

Caracterización territorial basada en la calidad del espacio público de la zona conurbada Colima-Villa de Álvarez, México

Territorial characterization based on the quality of public space in the Colima-Villa de Álvarez conurbation, Mexico

Isaac Farías Moreno,* Peter Chung Alonso,** Alicia Cuevas Muñiz,*** María Silvia del Rocío Covarrubias Ruesga,§ Jorge Armando Gutiérrez Valencia†

Recibido: 13/02/2025. Aceptado: 02/07/2025. Publicado: 08/07/2025

Resumen. El espacio público urbano [EPU] es fundamental para la funcionalidad de las ciudades, independientemente de su escala y localización. Dadas las crecientes tasas de urbanización, los procesos de integración física y funcional (conurbación, metropolización), requieren de esfuerzos para el estudio de la articulación territorial-urbana promovida por el EPU. Esta investigación provee un marco metodológico, que parte de la distribución espacial del EPU para la segmentación del territorio urbano, incorporando indicadores de: Calidad ambiental, Articulación

Socio-Ambiental y Eficiencia Morfológica-Espacial, así como criterios para la identificación de tendencias geospaciales asociadas a la calidad del EPU. Su aplicación en la Zona Conurbada Colima-Villa de Álvarez, resultó en la identificación de una jerarquía monocéntrica, así como núcleos urbanos con altos índices de complementariedad del EPU, asentados en diez tipologías urbanas. Se identificó que la conectividad institucional y comercial son los mayores predictores de la calidad integral del EPU en la zona de estudio.

* Tecnológico Nacional de México Colima. Av. Tecnológico No. 1, Villa de Álvarez, Colonia Liberación, 28976, Colima, México. <https://orcid.org/0009-0003-0307-3379>. Email: ifariasmx97@gmail.com. Autor de correspondencia.

** Tecnológico Nacional de México Colima. División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI). Av. Tecnológico no. 1, Villa de Álvarez, Colonia Liberación, 28976, Colima, México. <https://orcid.org/0000-0002-3724-1938>. Email: peter.chung@colima.tecnm.mx

*** Universidad de Colima. Facultad de Ciencias. C. Bernal Díaz del Castillo 340, Colonia Villas San Sebastián, 28045, Colima, México. <https://orcid.org/0000-0003-2910-6282>. Email: alicia_cuevas@ucol.mx

§ Tecnológico Nacional de México Colima. División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI). Av. Tecnológico No. 1, Villa De Álvarez, Colonia Liberación, 28976, Colima, México. <https://orcid.org/0000-0001-9120-7098>. Email: maria.covarrubias@colima.tecnm.mx

† Tecnológico Nacional de México Colima. División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI). Av. Tecnológico No. 1, Villa De Álvarez, Colonia Liberación, 28976, Colima, México. <https://orcid.org/0009-0005-5394-064X>. Email: jorge.gutierrez@colima.tecnm.mx

Palabras clave: sistemas urbanos, morfología urbana, análisis espacial, indicadores urbanos, desigualdad espacial.

Abstract. Urban public space (UPS) is fundamental to the functionality of cities, regardless of their scale and location. Given the growing rates of urbanization, physical and functional integration processes (conurbation, metropolization) require efforts to study the territorial-urban articulation promoted by UPS. This research provides a methodological framework based on the spatial distribution of the UPS for the segmentation of urban territory, incorporating indicators of environmental quality, socio-environmental articulation,

and morphological-spatial efficiency, as well as criteria for identifying geospatial trends associated with the quality of the UPS. Its application in the Colima-Villa de Álvarez conurbation resulted in the identification of a monocentric hierarchy, as well as urban centers with high levels of EPU complementarity, divided into 10 urban typologies. Institutional and commercial connectivity were identified as the main predictors of overall EPU quality in the study area.

Keywords: urban systems, urban morphology, spatial analysis, urban indicators, spatial inequality.

INTRODUCCIÓN

El espacio público urbano (en adelante EPU) es un componente fundamental para la articulación de actividades y metabolismos dentro de los asentamientos humanos (ONU-Hábitat, 2019); sin embargo, el acceso al EPU presenta profundas desigualdades a nivel global y nacional, ya que en México solamente el 24 % de la población tiene acceso [<500 metros] a un área verde (SEDATU, 2019, p. 33), afectando principalmente a zonas marginadas, periféricas o informales (Vázquez *et al.* 2024). Las crecientes tasas de población urbana, del 79 % [99.03 millones de habitantes], según el Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2020), y un 69 % [87.4 millones de habitantes] en ciudades por encima del umbral de 5000 habitantes (SEDATU y CONAPO, 2020), así como los procesos territoriales y urbanos de conurbación y metropolización, definidos por la integración física y funcional entre zonas urbanas, independientemente de sus límites formales/administrativos (SEDATU y CONAPO, 2020), hacen necesarios esfuerzos para el estudio de la integración promovida por el EPU.

La proximidad y contacto con el EPU de calidad ha demostrado beneficios sobre la salud psicofísica (Ekkel y De Vries, 2017; Houlden *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2023b), la cohesión social y la vitalidad urbana (Da Fonseca *et al.*, 2022; Vázquez *et al.*, 2024; Wan *et al.*, 2021), la salubridad medioambiental/ecosistémica (Kaplan, 1995; Liu *et al.*, 2021; Longato *et al.*, 2023), la densificación comercial (Basu y Sevtsuk, 2022; Jacobs, 1961; Sevtsuk, 2020), con efectos diferenciados de acuerdo con la calidad distributiva y complementariedad del

EPU, para la articulación funcional del territorio urbano y sus centros de población.

La propuesta metodológica tiene como punto de partida el reconocimiento del EPU [áreas verdes urbanas, plazas, espacios deportivos y abiertos, según la NOM-001 SEDATU (2021)] como un sistema de puntos/nodos de interacción e integración socio-ambiental, cuya distribución posibilita la segmentación del territorio urbano en áreas de influencia efectiva, independientes de límites formales, que poseen un grado diferenciado de calidad y vinculación con el entorno urbano.

El proceso para la caracterización territorial parte de los principios de accesibilidad promovida por el entorno transformado, sintetizadas como la facilidad y motivaciones para el desplazamiento (Hansen, 1959), que, en el caso del EPU, se define por el desempeño de variables de calidad ambiental, articulación socio-ambiental y eficiencia espacial dentro de la cobertura de cada elemento, derivando en un valor único sobre la Calidad Integral del Espacio Público [en adelante CIEP]; además, se incorporan criterios geoestadísticos para la penalización del aislamiento del EPU, así como para la detección de patrones distributivos de la CIEP, y tipologías geoestadísticas [clústeres] territorial-urbanas asociadas al EPU.

Los principales aportes de esta investigación residen en el establecimiento de un método para el estudio del EPU como un fenómeno territorial-urbano con grados diferenciados de articulación, complementariedad y calidad, profundizando el entendimiento del desempeño geoespacial del EPU; además, los resultados posibilitan la detección de áreas deficitarias en la calidad y suficiencia del

EPU, así como la correlación geoestadística entre indicadores localizados de la CIEP, presentes en asentamientos humanos de cualquier escala.

Teniendo como objetivo la identificación de patrones, tendencias y tipologías de la CIEP, la investigación se aplicó sobre la Zona Conurbada Colima-Villa de Álvarez [ZCCVA en adelante], con 265 770 habitantes en 7048.19 ha de territorio urbano (INEGI, 2020, 2023) . La conurbación se caracteriza por un desarrollo urbano integrado por medio de anillos periféricos, con tendencias semiradiales que enmarcan la articulación física y funcional de la ZCCVA, a partir de nodos fundacionales en los centros históricos de ambos municipios: el Jardín *principal* de Villa de Álvarez y el Jardín Libertad del municipio de Colima.

METODOLOGÍA

Principios generales

La metodología propuesta parte de la integración del patrón distributivo de los 454 EPU en el área de estudio, cuya localización, proximidad o aislamiento fue utilizado para generar subdivisiones del territorio urbano, con base en teselaciones geométricas (polígonos de Voronoi [pV en adelante]), representativas de la interacción del EPU, lo que posibilita aspectos fundamentales para el estudio de la articulación socio-ambiental promovida por el EPU:

1. El reconocimiento del EPU como un fenómeno espacialmente continuo (no puntual o aislado) en las ciudades.
2. La identificación del desempeño diferenciado del EPU en los sistemas urbanos.
3. La importancia del EPU en la configuración de tipologías funcionales del territorio urbano.

Con base en ello, se determinó el desempeño unitario de cada EPU, considerando variables que definen: a) la facilidad/comfort de acceso [calidad ambiental]; b) la funcionalidad [articulación socio-ambiental] y c) conectividad [eficiencia espacial-morfológica], dentro de un área de cobertura [400 m]. También se incorporaron criterios

geoestadísticos para considerar la superposición y complementariedad de la cobertura del EPU en cada pV, permitiendo identificar patrones distributivos, así como tipologías y jerarquías urbanas basadas en la CIEP.

Configuración del índice de Calidad Integral del Espacio Público [CIEP]

La Calidad Integral del Espacio Público [CIEP] se define por el agregado geoestadístico de indicadores adscritos a un EPU, y posteriormente a una unidad territorial [pV]; el índice se compone de 15 variables en tres categorías: calidad ambiental, articulación socio-ambiental y eficiencia espacial-morfológica. Cada una de las variables posee un peso estadístico equivalente en la configuración de la CIEP, y su homologación estadística tiene un valor normalizado [0-1], calculado a partir de máximos y mínimos en el área de estudio.

Definición de variables y fuentes de datos

Emanadas de estudios sobre la geografía humana, el conjunto de variables de la CIEP está relacionada con la accesibilidad, caminabilidad e integración funcional de las ciudades, con aplicaciones predominantes sobre la calidad del espacio público (áreas verdes, redes viales, equipamientos públicos, etc.), y se agrupan en tres categorías:

Calidad ambiental: definen la facilidad y confort para el uso y desplazamiento en torno al EPU; ampliamente reconocidos en los estudios urbanos (Houlden *et al.*, 2019; Rhoads *et al.*, 2023; Zhang y Chen, 2024); dichos factores definen la aptitud física del medio urbano para la habitabilidad y frecuencia de uso sobre actividades y metabolismos cotidianos, con una orientación y preponderancia a la movilidad activa, considerando las siguientes variables: pendientes, distancia a vías de alta jerarquía, calidad térmica, densidad arbórea y proximidad fluvial.

Se utilizaron datos ráster para el cálculo del NDVI y temperatura, con base en imágenes multi-banda de Landsat-8 (USGS, 2024), así como del relieve continental de INEGI (2019), y mapeos ráster de proximidad basados en el MGN (INEGI, 2023).

Articulación socio-ambiental: definen la vinculación funcional del EPU respecto a centros de

población y puntos de interés urbano, evaluando la accesibilidad y vitalidad de un punto o zona específico, con alta acepción académica (Li *et al.*, 2024; Mitropoulos *et al.*, 2023; Sdoukopoulos *et al.*, 2024). Las variables incorporadas son: densidad poblacional, vulnerabilidad social, conectividad comercial, conectividad institucional y área del EP.

Se utilizaron datos derivados del Censo de Población y vivienda (INEGI, 2020), procesados para la obtención del índice de vulnerabilidad social (IVS) según criterios del IMTA (2019). Se utilizaron datos puntuales (unidades económicas), derivados del DENU (2024), para la densidad comercial, y del MGN (2023) para la conectividad institucional respecto a equipamientos deportivos, educativos, de salud, gobierno, cultura y religión.

Eficiencia espacial-morfológica: definen el desempeño del tejido urbano en torno al EPU, con base en su interacción/integración espacial diferenciada; estudios recientes demuestran la influencia de la eficiencia vial para la determinación de rutas, intensidad de uso y vitalidad urbana (Basu y Sevtsuk, 2022; Da Fonseca *et al.*, 2022; Efeoglu *et al.*, 2024); asimismo, se han asociado patrones de configuración morfológica

con dinámicas de interacción urbana (Arribas-Bel y Fleischmann, 2022; Sevtsuk *et al.*, Wu *et al.*, 2024).

Para su cálculo se utilizaron los 16 386 tramos viales que configuran el tejido vial del área de estudio (MGN INEGI, 2023), ingresados en la herramienta Spatial Design Network Analysis [sDNA] (Cooper, 2021), con un distancia radial de entrada {input} de 400 m. Se incluyen las variables: longitud vial, cercanía, calidad de la red, intermediación y conectividad, cuyas fórmulas se muestran en la Tabla 1.

La Tabla 2 muestra la síntesis de las variables, fuentes de información y criterios generales para su incorporación dentro del índice de la CIEP.

Técnicas y herramientas para el procesamiento de datos

La integración y procesamiento de la CIEP tiene como finalidad la obtención de la Calidad Integral Ajustada del Espacio Público (en adelante CIAEP), derivada de un ajuste geoestadístico para la penalización del aislamiento del EPU, cuyos resultados denotan:

CIAEP [sumatoria]. La complementariedad e

Tabla 1. Cálculo de la eficiencia morfológica-espacial del tejido urbano.

| Nombre | Ecuación | Componentes |
|---|--|--|
| Cercanía/ Closeness centrality1 | $Lejanía(x) = \frac{\sum_{y \in R_x} (x, y)W(y)P(y)}{\sum_{y \in R_x} W(y)P(y)}$ | P = la proporción de cualquier nodo y dentro de un radio R. d_M(x, y) = la distancia de una medida M, entre un origen vectorial x y un destino vectorial y. |
| Calidad de red penalizada por distancia [CRPD]1 | $CRPD = \sum_{y \in R_x} \frac{(W(y)P(y))^{crpd(n)}}{d_M(x, y)^{crpd(d)}}$ | W(y) = peso específico de un vector. P(y) = proporción de cualquier vector en un radio. |
| Intermediación/ Betweenness1 | $Cen(x) = \sum_{y \in N} \sum_{z \in R} W(y)W(z)P(z)OD(y, z, x)$ | OD(x, y, z) = la ocurrencia con la cual se presenta un punto x entre los vértices y, z. y ∈ N = la totalidad de vectores N en la gráfica G. z ∈ R = la presencia de vectores dentro de un radio R. |
| Conectividad1 | $Cn(x) = \sum_{y \in R_x} P(y \in z)$ | Cen(x) = el valor de la intermediación de un vector x en G. P(y ∈ z) = número de vínculos entre dos vectores y, z. y ∈ R_x = conjunto de vínculos dentro de un radio R trazado a partir del vector x. |

Nota: elaboración propia con base en fórmulas de Cooper (2021), Cooper y Chiaradia (2020).

Tabla 2. Variables, criterios generales y fuentes de información.

| Categoría | Variable | Justificación |
|---------------------------------|---|--|
| Calidad ambiental | 1. Pendiente (diferencia de altitud)6-V | A menor pendiente, mayor facilidad para el desplazamiento |
| | 2. Distancia con vialidades de alta jerarquía1-P | A mayor distancia respecto a VAJ, menor fragmentación territorial-urbana |
| | 3. Calidad térmica7-P | A mayor calidad térmica, menores costos percibidos del desplazamiento |
| | 4. Densidad arbórea7-P | A mayor densidad arbórea, mayor calidad y salubridad ambiental. |
| | 5. Cercanía con cauces fluviales1-P | A mayor cercanía fluvial, mayor potencial eco-ambiental. |
| | 6. Densidad poblacional2-S | A mayor población cubierta, mayor diversidad y uso del EP. |
| Articulación socio-ambiental | 7. Vulnerabilidad social 2-P | A menor vulnerabilidad social, mayor integración socio-ambiental. |
| | 8. Conectividad comercial 3-S | A mayor conectividad comercial, mayor vitalidad urbana. |
| | 9. Conectividad institucional 1-S | A mayor conectividad institucional, mayores metabolismos en torno al EP. |
| | 10. Área del espacio público 1 | A mayor área del EP, mayor potencial y diversidad de usos/ aprovechamientos. |
| Eficiencia espacial-morfológica | 11. Longitud vial1,5-P | A menor longitud vial, mayor potencial espacial de alcance. |
| | 12. Cercanía1,5-P | A mayor cercanía vial, mayor centralidad urbana. |
| | 13. Calidad de la red penalizada por la distancia [CRPD]1,5-P | A mayor CRPD, mayor accesibilidad espacial. |
| | 14. Intermediación1,5-P | A mayor intermediación, mayor consolidación territorial-urbana. |
| | 15. Conectividad1,5-P | A mayor conectividad, mayor eficiencia del tejido urbano. |

Nota: P: Promedio; S: Suma; V: Varianza/rango.

Fuentes: 1: Marco Geoestadístico Nacional (MGN) de INEGI (2023); 2: Censo de Población y Vivienda (CPV) INEGI (2020); 3: Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. (DENUE) INEGI (2024); 4: criterios de procesamiento censal del IMTA (2015) para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) a nivel estado; 5: Datos vectoriales complementarios recuperados de OpenStreetMap [GeoFabrik; México] (2024); 6: Datos de elevación recuperados del Modelo Digital de Elevación (MDE/DEM) de INEGI (2019) 7: Imágenes satelitales multibanda [B4, B5, B10] recuperadas del proyecto LANDSAT-8 de la United States Geological Survey (USGS, 2024).

integración de subsistemas de EPU, que definen núcleos o estructuras de vinculación barrial del territorio urbano.

CIAEP [promedio]. La jerarquía específica del EPU y su preponderancia en la ZCCVA.

La Figura 1 ilustra el proceso de integración, procesamiento e interpretación propuesta.

Para el procesamiento geoestadístico para el desempeño del área de cobertura en cada EPU, sobre

cada variable de la CIEP, se utilizaron las fórmulas definidas en la Tabla 3.

La CIEP se integró a partir del agregado de los valores normalizados sobre cada área de cobertura; posteriormente, los datos se integraron a unidades geoespaciales (pV), que hacen posible el análisis de los patrones distributivos de la CIEP en el área de estudio, según las fórmulas geoestadísticas de la Tabla 4.

Con base en las teselaciones geométricas

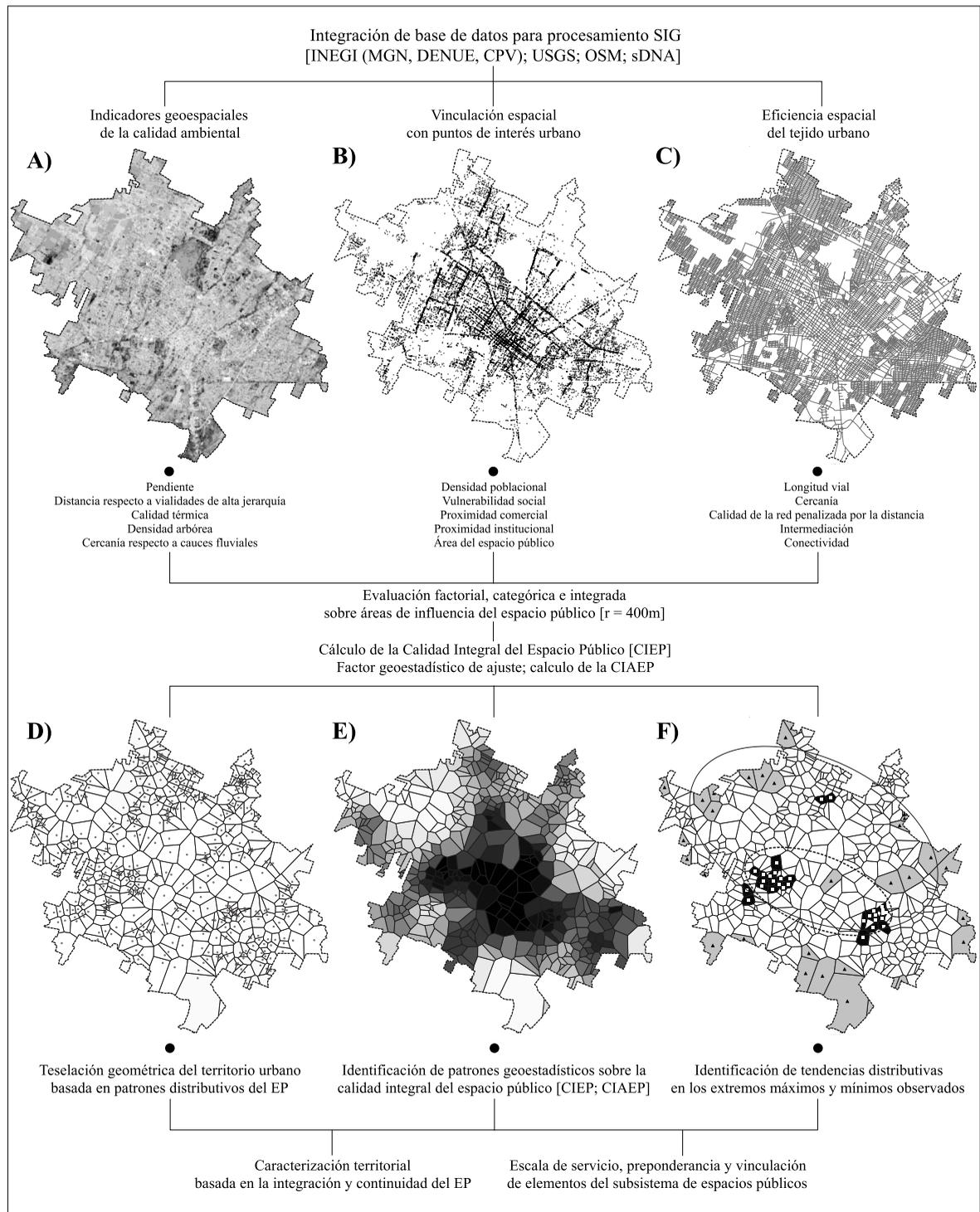


Figura 1. Diagrama metodológico.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Cálculo de la Calidad del Espacio Público (CEP).

| Nombre | Ecuación | Componentes |
|---|--|---|
| Calidad del Espacio Público (CEP); Sumatoria | $CEP_{X_i} = \sum_{U \in P_i(c;r)} U_X$ | <p>U_x= unidades de datos U [Vectores, polígonos, puntos] de la variable X. $U \in P_i/A_i(c;r)$ = unidades U dentro del polígono/ área de cobertura del Espacio Público i, definida por un centroide c y un radio de cobertura r. $N(c;r)$ = el total numérico de unidades U dentro del área de cobertura $P_i/A_i(c;r)$.</p> |
| Calidad del Espacio Público (CEP); Promedio | $CEP_{X_i} = \frac{\sum_{U \in A_i(c;r)} U_X}{N(c;r)}$ | |
| Calidad del Espacio Público (CEP); Rango | $CEP_{X_i} = (max(U_X) - min(U_X))_{U \in P_i(c;r)}$ | |

Fuente: elaboración propia

resultantes (pV), se procedió a la normalización del CIEP para cada polígono; posterior a ello, se realizó el ajuste geoestadístico para la obtención de la CIAEP, considerando la penalización del

aislamiento del EPU, definido por el exceso espacial a la cobertura normada [$A_{reg}(c;r)$] de 400 m de radio (50.26 ha). Dicho proceso posibilitó la detección de núcleos articulados de espacios

Tabla 4. Cálculo de la Calidad Integral del Espacio Público (CIEP).

| Nombre | Ecuación | Componentes |
|---|--|--|
| Calidad Integral del Espacio Público (CIEP). | $CIEP_i = \frac{\sum_{i=1}^{n_{v \in M}} X_{1_{nor}} + X_{2_{nor}} \dots + X_{15_{nor}}}{n_{v \in M}}$ | <p>$X_1 \dots X_{15}$ = Valores normalizados de las variables X. $n_{(v \in M)}$ = Número de variables X en el modelo analítico M. $CIEP_{EP}$ = Valor numérico: Calidad Integral del Espacio Público i. $EP(c;r) \in P_i$ = el total numérico Espacios Públicos EP definidos por su área de cobertura $(c;r)$, dentro del polígono P_i [Manzanas urbanas, colonias o teselaciones].</p> |
| Promedio localizado de la Calidad Integral del Espacio Público (CIEP _p). | $CIEP_{P_i(promedio)} = \frac{\sum_{EP(c;r) \in P_i} CIEP_{EP}}{N(EP)}$ | |
| Sumatoria localizada de la Calidad Integral del Espacio Público (CIEP _s). | $CIEP_{P_i(sumatoria)} = \sum_{EP(c;r) \in P_i} CIEP_{EP}$ | |

Fuente: elaboración propia.

públicos, así como zonas vulneradas por la dispersión o aislamiento del EPU, según las fórmulas de la Tabla 5.

Análisis espacial y geoestadístico de resultados

El procesamiento de los resultados se basa en la implementación de métodos que permitan la identificación de patrones distributivos de la CIEP y CIAEP, así como tendencias en su posicionamiento, dirección y cobertura espacial; asimismo, fungen como instrumento para la validación de los factores geoestadísticos de ajuste aplicados sobre la CIEP.

Se utilizaron dos métodos para el posprocesamiento geoestadístico: la autocorrelación espacial (LISA) en GeoDa v. 1.22.0.4 (Anselin, 1995; Anselin *et al.*, 2006), para detectar la dependencia espacial de los valores máximos y mínimos, y el Elipse de Desviación Estándar [EDE] (Tveite, 2016; Yuil, 1978), aplicado asimismo sobre valores extremos en los resultados observados.

Análisis de autocorrelación espacial (LISA); I de Morán

Para brindar significancia estadística a las tendencias espaciales de la CIEP y CIAEP dentro de la ZCCVA, se utilizó el análisis de autocorrelación

espacial (LISA), que toma la contigüidad espacial y distancia entre unidades geométricas para ponderar la relación entre localizaciones y sus valores observados a través del territorio urbano (Tabla 6).

La I *global* de Moran es un indicador estadístico que mide la aglomeración de los valores observados en el área de estudio, y oscila entre valores de -1.00 y +1.00, donde se indica una correlación espacial positiva [+1.00], negativa [-1.00] o nula [0.00].

Por otro lado, la I *local* de Morán permite identificar tendencias de aglomeración con base en un valor/atributo [CIEP/CIAEP], determinando la significancia [p<0.05, 999 iteraciones] entre cuatro grupos de valores: Alto-Alto [A-A], Bajo-Alto/Alto-Bajo [B-A;A-B], Bajo-Bajo [B-B] y Sin significancia [SS], demostrando la prevalencia espacial de valores de la calidad del espacio público, así como la varianza entre la CIEP y CIAEP en términos de su cobertura territorial y poblacional, posibilitando la identificación de zonas vulneradas por el déficit localizado en la integración o calidad integral del espacio público.

Elipse de desviación estándar; distribución direccional de valores

En cuanto a la orientación distributiva de los valores máximos y mínimos de la CIAEP, se utilizó el Elipse de Desviación Estándar [EDE] propuesto por Yuil (1971). El trazo de la elipse

Tabla 5. Técnicas de normalización y ajuste de datos localizados.

| Nombre | Ecuación | Componentes |
|---|--|--|
| Área normalizada de Polígonos de Voronoi () | $AV_{nor_i} = \frac{(AV_i - AV_{min})_{AV \in AE}}{(AV_{max} - AV_{min})_{AV \in AE}}$ | AV _i /P _i = Polígono/Área i de Voronoi. AV∈AE = Polígonos de Voronoi dentro del Área de Estudio AE. |
| Área ajustada de Polígonos de Voronoi () | $AV_{adj_i} = \frac{AV_i}{A(c;r)}$ | A _{i(c;r)} = Valor numérico del área de cobertura del EP definida por un centroide c y un radio r. |
| Calidad Integral Ajustada del Espacio Público (CIAEP) | $CIAEP_{P_i} = CIEP_{P_i} - (CIEP_{P_i} (AV_{nor} \cdot AV_{adj}))$ | CIEP _{P_i} = Valor normalizado de la Calidad Integral del Espacio Público del polígono i. |

Fuente: elaboración propia.

resultante es indicativo de la regularidad espacial [tendencia radial] o de la prevalencia direccional [tendencia lineal] de los valores observados, así como su extensión y posicionamiento y centralidad (Tabla 7).

RESULTADOS

Distribución geoestadística de indicadores

La Tabla 8 y Figura 2 muestran la síntesis estadística derivada de la teselación geométrica del territorio urbano, a partir de los 454 EPU dentro del área de estudio; asimismo la Figura 3 muestra los EPU en

Tabla 6. Autocorrelación Espacial (LISA); fórmulas.

| Nombre | Ecuación | Componentes |
|--|--|---|
| I global de Moran () | $I = \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} z_i z_j}{\sum_i z_i^2}$ | <p>w_{ij} = Matriz de relación espacial entre los elementos i, j. z_i, z_j = Valores numéricos observados en los polígonos i, j (estandarizados como desviaciones del promedio) n = Número de observaciones (polígonos) en el área de estudio.</p> |
| I local de Moran para el polígono i () | $I_i = \frac{\sum_j w_{ij} z_j}{\sum_j z_j^2} = z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j$ | |

Fuente: elaboración propia con base en fórmulas establecidas por Anselin (1995), calculadas mediante el software GeoDa v. 1.22.0.4, Anselin et al. (2006).

Tabla 7. Elipse de Desviación Estándar (EDE); fórmulas.

| Nombre | Ecuación | Componentes |
|--|--|--|
| Centro del Elipse de Desviación Estándar () | $EDE_{i(x,y)} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$ | <p>EDE_i = Elipse de Desviación Estándar i definido por el conjunto n de puntos (x, y). x_i, y_i = Coordenadas del centroide del EP i. w_i = Peso (variable) asignado al centroide del EP i. c_i = Distancia focal del EDE i. a_i = Distancia eje mayor del EDE i.</p> |
| Rotación angular del Elipse de Desviación Estándar () | $EDE_{i(\tan\theta)} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 w_i - \sum_{i=1}^n y_i^2 w_i\right) + \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 w_i - \sum_{i=1}^n y_i^2 w_i\right)^2 + 4\left(\sum_{i=1}^n x_i y_i w_i\right)^2}}{2 \sum_{i=1}^n x_i y_i w_i}$ | |
| Desviación estándar del Elipse de Desviación Estándar () | $EDE_{i(\delta\alpha)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cos\theta - y_i \sin\theta)^2 \cdot w_i}{n \cdot w_i}}$ $EDE_{i(\delta\beta)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i \cos\theta - x_i \sin\theta)^2 \cdot w_i}{n \cdot w_i}}$ | |
| Excentricidad del Elipse de Desviación Estándar () | $EDE_{i(e)} = \frac{c_i}{a_i}$ | |

Fuente: elaboración propia con base en fórmulas establecidas por Yuil, R. S. (1978), calculadas mediante la herramienta Standard Deviational Ellipse de QGIS, Tveite (2016).

el área de estudio y la distribución geostadística de cada indicador.

La varianza geostadística observada muestra una heterogeneidad en el desempeño sobre los

indicadores; sin embargo, existe una prevalencia hacia la centralización de valores máximos, y a la confluencia de valores mínimos en áreas periféricas de la ZCCVA.

Tabla 8. Calidad del Espacio público por área de cobertura. Resumen estadístico y valores normalizados.

| Variable | Min | Max | Promedio | | Mediana | | 1Q | | 3Q | |
|---|-------|---------|----------|-------|---------|-------|--------|-------|---------|-------|
| | | | (#) | (nr.) | (#) | (nr.) | (#) | (nr.) | (#) | (nr.) |
| Varianza de altitud (m) | 13.16 | 52.24 | 33.26 | 0.49 | 33.33 | 0.48 | 27.78 | 0.36 | 38.03 | 0.63 |
| Distancia a VAJ (m) | 45.57 | 1265.56 | 336.16 | 0.24 | 269.76 | 0.18 | 147.95 | 0.08 | 461.99 | 0.34 |
| Calidad térmica (°C) | 38.06 | 44.96 | 41.00 | 0.57 | 40.79 | 0.60 | 40.33 | 0.48 | 41.65 | 0.67 |
| Densidad arbórea (NDVI) | 0.08 | 0.21 | 0.13 | 0.35 | 0.13 | 0.35 | 0.11 | 0.25 | 0.14 | 0.43 |
| Proximidad fluvial (m) | 75.49 | 2110.53 | 476.995 | 0.79 | 352.80 | 0.86 | 181.07 | 0.70 | 653.15 | 0.95 |
| Densidad poblacional (hab.) | 50.00 | 8184 | 2944 | 0.36 | 2820 | 0.34 | 1702 | 0.20 | 4113 | 0.50 |
| Vulnerabilidad social (IVS/manzana) | 0.54 | 0.67 | 0.54 | 0.18 | 0.59 | 0.13 | 0.57 | 0.00 | 0.60 | 0.27 |
| Con. comercial (#UE) | 0.00 | 914.00 | 130.60 | 0.14 | 110.00 | 0.12 | 45.50 | 0.05 | 198.00 | 0.22 |
| Con. institucional (#Ins.) | 0.00 | 15.00 | 2.70 | 0.66 | 2.00 | 0.67 | 0.00 | 0.57 | 4.00 | 0.77 |
| Área del EP (ha) | 0.01 | 5.60 | 0.40 | 0.07 | 0.27 | 0.05 | 0.14 | 0.02 | 0.48 | 0.09 |
| Longitud vial (m) | 5.45 | 1197.45 | 78.22 | 0.08 | 62.09 | 0.08 | 45.00 | 0.06 | 104.34 | 0.10 |
| Lejanía A(c;r400 m) | 0.00 | 0.08 | 0.05 | 0.34 | 0.05 | 0.36 | 0.05 | 0.26 | 0.06 | 0.43 |
| Calidad de la red penalizada por la distancia A(c;r400 m) | 4163 | 808068 | 637662 | 0.79 | 652446 | 0.81 | 570030 | 0.70 | 727065 | 0.90 |
| Intermediación A(c;r400 m) | 2.00 | 7067536 | 1674772 | 0.24 | 1294955 | 0.18 | 720947 | 0.10 | 2426189 | 0.34 |
| Conectividad A(c;r400 m) | 1.99 | 5.57 | 4.20 | 0.62 | 4.18 | 0.61 | 3.85 | 0.52 | 4.52 | 0.71 |
| CIEP | 0.26 | 0.55 | 0.39 | 0.46 | 0.39 | 0.46 | 0.35 | 0.32 | 0.44 | 0.61 |

Notas: orden de variables de acuerdo con la Tabla 8; (#): valores numéricos; (nr.): valores normalizados.

Fuente: elaboración propia.

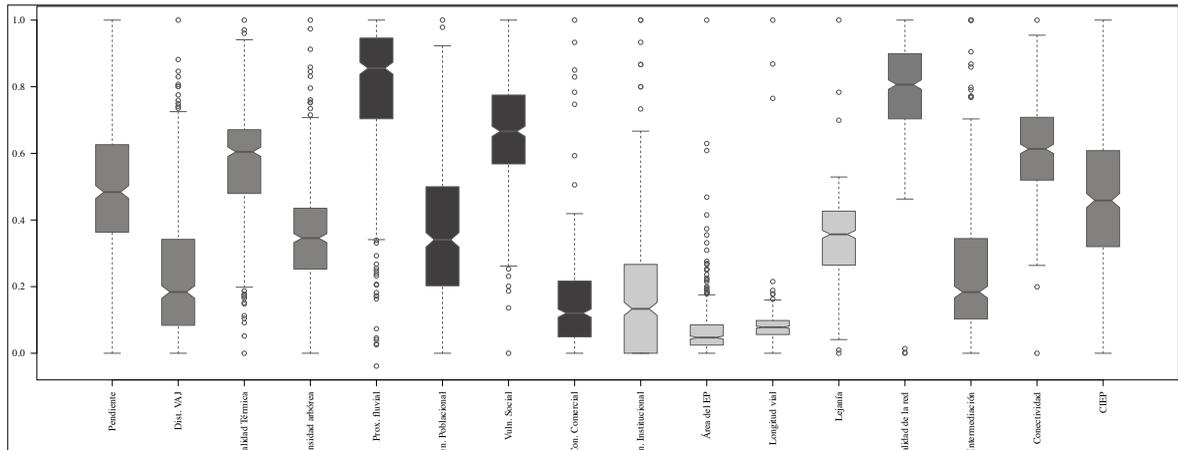


Figura 2. Calidad del espacio público por área de cobertura. Resumen estadístico [valores normalizados].

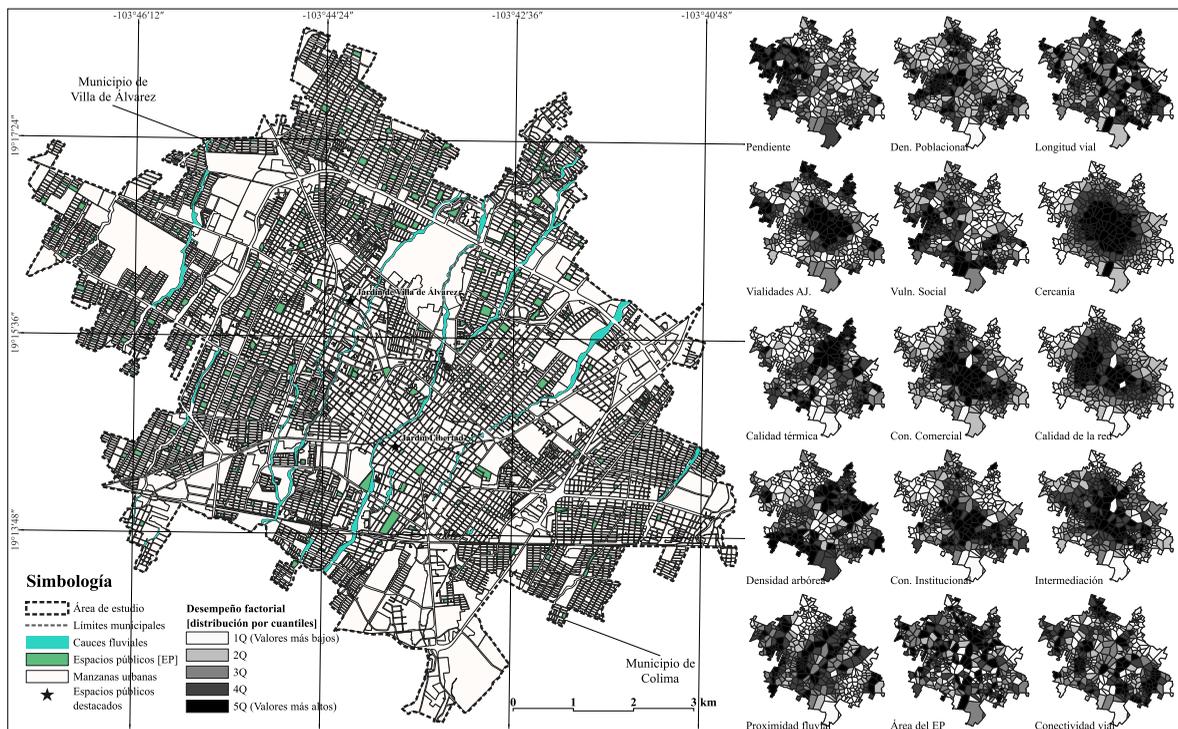


Figura 3. Área de estudio y resultados de la Calidad Integrada del Espacio Público (CIEP) por variable.

Fuente: elaboración propia con base en datos vectoriales del Marco Geoestadístico Nacional, INEGI (2023).

Patrones distributivos de la CIEP-CIAEP

La integración de la CIEP posibilitó la identificación de tendencias diferenciadas sobre la distribución del potencial de articulación territorial del EPU en la ZCCVA. El promedio de la CIEP demuestra una tendencia radial, cuyo ajuste geoestadístico para el cálculo de la CIAEP permitió la identificación de rupturas en la continuidad y regularidad distributiva de la CIAEP en el territorio; ello debido a la presencia de 14 zonas penalizadas por exceder la distribución máxima [50.26 ha], representando el 15.51 % [1093.56 ha] del AE (Figura 4).

Los núcleos del EPU, definidos por la complementariedad y proximidad espacial, fueron identificados en la CIEAP [sumatoria] (Figura 4: B-D), en donde se muestra la prevalencia de aglomeraciones

aisladas, asociadas a colonias urbanas consolidadas de alta densidad.

La Figura 5 muestra los resultados del análisis LISA aplicados sobre la CIEP-CIEAP; allí, se observa la varianza geoestadística en la distribución espacial de valores altos/bajos; el factor de ajuste propuesto demuestra su efectividad para penalizar la dispersión del EPU, cuya aplicación redujo en 5.71 % [391.34 ha] al clúster Alto-Alto [Promedio; A-C]. En la Tabla 9 se muestra la síntesis estadística, donde destaca la baja varianza en índices de cobertura espacial [-0.22%] de la CIEP-CIAEP [Sumatoria B-D], que, sin embargo, tienen influencia en la definición territorial-urbana de los clústeres resultantes.

El análisis LISA indica que existe un 29.24 % [77 717 hab.] de población cubierta por EPU de

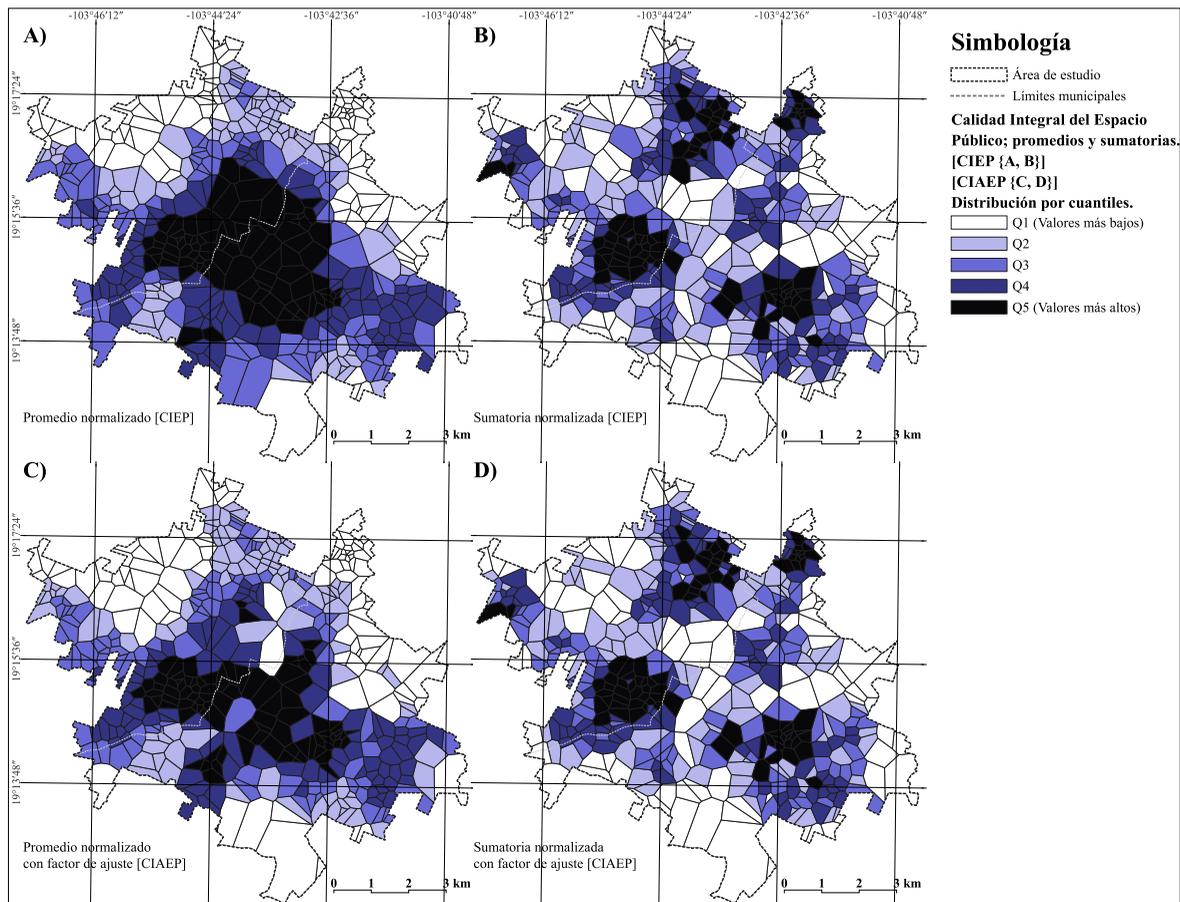


Figura 4. Distribución espacial de la CIEP y CIAEP; agregado y media localizada.

Fuente: elaboración propia.

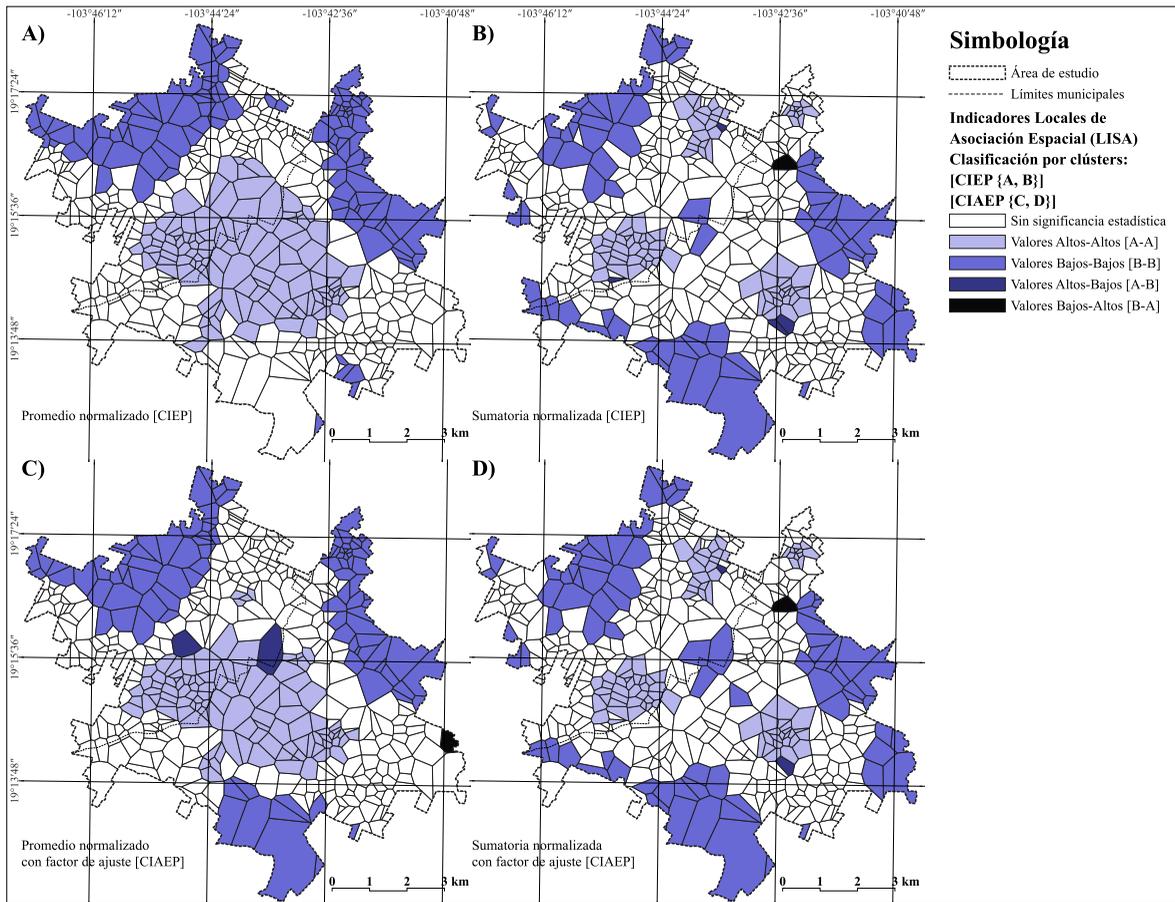


Figura 5. Aglomeración espacial de la CIEP-CIAEP. Autocorrelación Espacial (LISA).

Fuente: elaboración propia con base en resultados de análisis LISA; GeoDa, I Local de Morán univariada.

alta jerarquía y funcionalidad, así como un 17.35 % [46 106 hab.] localizado dentro de núcleos territorial-urbanos con alta vinculación/complementariedad del EPU; contrario a ello, el 21.06 % [55 973 hab.] de la población está vulnerada por bajo desempeño del EPU.

Un aspecto destacable del factor de ajuste para el cálculo de la CIAEP reside en su efecto para la detección de patrones heterogéneos en la distribución territorial-urbana de la CIEP; ello, demostrable por su influencia en la I global de Moran [-0.193: promedio; + 0.012: suma], así como en la influencia sobre el área (pV) en máximos y mínimos (Tabla 10).

La distribución entre valores máximos y mínimos (15 cuantiles) obtenida mediante el EDE (Figura 6) demuestra tendencias diferenciadas en

la CIAEP según su jerarquía global, o su complementariedad localizada. Se observan tendencias a la centralización de los valores más altos, con mayor dispersión en la CIEAP [sumatoria], indicativo de la presencia de núcleos barriales articulados por el EPU, y espacialmente desvinculados; asimismo, en la ZCCVA hay una tendencia periférica y extendida en áreas deficitarias del EPU (Tabla 11).

Correlación factorial: indicadores de la CIEP-CIAEP

Para la identificación de factores predictores de la CIEP y los valores medios/agregados de la CIAEP, la Figura 7 presenta una matriz de correlación realizada en R {*cor*; *corrplot*}, con el coeficiente de correlación de Pearson [CCP], que define la

Tabla 9. Aglomeración de valores de la Calidad Integral del Espacio Público. Autocorrelación Espacial.

| | Tipología de clúster | Polígonos de Voronoi | | | | Población cubierta | |
|--------------------|-------------------------|----------------------|--------|-----------|--------|--------------------|-------------|
| | | (#) | (% AE) | Área (ha) | (% AE) | (hab. #) | (% hab. AE) |
| Promedio | Alto-Alto | 113 | 24.89% | 1773.87 | 25.17% | 89659 | 33.74% |
| | Bajo-Bajo | 108 | 23.79% | 1785.00 | 25.32% | 39757 | 14.96% |
| | Alto-Bajo/ Bajo-Alto | 0 | 0.00% | 0.00 | 0.00% | 0 | 0.00% |
| | No significativo | 233 | 51.32% | 3490.08 | 49.51% | 136354 | 51.31% |
| Promedio Ajustado | Alto-Alto | 104 | 22.91% | 1371.53 | 19.46% | 77717 | 29.24% |
| | Bajo-Bajo | 97 | 21.37% | 2115.59 | 30.01% | 37067 | 13.95% |
| | Alto-Bajo/ Bajo-Alto | 3 | 0.66% | 125.59 | 1.78% | 6535 | 2.46% |
| | No significativo | 250 | 55.07% | 3436.23 | 48.75% | 144451 | 54.35% |
| Sumatoria | Alto-Alto | 87 | 19.16% | 697.21 | 9.89% | 45938 | 17.28% |
| | Bajo-Bajo | 73 | 16.08% | 2210.08 | 31.35% | 50962 | 19.18% |
| | Alto-Bajo/ Bajo-Alto | 5 | 1.10% | 51.04 | 0.72% | 1940 | 0.73% |
| | No significativo | 289 | 63.66% | 4090.61 | 58.03% | 166930 | 62.81% |
| Sumatoria Ajustada | Alto-Alto | 88 | 19.38% | 699.54 | 9.92% | 46106 | 17.35% |
| | Bajo-Bajo | 77 | 16.96% | 2341.97 | 33.22% | 55973 | 21.06% |
| | Alto-Bajo/ Bajo-Alto | 3 | 0.66% | 38.66 | 0.55% | 932 | 0.35% |
| | No significativo | 286 | 63.00% | 3968.78 | 56.30% | 162759 | 61.24% |

Fuente: elaboración propia con base en resultados de análisis LISA; GeoDa, I Local de Moran univariada.

Tabla 10. Comparativa entre indicadores de la CIEP-CIAEP. Resumen estadístico.

| | | I global de Moran | Polígonos de Voronoi | | | | | |
|---------------------|-----|-------------------|----------------------|-----------------|---------|---------|---------------|-----------|
| | | | Pol. | P _{AE} | Área | Área AE | Área promedio | Área nor. |
| | | | (#) | (%) | (ha) | (%) | (ha) | (#) |
| Pro-medio | Max | 0.918 | 31 | 6.83% | 635.44 | 9.01% | 20.4982 | 0.408 |
| | Min | | 31 | 6.83% | 509.46 | 7.23% | 16.4343 | 0.327 |
| Pro-medio Ajustado | Max | 0.725 | 31 | 6.83% | 339.70 | 4.82% | 10.9580 | 0.218 |
| | Min | | 32 | 7.05% | 1527.63 | 21.67% | 48.2929 | 0.961 |
| Sumatoria | Max | 0.683 | 31 | 6.83% | 286.92 | 4.07% | 9.25542 | 0.184 |
| | Min | | 31 | 6.83% | 1218.93 | 17.29% | 39.3204 | 0.782 |
| Suma-toria Ajustada | Max | 0.695 | 31 | 6.83% | 252.26 | 3.58% | 8.13748 | 0.162 |
| | Min | | 31 | 6.83% | 1296.80 | 18.40% | 41.8323 | 0.832 |

Fuente: elaboración propia con base en resultados de GeoDa; I global de Moran univariada.

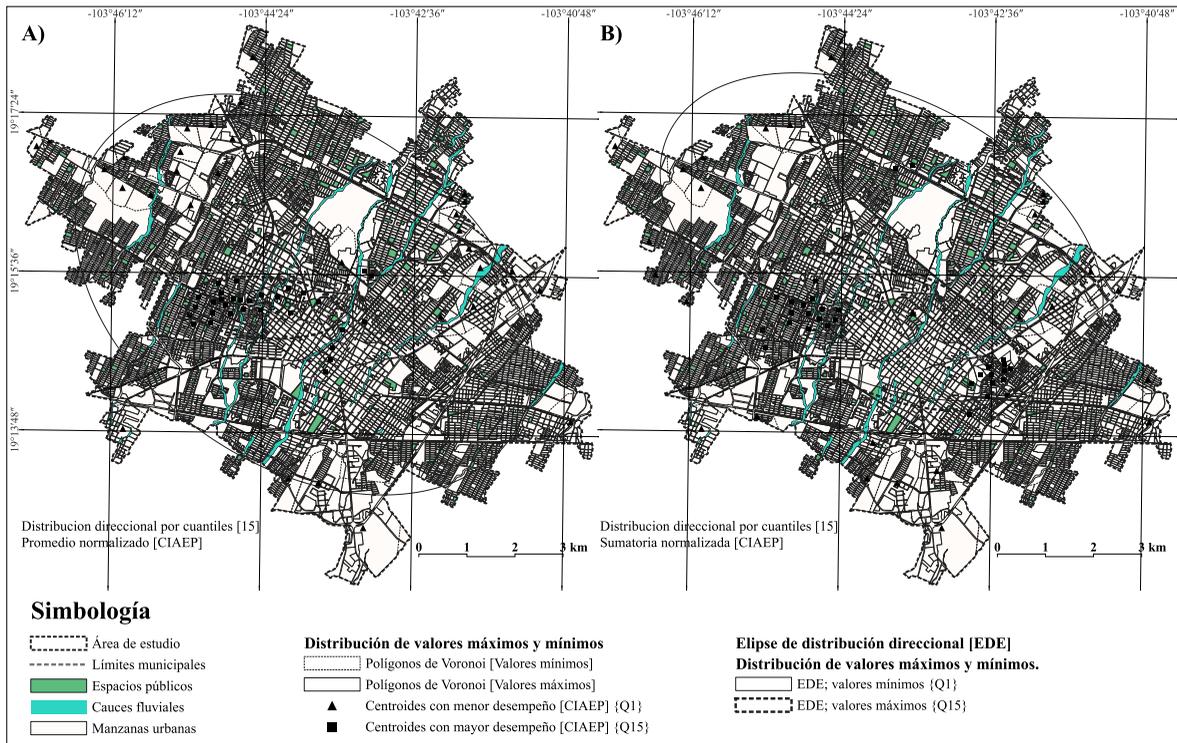


Figura 6. Distribución direccional de la CIAEP; Elipse de Desviación Estándar: comparativa.

Fuente: elaboración propia con base en resultados de SDE (Tveite, 2016).

Tabla 11. Distribución direccional; Elipse de Desviación Estándar. Resumen estadístico.

| | Valores | Centro geométrico (°lat, °long) | Área (ha) | Exct. (% AE) | Rotación (°; N→E) | Desviación Estándar (σmax) (σmin) | | |
|--------------------|---------|------------------------------------|--------------|-----------------|----------------------|--------------------------------------|---------|---------|
| Promedio Ajustado | Max | 19°15'11", -103°44'25" | 329.03 | 4.67% | 0.92 | 93.46 | 1639.79 | 638.73 |
| | Min | 19°15'23", -103°43'52" | 5890.15 | 83.56% | 0.73 | 123.66 | 5248.40 | 3572.49 |
| Sumatoria Ajustada | Max | 19°15'59", -103°43'55" | 1222.09 | 17.34% | 0.89 | 110.66 | 2903.52 | 1339.83 |
| | Min | 19°14'56", -103°43'50" | 4581.64 | 65.00% | 0.80 | 115.10 | 4938.02 | 2953.52 |

Fuente: elaboración propia con base en resultados de Standard Deviation Ellipse; Tveite (2016).

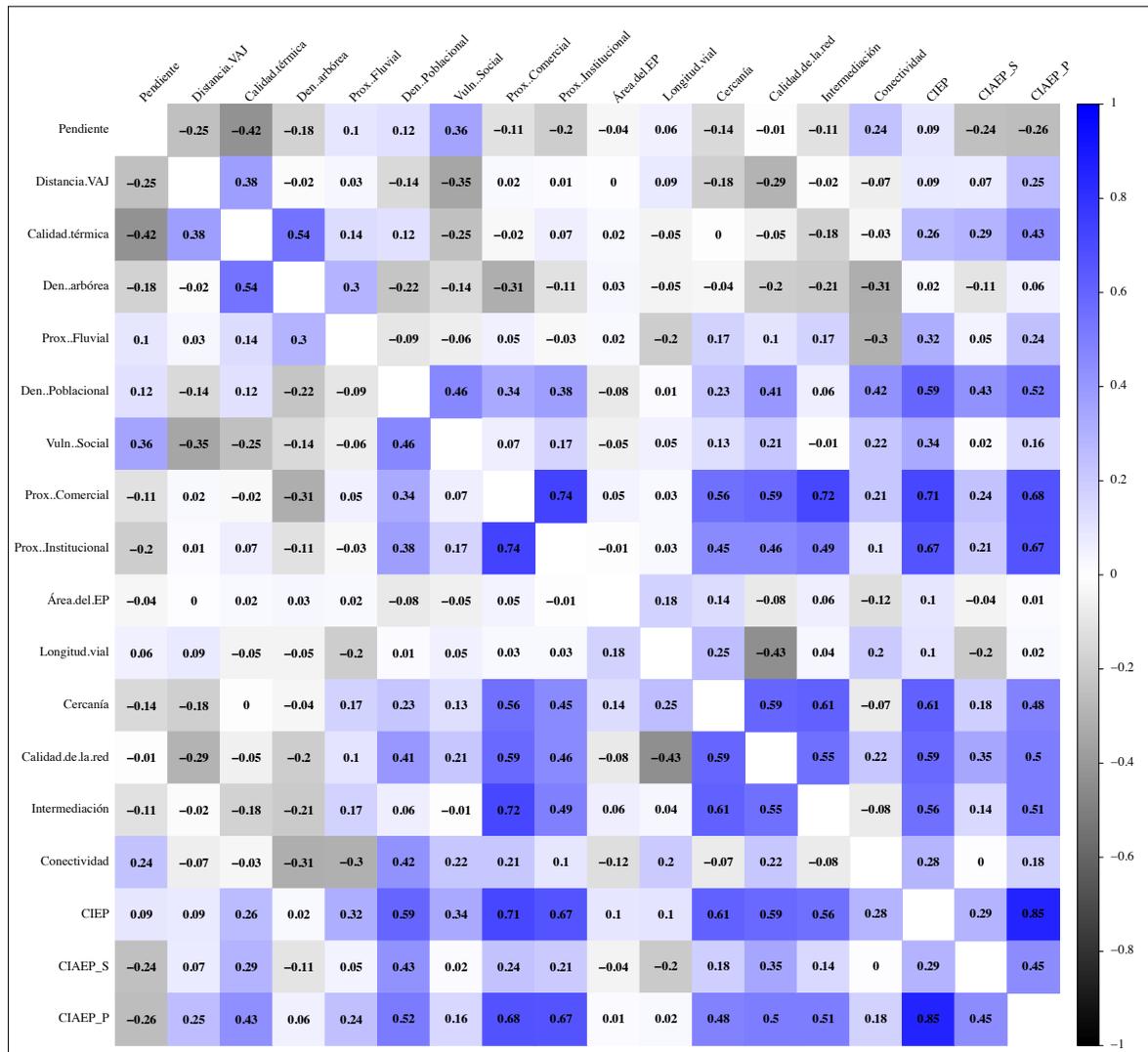


Figura 7. Matriz de correlación entre variables de la CIEP.

Fuente: elaboración propia.

interacción/interdependencia entre las variables incorporadas, con una correlación máxima [1], negativa [-1] o nula [0].

El mayor predictor para la CIAEP [promedio] es la conectividad comercial [CCP: 0.76], y la conectividad institucional [CCP: 0.67]; asimismo, existe una influencia alta de variables morfológicas del tejido urbano [intermediación, CRPD, cercanía]. La CIAEP [suma] tiene el mayor predictor en la densidad poblacional [CCP: 0.43], la CRPD [CCP: 0.35], y la calidad térmica [CCP: 0.29], indicativas

de la consolidación/ vinculación de núcleos poblacionales. Destaca la correlación negativa de factores [pendiente, densidad arbórea] en la CIAEP.

Clasificación territorial basada en el espacio público

Finalmente, se presenta la clasificación del territorio urbano, de acuerdo con la aglomeración [o clústeres] derivado del Análisis de Clústeres Jerárquicos [HCA en adelante]; para ello, fueron incorporadas las 15 variables de la CIEP. La calibración y optimi-

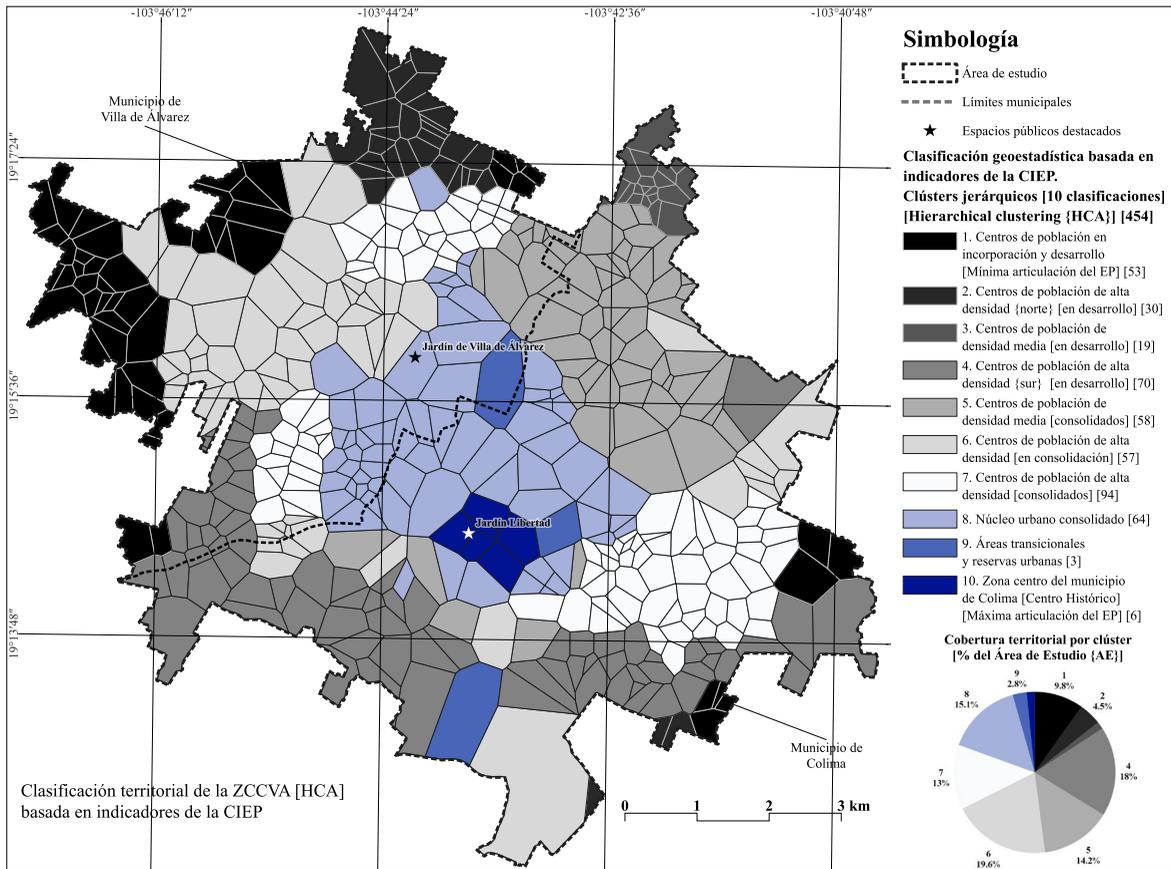


Figura 8. Clústeres jerárquicos [HCA] de la ZCCVA.

Fuente: elaboración propia con base en resultados de GeoDa (Hierarchical Cluster Analysis).

zación del modelo resultó en diez clústeres, representativos de sectores funcionalmente diferenciados de la ZCCVA. Las clasificaciones, heterogéneas en su cobertura poblacional, territorial y en la CIAEP adscrita a sus polígonos [pV], indican tipologías diferenciadas basadas en la articulación del EPU.

La importancia de los resultados del HCA resulta de la identificación de similitudes en los indicadores geostatísticos de la CIEP, cuyas clasificaciones en la ZCCVA responden a: 1) patrones de urbanización históricamente diferenciados; 2) densidades urbanas específicas y 3) grados de consolidación en la integración/vinculación del territorio urbano.

La Tabla 12 muestra la síntesis estadística del HCA; en ella se muestran las varianzas en la densificación poblacional y desempeño de la CIAEP de acuerdo con los clústeres identificados. Un

punto destacable resulta de la comparativa entre el clúster 10, correspondiente a la Zona Centro del Municipio de Colima, dónde existe la mayor articulación del EPU en la ZCCVA [0.94 CIAEP; promedio], respecto al clúster 7, representativo de los núcleos poblacionales de alta densidad, donde existe la mayor complementariedad del EPU [0.53 CIAEP; suma], con la mayor densidad poblacional, 197.41 % superior a la Zona Centro.

DISCUSIÓN

El EPU es un elemento determinante para la vinculación y funcionalidad de las ciudades; en la ZCCA se halló un patrón heterogéneo en la distribución y calidad del EPU, mismo que posibilitó la

Tabla 12. Clústeres jerárquicos [HCA]. Resumen estadístico.

| Clústeres [HCA] (#) | Den. (UDS) | Tipo | Cobertura | | | Población cubierta | | | CIAEP | | |
|------------------------|---------------|------|--------------|-----------|-----------|--------------------|------------|------------|-----------|------|------|
| | | | Área (ha) | AE (%) | pV (#) | ha/ pV | hab (#) | hab/ ha | AE (%) | P | S |
| 1 | Alta | EI | 700.98 | 9.94% | 53 | 13.23 | 29166 | 41.61 | 10.97% | 0.71 | 0.29 |
| 2 | Alta | ED | 324.7 | 4.61% | 30 | 10.83 | 18854 | 58.05 | 7.09% | 0.69 | 0.34 |
| 3 | Media | ED | 116.4 | 1.65% | 19 | 6.13 | 661 | 5.68 | 0.25% | 0.63 | 0.50 |
| 4 | Alta | ED | 1256.3 | 17.82% | 70 | 17.95 | 54529 | 43.40 | 20.52% | 0.76 | 0.33 |
| 5 | Media/baja | C | 992.5 | 14.08% | 58 | 17.11 | 18511 | 18.65 | 6.97% | 0.70 | 0.32 |
| 6 | Alta | EC | 1355.3 | 19.23% | 57 | 23.78 | 26848 | 19.81 | 10.10% | 0.70 | 0.30 |
| 7 | Alta | C | 944.08 | 13.39% | 94 | 10.04 | 58546 | 62.01 | 22.03% | 0.82 | 0.53 |
| 8 | Mixto-Alta | NU | 1057.80 | 15.01% | 64 | 16.53 | 52128 | 49.28 | 19.61% | 0.89 | 0.49 |
| 9 | Media | RU | 190.46 | 2.70% | 3 | 63.49 | 4231 | 22.22 | 1.59% | 0.56 | 0.21 |
| 10 | Mixto-Alta | CH | 110.11 | 1.56% | 6 | 18.35 | 2296 | 20.85 | 0.86% | 0.94 | 0.41 |

Nota: UDS: Uso de Suelo; EI: En incorporación; ED: En desarrollo; EC: En Consolidación; C: Consolidado; NU: Núcleo urbano; RU: Reservas urbanas; CH: Centro Histórico. [P]: Promedio; [S]: Suma.

Fuente: elaboración propia.

detección de jerarquías, aglomeraciones, complementariedades y sectores vulnerados por el déficit localizado sobre indicadores de la CIAEP. Según los resultados, el 29.24 % de la población y el 22.91 % del territorio urbano se encuentra cubierto por núcleos articulados del EPU, en contraste con el 21.06 % y 16.96 % vulnerado según su CIAEP; a ello, se adiciona un -61.24 % de la población en sectores con baja consolidación del EPU. La caracterización territorial basada en la CIEP determinó 10 subdivisiones de la ZCCVA, en donde destaca la Zona Centro del Municipio de Colima como núcleo directivo/central.

Los predictores de la CIAEP se diferencian de acuerdo con el criterio geoestadístico aplicado. El promedio localizado, representativo de la jerarquía sistémica del EPU en la ZCCVA, tiene un alto índice de correlación con la conectividad comercial [CCP: 0.68] e institucional [CCP: 0.67]. Ello coincide con los presupuestos teóricos de Jacobs (1961), Gehl (2004), e investigaciones recientes de Sevtsuk (2020) y Efeoglu *et al.* (2024), que abordan el impacto positivo del comercio urbano como un indicador de dinámicas y metabolismos que definen la vitalidad del espacio público urbano, así como su relación

con el grado de integración espacial entre componentes de dicho entorno; consecuentemente, los resultados obtenidos confirman dicha tendencia, ya que en la ZCCVA existen altos índices de correlación entre la CIAEP e indicadores de la eficiencia morfológica-espacial, atribuible a la centralización distributiva entre los valores máximos observados [CCP: 0.48, 0.50 y 0.51].

El agregado localizado de la CIAEP, representativo de la complementariedad del EPU, se correlaciona mayoritariamente con la densidad poblacional [CCP: 0.43], cuya asociación espacial está vinculada con núcleos barriales consolidados con alta densidad, coincidiendo con los resultados descritos por Li *et al.* (2024), acerca de la correlación geoestadística entre centros de recreación barrial [parques/jardines barriales en el contexto mexicano] y la densidad de centros poblacionales, que, en la ZCCVA, están asimismo vinculados con tipologías compactas de urbanización, definido por su interdependencia con la Calidad de la Red [CRPD; CCP: 0.35] en dichos núcleos urbanos [clúster 7 del HCA].

La incorporación de variables definitorias de la eficiencia espacial-morfológica del tejido vial urbano, emana de su potencial para identificar y

definir relaciones de interacción en los sistemas urbanos (Hillier, 2004), ya su configuración espacial es indicativa de patrones para la integración, vinculación y funcionalidad de los sistemas socio-ambientales (Hillier y Hanson, 2009; Van Nes, 2021); consecuentemente, los indicadores de la importancia o jerarquía vial específica [cercanía, intermediación, CRPD] posibilitan la ponderación de micro-varianzas espaciales (Kozhabek y Chai, 2025; Schön et al., 2024) sobre el análisis de la CIAEP, que brindan de «*lógica espacial*» específica al Subsistema de Espacios Públicos la ZCCVA. Tales pautas, contribuyen a la aplicabilidad/alcance de la NOM-001-SEDATU (2021), al incorporar criterios para definir la vinculación *global y relativa* del EPU dentro de un sistema urbano de cualquier escala.

Recientes contribuciones al entendimiento de los patrones espaciales en entornos urbanos, indican métodos para la determinación de tipologías urbanas a partir de patrones espaciales-morfológicos (Arribas-Bel y Fleischmann, 2022; Wang et al., 2023a), que configuran la «*firma espacial*» o identidad específica de sectores urbanos con base en sus estructuras distributivas de interacción espacial (Wu et al., 2024); en ese sentido, los resultados del HCA basados en la CIEP, posibilitaron la identificación de tipologías territorial-urbanas con base en el patrón distributivo del EPU, y su grado diferenciado para la articulación de la ZCCVA; en ello, destaca la detección de una tendencia semi-radial en torno a un núcleo fundacional, coincidiendo con la preponderancia de los centros históricos desarrollada por Bernabeu-Bautista et al. (2023) y Vázquez et al. (2024), atribuible a su valor simbólico, centralidad espacial, y a su alta vinculación, diversidad y accesibilidad de actividades, que, sin embargo, muestra la menor densidad poblacional [20.85 hab./ha] en zonas consolidadas.

La propuesta metodológica para el análisis del patrón distributivo de la CIAEP dentro de la ZCCVA contribuye al reconocimiento de la integración funcional en zonas conurbadas que rebasan límites formales/administrativos dentro de los asentamientos humanos. En términos comparativos, el estudio destaca respecto a perspectivas que parten de límites formales (Zhang et al., 2024; Ziari et al., 2024), teselaciones regulares (Luo et al., 2021; Longato et

al., 2023) o de la proximidad/densidad (Li et al., 2024), ya que los resultados presentados posibilitan el entendimiento del EPU como un elemento que configura el territorio urbano, basada en la distribución espacial, calidad integral, jerarquía específica, complementariedad y/o vinculación de sus componentes.

El estudio de la articulación territorial-urbana del EPU posee dos limitaciones principales. Por un lado, destaca la ausencia de datos o registros del sector informal, fundamental para la interacción socio-ambiental en el contexto mexicano (Vázquez et al., 2024). Por otro lado, la incorporación de valores cualitativos (calidad perceptual/sensorial/física de tramos viales o EPU), posee limitaciones dada la indisponibilidad o imprecisión de los datos, cuyo alcance y aplicabilidad puede nutrirse del análisis de imágenes para el entendimiento de patrones distributivos de la calidad del espacio urbano (por ejemplo, Hou y Biljecki, 2022), como nichos de investigación para el robustecimiento y complementariedad de la metodología propuesta.

CONCLUSIONES

Esta investigación presentó el estudio de la distribución territorial-urbana de la calidad del espacio público. Utilizando indicadores localizados definitorios de la calidad ambiental, articulación socio-ambiental, y eficiencia espacial-morfológica del tejido vial urbano, se planteó una metodología para identificar la jerarquía y complementariedad del EPU. Para ello se utilizó la distribución espacial del EPU, para la segmentación del territorio urbano en zonas vinculadas a cada elemento del subsistema de espacios públicos de la ZCCVA. Los resultados indican la tendencia centralizadora en la articulación funcional del EPU, con los mayores índices en torno al centro histórico del municipio de Colima, así como diez tipologías urbanas derivadas de la similitud geoestadística en los indicadores considerados, representativos de dinámicas diferenciadas en la disposición e integración del EPU.

Al incorporar indicadores referentes a la eficiencia del tejido vial urbano, emanados de la teoría de grafos y el análisis de redes, la propuesta metodo-

lógica provee de sentido o *lógica espacial* al análisis de la articulación del EPU; ellos representan la conectividad y alcance entre puntos del entorno urbano, así como el potencial para el desplazamiento humano. Su aplicación posibilitó la identificación de tipologías diferenciadas de acuerdo con patrones de urbanización y distribución del EPU, donde destaca la importancia de barreras físicas (de origen natural o humano) para la fragmentación de la ZCCVA, derivados de la presencia de cauces fluviales o anillos periféricos, deficitarios en la distribución y continuidad del EPU. Pese a su ausencia en la ZCCVA, la aplicación metodológica puede ponderar la presencia de redes paralelas/complementarias de desplazamiento humano, como lo son líneas aisladas de transporte público masivo en el cálculo de la vinculación espacial del EPU.

En cuanto a la integración y ajuste de la CIAEP, así como al procesamiento geoestadístico, se definió una tendencia *monocéntrica* en la jerarquía funcional del EPU en la ZCCVA, y *policéntrica* en cuanto a la complementariedad del EPU dentro de núcleos poblacionales consolidados; además, se detectaron sectores transicionales, periféricos o desarticulados, basados en el desempeño integrado y aglomeración jerárquica [HCA] del territorio urbano. El estudio presentado contribuye al entendimiento del EPU como un fenómeno espacial con propensión a la heterogeneidad, asimetría y potencial desigualdad en las ciudades, con una metodología aplicable sobre asentamientos humanos, independientemente de su escala y grado de integración física o funcional.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por su apoyo financiero mediante el programa de becas para estudios de posgrado. A los revisores, por sus observaciones y sugerencias en beneficio de la presente investigación.

REFERENCIAS

- 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. (2006), GeoDa : An Introduction to Spatial Data Analysis. *Geographical Analysis*, 38(1), 5-22. <https://doi.org/10.1111/j.0016-7363.2005.00671.x>
- Arribas-Bel, D. y Fleischmann, M. (2022). Spatial Signatures - Understanding (urban) spaces through form and function. *Habitat International*, (128), 102641. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2022.102641>
- Basu, R. y Sevtsuk, A. (2022). How do street attributes affect willingness-to-walk? City-wide pedestrian route choice analysis using big data from Boston and San Francisco. *Transportation Research Part A: Policy And Practice*, (163), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.06.007>
- 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>
- Cooper, C. (2021) Spatial Design Network Analysis (sDNA) Open version 4.2 Manual. Cardiff University. Disponible en https://sdna-open.readthedocs.io/_/downloads/en/latest/pdf/
- Cooper, C. y Chiaradia, A. J. (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>
- Da Fonseca, F. P., Ribeiro, P., Conticelli, E., Jabbari, M., Papageorgiou, G., Tondelli, S. y Ramos, R. A. R. (2022). 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>
- Dibble, J., Prelorndjos, A., Romice, O., Zanella, M., Strano, E., Pagel, M. y Porta, S. (2015). Urban Morphometrics: Towards a Science of Urban Evolution. <https://arxiv.org/abs/1506.04875>
- Efeoglu, H. E., Joutsiniemi, A. y Mozuriunaite, S. (2024). Exploring the plot patterns of the retail landscape: The case of the Helsinki Metropolitan area. *Environment And Planning B Urban Analytics And City Science*, 51(6). <https://doi.org/10.1177/23998083231213695>
- Ekkel, E. D. y De Vries, S. (2017). Nearby green space and human health: Evaluating accessibility metrics. *Landscape And Urban Planning*, (157), 214-220. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.06.008>
- Gehl, J. (2004). *Life between buildings: Using public space*.

- The Danish Architectural Press.
- 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. (2007). *Space is the machine: a configurational theory of architecture*. Space Syntax.
- Hillier, B. y Hanson, J. (2009). *The Social Logic of Space*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511597237>
- Hou, Y. y Biljecki, F. (2022). A comprehensive framework for evaluating the quality of street view imagery. *International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation*, (115), 103094. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103094>
- Houlden, V., De Albuquerque, J. P., Weich, S. y Jarvis, S. A. (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>
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). (2015). *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Disponible en https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/atlas-2016/files/assets/common/downloads/publication.pdf
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2019). Relieve continental. Modelo digital de elevación tipo superficie con 5 m de resolución. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/temas/relieve/continental/>
- INEGI. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Disponible en https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#datos_abiertos
- INEGI. (2023). Geografía y Medio Ambiente. Marco Geoestadístico Nacional [diciembre de 2023]. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=794551067314>
- INEGI. (2024). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). Estado de Colima. Disponible en https://www.inegi.org.mx/contenidos/masiva/denue/denue_06_shp.zip
- Jacobs, J. (1961). *The Death and Life of Great American Cities*. Random House.
- Kaplan, N. y Omer, I. (2022). Multiscale Accessibility—A New Perspective of Space Structuration. *Sustainability*, 14(9), 5119. <https://doi.org/10.3390/su14095119>
- Kaplan, S. (1995). The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework. *Journal of Environmental Psychology*, 15(3), 169-182. [https://doi.org/10.1016/0272-4944\(95\)90001-2](https://doi.org/10.1016/0272-4944(95)90001-2)
- Kozhabek, A., y Chai, W. (2025). A multi-scale network-based topological analysis of urban road networks in highly populated cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 0(0). <https://doi.org/10.1177/23998083251318067>
- Li, X., Kozłowski, M., Ismail, S. B. y Salih, S. A. (2024). Spatial Distribution Characteristics of Leisure Urban Spaces and the Correlation with Population Activity Intensity: A Case Study of Nanjing, China. *Sustainability*, 16(16), 7160. <https://doi.org/10.3390/su16167160>
- Liu, D., Kwan, M. y Kan, Z. (2021). Analysis of urban green space accessibility and distribution inequity in the City of Chicago. *Urban Forestry y Urban Greening*, (59), 127029. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127029>
- Longato, D., Cortinovis, C., Balzan, M. y Geneletti, D. (2023). A method to prioritize and allocate nature-based solutions in urban areas based on ecosystem service demand. *Landscape and Urban Planning*, (235), 104743. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104743>
- Luo, S., Liu, Y., Du, M., Gao, S., Wang, P., y Liu, X. (2021). The Influence of Spatial Grid Division on the Layout Analysis of Urban Functional Areas. *ISPRS International Journal Of Geo-Information*, 10(3), 189. <https://doi.org/10.3390/ijgi10030189>
- 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-Habitat. (2019). *Guía global para el espacio público*. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Habitat). Disponible en https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/06/guia_global_ep.pdf
- Rhoads, D. D., Solé-Ribalta, A. y Borge-Holthoefer, J. (2023). The inclusive 15-minute city: Walkability analysis with sidewalk networks. *Computers, Environment And Urban Systems*, (100), 101936. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2022.101936>
- Schön, P., Heinen, E., Rangul, V., Sund, E. R. y Manum, B. (2024). The impact of street network connectivity on active school travel: Norway's HUNT study. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 51(9), 2146-2163. <https://doi.org/10.1177/23998083241235978>
- 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>
- SEDATU (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano) y CONAPO (Consejo Nacional de Población y Crecimiento Demográfico).

- ción). (2020). *Sistema Urbano Nacional 2020 Parte 2*. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/951560/SUN_2020_Parte2.pdf
- SEDATU. (2019). *Programa Nacional de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano 2019-2024*. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/643102/PNOTDU_VERSION_FINAL_28.05.2021-comprimido.pdf
- SEDATU. (2021). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021, Espacios públicos en los asentamientos humanos. *Diario Oficial de la Federación*. Disponible en https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5643417&fecha=22/02/2022#gsc.tab=0
- Sevtsuk, A. (2020). *Street Commerce: Creating Vibrant Urban Sidewalks*. University of Pennsylvania Press. <http://www.jstor.org/stable/j.ctv16t6km0>
- Sevtsuk, A., Kalvo, R. y Ekmekci, O. (2016). Pedestrian accessibility in grid layouts: the role of block, plot and street dimensions. *Urban Morphology*, 20(2). <https://doi.org/10.51347/jum.v20i2.4056>
- Tveite, H. (2016). The QGIS Standard Deviation Ellipse Plugin. <http://plugins.qgis.org/plugins/SEllipse/>
- USGS (United States Geological Survey). (2024). Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2. Imagen satelital multibanda 30m LC08_L2SP_029047_20240304_20240315_02_T. Disponible en 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>
- Wan, C., Shen, G. Q. y Choi, S. (2021). Underlying relationships between public urban green spaces and social cohesion: A systematic literature review. *City, Culture And Society*, (24), 100383. <https://doi.org/10.1016/j.ccs.2021.100383>
- Wang, J., Fleischmann, M., Venerandi, A., Romice, O., Kuffer, M. y Porta, S. (2023a). EO + Morphometrics: Understanding cities through urban morphology at large scale. *Landscape and Urban Planning*, (233), 104691. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104691>
- Wang, X., Ouyang, L., Lin, J., An, P., Wang, W., Liu, L. y Wu, L. (2023b). 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>
- Wu, C., Wang, J., Wang, M., y Kraak, M. (2024). Machine learning-based characterisation of urban morphology with the street pattern. *Computers, Environment And Urban Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2024.102078>
- Yuill, R. S. (1971). The Standard Deviation Ellipse; An Updated Tool for Spatial Description. *Geografiska Annaler Series B Human Geography*, 53(1), 28. <https://doi.org/10.2307/490885>
- Zhang, K., y Chen, M. (2024). Multi-method analysis of urban green space accessibility: Influences of land use, greenery types, and individual characteristics factors. *Urban Forestry y Urban Greening*, (96), 128366. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128366>
- Ziari, K., y Zebardast, K. (2024). Spatial distribution and equity of urban green space provision in Tehran Metropolis using hybrid Factor Analysis and Analytic Network Process (F'ANP) model. *Geomatica*, 76(2), 100022. <https://doi.org/10.1016/j.geomat.2024.100022>