad de avanzar hacia un modelo de ciudad más equilibrado, resiliente y ambientalmente sostenible.

Es importante destacar que el NO_2 es un buen indicador de la presencia de tráfico vehicular y de emisiones industriales, por lo que sus variaciones pueden reflejar alteraciones significativas en la calidad del aire. En este sentido, la Fig. 45 muestra una posible relación directa entre las actividades humanas y los niveles de contaminación atmosférica, particularmente en el contexto de las restricciones y cambios derivados de la pandemia por COVID-19.

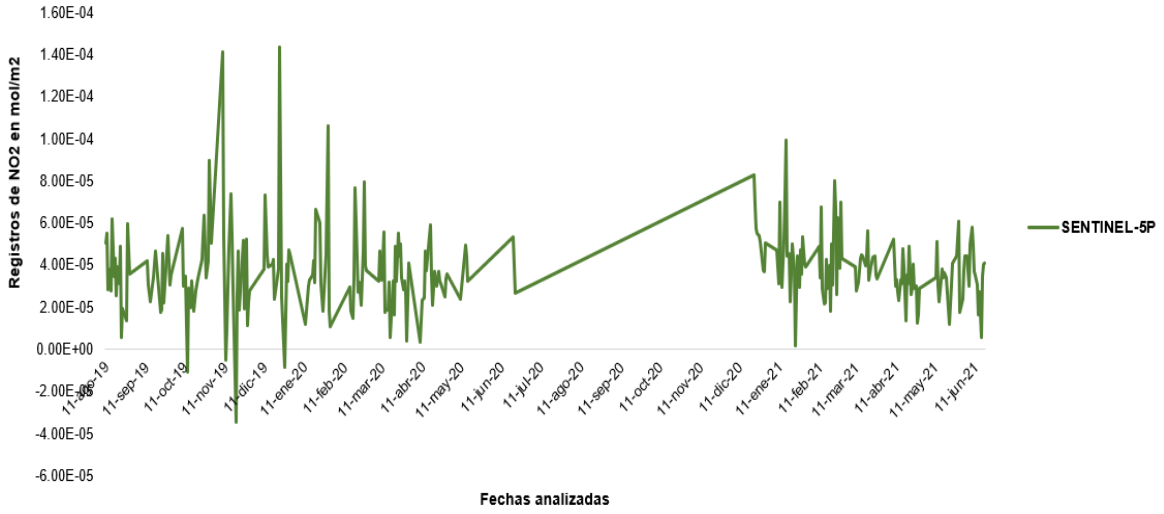


Fig. 44 Concentración de NO_2 en imágenes de Sentinel-5P analizadas en SNAP. Fuente: propia

En lo que respecta a la Fig. 44, se observan los valores obtenidos a partir de las imágenes de Sentinel-5P analizados desde agosto del 2019 hasta junio del 2021.

Durante los primeros tres meses analizados se observa una relativa estabilidad en los valores de NO_2, con variaciones mínimas entre ellos. Sin embargo, en noviembre de 2019 se registra un aumento significativo en las concentraciones, marcando un despunte notable respecto a los meses anteriores. Posteriormente, en diciembre de 2019, se presenta una disminución considerable en los niveles de NO_2, alcanzando valores similares a los observados durante el primer trimestre del período analizado.

En el primer trimestre del 2020 se observa una alta variabilidad en los niveles de NO_2 y se aprecian varios picos significativos, hecho que puede estar asociado a actividades humanas intensas, como el tráfico vehicular, la actividad industrial y condiciones atmosféricas específicas. De abril a julio del mismo año se presenta una tendencia a la baja y se mantienen en niveles más estables y reducidos durante varios meses, situación que podría estar relacionada con las medidas de confinamiento que fueron aplicadas durante la pandemia de COVID-19, situación que redujo considerablemente las emisiones urbanas. En lo que resta del año se observa una tendencia creciente sostenida que culmina con un elevado valor en

diciembre, situación que podría estar relacionada al retorno progresivo de las actividades humanas, especialmente en sectores económicos y medios de transporte.

Por último, en el 2021, se observa que en enero hubo un notable incremento en las concentraciones (con respecto a lo registrado en el último semestre del 2020), sin embargo, en febrero ocurre un descenso marcado. Posteriormente, en marzo, los niveles vuelven a incrementarse, aunque sin alcanzar los valores registrados en enero. A partir de abril y hasta junio, las concentraciones de NO_2 se mantienen estables, con valores muy similares entre sí, lo que sugiere una fase de constancia en las emisiones o en las condiciones atmosféricas que afectan su dispersión.

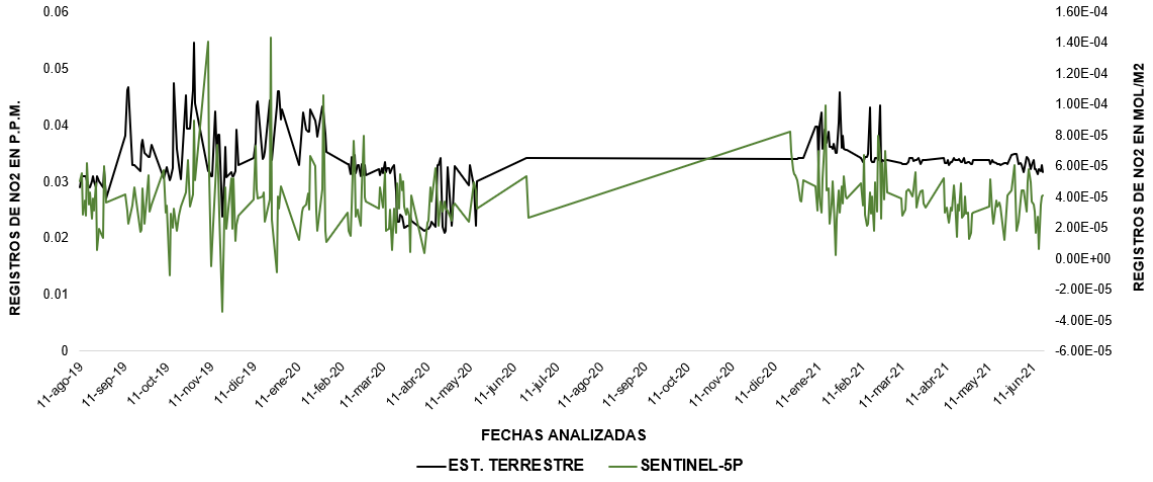


Fig. 45 Concentración de NO_2 registradas en estación de monitoreo terrestre y en imágenes de Sentinel-5P analizadas en SNAP. Fuente: propia

La Fig. 45 presenta una comparación entre los valores registrados de NO_2 por la estación de monitoreo terrestre (representados por la línea negra) y los valores obtenidos a partir de las imágenes de Sentinel-5P (línea verde), correspondientes a las figuras 43 y 44 respectivamente, con el objetivo de analizar las posibles coincidencias o discrepancias entre ambas fuentes de información.

La gráfica muestra el análisis temporal de las concentraciones de NO_2 entre agosto del 2019 y junio del 2021, expresadas en dos distintas unidades (p.p.m. para los

datos de la estación terrestre y mol/m^2 para los valores de las imágenes satelitales). A través del tiempo analizado se observa que ambas fuentes manifiestan valores y tendencias similares, coincidiendo parcialmente en ciertos picos y valles, no obstante, también hay meses en los que los valores discrepan unos de otros (como en el primer trimestre del análisis), lo cual podría deberse a las distintas escalas que se manejan. A partir de mediados del 2020 los valores son más estables, este comportamiento puede estar asociado a los cambios en la actividad urbana y a las restricciones derivadas del COVID-19. Dichos valores empiezan a comportarse de forma más dinámica en todos los meses del 2021 (con respecto a los seis meses anteriores), manifestando una estabilización en los valores. A pesar de que las escalas de medición de las fuentes de información son distintos, se aprecia el grado de correspondencia en las tendencias generales.

Para concluir es importante destacar que, pese a algunas discrepancias entre las series de datos representados en la gráfica, ambas reflejan patrones consistentes que permiten inferir el comportamiento del NO_2 en el área de estudio.

Una vez finalizado el análisis de las concentraciones de NO_2, se procedió a replicar la misma metodología, esta vez enfocada en el estudio de CO.

El objetivo de este segundo análisis fue identificar similitudes o diferencias en el comportamiento de otro contaminante clave para la calidad del aire, utilizando la misma base técnica y espacial aplicada al NO_2. Para ello también se emplearon imágenes satelitales de Sentinel-5P, así como los registros disponibles de la estación de monitoreo terrestre del área de estudio, permitiendo establecer una comparación entre ambas fuentes de datos en términos de concentración, cobertura y comportamiento temporal.

A continuación, se presentan los resultados para el CO, organizados en gráficas que permiten una interpretación clara de las tendencias observadas tanto para la estación de monitoreo terrestre como en las imágenes satelitales respectivamente.

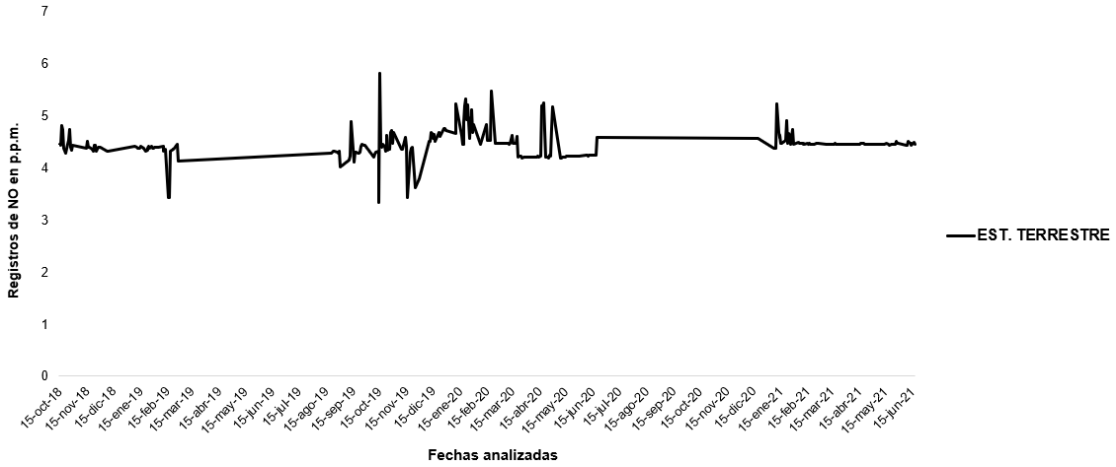


Fig. 46 Concentración de CO registrada en estación de monitoreo terrestre. Fuente: propia

Las Fig. 46 muestra el comportamiento de las concentraciones de CO registradas entre octubre del 2018 y junio del 2021 por la estación de monitoreo terrestre, permitiendo realizar una comparación temporal entre los distintos períodos analizados.

Durante el primer cuatrimestre del período de tiempo estudiado (octubre del 2018-enero del 2019), las concentraciones de CO se mantuvieron relativamente constantes, sin presentar variaciones significativas. En febrero del 2019, se observa una disminución notable en los valores registrados, seguida de un incremento gradual que dio paso a un nuevo período de estabilidad relativa, que se mantuvo durante los siguientes seis meses.

Los datos anteriores sugieren una estrecha relación entre la dinámica urbana y la calidad del aire. La estabilidad observada en los primeros meses, así como en el período posterior al incremento gradual orienta hacia una continuidad en las fuentes emisoras posiblemente asociadas al tránsito vehicular y a ciertas actividades económicas. Por su parte, la disminución registrada en febrero del 2018 podría estar vinculada a una reducción temporal de dichas actividades, evidenciando la sensibilidad de este contaminante ante cambios en los patrones de movilidad y consumo energético.

En términos de impacto urbano, estos resultados ponen de manifiesto la persistencia de emisiones que, aunque no presentan variaciones abruptas en todo el período, pueden generar efectos acumulativos en la salud de la población, especialmente en zonas con alta densidad de tráfico. Asimismo, y tal como pasó en el análisis del NO_2, el comportamiento relativamente estable del CO denota la necesidad de implementar estrategias estructurales más allá de medidas temporales, tales como la mejora del transporte público, la promoción de alternativas de movilidad no motorizada y el control de emisiones vehiculares. De esta manera, el análisis del CO se convierte en un insumo clave para orientar políticas urbanas que contribuyan a la construcción de entornos más saludables y sostenibles.

En el tramo comprendido entre septiembre del 2019 y junio del 2020, se identifican variaciones marcadas en las concentraciones de CO, con una alternancia de aumentos y descensos, situación que indica una alta variabilidad en este período. Por el contrario, durante el segundo semestre del 2020, los valores tienden nuevamente a estabilizarse, mostrando poca variación entre ellos. Este comportamiento coincide con el patrón observado previamente en las concentraciones de NO_2 y probablemente está relacionado con las medidas de confinamiento y la reducción de actividades económicas derivadas de la pandemia por COVID-19.

Finalmente, en el primer bimestre del 2021, se registra un incremento en las concentraciones de CO, seguido por un nuevo período de cuatro meses consecutivos con valores más bajos y estables, en comparación con los niveles registrados en enero y febrero del mismo año.

El incremento registrado en el primer bimestre de 2021 puede interpretarse como un reflejo de la reactivación progresiva de las actividades urbanas, particularmente de la movilidad vehicular y de los sectores económicos que habían sido restringidos en etapas previas. Este repunte evidencia la estrecha dependencia entre la intensidad de las dinámicas urbanas y los niveles de contaminación atmosférica, poniendo de manifiesto la vulnerabilidad de la calidad del aire ante procesos de

recuperación económica. Por su parte, la posterior estabilización de los valores en niveles más bajos durante los meses siguientes sugiere una moderación en dichas actividades o una adaptación paulatina a nuevas condiciones de funcionamiento urbano.

En términos de impacto en la ciudad, estos resultados resaltan la necesidad de implementar estrategias de gestión que permitan desacoplar el crecimiento o reactivación urbana del aumento en las emisiones contaminantes. Asimismo, evidencian la importancia de fortalecer políticas de regulación de fuentes emisoras con la finalidad de evitar que los procesos de recuperación económica se traduzcan en un deterioro de la calidad ambiental y, por ende, en afectaciones a la salud y bienestar de la población.

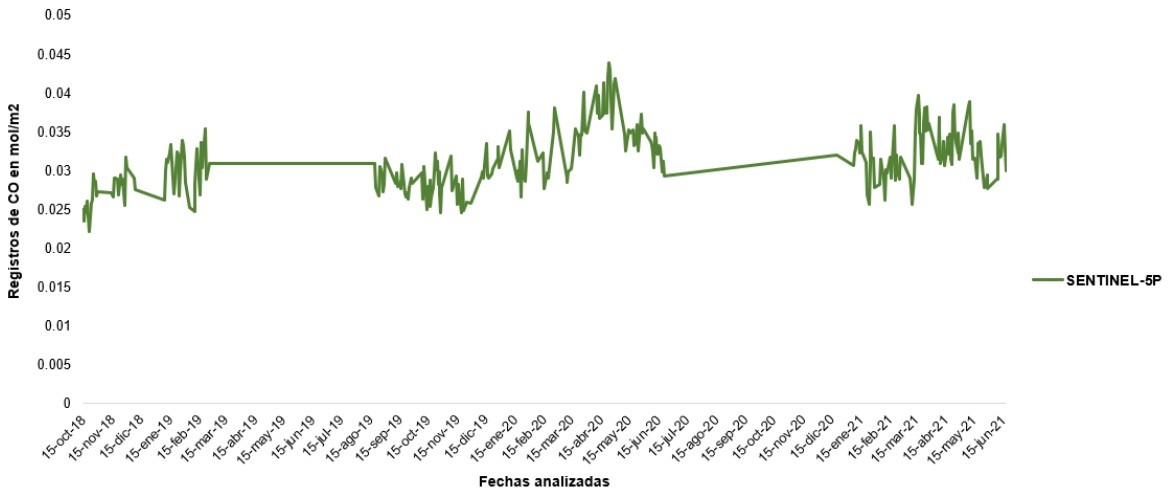


Fig. 47 Concentración de CO en imágenes de Sentinel-5P en SNAP. Fuente: propia

La Fig. 47 permite conocer las concentraciones de CO que fueron analizadas a partir de las imágenes del satélite Sentinel-5P, abarcando un período de tiempo comprendido desde octubre del 2018 hasta junio del 2021.

Entre octubre del 2018 y febrero del 2019, se observa una alta variabilidad en las concentraciones de CO, con variaciones marcadas entre valores altos y bajos. A partir de marzo y hasta agosto del 2019, los valores se estabilizan

considerablemente, manteniéndose prácticamente constantes, lo que se refleja en una línea recta sin variaciones aparentes.

En el período comprendido entre septiembre del 2019 y junio del 2020, las concentraciones de CO vuelven a mostrar una gran inestabilidad, con múltiples picos y caídas, destacando especialmente el incremento pronunciado entre marzo y mayo del 2020, seguido por un descenso visible en junio del mismo año, lo cual podría estar influido por factores atmosféricos o cambios en la movilidad urbana y actividad económica durante los primeros meses de la pandemia.

Durante el segundo semestre del 2020, la gráfica muestra nuevamente una línea plana, sin variaciones significativas en las concentraciones de CO. Este patrón coincide con los resultados obtenidos previamente y en las de NO_2, relacionándose de nuevo con la reducción de actividades económicas en las ciudades durante el confinamiento derivado de la pandemia por COVID-19.

Finalmente, entre enero y junio del 2021, se identifica una reanudación en la dinámica de las concentraciones de CO, con múltiples variaciones (picos y caídas) a lo largo de estos meses, comportamiento que podría estar vinculado a la reactivación progresiva de las actividades económicas y sociales conforme fueron disminuyendo las restricciones sanitarias impuestas durante el confinamiento.

La alternancia entre períodos de alta variabilidad y etapas de estabilidad en las concentraciones de CO refleja de manera clara la influencia de las dinámicas urbanas sobre la calidad del aire. Los episodios de inestabilidad, caracterizados por picos y descensos pronunciados, evidencian la sensibilidad de este contaminante ante cambios en las condiciones operativas de la ciudad, particularmente en contextos de transición como los observados durante la pandemia. En contraste, los períodos de estabilidad, asociados a una reducción en la intensidad de las actividades urbanas, ponen de manifiesto el efecto inmediato que tienen las restricciones de movilidad y la desaceleración económica en la disminución de emisiones.

En términos de impacto, estos resultados subrayan la dependencia estructural de la calidad del aire respecto a los patrones de funcionamiento urbano, lo que implica que escenarios de reactivación económica sin medidas de control pueden traducirse rápidamente en deterioro ambiental, evidenciando, como se ha mencionado con anterioridad, la necesidad de incorporar estrategias de planificación urbana que permitan mitigar estas fluctuaciones y procurar un desarrollo medioambiental más sostenible y resiliente.

A continuación, se presenta una figura en la que se comparan las dos series de concentraciones de CO: una correspondiente a los datos obtenidos a partir de las imágenes de Sentinel-5P y otra proveniente de la estación de monitoreo terrestre. Esta representación permite identificar de manera clara las coincidencias y discrepancias entre ambos conjuntos de datos, facilitando el análisis de su comportamiento y grado de correspondencia.

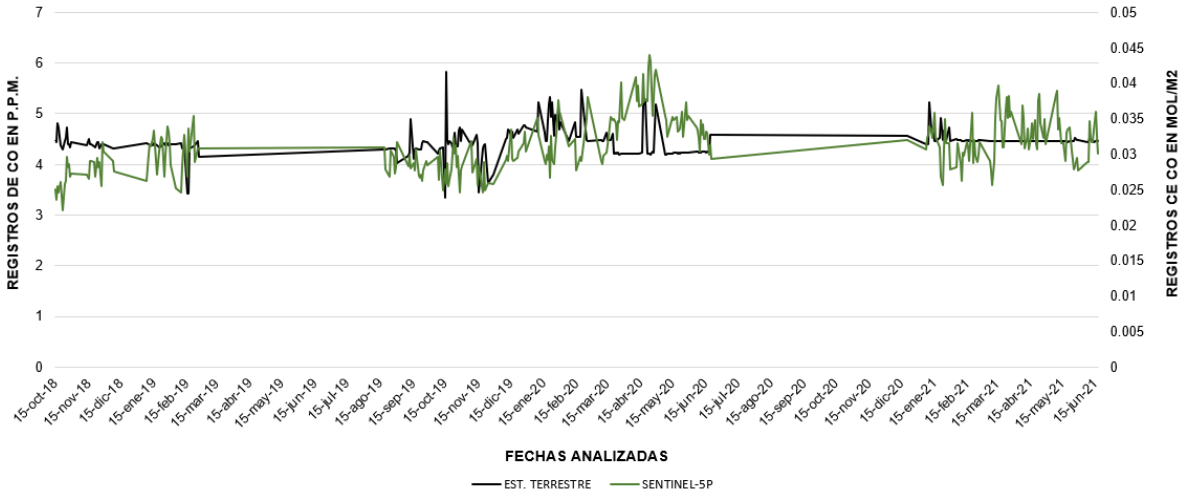


Fig. 48 Concentración de CO registradas en estación de monitoreo terrestre y en imágenes de Sentinel-5P en SNAP. Fuente: propia

La Fig. 48 muestra los registros de concentraciones de CO que fueron obtenidos tanto por la estación de monitoreo terrestre (línea negra), como por el análisis de las imágenes satelitales (línea verde), facilitando la identificación de coincidencias o diferencias entre las dos fuentes de información.

Con un análisis temporal que abarca de octubre del 2019 a junio del 2021 y, con valores expresados en distintas unidades (p.p.m. para los datos de la estación de monitoreo terrestre y mol/m^2 para los valores que se obtuvieron de las imágenes de Sentinel-5P), fue posible identificar lo siguiente.

En los primeros cinco meses del análisis (de octubre del 2018 a febrero del 2019), se observan registros se observa que ambas líneas siguen una tendencia general con similitudes en ciertos momentos, lo que sugiere que, aunque existe diferencia entre sus unidades, ambas fuentes captaron cambios similares representadas por picos y caídas, con respecto en las concentraciones de CO del área de estudio en las mismas fechas. Para el período comprendido entre marzo y agosto del 2019, las concentraciones de CO registradas por ambas fuentes permanecieron prácticamente constantes, sin mostrar variaciones significativas. No fue sino hasta septiembre de ese mismo año y hasta inicios de junio del 2020 cuando se observó una mayor dinámica en ambas series de datos. En este intervalo se identificaron distintas discrepancias, con una notable correspondencia entre ambas fuentes, en general, cuando una serie mostraba un aumento, la otra también lo hacía y lo mismo ocurría con las disminuciones de CO. Sin embargo, se destaca el mes de octubre del 2019, cuando se registró un pico pronunciado en la serie de la estación de monitoreo terrestre que no fue reflejado con la misma intensidad en los datos satelitales.

Posteriormente, entre el 15 de junio del 2020 y los primeros días de enero del 2021, ambas series mostraron una notable estabilidad, con valores prácticamente constantes, fenómeno que podría estar asociado, nuevamente, al contexto de la pandemia y las restricciones establecidas durante este tiempo.

En lo que respecta a los meses que restaron del 2021, se observa dinamismo, particularmente en la serie derivada de las imágenes satelitales, lo cual podría estar relacionado, nuevamente, con la reactivación gradual de las actividades económicas y sociales. En contraste con los registros de la estación de monitoreo terrestre, en donde nada más se observan cambios en enero, manteniéndose

prácticamente sin variaciones en el resto del año, formando una línea casi recta para la representación del comportamiento del CO.

La comparación entre los registros de CO provenientes de las dos fuentes de información señaladas permite comprender con mayor profundidad la dinámica espacial y temporal de la contaminación atmosférica de la ciudad. La correspondencia general entre ambas series en términos de tendencias (particularmente en los períodos de incrementos y descensos) sugiere que los cambios en las concentraciones de CO se encuentran estrechamente vinculados a las variaciones en la intensidad de las actividades urbana. Por otro lado, las discrepancias observadas en ciertos momentos, como el pico registrado en octubre de 2019 en la estación de monitoreo terrestre, evidencian las posibles diferencias relacionadas a la distinta escala y la resolución de cada fuente, lo cual resalta la importancia de integrar múltiples metodologías para obtener una visión más completa del fenómeno.

En términos de impacto en la ciudad, estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de fortalecer los sistemas de monitoreo ambiental y su articulación con herramientas de análisis geoespacial, con el fin de mejorar la toma de decisiones en materia de planificación urbana. Asimismo, la variabilidad identificada a lo largo del tiempo, especialmente en contextos de reactivación económica, subraya la urgencia de implementar políticas que permitan controlar las emisiones contaminantes sin limitar el desarrollo urbano. En este sentido, el análisis conjunto de ambas fuentes no solo permite validar tendencias, sino que también contribuye a diseñar estrategias más efectivas orientadas a la construcción de entornos urbanos más saludables, sostenibles y resilientes.

Para concluir se destaca que, a pesar de que ambas series de datos se encuentran expresadas en distintas unidades, el comportamiento general a lo largo del período analizado es notablemente similar. Esta correspondencia en las tendencias sugiere que ambas fuentes permiten conocer de forma coherente la evolución temporal de

las concentraciones de CO en el área de estudio, fortaleciendo la confiabilidad del análisis conjunto.

El análisis de correlación fue llevado a cabo con Pearson que, de acuerdo a Chee (2015), es la medida de asociación más utilizada, además de ser una forma sencilla de evaluar la asociación entre dos variables.

La correlación de Pearson es utilizada en el análisis de temas relacionados con la calidad del aire, como el trabajo realizado por Seham et al., (2022), del cual se habló anteriormente y en donde destaca el empleo de esta medida de correspondencia para datos de contaminantes obtenidos a partir de imágenes satelitales y su relación con otras variables como la temperatura y velocidad del viento. De manera similar, Belzunce (2022), también aplica la correlación de Pearson en su estudio de la calidad del aire con el propósito de analizar la relación entre los datos de concentraciones de contaminantes obtenidos de imágenes satelitales con respecto a registros provenientes de una estación de monitoreo terrestre, destacando su capacidad para comparar información generada a partir de diferentes metodologías de medición. En este estudio, adicionalmente, se evaluó la correlación de Spearman como alternativa de análisis con el fin de explorar posibles relaciones entre las variables analizadas, sin embargo, los resultados presentaron coeficientes de baja magnitud, consistentes con los hallazgos de la correlación de Pearson. En consecuencia, se optó por centrar el análisis en los resultados de Pearson, dado su carácter ampliamente utilizado y su pertinencia para la interpretación de relaciones lineales entre variables, lo cual permite evaluar de manera consistente la correspondencia entre datos satelitales y mediciones in situ en el análisis de la calidad del aire. Los resultados se muestran a continuación.

9.3.1. Resultados del análisis de correlación de Pearson de la calidad del aire

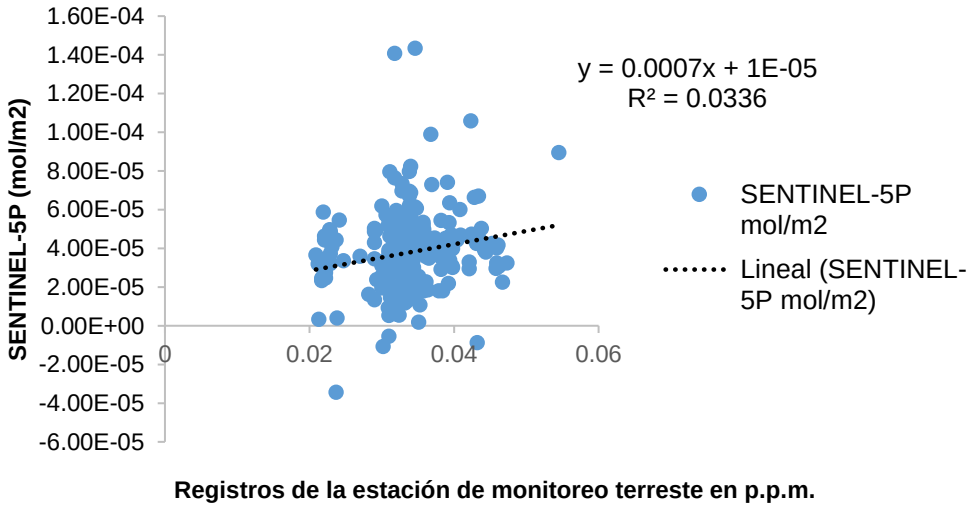


Fig. 49 Correlación de Pearson aplicado a los resultados de las variables analizadas de NO_2. Fuente: propia

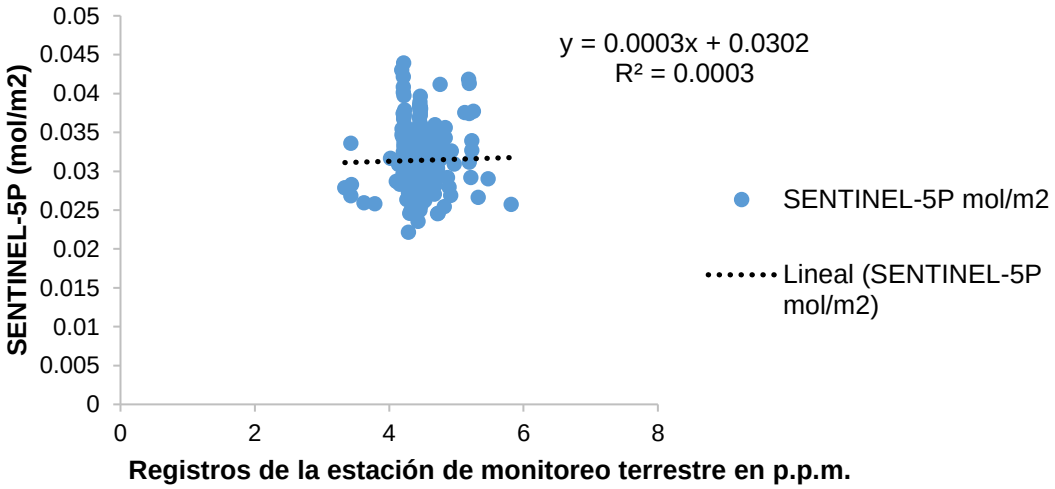


Fig. 50 Correlación de Pearson aplicado a los resultados de las variables analizadas de CO en imágenes satelitales y la estación de monitoreo terrestre. Fuente: propia

En la Fig. 49 se aprecia una gráfica en donde intervienen elementos como el eje X y el eje Y, en el primero se representan las concentraciones de NO_2 obtenidas de la estación de monitoreo terrestre, mientras que en el eje Y se visualizan las que provienen de las imágenes de Sentinel-5P, siendo cada punto azul la representación de una medición compatible entre el satélite y la estación terrestre. En cuanto a la ecuación de la recta se observa una pendiente positiva con un valor de 0.0007, mientras que el coeficiente de determinación es igual a 0.0336, es decir que únicamente el 3.36% de la variación de los valores de Sentinel-5P puede ser explicada por los valores de la estación de monitoreo terrestre. Este resultado puede estar asociado a las diferencias metodológicas existentes entre ambas fuentes de información, principalmente a la distinta escala espacial de observación y la diferencia de unidades de medición utilizadas entre ellas, factores que dificultan la comparación directa de los valores registrados.

Ahora bien, en lo que respecta al coeficiente de Pearson que, de acuerdo a Fiallos (2021), describe la correlación que hay entre dos variables cuantitativas, así como la fuerza que hay entre ellas, el resultado fue de 0.183, valor que indica una correlación débil, esto último considerando los parámetros que Hernández et al., (2018), señala:

Tabla 14. Valores de la correlación de Pearson. Fuente: propia con información de Hernández et al., (2018)

RANGO DE VALORES DE r_{yx}	**INTERPRETACIÓN**
$0.00 \leq \lvert r_{yx} \rvert < 0.10$	Correlación nula
$0.10 \leq \lvert r_{yx} \rvert < 0.30$	Correlación débil
$0.30 \leq \lvert r_{yx} \rvert < 0.50$	Correlación moderada
$0.50 \leq \lvert r_{yx} \rvert < 1.00$	Correlación fuerte

La dispersión observada en los puntos de la Fig. 49 alrededor de la línea de tendencia confirma la presencia de una correlación débil. Si bien se identifica una tendencia lineal positiva entre las concentraciones de NO_2 analizadas, esta relación no es lo suficientemente fuerte como para sustentar inferencias sólidas sin un análisis más profundo o sin una mejora en la calidad de los datos. Esta baja correlación puede atribuirse a factores entre ellos como la diferencia en la resolución espacial entre ambas fuentes: mientras el satélite presenta una resolución de 3.5 × 5.5 km (Copernicus, 2026), la estación de monitoreo terrestre proporciona una medición puntual, situación que también se refleja en la escasa capacidad explicativa evidenciada por la ecuación de la recta. A esto se suman las diferencias en las escalas de medición, las condiciones atmosféricas variables y otros posibles factores que afectan la precisión y comparabilidad de los datos.

Por otro lado, en la Fig. 50 se presenta el análisis de correlación entre las concentraciones de monóxido de carbono (CO) obtenidas a partir de imágenes satelitales del sensor Sentinel-5P (expresadas en mol/m²) y los valores registrados por una estación de monitoreo terrestre (expresados en p.p.m.).

El coeficiente de determinación (R^2) obtenido es de 0.0003, lo cual indica una correlación prácticamente nula entre ambas fuentes de datos. Esto sugiere que las concentraciones de CO registradas por Sentinel-5P no explican de forma significativa las concentraciones medidas por la estación terrestre. Asimismo, la ecuación de la recta de regresión refuerza la ausencia de una relación lineal clara entre ambos conjuntos de datos.

De manera complementaria, el coeficiente de correlación de Pearson fue de 0.01798, lo que, conforme a los rangos establecidos en la Tabla 14, corresponde a una correlación nula. La distribución de los puntos en la gráfica no presenta una tendencia ascendente ni descendente, sino que forma una nube dispersa, lo que evidencia posibles inconsistencias entre las mediciones satelitales y terrestres. Esta discrepancia puede deberse a distintos factores: la escala de los valores de observación representados en la figura, distinta resolución espacial de las fuentes

de información: 7 x 5.5 km en las imágenes de Sentinel-5P (Tropomi, 2026), en contraste con la resolución puntual que se tiene a partir de la estación de monitoreo terrestre. Además, no se descarta la influencia de las condiciones atmosféricas y climáticas durante el proceso de registro de los valores de CO.

En este sentido se concluye que no existe una correlación significativa entre los datos de CO de Sentinel-5P y los de la estación terrestre.

9.4. Conclusiones del análisis del indicador de la calidad del aire

El indicador de la calidad del aire es un elemento fundamental para evaluar las condiciones atmosféricas de una ciudad, en tanto refleja de manera indirecta el ritmo y la intensidad de sus dinámicas urbanas, particularmente en lo que respecta a la movilidad y al desarrollo de actividades económicas. El propósito de su estudio fue obtener una aproximación espacial al comportamiento de las concentraciones de CO y NO_2 dentro del marco del análisis de indicadores urbanos. Por ello, se empleó el producto oficial de Sentinel-5P sin aplicar filtros adicionales, por lo cual los resultados deben interpretarse como una fuente complementaria de información, susceptible de fortalecerse mediante la aplicación de criterios de control de calidad y procedimientos de validación adicionales en investigaciones futuras.

En este sentido, los resultados constituyen una fuente auxiliar de información para el análisis de la calidad del aire y pueden contribuir a la identificación de patrones espaciales y temporales de contaminación atmosférica, particularmente en áreas donde la disponibilidad de registros provenientes de estaciones de monitoreo terrestre es limitada o presenta discontinuidades.

De acuerdo a López (2024), Sinaloa es uno de los ocho estados del país que no cuenta con registros en el índice de Aire y Salud del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire. Esta situación representa una amenaza para la salud pública y deja en estado de vulnerabilidad a la población, ya que se ha perdido la noción del estado actual del aire y con ello la conciencia de las posibles repercusiones que la exposición a contaminantes atmosféricos puede tener en la

salud de las personas, por lo que cualquier información disponible sobre este tema resulta crucial.

Bajo este contexto, el presente estudio adquiere relevancia al generar información empírica sobres las concentraciones de NO_2 y CO en el área de análisis, a partir de la integración de datos satelitales y registros de una estación de monitoreo terrestre. Si bien ambas fuentes presentan diferencias inherentes, su análisis comparativo permitió identificar patrones temporales coincidentes en los datos registrados. En este sentido, se partió del supuesto de que un incremento de las concentraciones de NO_2 y CO expresadas en p.p.m., debía reflejarse en un aumento correspondiente de NO_2 expresado en mol/m^2. Estas diferencias, especialmente en las unidades de análisis, influyeron directamente en los resultados obtenidos mediante la correlación de Pearson, cuyos valores fueron nulos o débiles. Sin embargo, al observar las figuras 37 y 40, se observa que existe cierta similitud en el comportamiento de ambas fuentes de información. En muchos casos, se identifican picos y caídas en los mismos períodos de tiempo, lo que sugiere una tendencia compartida pese a las diferencias metodológicas.

A partir de los resultados, es importante precisar que la relación analizada entre las concentraciones de contaminantes derivadas de imágenes satelitales y los registros de la estación de monitoreo terrestre no implica una relación de causalidad, sino que debe interpretarse en términos estrictamente asociativos. El uso de la correlación de Pearson permite identificar la fuerza y dirección de la relación lineal entre variables; sin embargo, los coeficientes nulos o débiles obtenidos en este estudio indican que no existe evidencia estadísticamente significativa de una relación lineal robusta entre ambas fuentes de información. No obstante, la coincidencia temporal en los patrones observados (reflejada en la presencia de picos y caídas similares), sugiere la existencia de tendencias compartidas que podrían estar influenciadas por factores externos comunes, como condiciones meteorológicas o dinámicas propias del entorno urbano del área de estudio, particularmente aquellas asociadas a la movilidad, la densidad del tráfico y la concentración de actividades económicas. En este sentido, las diferencias en

escala, resolución espacial y unidades de medida entre ambas fuentes limitan la posibilidad de establecer inferencias causales, reforzando la idea de que los resultados deben interpretarse como evidencia de correspondencias parciales en el comportamiento de los contaminantes. Por tanto, el análisis se posiciona como una aproximación metodológica que permite identificar similitudes en la dinámica temporal de los datos dentro del contexto urbano analizado, pero que requiere de metodologías complementarias para evaluar posibles relaciones causales con mayor rigor.

Asimismo, el estudio pone de manifiesto el potencial de las imágenes satelitales como una herramienta complementaria para el monitoreo de la calidad del aire en contextos donde la infraestructura de medición es limitada o inexistente. No obstante, se determina que los resultados están condicionados por las decisiones metodológicas adoptadas y se reconoce que, aunque no haya sido posible establecer una correlación estadísticamente significativa, ambas fuentes resultan útiles para la visualización e identificación de patrones coincidentes o divergentes. Este tipo de análisis contribuye a otorgar mayor confiabilidad a estudios que buscan suplir la falta de registros de calidad del aire mediante el uso de imágenes satelitales, contribuyendo no solo al conocimiento académico, sino también a la construcción de bases sólidas para la toma de decisiones orientadas a mejorar la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida urbana.

Finalmente, la metodología implementada evidenció el potencia del análisis geoespacial apoyado en imágenes de Sentinel-5P para generar información sobre la calidad del aire en contextos urbano donde la disponibilidad de datos provenientes de estaciones de monitoreo terrestre es limitada. No obstante, el procedimiento presenta limitaciones derivadas de las diferencias de escala espacial y de las unidades de medición entre ambas fuentes de información, así como la ausencia de filtros adicionales de control de calidad aplicados a los productos satelitales, aspectos que pueden incrementar la incertidumbre en la comparación directa de los resultados. En este sentido, se recomienda que investigaciones futuras incorporen procedimientos de validación más robustos y el análisis conjunto

de un mayor número de estaciones de monitoreo terrestre, con el propósito de fortalecer la confiabilidad de las estimaciones obtenidas.

Aun con estas consideraciones, la metodología desarrollada constituye una alternativa metodológica pertinente para la generación de información ambiental complementaria y pone de manifiesto el valor de la integración de tecnologías de percepción remota y análisis geoespacial como apoyo para la evaluación de la calidad del aire y la toma de decisiones orientadas hacia un desarrollo urbano más sostenible.

CAPÍTULO X: CORRELACIÓN ESPACIAL ENTRE INDICADORES ANALIZADOS

10.1. Determinación de la correlación espacial entre indicadores analizados

Tras la realización de los análisis espaciales correspondientes a los indicadores urbanos en el área de estudio, se procedió a integrar los resultados (considerando de manera conjunta al indicador proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público, proporción promedio del área construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público y el de proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos a una distancia de 400 metros), con el propósito de identificar patrones espaciales asociados a zonas con alta y baja cobertura simultánea entre los indicadores. Para ello, se implementó un análisis de densidad basado en la distribución espacial de las unidades de análisis representadas mediante entidades puntuales.

Con el objetivo de mejorar la precisión de la delimitación de estas áreas, se implementó un análisis de densidad a partir de la distribución espacial de unidades puntuales, lo que facilitó la delimitación de áreas de convergencias funcionales, es decir, zonas con alta cobertura simultánea, así como la detección de espacios con déficits estructurales. El enfoque resulta particularmente relevante, ya que trasciende el análisis aislado de indicadores y permite una lectura integral del territorio, alineada con enfoques contemporáneos de planificación urbana orientados a la accesibilidad, la equidad espacial y la calidad de vida.

El proceso se llevó a cabo a partir de análisis individualizados generados con la herramienta de *Kernel Density* de ArcMap 10.5, la cual, de acuerdo a Esri (2025), permite estimar la magnitud por unidad de área a partir de entidades puntuales o lineales, distribuyendo el valor correspondiente a la ubicación de cada punto hacia cada celda situada dentro de un radio de búsqueda determinado. Este procedimiento genera una superficie continua en la que el valor máximo se localiza en el punto y el más bajo en el límite del radio de búsqueda, representando así la intensidad espacial del fenómeno analizado.

Con el propósito de profundizar en la comprensión de los patrones espaciales derivados de los indicadores analizados, se presentan los mapas de densidad correspondientes. Estas representaciones permiten visualizar la intensidad y distribución territorial de cada variable, facilitando la identificación de núcleos de concentración, gradientes espaciales y posibles zonas de interacción entre los distintos elementos urbanos.

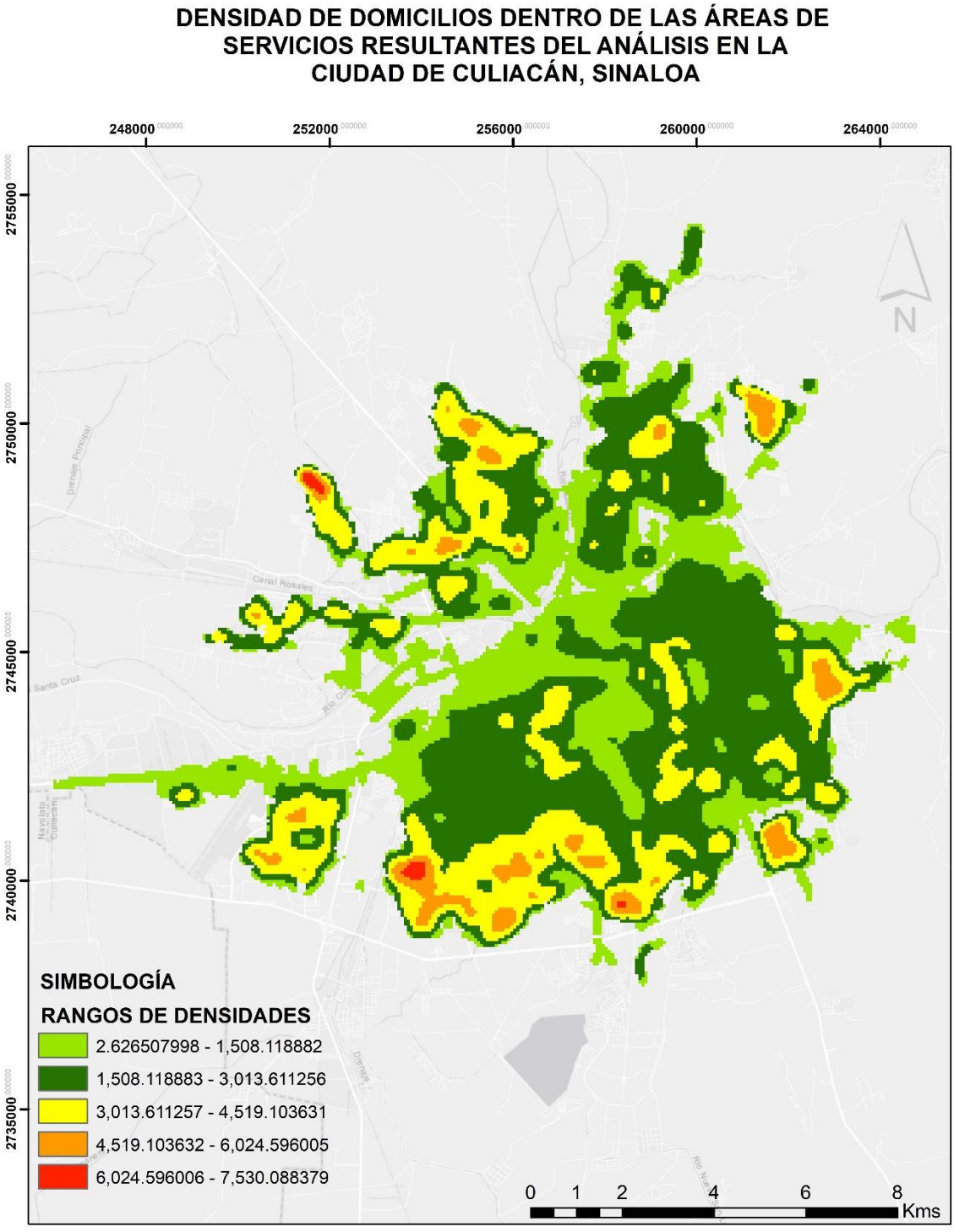


Fig. 51 Densidad de domicilios en áreas de servicio. Fuente: propia

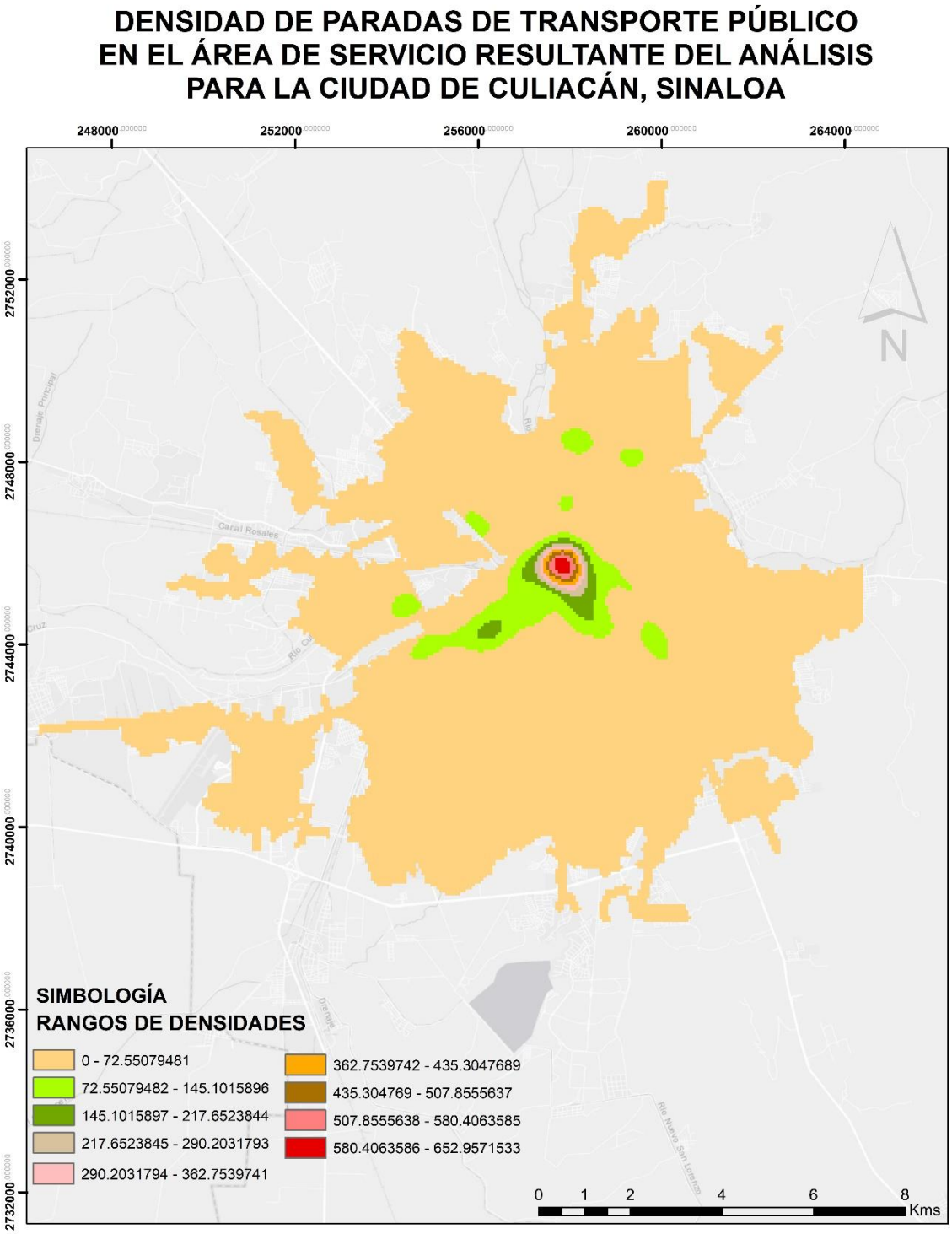


Fig. 52 Densidad de paradas de transporte público en el área de servicio. Fuente: propia

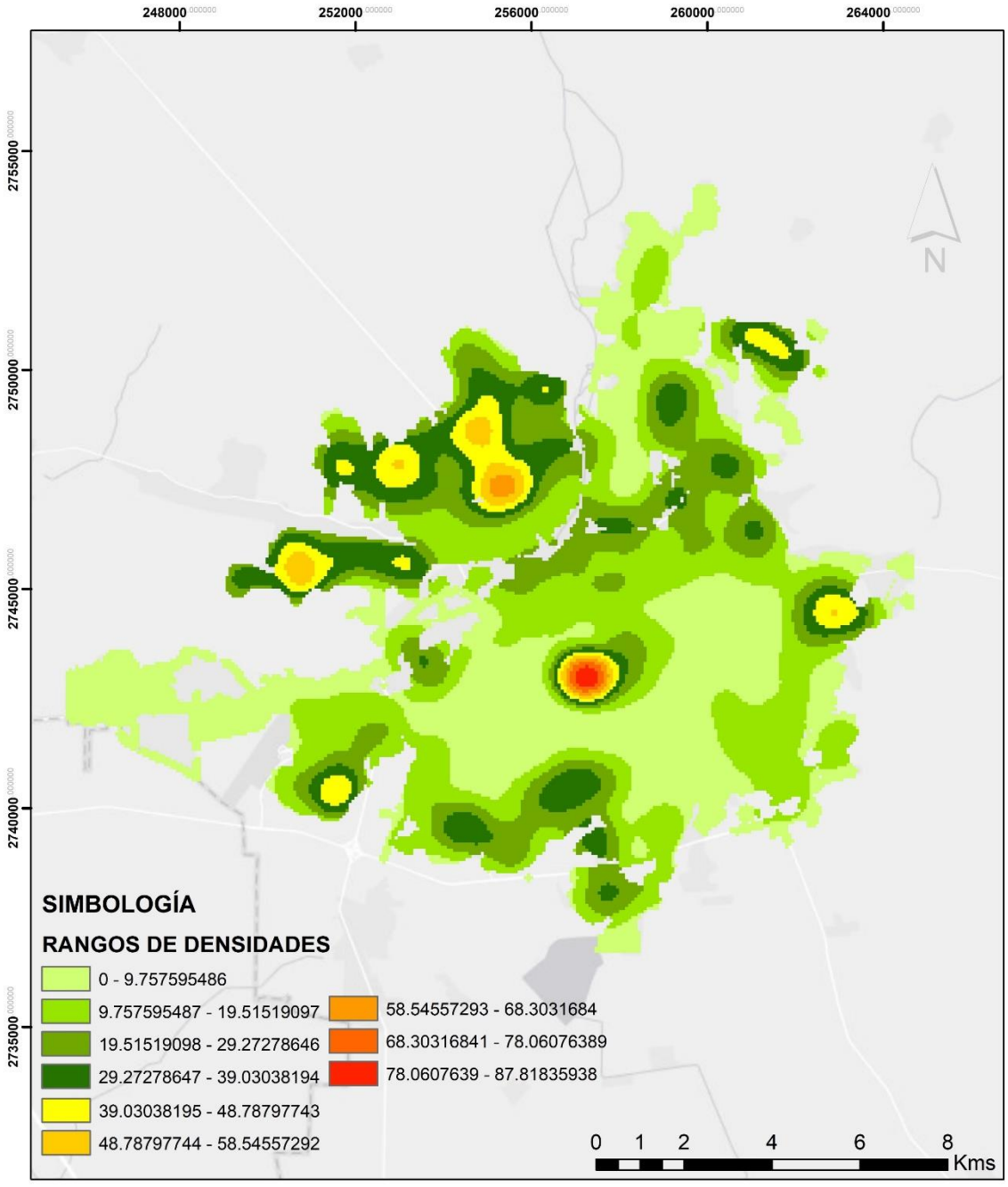


Fig. 53 Densidad de espacios abiertos en el área de servicio. Fuente: propia

En conjunto, las figuras 51, 52 y 53 constituyen una herramienta clave para interpretar la configuración del territorio desde una perspectiva integral, al evidenciar no solo la localización de los componentes analizados, sino también las relaciones espaciales que emergen entre ellos y que resultan fundamentales para comprender las dinámicas de accesibilidad y cobertura en la ciudad.

La Fig. 51 presenta la distribución de las densidades de concentración de domicilios en distintas zonas del área de estudio, correspondientes a la intersección entre el área de servicio resultante del análisis del indicador de paradas de transporte público y la del indicador de espacios abiertos. Este cruce espacial tuvo como objetivo fortalecer la interpretación de la cobertura y permitir su análisis combinado. Su simbología representa diferentes rangos de densidad de domicilios, ordenados de menor a mayor concentración. Los tonos verdes corresponden a densidades entre 2.626507998 y 3 013.611256, constituyendo el rango más bajo y predominante en el mapa. Estos se distribuyen principalmente en la zona central del área de estudio, así como en los extremos oeste y este. En niveles intermedios se encuentran los tonos amarillos, seguidos de los tonos naranjas, y finalmente el color rojo, que identifica las zonas de mayor densidad de domicilios.

El color rojo se observa de manera muy puntual la Fig. 51, destacando principalmente en un sector del norte de la ciudad y en dos áreas localizadas al sur. Estas zonas de alta densidad están circundadas mayormente por áreas en tonos naranja y amarillo, lo que indica una transición gradual en los niveles de concentración. Por su parte, los tonos verdes mantienen una presencia continua en gran parte de la zona central, lo que refleja una menor intensidad de domicilios en la intersección analizada.

Se puede determinar entonces que la distribución espacial observada sugiere que la coincidencia entre la cobertura de paradas de transporte público y espacios abiertos es más intensa en áreas localizadas del norte y sur, donde se identifican núcleos puntuales de alta densidad habitacional. En contraste, la zona central presenta densidades más bajas, lo que podría asociarse a una menor concentración

simultánea de ambos servicios o a características urbanas distintas, como mayor dispersión de los domicilios o tipologías residenciales de menor densidad. Estos resultados permiten priorizar las zonas de mayor concentración para el fortalecimiento de la cobertura, así como identificar áreas con menor densidad donde podrían evaluarse estrategias de mejora en la accesibilidad y distribución de servicios urbanos.

Por otro lado, la Fig. 52 muestra la distribución de las densidades de las paradas de transporte público de la ciudad de Culiacán con base al área de servicio resultante durante su análisis. Los colores representan diferentes rangos de densidad y pueden ser interpretados en la simbología del mapa, desde zonas con menor concentración (tonos claros), hasta las de mayor concentración (tonos rojos).

Describiendo el contenido del mapa es posible determinar que la zona central (rojo intenso) representa la mayor concentración de paradas de transporte público, lo cual suele coincidir con áreas en las cuales hay mucha actividad urbana, como son los centros históricos y zonas comerciales. Esto coincide con lo que señala el IMPLAN (s.f.), respecto a que los viajes intraurbanos presentan una atracción al centro de la ciudad de Culiacán, confirmando esta información a partir de una encuesta de origen-destino.

Por otro lado, el anillo que rodea la zona en color rojo corresponde a su rango anterior en la simbología, y a partir de este se aprecian los demás colores en el mismo orden establecido. Esta disposición refleja una transición gradual en la densidad de paradas de transporte público dentro del área de estudio, pasando de valores máximos en el núcleo central a densidades progresivamente menores hacia la periferia.

El anillo verde más próximo al rojo indica áreas con densidad alta, pero menor que el núcleo central, lo cual podría corresponder a zonas residenciales o comerciales cercanas al centro. Por último, la gran área representada con color naranja pálido cubre la mayor parte de la ciudad y representa densidad baja de paradas de

transporte público (con respecto al color rojo), es decir, las paradas existen pero posiblemente se encuentran muy espaciadas entre ellas.

De manera general es posible determinar que la mayor accesibilidad al transporte público se agrupa en el centro del área de estudio y que, conforme se aleja del centro, la densidad disminuye gradualmente, con pocas zonas de alta concentración fuera del núcleo. También se observan manchas verdes aisladas fuera del centro que posiblemente se encuentran relacionadas con subcentros o avenidas importantes.

Sin duda alguna las paradas de transporte público están altamente centralizadas, lo cual beneficia a quienes viven o trabajan cerca del núcleo, pero puede dejar desatendidas a áreas periféricas, situación que implica mayor dependencia del transporte privado y mayor tiempo de traslado para acceder al transporte público, mientras que las manchas aisladas podrían fungir como puntos estratégicos para mejorar la red y conectar colonias periféricas.

Esta información orienta hacia la posibilidad de redistribuir o establecer nuevas paradas de transporte público en Culiacán que garanticen una equidad espacial y accesible para toda la población.

Para finalizar, la Fig. 53 muestra las densidades de concentraciones de espacios abiertos que hay en el área de estudio, relacionadas a su área de servicio. Al igual que los dos mapas anteriores, muestra la representación de diferentes rangos de densidad (nueve) a partir de distintos colores que pueden ser identificados en la simbología del mapa para la diferenciación de densidades.

La zona roja representa el lugar con alta densidad de espacios abiertos, destacando principalmente en el sector central-sur y en menor medida en el noroeste de la ciudad, concentrando la mayor proporción y proximidad de espacios abiertos, lo que podría corresponder a grandes parques, unidades deportivas, corredores verdes, etc.

Los anillos naranjas y amarillos representan una densidad media-alta y rodean la zona roja, indicando una transición gradual hacia densidades medias. Estas áreas podrían pertenecer a espacios abiertos más pequeños o distribuidos de forma dispersa, pero aún con buena accesibilidad. Por último, las tonalidades de verdes, que ocupan gran parte del área de estudio (especialmente en la periferia), sugieren que la mayoría de las zonas alejadas del centro tienen pocos espacios abiertos o bien, que se encuentran distribuidos de manera dispersa.

La distribución espacial de las concentraciones de espacios abiertos sugiere que no hay un único centro de alta densidad, sino varios puntos distribuidos en distintas zonas (principalmente sur-centro, noroeste y algunos puntos aislados al oeste y noreste), mientras que las periferias presentan amplias áreas con baja densidad, hecho que podría reflejar urbanización con escasa dotación de espacios abiertos, y para lo cual se sugieren intervenciones de planeación con el objetivo de aumentar la cobertura y accesibilidad a estos, pues la dinámica que se observa en el mapa podría vincularse a desigualdades territoriales en los que no exista equidad espacial para la población.

El cruce de las variables permite identificar al menos tres tipologías territoriales relevantes:

1. Áreas de alta sinergia urbana: zonas donde coinciden altas densidades de transporte público, espacios abiertos y población. Estas áreas representan oportunidades estratégicas para consolidad modelos urbanos sostenibles al favorecer la movilidad activa, el acceso equitativo a servicios y la calidad de vida.
2. Áreas de desequilibrio funcional: espacios donde existe infraestructura de transporte sin una dotación proporcional de espacios abiertos o viceversa. Estas zonas reflejan procesos de planeación sectorializada, en los que los componentes urbanos han sido desarrollados de manera independiente, generando ineficiencias territoriales.

3. Áreas de rezago estructural: principalmente en la periferia, caracterizadas por bajas densidades de espacios abiertos para uso público y paradas de transporte. Estas áreas evidencian condiciones de vulnerabilidad urbana, donde la población enfrenta limitaciones simultáneas en accesibilidad, movilidad y disponibilidad de espacios públicos.

Estas tipologías no solo permiten una clasificación más precisa del territorio, sino que constituyen un insumo clave para la formulación de políticas diferenciadas, orientadas a atender las particularidades de cada contexto. En este sentido, uno de los principales aportes de este trabajo radica en la integración metodológica de indicadores que tradicionalmente han sido analizados de forma aislada; al articular el concepto de movilidad, acceso a espacios abiertos y distribución poblacional, se construye una lectura más compleja y realista del funcionamiento urbano.

Como parte final de este apartado es importante destacar que el análisis comparativo de los indicadores ya mencionados constituye una herramienta fundamental para comprender la distribución espacial de dos elementos clave en la calidad de vida urbana: paradas de transporte público y espacios abiertos. A partir de la integración de variables fue posible identificar patrones espaciales que reflejan distintos niveles de articulación urbana.

En conjunto, los resultados evidencian que si bien existen zonas donde la accesibilidad al transporte y a los espacios abiertos es simultáneamente elevada (zona centro y norte), también se detectan áreas con desigualdades significativas que puede deberse a la concentración de infraestructura de transporte sin la presencia proporcional de espacios abiertos, o viceversa. Este patrón heterogéneo refleja una planeación urbana fragmentada, en la que la distribución de servicios no siempre responde a un enfoque integral.

También es posible determinar que la problemática urbana no radica únicamente en la disponibilidad de infraestructura, sino en su distribución y en el grado de articulación entre sus distintos componentes. Este hallazgo constituye una aportación relevante para el análisis, ya que pone de manifiesto la necesidad de

transitar hacia enfoques de planificación integrales que consideren la interacción entre movilidad, espacios abiertos y estructura poblacional. Asimismo, se destaca el uso de técnicas de análisis espacial como la de densidad de Kernel permite no solo describir la realidad territorial, sino también interpretarla de manera más profunda, identificando patrones y relaciones que aportan insumos valiosos para la toma de decisiones.

Finalmente, la interpretación espacial que ofrecen estos mapas no solo permite diagnosticar con precisión las brechas existentes (como lo observado en las áreas periféricas), sino que también aporta insumos significativos para orientar políticas públicas que se encuentren alineadas con los principios de equidad, sostenibilidad y bienestar urbano que plantean ONU-Hábitat.

CAPÍTULO XI: CONCLUSIONES GENERALES DEL ESTUDIO

11.1. Conclusiones generales del estudio

La presente investigación abordó el análisis integral de un conjunto de indicadores urbanos de la ciudad de Culiacán, Sinaloa, mediante la articulación de metodologías internacionalmente reconocidas y su implementación a través de tecnologías de análisis geoespacial, con el propósito de generar un marco de evaluación territorial que permitiera comprender diversas dimensiones del desarrollo urbano sostenible. Para ello, el estudio se sustentó en un análisis previo de los lineamientos conceptuales y teóricos propuestos por organismos internacionales y autores especializados en indicadores urbanos, lo que permitió identificar y seleccionar un conjunto de indicadores alineados con los ODS de ONU-Hábitat. A partir de dicha selección, se describieron y analizaron los indicadores urbanos con el fin de caracterizar dinámicas espaciales clave del área de estudio, se configuraron metodologías específicas para el análisis geoespacial de cada uno de ellos y, finalmente, se correlacionaron los resultados con el objetivo de identificar su impacto diferencial en las distintas zonas de la ciudad y en los grupos poblacionales que las habitan. Este enfoque metodológico integral permitió construir una lectura territorial sobre el desempeño urbano de Culiacán y sus principales retos en materia de planeación urbana sostenible.

Como se mencionó, el análisis se estructura a partir de un conjunto de indicadores urbanos, los cuales se enlistan a continuación: relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento población, proporción de la población con acceso conveniente al transporte público por sexo, edad y personas con discapacidad, proporción del área construida de una ciudad destinada a espacios abiertos de uso público, proporción de la población que tiene acceso a los espacios abiertos de uso público por sexo, edad y personas con discapacidad y calidad del aire. Para su abordaje, cada indicador se operacionaliza mediante variables específicas como el crecimiento de la mancha urbana, la densidad de población, la localización de paradas de transporte público, la distribución de espacios abiertos para uso público y los índices de contaminantes atmosféricos NO_2 y CO, lo que permite construir metodologías de análisis diferenciadas, pero en algunos casos complementarias. A

partir de este enfoque, el estudio posibilita identificar, desde una perspectiva espacial comparativa, aquellas zonas del área de estudio que presentan mayores o menores niveles de beneficio en función de la disponibilidad de infraestructura, servicios urbanos y condiciones ambientales, evidenciando así patrones de desigualdad en la calidad de vida urbana.

La investigación no se plantea como la formulación de un modelo en sentido crítico, sino como un de análisis urbano sustentado en la aplicación e integración de indicadores, cuyo propósito central consiste en análisis un conjunto de variables para la comprensión del territorio de la ciudad de Culiacán mediante el uso de tecnologías de análisis geoespacial. En este marco, la investigación se orienta al cumplimiento de una serie de objetivos específicos que estructuran su desarrollo metodológico: en primer lugar, el análisis de lineamientos conceptuales y teóricos propuestos por organismos internacionales y diversos autores en torno a los indicadores urbanos con enfoque sostenible; en segundo término, la identificación de un conjunto pertinente de indicadores que guían el estudio; posteriormente, la descripción de dichos indicadores como base para el entendimiento de distintos aspectos del tejido urbano; seguido de la configuración de metodologías específicas para el análisis de cada uno de ellos; y, finalmente, la correlación de los resultados con la finalidad de reconocer patrones espaciales y evaluar el impacto diferencial de estos indicadores en diversas zonas del área de estudio.

Bajo esta lógica, el alcance del trabajo se sitúa en la articulación de herramientas analíticas que permiten interpretar la realidad urbana, más que en la construcción de una estructura formal orientada a la simulación, predicción o modelación de fenómenos. En este sentido, no se establecen relaciones causales explicitas ni se propone una formulación matemática que exprese de manera determinística la interacción entre variables. Por el contrario, la investigación retoma metodologías previamente desarrolladas y validadas en la literatura para su configuración y adaptación al contexto específico del área de estudio, con el objetivo de generar una lectura integral, comparativa y espacialmente explícita de los indicadores urbanos seleccionados.

En continuidad con este enfoque analítico, los resultados permiten evidenciar, desde una perspectiva empírica, las dinámicas territoriales asociadas a los indicadores correspondientes. En particular, el indicador ODS 11.3.1, enfocado en la relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento población, evidencian transformaciones relevantes en el patrón de expansión urbana durante los dos períodos analizados (2000-2010 y 2010-2020). Mientras que en el primer decenio se identificó una expansión urbana desproporcionada respecto al crecimiento demográfico, reflejo de un uso ineficiente del suelo y de una urbanización extensiva, en el segundo período se observó una mejora sustancial en la eficiencia del uso del suelo. Este cambio sugiere la posible incidencia de procesos de densificación, contención del crecimiento horizontal y ajustes en los instrumentos de planeación urbana. No obstante, el análisis también permitió reconocer las limitaciones inherentes al propio indicador, el cual, al basarse en rangos numéricos cerrados, puede conducir a interpretaciones simplificadas que no capturan la complejidad social, funcional y ambiental del espacio urbano. En este sentido, los hallazgos refuerzan la necesidad de complementar este indicador con otras métricas que permitan una evaluación más robusta y contextualizada del desarrollo urbano.

Por su parte, el análisis del indicador 11.2.1, referente al acceso al transporte público, arrojó resultados que a primera vista sugieren una cobertura espacial amplia, ya que un alto porcentaje de la población y de las viviendas se localiza dentro de un radio de 500 metros respecto a una parada de transporte. Este resultado puede atribuirse, en parte, a la configuración operativa del sistema de transporte público en el área de estudio, caracterizado por la presencia de numerosas paradas no oficiales o informales, entendidas como puntos donde los usuarios solicitan el ascenso o descenso de las unidades, aun cuando no exista infraestructura o señalización que las identifique formalmente. Esta dinámica incrementa la cobertura espacial del servicio desde una perspectiva geográfica. Sin embargo, la elevada cobertura contrasta con los bajos niveles de uso del transporte público registrados en la ciudad, lo que pone de manifiesto que la proximidad física no garantiza, por sí sola, una movilidad urbana equitativa ni eficiente. Un aporte de

este estudio fue la construcción del inventario de paradas de transporte público mediante trabajo de campo, ante la inexistencia de registros oficiales y formales. Este ejercicio permitió aproximarse con mayor fidelidad a la realidad operativa de las paradas de transporte público del área de estudio, caracterizado por la informalización de su localización. Al mismo tiempo, el análisis desagregado por grupos de edad y condición de discapacidad evidenció barreras persistentes para adultos mayores y personas con discapacidad, lo que subraya la necesidad de incorporar criterios de accesibilidad universal, seguridad y calidad del servicio en la planificación de la movilidad urbana.

El indicador 11.7.1, vinculado a la disponibilidad y accesibilidad de los espacios públicos abiertos para uso público, permitió identificar una de las principales debilidades estructurales del área de estudio. Los resultados muestran que la proporción de espacios abiertos respecto a la superficie total de la ciudad es considerablemente inferior a los estándares internacionales recomendados por ONU-Hábitat, lo que refleja una histórica subpriorización de estos espacios en los procesos de urbanización. Aunque al considerar únicamente el área construida la proporción de espacios abiertos resulta mayor, esta mejora relativa no compensa la carencia absoluta a escala urbana. En este contexto, la investigación pone en evidencia la urgencia de replantear las estrategias de planeación territorial para garantizar la incorporación progresiva de espacios públicos abiertos, verdes y de calidad, como elementos clave para el bienestar social, la cohesión comunitaria y la resiliencia climática.

De manera complementaria, el análisis de proximidad de la población a los espacios abiertos reveló niveles elevados de accesibilidad espacial en términos generales; sin embargo, al incorporar una perspectiva de equidad social, emergen desigualdades significativas entre distintos grupos poblacionales. En particular, los adultos mayores registran menores niveles de accesibilidad efectiva, lo que plantea desafíos importantes en términos de diseño urbano inclusivo. Estos resultados ponen de relieve que la planeación urbana no debe limitarse a garantizar coberturas territoriales amplias, sino que debe atender las condiciones específicas de uso,

calidad, seguridad y funcionalidad de los espacios públicos, bajo un enfoque de derecho a la ciudad y justicia espacial.

Finalmente, el análisis del indicador 11.6.1, relacionado con la calidad del aire, permitió visibilizar una de las limitaciones más relevantes del estudio y, al mismo tiempo, uno de los principales retos para la gestión urbana local. La ausencia de registros sistemáticos y actualizados de calidad del aire en el ámbito estatal y municipal condicionó el alcance del análisis, obligando a recurrir a fuentes alternativas como imágenes satelitales y a la comparación con información puntual de estaciones de monitoreo terrestre. Si bien no fue posible establecer correlaciones estadísticas significativas entre ambas fuentes debido a diferencias metodológicas y de escala, el análisis comparativo permitió identificar patrones temporales coincidentes que aportan indicios relevantes sobre la dinámica atmosférica urbana. Estos resultados confirman el potencial de las herramientas geoespaciales como mecanismos complementarios para el monitoreo ambiental en contactos donde la información oficial es limitada o inexistente.

Una vez realizado el análisis de este trabajo, es importante reconocer las limitaciones inherentes al estudio. Entre las principales limitaciones se encuentra la disponibilidad de información, ya que no todos los indicadores cuentan con datos completos ni actualizados, estandarización, etc., lo que puede restringir el nivel de detalle del análisis. Esta carencia no solo restringe la profundidad de algunos análisis, sino que también evidenció una problemática estructural en la gestión de la información urbana a nivel local. No obstante, lejos de restar valor al estudio, esta situación resalta uno de los aportes más relevantes: la generación y sistematización de información inédita, especialmente los inventarios de paradas de transporte y de espacios abiertos, que constituyen insumos fundamentales para futuros ejercicios de planeación, evaluación y toma de decisiones.

Conforme a lo anteriormente mencionado, la investigación demuestra que el análisis geoespacial de indicadores urbanos, aun en contextos donde la información se encuentra incompleta, es una herramienta poderosa para diagnosticar desigualdades, identificar áreas de oportunidad y orientar políticas públicas más

informadas. Los resultados ofrecen una base sólida para fortalecer la planeación urbana con un enfoque integral, alineado con los ODS, que priorice la eficiencia en el uso del suelo, la equidad en la movilidad, el acceso justo a los espacios públicos y la protección de la salud ambiental.

Los resultados de este trabajo constituyen un insumo estratégico para la planeación urbana local, en tanto permiten traducir el análisis de indicadores en criterios operativos para la toma de decisiones. En particular, la identificación de patrones espaciales asociados al acceso al transporte público, la disponibilidad de espacios abiertos y las condiciones ambientales facilita la delimitación de zonas prioritarias de intervención dentro del área de estudio, orientando acciones hacia aquellos sectores que presentan mayores rezagos en términos de cobertura, accesibilidad y calidad del entorno urbano. De este modo, la información generada puede emplearse para optimizar la localización de nueva infraestructura de transporte, redefinir rutas o paradas existentes bajo criterios de equidad territorial, así como para planificar la creación, ampliación o mejora de espacios abiertos en áreas de déficit identificado.

Asimismo, el enfoque integrador del estudio permite fortalecer la planeación del uso del suelo, al evidenciar la relación entre la distribución, la infraestructura urbana y algunos servicios disponibles, lo que contribuye a promover esquemas de crecimiento más compactos, eficientes y sostenibles. En este sentido, los resultados pueden servir como base técnica para la actualización de instrumentos de planeación urbana, tales como programas de desarrollo, ordenamientos territoriales o planes parciales, incorporando criterios derivados de indicadores que reflejan no solo la configuración física de la ciudad, sino también las condiciones de accesibilidad y bienestar de la población.

Por otra parte, la correlación entre indicadores aporta elementos relevantes para la formulación de políticas públicas con enfoque transversal, al permitir una lectura conjunta de problemáticas que tradicionalmente se abordan de manera aislada, como la movilidad, el acceso al espacio público y la calidad ambiental. Esto abre la posibilidad de diseñar estrategias integrales que, por ejemplo, articulen la expansión

del transporte público con la generación de espacios abiertos y la mejora de las condiciones ambientales, contribuyendo así el cumplimiento de objetivos asociados al desarrollo urbano sostenible.

Adicionalmente, la metodología empleada y los resultados obtenidos pueden integrarse en sistemas de información territorial a nivel local, fortaleciendo las capacidades institucionales para el monitoreo, evaluación y seguimiento de indicadores urbanos en el tiempo. Esto resulta particularmente relevante para la toma de decisiones basadas en evidencia, ya que permite actualizar diagnósticos, medir avances y ajustar políticas conforme a la evolución de la ciudad. En este sentido, el estudio no solo aporta un diagnóstico estático, sino que sienta las bases para la construcción de herramientas dinámicas de gestión urbana.

En términos de aportaciones, es posible distinguir entre hallazgos de carácter metodológico y hallazgos propiamente urbanos. Por un lado, en el ámbito metodológico, la investigación demuestra la viabilidad de articular indicadores urbanos de distinta naturaleza mediante herramientas de análisis geoespacial, integrando fuentes diversas para construir lecturas territoriales consistentes aun en contextos de limitada disponibilidad de datos. En este sentido, uno de los aportas más relevantes radica en la generación y sistematización de información no disponible a nivel local, lo que permitió subsanar vacíos de información y hacer operables ciertos indicadores. Este proceso no solo fortaleció la base empírica del análisis, sino que también evidenció el potencial de las metodologías geoespaciales para producir información estratégica en contextos donde los sistemas urbanos son limitados o fragmentados.

Por otro lado, en el ámbito urbano, los resultados revelan problemáticas estructurales relevantes del territorio, pero también permiten visibilizar dinámicas que previamente no habían sido cuantificadas o analizadas con este nivel de detalle. En particular, la construcción de indicadores a partir de información generada hizo posible estimar, por primera vez en el contexto local, aspectos como la proporción de la población con acceso conveniente al transporte público o la accesibilidad efectiva a espacios abiertos, lo que aporta una comprensión más precisa de las

condiciones reales de la ciudad. Estos hallazgos evidencian, por ejemplo, la existencia de discrepancias entre cobertura y uso del transporte, la insuficiencia de espacios abiertos a escala urbana y desigualdades en el acceso entre distintos grupos poblacionales. En conjunto, no solo se identifican patrones de desigualdad y áreas de oportunidad, sino que también se amplía el conocimiento sobre el funcionamiento del tejido urbano, proporcionando información clave que anteriormente no estaba disponible y que resulta fundamental para la planeación urbana basada en evidencia.

Finalmente, las líneas de aplicación derivadas de este trabajo también apuntan hacia la necesidad de consolidar mecanismos de coordinación interinstitucional y de acceso a información confiable y actualizada, como condición indispensable para mejorar la calidad de la planeación urbana.

Es importante determinar que el alcance de los resultados está condicionado por diversos aspectos metodológicos y por la disponibilidad de la información empleada. En primer lugar, la falta de bases de datos homogéneas, actualizadas y estandarizadas para algunos de los indicadores analizados hizo necesario integrar información procedente de diversas fuentes y, en determinados casos, generar bases de datos inéditas mediante trabajo de campo, interpretación de imágenes satelitales y procesamiento geoespacial. Aunque este procedimiento permitió disponer de la información necesaria para la aplicación de las metodologías propuestas, las estimaciones obtenidas pueden verse influenciadas por las características propias de las fuentes utilizadas, tales como su resolución espacial, escala, temporalidad y nivel de actualización. Asimismo, si bien las metodologías adoptadas se fundamentan en lineamientos internacionalmente reconocidos, su aplicación responde a criterios estandarizados que favorecen la comparabilidad entre ciudades, pero que no siempre permiten representar la complejidad de las dinámicas urbanas locales ni incorporar aspectos cualitativos relacionados con la percepción ciudadana, la funcionalidad de los espacios, la calidad de la infraestructura o las condiciones particulares del entorno urbano.

En el contexto anterior, futuras investigaciones podrían fortalecer este tipo de análisis mediante la incorporación de información geoespacial de mayor resolución, series temporales más amplias y enfoques cualitativos que complementen la evaluación espacial, contribuyendo así a una comprensión más integral de la sostenibilidad urbana.

CAPÍTULO XII. APORTACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

12.1. Aportaciones científicas

La principal aportación de la presente investigación consiste en la aplicación sistemática de un conjunto de indicadores urbanos de sostenibilidad mediante un enfoque geoespacial, lo que permitió analizar diferentes dimensiones del desarrollo urbano sostenible en la ciudad de Culiacán, Sinaloa, a partir de metodologías estandarizadas y adaptadas al contexto local. Si bien cada indicador fue evaluado de manera independiente conforme a sus características y requerimientos metodológicos, el estudio ofrece una visión complementarias del territorio al reunir evidencias relacionadas a la expansión urbana, la accesibilidad al transporte público, los espacios abiertos de uso público y la calidad del aire.

Asimismo, una contribución relevante corresponde a la integración espacial de los indicadores relacionados con el transporte público y los espacios abiertos, específicamente el acceso al transporte público, la proporción de espacios abiertos de uso público y la población con acceso a estos últimos dentro de una distancia caminable. El análisis conjunto de estos indicadores permitió identificar patrones territoriales que difícilmente podrían apreciarse mediante su evaluación aislada, proporcionando una interpretación más amplia sobre las condiciones de accesibilidad y disponibilidad de infraestructura urbana vinculadas con la sostenibilidad.

12.2. Aportaciones metodológicas

Desde el punto de vista metodológico, la investigación adapta procedimientos propuestos por ONU-Hábitat considerando la disponibilidad y características de la información geoespacial local. Esta adecuación muestra la viabilidad de implementar metodologías internacionales mediante el empleo de información territorial proveniente de distintas fuentes y herramientas de análisis espacial, favoreciendo su aplicación en contextos urbanos con características similares.

El estudio también destaca por la incorporación de diversas fuentes de información geoespacial, entre ellas imágenes satelitales, información censal, cartografía temática, inventarios institucionales, herramientas de SIG y datos obtenidos

mediante trabajo de campo. En particular, el levantamiento de una base de datos propia de 3 301 paradas de transporte público fortaleció significativamente la evaluación del indicador de acceso al transporte, al disponer de información más completa y actualizada que la existente en las fuentes oficiales.

De manera complementaria, se configuró una base de datos geoespacial de espacios abiertos para uso público mediante la integración, depuración y homologación de inventarios provenientes de diversas instituciones, la cual fue enriquecida mediante un proceso de digitalización apoyado en imágenes satelitales. Este procedimiento permitió disponer de una interpretación territorial más consistente de dichos espacios y constituyó un insumo fundamental para la evaluación de los indicadores relacionados con la disponibilidad y accesibilidad a los espacios abiertos para uso público.

En conjunto, la articulación de estas fuentes de información permitió establecer un procedimiento metodológico sistemático y replicable para la evaluación espacial de indicadores urbanos, el cual puede ser aplicado o adaptado en otras ciudades con características similares.

12.3. Implicaciones para la planeación urbana y la formulación de políticas públicas

Los resultados obtenidos proporcionan evidencia territorial que puede contribuir a fortalecer los procesos de planeación urbana sostenible y la toma de decisiones basada en información geoespacial. La identificación de patrones espaciales asociados con la expansión urbana, la accesibilidad al transporte público, la disponibilidad de espacios abiertos y la calidad del aire permiten reconocer áreas con diferentes condiciones de sostenibilidad, lo que representa un insumo para orientar estrategias de intervención territorial.

Asimismo, la información generada puede apoyar a las instituciones responsables de la gestión y planificación urbana en la priorización de acciones orientadas al mejoramiento de la infraestructura urbana, la movilidad, la dotación de espacios públicos abiertos y el monitoreo de variables ambientales, contribuyendo al seguimiento de indicadores vinculados con el ODS 11.

Finalmente, la metodología desarrollada y los resultados constituyen un referente para futuras investigaciones orientadas a la evaluación de la sostenibilidad urbana mediante tecnologías geoespaciales, favoreciendo la generación de información comparable que contribuya al diseño y evaluación de políticas públicas sustentadas en evidencia territorial.

CAPÍTULO XIII. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

13.1. Limitaciones del estudio

Si bien la presente investigación permitió desarrollar un marco metodológico para el análisis geoespacial de indicadores urbanos asociados a la sostenibilidad, es importante reconocer las limitaciones inherentes al estudio, tanto en la disponibilidad de la información como en las características metodológicas y técnicas empleadas para el procesamiento y análisis de los datos.

Una de las principales limitaciones estuvo relacionada con la disponibilidad, actualización y estandarización de la información. No todos los indicadores analizados contaban con bases de datos oficiales completas, homogéneas o recientes, lo que obligó a integrar información proveniente de diversas instituciones y con diferentes escalas espaciales y temporales. Esta situación presentó un desafío para la construcción de una base de datos consistente y evidenció una problemática estructural de la gestión de la información urbana a nivel local.

Otra limitación corresponde a la temporalidad de la información. Debido a la naturaleza de las fuentes disponibles, fue necesario integrar datos generados en distintos años, tales como información censal, cartografía urbana, imágenes satelitales y registros institucionales. Aunque la integración de cada conjunto de datos fue realizada procurando mantener la mayor consistencia temporal posible, esta diferencia entre fechas de adquisición puede influir respecto a variaciones de la dinámica urbana real del área de estudio, donde el crecimiento presenta modificaciones continuas en la infraestructura, el uso del suelo y la distribución de la población.

Asimismo, la resolución espacial de las imágenes satelitales empleadas constituye un aspecto que debe considerarse al interpretar los resultados. El estudio integró imágenes provenientes de distintos sensores, entre ellos Landsat, Sentinel-2, PlanetScope y Sentinel-5P, cuyas resoluciones espaciales responden a objetivos específicos de observación. Mientras que las imágenes de mayor resolución permitieron una delimitación más detallada de ciertos elementos territoriales, otras, como las utilizadas para el análisis de contaminantes atmosféricos, presentan una

resolución espacial más general que limita la identificación de variaciones locales o microespaciales. En consecuencia, los resultados presentan una aproximación al comportamiento espacial de los fenómenos analizados y deben ser interpretados considerando las capacidades y restricciones propias de cada sensor.

Por otra parte, algunos indicadores utilizados presentan limitaciones inherentes a su propia formulación metodológica. En particular, el indicador relativo a la relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento poblacional establece rangos de interpretación estandarizados que permiten clasificar la eficiencia del crecimiento urbano; sin embargo, esta aproximación simplifica procesos territoriales complejos y no incorpora factores como la calidad del desarrollo urbano, la formación de ocupación del territorio, las condiciones socioeconómicas o las características ambientales del entorno. De manera similar, los indicadores de accesibilidad al transporte público y a los espacios abiertos se fundamentan en criterios de proximidad espacial definidos por ONU-Hábitat, por lo que evalúan la accesibilidad potencial a partir de distancias sobre la red vial, sin considerar aspectos relacionados con la calidad del servicio, la seguridad, las condiciones de la infraestructura peatonal, las barreras físicas, la percepción de los usuarios o el estado de conservación de los espacios abiertos.

Finalmente, aunque el empleo de tecnologías geoespaciales permitió desarrollar metodologías objetivas, reproducibles y espacialmente explícitas para la evaluación de los indicadores urbanos seleccionados, los resultados deben interpretarse dentro del contexto metodológico y de disponibilidad de información en el que fueron generados. En este sentido, futuras investigaciones podrán fortalecer los análisis mediante la incorporación de series temporales más extensas, imágenes de mayor resolución espacial y temporal, redes de monitoreo ambiental más robustas, así como variables socioeconómicas, perceptuales y funcionales que permitan comprender de manera más integral la complejidad del desarrollo urbano sostenible en el área de estudio.

CAPÍTULO XIV: ANEXOS

14.1. Anexos

Tabla 15. Literatura consultada para la selección de indicadores urbanos. Fuente: elaboración propia con información de cada documento integrado

TÍTULO DEL DOCUMENTO	AUTOR Y AÑO DE PUBLICACIÓN	ÁREAS/CLASIFICACIONES/TEMAS	INDICADORES URBANOS
Indicadores urbanos Estambul +5.	Centro de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (CNUAH/Hábitat, s.f.)	Vivienda. Desarrollo social y erradicación de la pobreza. Ordenamiento ambiental. Desarrollo económico. Gobernabilidad. Cooperación internacional.	1. Regímenes de tenencia. 2. Desalojos. 3. Coeficiente entre precio e ingresos de la vivienda. 4. Coeficiente entre precio de la tierra e ingresos. 5. Préstamos con hipoteca y sin hipoteca. 6. Acceso al agua. 7. Conexiones domiciliarias. 8. Mortalidad de niños menores de 5 años. 9. Tasas de delincuencia. 10. Hogares pobres. 11. Brechas entre hombres y mujeres. 12. Crecimiento de la población urbana. 13. Consumo de agua. 14. Precio del agua. 15. Contaminación atmosférica. 16. Aguas residuales tratadas. 17. Eliminación de desechos sólidos. 18. Tiempo de traslado. 19. Medios de transporte. 20. Empleo informal. 21. Producto urbano.

			22. Desempleo. 23. Ingresos y gastos de los gobiernos locales.
Global urban indicators database. Version 2.	ONU-Hábitat. (2002).	Producto de ciudad. Infraestructura. Residuos. Salud. Educación.	1. Tenencia. 2. Privatización. 3. Financiamiento hipotecario. 4. Alquiler privado. 5. Viviendas de ocupantes ilegales y personas sin hogar. 6. Precio de casa y terreno. 7. Precio de la vivienda a ingresos. 8. Renta de casa a casa. 9. Precio de la tierra. 10. Derechos de vivienda. 11. Salud y educación. 12. Hogares encabezados por mujeres en situación de pobreza. 13. Agua. 14. Transporte.
Urban indicators for managing cities.	*Asian Development Bank (ADB).* (2001).	Población. Equidad. Salud y educación. Productividad urbana. Nuevas tecnologías. Suelo urbano. Alojamiento. Servicios municipales. Ambiente urbano.	1. Urbanización. 2. Población de la ciudad. 3. Densidad neta de población (personas por hectárea). 4. Pirámide de edad. 5. Tamaño promedio del hogar. 6. Tasa de información de hogares. 7. Hogares encabezados por mujeres. 8. Tipos de hogar. 9. Asentamientos informales. 10. Migración. 11. Grupos minoritarios. 12. Distribución del ingreso. 13. Hogares encabezados por mujeres en situación de pobreza. 14. Trabajo infantil.

		Transporte urbano. Cultural. Gobierno local. Gobernanza urbana.	15. Desempleo. 16. Empleo informal 17. Gasto en reducción de la pobreza. 18. Hogar por debajo de la línea de la pobreza. 19. Personas por cama de hospital. 20. Mortalidad infantil. 21. Mortalidad por enfermedades infecciosas por mil habitantes. 22. Planificación familiar. 23. Tasa de alfabetización de adultos. 24. Tasas de la matriculación escolar. 25. Niños estudiantes por aula. 26. La esperanza de vida al nacer. 27. Graduados terciarios. 28. Mediana de años de educación. 29. Producto de la ciudad per cápita. 30. Empleo por industria. 31. Gasto del hogar. 32. Inversión por sector. 33. Turismo. 34. Costo de estadía. 35. Lista de proyectos importantes. 36. Sedes corporativas. 37. Gasto en I&D (es el gasto anual por persona en investigación y desarrollo). 38. Tráfico telefónico (millones de llamadas al año). 39. Servidores de Internet por cada mil habitantes. 40. Suelo urbano. 41. Precio principal de terreno comercial. 42. Alquiler y ocupación. 43. Multiplicador de desarrollo de suelo. 44. Espacio público abierto.

			45. Contribuciones de los desarrolladores. 46. Tiempo medio para el permiso de obras. 47. Terreno baldío con licencia urbanística. 48. Tierra vacante del gobierno. 49. Gasto en desarrollo. 50. Tipo de vivienda. 51. Tipo de tenencia. 52. Relación entre el precio de la vivienda y los ingresos. 53. Relación entre el alquiler de la casa y los ingresos. 54. Superficie por persona. 55. Vivienda en cumplimiento. 56. Gastos netos en vivienda por parte del gobierno. 57. Gente sin hogar. 58. Producción de vivienda. 59. Relación hipoteca/crédito. 60. Casas con hipoteca. 61. Préstamos hipotecarios para mujeres. 62. Regularización o reasentamiento de ocupantes ilegales. 63. Agua. 64. Electricidad. 65. Alcantarillado/Aguas residuales. 66. Teléfono. 67. Recolección de residuos sólidos. Cada uno de los servicios de este grupo, cuenta con los siguientes indicadores: 68. Conexiones domiciliarias. 69. Inversión per cápita en cada servicio. 70. Los gastos de operación y mantenimiento de cada servicio. 71. Consumo de agua per cápita. 72. Recuperación de costes en cada servicio.

			73. Producción por funcionario en cada servicio. 74. Lista de proveedores. 75. Agua y electricidad sin facturar. 76. Interrupciones y pérdidas de línea, agua y electricidad. 77. Precio medio del agua. 78. Eliminación de aguas residuales domésticas. 79. Métodos de dosificación de residuos vendidos. 80. Aguas residuales tratadas. 81. Residuos sólidos generados. 82. Porcentaje de DBO eliminado de aguas residuales. 83. Concentraciones de contaminación del aire. 84. Consumo de energía por persona. 85. Quejas de ruido. 86. Desastres en los últimos 10 años. Modo de viaje. 87. Tiempo medio de viaje. 88. Gasto en infraestructura vial. 89. Propiedad de automóviles. 90. Actividad portuaria/aérea. 91. Muertes en el transporte. 92. Congestión vial. 93. Recuperación de costos de las tarifas. 94. Mercancías transportadas. 95. Asistencia a eventos públicos. 96. Asistencia a galerías y museos. 97. Participación en deportes. 98. Fuentes de ingresos. 99. Gastos de capital y recurrentes por persona. 100. Empleados. 101. Salarios en el presupuesto. 102. Permisos comerciales. 103. Eficiencia recaudatoria, impuestos prediales.

			104. Cargo por servicio de la deuda. 105. Relación de gastos ordinarios contratados. 106. Ingresos de la empresa. 107. Información de funciones. 108. Entrega del plan anual. 109. Participación electoral por sexo. 110. Independencia del gobierno superior. 111. Concejales electos y designados. 112. Representación de las minorías. 113. Solicitudes de planificación rechazadas. 114. Satisfacción del consumidor. 115. Percepción como un lugar para vivir. 116. Acceso a la información. 117. Unidades distritales descentralizadas. 118. Función del gobierno local. 119. Satisfacción empresarial. 120. Delitos denunciados. 121. Contacto con el público.
Información actualizada acerca de la preparación del informe cuadrienal del Secretario General sobre los progresos realizados en la aplicación de la Nueva Agenda Urbana.	ONU-Hábitat. (2021).	ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles.	• 11.1: proporción de la población urbana que vive en barrios marginales, asentamientos informales o viviendas inadecuadas. • 11.2: proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público según sexo, edad y personas con discapacidad. • 11.3.1: relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población. • 11.3.2: la proporción de ciudades con una estructura de participación directa de la sociedad civil en la planificación y gestión urbana que funcionan de manera regular y democrática.

			• 11.4: gasto total per cápita en la preservación, protección y conservación de todo el patrimonio cultural y natural, por fuente de financiación (ya sea pública o privada), tipo de patrimonio (cultural o natural) y nivel de gobierno (nacional, regional y local o municipal). • 11.5.1: número de muertes, personas desaparecidas y personas directamente afectadas atribuidas al desastre por cada 100, 000 habitantes. • 11.5.2: pérdida económica directa en relación con la pérdida del PIB mundial, los daños a la infraestructura crítica y el número de interrupciones de los servicios básicos, atribuidos a los desastres. • 11.6.1: proporción de residuos sólidos municipales recolectados y gestionados en instalaciones que se encuentran controladas sobre el total de residuos municipales generados, por ciudades. • 11.6.2: niveles medios anuales de partículas finas que se manifiestan en las ciudades. • 11.7.1: proporción media de la superficie construida en las ciudades que representan espacio abierto de uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad. • 11.7.2: proporción de personas víctimas de acoso físico o sexual, de acuerdo al sexo, edad, discapacidad y lugar de ocurrencia, en el último año. • 11.a.1: número de países que tienen una Política Urbana Nacional o Planes de Desarrollo Regional que: a) Responden a las dinámicas demográficas. b) Aseguran un desarrollo territorial equilibrado. c) Aumentan el espacio fiscal local. • 11.b.1: número de países que adoptan e implementan estrategias nacionales de reducción del riesgo de desastres en

			línea con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. • 11.b.2: proporción de gobiernos locales que adoptan e implementan estrategias locales de reducción del riesgo de desastres en línea con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030.
Urban indicators DATABASE.	*ONU-Hábitat.* (2021).	Tendencias de la población urbana. Acceso a servicios básicos en ciudades y áreas urbanas. Indicadores económicos. Viviendas, barrios marginales y asentamientos informales. Espacios abiertos y áreas verdes. Indicadores de inclusión social. Crecimiento espacial de las ciudades y áreas urbanas, Entorno urbano y calidad de vida. Transporte urbano.	1. Población urbana a mitad de año por país 2000-2050 (miles). 2. Porcentaje de población a mitad de año que reside en áreas urbanas por país y área, 2000-2050. 3. Tasa promedio anual de cambio de la población urbana por país 2000-2050 (porcentaje). 4. Tasa de cambio promedio anual del porcentaje de población urbana por área 2000-2050 (porcentaje). 5. Población en aglomeraciones urbanas 2000-2035 (miles). 6. Tasa anual de cambio de población de aglomeraciones urbanas 1995-2035 (porcentaje). 7. Tasa de dependencia jóvenes por país 2015-2019 (porcentaje). 8. Tasa de dependencia adulto mayor por país, 2015-2019 (porcentaje). 9. Indicadores de salud infantil. 10. Indicadores de nutrición infantil. 11. Indicadores de protección infantil. 12. Niños menores de 18 años que viven en hogares de tugurios. 13. Salud maternal. 14. Índice de asistencia neta primaria y secundaria. 15. Tasa de mortalidad de menores de 5 años 16. Población con agua mejorada, saneamiento mejorado y otros servicios básicos urbanos en ciudades, países seleccionados (porcentaje).

			17. Población con agua, saneamiento y otros servicios básicos urbanos mejorados en áreas urbanas, países seleccionados (porcentaje). 18. Gini a la renta disponible después de impuestos y transferencias. 19. PIB por Área Metropolitana 2017. 20. PIB de las áreas metropolitanas como porcentaje del PIB nacional, 2017. 21. Proporción de la población urbana que vive en hogares de tugurios por país o área 2000-2020 (porcentaje). 22. Proporción media de la superficie construida de las ciudades que es espacio abierto para uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad. 23. ODS 11.3.2: Sudáfrica. 24. ODS 11.3.1: Colombia. 25. ODS 11.3.1: Islandia, Israel, Portugal y Eslovaquia. 26. ODS 11.3.1: Sudáfrica. 27. ODS 11.3.2: Colombia. 28. ODS 11.3.1: Islandia, Israel, Portugal y Eslovaquia. 29. Calidad del aire: exposición media de la población a PM2.5 (microgramos/m3), 2015-2019. 30. ODS 11.2.1: proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público, por sexo, edad y personas con discapacidad.
Sistema de indicadores y condicionantes para ciudades grandes y medianas.	Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. (2011)	Ocupación del suelo. Espacio público y habitabilidad. Movilidad y servicios. Complejidad urbana.	1. Densidad de viviendas. 2. Compacidad absoluta. 3. Compacidad corregida. 4. Calidad del aire. 5. Confort acústico. 6. Confort térmico. 7. Accesibilidad del viario.

		Espacios verdes y biodiversidad. Metabolismo urbano. Cohesión social.	8. Proporción de calle. 9. Percepción espacial del verde urbano. 10. Proximidad de la población a los servicios básicos. 11. Modo de desplazamiento de la población. 12. Proximidad de la población a redes de transporte público alternativas al automóvil. 13. Reparto del viario público: viario peatonal-viario vehicular. 14. Proximidad de la población al aparcamiento para bicicletas. 15. Aparcamiento para el vehículo privado fuera de la calzada. 16. Déficit infraestructural teórico de aparcamiento para el vehículo privado. 17. Operaciones de carga y descarga de mercancías fuera de la calzada. 18. Infraestructuras de servicios. 19. Índice de diversidad urbana. 20. Equilibrio entre la actividad y la residencia. 21. Proximidad a actividades comerciales de uso cotidiano. 22. Actividades densas en conocimiento. 23. Continuidad espacial y funcional de la calle corredor. 24. Índice biótico del suelo. 25. Espacio verde por habitante. 26. Cubiertas verdes. 27. Proximidad de la población a espacios verdes. 28. Índice de funcionalidad de los parques urbanos. 29. Biodiversidad del arbolado. 30. Conectividad de los corredores verdes urbanos. 31. Consumo energético por sectores (para tejidos urbanos consolidados) y demanda energética por sectores (para nuevos desarrollos urbanísticos). 32. Producción local de energías renovables. 33. Autosuficiencia energética a partir de energías renovables.

			34. Consumo hídrico por sectores (para tejidos urbanos consolidados) y demanda hídrica por sectores (para nuevos desarrollos urbanísticos). 35. Regeneración de aguas marginales. 36. Autosuficiencia hídrica. 37. Autoproducción de alimentos. 38. Valorización de los residuos de la construcción y la demolición. 39. Recogida selectiva neta. 40. Dotación de contenedores de recogida selectiva. 41. Proximidad de la población a puntos de recogida selectiva. 42. Proximidad de la población a centros de recogida. 43. Cierre del ciclo de la materia orgánica. 44. Emisión de gases de efecto invernadero en la atmósfera. 45. Contaminación lumínica. 46. Índice de envejecimiento. 47. Población extranjera. 48. Titulados de tercer grado. 49. Viviendas con protección oficial. 50. Dotación de equipamientos públicos. 51. Proximidad de la población a equipamientos públicos. 52. Eficiencia del sistema urbano.
Informe de la directora Ejecutiva sobre la ejecución del plan estratégico de ONU-Hábitat para el período 2020-2023: proyecto de marco de resultados.	Junta Ejecutiva del Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. (2020).	Indicadores de los efectos de la actividad humana. Indicadores de los resultados en la actividad institucional. Indicadores de la función catalizadora.	1. Número de autoridades nacionales y subnacionales asociadas que integran la urbanización sostenible en los planes de desarrollo y las estrategias sectoriales. 2. Número de autoridades nacionales y subnacionales asociadas que integran la urbanización sostenible en los planes y estrategias humanitarios, de recuperación y de consolidación de la paz. 3. Número de países asociados en los que la urbanización sostenible se integra en los marcos de cooperación de las Naciones Unidas para el desarrollo sostenible.

			4. Número de países asociados que tienen documentos del programa por países de ONU-Hábitat. 5. Total de la población que tiene acceso a vivienda adecuada, espacios públicos y servicios básicos en las ciudades asociadas. 6. Proporción de la población de las ciudades que tiene acceso a agua potable, servicios de saneamiento mejorados y servicios de gestión de los desechos. 7. Proporción de la población urbana de las ciudades asociadas que viven en barrios marginales, asentamientos informales o viviendas inadecuadas. 8. Número de hogares con derechos de tenencia de la tierra seguros y con documentación legalmente reconocida en las ciudades asociadas. 9. Proporción de la población adulta total que percibe sus derechos a la tierra como seguros en las ciudades asociadas. 10. Número de personas que viven en zonas que tienen un plan reglamentario en las ciudades asociadas. 11. Número de países asociados que han armonizado sus documentos de política nacional con directrices internacionales sobre descentralización y acceso a los servicios básicos para todos, directrices internacionales sobre planificación urbana y territorial y directrices sobre ciudades más seguras. 12. Porcentaje de calles en las ciudades asociadas que tienen carril bici y aceras. 13. Número de ciudades asociadas que aplican políticas que promueven la movilidad urbana sostenible. 14. Número de ciudades asociadas que aplican políticas que promueven carriles bici y aceras seguros y de acceso universal integrados en el sistema de transporte público.

			15. Proporción media de la superficie edificada de las ciudades asociadas que se dedica a espacios abiertos para uso público de todos. 16. Número de autoridades locales asociadas que aplican estrategias y medidas para aumentar la integración social y la seguridad en los espacios públicos. 17. Número de ciudades asociadas que tienen planes para espacios públicos inclusivos. 18. Número de países cuyo ordenamiento jurídico (incluido el derecho consuetudinario) garantiza la igualdad de derechos de la mujer a la propiedad o el control de las tierras. 19. Número de países asociados que consagran el derecho a una vivienda adecuada en su legislación y sus políticas nacionales. 20. Número de países asociados que aplican políticas en materia de vivienda con el fin de proporcionar viviendas adecuadas y asequibles para todos, en consonancia con el ODS 11.1 y el derecho a una vivienda adecuada. 21. Número de países asociados que ponen en práctica normas reguladoras, códigos de construcción, medidas e incentivos para garantizar que se construyan viviendas sostenibles. 22. Número de ciudades asociadas en las que la mediana de asequibilidad de la vivienda (relación mediana entre precios e ingresos) es igual o inferior a 3.0. 23. Número de países asociados que aplican marcos o programas para impedir los desahucios ilegales. 24. Número de ciudades asociadas que establecen asociaciones para la financiación innovadora de la mejora de los barrios marginales y la construcción de viviendas de bajo costo. 25. Número de ciudades asociadas que albergan proyectos dirigidos por las comunidades para afrontar problemas relacionados con la pobreza y fomentar la resiliencia de las

			comunidades en los barrios marginales y los asentamientos informales. 26. Número de planes, en las ciudades asociadas, que contemplan ampliaciones y relleno urbano, con el objetivo de aumentar la compacidad y el uso mixto. 27. Número de ciudades asociadas que han emprendido iniciativas de renovación y regeneración urbana y territorial que preservan y protegen el patrimonio natural y el patrimonio cultural tangible e intangible. 28. Número de ciudades asociadas que han emprendido iniciativas de regeneración urbana inclusiva en consonancia con las directrices de ONU-Hábitat sobre regeneración. 29. Número de países asociados que aplican planes de desarrollo o mecanismos regionales para fomentar una colaboración que traspase las divisiones administrativas. 30. Número de países asociados que cuentan con una política urbana nacional o planes de desarrollo regional que se ajustan a las directrices de ONU-Hábitat. 31. Número de países asociados que aplican planes urbanos y territoriales que observan al menos 6 de los 12 principios de las Directrices Internacionales sobre Planificación Urbana y Territorial. 32. Número de países asociados que tienen estructuras y mecanismos de gobernanza que fomentan el desarrollo metropolitano. 33. Número de autoridades locales asociadas que aplican las estrategias que financiación de ONU-Hábitat para el desarrollo de la infraestructura en ciudades y territorios. 34. Número de países asociados que aplican planes de desarrollo regional que se ciñen a los principios rectores para los vínculos urbanos-rurales.

			35. Número de países asociados que aplican estrategias y políticas nacionales para financiar adecuadamente las funciones transferidas a las autoridades subnacionales. 36. Número de autoridades subnacionales asociadas que han aumentado los ingresos per cápita generados a nivel local. 37. Número de autoridades subnacionales asociadas que han adoptado medidas para aumentar la progresividad de los impuestos y asegurar el cumplimiento del marco fiscal. 38. Número de autoridades subnacionales asociadas que han aplicado medidas eficaces para mejorar la transparencia y la rendición de cuentas de sus sistemas de ingresos y gastos. 39. Número de autoridades locales asociadas que han aumentado el porcentaje de esto destinado al desarrollo inclusivo y a la prestación de servicios. 40. Número de autoridades subnacionales asociadas que tienen mecanismos de asignación de fondos con perspectiva de género. 41. Proporción de la población que considera que su calidad de vida ha mejorado gracias a un mayor despliegue de innovaciones urbanas y tecnologías de vanguardia en las ciudades y asentamientos humanos asociados. 42. Número de autoridades locales asociadas que usan tecnologías de vanguardia para mejorar la eficacia de la planificación urbana, la gobernanza, la gestión y la prestación de servicios. 43. Número de autoridades locales y nacionales asociadas que han adoptado políticas y estrategias para mejorar la inclusión social, el entorno urbano, la resiliencia y la calidad de vida mediante el uso de tecnologías de vanguardia e innovaciones urbanas. 44. Número de autoridades locales asociadas que disponen de recursos financieros suficientes para implantar tecnologías de

			vanguardia e innovaciones urbanas a fin de mejorar la inclusión social, el medio urbano, la resiliencia y la calidad de vida. 45. Número de personas que viven en ciudades y asentamientos humanos asociados que menos vulnerables a los efectos del cambio climático. 46. Reducción del número de años de vida ajustados en función de la discapacidad atribuibles a la contaminación atmosférica en las ciudades asociadas. 47. Aumento anual a la proporción de la población urbana que vive a menos de 400 metros de un espacio público verde en cada ciudad asociada. 48. Aumento anual al porcentaje de zonas urbanas ocupadas por espacios verdes en cada ciudad asociada. 49. Número de personas que han beneficiado de actividades de restauración ecológica en las ciudades asociadas. 50. Número de ciudades asociadas que han impuesto un objetivo de reducción de emisiones antes de 2050. 51. Número de ciudades asociadas que informan públicamente de sus emisiones anuales de CO_2. 52. Proporción de emisiones de CO_2 que se han evitado o reducido en las ciudades asociadas. 53. Número de autoridades nacionales y subnacionales asociadas que han elaborado planes de acción contra la contaminación atmosférica y están poniéndolos en práctica. 54. Número de ciudades asociadas cuyos niveles de materia particulado se ajustan a las normas de la OMS. 55. Número de ciudades asociadas que aplican políticas, planes y directrices urbanísticos sobre el uso eficiente de los recursos. 56. Número de ciudades asociadas que aplican soluciones urbanas basadas en la naturaleza.

			57. Número de ciudades que han aumentado la proporción de desechos sólidos que recogen y gestionan en instalaciones controladas para su recuperación. 58. Número de ciudades asociadas que han alcanzado un nivel de control de sus instalaciones de recuperación y eliminación más avanzado. 59. Número de ciudades asociadas que han implantado redes espaciales o corredores verde-azul. 60. Número de ciudades asociadas que implementan medidas para ampliar la infraestructura ecológica. 61. Número de ciudades asociadas que integran la conservación de la tierra, el agua y la biodiversidad en sus procesos de planificación urbana, 62. Número de países asociados que han reforzado el contenido urbano de sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional, Planes Nacionales de Adaptación, medidas de mitigación apropiadas para cada país y otros marcos de acción climática. 63. Número de ciudades asociadas que aplican políticas y planes integrados para la mitigación del cambio climático y la adaptación a sus efectos. 64. Número de ciudades asociadas que anuncian sus promesas de contribuciones al conjunto de los compromisos relativos al clima reconocidos a nivel mundial e informan al respecto periódicamente. 65. Número de ciudades y asentamientos humanos asociados que aplican políticas y normas integradas y planes autónomos de acción climática o planes reglamentarios que incorporan medidas relacionadas con el clima, para favorecer la adaptación de las comunidades y la infraestructura al cambio climático.

			66. Número de países asociados que hacen seguimiento de las medidas de adaptación al cambio climático adoptadas en las zonas urbanas y presentan informes al respecto. 67. Número de instituciones asociadas que han incorporado la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus efectos en la formación profesional impartida en las zonas urbanas. 68. Proporción de la población de los lugares seleccionados que considera que la adopción de decisiones es inclusiva y participativa. 69. Incremento de la proporción del total de la población adulta de los lugares seleccionados afectados por la crisis que poseen documentos reconocidos oficialmente que avalan sus derechos a la vivienda y a la propiedad de la tierra. 70. Incremento de la proporción de la población afectada por la crisis urbana en cada lugar seleccionado que tienen una vivienda adecuada. 71. Incremento de la proporción de la población afectada por la crisis urbana en cada lugar seleccionado cuya vivienda tiene acceso a servicios básicos. 72. Incremento de la proporción de la población afectada por la crisis urbana en cada lugar seleccionado que tiene acceso a espacios públicos. 73. Número de ciudades asociadas en las que los refugiados, los migrantes, los desplazados internos, los retornados y las comunidades de acogida van accediendo gradualmente a la seguridad de la tenencia, un trabajo decente, unos servicios básicos sostenibles y servicios sociales, una vivienda adecuada y un entorno seguro. 74. Número de comunidades de acogida en las que los migrantes, los refugiados, los desplazados internos y los retornados

			participan activamente en actividades culturales, sociales y económicas. 75. Número de autoridades locales asociadas que aplican estrategias y medidas para aumentar la integración social y la seguridad en los espacios púbicos. 76. Número de ciudades asociadas afectadas por la crisis que emplean métodos de recuperación sostenibles, inclusivos y basados en datos empíricos que fomentan la integración social, la inclusión y la transición hacia el desarrollo sostenible, de acuerdo con los principios de reconstruir mejor y no dejar a nadie atrás. 77. Número de autoridades competentes asociadas que aplican una administración territorial dirigida a lograr la seguridad de la tenencia para todos. 78. Proporción de ciudades asociadas afectadas por crisis que integran la prevención de conflictos y la paz en sus procesos de recuperación urbana. 79. Número de países asociados que aplican marcos urbanos nacionales (políticas, leyes planes de desarrollo espacial) que adoptan enfoques inclusivos de gobernanza y planificación urbanas. 80. Número de ciudades asociadas con mecanismos institucionalizados para la participación inclusiva de la sociedad civil en la planificación y la gestión urbanas. 81. Número de ciudades asociadas que integran los intereses de los migrantes, los refugiados, los desplazados internos, los retornados y las comunidades de acogida en sus procesos de planificación y gestión urbanas. 82. Número de ciudades asociadas que ponen en práctica estrategias de resiliencia basadas en datos empíricos integradas en la planificación y gestión urbanas en consonancia

			con el Marco de Sendái para la Reducción del Riesgo de Desastres. 83. Número de autoridades nacionales y subnacionales que, en materia de edificación, aplican códigos, reglamentos o instrumentos de certificación sostenibles. 84. Número de ciudades asociadas que aplican estrategias locales de reducción del riesgo de desastres en consonancia con el Marco de Sendái para la Reducción del Riesgo de Desastres. 85. [Si el proyecto indica que tiene un componente de resiliencia]. Porcentaje de la población a la que se dirige este proyecto que forma parte de un grupo vulnerable (incluidos los grupos marginados o los pobres, las minorías étnicas, las personas con discapacidad, los niños sin cuidado parental, los ancianos solos y dependientes, etc.). 86. Número de actividades, recomendaciones o intervenciones de fomento de la capacidad de recuperación [eficaces] incorporadas en los planes, políticas e iniciativas de las ciudades asociadas. 87. Proporción de la población de las ciudades asociadas que se considera a salvo de la violencia y el acoso en los espacios públicos. 88. Número de autoridades locales asociadas que aplican estrategias y enfoques sostenibles e inclusivos de seguridad a nivel local. 89. Número de autoridades locales asociadas que ponen a prueba y aplican instrumentos de seguridad urbana. 90. Número de instituciones educativas nacionales e internacionales que cuentan con programas educativos sobre seguridad urbana.

			91. Disminución anual de la proporción de personas que han sido víctimas de acoso físico o sexual en los últimos 12 meses en las ciudades asociadas. 92. de la plena realización del derecho a un nivel de vida adecuado (incluido el derecho a la vivienda, el derecho al agua potable limpia y segura y al saneamiento, etc.) en consonancia con las directrices y enfoques de ONU-Hábitat. 93. información. 94. Número de ciudades asociadas que observan los principios de la Coalición de Ciudades por los Derechos Digitales. 95. Número de ciudades asociadas que aplican métodos participativos para que todos los sectores de la población colaboren de forma significativa en los procesos de gestión urbana. 96. Número de autoridades locales asociadas que han adoptado la elaboración de presupuestos con perspectiva de género. 97. Número de autoridades nacionales y subnacionales que velan por la participación de equitativa de mujeres y hombres en todas las iniciativas conjuntas. 98. Proporción de iniciativas de ONU-Hábitat que destinan una partida del presupuesto (como el mínimo el 10% del presupuesto total) a actividades de género. 99. Número de ciudades asociadas que llevan a cabo iniciativas para adaptar las ciudades y los espacios públicos a las necesidades de los niños y jóvenes. 100. Número de ciudades asociadas que cuentan con instalaciones y servicios públicos accesibles para las personas mayores. 101. Número de ciudades asociadas que destinan partidas de los presupuestos municipales a dar respuesta a las necesidades expresadas por los niños y jóvenes.

			102. Número de ciudades asociadas que cuentan con instalaciones y servicios accesibles para las personas con discapacidad. 103. Proporción de personas con discapacidad, en las ciudades asociadas, que consideran que disfrutan de igualdad de acceso a los espacios, las instalaciones y los servicios públicos. 104. Número de países y ciudades que aplican las directrices e instrumentos fundamentales de ONU-Hábitat. 105. Número de descargas y citas de publicaciones e informes. 106. Número de instituciones educativas que han integrado las directrices, los instrumentos y la Nueva Agenda Urbana en su formación profesional urbana. 107. Número de citas de ONU-Hábitat en los informes mundiales fundamentales. 108. Porcentaje de proyectos de ONU-Hábitat que cuentan con financiación para una fase de continuación, en la que se amplía o replica un proyecto operacional piloto innovador. 109. Número de países, ciudades y organizaciones asociadas que han replicado el proyecto operacional piloto innovador iniciado por ONU-Hábitat. 110. Número de países, ciudades y organizaciones asociadas que han replicado las mejores prácticas y las soluciones eficaces promovidas por ONU-Hábitat. 111. Porcentaje de proyectos ejecutados conjuntamente con otros organismos de las Naciones Unidas. 112. Porcentaje de proyectos ejecutados conjuntamente con asociados ajenos al sistema de las Naciones Unidas.
Marco de indicadores mundiales para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y metas de la	ONU-Hábitat. (2021).	Los indicadores son resultado de la actualización realizada de 2018-2021 y se enfocan en el ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles.	11.1 De aquí a 2030, asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales.

Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.			11.1.1 Proporción de la población urbana que vive en barrios marginales, asentamientos informales o viviendas inadecuadas. 11.2 De aquí a 2030, proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público, prestando especial atención a las necesidades de las personas en situación de vulnerabilidad, las mujeres, los niños, las personas con discapacidad y las personas de edad. 11.2.1 Proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público, desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad. 11.3 De aquí a 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países. 11.3.1 Relación entre la tasa de consumo de tierras y la tasa de crecimiento de la población. 11.3.2 Proporción de ciudades que cuentan con una estructura de participación directa de la sociedad civil en la planificación y la gestión urbanas y funcionan con regularidad y democráticamente. 11.4 Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo. 11.5 De aquí a 2030, reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad. 11.5.1 Número de personas muertas, desaparecidas y afectadas directamente atribuido a desastres por cada 100.000 personas.

			11.5.2 Pérdidas económicas directas en relación con el PIB mundial, daños en la infraestructura esencial y número interrupciones de los servicios básicos atribuidos a desastres. 11.6 De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo. 11.6.1 Proporción de residuos sólidos municipales recogidos y administrados en instalaciones controladas con respecto al total de residuos municipales generados, desglosada por ciudad. 11.6.2 Niveles medios anuales de partículas finas en suspensión (por ejemplo, PM2.5 y PM10) en las ciudades (ponderados según la población). 11.7 De aquí a 2030, proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad. 11.7.1 Proporción media de la superficie edificada de las ciudades que se dedica a espacios abiertos para uso público de todos, desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad. 11.7.2 Proporción de personas que han sido víctimas de acoso físico o sexual en los últimos 12 meses, desglosada por sexo, edad, grado de discapacidad y lugar del hecho. 11.a Apoyar los vínculos económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales fortaleciendo la planificación del desarrollo nacional y regional. 11.a.1 Número de países que cuentan con políticas urbanas nacionales o planes de desarrollo regionales que *a)* responden a la dinámica de la población, *b)* garantizan un desarrollo territorial equilibrado y *c)* aumentan el margen fiscal local. 11.b De aquí a 2020, aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes

			integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendái para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles. 11.b.1 Número de países que adoptan y aplican estrategias nacionales de reducción del riesgo de desastres en consonancia con el Marco de Sendái para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. 11.b.2 Proporción de gobiernos locales que adoptan y aplican estrategias locales de reducción del riesgo de desastres en consonancia con las estrategias nacionales de reducción del riesgo de desastres. 11.c Proporcionar apoyo a los países menos adelantados, incluso mediante asistencia financiera y técnica, para que puedan construir edificios sostenibles y resilientes utilizando materiales locales.
Más allá de los indicadores UN-Habitat, hacia una agenda de nuevos indicadores urbanos.	Álvarez, J, (2007).	Lo económico. Lo social. Lo medioambiental. Lo metropolitano.	1. Competitividad. 2. Evolución de los salarios. 3. Inflación metropolitana. 4. Accesibilidad a servicios sociales clave. 5. Servicios públicos de salud para la población de la tercera edad. 6. Transporte público. 7. Calidad de los servicios públicos puntuales. 8. Justicia distributiva. 9. Segregación metropolitana. 10. Desigualdad. 11. Educación, ciencia y tecnología. 12. Acceso a internet y a nuevas tecnologías de información y comunicación. 13. Violencia contra niños, mujeres y personas de la tercera edad. 14. Contaminación del agua y del suelo. 15. Consumo de energía.

			16. Reservas territoriales, áreas verdes y deportivas. 17. Crecimiento y expansión. 18. Densidad de población. 19. Regeneración urbana. 20. Imagen y diseño urbano.

BIBLIOGRAFÍA

Abraira, V. (2000). El índice kappa. Recuperado el 01/08/2024 de: https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-familia-semergen-40-pdf-S113835930173955X

Achoy, C. *(2008).* Incorporación del análisis de riesgo en la planeación urbana: el caso del desarrollo urbano Tres Ríos en Culiacán, Sinaloa. Recuperado el 25/10/2023 de: https://posgrado.colef.mx/wpcontent/uploads/2009/10/TESIS-Achoy-L%C3%B3pez-Claudia-Marcela-MAIA.pdf

Afriyani, M., Iskandar, W., Ridha, S., y Muttakin, M. (2023). *Green Open Space Analysis with Utilization Remote Sensing and Geographical Information System in Banda Aceh City.* Recuperado el 09/05/2024 de: https://www.mendeley.com/catalogue/1b80fe15-17c8-3c2e-981a-b4fccfacbcf5/

Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. (2011). Sistema de indicadores y condicionantes para ciudades grandes y medianas. Recuperado el 06/06/2023 de: https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/pdf/3093A86A-128B-4F4D-8800BE9A76D1D264/111504/INDI_CIU_G_Y_M_tcm7177731.pdf

Agenda 2030 en América Latina y el Caribe. (s.f.). Objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Recuperado el 26/06/2023 de: https://agenda2030lac.org/es/ods/11-ciudades-y-comunidades-sostenibles

Aguilar, M. (2016). El caminar urbano y la sociabilidad. Trazos desde la Ciudad de México. Recuperado el 08/12/2023 de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-70172016000200023

Alamri, S., Adhinugraha, K., Allheeib. N. y Taniar, D. (2023). *GIS analysis of adequate accesibility to public transportation in metropolitan areas.* Recuperado el 22/06/2024 de: https://www.mdpi.com/2220-9964/12/5/180

Alberti, M. y Bettini, V. (1996). Sistemas urbanos e indicadores de sostenibilidad. En Bettini, V. (ed): *Elementi di Ecologia Urbana.*

Alférez, A. (2015). Aplicación de un Sistema de Información Geográfico para el monitoreo de las condiciones oceanográficas del Fenómeno “El Niño”. Recuperado el 17/02/2023 de: https://aquadocs.org/server/api/core/bitstreams/8a879d71-ef0d-468c-811f-469f7716fd3e/content

Alonso, F. (s.f.). Sistemas de información geográfica. Recuperado el 20/07/2023 de: https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf

Álvarez de la Torre, G. (2007). El tiempo y la estructura urbana de las ciudades medias en México: una propuesta metodológica. Recuperada el 29/01/2023 de: https://www.redalyc.org/pdf/859/85903107.pdf

Álvarez, J. (2007). Más allá de los indicadores UN-Habitat, hacia una agenda de nuevos indicadores urbanos. Recuperado el 05/02/2023 de: http://seduv.edomexico.gob.mx/docs/observa/evalua_1.pdf

Álvarez, C. y Padilla, O. (2019). Estimación de la contaminación del aire por PM10 en Quito a través de índices ambientales con imágenes LANDSAT ETM+. *Revista Cartográfica*, (92), 135–147. Recuperado el 13/07/2026 de: https://www.revistasipgh.org/index.php/rcar/article/view/441

Andrade, J., Guerrero, M., Naranjo, M. y Orellana, D. (2020). Relación entre el nivel socio económico y la calidad de espacios públicos abiertos: los casos de Quito, Cuenca e Ibarra en Ecuador. Recuperado el 31/05/2024 de: https://www.researchgate.net/publication/348786924_Relacion_entre_el_nivel_socio_economico_y_la_calidad_de_espacios_publicos_abiertos_los_casos_de_Quito_Cuenca_e_Ibarra_en_Ecuador

Andrades, M., Aransay, J., Santamaría, M., Lana-Renault, N., Llorente, J., Ruíz, P., y Sáenz de Cabezón, E. (2020). Enseñanza de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en estudios de grado y posgrado en la Universidad de La Rioja. Principios teóricos y ejercicios prácticos. Recuperado el 27/07/2023 de: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7259498

Angel, S., Mackres, E., Guzder-Williams, B. (2024). *Measuring Change in Urban Land Consumption: A Global Analysis. Land* 2024, *13*, 1491. Recuperado el 03/07/2025 de: https://www.mdpi.com/2073-445X/13/9/1491

Anzano, J. (2012). El proceso de urbanización en el mundo. El sistema urbano. Tipos de urbanismo. Repercusiones ambientales y económicas. Recuperado el 22/09/2023 de: http://clio.rediris.es/n36/oposicones/tema09.pdf

Arjona, G. (s.f.). Movilidad, accesibilidad y discapacidad. Una historia de logros. Recuperado el 03/11/2023 de: https://www.asepau.org/sites/default/files/pdf/articles/10._historia_accesibilidad.pdf

Arreola, M. (2019). Diseño e implementación de índices multibanda para el monitoreo de recursos naturales. Recuperado el 17/10/2023 de: http://www.upt.edu.mx/Contenido/Investigacion/Contenido/TESIS/MCO/2019/MCO_T_2019_05_MMAE.pdf

Asian Development Bank (ADB) (2001). *Urban indicators for managing cities.* Recuperado el 29/05/2023 de: https://think-asia.org/handle/11540/276

Ayuntamiento de A. Coruña. (2020). Agenda urbana 2030.

Ayuntamiento de Culiacán. (s.f.). Un lugar de legado ancestral. Recuperado el 22/09/2023 de: https://www.culiacan.gob.mx/?view=article&id=59&catid=17#:~:text=Municipio%20de%20Culiac%C3%A1n&text=Aunque%20se%20desconoce%20el%20d%C3%ADa,se%20le%20lla maba%20Huey%20Colhuacan.

Ayuntamiento de Culiacán. (s.f.). Economía. Recuperado el 19/03/19 en: http://culiacan.gob.mx/informacion/economia/

Baboo, S. y Devi, R. (2011). *International journal of computer applications. Geometric correction in recent high resolution satellite imagery: a case study in Coimbatore, Tamil Nadu.*

Baldwin, D. (2009). *Acces to public transit and its influence on ridership for older adults in two U.S. cities.* Recuperado el 18/06/2024 de: https://jtlu.org/index.php/jtlu/article/view/11

Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe. (2013). Qué es la movilidad urbana. Recuperado el 05/12/2023 de: https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/que-es-movilidad-urbana/?parent=14062%20

Beatly, T. (2016). *Handbook of Biophilic City Planning and Design. Washington, DC: Island Press.*

Bettini, V. (1998). Elementos de ecología urbana. Madrid, Editorial Trotta.

Bell, J., Wilson, J. y Liu, G. (2008). *Neighborhood Greenness and 2-Year Changes in Body Mass Index of Children and Youth.*

Belzunce, I. (2022). Análisis comparativo de datos de gases atmosféricos medidos por estaciones de monitorización locales con los derivados de imágenes Sentinel 5p.

Beyer, K., Kaltenbach, A., Szabo, A., Bogar, S., Nieto, F. y Malecki, K. (2014). *Exposure to Neighborhood Green Space and Mental Health: Evidence from the Survey of the Health of Wisconsin.*

Bolea, N., Postigo, R., y López, C. (2022). Valoración de la proximidad a las zonas verdes urbanas de la ciudad de Zaragoza como estrategia de adaptación a situaciones pandémicas. Recuperado el 31/05/2024 de: https://revistas.uva.es/index.php/ciudades/es/article/view/5559

Borja, J. (2000). El espacio público, ciudad y ciudadanía. Recuperado el 02/02/2023 de: https://pensarcontemporaneo.wordpress.com/wp-content/uploads/2009/06/el-espacio-publico-ciudad-y-ciudadania-jordi-borja.pdf

Bottino, R. (2009). La ciudad y la urbanización. Recuperado el 02/02/2023 de: https://estudioshistoricos.org/edicion_2/rosario_bottino.pdf

Bounoua, L., Bachir, N., Souidi, H., Bahi. H., Lagmiri, S., Yacoubi, M., Nigro, J. y Thome, K. (2023). *Sustainable development in Algeria's urban areas: population* growth *and land consumption.* Recuperado el 02/04/2024 de: https://www.mendeley.com/catalogue/73c5901a-ebd5-3ea6-b5a4-38836df85a33/

Brown, L. (1992). *A survey of image registration techniques. ACM Computing Surveys. Vol. 24 No. 4.*

Bustamante, M. (2023). Requiere Culiacán un transporte público moderno asegura Mapasin. Recuperado el 14/12/2023 de: https://oem.com.mx/elsoldesinaloa/local/requiere-culiacan-un-transporte-publico-moderno-asegura-mapasin-18378544

Cajal, A. (2017). Actividades económicas de Sinaloa más importantes.

Calonge, F. (2018). Recursos de movilidad y accesibilidad urbana en los municipios del sur del Área Metropolitana de Guadalajara, México. Recuperado el 06/11/2023 de: https://www.redalyc.org/journal/198/19860780005/html/

Ccama, H. (2021). Crecimiento poblacional y cambios territoriales en el centro urbano de Salcedo, Puno. Recuperado el 05/04/2024 de: https://www.mendeley.com/catalogue/307d7561-6fce-34fe-bdbe-d90c008d61e8/

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2022). Ley General de movilidad y seguridad vial. Recuperado el 29/11/2023 de: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGMSV.pdf

Camarero, C. (2002). Evolución de la población: características, modelos y factores de equilibrio. Recuperado el 04/03/2024 de: https://www.researchgate.net/publication/28054177_Evolucion_de_la_poblacion_caracteristicas_modelos_y_factores_de_equilibrio

Casado, I. (2010). Apuntes sobre el origen y la historia de la ciudad, en Contribuciones a las Ciencias Sociales. Recuperado el 19/09/2023 de: https://www.eumed.net/rev/cccss/07/icg2.htm

Castelao, G., Gómez, N. y Finelli, N. (2019). Distribución de espacios verdes públicos y calidad de vida: análisis comparativo en tres municipios de la provincia de Santa Fe. Recuperado el 08/11/2023 de: https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.13518/ev.13518.pdf

Castillo, H. (2017). Accesibilidad, movilidad y conectividad, claves de las ciudades futuras. Recuperado el 05/11/2023 de: https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Arquitectura_y_Diseno/vol1num1/ECORFAN_Revista_de_Arquitectura_y_Dise%C3%B1o_V1_N1_1.pdf

Castillo, M. (2002). Los sistemas de información geográfica y los recursos naturales. Recuperado el 14/05/2023 de: https://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/474

Castro, J. (2002). Indicadores de desarrollo sostenible urbano. Una aplicación para Andalucía. Recuperado el 25/05/2023 de: https://www.eumed.net/tesis-%20doctorales/jmc/tesisjmcb.pdf

Ceccato, V., Canabarro, A. y Vazquez, L. (2020). *Do green areas affect crime and safety?*

Celi, S. (2018). Análisis del comportamiento del transporte público a nivel mundial. Recuperado el 14/12/2023 de: https://www.revistaespacios.com/a18v39n18/a18v39n18p10.pdf

Centro Estatal de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades, (2023). Calidad del aire y salud. En la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Recuperado el 07/01/2024 de: https://cevece.edomex.gob.mx/sites/cevece.edomex.gob.mx/files/files/docs/boletin/BoletinCalidad-AireMayo2023.pdf

Céspedes, J., Cuero, J. y Hernández, F. (2015). Metodología para medir las concentraciones de aerosoles atmosféricos usando técnicas de teledetección. Recuperado el 02/08/2024 de: https://repository.upb.edu.co/server/api/core/bitstreams/28e321a9-ec9e-4912-89ac-eb9e38023a07/content

Chávez, J. (2019). Análisis con Sistemas de Información Geográfica del crecimiento urbano y el uso del suelo de los municipios de Coacalco, Tultepec y Tultitlán, Estado de México en el periodo 1994-2017. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el 02/02/2022 de: https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2019/marzo/0786620/Index.html

Chee, J. (2015). *Pearson's Product Moment Correlation: Sample Analysis.* Recuperado el 21/04/2016 de: https://www.researchgate.net/publication/277324930_Pearson%27s_Product-Moment_Correlation_Sample_Analysis

Chuvieco, E. (1990). Fundamentos de teledetección espacial. Recuperado el 21/07/2023 de: http://cursosihlla.bdh.org.ar/Sist.%20Cart.%20y%20Teledet./Bibliografia/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf

Clark, S. (s.f.). Percepción remota (teledetección). 5.1 Conceptos fundamentales. Recuperado el 22/01/2023 de:

https://www.academia.edu/8147466/Percepci%C3%B3n_Remota_Teledetecci%C3%B3n_5_1_Conceptos_Fundamentales

CODS (Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina) (2019). Calidad del aire: un problema urgente para América Latina y el Caribe. Recuperado el 20/06/2023 de: https://cods.uniandes.edu.co/calidad-del-aire-un-problema-urgente-para_america-latina-y-el-caribe/#entry-conte

Comes, Y., Solitario, R., Garbus, P., Mauro, M., Czerniecki, S., Vázquez, A., Sotelo, R. y Stolkiner, A. (2007). El concepto de accesibilidad: la perspectiva relacional entre población y servicios. Recuperado el 03/11/2023 de: https://www.redalyc.org/pdf/3691/369139943019.pdf

Comisión Ambiental de la Megalópolis. (2018). ¿Qué es la movilidad sustentable? Recuperado el 01/12/2023 de: https://www.gob.mx/comisionambiental/articulos/que-es-la-movilidad-sustentable?idiom#:~:text=La%20movilidad%20es%20una%20actividad,utilizando%20alg%C3%BAn%20tipo%20de%20transporte.

Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.* Recuperado el 09/01/2026 de: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-

Comisión Nacional del Agua (2014). Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía 2014 para la ciudad de: Culiacán Rosales, Sinaloa. Recuperado el 22/05/2026 de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99849/PMPMS_Culiac_n_Sin.pdf

Comisión Nacional de los Derechos Humanos. (2018). Ley de movilidad sustentable del estado de Sinaloa. Recuperado el 15/12/2023 de: https://normas.cndh.org.mx/Documentos/Sinaloa/Ley_MSE_Sin.pdf

Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH). (2019). Informe especial sobre el derecho a la accesibilidad de las personas con discapacidad.

Recuperado el 05/11/2023 de: https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/documentos/2019-08/IE-Accesibilidad.pdf

Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA). (2002). Áreas verdes en el Gran Santiago.

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, 2018). Movilidad urbana sostenible. Recuperado el 06/12/2023 de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/313972/movilidadurbanasostenible.pdf

Congedo, L., Macchi, S. *The demographic dimensión of climate change vulnerability: exploring the relation between population growth and urban sprawl in Dar es Salaam.* Recuperado el 05/04/2024 de: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1877343514001183?via%3Dihub

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (CONEVAL) (2013). Manual para el diseño y la construcción de indicadores. Instrumentos principales para el monitoreo de programas sociales de México. Recuperado el 07/06/2023 de: https://www.coneval.org.mx/Informes/Coordinacion/Publicaciones%20oficiales/MANUAL_PARA_EL_DISENO_Y_CONTRUCCION_DE_INDICADORES.pdf

Constantin, D., Voiculescu, M. y Georgescu, L. (2013). *Satellite observations of NO_2 trend over Romania.* Recuperado el 04/08/2024 de: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1155/2013/261634

CNUAH/Hábitat. (s.f.). Indicadores urbanos Estambul +5. Recuperado el 19/05/2023 de: https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/9827/2949-%2031.pdf?sequence=31&isAllowed=y

CONEVAL. (2020). Medición de la pobreza. Recuperado el 13/11/2023 de: https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Rezago_social_AGEB_2020.aspx#:~:text=Por%20lo%20tanto%2C%20el%20GRS,t%C3%A9rminos%20de%20los%20indicadores%20incorporados.

Copernicus. (2026). *Copernicus Sentinel-5P data products*. Recuperado el 08/06/2026 de: https://sentinels.copernicus.eu/data-products/-/asset_publisher/fp37fc19FN8F/content/sentinel-5-precursor-level-2-nitrogen-dioxide

Correa, N, (2015). Análisis de la accesibilidad urbana como condición de inequidad social en los asentamientos humanos de la periferia de una ciudad media. Caso: Culiacán, México. Recuperado el 06/11/2023 de: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5646247

Cranz, G. (1981). *The politics of park design: a history of urban parks in America.*

Daudu, P., Jibril, M., y Yashi, J. (2022). *Spatial Analysis for Determining Accessibility to Bus Stops in Kaduna Metropolis.* Journal of Geographic Information System, 14, 78-93. Recuperado el 28/06/2024 de: https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=115529

Dávila, F. (s.f.). Introducción a los Sistemas de Información Geográfica. Recuperado el 22/04/20 en: https://sge.org/ibercarto/wp-content/uploads/sites/4/2016/01/sig2.pdf

Dávila, A., Pinedo, A., Pinedo, C., y Prieto, J. (2017). El proceso de expansión urbana y su impacto en la cobertura y uso de suelo de la zona de presión intermunicipal de Chihuahua. Ciencia, núm. 86. Recuperado el 25/09/2023 de: https://cienciauanl.uanl.mx/?p=7376

Dávila, A., Alatorre, L. y Bravo-Peña, L. (2021). Análisis de la evolución espacio-temporal del uso de suelo urbano en la metrópolis de Chihuahua. Recuperado el 18/09/2023 de: https://est.cmq.edu.mx/index.php/est/article/view/1618/1803

Debate. (2017). Culiacán, la economía más estable de México. Recuperado el 10/11/2023 de: https://www.debate.com.mx/politica/Culiacan-la-economia-mas-estable-de-Mexico-20170525-0379.html

De la Garza, A. (2017*). Análisis del crecimiento urbano disperso: el caso de la ciudad de Chihuahua, México.* Recuperado el 31/03/2024 de: https://fileserver-az.core.ac.uk/download/pdf/141674984.pdf

Deng, J., Huang, Y., Chen, B., Tong, C., Liu, P., Wang, H. y Hong, Y. (2019). *A methodology to monitor urban expansing and green space change using a time series of multi-sensor SPOT and Sentinel-2A images.* Recuperado el 17/10/2023 de: https://www.mdpi.com/2072-4292/11/10/1230

Dent, B., Torguson, J. y Hodler, T. (2009). *Cartography. Thematic map design. Sixth edition.* Recuperado el 27/07/2023 de: https://handoutset.com/wp-content/uploads/2022/06/Cartography-Thematic-Map-Design-Borden-Dent-Thomas-Hodler-Jeff-Torguson.pdf

De Sena, A. (2012). Qué son lo sindicadores*.* Recuperado el 13/07/2023 de: https://www.researchgate.net/publication/275409261_Que_son_los_indicadores

Diario Oficial de la Federación. (2022). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021, Espacios públicos en los asentamientos humanos. Recuperado el 08/11/2023 de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5643417&fecha=22/02/2022#gsc.tab=0

Díaz, M., Cantergiani, C., Salado, M., Rojas, C., y Gutiérrez, S. (2007). Propuesta de un sistema de indicadores de sostenibilidad para la movilidad y el transporte urbanos. Aplicación mediante SIG a la ciudad de Alcalá de Henares.

Domínguez, J. (2000). Breve introducción a la cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Recuperado el 25/07/2023 de:

https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/38/115/38115075.pdf

Duque, J. (1993). Tema central: medio ambiente. Vida y muerte del ozono. Recuperado el 09/01/2024 de: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6331938.pdf

Durkhein, E. (1985). Las reglas del método sociológico. Recuperado el 13/07/2023 de:https://acms.es/wp-content/uploads/2018/11/durkheim_emile_ _las_reglas_del_metodo_sociologico_0.pdf

El Economista. (2023). En México, 56% de las viviendas no tiene acceso a la infraestructura de transporte público. Recuperado el 15/12/2023 de: https://www.eleconomista.com.mx/econohabitat/En-Mexico-56-de-las-viviendas-no-tiene-acceso-a-la-infraestructura-de-transporte-publico-20230119-0076.html

El Estado de Sinaloa, (2020). Ley Estatal de Cambio Climático. Recuperado el 25/10/2023 de: https://transparencia.mazatlan.gob.mx/descarga/Marco%20Regulatorio%20del%20Municipio/Leyes%20y%20Decretos/POE-04-diciembre-2020-146 III%20LEY%20DE%20CAMBIO%20CLIM%C3%81TICO%20DEL%20ESTADO%20DE%20SINALOA.PDF

Environmental Systems Research Institute, (ESRI), (1998). *ESRI Shapefile Technical Description*. Recuperado el 09/07/2026 de: https://www.esri.com/content/dam/esrisites/sitecore-archive/Files/Pdfs/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf

Esri, (2021). Análisis del área de servicio. Recuperado el 29/12/2023 de: https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/network-analyst/service-area.htm

Esri. (2025). *Create heat maps in ArcMap using the Density toolset.* Recuperado el 11/08/2025 de: https://support.esri.com/en-us/knowledge-base/how-to-create-heat-maps-in-arcmap-using-the-density-too-000021720

Fallas, J. (2003). Conceptos básicos de cartografía. Recuperado el 25/07/2023 de: https://pim.udelar.edu.uy/portal/wp-content/uploads/sites/14/2019/07/CONCEPTOS-B%C3%81SICOS-DE-CARTOGRAF%C3%8DA.pdf

Fernández, S. (2019). Accesibilidad urbana: concepto y aplicaciones. Recuperado el 06/11/2023 de: https://core.ac.uk/download/pdf/289121114.pdf

Ferrer, A. (1997). Qué son y qué pretenden. *Cuadernos de pedagogía*, *257*. Recuperado el 13/07/2023 de: http://ajbcn-meta-decidim.s3.amazonaws.com/uploads/decidim/attachment/file/2587/7.1._Tiana_Ferrer_.pdf

Fiallos, G. (2021). La correlación de Pearson y el proceso de regresión por el método de mínimos cuadrados. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar.*

Florindo, A., Onita, B., Garro, M., Wanderley, R., Teixeira, I., y Turrel, G. (2023). *Public open spaces and leisure-time walking: a longitudinal study with brazilian people in the COVID-19 Pandemic.* Recuperado el 10/06/2024 de: https://doi.org/10.1123/jpah.2023-0108

Foda, M. y Osman, A. (2010). *Using GIS for measuring transit stop accessibility considering actual pedestrian road network.* Recuperado el 13/07/2024 de: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1077291X22002351

Frausto, O., Perdigón, M., Rojas, J., Ihl, T., Tapia, A., y Chale, G. (2005). Sistema de información de indicadores UN-Habitat. *Ciudades*, 17(68), México, pp. 52-57.

Galacho, F., Ocaña, C. y Manceras, J. (2004). El empleo de los SIG y la teledetección en la planificación territorial. Diseño de un sistema de apoyo a la decisión espacial (SADE/SDSS) para la planificación y gestión territorial a escala local. Recuperado el 23/07/2023 de: https://www.age-geografia.es/site/wp-content/uploads/2020/07/XI-Congreso-del-GMCSIGT-Tomo-III.pdf

García-Moran, J. (1992). Metrópolis: Las grandes ciudades del mundo. Madrid: Alianza.

García, E., y Lira, J. (2010). La percepción remota aplicada al análisis urbano-regional de la Ciudad de México empleando imágenes ópticas Terra/Aster y Spot 5. Recuperado el 18/04/2024 de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/12805/03_Garcia_Lira.pdf?sequence=1&isAllowed=y

García, J. (2013). Impensar la ciudad latinoamericana para un estudio urbano complejo. Recuperado el 20/09/2023 de: https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/25380/1/3-ImpensarCiudadLatinoamericana.pdf

García, H., y Lara-Valencia, F. (2016). Equidad en la provisión de espacios públicos abiertos: accesibilidad, percepción y uso entre mujeres de Hermosillo, Sonora. Recuperado el 04/06/2024 de: https://www.researchgate.net/publication/305171324_Equidad_en_la_provision_de_espacios_publicos_abiertos_accesibilidad_percepcion_y_uso_entre_mujeres_de_Hermosillo_Sonora

García, M., Franco, L., Granados, J. (2019). Evolución del crecimiento de la población y transformación del uso de suelo urbano en la Zona Metropolitana de Pachuca, México. Recuperado el 21/03/2024 de: https://www.redalyc.org/journal/401/40161003005/40161003005.pdf

Gatti, A., y Galoppo, A. (2018). *Sentinel-2 products specification document.*

Gobierno de Colombia. (2021). Proceso para el cálculo del indicador ODS 11.3.1. Recuperado el 12/10/2023 de: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/experimentales/ods-11-3-1/Indicador_ODS_11.3.1.pdf

Gobierno de México. (s.f.). Culiacán. Recuperado el 10/11/2023 de: https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/culiacan?totalGenderSelector1=genderOption

Gobierno de México. (s.f.). Data México. Culiacán. Recuperado el 20/07/2023 de: https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/culiacan?redirect=true

Gobierno de México. (2018). Ciudades verdes y sustentables. Recuperado el 30/10/2023 de: https://www.gob.mx/conanp/articulos/ciudades-verdes-ysustentables#:~:text=Las%20%C3%A1reas%20verdes%20en%20los,como%20ª%20incrementar%20la%20biodiversidad.

Gobierno de México. (2015). Intoxicación por monóxido de carbono. Recuperado el 05/01/2024 de: https://www.gob.mx/salud/articulos/intoxicacion-por-monoxido-de-carbono

Gobierno de México. (2023). Áreas de influencia. Recuperado el 20/11/2023 de: https://view.genial.ly/63c7671ca59ed10019eaf0b1/presentation-03-areas-de-influencia

Gobierno del Estado de México. (2022). Modelo de monitoreo de indicadores de las ciudades mexiquenses para el desarrollo de capacidades institucionales y la gobernanza metropolitana. Recuperado el 07/06/2023 de: https://sedui.edomex.gob.mxsites/seduo.edomex.gob.mx/files/files/LIBRO%20%20MMICM%202022.pdf

Gobierno del Estado de Sinaloa y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (s.f.). Programa de gestión para mejorar la calidad del aire del estado de Sinaloa. Recuperado el 20/06/2023 de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/300694/21_ProAire_Sinaloa.pdf

Gómez, M. (2004). Métodos y técnicas de la cartografía temática. Recuperado el 27/07/2023 de: http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/61/61/184-1

Gómez, J., y Mesa, A. (2015). Análisis de los modos de acceso y los patrones de uso de la población. Recuperado el 18/05/2024 de:

https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/43079/CONICET_Digital_Nro.c2f2df36-0de2-42b4-bd3e-31585e7b5244_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

González, M. (2020). Los satélites y su utilidad en nuestro día a día. Recuperado el 21/07/2023 de: https://www.programainvestiga.org/pdf/guias2020-21/SATELITES.pdf

Gonzáles, J., y Pérez, M. (2023). Caracterización socio espacial de parques y jardines. Estrategia utilizada por la comunidad de investigadores de diseño de la UASLP. Recuperado el 12/05/2024 de: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8897263

Granados, M. (2021). *Understanding of green infrastructure and implications for urban planning in the Mexican city of Culiacan.* Recuperado el 03/10/2023 de: https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2980508

Guevara, M., Méndez, J., Guevara, F. y Belalcázar, L. (2018). *Spatial and temporal assessment of particulate matter using AOD Data from MODIS and surface measurements in the ambient air of Colombia.* Recuperado el 05/01/2024 de: https://www.researchgate.net/publication/326096082_Spatial_and_Temporal_Assessment_of_Particulate_Matter_Using_AOD_Data_from_MODIS_and_Surface_M easurements_in_the_Ambient_Air_of_Colombia

Gutiérrez, A. (2012). ¿Qué es la movilidad? Elementos para (re) construir las definiciones básicas del campo del transporte. Recuperado el 01/12/2023 de: https://www.academia.edu/39971567/_Qu%C3%A9_es_la_movilidad_Elementos_para_re_construir_las_definiciones_b%C3%A1sicas_del_campo_del_transporte

Gutiérrez, J., Berrocal, R., Ruiz, E., Jaraíz F. y Su, J. (2014). Análisis de la accesibilidad al autobús urbano de Mérida. Recuperado el 14/06/2024 de: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4653697

Harley, J. (2005). Hacia una deconstrucción del mapa. Recuperado el 25/07/2023 de:

http://www.beu.extension.unicen.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/356/HARLEY%281992%29Deconstructingthemap_Traduccion2005.pdf?sequence=1&isAllowed=y

H. Ayuntamiento de Culiacán. (2005). Plan municipal de desarrollo 2005-2007, Culiacán, Sinaloa.

Harvey, D. (1973). *Social justice and the city.* Recuperado el 12/06/2025 de: https://erikafontanez.com/wp-content/uploads/2017/09/david-harvey-social-%09justice-and-the-city.pdf

Herce, M. y Magrinyà, F. (2013). El espacio de la movilidad urbana.

Hernández, D. (2017). Transporte público, bienestar y desigualdad: cobertura y capacidad de pago en la ciudad de Montevideo. Recuperado el 15/12/2023 de: https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/afd504ea-2ffc-%09446e-853e-f323ed175e5f/content

Hernández, J., Espinoza, J., Peñaloza, M., Rodríguez, J., Chacón, J., Toloza, C., Arenas, M., Carrillo, S., Bermúdez, V. (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. Recuperado el 10/07/2025 de: https://www.revistaavft.com/images/revistas/2018/avft_5_2018/25sobre_uso%09_adecuado_coeficiente.pdf

Hess, D. (2012). *Walking to the bus: perceived versus actual walking distance to bus stops for older adults.*

Holobâcă, I.-H.; Benedek, J.; Ursu, C.-D.; Alexe, M.; Temerdek-Ivan, K. *Ratio of Land Consumption Rate to Population Growth Rate in the Major Metropolitan Areas of Romania.* Remote Sens. 2022, 14, 6016. https:// doi.org/10.3390/rs14236016 Recuperado el 15/07/2025 de: https://www.mdpi.com/2072-4292/14/23/6016

Ibarra, G. (2018). Culiacán. Ciudad-región global. Recuperado el 30/01/2023 de: https://www.researchgate.net/publication/325614818_Culiacan_Ciudad_-%09_region_global

IMPLAN (s.f.). Plan parcial de movilidad para el desarrollo urbano de la Ciudad de Culiacán, Rosales, Sinaloa. Recuperado el 06/11/2023 de: https://implanculiacan.mx/descargas/planes/Plan_Parcial_de_Movilidad/DOCUMENTOS/3_PLAN_DE_MOVILIDAD_POLITICAS-ESTRATEGIAS.pdf

IMPLAN (s.f.). Plan parcial de movilidad para el desarrollo urbano de la Ciudad de Culiacán, Rosales, Sinaloa. Recuperado el 09/11/2025 de: https://implanculiacan.mx/descargas/planes/Plan_Parcial_de_Movilidad/DOCUMENTOS/2_PLAN_DE_MOVILIDAD_DIAGNOSTICO_PRONOSTICO.pdf

IMPLAN (s.f.). Plan Director de Desarrollo Urbano de Culiacán.

IMPLAN Culiacán. (2007). Reglamento de calles, parques, jardines y su equipamiento del municipio de Culiacán, Sinaloa. Recuperado el 30/10/2023 de: https://implanculiacan.mx/transparencia/fraccion_XVI/REGLAMENTO%20DE%20CALLES,%20PARQUES,%20JARDINES%20Y%20SU%20EQUIPAMIENTO%20DEL%20MUNICIPIO%20DE%20CULIAC%C3%81N%2030-12-2007.pdf

IMPLAN Chihuahua. (2018). Estudio para la definición de indicadores del desarrollo urbano sostenible del municipio de Chihuahua. Recuperado el 29/01/2023 de: https://implanchihuahua.org/IndicadoresDesarrolloSostenible.html

IMPLAN Culiacán. (2021). Programa de desarrollo urbano de centro de población de Culiacán. Recuperado el 03/02/2023 de: https://implanculiacan.mx/descargas/planes/PDUCPC_2021/01%20DOCUMENTO/PDUCPC%202021.pdf

INEGI. (s.f.). Población rural y urbana. Recuperado el 30/01/2023 de: https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema_P

INEGI. (s.f.). Clima. Recuperado el 31/07/2024 de: https://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/sin/territorio/clima.aspx?tema=meINEGI

INEGI. (1993). Sonora. Resultados definitivos datos por AGEB urbana. XI Censo de población y vivienda 1990. Recuperado el 13/11/2023 de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/76/702825419929/702825419929_1.pdf

Instituto Municipal de Planeación Urbana de Culiacán. (IMPLAN, s.f.). PRODEU. Programa de Desarrollo Urbano de Culiacán. Recuperado el 03/10/2023 de: https://implanculiacan.mx/descargas/PRODEU/DOCS/PRODEU%20CONSULTA%20P%DABLICA.pdf

Instituto Municipal de Planeación Urbana de Culiacán. (IMPLAN, 2021). Programa de desarrollo urbano del centro de población de Culiacán. Recuperado el 25/09/2023 de: https://implanculiacan.mx/descargas/planes/PDUCPC_2021/01%20DOCUMENTO/PDUCPC%202021.pdf

Instituto Sinaloense de Cultura. ISIC. (2022). La modernidad arquitectónica de Culiacán inició en 1938, sostiene el Arq. Vicente Amaral. Recuperado el 22/09/2023 de: https://www.culturasinaloa.gob.mx/index.php/2-uncategorised/14446-la-modernidad-arquitectonica-de-culiacan-inicio-en-1938-sostiene-el-arq-vicenteamaral#:~:text=Vicente%20Amaral,-Culiac%C3%A1n%2C%20Sin.%2C&text=memoria%E2%80%9D%2C%20del%20ISIC,Culiac%C3%A1n%2C%20Sin.,Riva%20Palacio%2C%20sostuvo%20el%20Arq.

Inventario Nacional de Emisiones de México (INEM), (2016). Inventario de emisiones de contaminantes criterio 2016. Recuperado el 07/01/2024 de: https://gisviewer.semarnat.gob.mx/wmaplicacion/inem/

IPCC. (2021). *WGI Summary for Policymakers: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).*

Jabareen, Y. (2008*). A new conceptual framework for sustainable development*. Recuperado el 12/01/2025 de: https://www.researchgate.net/publication/227033081_A_New_Conceptual_Framework_for_Sustainable_Development

Jaraíz, F., Mora, J., y Gutiérrez, J. (2010). Estudio de los cambios de superficie en las zonas forestales, la vegetación natural y los espacios abiertos en la Raya Central Ibérica: el uso de modelos lineales generalizados. Recuperado el 09/05/2024 de: https://www.mendeley.com/catalogue/8b7e0c28-f859-3911-88d0-b26aa7f43f46/

Jennings, V. y Bamkole, O. (2019). *The Relationship between Social Cohesion and Urban Green Space: An Avenue for Health Promotion.*

Jiang, B. y Yao, X. (2010). *Geoespatial analysis and modelling of urban structure and Dynamics.* Recuperado el 23/07/2023 de: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-90-481-8572-6_1

Jim, C., y Chen, W. (2008). *Pattern and divergence of tree communities in Taipei's main urban green spaces.* Recuperado el 02/07/2025 de: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204607002198

Jiménez, A., Pérez, J. y Carrillo, J. (2014). Integración de las Tecnologías Geoespaciales como herramientas docentes en Ciencias de la Tierra. Recuperado el 05/02/2023 de: https://www.researchgate.net/publication/286448574_Integracion_de_las_Tecnologias_Geoespaciales_como_herramientas_docentes_en_Ciencias_de_la_Tierra/link/5669b7ad08aea0892c49b923/download

Jiménez, C. (2015). Tamaño y densidad urbana. Análisis de la ocupación de suelo por las áreas urbanas españolas. Recuperado el 01/02/2022 de: https://habitat.aq.upm.es/tydu/tydu.pdf

Junta Ejecutiva del Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. (2020). Informe de la Directora Ejecutiva sobre la ejecución del plan estratégico de ONU-Hábitat para el período 2020-2023: proyecto de

marco de resultados. Recuperado el 16/05/2023 de: https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/05/spanish_11.pdf

Kabisch, N., Qureshi, S. y Haase, D. (2015). *Human-environment interactions in urban green spaces -A systematic review of contemporary issues and prospects for future research.* Recuperado el 02/07/2025 de: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195925514000754

Kent, A. y Vujakovic, P. (2017). *The routledge handbook of mapping and cartography.* Recuperado el 27/07/2023 de: https://www.routledgehandbooks.com/doi/10.4324/9781315736822.ch21

Khalaim, O., Zabarna, O., Kazantsev, T., Panas, I. y Polishchuk, O. (2021). *Urban green infraestructura inventory as a key prerequisite to sustainable cities in Ukraine under extreme heat events.* Recuperado el 02/05/2024 de: https://www.mdpi.com/2071-1050/13/5/2470

Kharel, S., Ramesh, K., Puppanna, S. y Raj, G. (2019). *Use of transportation network analysis for bus stop relocation, depiction of service area and bus route details.* Recuperado el 06/07/2024 de: https://www.researchgate.net/publication/338251807_Use_of_transportation_network_analysis_for_bus_stop_relocation_depiction_of_service_area_and_bus_route_details/citations

Ladino, H. (2016). Cartografía básica y digital con énfasis en recursos naturales. Recuperado el 25/07/2023 de: https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/bb0c4f3e-b42e-4881-8f41-c877d06d78e6/content

Lafuente, A. y Horrillo, P. (s.f.). Cómo hacer un mapeo colectivo. Recuperado el 24/04/20 en: https://www.cpalsocial.org/documentos/528.pdf

León, S. (1998). Conceptos sobre espacio público, gestión de proyectos y lógica social: reflexiones sobre la experiencia chilena. Recuperado el 26/10/2023 de: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-

71611998007100002#:~:text=El%20espacio%20urbano%20de%20uso,para%20que%20%C3%A9sta%20pueda%20desarrollar

Leva, G. (2005). Indicadores de calidad de vida urbana. Recuperado el 24/05/2023 de: http://hm.unq.edu.ar/archivos_hm/GL_ICVU.pdf

Longley, P. y Batty, M. (2003). *Advanced Spatial Analysis: The CASA Book of GIS.* Recuperado el 20/07/2023 de: https://www.researchgate.net/profile/Michael Batty4/publication/328450893_Advanced_Spatial_Analysis_The_CASA_Book_of_GIS__edited_now_out_of_print/links/5bcf0e2e4585152b144ee697/Advanced-Spatial-Analysis- The-CASA-Book-of-GIS-edited-now-out-of print.pdf

López, I. (2015). Sobre el desarrollo sostenible y la sostenibilidad: conceptualización y crítica. Recuperado el 12/01/2026 de: https://www.redalyc.org/pdf/3221/322142550007.pdf

López, D. y Torres, A. (2017). Diplomado en Análisis de Información Geoespacial. Análisis de datos tipo raster. Recuperado el 21/07/2023 de: https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/182/1/12-An%C3%A1lisisdeDatosTipoRaster-DiplomadoenAn%C3%A1lisisdeInformaci%C3%B3n%09Geoespacial.pdf

López, Estefanía. (2024). Falta de monitoreo por humo tóxico amenaza la salud pública en Culiacán. Recuperado el 02/08/2025 de: https://oem.com.mx/elsoldesinaloa/local/falta-de-monitoreo-por-humo-%09toxico-amenaza-la-salud-publica-en-culiacan-13290634

Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., Moran, E. (2004). *Change detection techniques. Int. J. Remote Sense.*

Ma, Y., y Xu, R. (2010). *Remote sensing monitoring and driving forcé análisis of urban expansion in Guangzhou City, China.* Recuperado el 30/03/2024 de: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0197397509000745?via%3Dihub

Mamić, L., Gašparović, M. y Kaplan, G. (2023). *Developing $PM_{2.5}$ and PM_{10} prediction models on a national and regional scale using open-source remote sensing data.* Recuperado el 12/01/2024 de: https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-023-11212-x

Mapasin. (2022). La importancia de tener paradas establecidas para el transporte *público.* Recuperado el 08/12/2023 de: https://mapasin.org/la-importancia-de-tener-paradas-establecidas-para-el-transporte-publico-articulo-inedito

Mariani, G. (2010). Indicadores urbanos y ciudad. Recuperado el 05/02/2023 de: https://www.researchgate.net/publication/333068365_Indicadores_Urbanos_y_Ciudad_Parte_1

Maruani, T., y Amit-Cohen, I. (2007). *Open space planning models: a review of approaches and methods.* https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204607000199?via%3Dihub

Matsuoka, R., y Kaplan, R. (2007). *People needs in the urban landscape: Analysis of Landscape and Urban Planning contributions.* Recuperado el 25/10/2023 de: doi:10.1016/j.landurbplan.2007.09.009

Mavoa, S., Witten, K., McCreanor, T. & O'Sullivan, D. (2012). *GIS based destination accessibility via public transit and walking in Auckland, New Zealand. Journal of Transport Geography.* Recuperado el 12/06/2025 de: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0966692311001529

Mazari, M. (1999). Espacios abiertos en la Ciudad de México. Recuperado el 26/10/2023 de: https://www.puec.unam.mx/pdf/libros_digitales/Publicaciones/espacios_abiertos.pdf

McHarg, I. (1969). *Design with nature: American Museum of Natural History New York.*

Merlotto, A., Piccolo, M. C., & Bértola, G. R. (2012). Crecimiento urbano y cambios del uso/ cobertura del suelo en las ciudades de Necochea y Quequén, Buenos Aires, Argentina. *Revista de Geografía Norte Grande*, (53), 159–176. Recuperado el 19/03/2024 de: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022012000300010

Meza, S. (2015). Utilizan menos el transporte público. Recuperado el 14/12/2023 de: https://www.noroeste.com.mx/buen-vivir/utilizan-menos-el-transporte-publico-YENO44742

Mieza, S. y Kovac, F. (2012). Imágenes satelitales y aéreas en aplicaciones sitio específicas. Recuperado el 21/07/2023 de: https://www.researchgate.net/publication/318710942_Imagenes_satelitales_y_aereas_en_aplicaciones_sitio_especificas

Miralles-Guasch, C. (2002). Ciudad y transporte. El binomio imperfecto.

Miyasako, E. (2009). Las áreas verdes en el contexto urbano de la Ciudad de México. Recuperado el 30/10/2023 de: https://rua.ua.es/bitstream/10045/24404/1/Tesis_Miyasako.pdf

Mohd, M. (2022). El futuro de la humanidad será urbano. Recuperado el 28/01/2023: https://onu-habitat.org/index.php/el-futuro-de-la-humanidad-sera-urbano

Molina, G., Arboit, M., Maglione, D., Sedevich, A. y Mutani, G. (2019). Estudio de expansión urbana, crecimiento poblacional, consumos energéticos e índices de vegetación en el Área Metropolitana de Mendoza. Recuperado el 24/03/2024 de: https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/141444

Mondragón, A. (2002). ¿Qué son los indicadores? Recuperado el 13/07/2023 de: https://www.orion2020.org/archivo/sistema_mec/10_indicadores2.pdf

Montejano, J., Caudillo, C., Ávila, F., Tapia. R. y Barrera, I. (2023). Expansión y crecimiento urbanos en México, 1975-2020. Recuperado el 28/03/2024 de: https://regionysociedad.colson.edu.mx/index.php/rys/es/article/view/1734/1923

Montezuma, R. (2003). Transformación urbana y movilidad: contribución al debate de América Latina.

Morán, A. (2014). Algoritmos para la corrección radiométrica de imágenes de satélite. Recuperado el 21/07/2023 de: https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/436/1/236291.pdf

Morang, M. (2016). *Who does my public transit system serve?* Recuperado el 29/12/2023 de: https://www.esri.com/arcgis-blog/products/network-analyst/transportation/who-does-my-public-transit-system-serve

Moreno, P. (2010). Los resultados de los fondos metropolitanos de México. Publicación del Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública de la Cámara de Diputados.

Moreno, E. (2014). Indicadores para el estudio de la sustentabilidad urbana en Chimalhuacán, Estado de México. Recuperado el 02/02/2023 de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572014000100007

Moreno, A., Cañada, R. y Méndez, D. (2020). La concentración de partículas en el aire: análisis estadístico de la relación espacial entre medidas de superficie y del sensor MODIS para dos tipos de tiempo en la Comunidad de Madrid. Recuperado el 31/07/2024 de: https://doi.org/10.14198/INGEO2020.MJCTMA

Morgado, J., Conguillo, C., Ramírez, J., Palacios, I., Benítez, E., Hernández, G. y Gómez, D. (2022). Análisis urbano del espacio verde público, en la ciudad de Córdoba, Veracruz, México. Recuperado el 18/04/2024 de: https://www.mendeley.com/catalogue/c11f68af-ae4f-3c3a-aa71-6766932c7383/

Muñoz, M. (2014). Accesibilidad a las áreas verdes urbanas como espacios públicos. El caso de Ciudad Juárez, Chihuahua. Recuperado el 03/06/2024

de: https://posgrado.colef.mx/wp-content/uploads/2015/02/TESIS-Mu%C3%B1oz-Resendiz-Mara-Quetzalli.pdf

Nacif, N. (2016). Diseño de indicadores urbanos de sustentabilidad. El caso del Gran San Juan en Argentina. Recuperado el 06/06/2023 de: DOI: https://doi.org/1022320/07183607.2016.19.34.1

Naciones Unidas. (s.f.). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado el 28/01/2023 de: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/

Naciones Unidas. (s.f.). Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Recuperado el 21/07/2026 de: https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm

Naciones Unidas. (s.f.). Objetivo 11: lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Recuperado el 01/07/2026 de: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/

Naciones Unidas. (2015). *Economist and UN adviser Jeffrey Sachs on why 2015 is critical to setting the world on safer, more prosperous path.* Recuperado el 12/01/2026 de: https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2015/05/jeffrey-sachs-

Nájera, M., Márquez, B., Sánchez, R., y Corona, J. (2005). Los sistemas de información geográfica como herramienta para observar el comportamiento del ozono en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Recuperado el 04/08/2024 de: https://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos05-2/d.pdf

Obregón, S., y Ángeles, M. (2018). Diseño metodológico para estimar indicadores de accesibilidad en entornos periféricos de una zona metropolitana. Recuperado el 18/06/2024 de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-72102018000100111

Ochante, A., Henry, M., Carmona, A., y Campos, N. (2023). Monitoreo de la contaminación por monóxido de carbono (CO) utilizando imágenes satelitales Sentinel-5P desde el comienzo de la pandemia del Coronavirus (estudio de caso: Provincia de Huamanga). Recuperado el 04/08/2024 de: https://laccei.org/LACCEI2023-BuenosAires/papers/Contribution_368_a.pdf

Ochoa, A. (2023). Sinaloa en la lista de más muertes por intoxicación de monóxido de carbono. Recuperado el 07/01/2024 de: https://www.luznoticias.mx/2023-12-29/sinaloa/sinaloa-en-la-lista-de-mas-muertes-por-intoxicacion-de-monoxido-de-carbono/189931

ODS. (2023). 11.3.1 Relación entre la tasa de consumo de tierras y la tasa de crecimiento de la población. Recuperado el 20/09/2023 de: https://agenda2030.mx/ODSind.html?ind=ODS011000200010&cveind=239&cveCob=99&lang=es#/Metadata

Oficina Regional de la OMS para Europa. (2016). *Urban green spaces and health. Copenhagen, Denmark: World Health Organization.*

Ojeda, L. y Espejel, I. (2014). Cuando las áreas verdes se transforman en paisajes urbanos. Recuperado el 30/10/2023 de: https://colef.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1014/580/1/Cuando%20las%20%C3%A1reas%20verdes%20-Interiores_lectura.pdf

ONU-Hábitat. (s.f.). *Metadata on SDGs Indicator 11.2.1. Indicator category: Tier II.* Recuperado el 26/12/2023 de: https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/11/metadata_on_sdg_indicator_11.2.1_2020_1.pdf

ONU-Hábitat. (2002). *Global urban indicators database. Version 2.* Recuperado el 22/05/2023 de: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=t1tCaxDPQxIC&oi=fnd&pg=PP8&dq=global+urban+indicators+database&ots=B6w-vt13jz&sig=dlNocUkbXRmHmBAJ9f6MSIjUwyA#v=onepage&q=global%20urban%20indicators%20database&f=false

ONU-Hábitat y Ayuntamiento de Madrid. (2016). Movilidad urbana sostenible y espacio público. Recuperado el 06/12/2023 de: https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-06/sustainable_urban_mobility_and_public_space.pdf

ONU-Hábitat. (2018). *Metadata on SDGs Indicator 11.2.1. Indicator category: Tier II.* Recuperado el 29/11/2023 de: https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/06/metadata_on_sdg_indicator_11.2.1.pdf

ONU-Hábitat. (2018). *Metadata on SDGs Indicator 11.3.1 Indicator category: Tier II.* Recuperado el 12/10/2023 de: https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/07/metadata_on_sdg_indicator_11.3.1.pdf

ONU-Hábitat. (2018). *Metadata on SDGs Indicator 11.6.2. Indicator category: Tier I.* Recuperado el 05/01/2024 de: https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/07/metadata_on_sdg_indicator_11.6.2.pdf

ONU-Hábitat e INFONAVIT. (2018). Índice básico de las ciudades prósperas. Recuperado el 05/11/2023 de: https://publicacionesonuhabitat.org/onuhabitatmexico/cpi/2015/25006_Culiac%C3 %A1n.pdf

ONU-Hábitat. (2021). Información actualizada acerca de la preparación del informe cuadrienal del Secretario General sobre los progresos realizados en la aplicación de la Nueva Agenda Urbana. Recuperado el 26/05/2023 de: https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/05/spanish_-_hsp-oecpr.2021-3_1.pdf

ONU-Hábitat. (2021). Marco de indicadores mundiales para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Recuperado el 06/06/2023 de:

https://agenda2030.mx/docs/doctos/Global_Indicator_Framework_after_2021_refinement_Spa.pdf

ONU-Hábitat. (2021). *Open spaces and green areas.* Recuperado el 24/10/2023 de: https://data.unhabitat.org/pages/open-spaces-and-green-areas

ONU-Hábitat. (2021). *Urban indicators database.* Recuperado el 20/06/2023 de: https://data.unhabitat.org/

ONU-Hábitat. (2021). *Urban sustainable development goals.* Recuperado el 26/10/2023 de: https://data.unhabitat.org/pages/sdgs

ONU-Hábitat. (2022). ONU-Hábitat. El programa de las Naciones Unidades para los Asentamientos Humanos. Recuperado el 31/01/2023 de: https://onuhabitat.org.mx/index.php/nosotros

ONU-Hábitat. (2022). El radio caminable. Recuperado el 08/11/2023 de: https://onuhabitat.org.mx/index.php/el-radio-caminable

ONU-Hábitat. (2022). Iniciativa de las ciudades prósperas. Recuperado el 27/01/2023 de: https://onuhabitat.org.mx/index.php/evidencia-analisis-y-diagnostico

ONU-Hábitat. (2022). El ODS 11. Recuperado el 02/02/2023 de: https://onuhabitat.org.mx/index.php/el-ods-11

ONU-Hábitat. (2023). *SDG indicator metadata.* Recuperado el 05/01/2024 de: https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-11-06-02.pdf

ONU-Hábitat. (2020). *Metadata on SDGs Indicator 11.7.1. Indicator category: Tier II.* Recuperado el 13/11/2023 de: https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/11/metadata_on_sdg_indicator_11.7.1_02-2020_1.pdf

ONU-Hábitat. (2021). *Urban indicators database.* Recuperado el 20/06/2023 de: https://data.unhabitat.org/

ONU-Hábitat. (2021). *Urban sustainable development goals.* Recuperado el 26/10/2023 de: https://data.unhabitat.org/pages/sdgs

ONU-Hábitat. (2022). El radio caminable. Recuperado el 08/11/2023 de: https://onuhabitat.org.mx/index.php/el-radio-caminable

Organización Mundial de la Salud, OMS (2006). Guía de la calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Recuperado el 08/01/2024 de: https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/doc/sanidad/samb/guias_de_calidad_del_aire_de_la_oms.pdf

Ortega, M. (2019). La accesibilidad peatonal a dotaciones de proximidad como pauta para la ordenación urbana. Oviedo como ejemplo metodológico. Recuperado el 31/05/2024 de: https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/629

Park, J., y Chowdhury, S. (2018). *Investigating the barriers in a typical journey by public transport users with disabilities. Journal of Transport & Health*, 10, 361-368. doi:10.1016/j. jth.2018.05.008

Pascual, A., y Peña, J. (2012). Espacios abiertos de uso público. Recuperado el 27/10/2023 de: https://www.redalyc.org/pdf/3768/376834405003.pdf

Peña, L. y Ausín, T. (2015). El valor de la movilidad humana. Recuperado el 04/12/2023 de: https://digital.csic.es/bitstream/10261/112369/1/movilidad.pdf

Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V., Murayama, Y., y Ranagalage, M. (2020). *Sentinel-2 data for land cover/use mapping: a review.* Recuperado el 17/10/2023 de: https://www.mdpi.com/2072-4292/12/14/2291

Piccinato, G. (1974). *La construzione dellúrbanistica: Germania, 1871-1914* Roma: Officina Edizioni. Edición en castellano: *La construcción de la urbanística (Alemania 1871-1914). Barcelona: Oikos-Tau, 1993.*

Pitarch, M., Fajardo, F. y Zornoza, C. (2017). La naturaleza en la ciudad. La accesibilidad a los espacios verdes urbanos como medida de la calidad de

vida. Recuperado el 08/11/2023 de: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7366647

Poblete, R., Alvizú, S., Bellollo, F., Mardónez, J. y Saldías, F. (2005). Series clínicas de medicina de urgencia: intoxicación por monóxido de carbono, el gran simulador. Recuperado el 05/01/2024 de: https://urgencia.uc.cl/htdocs/content/uploads/2021/04/intoxicacion-monoxido-de-carbono-series-clinicas-urgencia-uc-articulo-2005.pdf

Potchter, O., Cohen, P. y Bitan, A. (2006). *Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel.*

Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. (PAOT, 2010). Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad de México. Recuperado el 20/09/2023 de: http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/libro_areas_verdes.pdf

Quintero, J. (2009). Conceptos de Geomática y estudios de caso en México. Capítulo 4. Definición y origen de los sistemas de información geográfica. Recuperado el 20/07/2023 de: http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/download/18/18/53-1?inline=1

Ramírez, M., Lasso, J. y Durán, C. (2023). Integración de información estadística y observaciones de Tierra para el cálculo de indicadores ODS 11.3.1 y 11.7.1 en Colombia, aplicando técnicas de clasificación Random Forest. Recuperado el 11/04/2024 de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-215X2023000100226&lng=en&nrm=iso

Ríos, R. (2012). Espacios abiertos informales. Factores condicionantes de usos y cualidades ambientales informales, estrategias de reutilización y criterios de diseño sustentable para la intervención en espacios abiertos informales. Recuperado el 25/10/2023 de: https://estudiosurbanos.uc.cl/wp-content/uploads/2012/11/TESIS-RRP.pdf

Röbbel, N. (s.f.). Los espacios verdes: un recurso indispensable para lograr una salud sostenible en las zonas urbanas. Recuperado el 31/10/2023 de: https://www.un.org/es/chronicle/article/los-espacios-verdes-un-recurso-indispensable-para-lograr-una-salud-sostenible-en-las-zonas-urbanas#:~:text=Cada%20vez%20hay%20m%C3%A1s%20estudios,tasas%20de%20morbilidad%20y%20mortalidad

Rodríguez, S. (2020). Accesibilidad vs discapacidad: un poco de historia. Recuperado el 05/11/2023 de: https://www.sararodriguezcontreras.com/accesibilidad-vs-discapacidad-un-poco- de-historia/

Roe, J. y Aspinall, P. (2011). *The restorative outcomes of forest school and conventional school in young people with good and poor behaviour.*

Romano, R. y Roca, Josep. (2022). La delimitación del suelo urbanizado: el caso de la costa alicantina, España. A: International Conference Virtual City and Territory. "5th International Conference Virtual City and Territory, Barcelona, 2,3 and 4 June 2009". Barcelona: Centre de Política de Sòl i Valoracions, 2009, p. 145-158. Recuperado el 16/03/2024 de: https://upcommons.upc.edu/handle/2099/11350

Romero, A., y Hernández, M. (2022). Cambio de uso de suelo por la construcción del NAICM en Texcoco, Estado de México. Recuperado el 18/10/2023 de: https://www.redalyc.org/journal/573/57375131006/html/#B27

Romo, M., y Maldonado, J. (2022). Justicia social: accesibilidad a espacios públicos en contextos de marginación urbana en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Recuperado el 04/06/2024 de: https://doi.org/10.19053/01233769.11922

Rosso, F., Pioppi, B. y Pisello, A. (2024). *Tactical urban pocket parks (TUPPs) for subjective and objective multi-domain comfort enhancement.* Recuperado el 02/07/2025 de: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479723022351

Rouibah, K., & Belabbas, M. (2020). *Applying multi-index approach from sentinel-2 imagery to extract urban areas in dry season (Semi-arid land in north east Algeria*).

Saavedra, M. (2019). Desigualdades socioespaciales: un análisis de proximidad a los espacios abiertos del distrito de Villa El Salvador, Lima. Recuperado el 31/05/2024 de: https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/investigaterritorios/article/view/24412

Samaja, J. (1993). Epistemología y metodología.

Sanabria, M. (2020). La tecnología geoespacial como estrategia de pensamiento sistémico en la ingeniería. Recuperado el 23/07/2023 de: https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/download/782/787/1535

Sánchez, R. (2002). La ciudad: hábitat de diversidad y complejidad. Capítulo La ciudad: el poder y lo social. Recuperado el 22/09/2023 de: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2518/318_-_14_Capi_13.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Sánchez, J. (2016). Análisis de calidad cartográfica mediante el estudio de la matriz de confusión. Recuperado el 01/08/2024 de: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5998855

Santamaría, J. (2011). La cartografía y las proyecciones cartográficas. Recuperado el 25/07/2023 de: https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/492575.pdf

Sanz, A. (1997). Movilidad y accesibilidad: un escollo para la sostenibilidad urbana. Recuperado el 06/11/2023 de: http://habitat.aq.upm.es/cs/p3/a013.html

Sarkar, C., Webster, C., Pryor, M., Tang, D., Melbourne, S., Zhang, X. y Jianzheng, L. (2015). *Exploring associations between urban green, street design and walking: Results from the Greater London boroughs. Landscape and Urban Planning*.

Schelotto, S. (2004). Accesibilidad, ciudad metropolitana, periferias, centralidades democráticas y el espacio de lo público. Recuperado el 06/11/2023 de: http://www.seminariomontevideo.edu.uy/smvd6/marco.html

Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Áreas verdes urbanas. Recuperado el 31/10/2023 de: https://sma.edomex.gob.mx/areas_verdes_urbanas

Secretaría de Gobernación (SEGOB). (2021). Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-2021. Salud ambiental. Recuperado el 07/01/2024 de: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633854&fecha=27/10/2021#gsc.tab=0

SEGOB. (2021). Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2021. *Salud ambiental.* Recuperado el 10/01/2024 de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633956&fecha=28/10/2021#gsctab=0

SEGOB. (2023). Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-SEDATU-2023, Estructura y diseño para vías urbanas. Especificaciones y aplicación. Recuperado el 15/12/2023 de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5702243&fecha=19/09/2023#gsc.tab=0

Seham, A., Ibtesam, A., Haya, A., Mohamed, S. y Ismail, I. (2022). *Air quality estimation using remote sensing and GIS-spatial technologies along Al-Shamal train pathway, Al-Qurayyat City in Saudi Arabia.* Recuperado el 03/08/2024 de: https://doi.org/10.1016/j.indic.2022.100184

SEMARNAT, (2016). Informe de la situación del medio ambiente en México 2015.

SEMARNAT, (2018). Compendio de estadísticas ambientales 2018.

Sentinel-Hub. (s.f.). *Sentinel-5P L2.* Recuperado el 12/01/2024 de: https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/data/sentinel-5p-l2/

Serrano, R. (2019). Movilidad urbana y espacio público. Recuperado el 05/12/2023 de: hhttps://www.unipiloto.edu.co/descargas/LIB_Movilidad-Urbana-y-espacio-publico_17OCT.pdf

Shakir, S. y Cesaretti, G. (2020). *The Theory of Sustainable Development: A Review*. Recuperado el 09/01/2026 de: https://www.francoangeli.it/riviste/Scheda_Rivista.aspx?IDArticolo=65401&T

Shawal, S., Shoyab, M. y Begum, S. (2014). *Fundamentals of digital image processing and basic concept of classification.* Recuperado el 21/07/2023 de: https://www.researchgate.net/profile/Shammi_Shawal/publication/299357099_Fundamentals_of_Digital_Image_Processing_and_Basic_Concept_of_Classification/links/5c84e163299bf1268d4c9ccf/Fundamentals-of-Digital-Image-Processing-and-Basic-Concept-of-Classification.pdf

Shishegar, N. (2014). *The Impacts of Green Areas on Mitigating Urban Heat Island Effect: A Review (Published in 2014).*

Silván, J., Valdiviezo, J. y Salazar, A. (2021). Monitoreo de procesos territoriales con imágenes de satélite en escala regional. Recuperado el 26/09/2023 de: https://idegeo.centrogeo.org.mx/uploaded/documents/Monitoreo_ArchivoFinal_210621_con_ISBN_1.pdf

Solano, E. (2016). Herramientas geoespacial y técnicas de optimización para mejorar el acceso geográfico a servicios de salud en el departamento de Cusco-Perú. Recuperado el 23/07/2023 de: https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/3752

Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K. y Williams, J. (1998). Manejo de las áreas verdes urbanas. Recuperado el 31/10/2023 de: http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=1441394

Soriano, I. (2017). Análisis comparativo de la fragmentación de zonas verdes intraurbanas a partir de cartografía de usos del suelo derivadas de imágenes Sentinel-2. Relación con indicadores de calidad ambiental. Recuperado el 27/04/2024 de: https://riunet.upv.es/handle/10251/88425

Soto-Cortés, J. (2015). El crecimiento urbano de las ciudades: enfoques desarrollista, autoritario, neoliberal y sustentable. Recuperado el 19/09/2023 de: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5926288.pdf

Suárez, M. y Delgado, J. (2007). La expansión urbana probable de la Ciudad de México. Un escenario pesimista y dos alternativos para el año 2020. Recuperado el 11/10/2023 de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-72102007000100101

Suárez, C. (2016). Espacios abiertos patrimoniales. Recuperado el 27/10/2023 de: http://www.librosoa.unam.mx/bitstream/handle/123456789/2425/espacios_abiertos.pdf?sequence=3|isAllowed=y

Subirats, J., Quintana, I., Vidal, M. y Rueda, S. (2012). El libro verde de la sostenibilidad urbana y local en el ámbito de la sostenibilidad social: hábitat urbano e inclusión social.

Taha, H. (1997). *Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat.*

Talavera, R. y Valenzuela, L. (2012). La accesibilidad peatonal en la integración espacial de las paradas de transporte público. Recuperado el 28/06/2024 de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74826255014

Talavera, R. y Valenzuela, L. (2017). Análisis conceptual de la distancia peatonal al transporte público: hacia un enfoque más integrador. Recuperado el 08/12/2023 de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/118771/5134- 3678-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Talavera, R., Valenzuela, L. y Soria, J. (2018). Evaluando la influencia de la calidad de la distancia peatonal en la cobertura de paradas del metro ligero de Granada (España). Recuperado el 13/07/2026: http://dx.doi.org/10.21138/bage.2472

Téllez, J., Rodríguez, A. y Fajardo, A. (2006). Contaminación por monóxido de carbono: un problema de salud ambiental. Recuperado el 05/01/2024 de: https://www.scielosp.org/pdf/rsap/v8n1/v8n1a10.pdf

Tello, L. y Díaz, J. (2021). Análisis de la contaminación ambiental usando técnicas de teledetección y análisis de componentes principales. Recuperado el 02/05/2023 de: http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v24n50/2256-5337-teclo24-50-22.pdf

Tropomi. (2026). *Carbon monoxide*. Recuperado el 08/06/2026 de: https://www.tropomi.eu/data-products/carbon-monoxide

UN-Habitat (2018*). Metadata on SDGs Indicator 11.6.2 Indicator category: Tier I.* Recuperado el 11/03/2026 de: https://unhabitat.org/sites/default/files/2019/02/Metadata-11.6.2_Edited_21-03-2018.pdf

UN-Habitat (2018). *SDG Indicator 11.7.1 Training Module: Public Space. United Nations Human Settlement Programme (UN-Habitat), Nairobi.* https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/07/indicator_11.7.1_training_module_public_space.pdf

UN-Habitat. (2018). *Developing Public Space and Land Values in Cities and Neighbourhoods.*

UN-Habitat. (2020). *Metadata on SDGs Indicator 11.7.1. Indicator category: Tier II.* Recuperado el 13/11/2023 de: https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/11/metadata_on_sdg_indicator_11.7.1_02-2020_1.pdf

United Nations Human Settlements Programme. (2004). *Urban Indicators Guidelines. Monitoring the habitat agenda and the millennium development goals.* Recuperado el 19/05/2023 de: https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/UrbanIndicators.pdf

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2023). *Particulate matter (PM) basics.* Recuperado el 10/01/2024 de: https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM

USGS. (2018). *USGS EROS archive-Landsat. Archives-Landsat 4-5 Thematic Mapper (TM) Level-1 Data Products.* Recuperado el 31/07/2024 de: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-4-5-thematic-mapper-tm-level-1-data#overview

Vargas, C., Orozco, R., Vargas, A. y Aguilar, J. (2020). Metodología para la determinación del crecimiento de la mancha urbana de las capitales de la región centroamericana (1975-1995-2014). Recuperado el 17/10/2023 de: https://www.redalyc.org/journal/4517/451762295004/html/

Velásquez, C. (2015). Espacio público y movilidad urbana. Sistemas Integrados de Transporte Masivo (SITM). Recuperado el 06/12/2023 de: https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/319707/01.CVVM_1de5.pdf

Venter, Z., Aunan, K., Chowdhury, S. y Lelieveld, J. (2020). *COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines.* Recuperado el 11/07/2025 de: https://www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.2006853117

Villegas, H. (2008). Introducción a la percepción remota y sus aplicaciones geológicas. Recuperado el 12/05/2023 de: https://recordcenter.sgc.gov.co/B12/23008002524448/documento/pdf/2105244481 102000.pdf

Villeneuve, P., Jerrett, M., Su, J., Burnett, R., Chen, H., Wheeler, A. y Goldberg, M. (2012). *A cohort study relating urban green space with mortality in Ontario, Canada.*

Vujačić, D., Stanovčić, T., Gajić, T., Aleksova, B. y Lukić, T. (2025). *Advancing urban sustainability: Applying GIS technologies to assess SDG indicators –a case study of Podgorica (Montenegro).* Recuperado el 12/03/2026 de: https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/geo-2025-

0803/html?srsltid=AfmBOopNh3jPwUlHEmdvYa8bNtHV5fHu3HoGR8_lX_UfIp2fK3P--J2B

Wallo, A., Cuesta, O., Collazo, A., y Sánchez, P. (2004). Uso de los sistemas de información geográfica para el estudio de la calidad del aire en la bahía de La Habana. Recuperado el 04/08/2024 de: http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/302/362

Wang, Y., Huang, C., Feng, Y., Zhao, M., y Gu, J. (2020). *Using earth observation for monitoring SDG 11.3.1-Ratio of land consumption rate to population growth rate in Mainland China.* Recuperado el 20/10/2023 de: https://doi.org/10.3390/rs12030357

Wiatkowska, B., Slodczyk, J. y Stokowska, A. (2021). *Spatial-temporal land use and land cover changes in urban áreas using remote sensing images and GIS análisis: the case study of Opole, Poland.* Recuperado el 20/09/2023 de: https://doi.org/10.3390/geosciences11080312

Young, N., Anderson, R., Chignell, S., Vorster, A., Lawrence, R. y Evangelista, P. (2017). *A survival guide to Landsat preprocessing.*

Torres, V., Hernández, Z. y Rodríguez, E. (2019). Sentinel 2 como herramienta para visualizar el crecimiento urbano de las ciudades*.* Recuperado el 17/10/2023 de: https://repositorio.uam.es/server/api/core/bitstreams/cb812270-68b1-4c8e- 9c94-9b346a5b8450/content