

# MICRO-VARIANZAS GEOESTADÍSTICAS SOBRE LA ACCESIBILIDAD DEL ESPACIO PÚBLICO URBANO: EL CASO DE COMALA, COLIMA, MÉXICO <sup>1</sup>

GEOSTATISTICAL MICRO-VARIANCES ON THE ACCESSIBILITY OF URBAN PUBLIC SPACE:  
THE CASE OF COMALA, COLIMA, MEXICO

ISAAC FARIAS-MORENO <sup>2</sup>  
PETER CHUNG-ALONSO <sup>3</sup>  
ALICIA CUEVAS-MUÑIZ <sup>4</sup>  
JORGE ARMANDO GUTIÉRREZ-VALENCIA <sup>5</sup>

- <sup>1</sup> Artículo financiado por Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación [SECIHTI], a través del Programa Nacional de Becas para Estudios de Posgrado otorgado a Isaac Fariás-Moreno (No. 4011850)
- <sup>2</sup> Arquitecto  
Estudiante de Maestría en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana (MASGU)  
Tecnológico Nacional de México, Colima, México  
<https://orcid.org/0009-0003-0307-3379>  
[ifariasmx97@gmail.com](mailto:ifariasmx97@gmail.com)
- <sup>3</sup> Magíster en Arquitectura  
Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI)  
Tecnológico Nacional de México, Colima, México  
<https://orcid.org/0000-0002-3724-1938>  
[peter.chung@colima.tecnm.mx](mailto:peter.chung@colima.tecnm.mx)
- <sup>4</sup> Doctora en Ciencias Sociales  
Profesora-investigadora Titular A en la Facultad de Ciencias  
Universidad de Colima, Colima, México  
<https://orcid.org/0000-0003-2910-6282>  
[alicia\\_cuevas@ucol.mx](mailto:alicia_cuevas@ucol.mx)
- <sup>5</sup> Doctor en Arquitectura  
Coordinador de la Maestría en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana (MASGU)  
Tecnológico Nacional de México, Colima, México  
<https://orcid.org/0009-0005-5394-064X>  
[jorge.gutierrez@colima.tecnm.mx](mailto:jorge.gutierrez@colima.tecnm.mx)



Al entender la accesibilidad como el potencial localizado para la interacción humana y la integración urbano-territorial, la presente investigación tiene como objetivo analizar el patrón distributivo de la accesibilidad del espacio público urbano. Para ello, se propone un método para la integración geoestadística de indicadores socio-ambientales, de la calidad ambiental y de la eficiencia espacial-morfológica del tejido urbano; además, se incluyen datos perceptuales/subjetivos recopilados en sitio sobre la accesibilidad y seguridad peatonal, calidad perceptual/sensorial y vitalidad urbana. Los resultados destacan una tendencia centralizadora sobre la accesibilidad urbana, asociada a la proximidad espacial al Centro Histórico de Comala, como factor protector del territorio. Asimismo, se registra que el 20.53% de la población se encuentra en núcleos consolidados con altos índices de accesibilidad, mientras que el 19.44% está vulnerado por su aislamiento funcional. A partir del análisis, se identificaron diez tipologías territorial-urbanas, basadas en su similitud geoestadística respecto a los indicadores de accesibilidad incorporados.

**Palabras clave:** accesibilidad, espacio público, ciudades pequeñas, análisis geoestadístico, morfología urbana

Understanding accessibility as the localized potential for human interaction and urban-territorial integration, this research aims to analyze the distributional patterns of accessibility in urban public spaces. To this end, a method is proposed for the geostatistical integration of socio-environmental, environmental quality, and the spatial-morphological efficiency indicators of the urban fabric. In addition, perceptual/subjective data collected on-site on pedestrian accessibility and safety, perceptual/sensory quality, and urban vitality are included. The results highlight a centralizing tendency in urban accessibility, associated with spatial proximity to the Historic Center of Comala, which serves as a protective factor for the territory. Furthermore, it is seen that 20.53% of the population is located in consolidated centers with high accessibility, while 19.44% is vulnerable due to their functional isolation. From the analysis, 10 territorial-urban typologies are identified, based on their geostatistical similarity, taking into account the accessibility indicators incorporated.

**Keywords:** accessibility, public space, small cities, geostatistical analysis, urban morphology

## I. INTRODUCCIÓN

El espacio público es un componente fundamental para la articulación de los sistemas urbanos de cualquier escala y localización (ONU-Hábitat, 2020), cuya disponibilidad y calidad ha demostrado beneficios sobre la salubridad psicofísica y medioambiental y social del entorno (Clarke et al., 2023; Houlden et al., 2019; Wang et al., 2023), así como en la vitalidad y aprovechamiento del entorno urbano (Gehl, 2004; Jin y Kim, 2024; Sevtsuk, 2020). Sin embargo, la falta de planeación aunada al crecimiento acelerado y fragmentado en los sistemas urbanos contemporáneos, plantean profundos desafíos para la articulación efectiva del Espacio Público Urbano [EPU en adelante] en las ciudades. En México existen desigualdades para el acceso al EPU, ya que solamente el 24% de la población cuenta con un EPU a 500 metros o menos de su vivienda (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano [SEDATU], 2019), que afecta en mayor medida a zonas periféricas/ marginadas (Vazquez et al., 2024), o, a localidades pequeñas con <15000 habitantes, donde reside el 30.65% de la población nacional (SEDATU y Consejo Nacional De Población [CONAPO], 2024).

Partiendo del reconocimiento de las ciudades como sistemas espaciales de interacción potencial (Hansen, 1959; Hillier y Hanson, 2009), el análisis de la accesibilidad aborda el grado de articulación funcional que provee el entorno urbano, a partir de la vinculación efectiva entre centros de población y puntos de interés (Sdoukopoulos et al., 2024; Wang et al. 2024). Dicha conexión puede facilitarse o restringirse por factores en el entorno que influyen sobre el desplazamiento e interacción humana (Fonseca et al., 2021; Mitropoulos et al., 2023; Yu et al., 2024), que definen estructuras y jerarquías para el uso de elementos, zonas y sectores del territorio urbano.

La presente investigación tiene como objetivo el análisis de la distribución espacial de la accesibilidad del EPU, para la detección y explicación de microvarianzas geoestadísticas a partir del lote urbano como Unidad Geoestadística Básica [UG], que identificar patrones y tendencias en el territorio urbano. Se propone una metodología que incluye indicadores de 1) la articulación socio-ambiental; 2) la calidad ambiental y; 3) la eficiencia espacial-morfológica del tejido urbano. Además, se incluyen resultados de la evaluación física sobre cualidades de A) la accesibilidad y seguridad peatonal; B) la calidad perceptual-sensorial del entorno y; C) la vitalidad urbana, para el cálculo del Índice de Accesibilidad del Espacio Público Urbano [IAEP en adelante] y un factor de ajuste [IAAEP] que pondera la evaluación cualitativa y la proximidad al EPU.

El análisis se aplicó en la zona urbana de Comala, localidad del estado Colima, ubicado al norte de México bajo la hipótesis de una potencial heterogeneidad espacial en la accesibilidad del EPU. Los resultados destacan los principales factores que influyen sobre la accesibilidad y el IAAEP, así como la influencia

del Espacio Público (jardines, parques, plazas) para generar núcleos articulados de interacción e integración urbana. Al ser la primera investigación geoestadística sobre Comala, el trabajo provee avances sustanciales en los estudios destinados a garantizar la equidad distributiva en la calidad y accesibilidad del EPU, que desarrolla principios metodológicos ampliamente replicables.

## II. MARCO TEÓRICO

Los principios de la accesibilidad definidos por Hansen (1957), se plantean como la conjunción localizada de dos dimensiones fundamentales para el desplazamiento e interacción humana:

- I. Las motivaciones [puntos de interés, equipamientos, centros habitacionales o laborales]
- II. Las facilidades [confort psicofísico, condicionantes ambientales para la eficiencia de traslados]

En ese sentido, los estudios contemporáneos de la accesibilidad abordan la integración entre elementos del entorno urbano, partiendo de parámetros relativos a: 1) la proximidad espacial entre puntos, zonas y sectores y; 2) la habilitación físico-espacial, funcional y perceptual del ambiente para la promoción de su utilización.

En cuanto a la articulación espacial basada en la proximidad, los estudios de las «ciudades de 15 minutos» refieren a la satisfacción integral de necesidades dentro de distancias máximas de influencia, definidas por la priorización de modalidades peatonales de desplazamiento; ello, brinda una «escala humana» a ciudades de cualquier dimensión y localización, para la detección de núcleos consolidados con altos índices de vitalidad, conectividad e integración (Sdoukopoulos et al., 2024; Wang et al., 2024), o, en sus índices más bajos, de la posible presencia de sectores desvinculados, marginados y vulnerados dentro de los territorios.

La definición de parámetros que fomentan el desplazamiento y la interacción humana como indicadores de la accesibilidad, se han abordado a partir de micro-varianzas sobre elementos urbanos (tramos viales, áreas y/o sectores), que determinan preferencias, frecuencias e intensidades de uso del EPU (Fonseca et al., 2021). En ello, destacan aspectos relacionados con el confort sensorial o perceptual del entorno (Jin y Kim, 2024), el valor simbólico e histórico del entorno (Bernabeu-Bautista et al., 2023; Clarke et al., 2023), así como índices que definen la conectividad y eficiencia de la red vial (Van Nes, 2021, Schön et al., 2025; Yu et al., 2024), para identificar correlaciones entre factores que influyen sobre la interacción socio-ambiental, que definen jerarquías y tipologías en el territorio urbano.

El espacio público urbano se refiere al espacio físico donde se desarrollan las actividades y dinámicas que definen la vida en las

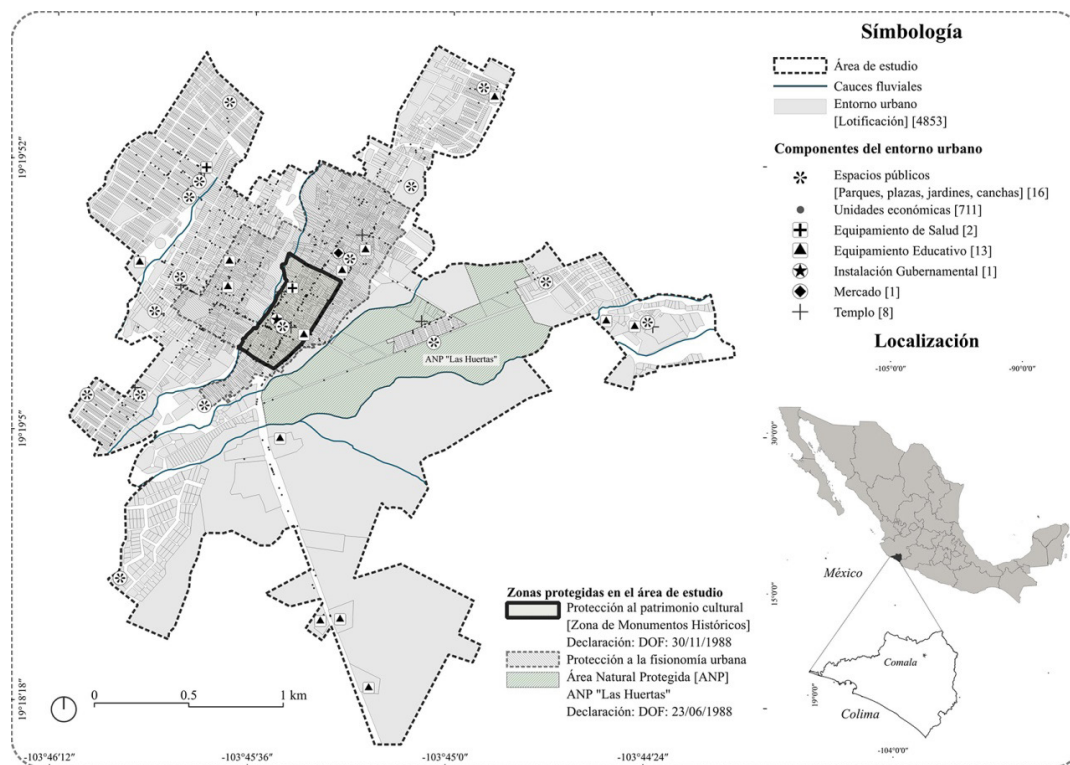


Figura 1: Área de estudio: Comala, Colima, México. Fuente: Elaboración de los Autores.

ciudades, la identidad de sus poblaciones y la apropiación de sus territorios (Vazquez et al., 2024). La buena gestión del espacio público como un subsistema urbano articulado y funcional, mejora la cohesión socioambiental y la salud psicofísica de los pobladores/usuarios, al ser fundamental para aumentar habitabilidad, vitalidad y resiliencia de las ciudades (Clarke et al., 2023; Gehl, 2004; SEDATU, 2019). Consecuentemente, la eficiencia distributiva, accesibilidad y la calidad del EPU son indicadores cruciales para la funcionalidad e integridad de los sistemas urbanos.

Para abordar el EPU como un sistema espacial articulado, es necesario establecer dos grandes grupos: 1) el equipamiento urbano y las instalaciones formales de uso público (parques, plazas, jardines, instalaciones deportivas) y 2) la red vial que interconecta el territorio urbano. Ambos son necesariamente interdependientes en la generación de flujos y dinámicas en la cotidianidad social (Fonseca et al., 2021; Gehl, 2004; Sevtsuk, 2020). Su conjunción efectiva permite identificar patrones de interacción e integración urbana, al reconocerlo como un fenómeno espacial continuo cuyo

análisis considera factores que promueven o inhiben el uso y aprovechamiento del EPU.

La investigación propone un método para integrar ambos componentes del EPU y analizar su influencia en la accesibilidad del territorio urbano, que incorpora indicadores que definen el grado de articulación funcional, así como factores de ajuste relacionados con la proximidad y la calidad del EPU.

### III. ESTUDIO DE CASO

Se tomó como área de estudio la cabecera municipal de Comala, Colima, con un total de 9169 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020), en 527.01 hectáreas (INEGI, 2023), localizada a 3.26 km al noreste de la conurbación Colima-Villa de Álvarez de 265770 habitantes. La Figura 1 muestra los componentes del entorno urbano, que considera la lotificación, así como la disposición espacial de puntos de interés que definen diversos usos y actividades. En el área de estudio, existen perímetros de protección sobre el Patrimonio Cultural en la Zona de Monumentos Históricos<sup>3</sup>, así como sobre el Área Natural Protegida [ANP] "Las Huertas"<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Decreto DOF (1988a): <https://sic.cultura.gob.mx/documentos/1844.pdf>

<sup>4</sup> Decreto DOF (1988b): <https://www.conanp.gob.mx/sig/decretos/aprn/Huertas.pdf>

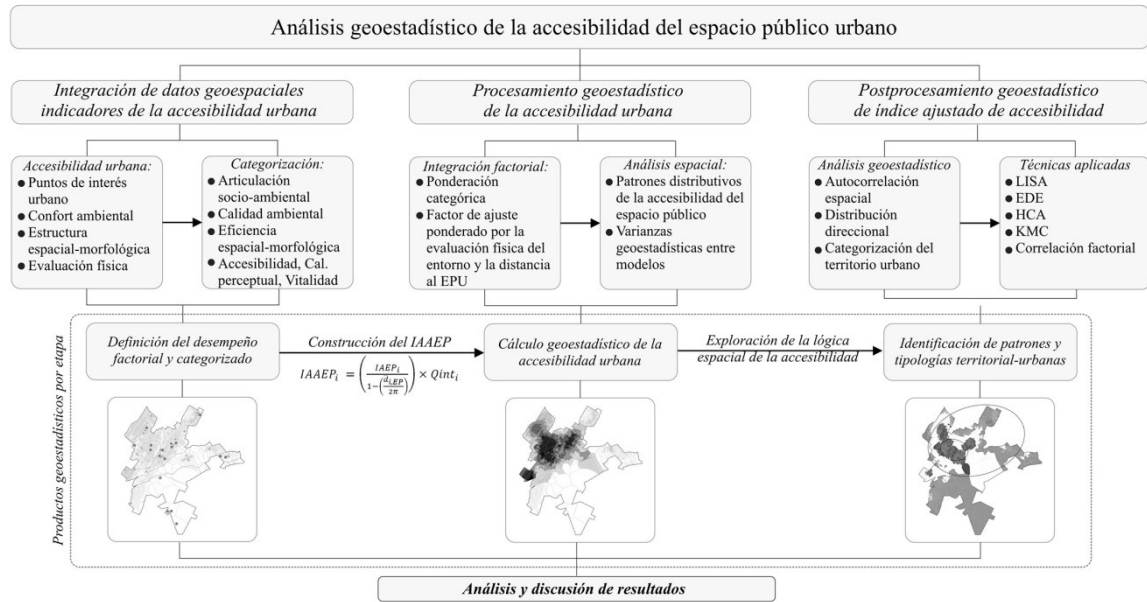


Figura 2: Esquema metodológico. Fuente: Elaboración de los Autores.

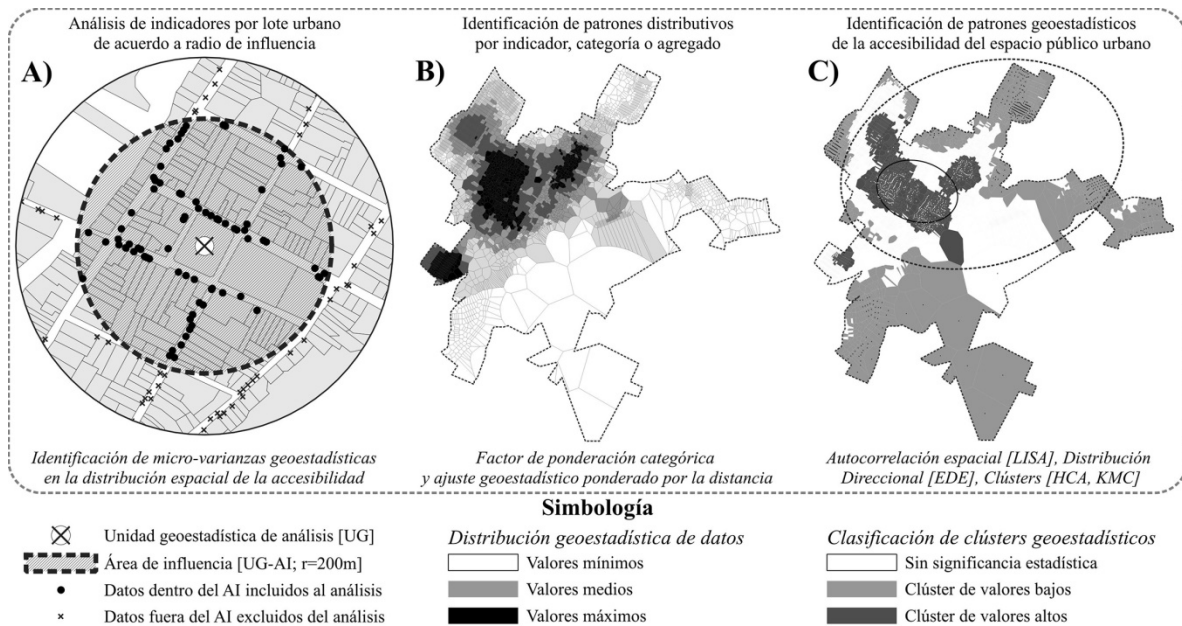


Figura 3: Principios para el análisis geoestadístico de la accesibilidad. Fuente: Elaboración de los Autores.



IV. METODOLOGÍA

La investigación se divide en tres etapas secuenciales: 1) integración y ponderación de indicadores de accesibilidad urbana; 2) procesamiento geoestadístico del Índice de Accesibilidad del Espacio Público Urbano (IAEP) y su versión ajustada (IAAEP); y 3) análisis de tipologías, tendencias y patrones espaciales urbanos mediante técnicas geoestadísticas. La Figura 2 muestra una síntesis gráfica de la metodología propuesta.

CONSTRUCCIÓN DEL IAEP

Los principios generales para el cálculo del IAEP parten del procesamiento geoestadístico de indicadores localizados que definen la accesibilidad del EPU, para la identificación de microvarianzas sobre el desempeño del territorio urbano. La Figura 3, se muestra el enfoque de análisis, en el que:

- A. Se considera el lote urbano como unidad geoestadística básica [UG] de análisis a micro-escala, con el objetivo de representar la estructura real de Comala en su unidad mínima. A cada UG se le otorgó un radio de influencia (200m), con el que se pondera el desempeño diferenciado de los indicadores.
- B. Se identifican patrones distributivos en la accesibilidad a micro-escala, sobre el sistema urbano (integración micro-macro).
- C. Se identifican tendencias espaciales y tipologías territorial-urbanas a nivel sistémico (macro) basadas en el desempeño localizado del IAEP-IAAEP.

El IAEP propuesto se compone de nueve indicadores en tres categorías: 1) Articulación socio-ambiental; 2) Calidad ambiental y; 3) Eficiencia espacial-morfológica. La Tabla 1 muestra su categorización, fuentes de datos y la ponderación asignada por categoría, de acuerdo a su frecuencia e importancia en los estudios de la accesibilidad urbana (Fonseca et al., 2021; Sdoukopoulos et al., 2024). Dichas variables, presentes dentro de los asentamientos humanos de cualquier escala, localización y grado de integración urbana (conurbación, etc.), constituyen el potencial localizado de interacción analizado en la presente investigación.

INDICADORES DE LA ARTICULACIÓN SOCIO-AMBIENTAL

Correlacionados con la vitalidad urbana, los indicadores de la densidad poblacional, conectividad comercial y conectividad institucional, representan la vinculación espacial entre centros de población, trabajo, recreación y comercio en los asentamientos humanos. Sus datos, en el contexto mexicano, se recuperan del MGN (INEGI, 2023), el DENU (INEGI, 2024) y el Censo de Población y vivienda (INEGI, 2020).

INDICADORES DE LA CALIDAD AMBIENTAL

Indicativos de la facilidad y confort del desplazamiento humano, los indicadores de la calidad térmica, densidad arbórea (NDVI)

Categoría		Variable	Fuente de datos
Nombre	Ponderación (f)		
Socio-Ambientales (S)	1.00	S1. Densidad poblacional	Censo de Población y Vivienda 2020 [CPV] (INEGI, 2020)
		S2. Conectividad comercial	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas [DENU] (INEGI, 2024)
		S3. Conectividad institucional	Marco Geoestadístico Nacional [MGN] (INEGI 2023)
Calidad ambiental (A)	0.75	A1. Calidad térmica	LANDSAT-8 (USGS, 2024) [Bandas 4 y 5]
		A2. Densidad arbórea	LANDSAT-8 (USGS, 2024) [Banda 10]
		A3. Pendiente	Modelo de Elevación Digital (DEM) de INEGI (2019)
Eficiencia espacial-morfológica (E)	0.50	E1. Centralidad	Calculados con sDNA (Cooper y Chiaradia, 2020), con base en datos vectoriales del tejido vial del MGN (INEGI, 2023)
		E2. Intermediación	
		E3. Vínculos	

Tabla 1: Categorías, indicadores y fuentes de información para la accesibilidad del espacio público urbano. Fuente: Elaboración de los autores.

y pendiente, definen el grado diferenciado de habitación físico-espacial del entorno urbano para la interacción y el desplazamiento humano. Su obtención deriva de datos ráster recuperados de Landsat-8-9-L2 (USGS, 2024) y de modelos de elevación digital (DEM) de INEGI (2019), cuyos cálculos se definen en las Ecuación 1 y Ecuación 2:

$$NDVI = \frac{(B5 - B4)}{(B5 + B4)} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$Temperatura_c = ((B10(0.003418)) + 149) - 273.15 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde:

B4: Banda 4 Landsat-8-9-L2 (Rojo)

B5: Banda 5 Landsat-8-9-L2 (Infrarrojo cercano)

B10: Banda 10 Landsat-8-9-L2 (Infrarrojo térmico)

#### INDICADORES DE LA EFICIENCIA ESPACIAL-MORFOLÓGICA

Emanados de la teoría de grafos, los indicadores de la centralidad, intermediación (frecuencia en la que un vector es ruta más corta) y densidad de vínculos, son indicadores a micro-escala que definen el alcance y la jerarquía y la interacción potencial de cada componente dentro de una red espacial. Para su cálculo, se utilizaron las operaciones de *Street Design Network Analysis* (sDNA) (Cooper, 2021; Cooper y Chiaradia, 2020), se tomaron los 524 tramos viales del área de estudio para su cálculo, con una distancia radial de entrada de 400 metros, cuyos cálculos se definen en las Ecuación 3, Ecuación 4 y Ecuación 5:

$$Centralidad = \frac{\sum_{y \in R_z} d_M(x, y) W(y) P(y)}{\sum_{y \in R_z} W(y) P(y)} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$Intermediación = \sum_{y \in N} \sum_{z \in R} W(y) W(z) P(z) OD(y, z, x) \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$Vínculos = \sum_{y \in R_x} P(y) \quad (\text{Ecuación 5})$$

Dónde:

$d_M(x, y)$ : Distancia métrica entre dos vectores x, y.

P: Nodos efectivos.

N. Número total de vectores.

R: Radio de cálculo.

V: Número total de nodos.

W: Ponderación vectorial.

#### PONDERACIÓN GEOESTADÍSTICA: CÁLCULO DEL IAEF-IAAEP

El procesamiento de los datos para cada unidad geoestadística se realizó a partir del centroide de cada lote urbano, con un área de influencia de 200 metros, con la que se calculó el desempeño sobre los indicadores del IAEF. La Ecuación 6 define su cálculo.

$$DI_i = \sum_{U \in A(c; r)_i} V_{U,i} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Dónde:

$DI_i$ : Desempeño del indicador I sobre la UG i

$U \in A(c; r)_i$ : Unidades (puntos/polígonos/píxeles) dentro del área A con un centro c y radio r.

$V_{U,i}$ : Valor de las unidades U sobre el indicador I.

La integración del IAEF resultó del promedio localizado de los indicadores, según el factor de ajuste descrito en la Tabla 1, al considerar valores normalizados [0-1], obtenidos a partir de los valores máximos y mínimos observados sobre cada variable, para su integración estadística. La Ecuación 7 define su cálculo.

$$IAEP_i = \frac{f\bar{S}_i + f\bar{A}_i + f\bar{E}_i}{3} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Dónde:

f: Factor de ajuste.

$S_i, A_i, E_i$ . Valor promedio por categoría.

#### EVALUACIÓN PERCEPTUAL/SUBJETIVA DEL TEJIDO URBANO

Como factor ponderado para la accesibilidad vial, se realizó un recorrido exploratorio sobre los 524 tramos viales del área de estudio, se evaluó en una escala de 1 (mínimo) a 5 (máximo): 1) La accesibilidad y seguridad peatonal; 2) La calidad perceptual y sensorial y; 3) La vitalidad urbana. Los recorridos se realizaron en los meses de octubre y noviembre de 2024, en horarios homologados entre las 10:00 y 14:00 horas. Los datos recopilados se acoplaron con la base vectorial vial para su procesamiento geoestadístico (Tabla 2).

Variable	Descripción
Q1. Accesibilidad y seguridad peatonal	Habilitación física para el desplazamiento peatonal, seguridad ambiental y vigilancia activa del entorno transformado.
Q2. Calidad perceptual/sensorial	Calidad paisajística y de la imagen urbana; claridad e intuición del entorno transformado; confort higrotérmico.
Q3. Vitalidad urbana	Diversidad de actividades en el sitio; intensidad y continuidad de flujos peatonales.

**Tabla 2:** Descripción de indicadores de la evaluación perceptual/subjetiva del tejido urbano. Fuente: Elaboración de los Autores.

#### INTEGRACIÓN Y CÁLCULO DEL IAAEP

Finalmente, el cálculo del IAAEP, se realizó mediante la ponderación de la distancia normalizada respecto al espacio público formal y la integración de indicadores cualitativos [Q1:Q3], como factores geoestadísticos de ajuste sobre el IAEF. La Ecuación 8 y Ecuación 9 definen su cálculo.

$$Qint_i = \frac{Q1+Q2+Q3}{3} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$IAAEP_i = \left( \frac{IAEP_i}{1 - \left( \frac{IAEP_i}{5} \right)} \right) \times Qint_i \quad (\text{Ecuación 9})$$

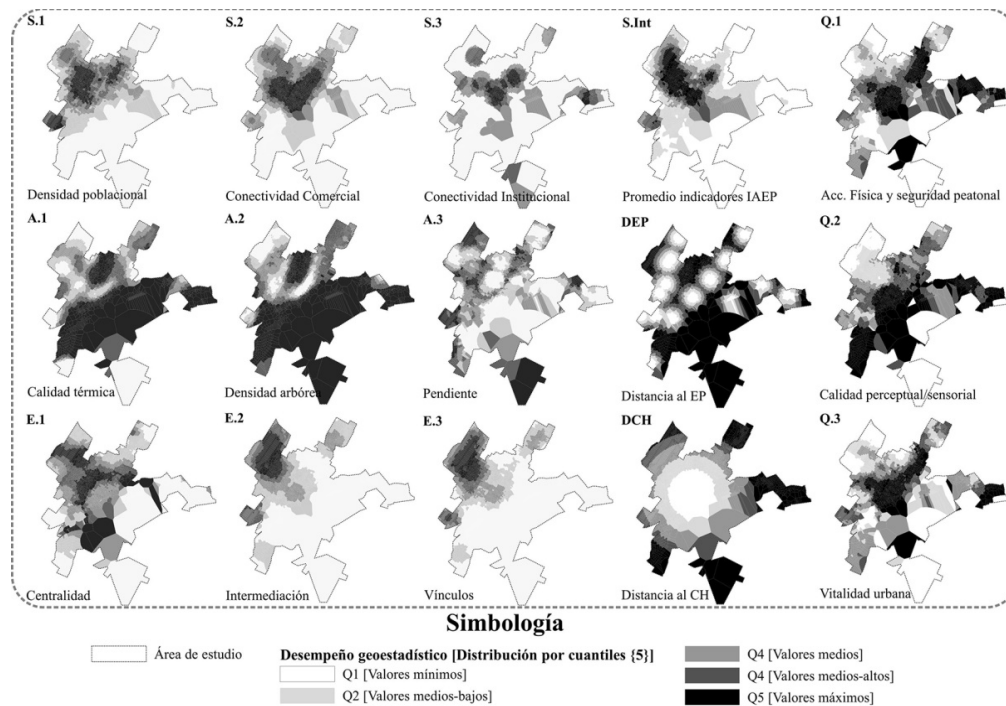


Figura 4: Distribución geoestadística: indicadores de la IAEP-IAAEP. Fuente: Elaboración de los Autores.

$Q_{int_i}$ : Promedio de indicadores perceptuales/subjetivos.

$d_{i,EP}$ : Distancia promedio (normalizada) al espacio público más cercano.

## ANÁLISIS GEOESPACIAL Y GEOESTADÍSTICO DE RESULTADOS

Para la identificación de patrones de aglomeración espacial en los valores máximos y mínimos, se utilizó el análisis LISA (Anselin, 1995) en GeoDa v. 1.22.0.4 (Anselin et al., 2005); mediante la I Local de Moran, fueron detectados clústers espaciales según la tendencia de valores observados: Alto-Alto [A-A], Bajo-Alto/Alto-Bajo [B-A;A-B], Bajo-Bajo [B-B] y Sin Significancia [SS], definida en la Ecuación 10.

$$I_i = \frac{\sum_j \sum_j w_{ij} z_i z_j}{\sum_i z_i^2} = z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j \quad (\text{Ecuación 10})$$

Dónde:

$I_i$ : I local de Moran en la UG i.

$w_{ij}$ : Matriz de relación espacial entre las UG i, j.

$z_{ij}$ : Valores numéricos observados en las UG i, j.

Para la definición de la extensión espacial y direccionamiento de los extremos geoestadísticos [10% más alto y más bajo de los registros observados], se utilizó el Elipse de Desviación Estándar (EDE) (Tveite, 2016; Yuill, 1971), definido en la Ecuación 11, Ecuación 12, Ecuación 13, Ecuación 14.

$$EDE(centro)_{i(x,y)} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$EDE(Rotación\ angular)_i(\tan\theta) = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i^2 w_i - \sum_{i=1}^n y_i^2 w_i) + \sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 w_i - \sum_{i=1}^n y_i^2 w_i)^2 + 4(\sum_{i=1}^n x_i y_i w_i)}}{2 \sum_{i=1}^n x_i y_i w_i} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$EDE(Desv.\ estándar)_{i(\delta x,y)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cos\theta - y_i \sin\theta)^2 w_i}{n \times w_i}}, \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i \cos\theta - x_i \sin\theta)^2 w_i}{n \times w_i}} \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$EDE(Excentricidad)_i = \frac{c_i}{a_i} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Dónde:

$EDE_i$ : Elipse de Desviación Estándar i definido por el conjunto n de puntos (x, y).

$x_i, y_i$ : Coordenadas del centroide la UG i.

$w_i$ : Ponderación (variable) de la UG i.

$c_i$ : Distancia focal.

$a_i$ : Distancia eje mayor.

Finalmente, se identificaron tipologías territorial-urbanas, representativas de zonas/sectores funcionalmente diferenciados dentro del área de estudio, definidas por la similitud geoestadística entre unidades espaciales (UG) según su



Variable	Min	Max	Promedio	Mediana	1Q	3Q
Densidad poblacional (hab.)	0.00	1764.00	687.45	725.00	363.00	973.00
Conectividad comercial (#UE)	0.00	129.00	30.42	24.00	8.00	43.00
Conectividad institucional (#Inst.)	0.00	5.00	0.83	0.00	0.00	1.00
Temperatura promedio (°C)	33.53	42.18	39.17	39.44	38.88	39.85
Densidad arbórea (NDVI)	0.12	0.30	0.16	0.16	0.15	0.17
Varianza de altitud (m)	12.38	49.52	30.12	30.47	25.58	34.79
Centralidad A(c;r400m)	0.00	310.25	245.95	252.42	235.76	262.36
Intermediación A(c;r400m)	0.00	278.33	122.67	119.15	74.22	166.83
Vínculos A(c;r400m)	0.00	3602.00	1255.07	1091.00	622.00	1842.00
Distancia al Espacio Público [DEP] (m)	12.09	1536.01	209.45	199.94	127.80	274.68
Distancia al Centro Histórico [DCH] (m)	10.59	2278.23	886.68	922.79	551.16	1162.64
Accesibilidad y seguridad peatonal	1.53	4.16	2.88	2.84	2.64	3.14
Calidad perceptual y sensorial	2.16	4.25	2.83	2.84	2.54	3.00
Vitalidad urbana	1.60	4.25	2.67	2.66	2.41	2.90
Promedio variables de accesibilidad [	0.12	0.61	0.39	0.39	0.32	0.45
Índice de Accesibilidad [IAEP]	0.00	0.45	0.27	0.27	0.21	0.32
Índice Ajustado de Accesibilidad [IAAEP]	0.00	0.45	0.25	0.24	0.19	0.30

Tabla 3: Síntesis estadística: indicadores de la accesibilidad del espacio público urbano. Fuente: Elaboración de los Autores.

desempeño sobre los indicadores del IAEP-IAAEP. Para ello, se utilizaron los análisis de clústers jerárquicos (HCA) y de K-medias (KMC) (Arthur y Vassilvitskii, 2007), implementado en GeoDa.

V. RESULTADOS

EVALUACIÓN GEOESPACIAL: INDICADORES DE LA ACCESIBILIDAD

La Figura 4 muestra la distribución geoestadística de los indicadores que conforman el IAEP-IAAEP por cuantiles (5), donde se muestra: 1) la centralización de los valores máximos de articulación socioambiental [S1-S3]; 2) la presencia de áreas con alto valor ambiental [A1-A3] en zonas con baja densidad edificada y 3) la mayor eficiencia morfológica [E1-E3] en el norponiente del área urbana.

En contraste a ello, existe una mayor varianza en la distribución espacial de núcleos con alta accesibilidad y seguridad para la circulación peatonal, calidad perceptual/sensorial y vitalidad urbana [Q1-Q3] (derivadas de las 1566 evaluaciones individuales) sobre espacio público vial, en que destacan los déficits localizados sobre áreas periféricas, aisladas y/o transicionales. La Tabla 3 muestra la síntesis estadística de los datos recopilados.

La Figura 5 muestra la distribución estadística de los indicadores normalizados. Destaca una marcada asimetría y la orientación

de valores atípicos. Las variables socioambientales [S2-S3] y ambientales [A1-A2], presentan un bajo desempeño prevalente, con valores atípicos positivos; inversamente, la centralidad [E1] y calidad perceptual [Q1-Q3] mantienen un alto desempeño, con valores atípicos negativos. El cálculo del IAEP-IAAEP derivó en un núcleo de valores atípicamente altos en torno al Centro Histórico.

PATRONES GEOESTADÍSTICOS SOBRE EL TERRITORIO URBANO

La Figura 6 muestra la comparativa en la distribución geoestadística de los indicadores agregados [S<sub>int</sub>-IAEP-IAAEP], y la definición de clústers LISA de autocorrelación espacial. Se registra una prevalencia geoespacial hacia la centralización de los valores máximos; sin embargo, al incorporar variables perceptuales/subjetivas en el cálculo del IAAEP, se registra una ruptura en la continuidad y extensión del clúster Alto-Alto [A-A]. En ello destaca la presencia de discontinuidades, y fracturas en la integridad urbano-territorial, y la presencia de áreas desvinculadas y marginadas del clúster Bajo-Bajo [B-B].

La Tabla 4 muestra la síntesis estadística de los clústers LISA, en que se registra la presencia de un 48.85% del territorio y 19.44% de la población en condición vulnerabilidad por su desvinculación funcional [IAAEP; B-B], así como un 25.03% de la población y 11.57% del territorio en núcleos altamente

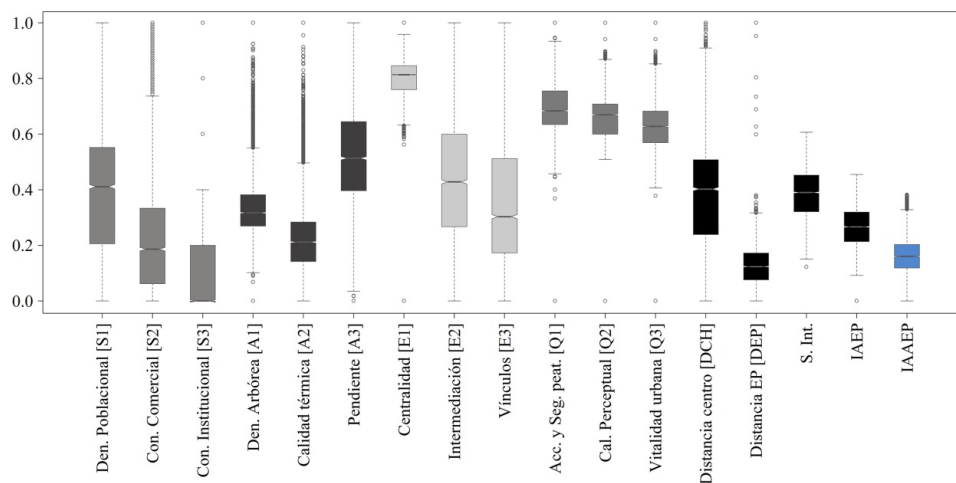


Figura 5: Distribución estadística: indicadores de la accesibilidad. Valores normalizados. Fuente: Elaboración de los Autores.

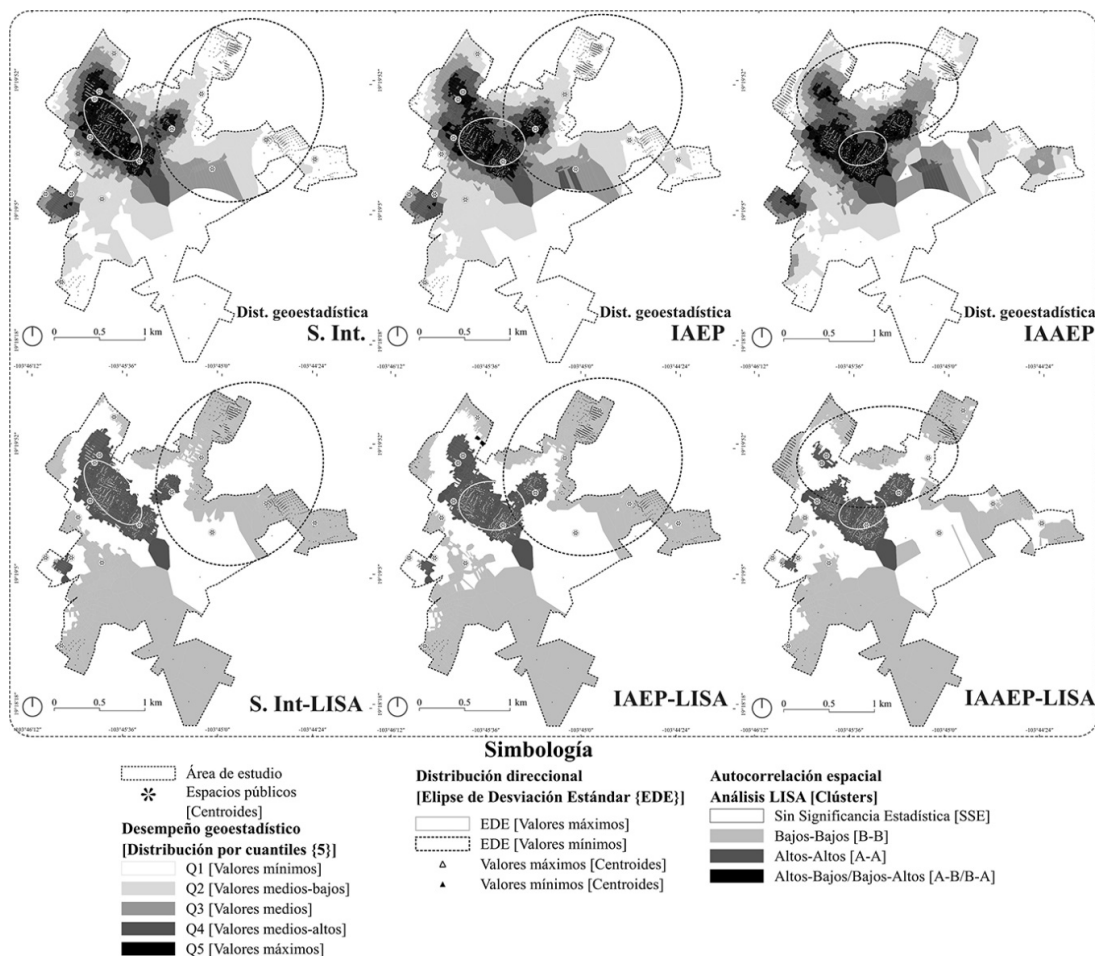


Figura 6: Distribución geoestadística; IAEP-IAAEP. Análisis LISA y distribución direccional [EDE]. Fuente: Elaboración de los Autores.

Categoría	Teselaciones geométricas [Polígonos de Voronoi]					Población cubierta	
	Tipología de clúster	(#)	(% AE)	Área (ha)	(% AE)	(hab. #)	(% hab. AE)
	Alto-Alto	1388	28.60%	73.37	13.92%	2863	31.22%
	Bajo-Bajo	1404	28.93%	286.95	54.46%	1915	20.89%
	Alto-Bajo/Bajo-Alto	0	0.00%	0.00	0.00%	0	0.00%
	No significativo	2061	42.47%	166.62	31.62%	4391	47.89%
IAEP	Alto-Alto	1295	26.68%	71.84	13.63%	3056	33.33%
	Bajo-Bajo	1472	30.33%	275.03	52.19%	1679	18.31%
	Alto-Bajo/Bajo-Alto	2	0.04%	0.41	0.08%	0	0.00%
	No significativo	2084	42.94%	179.67	34.10%	4434	48.36%
IAAEP	Alto-Alto	1035	21.33%	60.98	11.57%	2295	25.03%
	Bajo-Bajo	1561	32.17%	257.43	48.85%	1782	19.44%
	Alto-Bajo/Bajo-Alto	0	0.00%	0.00	0.00%	0	0.00%
	No significativo	2257	46.51%	208.53	39.57%	5092	55.53%

**Tabla 4:** Comparativa estadística; Clústers de autocorrelación espacial [LISA]. Fuente: Elaboración de los Autores.

Categoría	Valores	Centro	Área		Excentricidad	Rotación	Desviación Estándar	
		(°lat, °long)	(ha)	(% AE)	(#)	(°; N E)	(σmax)	(σmin)
S. Int.	Max	19.3262,-103.7610	27.89	5.29%	0.88	139.89	428.39	207.24
	Min	19.3283,-103.7477	290.15	55.06%	0.53	28.25	1042.91	885.63
IAEP	Max	19.3249,-103.7597	30.68	5.82%	0.68	94.80	365.55	267.19
	Min	19.3288,-103.7491	301.32	57.18%	0.43	47.12	1031.93	929.51
IAAEP	Max	19.3242,-103.7586	15.14	2.87%	0.68	106.72	404.38	296.05
	Min	19.3299,-103.7575	154.72	29.36%	0.79	82.70	893.28	551.35

**Tabla 5:** Comparativa estadística; trazos del Elipse de Desviación Estándar (EDE). Fuente: Elaboración de los Autores.

integrados [IAAEP; A-A]. Las varianzas entre  $S_{int}$ -IAAEP, comprueban la efectividad del índice para identificar patrones de integración territorial-urbana, así como sus límites efectivos.

La distribución direccional definida por los Elipses de Desviación Estándar [EDE] ilustrados en la Figura 6, se describen en la Tabla 5. Se observa una varianza geométrica signficante entre  $S_{int}$ -IAAEP, donde existe una focalización en torno al Centro Histórico de Comala, cubriendo únicamente el 2.87% del territorio urbano, y cuyo centro se encuentra trazado a 151.61 metros del Jardín Municipal.

La Figura 7 muestra una matriz de correlación (Pearson) entre los indicadores del IAAEP. En ella destacan las relaciones positivas ( $\rightarrow 1$ ), negativas ( $\rightarrow -1$ ) o nulas (0) entre pares de variables, de acuerdo a su Coeficiente de Correlación [CC]. Los mayores predictores geoestadísticos del IAAEP son la conectividad comercial [S2], la conectividad institucional [S3], la vitalidad urbana [Q2] y la proximidad al Centro Histórico [DEP] (CC: 0.91, 0.76, 0.75 y -0.73). La centralidad [E1] resulta el factor espacial-morfológico más relevante respecto al IAAEP [CC: 0.33], sin embargo, la intermediación y densidad de vínculos

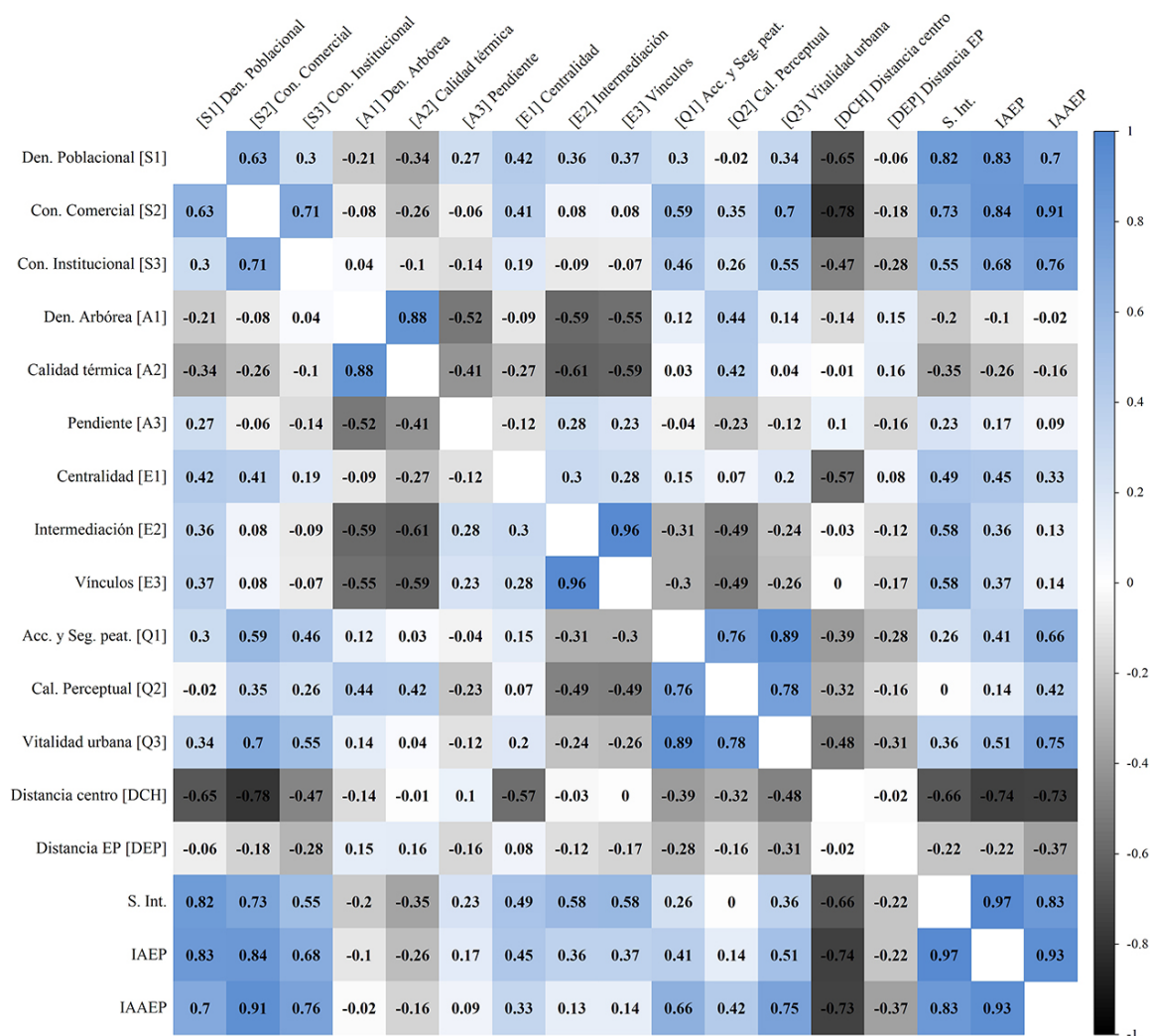


Figura 7: Correlación estadística [Pearson]; indicadores de la accesibilidad urbana. Fuente: Elaboración de los Autores.

[E2-E3], resultan predictores inversos (negativos) significantes con respecto a la calidad perceptual [Q1-Q3] debido a su focalización en zonas periféricas.

La Figura 8 muestra una comparativa entre el desempeño de los indicadores agregados [ $S_{int}$ -IAEP-IAAEP], con base al distanciamiento de cada UG a los espacios públicos formales (parques, jardines, etc.). En ella se demuestra su influencia positiva para generar núcleos integrados de accesibilidad, donde los valores con un desempeño geoestadístico por encima del tercer cuartil [3Q], se concentran a  $\leq 200$  metros, al registrar un CC de 0.32 [DEP-IAAEP] y -0.73 [DCH-IAAEP] correspondientemente.

Para la identificación de tipologías territorial-urbanas basadas en la similitud geoestadística sobre indicadores del IAEP-IAAEP, se utilizaron los clústers K-medias [KMC] y jerárquicos [HCA], optimizados en 10 clases que representan sectores funcionalmente diferenciados del área de estudio. La Tabla 6 y la Figura 9 muestran su distribución geoespacial, así como su desempeño medio integrado [IAAEP].

Los resultados muestran la clasificación funcional del territorio, en donde el Centro Histórico [KMC 1, 5; HCA 8] es la zona con los mayores valores del IAAEP, se evidencia una jerarquía territorial con tendencias hacia la centralización. Las observaciones

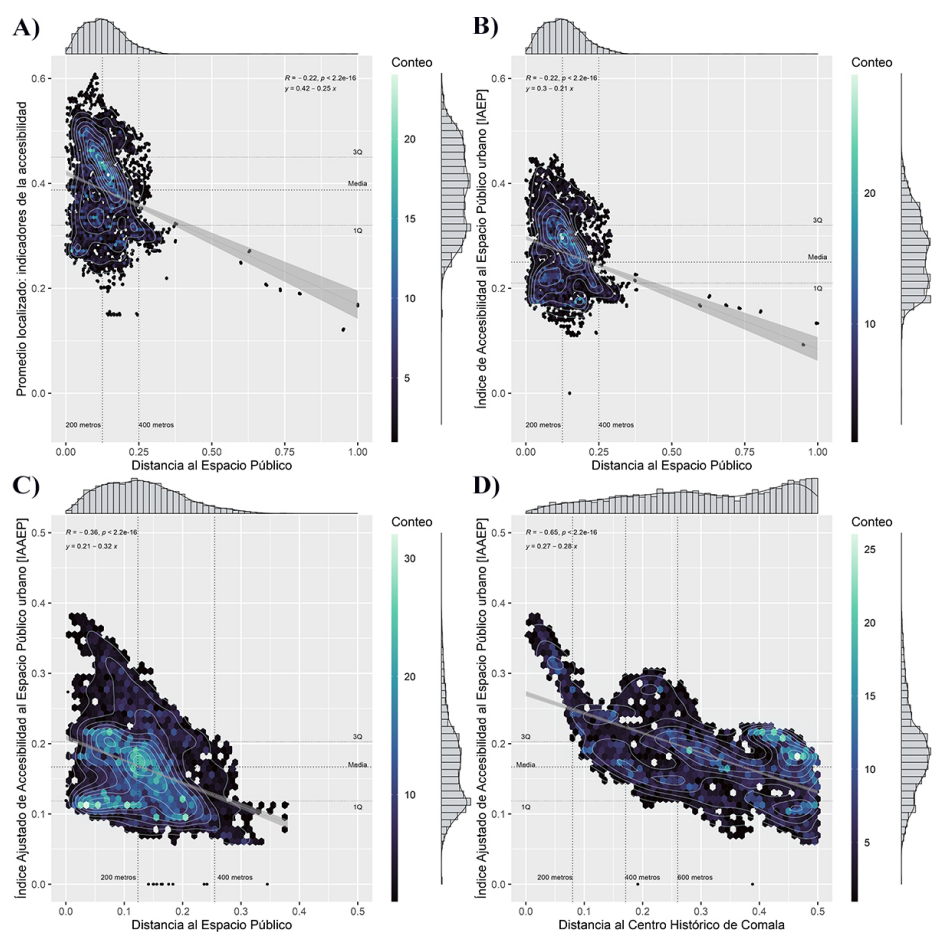


Figura 8: Comparativo estadístico [Mapeo de densidad 2d]. A: [DEP(x), S-Int(y)]; B: [DEP(x), IAE(y)]; B) B: [DEP(x), IAAEP(y)]; D: [DCH(x), IAAEP(y)]. Fuente: Elaboración de los Autores.

denotan que el KMC identificó subcategorías espaciales con una mayor precisión, en que destacan la determinación de áreas transicionales y periféricas con bajos índices de accesibilidad e integración territorial efectiva [KMC 4; HCA 1].

VI. DISCUSIONES

La diversidad en la estructura y distribución espacial de las ciudades pequeñas y medianas plantea desafíos relevantes para determinar patrones, núcleos y jerarquías de accesibilidad, especialmente en la identificación de microvarianzas que evidencian rupturas funcionales en el territorio urbano. La investigación demuestra la efectividad del método para la ponderación, procesamiento y análisis geoestadístico de datos cuantitativos de amplia disponibilidad, así como de información cuantitativa/subjetiva derivada de evaluaciones del sitio, lo que refuerza la integralidad metodológica desarrollada al considerar

KMC		HCA	
Clúster	IAAEP	Clúster	IAAEP
1	0.31	1	0.15
2	0.23	2	0.23
3	0.17	3	0.11
4	0.16	4	0.14
5	0.23	5	0.18
6	0.14	6	0.19
7	0.19	7	0.01
8	0.01	8	0.24
9	0.11	9	0.11
10	0.11	10	0.12

Tabla 6: IAAEP en clústers [KMC/HCA]. Fuente: Elaboración de los Autores.



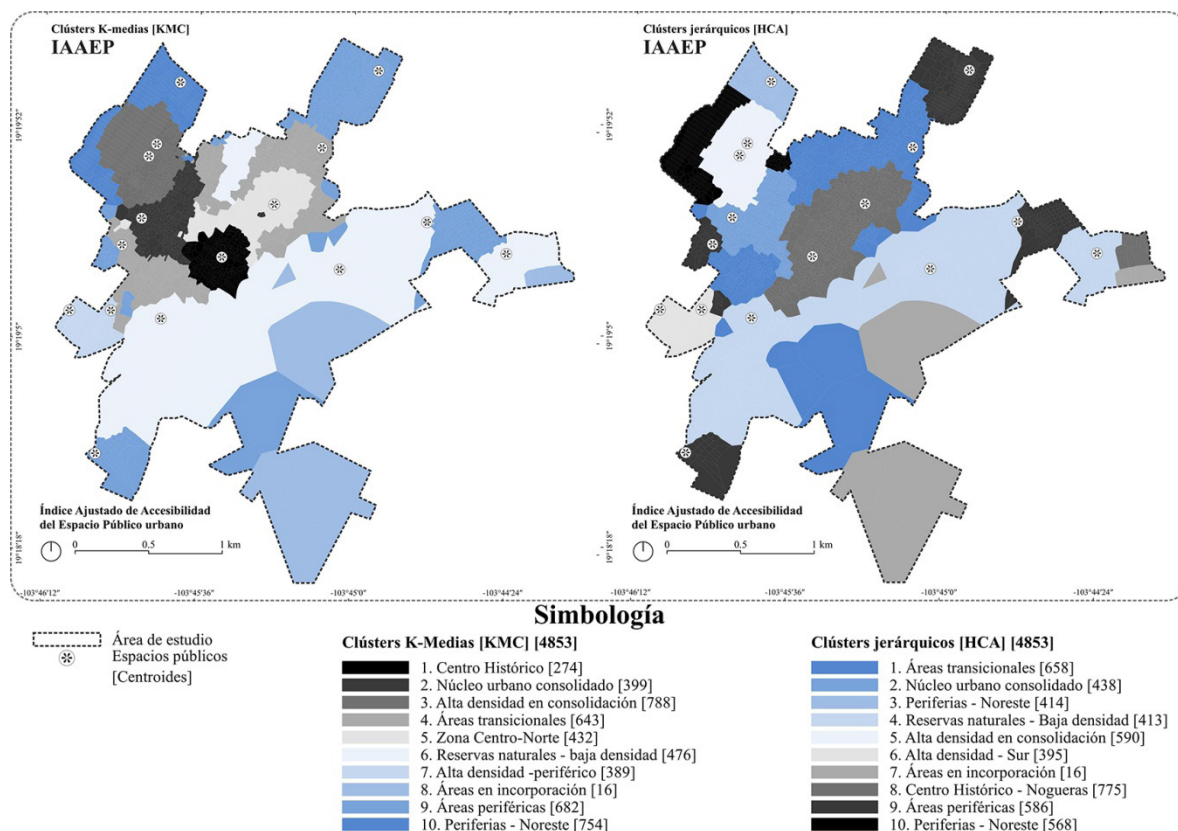


Figura 9: Clústers de K-medias (Izquierda) y Jerárquicos (derecha); indicadores del IAAEP-IAAEP. Fuente: Elaboración de los Autores.

el sistema urbano en su conjunto, e incorporar criterios que articulan los componentes del subsistema de espacios públicos como eje rector de la interacción humana.

En los resultados destaca una focalización de la accesibilidad, cuyo núcleo se encuentra en el Centro Histórico de Comala. Esto puede asociarse con la protección de su fisiología e imagen urbana, consideradas factores que resguardan el entorno. La relevancia de este fenómeno concuerda con lo planteado por Vazquez et al. (2024) y Clarke et al. (2023), quienes subrayan la importancia del valor simbólico, la significancia histórica y el grado de conservación de los Centros Históricos en México y en el mundo para su consolidación como núcleos de interacción. Asimismo, se determinó que el EPU ejerce una influencia espacial positiva en un radio  $\leq 200$  metros (Figura 8), que coincide con lo reportado por Bernabeu-Bautista et al. (2023).

La estructura distributiva de la accesibilidad presenta una correlación negativa con los patrones compactos de la red vial, asociados a sectores periféricos, transicionales y/o aislados de Comala (Figura 7). Esto coincide con los resultados de

Schön et al. (2025), quienes demostraron la debilidad de los indicadores espaciales-morfológicos en las ciudades pequeñas como factores que influyen en el uso del espacio público, en contraste con la diversidad comercial [S2-CC: 0.91] y la vitalidad urbana [Q3-CC: 0.75], identificadas como las variables con mayor correlación positiva. Esta relación configura un paralelismo entre los contextos urbanos de América Latina y Europa, respecto a la definición de núcleos consolidados de interacción social.

La identificación de la «lógica espacial» vinculada a la integración urbano-territorial promovida por el EPU resulta fundamental para reconocer patrones asociados a la protección o vulnerabilidad de las ciudades. Cada sistema urbano posee una estructura espacial subyacente que favorece la cohesión mediante la continuidad de los flujos peatonales, la vitalidad y la conectividad intraurbana (Hillier y Hanson, 2009; Jin y Kim, 2024; Yu et al., 2024). La incorporación de variables morfológicas [E1-E3] permite analizar la correlación entre las configuraciones espaciales y sus niveles específicos de accesibilidad integrada (IAAEP), que otorga estructura y coherencia al estudio de las tipologías territorial-urbanas (Figura 9).

Pese a tratarse de una localidad pequeña, los resultados muestran que solo el 25.03% de la población reside en núcleos consolidados con altos niveles de accesibilidad, con una distribución espacial heterogénea e irregular (Figura 6). Este valor contrasta con los registros del 89.8% reportado por Sdoukopoulos et al. (2024) y del 78.45% por Wang et al. (2024), correspondientes a zonas altamente articuladas en ciudades densificadas, con radios de cálculo de  $\leq 600$  y  $\leq 1080$  metros, respectivamente. Estos resultados evidencian la necesidad de considerar la posible desigualdad espacial incluso en ciudades pequeñas, así como la efectividad de la metodología propuesta para identificar microvarianzas geoestadísticas.

En términos comparativos, la metodología propuesta retoma indicadores (Clarke et al., 2023; Fonseca et al., 2021; Mitropoulos et al., 2023) y criterios metodológicos (Jin y Kim, 2024; Schön et al., 2025; Sdoukopoulos et al., 2024) de estudios urbanos contemporáneos, que plantea un modelo con alta replicabilidad y precisión para el cálculo geoestadístico de la accesibilidad urbana, capaz de integrar datos de diversas fuentes y formatos en un índice sintético. No obstante, una de sus principales limitaciones es la escalabilidad, ya que el número de tramos viales en ciudades de mayor extensión puede prolongar o dificultar las evaluaciones cualitativas de la red. Futuras líneas de investigación podrían considerar el uso de métodos y herramientas para el análisis masivo y automatizado de imágenes viales (provenientes de Street View o capturas propias), lo que permitiría ampliar la replicabilidad metodológica.

## VII. CONCLUSIONES

Esta investigación desarrolló una metodología para calcular la distribución geoestadística de la accesibilidad del Espacio Público Urbano, se identificó la influencia específica de diversos factores en la consolidación de núcleos de interacción e integración urbana. Conforme a la hipótesis inicial, se observó una distribución espacial heterogénea y discontinua de la accesibilidad, con una marcada tendencia a la centralización en el Centro Histórico de Comala, además de la definición de tipologías territoriales basadas en su desempeño integral. En estas tipologías destaca la presencia de zonas vulneradas por su aislamiento funcional, caracterizadas por su condición transicional, periférica o marginada, lo que reafirma la necesidad de atender las problemáticas vinculadas con la desigualdad espacial, derivada tanto de la ineficiencia distributiva del EPU como de las deficiencias estructurales en la planificación territorial-urbana, así como de formular estrategias para su mitigación. La investigación contribuye al conocimiento de la accesibilidad del espacio público como indicador clave de la integración urbana, al ilustrar criterios técnicos y analíticos para su evaluación.

Finalmente, se destaca la necesidad de una planificación urbano-territorial basada en la articulación funcional del Espacio Público,

que reconoce su influencia e importancia para generar nodos de interacción humana que definen las actividades cotidianas y las dinámicas de apropiación en los entornos urbanos.

## VIII. CONTRIBUCIÓN DE AUTORES CRediT:

Conceptualización, I.F.M., P.C.A. y A.C.M.; Curación de datos, I.F.M., P.C.A. y A.C.M.; Análisis formal, I.F.M. y P.C.A.; Adquisición de financiación, I.F.M.; Investigación, I.F.M., P.C.A., A.C.M. y J.A.G.V.; Metodología, I.F.M.; Administración de proyecto, I.F.M., P.C.A., A.C.M. y J.A.G.V.; Recursos, I.F.M. y A.C.M.; Software, I.F.M. y P.C.A.; Supervisión, I.F.M. y J.A.G.V.; Validación, I.F.M., P.C.A., A.C.M. y J.A.G.V.; Visualización, I.F.M., P.C.A. y J.A.G.V.; Escritura – borrador original, I.F.M.; Escritura – revisión y edición, I.F.M., P.C.A., A.C.M. y J.A.G.V.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93-115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- Anselin, L., Syabri, I., y Kho, Y. (2005). GeoDa : An Introduction to Spatial Data Analysis. *Geographical Analysis*, 38(1), 5-22. <https://doi.org/10.1111/j.0016-7363.2005.00671.x>
- Arthur, D., y Vassilvitskii, S. (2007). K-means++: The advantages of careful seeding in *Proceedings of the 18th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms* (pp. 1027-1035). Society for Industrial and Applied Mathematics. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1283383.1283494>
- Bernabeu-Bautista, Á., Serrano-Estrada, L., y Martí, P. (2023). The role of successful public spaces in historic centres. Insights from social media data. *Cities*, 137, 104337. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104337>
- Clarke, M., Cadaval, S., Wallace, C., Anderson, E., Egerer, M., Dinkins, L., y Platero, R. (2023). Factors that enhance or hinder social cohesion in urban greenspaces: A literature review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 84, 127936. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127936>
- Cooper, C. (2021). *Spatial Design Network Analysis [sDNA] Open version 4.2 Manual*. Cardiff University. [https://sdna-open.readthedocs.io/\\_/downloads/en/latest/pdf/](https://sdna-open.readthedocs.io/_/downloads/en/latest/pdf/)
- Cooper, C. H. V., y Chiaradia, A. J. F. (2020). sDNA: 3-d spatial network analysis for GIS, CAD, Command Line y Python. *SoftwareX*, 12, 100525. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100525>
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (30 de noviembre de 1988a). *DECRETO por el que se declara una zona de monumentos históricos en la población de Comala, Estado de Colima, con el perímetro, características y condiciones a que se refiere este Decreto*. México. <https://sic.cultura.gob.mx/documentos/1844.pdf>
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (23 de junio de 1988b). *DECRETO por el que se dispone que por causa de utilidad pública se establece como área de protección de recursos naturales, la zona conocida como Las Huertas*. México. <https://www.conanp.gob.mx/sig/decretos/aprn/Huertas.pdf>
- Fonseca, F., Ribeiro, P. J. G., Conticelli, E., Jabbari, M., Papageorgiou, G., Tondelli, S., y Ramos, R. A. R. (2021). Built environment attributes and their influence on walkability. *International Journal of Sustainable Transportation*, 16(7), 660-679. <https://doi.org/10.1080/15568318.2021.1914793>

Gehl, J. (2004). *Life between buildings: Using Public Space*. The Danish Architectural Press. [https://cus.ubt-uni.net/wp-content/uploads/2024/11/Jan-Gehl-Life-Between-Buildings\\_-Using-Public-Space-2011-Island-Press.pdf](https://cus.ubt-uni.net/wp-content/uploads/2024/11/Jan-Gehl-Life-Between-Buildings_-Using-Public-Space-2011-Island-Press.pdf)

Hansen, W. G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal Of The American Institute Of Planners*, 25(2), 73-76. <https://doi.org/10.1080/01944365908978307>

Hillier, B., y Hanson, J. (2009). *The Social Logic of Space*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511597237>

Houlden, V., De Albuquerque, J. P., Welch, S., y Jarvis, S. (2019). A spatial analysis of proximate greenspace and mental wellbeing in London. *Applied Geography*, 109, 102036. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.102036>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (30 de abril de 2019). *Relieve continental. Modelo digital de elevación tipo superficie con 5m de resolución derivado de datos de sensores remotos satelitales y aerotransportados (E13B34f3, E13B34f1)*. [Conjunto de datos]. <https://www.inegi.org.mx/temas/relieve/continental/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (25 de enero de 2020). *Subsistema de Información Demográfica y Social. Censo de Población y Vivienda 2020 (06\_Colima)*. [Conjunto de datos]. [https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#datos\\_abiertos](https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#datos_abiertos)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (1 de diciembre de 2023). *Geografía y Medio Ambiente. Marco Geoestadístico Nacional [MGN] (06\_Colima)*. [Conjunto de datos]. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=794551067314>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (26 de noviembre de 2024). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas 2024 (DENUE) (06\_Colima)*. [Conjunto de datos]. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/masiva/denue/denue\\_06\\_shp.zip](https://www.inegi.org.mx/contenidos/masiva/denue/denue_06_shp.zip)

Jin, S., y Kim, E. J. (2024). Correlation of the Walk Score and Environmental Perceptions with Perceived Neighborhood Walkability: The Quantile Regression Model Approach. *Sustainability*, 16(16), 7074. <https://doi.org/10.3390/su16167074>

Mitropoulos, L., Karolemeas, C., Tsigdinos, S., Vassi, A., y Bakogiannis, E. (2023). A composite index for assessing accessibility in urban areas: A case study in Central Athens, Greece. *Journal Of Transport Geography*, 108, 103566. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103566>

ONU-HÁBITAT (2020). Nueva Agenda Urbana Ilustrada. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos [ONU-HÁBITAT]. <https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/10/nueva-agenda-urbana-ilustrada.pdf>

Sdoukopoulos, A., Papadopoulos, E., Verani, E., y Politis, I. (2024). Putting theory into practice: A novel methodological framework for assessing cities' compliance with the 15-min city concept. *Journal of Transport Geography*, 114, 103771. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103771>

Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano [SEDATU]. (2019). *Programa Nacional de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano 2019-2024*. Gobierno de México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/643102/PNOTDU\\_VERSION\\_FINAL\\_28.05.2021-comprimido.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/643102/PNOTDU_VERSION_FINAL_28.05.2021-comprimido.pdf)

Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano [SEDATU] y Consejo Nacional De Población [CONAPO]. (2024). *Sistema Urbano Nacional 2020-2*. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/951560/SUN\\_2020\\_Parte2.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/951560/SUN_2020_Parte2.pdf)

Sevtsuk, A. (2020). *Street Commerce: Creating Vibrant Urban Sidewalks*. University of Pennsylvania Press.

Schön, P., Heinen, E., y Manum, B. (2025). The Associations of Street Network and Urban Form with Walking Frequencies. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 25(1), 107-132. <https://doi.org/10.59490/ejtr.2025.25.1.7234>

Tveite, H. (2016). *Standard Deviation Ellipse Plugin*. QGIS. <http://plugins.qgis.org/plugins/SEllipse/>

United States Geological Survey [USGS]. (3 de abril de 2024). Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2. *Imagen Satelital Multibanda LC08\_L2SP\_029047\_20240304\_20240315\_02\_T con 30m de resolución*. [Conjunto de datos]. [https://earthexplorer.usgs.gov/download/options/landsat\\_ot\\_c2\\_l2/LC80290472024064LGN00/](https://earthexplorer.usgs.gov/download/options/landsat_ot_c2_l2/LC80290472024064LGN00/)

Van Nes, A. (2021). Spatial Configurations and Walkability Potentials. Measuring Urban Compactness with Space Syntax. *Sustainability*, 13(11), 5785. <https://doi.org/10.3390/su13115785>

Vazquez, S. A., Madureira, A. M., Ostermann, F. O., y Pfeffer, K. (2024). Challenges and opportunities of public space management in Mexico. *Cities*, 146, 104743. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104743>

Wang, X., Ouyang, L., Lin, J., An, P., Wang, W., Liu, L., y Wu, L. (2023). Spatial Patterns of Urban Green-Blue Spaces and Residents' Well-Being: The Mediating Effect of Neighborhood Social Cohesion. *Land*, 12(7), 1454. <https://doi.org/10.3390/land12071454>

Wang, J., Kwan, M.-P., Xiu, G., y Deng, F. (2024). A robust method for evaluating the potentials of 15-minute cities: Implications for sustainable urban futures. *Geography And Sustainability*, 5(4), 597-606. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2024.07.004>

Yu, C., Wang, X., Zheng, Z., & Lau, S. S. Y. (2024). How Do Urban Environments Impact Walkability? An Analysis Using Multi-Source Data of Beijing. *Land*, 13(12), 2101. <https://doi.org/10.3390/land13122101>

Yuill, R. S. (1971). The Standard Deviation Ellipse; An Updated Tool for Spatial Description. *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography*, 53(1), 28-39. <https://doi.org/10.2307/490885>

## X. AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por su apoyo financiero mediante el Programa Nacional de Becas para Estudios de Posgrado otorgado a Isaac Fariás-Moreno (No. 4011850). Al Equipo Editorial de la Revista Urbano y a los revisores, por sus observaciones, sugerencias y comentarios, que enriquecieron la presente investigación.