

4. Análisis espacial y relaciones socioambientales: un enfoque cuantitativo en la geografía aplicada

AYESA MARTÍNEZ SERRANO*

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.279.04>

Resumen

La geografía, como ciencia, ha evolucionado a través de diversas corrientes de pensamiento influenciadas por contextos históricos y filosóficos. La geografía cuantitativa busca describir y explicar la relación entre el entorno físico y social, utilizando métodos estadísticos y herramientas tecnológicas como las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG). Este enfoque cuantitativo ha sido potenciado por la geografía automatizada, que emplea cibernética e informática para mejorar la comprensión del espacio geográfico. La investigación presente enfocada desde la geografía aplicada enfatiza la importancia de entender las interrelaciones entre la población y el ambiente, adoptando un enfoque holístico que considera la dimensión socio-cultural, natural y del patrimonio construido. El análisis socioambiental se enfoca en las complejas relaciones entre sociedad y entorno, con especial atención a la dimensión territorial. Este análisis se basa en un proceso metodológico que incluye la compilación de datos, la aplicación de técnicas de análisis espacial y la diferenciación de áreas geográficas a partir de un conjunto de variables e indicadores. La metodología propuesta, basada en el Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA), permite identificar patrones espaciales y estructuras heterogéneas, facilitando la toma de decisiones

* Doctora en Ciencias Geográficas. Profesora de la Escuela Nacional de Estudios Superiores, unidad Mérida de la Universidad Nacional Autónoma de México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6987-6815>; Scopus: 2-s2.0-85128827728; correo: ayesa.martinez@enesmerida.unam.mx

informadas sobre la gestión territorial y el desarrollo sostenible. Al final, se obtiene un modelo de diferenciación espacial socioambiental, esencial para abordar los desafíos territoriales en áreas metropolitanas.

Palabras claves: *geografía cuantitativa, análisis espacial, relaciones socioambientales, geotecnologías.*

Introducción

En el contexto actual de la geografía aplicada, existen diversos estudios en búsqueda de soluciones ante las problemáticas ambientales en entornos urbanizados. “La geografía, como campo de generación de conocimiento científico, asume un proceso de transformación que se orienta en tiempos recientes hacia el uso generalizado de la geotecnología, donde el tratamiento y análisis de la información se presentan desde una perspectiva alternativa” (Oropeza y Díaz, 2007: 72). El estudio de los espacios de apropiación urbana, desde la perspectiva del análisis espacial nos brinda una visión diferente del paisaje y de la realidad social.

Desde la geografía, existen diversas contribuciones a los estudios socioambientales que van desde la descripción al análisis e interpretaciones teóricas, hasta el empleo de modelos matemáticos y estadísticos, que en la actualidad se enriquecen con el desarrollo tecnológico (Bocco y Urquijo, 2013). Entre las diferentes herramientas de las tecnologías de la información geográfica, encontramos los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE) mediante el Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA) sustentadas en las bases del análisis espacial, éstas brindan un amplio marco metodológico para la clasificación del espacio geográfico, porque permiten realizar análisis cruzados de diversas variables con facilidad, relacionar considerables volúmenes de datos y referirlos a determinadas unidades territoriales o espaciales (Humacata, 2014).

El análisis espacial por su contexto integrador, responde a las necesidades del entorno territorial y regional, de acuerdo con Madrigal *et al.* (2009): 141 “en los últimos diez años se ha originado un explosivo desarrollo de las demandas de información geográfica y de las diversas geotec-

nologías, que procesan de forma automatizada esa misma información, con la finalidad de resolver problemas ambientales y socioeconómicos, y son capaces de mejorar la eficiencia en el desempeño de empresas privadas y generar aplicaciones que implican el análisis territorial”. Por su parte, las geotecnologías desde el análisis espacial aportan un componente importante a las herramientas denominadas Sistemas de Apoyo a la Planeación (SAP) en especial por sus capacidades de modelamiento, visualización y comunicación impulsadas por los avances en Tecnologías de la Información Geográfica.

En este trabajo pretendemos realizar un recorrido de una propuesta metodológica para la clasificación multivariable que permita la diferenciación espacial de áreas homogéneas en espacios urbanizados y en procesos de urbanización. Se propone la exploración de la estructura social-urbana de zonas metropolitanas, en una aproximación que tiende a verificar el comportamiento de variables individuales y de conjunto, a partir de la inclusión de la dimensión espacial en la interacción entre bases de datos alfanuméricas y cartografía digital.

Esta propuesta se fundamenta en métodos cuantitativos, se apoya en los postulados de la geografía cuantitativa, la geografía automatizada y la geología del paisaje a partir de la concepción de la geometría como lenguaje espacial y de la representación gráfica a través de la matriz de datos geográfica, como un sistema organizador de datos geoespaciales, con el fin de estudiar las distribuciones y asociaciones de problemáticas socio-espaciales en la complejidad del contexto territorial, considerando la unidad geocológica del paisaje como la base espacial del análisis. Con ello, se logra una diferenciación como modelo territorial que evidencie las heterogeneidades espaciales, con fines de planificación.

Se emplea como caso de estudio la zona metropolitana de Morelia, en el estado de Michoacán de Ocampo en México, por ser un área interesante desde la perspectiva de las complejidades territoriales en la interacción de contextos urbanos, periurbanos y rurales.

Los resultados de esta propuesta metodológica para la diferenciación del espacio al interior de zonas metropolitanas constituyen un importante apoyo a las actividades de planificación y gestión, convirtiéndose en una herramienta aplicable para la toma de decisiones en el ordenamiento

territorial, facilitando la atención a la disposición espacial de las problemáticas socioambientales.

Aspectos conceptuales y metodológicos

La Geografía, como ciencia general desde su largo proceso evolutivo, ha desarrollado una amplia diversidad de líneas de pensamiento que han sido influenciadas por condiciones histórico-culturales específicas y responden a visiones ideológico-filosóficas particulares. Cada una de las corrientes visualiza lo ambiental desde una perspectiva interna, prioriza determinadas bases comunes de la geografía y a la vez genera sus propias categorías (Bocco y Urquijo, 2013).

Aproximaciones teóricas de la geografía cuantitativa y su relación con la perspectiva socioambiental

La geografía cuantitativa surge a mediados del siglo xx como una respuesta al empirismo descriptivo predominante en la disciplina hasta ese momento. Su desarrollo estuvo fuertemente influenciado por el positivismo lógico y la formalización de modelos matemáticos y estadísticos para la comprensión de fenómenos espaciales. A través del uso de métodos cuantitativos, se buscó generar explicaciones más rigurosas y predictivas sobre la organización del espacio geográfico.

Entre los principales referentes teóricos de la geografía cuantitativa se encuentran autores como Peter Haggett (1965), William Bunge (1962) y David Harvey (1969), quienes promovieron el uso de modelos matemáticos y estadísticos para analizar patrones espaciales. Asimismo, la incorporación de teorías de la economía espacial, como las propuestas por Walter Christaller (1933) y August Lösch (1940) dotaron a la geografía de herramientas analíticas para estudiar la distribución y organización del territorio.

Desde una perspectiva socioambiental, la geografía cuantitativa ha permitido evaluar la distribución y el impacto de fenómenos ambientales, como la contaminación, el uso de suelo y el cambio climático. Modelos de teled-

tección y Sistemas de Información Geográfica (SIG) han fortalecido su aplicabilidad en el análisis de riesgos naturales y en la planificación territorial sustentable.

Geografía cuantitativa y su impacto en la resolución de problemas territoriales contemporáneos

La geografía cuantitativa emergió durante la llamada “revolución cuantitativa” en las décadas de 1950 y 1960, cuando los geógrafos comenzaron a adoptar enfoques estadísticos para explicar la distribución y las relaciones espaciales de diversos fenómenos. Con el tiempo, esta corriente fue criticada por su supuesta falta de consideración de los aspectos sociales y humanos, lo que llevó a la aparición de enfoques más integradores, como la geografía humanista y la geografía crítica.

No obstante, en la actualidad, la geografía cuantitativa ha evolucionado para incorporar dimensiones socioambientales en su análisis. Herramientas como la modelación espacial y el *big data* permiten abordar problemas territoriales contemporáneos, como la distribución de servicios urbanos, la movilidad sustentable y la gestión de desastres naturales. Trabajos recientes, como los de Goodchild (2010) sobre SIG y ciencia de la información geográfica, han ampliado el alcance de la geografía cuantitativa en la toma de decisiones para el desarrollo sostenible.

En conclusión, la geografía cuantitativa, lejos de ser un enfoque limitado a modelos matemáticos abstractos, ha demostrado su relevancia para comprender la complejidad del territorio y contribuir a soluciones pragmáticas ante los retos socioambientales actuales.

Por su parte, la Geografía Cuantitativa trata de describir y explicar las relaciones que existen entre el medio físico y el social, explica los procesos y la dinámica del espacio geográfico y para ello utiliza métodos estadísticos y herramientas de cómputo, que facilitan el uso de grandes bases de datos, modelos matemáticos y otras importantes herramientas como las Tecnologías de la Información Geográfica. De esta manera, el enfoque que se aplica busca mostrar la diferenciación espacial de las problemáticas sociales o de otra índole, determinar el alcance de éstas y caracterizar las necesidades locales

de manera aproximada en cualquier espacio geográfico o contexto territorial (Buzai y García de León, 2015). Conforme a lo anterior, el enfoque cuantitativo apoya el pensamiento geográfico en el marco de una ciencia aplicada, que actualmente se complementa a través del uso de las geotecnologías, que han quedado integradas a partir de la geografía automatizada. Los procedimientos y herramientas desde este enfoque automatizado fortalecen la perspectiva espacial de los estudios sociales y utiliza como medios principales la cibernética y la informática para tener una nueva visión del espacio geográfico.

Las perspectivas de análisis desde la geografía se enfocan en la estrecha vinculación con la noción de ambiente y su dimensión territorial. Resulta conveniente tener en cuenta la relación geografía y ambiente, establecer los postulados teóricos y funcionales, para remarcar sus intereses y fronteras conceptuales frente a otras disciplinas y con ello posibilitar la interacción y el acercamiento con otros campos enfocados en las problemáticas ambientales (Bocco y Urquijo, 2013). La concepción ambiental fue configurándose como una problemática en la que predominaba la integración entre los elementos Naturaleza y Sociedad, por lo que las principales características del paradigma ambiental muestran que el mismo es holístico, sistémico, integrativo y complejo.

En resumen, el siguiente trabajo se fundamenta en el análisis espacial desde el abordaje geográfico aplicado, bajo los supuestos de focalización espacial, a través de la definición corológica y sistémica, para la búsqueda de resultados que nos permitan aprender el contexto territorial de un paisaje transformado y sea de utilidad para la toma de decisiones (Santarelli y Campos, 2002; Delgado Mahecha, 2003; Buzai y Baxendale, 2006, Humacata, 2014).

El análisis espacial desde lo socioambiental

Siguiendo el paradigma ambiental, el análisis de las interrelaciones entre la población y el ambiente requiere de la consideración explícita de un conjunto de criterios conceptuales, que posibiliten mayor precisión y aproximación a la realidad. Lo anterior implica que el potencial de desarrollo sustentable de un determinado espacio, es el resultado de una compleja y dinámica relación entre las tres principales dimensiones que interactúan en el mismo;

la dimensión socio-cultural que incluye a la población y su organización como sociedad, la dimensión natural que se refiere a las características de los componentes naturales y su interacción en el espacio y las condiciones de los recursos naturales y la dimensión del patrimonio construido que incluye la infraestructura física y tecnológica (Guttman *et al.*, 2004).

No obstante, la sociedad se relaciona con su entorno de múltiples formas culturales, sociales, políticas, económicas y ambientales, este último término “ambiente” puede ser interpretado de diferentes maneras, en este trabajo retomamos la concepción del ambiente como el medio biofísico y natural apropiado y transformado por la acción humana. Bajo este contexto, el término socioambiental considerado en esta investigación está definido por la correlación entre las variables sociales y el espacio transformado en que se ubican. “El desarrollo social urbano, por su esencia multifacética y su concreción territorial, posee una estructura típica multivariada, ya que no puede medirse por una única variable, sino que lo caracterizan, por definición, un conjunto de variables e indicadores de diferente índole, que pueden ser sintetizados” (Perón *et al.*, 2018: 181).

Limitaciones del enfoque cuantitativo

A pesar de sus numerosas ventajas, la geografía cuantitativa presenta ciertas limitaciones que pueden afectar los resultados alcanzados. Una de las principales críticas radica en su dependencia de datos numéricos, los cuales pueden estar sujetos a errores de recolección, escalas inadecuadas o una simplificación excesiva de fenómenos complejos (Goodchild, 2010). Esto puede llevar a interpretaciones sesgadas si no se consideran adecuadamente las limitaciones metodológicas y las incertidumbres inherentes a los modelos utilizados.

Asimismo, la estandarización de variables y el uso de modelos matemáticos pueden reducir la complejidad de los fenómenos socioespaciales, obviando factores cualitativos que pueden ser esenciales para una comprensión integral del territorio (Harvey, 1969). La sobredependencia en herramientas computacionales y geotecnologías, como los SIG, puede generar una falsa sensación de precisión, sin considerar que los resultados están condicionados por la calidad y representatividad de los datos ingresados (Goodchild, 2010).

Otro desafío significativo es la objetividad en la selección y ponderación de variables, ya que estas decisiones pueden estar influenciadas por el marco teórico adoptado, lo que introduce sesgos en la interpretación de los resultados (Haggett, 1965). Además, el enfoque cuantitativo tiende a privilegiar patrones espaciales y correlaciones estadísticas, dejando de lado las dimensiones subjetivas y contextuales de la realidad geográfica (Harvey, 1969).

Propuesta metodológica

Los procedimientos metodológicos que se presentan responden a los objetivos planteados y se requiere de tres procesos principales: compilación, análisis y diferenciación. El proceso de compilación comprende la definición de unidades espaciales para el análisis, la selección de indicadores a evaluar y el tratamiento matricial de los datos. El procedimiento de análisis está conformado por la aplicación de técnicas de clasificación univariada, bivariada y multivariada al conjunto de índices e indicadores seleccionados mediante el Análisis exploratorio de Datos Espaciales (ESDA), que en palabras de Anselin, 1999, (citado por Chasco Yrigoyen, 2003), puede definirse como el conjunto de técnicas que describen y visualizan las distribuciones espaciales, identifican localizaciones atípicas o “atípicos espaciales” (spatial outliers), resaltan esquemas de asociación espacial, agrupamientos (clusters) o sitios “calientes” (hot spots) y sugieren estructuras espaciales u otras formas de heterogeneidad espacial. Por último, se obtiene el modelo de diferenciación espacial socioambiental de la zona metropolitana a través de la ponderación de los criterios seleccionados y el análisis jerárquico.

Compilación

Definición de unidades espaciales para el análisis

Las unidades espaciales para el análisis se obtuvieron de un trabajo de investigación precedente denominado unidades geoecológicas, que hacen

referencia a las áreas donde coinciden una misma unidad del paisaje físico-geográfico y la combinación de coberturas terrestres y tipos de usos de suelo y por tanto la misma combinación de procesos de degradación y problemáticas ambientales, cuando son obtenidas en un contexto de ciudad pueden ser nombradas como unidades del paisaje urbano o paisaje antropogénico. No obstante, de acuerdo con los enfoques y escala en que se aplique esta metodología, se pueden utilizar unidades administrativas como; Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEBs), manzanas, colonias, etc.

Selección de los indicadores

Los indicadores por seleccionar dependen de la escala espacial y temporal que representan y de la disponibilidad de datos. La presente investigación sigue el método de agregación, a través de dos índices de síntesis, que compilan dos grupos de indicadores e índices cuantitativos representativos de la complejidad socioambiental del territorio, que conforman los índices de condiciones socio-habitacionales y de degradación del entorno.

Grupo I. Evaluación de variables socio-habitacionales: este índice permite definir modelos de comportamiento espacial de una ciudad con relación a la situación socio-habitacional, a escala territorial, con la finalidad de enfocar la condición multidimensional y multifactorial que presenta el desarrollo urbano y su dimensión social, considerando variables estratégicas socio-habitacionales. Se intentó cubrir un amplio espectro de variables dentro del marco de la información disponible, relacionadas con aspectos demográficos, de salud, educacionales, de hogares, de calidad de la vivienda y la infraestructura de servicios.

La selección se realiza con la finalidad de que sean indicadores capaces de sintetizar la problemática social referente a la demografía, educación, salud y habitacionales, ya que son dimensiones que muestran de forma multilateral el desarrollo urbano. Para ello se utiliza el criterio de los expertos, a partir de su grado de conocimiento en la temática, la experiencia profesional y nivel de responsabilidad en la elaboración de políticas públicas. En la investigación, como apoyo, se consultaron los planes de desarrollo urbano de los municipios de Morelia y Tarímbaro, variados informes académicos del Centro de Investigación en Geografía Ambiental (CIGA) y se

realizaron pláticas con personal del Ayuntamiento de Morelia y académicos especialistas en estudios urbanos.

Grupo II. Evaluación de la degradación del entorno: este grupo de indicadores e índices tienen el objetivo de evaluar el estado de los componentes biofísicos del paisaje ya urbanizado (paisaje cultural), en función de las implicaciones que tienen éstos para el territorio. Con los índices que se estudian, se busca interpretar los niveles de degradación en los componentes naturales en función de los aspectos o problemas resultantes de la interacción entre el sistema social y las transformaciones en el espacio natural. Las ciudades son el espacio donde se concentra la mayor parte de la población humana y de sus actividades, por ello, en su territorio coexisten numerosos problemas relacionados con el aprovechamiento de los recursos naturales y con la organización y funcionamiento en equilibrio con el entorno.

Obtención de las matrices de datos geográficos

La matriz geográfica se refiere a una tabla de doble entrada que representa valores de una serie de características (columnas) y unidades espaciales (filas). “Ello permite asignar cada hecho geográfico ubicado en una estructura fila-columna, a una porción específica del espacio geográfico con determinada resolución espacial... La denominada matriz geográfica es el resultado de la combinación de vectores fila (j-unidades espaciales) por vectores columnas (i-variables), por tal motivo una diferenciación en las escalas de trabajo estaría brindada por la forma de interpretar esta organización. Surgen a partir de aquí tres perspectivas de análisis: un sentido vertical o regional, uno horizontal o sistemático y otro en profundidad (diferentes matrices superpuestas) o temporal” (Buzai *et al.*, s/f: 5).

Los datos geoespaciales o variables provienen de diversas fuentes de información oficiales que están referidos a diferentes unidades espaciales administrativas, es por ello que se deben obtener las variables con valores absolutos y no los indicadores o variables relativas que refieren la información de acuerdo a estas áreas (porcentajes, tasas). Como parte de la organización de los datos que se obtienen para el cálculo de los indicadores e índices, se conforma la matriz de datos originales (MDO) considerando en las filas las unidades espaciales de análisis (unidades geoecológicas) y el

grupo de variables absolutas seleccionadas en las columnas, para ello se realiza una intersección espacial mediante *Arcgis 10.8*, para transferir los datos de diferentes aspectos y fuentes (sociales, biofísicos y ambientales).

A partir de la MDO se realiza el cálculo de los indicadores e índices, de los que se obtienen los valores relativos a cada unidad espacial de análisis, los resultados del cálculo se organizan en una nueva matriz. Esta matriz es denominada Matriz de Datos Índices (MDI) y mantiene la estructura de las filas, pero ahora en las columnas se representan índices o indicadores.

Posteriormente se realiza un tratamiento estadístico a los datos en la MDI con el objetivo de homogenizar los indicadores, debido a la diversidad de unidades de medidas en que se obtienen los indicadores e índices; ello se realiza mediante el puntaje estándar. El puntaje Z (estándar); es un coeficiente de variación que se utiliza cuando se desea obtener una síntesis en la comparación entre variaciones de indicadores que han sido obtenidos en diferentes unidades de medida. Este método es presentado por Haggett (1977) empleado para las clasificaciones o tipologías espaciales, además de ser utilizado por Buzai en casi toda su obra. Se obtiene aplicando la siguiente ecuación a los valores por columna en la MDI:

$$Z_i = \frac{(X_i - m)}{\sigma}$$

donde:

X_i = es el valor que posee cada unidad espacial

M = es el promedio del indicador

Σ = es la desviación estándar

Cuando el procedimiento se realiza a todos los indicadores, cada columna de la MDI pasa a ser una columna de puntajes Z, que se desvía en valores positivos y negativos, al realizar esto se debe comprobar que los resultados arrojen: $\Sigma=0$, $m = 0$, y $\sigma =1$ por cada indicador. Como resultado de aplicar este proceso de homogenización del valor de los indicadores, estos se hacen comparables y la matriz anterior se transforma en la Matriz de Datos Estandarizados (MDZ).

Por otro lado, es muy importante tener en cuenta la intensidad o sentido que miden los indicadores seleccionados, en función de la definición de los indicadores de beneficio y de costo, con la finalidad de obtener una clasificación de unidades espaciales, mediante indicadores de planificación territorial. Definimos a los indicadores de beneficio como aquellos que en sus máximos valores expresan una situación de máxima favorabilidad o bienestar (por ej. Nivel de Escolaridad Alcanzado); y los indicadores de costo son aquellos que en sus máximos valores expresan una situación de máxima desfavorabilidad o desventaja (por ej. Necesidades Básicas Insatisfechas en las viviendas). Para homogenizar los datos bajo este criterio de intensidad o sentido se aplica un procedimiento de reclasificación, el cual permite obtener una nueva capa temática, más simplificada y una capa binaria con valores temáticos de 1 a 5, con mejores posibilidades de interpretación. La clasificación por grado de intensidad parte de la Matriz de Datos Estandarizados, mediante los cuales se procede a la generación de cartografía síntesis que resume las situaciones de favorabilidad/desfavorabilidad para el índice sumario, esto genera una nueva matriz: Matriz de Datos Categorizados (MDC), ver tabla 1.

Tabla 1. Valor por nivel de intensidad para indicadores de beneficio y costo

Clasificación _SIG	Nivel de Intensidad	
	Indicadores de beneficio	Indicadores de costo
Muy alta	1	5
Alta	2	4
Media	3	3
Baja	4	2
Muy baja	5	1

Fuente: elaboración propia.

Método para el Proceso de Análisis Jerárquico. Árbol de decisiones

“El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), consiste en formalizar la comprensión intuitiva de un problema multicriterio complejo, mediante la construcción de un modelo jerárquico. Es una metodología para estructurar, medir y sintetizar. Ha sido aplicado ampliamente en la solución de una gran

variedad de problemas que permite estructurar el problema en forma visual"... El AHP utiliza comparaciones entre pares de elementos, construyendo matrices a partir de estas comparaciones, y usando elementos del álgebra matricial para establecer prioridades entre los elementos de un nivel, con respecto a un elemento del nivel inmediatamente superior" (Osorio y Orejuela, 2008: 248). El modelo jerárquico contiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas (Toskano, 2005), y tiene tres funciones básicas: estructurar la complejidad, medir en una escala y sintetizar.

El AHP es un método de síntesis con un enfoque sistémico, ya que analiza las decisiones a partir de la descomposición jerárquica, "tomando en consideración el objetivo general y las interdependencias existentes entre los conjuntos de factores, criterios y alternativas, por lo tanto, este método está enfocado en el sistema en general, y la solución que presenta es para la totalidad, no para la particularidad" (Osorio y Orejuela, 2008).

El principio del proceso de Saaty se fundamenta en dar valores numéricos a los juicios dados por las personas involucradas, logra medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende (Ávila, 2000), ver cuadro 2. El AHP dispone de un *software* de apoyo y su aplicación comprende una diversa gama de experiencias prácticas en campos muy diversos, el *software Expert Choice* es uno de los más utilizados para la aplicación del AHP (Toskano, 2005).

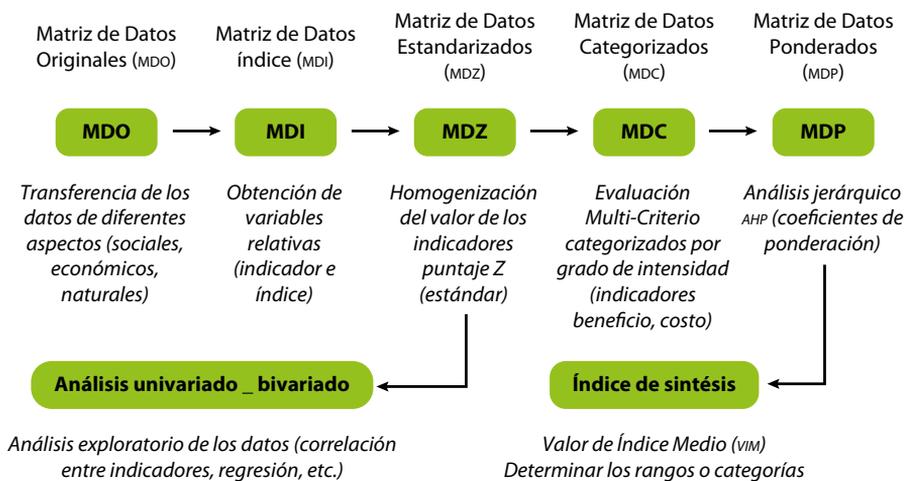
Tabla 2. Escala de preferencias de Saaty adaptada

<i>Planteamiento verbal de la preferencia</i>	<i>Interpretación</i>	<i>Calificación numérica</i>
De igual importancia	2 aspectos contribuyen de igual forma al objetivo	1
Moderada importancia	La experiencia y el conocimiento favorecen levemente a una actividad sobre la otra	3
Fuertemente importante	La experiencia y el conocimiento favorecen fuertemente a una actividad sobre la otra	5
Esencialmente importante	Una actividad es mucho más favorecida que la otra y su predominio se demuestra en la práctica	7
Extremadamente importante	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra es absoluta y totalmente clara	9
Valores intermedios	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes	2, 4, 6, 8

Fuente: elaborado por el autor adaptado de Toskano, 2005.

Una vez elaboradas las comparaciones pareadas, se calcula la prioridad que adquiere cada elemento (indicador) en términos de la meta global, que en este caso es la ponderación de los indicadores. Este proceso se conoce como la síntesis de los juicios, obteniendo como resultado la prioridad de cada atributo o indicador expresado en porcentaje, es decir, se obtiene la importancia o peso que adquieren los indicadores considerados en el análisis de cada grupo de indicadores. Posteriormente, se le asigna el coeficiente de ponderación a los valores de cada indicador correspondiente y con ello se genera una nueva matriz denominada Matriz de Datos Ponderados (ver figura 1).

Figura 1. Resumen del orden de las matrices de datos geográficas que se obtienen



Fuente: elaboración propia.

Análisis exploratorio de los datos espaciales

Para realizar el estudio de la estructura espacial socioambiental aplicaremos los métodos gráficos del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA), con el apoyo de la Matriz de Datos Índice (MDI).

Clasificación univariada

El análisis espacial univariado permite lograr una clasificación socioambiental a partir del estudio de un sólo tema o variable. De este modo, se llega a la definición de una diferenciación espacial sobre la base de los intervalos de clase definidos para el conjunto de datos. Como sostiene Sánchez (2007: 390) “para poder entender ese sistema habrá que empezar por analizar cada una de sus partes, y cada uno de los muchos y distintos aspectos en que se divide esa totalidad puede expresarse a través de una variable estadística para la cual también merece ser clasificado el espacio geográfico, y por supuesto también expresado cartográficamente”.

“El análisis estadístico univariado permite estudiar tres características que definen a una variable cuantitativa: su valor central o más representativo, su variabilidad en torno a ese valor central y su distribución de frecuencias” (Bosque, 1994:15). Como complemento a este tratamiento numérico de los datos geográficos se destaca la representación gráfica que se convierte en una herramienta para analizar de una forma rápida y eficaz la evolución, magnitud y distribución de un hecho (Carrera y Méndez, 1998:39).

Para el análisis exploratorio univariado, se aplica el gráfico box-plot que toma a la mediana como valor central y de ahí se definen los intervalos de clase en los que se dividirán el conjunto de unidades espaciales. En este caso, las unidades espaciales fueron agrupadas en cuatro intervalos de clase dando como resultado un mapa de cuartil (box-map), en el cual se resaltan los valores extremos tanto superior como inferior, generando dos categorías adicionales. Este gráfico y su derivación en el box-map, nos permitirán visualizar los valores anómalos en cada indicador.

Clasificación bivariada o análisis de correlación de indicadores

La clasificación bivariada del espacio geográfico surge a partir de la delimitación de áreas homogéneas que reúnen características similares internamente y que se diferencian del resto de las unidades espaciales. Considerar estas relaciones se debe a la intención de determinar la manera en que los valores medidos en las diferentes unidades espaciales varían conjuntamente.

te o, si se determina una situación de causa-efecto, de qué forma varía una cuando se modifica la otra; en general se trata de medir el grado de relación y la forma que toman, acercándose a uno u otro extremo. Cuando nos aproximamos a determinar la relación entre dos variables se hace notar que está caracterizada por tres elementos: la fuerza, el sentido y la forma de la relación (Bosque y Moreno, 1994), ello nos permite considerar el grado de relación entre los valores medidos en las distintas unidades espaciales.

Más allá de la descripción de las distribuciones espaciales, cuya fase es fundamental en el análisis, se debe conocer la relación entre las variables en el análisis socioespacial urbano, determinar la existencia y las características de la relación entre dos variables. En el análisis de asociación espacial, mediante gráficos de dispersión 2D (*scatterdiagram*), cada variable queda representada por un eje ortogonal (90°) y cada unidad espacial como un punto de localización x-y, a partir de sus valores de coordenadas en cada eje (Buzai y Baxendale, 2006). “Los valores de las variables en el diagrama fueron transformados a puntajes estándar (puntaje z), dando como resultado la definición de cuatro cuadrantes en el espacio de relaciones. De este modo, el cuadrante inferior izquierdo representa las unidades espaciales con valores bajos en ambas variables, el cuadrante superior izquierdo con bajos valores en x y altos en y, el cuadrante superior derecho con valores altos en ambas variables, y el cuadrante inferior derecho con valores altos en x y bajos en y. Cuando analizamos el sentido de la relación entre ambas variables se calcula la recta de regresión tomando la nube de puntos formada por todas las unidades espaciales en el sistema de coordenadas. Si la recta va desde el espacio (- -) al espacio (+ +) se dice que existe una relación positiva y cuando se dirige desde el espacio (- +) al espacio (+ -) la relación es negativa. Cuando la nube de puntos adquiere una forma redondeada, donde se hace imposible determinar un sentido, no existe correlación” (Humacata, 2015: 76).

Este método permite verificar a través de la creación del diagrama de dispersión la existencia de una efectiva relación entre dos variables y la dirección que tiene esta relación (negativa o positiva), en este caso la intensidad sólo puede intuirse; cuanto más cercano estén los puntos a la recta de regresión, mayor será la intensidad de la relación entre las dos variables y cuanto más dispersos estén, menor será su relación. Para lograr un valor cuantitativo que indique la intensidad de la relación se utiliza el coeficiente de corre-

lación de Pearson (r) que surge de la covarianza o variabilidad conjunta de las variables. Se puede obtener una correlación perfecta positiva ($r=1$), cuando los valores de una variable varían en la misma proporción que los valores de la otra, o una correlación perfecta negativa ($r=-1$), cuando los valores de cada variable varían completamente de forma inversa. Cuando se produce una distribución aleatoria, el coeficiente de correlación toma un valor $r=0$.

Siguiendo los objetivos planteados, en la presente aplicación vamos a realizar un análisis univariado mediante el gráfico y mapa de caja (box-map) resaltando los valores anómalos de los indicadores que presentan situaciones diferenciadas; y un análisis bivariado por diagrama de dispersión (*scatterdiagram*) con base en el coeficiente de correlación de Pearson, que nos permitirá agrupar las unidades espaciales con respecto a sus cuadrantes en el espacio de relaciones en una perspectiva 2D, para ello hemos tomado indicadores que determinan las relaciones entre situaciones de favorabilidad y desfavorabilidad, que nos permite realizar las primeras clasificaciones parciales.

Clasificación multivariada

“La clasificación multivariada del espacio geográfico genera como resultado una diferenciación areal en torno a la combinación de una gran cantidad de variables, las cuáles se consideran relevantes para llegar a la definición de unidades espaciales diferenciadas claramente mediante su configuración espacial, producto de la alta homogeneidad interna relativa y, por el contrario, de la heterogeneidad con respecto a las demás unidades espaciales o áreas geográficas” ...El análisis multivariado con el objetivo de clasificar un espacio puede aplicarse en dos direcciones: la primera, enfocada en la clasificación de los indicadores, para lograr macrovariables que integren los componentes de la problemática y la segunda, centrada en la correlación de unidades espaciales, para obtener áreas o regiones geográficas (Buzai y Baxendale, 2006; Sánchez, 2007). El resultado final de la clasificación multivariada es la construcción de áreas homogéneas como modelo espacial, que evidencia las heterogeneidades espaciales internas del área de estudio, siendo una representación simplificada de la realidad que expresa sus características más significativas” (Humacata, 2015: 77). Entre los métodos de análisis multivariado más comunes,

podemos mencionar el método del Valor Índice Medio (VIM), el Análisis Linkage, Análisis Clúster y el Análisis Factorial. Para la presente investigación aplicaremos el método del Valor del Índice Medio que forma parte de los métodos de clasificación alternativos, se le nombra “Metodología del Valor del Índice Medio”, porque se define por la obtención de un índice capaz de reflejar las condiciones generales de cada una de las macrovariables evaluadas.

Para ello, se utilizan los resultados del cálculo de los dos índices de síntesis tratados como macrovariables. Se debe tener en cuenta que esta metodología alcanza su mejor aplicación cuando está enfocada a determinar los casos, dentro de un conjunto de unidades territoriales, que tienen mayor semejanza entre sí como para conformar subconjuntos particulares, derivando tal semejanza a partir de la similaridad (homogeneidad) que existe entre el valor de las variables de esas unidades territoriales, de esa manera se evalúan las macrovariables de conjunto mediante un tratamiento matemático de relativa complejidad (García de León, 1997). Los dos índices de síntesis, como hemos explicado, son:

- referido al espacio relacional donde transcurre el desarrollo urbano; el índice de condiciones socio-habitacionales, que relaciona al hombre y sus necesidades de crecimiento, con indicadores demográficos, sociales, económicos y habitacionales.
- relacionado con el hombre y su capacidad de transformar el espacio geográfico; el índice de degradación del paisaje transformado, con indicadores de las problemáticas ambientales.

Cada una de estas macrovariables agrupan una serie de índices e indicadores que representan en su contexto diferentes problemáticas del territorio, mismas que, cuando se integran en una matriz, demuestran cómo se combinan para obtener de forma simultánea diferentes estados de la situación socioambiental del paisaje urbano al interior de las zonas metropolitanas.

Obtención del mapa de síntesis de la diferenciación socioambiental

Consiste en efectuar el cálculo del Valor de Índice Medio (VIM) para cada unidad geocológica sumando en el sentido de las filas la totalidad de las

calificaciones (c) obtenidas y dividir el resultado entre la cantidad de variables utilizadas (n), como se muestra a continuación:

$$VIM = \frac{\sum c}{n}$$

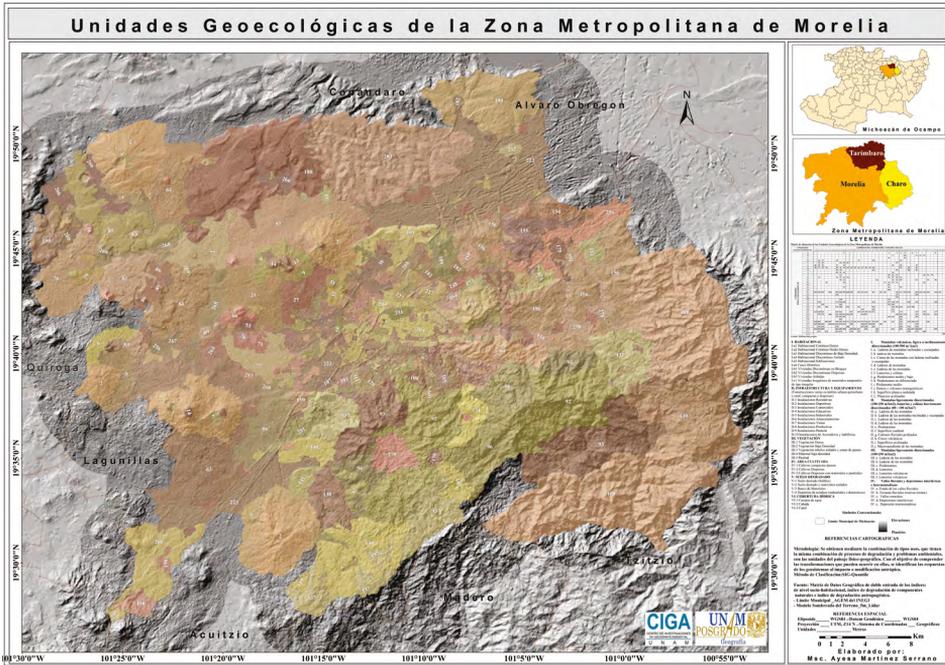
Por último, se clasifican las unidades geoecológicas sobre la base de cinco intervalos para realizar la cartografía síntesis (diferenciación espacial), con cinco categorías; dos rangos de valores superiores a la media del conjunto; uno cercano a la media y dos rangos de valores inferiores a la media del conjunto, este procedimiento se puede llevar a cabo de forma manual o se pueden aplicar los métodos de clasificación del SIG, desviación estándar o cortes naturales. Se recomienda realizar una comparación entre los resultados obtenidos por cada vía y con ello determinar la clasificación de las categorías que más se aproximan a los aspectos analizados.

A partir de la evaluación de la intensidad de los cambios en el sustrato natural y el grado de transformaciones en el paisaje urbano, resultado de la apropiación del espacio en el proceso de urbanización de la zona metropolitana, se describen las categorías de la diferenciación socio-ambiental: situación transformación leve, situación transformación media, situación transformación extensiva, situación muy transformado y situación transformación extrema, las cuales sintetizan la calidad socio-ambiental a través del modelo de los subsistemas físico-natural y económico-social, en las unidades geoecológicas.

Aplicación e interpretación de los resultados en la Zona Metropolitana de Morelia

Como mencionamos anteriormente, en la presente aplicación retomamos las unidades geoecológicas obtenidas en el trabajo (Martínez y Bollo, 2017), debido a que las mismas representan sistemas funcionales de la interacción entre la naturaleza y la sociedad que manifiestan la apropiación histórica del territorio y sus transformaciones; desde esta perspectiva, resulta recomendable emplear estas unidades espaciales, en los análisis de problemáticas sociales, económicas y ambientales (ver figura 2).

Figura 2. Mapa de unidades geológicas de la Zona Metropolitana de Morelia



Fuente: Martínez y Bollo (2017).

Selección de indicadores

Con ello se generan las matrices de datos geográficas, a partir de las cuales se realizan los análisis univariados y bivariados de los indicadores.

Tabla 3. Indicadores e índices seleccionados

Índice de condiciones socio-habitacionales		
Dimensión social	Porcentaje de la población sin derechohabencia a servicios de salud	costo
	Porcentaje de la Población de 15 años y más, analfabeta	costo
	Porcentaje de la Población de 18 años y más, con al menos un grado aprobado en educación media superior	beneficio
	Porcentaje de no asistencia a la escuela de la población en edad escolar normativa básica	costo
	Nivel de escolaridad alcanzado por la población	beneficio

<i>Índice de condiciones socio-habitacionales</i>		
Dimensión demográfica	Porcentaje de población de 0 a 14 años	beneficio
	Porcentaje de población de 15 a 64 años	beneficio
	Porcentaje de la población de 65 años y más	costo
	Atracción migratoria acumulada	costo
	Porcentaje de la población de 5 años y más residente en Estados Unidos de América, en junio 2005	costo
	Tasa de la población inmigrante reciente	costo
	Porcentaje de la población con discapacidad	costo
	Densidad de población	costo
Dimensión económica	Tasa de participación económica	beneficio
	Porcentaje de la población ocupada de 12 años y más, sin escolaridad	costo
	Índice de dependencia económica	costo
	Tasa de actividad económica	beneficio
Dimensión condiciones y servicios de la vivienda	Índice de servicios básicos insatisfechos (viviendas)	costo
<i>Índice de degradación del medio transformado</i>		
Componente vegetación	Índice de importancia de las zonas verdes	beneficio
	Índice de transformación de la cobertura vegetal natural	costo
	Índice de antropización de la cobertura superficial	costo
Componente suelo	Degradación de la permeabilidad del suelo por transformación de la cobertura terrestre	costo
	Degradación del suelo	costo
Componente hidrología	Densidad de drenaje superficial	beneficio
	Condiciones de riesgo hidrológico e hidrotécnico	costo
Componente relieve	Incompatibilidad entre pendiente y urbanización	costo
Componente geología	Riesgo por la presencia de fallas y fracturas	costo
Componente atmósfera	Estimación de la contaminación atmosférica promedio	costo
Dimensión antropogénica	Índice de modificación antropogénica por la presencia de elementos antrópicos en el paisaje	costo
	Calidad del entorno habitacional	beneficio

Fuente: elaboración propia.

Con ello se generan las matrices de datos geográficas, a partir de las cuales se realizan los análisis univariados y bivariados de los indicadores.

Aproximación del análisis univariado

Como se explicó anteriormente, el análisis univariado, mediante el gráfico de caja y su vinculación cartográfica, pretende resaltar los valores anómalos que toma cada indicador en la diferenciación socioambiental de las unidades

geoecológicas de la Zona Metropolitana de Morelia. A continuación, se presentan algunos de los resultados obtenidos como referencia de los análisis cuantitativos y cualitativos que se obtienen luego de aplicar estas técnicas, que se desarrollan en el *software* libre Geoda:

- Tasa de Población Inmigrantes Reciente (TPI-R)

Se observan, 50 (UGS) que representan los valores más extremos, destacados como valores anómalos en color café oscuro, correspondientes a la categoría “muy alto”, es decir situación desfavorable, teniendo en cuenta que es población que se ha trasladado a otros lugares abandonando la entidad de nacimiento. Estas unidades espaciales corresponden a las UGS: 71, 216, etc.; Fraccionamiento la Condesa, Conjunto Habitacional la Hacienda (ver tabla 4).

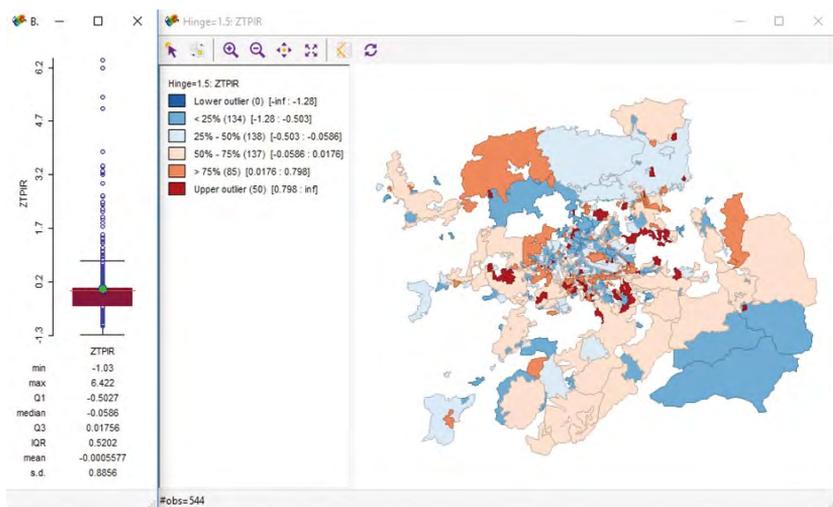
Tabla 4. Resumen por categorías del indicador Tasa de Población Inmigrantes Reciente (TPI-R)

CATEGORÍA	VALOR (estandarizado)	VALOR (porcentajes)	Unidades Geoecológicas (cantidad)
Muy bajo	-0.35852	0.34 – 1.87	72
Bajo	-0.20621	1.88 – 2.76	77
Medio	-0.23667	2.78 – 3.81	79
Alto	-0.33743	3.83 – 5.27	88
Muy alto	0.14643 - 6.42170	5.36 – 32.14	110
Sin datos	0	N/A	

Fuente: elaboración propia.

En el otro extremo perteneciente a la categoría “muy bajo” no tenemos unidades con esta condición, sólo existen varias unidades en la zona rural que no han tenido inmigrantes. En este caso la población inmigrante, se localiza principalmente en la zona periurbana sur del centro de la ciudad de Morelia; además, es alta en grandes fraccionamientos que existen en el margen entre la zona periurbana de los municipios Morelia y Tarímbaro; en este indicador es interesante observar cómo las unidades con valores extremos se encuentran principalmente en la zona periurbana (ver figura 3).

Figura 3. Gráfico y mapa Box Plot de Tasa de Población inmigrantes reciente a partir de software Libre Geoda



Fuente: elaboración propia.

- Porcentaje de la población sin derechohabencia a servicios de salud (SALUD2-R)

Se observan, 23 (UGS) que representan los valores más extremos, destacados como valores anómalos en color café oscuro, correspondientes a la categoría muy alto, es decir situación desfavorable, en el sentido de existir mayor cantidad de personas sin acceso a los servicios de salud en proporción con la población total (ver tabla 5).

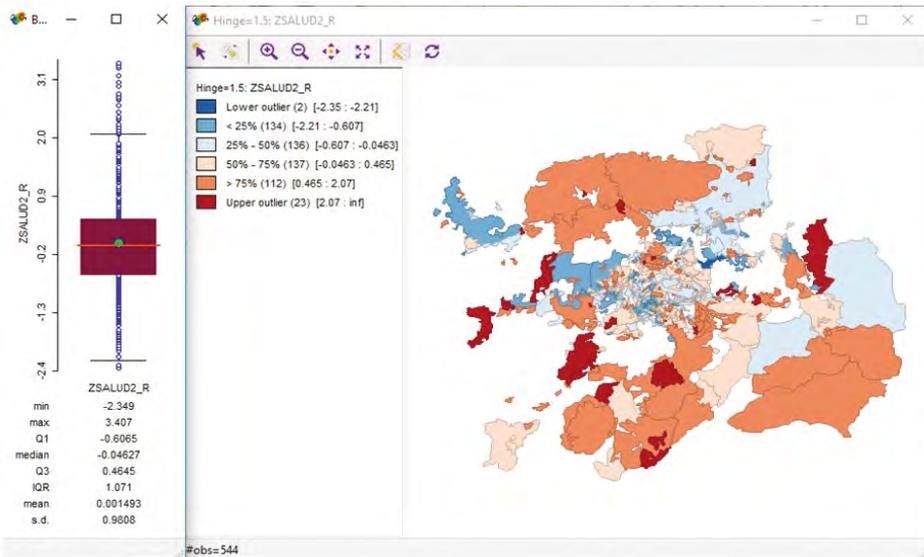
Tabla 5. Resumen por categorías del Porcentaje de la Población sin derechohabencia a servicios de salud (SALUD2-R)

CATEGORÍA	VALOR (estandarizado)	VALOR (porcentajes)	Unidades geoecológicas (cantidad)
Muy bajo	-1.57797	3.26 - 25.58	117
Bajo	-0.58325	25.71 - 33.96	116
Medio	-0.21704	33.99 - 37.06	58
Alto	0.04175 - 0.55218	37.08 - 44.30	116
Muy alto	0.55289 - 3.40694	44.31 - 84.68	116
Sin dato	0	N/A	

Fuente: elaboración propia.

Estas unidades espaciales corresponden a las UGS: 156-4, 149-3, 280, 208-10, 45-2, 55-4, 268-2, 216-1, 59, 141-1, 279, 137-5, 137-6, 5-2; Las Encinillas, Peña Cargada, Jaripeo, Fracc. México, Cuparátaro, Chiquimitío, Parastaco, Joyitas del Cuetazo, Crisoba Industrial (CEPAMISA), Quinta María José, El Aguaje, La Estancia, El Reparo, Tirio, Carindapaz (San Francisco) [Invernadero], La Ciénega (Torrecillas de Atécuaro), Torrecillas, El Arenal Atécuaro, La Laguna (Los Caracoles), El Arenal, Palo Amarillo, El Tejocote (La Cortina), Buenavista, Iratzio. En el otro extremo perteneciente a la categoría muy bajo, se encuentran las unidades: 248-1 y 218-20, Vasco de Quiroga y Ciudad industrial. Este indicador, se localiza con valores extremos principalmente en zonas rurales y en el sector norte del centro urbano de la ciudad de Morelia (ver figura 4).

Figura 4. Gráfico y mapa Box Plot del porcentaje de la población sin derechohabencia a servicios de salud a partir de software Libre Geoda



Fuente: elaboración propia.

Aproximación al análisis bivariado

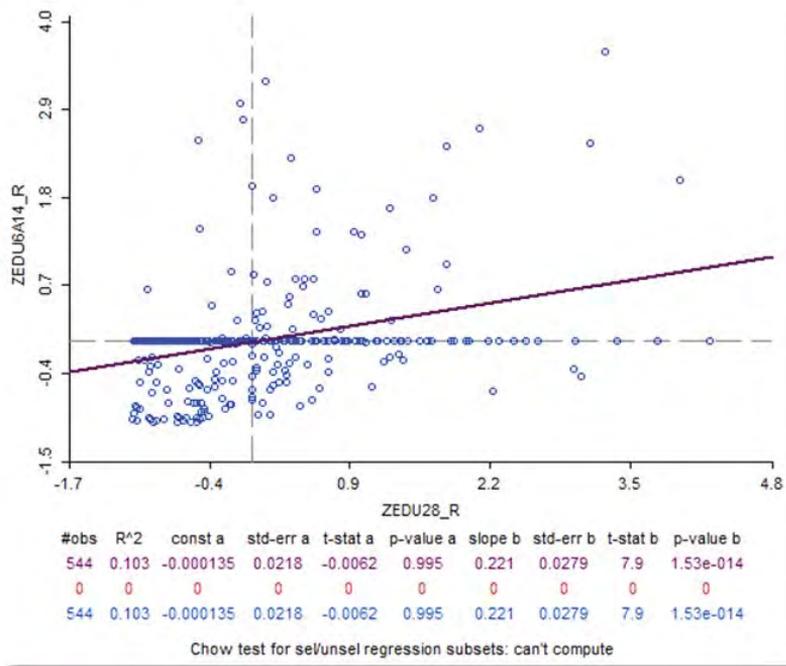
Mediante la flexibilidad que permite la interactividad en la vinculación de bases de datos alfanuméricas (variables) y gráficas (cartografía digital), la metodología del ESDA apoyada a través de los Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE) permite obtener las primeras clasificaciones del espacio geográfico. A continuación se presentan algunos de los resultados obtenidos como referencia de los análisis cuantitativos y cualitativos que se obtienen luego de aplicar estas técnicas, que se desarrollan con apoyo del *software* libre Geoda:

- Porcentaje población de 15 años y más analfabeta_EDU28_R y Porcentaje de la población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela_EDU6a14_R

El gráfico de dispersión realizado para el porcentaje población de 15 años y más analfabeta y porcentaje de la población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela, permite observar que existe una relación positiva entre estos indicadores, ya que la recta va desde el espacio (- -) al espacio (+ +). En este diagrama se puede apreciar que el coeficiente de correlación es de $r = 0.221$. Este resultado indica que la relación existente entre ambas variables es positiva, pero el grado de relación es muy baja ya que se encuentra por debajo de la media de $r = 1$. Esto implica que la población analfabeta todavía no se relaciona directamente con los niños que no asisten a la escuela, aunque éstos pueden convertirse potencialmente en esta población analfabeta en un futuro. La población analfabeta de 15 años y más, varía con respecto a la población de niños que no asisten a la escuela en un 10% (ver figura 5).

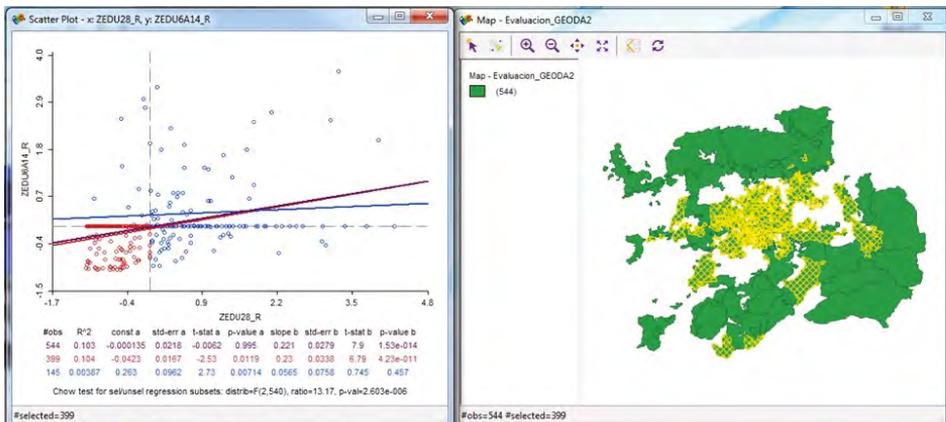
En la selección del cuadrante I, correspondiente al espacio (- -) (inferior izquierdo), se observa la distribución espacial de 399 UGS que poseen muy bajos valores en ambas variables y que representan el 73.35 % de las unidades espaciales con datos (544). Este porcentaje de UGS se distribuye en el espacio geográfico formando un agrupamiento de unidades contiguas; se distinguen el conjunto de unidades al centro del área urbana de la zona metropolitana de Morelia (ver figura 7).

Figura 5. Gráfico de dispersión de EDU28-R y EDU6a14-R a partir de software libre Geoda



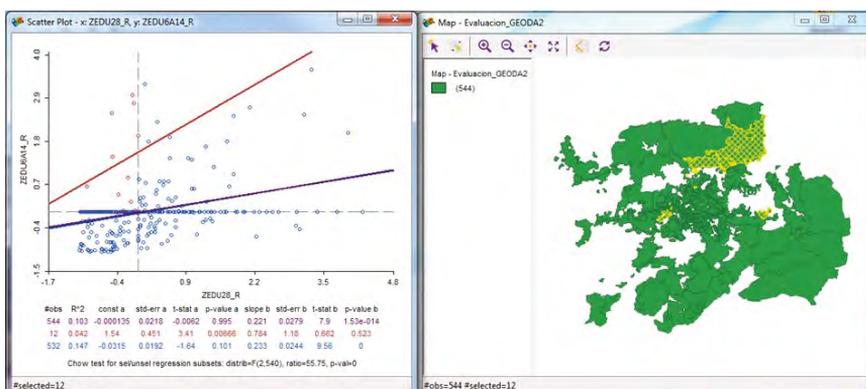
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Gráfico y distribución cuadrante I de EDU28-R y EDU6a14-R a partir de software libre Geoda



Fuente: elaboración propia.

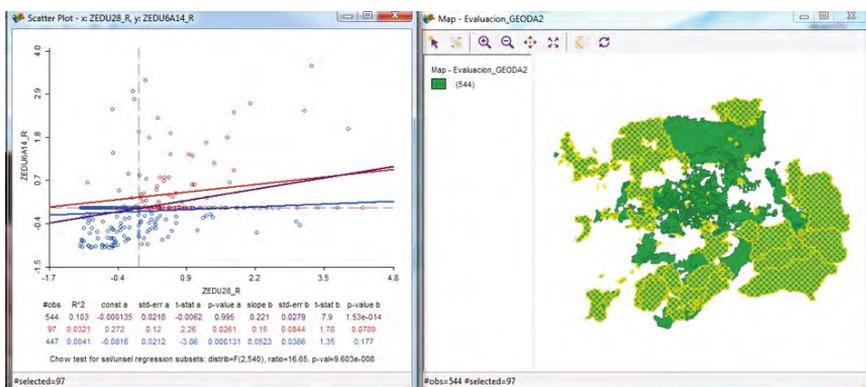
Figura 7. Gráfico y distribución cuadrante II de EDU28-R y EDU6a14-R a partir de software libre Geoda



Fuente: elaboración propia.

En el cuadrante II espacio (- +) (superior izquierdo) se pueden observar aquellas UG que cuentan con valores altos en el indicador del porcentaje de población de 15 años y más, analfabeta y bajos en la población de 6 a 14 años, que no asiste a la escuela. Son 12 unidades que representan el 2.21% de las unidades espaciales. Se observa que predominan estas unidades en el área rural del municipio de Tarímbaro (ver figura 8).

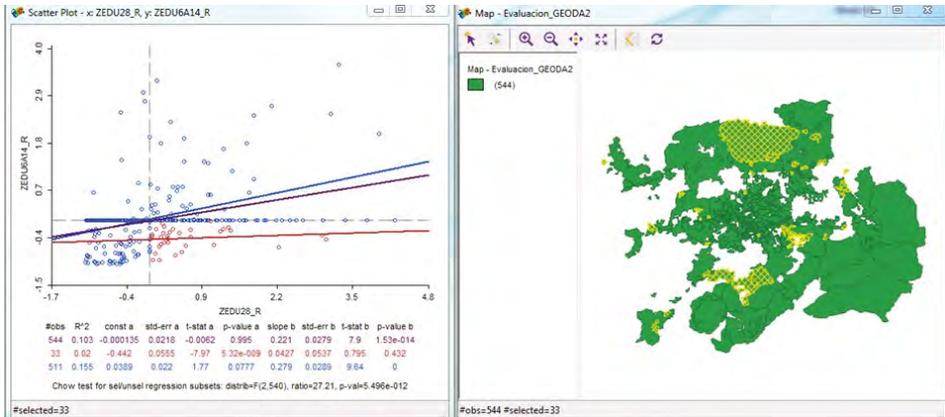
Figura 8. Gráfico y distribución cuadrante III de EDU28-R y EDU6a14-R a partir de software libre Geoda



Fuente: elaboración propia.

En el cuadrante III del espacio de relaciones (+ +) (superior derecho) se pueden observar cómo se distribuyen los valores más altos en ambos indicadores. La selección corresponde a 97 unidades que representan el 17.83% de las unidades espaciales. Estas unidades se distribuyen formando un gran agrupamiento de zonas contiguas en la zona rural. Estas zonas pudieran ser priorizadas para la gestión y ayuda educativa, ya que las mismas presentan una alta coincidencia en población analfabeta y niños que no asisten a la escuela, cabe mencionar que abarcan el municipio de Charo casi por completo (ver figura 9).

Figura 9. Gráfico y distribución cuadrante IV de EDU28-R y EDU6a14-R a partir de software libre Geoda



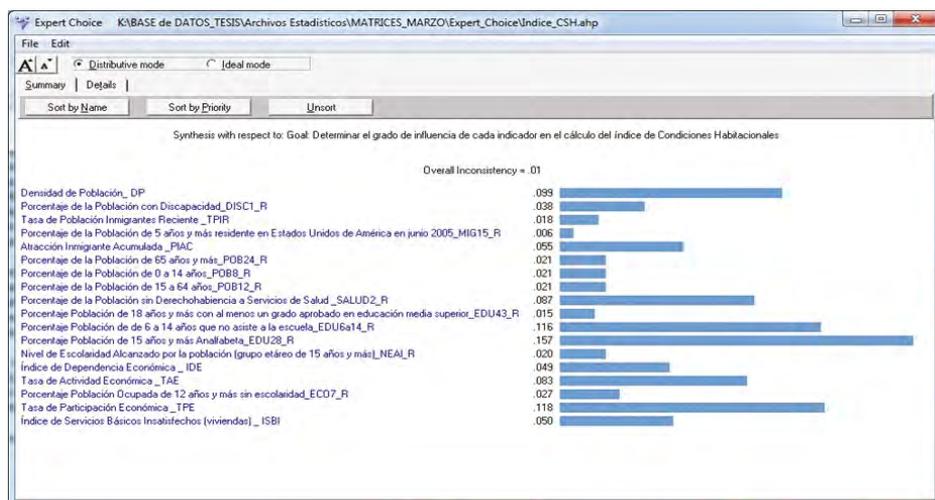
Fuente: elaboración propia.

El cuadrante IV espacio (+ -) (inferior izquierdo) señala que son 33 unidades geocológicas, que representan el 6.06%, que cuentan con altos valores en la Población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela, y bajos valores en Población de 15 años y más, analfabeta. En este caso la distribución de los indicadores es dispersa en el área metropolitana, pero sigue localizándose en la zona rural (ver figura 10).

Aproximación al análisis multivariado

Resultados del Proceso de Análisis Jerárquico. Árbol de decisiones_ICSH

Figura 10. Ejemplo de estructura de la ponderación final de indicadores, expertchoice. Obtención del Índice de Síntesis_ICSH



Fuente: elaboración propia.

A partir de la matriz de datos ponderados (MDPond_CSH), se suman los valores de forma horizontal en el sentido de las filas por cada polígono de unidad geocológica, el resultado se incluye en una nueva columna que se identifica como “índice de síntesis” que agrupa los indicadores que se analizan de las condiciones socio-habitacionales; con ello se genera una nueva y última matriz, denominada Matriz de Datos del Índice de Síntesis de las Condiciones Socio-Habitacionales (MDSi_ICSH).

- Índice Condiciones Socio-Habitacionales.

A continuación, se muestran los rangos de valores y Categorías del Índice Condiciones Socio-Habitacionales. Es importante señalar que se realizó un estudio de distribución de frecuencias al interior del rango 2 y se determinó, del análisis cuantitativo del gráfico de barras, realizar un punto

de corte en el valor de ISH = 2.091, y con ello generar dos subgrupos al interior de este rango (2). De esta manera, el rango 2 se subdivide en grupo 2.1 y grupo 2.2, para el análisis cualitativo de cada categoría del Índice sumario ICSH (ver tabla 6).

Tabla 6. Resultados cuantitativos de las Condiciones Socio-Habitacionales (ICSH)

Rangos por Condiciones Socio-Habitacionales	Cant. polígonos	Categorías por Condiciones Socio-Habitacionales	Población total (% en relación a la población de ZMM)	Superficie (% en relación al área total urbanizada o poblada)
3.655-4.233	36	Muy desfavorable	54 308 (6.6)	414.1 (29.4)
3.076-3.654	109	Desfavorable	83 439 (10.1)	1 3187.1 (93.4)
2.498-3.075	170	Poco favorable	383 807 (46.4)	338.4 (24)
2.082-2.497	110	Favorable a poco favorable	156 237 (18.9)	56.9 (4)
1.545-2.081	85	Favorable	145 424 (17.6)	97.3 (6.9)
0.592-1.544	52	Muy favorable	3 164 (0.4)	12.2 (0.9)
0	336	Sin población o datos no confiables	0	0
Total	898		826 379	14 106

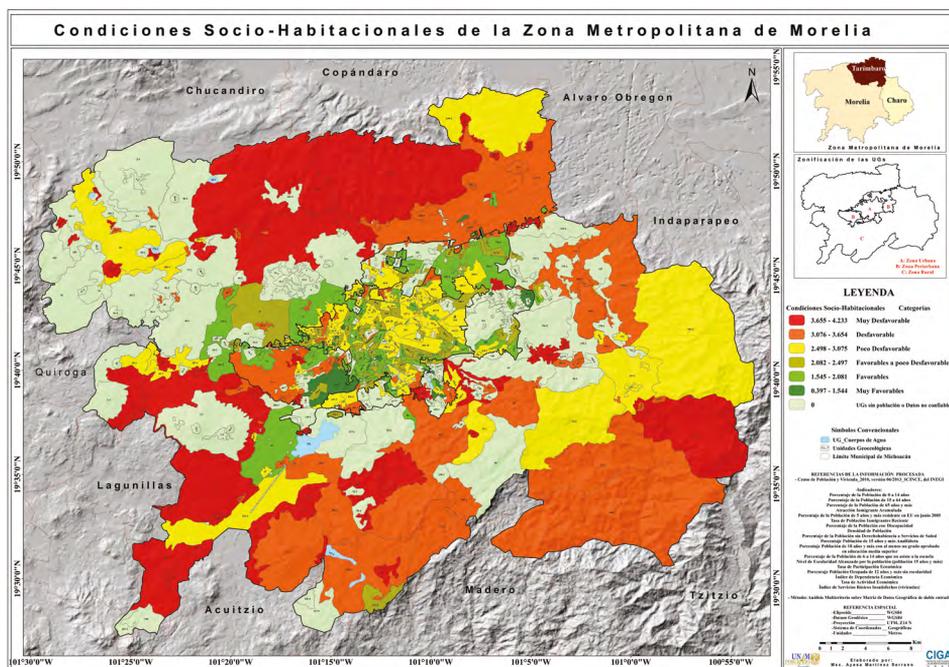
Fuente: elaboración propia.

En resumen, la Zona Metropolitana de Morelia tiene una extensión territorial de 1 934.6 km², de los cuales se encuentran ocupados por algún tipo de urbanización o población 1 532.2 km². Al interior de esta superficie poblada o urbanizada, se obtuvo información para la evaluación de 18 indicadores e índices en un área de 1 410.6 km², de la cual, como resultado, se consideran unidades que presentan condiciones muy favorables a Favorables en una extensión del 7.8% del total, en condiciones favorables a poco favorables se ubica el 28% y en condiciones desfavorable a muy desfavorable se incrementa un área representativa del 64% (ver figura 11).

Sobre estas condiciones generales la población, de un total de 828 154 tomada como referencia, es del 17.8% bajo condiciones muy favorables a favorables, el 64.5% habita en condiciones favorables a poco favorables con tendencias a Poco Favorables y el 16.4% se encuentra afectada por condiciones desfavorables a muy desfavorables, cabe destacar que en análisis de género, bajo estas condiciones de desfavorabilidad se encuentra una cantidad relativamente mayor de mujeres, ancianas y niñas, que de hombres en los mismos grupos etarios. A partir de la diferenciación de las condiciones

socio-habitacionales, mediante los indicadores e índices analizados, se considera que la mayor cantidad de población en la ZMM convive en situación favorable a poco favorable con tendencias a poco favorable y problemáticas sociales como analfabetismo, acceso a servicios básicos de salud y necesidades básicas en las viviendas.

Figura 11. Mapa del Índice de Condiciones Socio-Habitacionales de la Zona Metropolitana de Morelia



Fuente: Elaboración propia a partir de datos analizados.

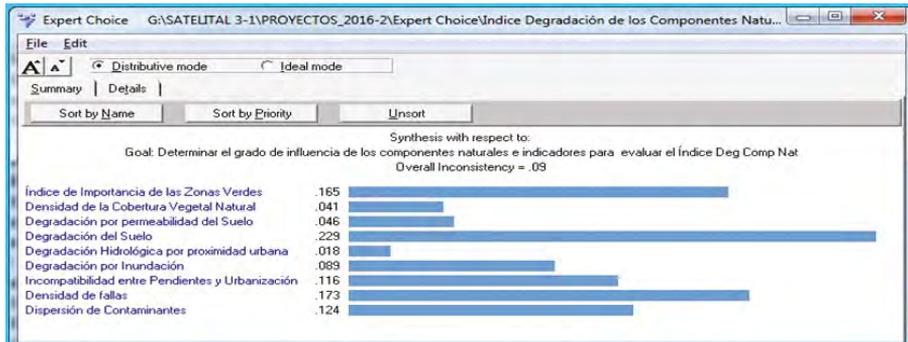
- Índice de Degradación del medio transformado

Resultados del Proceso de Análisis Jerárquico. Árbol de decisiones_IDMT

A partir de la matriz de datos ponderados (MDPond_DMT), se realiza el mismo procedimiento anteriormente explicado para el índice CSH, con ello se genera la Matriz de Datos del Índice de Síntesis de Degradación del me-

dio transformado (MDSi_DMT). A continuación, se muestran los rangos de valores y categorías del índice (ver tabla 7).

Figura 12. Ejemplo de estructura de la ponderación final de indicadores, expert choice obtención del Índice de Síntesis_IDMT



Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Resultados cuantitativos por categorías del índice de Condiciones Físico-Geográficas y Índice de Degradación del Medio Transformado (IDMT)

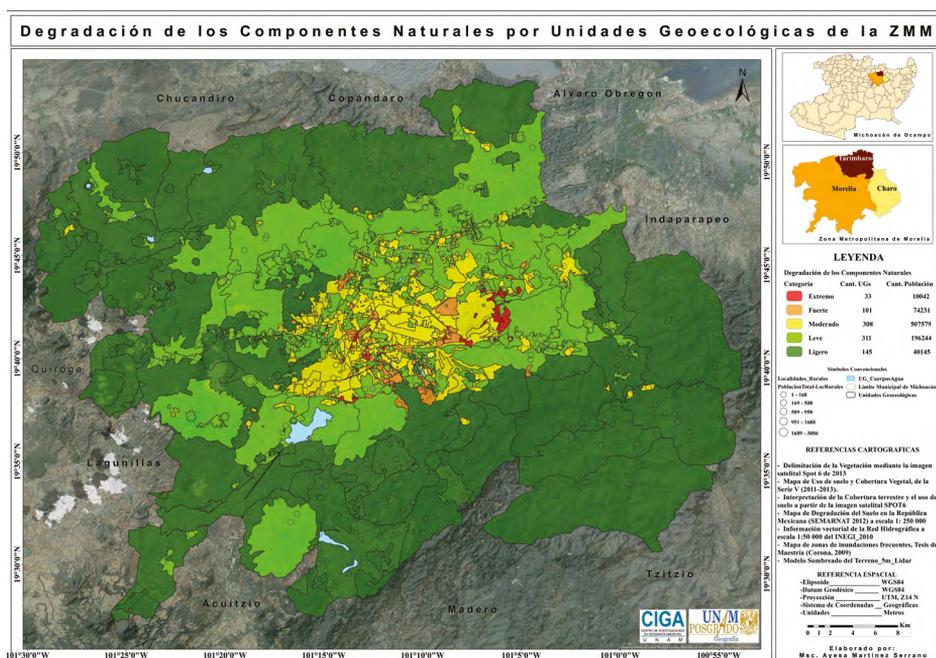
Rangos por ICMT	Cant. Polígonos	Categorías por	Población total (% en relación a la población de ZMM)	Población femenina, ancianas y niñas (% del total en ZMM)	Población masculina, ancianos y niños (% del total en ZMM)	Superficie (% en relación al área total urbanizada o poblada)
0.58 – 0.92	55	Sin degradación	8597 (1)	6187 (1.1)	5518 (1.1)	694.7 (35.9)
0.93 – 1.60	258	Sin degradación a Poca degradación	69679 (8.4)	47362 (8.5)	47214 (9.1)	1021.3 (52.8)
1.61 – 2.28	269	Poca degradación	101164 (12.2)	67461 (12.2)	65072 (12.6)	110.3 (5.7)
2.29 – 2.96	262	Degradado	300129 (36.2)	197676 (35.7)	184379 (35.6)	70.5 (3.6)
2.97 – 3.79	54	Muy degradado	349797 (42.2)	235262 (42.5)	215977 (41.7)	37.8 (2)
Total	898		829366	553948	518160	1934.60

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 7 se aprecia que el mayor número de pobladores (42.2%) se encuentra en las unidades geológicas con situación de condiciones físico-geográficas y transformaciones por infraestructuras “muy degradado”, incluso el 78% de la población; alrededor de 649 926 habitantes viven en condiciones de alta degradación del entorno natural, en espacios muy pe-

queños, del 5.6% de la superficie total de la ZMM; mientras que sólo el 9.4% habita bajo un ambiente natural satisfactorio; aproximadamente 78 276 habitantes reside en casi el 90 % de la superficie de la Zona Metropolitana de Morelia (ver figura 13).

Figura 13. Mapa del Índice de Degradación del medio transformado



Fuente: elaboración propia a partir de datos analizados.

En la Zona Metropolitana de Morelia, con una extensión territorial de 1 934.6 km², se obtuvo información para la evaluación de 12 indicadores e índices. Como resultado, se consideran 54 unidades geoecológicas que no presentan degradación en sus componentes naturales, ni transformaciones por infraestructuras y se localizan en su mayoría en la zona rural; se caracterizan por estar poco habitadas, se distribuyen en un área total de 693.4 km² que representa el 35.8% de la superficie de la ZMM. En la categoría situación sin degradación a poca degradación se identifican 6 UGs en la zona urbana (2%); 71 de la zona periurbana (27%) y 185 de la zona rural (71%); se distribuyen en un área total de 1 022.5 km², lo

que representa el 52.9% del área metropolitana, es decir, las unidades con mayor superficie. Entre las unidades geológicas con situación poca degradación, se identifican 117 unidades en la Zona Urbana, 131 de la Zona Periurbana y 21 de la Zona Rural, que abarcan un total de 54.4 km², las cuales representan el 2.8% de la superficie total de la ZMM. Las unidades en la categoría en degradación se distribuyen en un área de 70.5 km², lo que representa el 3.6% de la ZMM en total; se distribuyen un total de 228 UGS en la Zona Urbana en una superficie de 52.3 km² lo que representa el 2.7% de la ZMM. Las unidades en la categoría muy degradada abarcan un total de 37.8 km², las cuales representan el 1.95% de la superficie total Metropolitana, se identifican 52 unidades en la ZU, 2 de la ZP y 1 de la ZR. En la zona urbana las unidades están distribuidas en una extensión de 37.2 km² que representan el 1.9% del área total, en la zona periurbana se ocupan 0.5 km² con el 0.03% de representación de la superficie total y la zona rural tiene una extensión de 0.13 km² de la misma.

- Diferenciación socioambiental de la Zona Metropolitana de Morelia

La diferenciación socioambiental en un territorio constituye un análisis del medio ambiente en un momento dado. Del análisis por categorías del diagnóstico geológico, encontramos que la categoría de situación de Transformación leve tiene mayor representatividad en la zona rural para una población de 107 habitantes. La situación de transformación media, se aprecia que, por la cantidad de habitantes afectados, predomina en la zona periurbana para un total de 4,303 residentes, aunque espacialmente abarcan mayor área las unidades con esta categoría al interior de la zona rural con 146 km². La situación de transformación extensiva es predominante en la zona urbana con una afectación hacia 47 411 personas, muy próxima a la zona rural con 43 008 habitantes y mayor ocupación territorial con 1 051 km². La situación de muy transformado, para la zona urbana afecta a 145 903 residentes en un área muy compactada de 31 km² y la situación de transformación extrema coincide para la zona urbana, con 432 301 habitantes.

Tabla 9. Población y superficie por municipios al interior de la ZMM por categorías del Diagnóstico Geoecológico

<i>Diagnóstico Geoecológico ZMM</i>	<i>Morelia (población/área [km2])</i>	<i>Tarímbaro (población/área [km2])</i>	<i>Charo (población/área [km2])</i>	<i>Total (población [%]/área [%])</i>
Transformación leve	17 / 353.6	74 / 43.8	16 / 49.1	107 / 446.5
Transformación media	4976 / 161.3	1845 / 10.5	371 / 27.5	7192 / 199.3
Transformación extensiva	62755 / 664.4	33565 / 232.4	8956 / 191.7	105276 / 1088.5
Muy transformado	196077 / 93	47521 / 12.3	11345 / 9	254943 / 114.3
Transformación extrema	453844 / 82.7	8007 / 3.4	0	461851 / 86.1
Total (población [%]/Área [%])	717669 / 1355	91012 / 302.4	20688 / 277.3	829366/1934.6

Fuente: elaboración propia.

Al interior de la Zona Metropolitana de Morelia se ubican los municipios de Morelia, Tarímbaro y Charo, el Diagnóstico Geoecológico para estos territorios demuestra que en el municipio de Morelia, la mayor cantidad de población se encuentra bajo categoría de situación de transformación extrema, y la mayor superficie bajo situación de transformación extensiva. Para el caso del municipio de Tarímbaro, la mayor cantidad de habitantes se encuentra bajo situación de muy transformado y su mayor extensión superficial se ubica bajo situación de transformación extensiva. Por último para el municipio de Charo, la mayor cantidad de población se encuentra bajo situación de transformación extensiva y coincide con la mayor superficie bajo esta categoría. Podemos resumir además que la mayor cantidad de población en la ZMM se encuentra bajo categoría de situación de transformación extrema, localizada en una extensión territorial muy pequeña de 86 km² (ver cuadro 9 en dirección vertical).

La diferenciación socioambiental demuestra que en el municipio de Morelia la mayor cantidad de población se encuentra bajo categoría de situación de transformación extrema, y la mayor superficie bajo situación de transformación extensiva. Podemos resumir, además, que la mayor cantidad de población en la ZMM se encuentra bajo categoría de Situación de transformación extrema, localizada en una extensión territorial muy pequeña de 86 km². Al interior de cada zona: en la zona urbana, con una extensión del 58 % del total de la ZMM y la mayor cantidad de habitantes, 432 301, se encuentra bajo categoría de situación de transformación extrema. En la zona

periurbana con una extensión de 18% del total del área metropolitana, 64 590 habitantes, se encuentra bajo categoría de Muy Transformado. En la Zona Rural, con una extensión superficial de 1 051 km² la población de 44 450 habitantes habita en la categoría de Muy Transformado.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente propuesta metodológica, esta investigación contribuye al perfeccionamiento de un sistema universal de distinción, caracterización y cartografía de los paisajes en un contexto metropolitano; el análisis exploratorio de datos espaciales nos permitió determinar características diferenciales de la situación socio-ambiental y establecer la aplicación de un método de análisis sistémico de la situación ambiental de los paisajes urbanizados y en proceso de urbanización, y demuestra sólidos y coherentes criterios basados en el análisis exploratorio de los datos espaciales aplicables a zonas metropolitanas.

La presente propuesta es una aproximación al estado o situación socioambiental, pero cabe señalar que los resultados expuestos en esta investigación tienen la posibilidad de un análisis multiescalar, regional o local para una unidad espacial administrativa o la agrupación de éstas, con diferentes indicadores y variables, por lo que puede ser generalizable a cualquier contexto territorial.

Es importante resaltar que la diferenciación socioambiental se realiza para un momento determinado, por ello, es necesario incorporar la dimensión temporal, ya que esto permite la comprensión de las dinámicas urbanas, analizar tendencias o predicciones, y explicar las causas de la degradación del ambiente físico y la desfavorabilidad del territorio. Para complementar el análisis espacial y fortalecer la comprensión de las dinámicas socioambientales, se sugiere incorporar en la metodología un enfoque longitudinal que permita evaluar los cambios temporales en las variables seleccionadas. A través del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA), se podrían analizar series temporales de datos sobre crecimiento urbano, transformación del paisaje y degradación ambiental en distintos periodos. Este enfoque posibilitaría la

identificación de patrones de cambio, facilitando la comparación entre diferentes momentos históricos y permitiendo la construcción de escenarios prospectivos. Adicionalmente, se incluirán simulaciones basadas en modelos espaciales para proyectar posibles tendencias de urbanización y sus implicaciones en la sustentabilidad territorial. De este modo, la metodología propuesta no sólo permitirá una diferenciación espacial en un momento determinado, sino que también aportará una visión evolutiva de los procesos territoriales, facilitando la toma de decisiones en la gestión ambiental y la planificación urbana.

Para fortalecer la validación de las conclusiones obtenidas, a partir de la metodología propuesta sobre la base de la Geografía Cuantitativa, es fundamental reconocer las limitaciones mencionadas anteriormente y complementar los análisis con enfoques cualitativos. La triangulación de métodos, combinando herramientas cuantitativas con perspectivas críticas y participativas, permite una visión más integral y equitativa del espacio geográfico (Bunge, 1962). De este modo, se puede mitigar el riesgo de interpretar los datos de manera reduccionista y mejorar la toma de decisiones en la planificación territorial y el desarrollo sostenible.

En general, es nuestro interés destacar las posibilidades que brinda en el contexto de los SIG y los SADE, a la vinculación entre las bases de datos gráficas y la cartografía digital, que se convierte en una herramienta de gran importancia en el análisis multivariado exploratorio, para interpretar el comportamiento estructural de los datos geoespaciales.

Referencias

- Ávila, R. (2000). El AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y su aplicación para determinar los usos de las tierras el caso de Brasil. Informe técnico no 2. Proyecto regional "Información sobre tierras y aguas para un desarrollo agrícola sostenible." (Proyecto GCP/RLA/126/JPN). Santiago, Chile.
- Bocco, G., & Urquijo, P. (2013). Geografía ambiental: reflexiones teóricas y práctica institucional. *Región y sociedad*, 25(56), 5-102.
- Bosque, J., & Moreno, A. (1994). Prácticas de análisis exploratorio y multivariante de datos. Oikos-Tau.
- Buzai, G. D. (2014). Mapas sociales urbanos (2da ed.). Lugar Editorial.

- Buzai, G. D., & Baxendale, C. (2006). *Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica*. Ed. Lugar, GEPAMA.
- Buzai, G. D., & Baxendale, C. (2008). *Clasificación de unidades espaciales mediante el uso de indicadores de planificación*. Serie-publicaciones del PROEG (N° 6). Universidad Nacional de Luján.
- Buzai, G. D., & García de León, A. (2015). Balance y actualidad de la Geografía Cuantitativa. En M. Fuenzalida, G. D. Buzai, A. Moreno, & A. García de León (eds.), *Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones* (1ra ed.). Editorial Triángulo.
- Buzai, G. D., De la Cuétara, O. J., & Baxendale, C. A. (s/f). El hecho geográfico como unidad de tratamiento matricial. Revalorización en geoinformática y actuales perspectivas de aplicación en la investigación en geografía. Conferencia EGAL.
- Bunge, W. (1962). *Theoretical geography*. Lund Studies in Geography, Series C: General and Mathematical Geography.
- Carrera, M. C., & Méndez, R. (1998). El tratamiento estadístico y gráfico de la información. En C. Del Canto Fresno (ed.). *Trabajos prácticos en geografía humana*. Síntesis.
- Chasco, C. (2003). *Métodos gráficos del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales*. En: *Anales. ASEPELT* [Consultado el 6 de junio de 2010]. Disponible en <http://asepelt.org/ficheros/file/Anales/2003-Almeria>
- Christaller, W. (1933). *Die zentralen Orte in Süddeutschland: Eine ökonomisch-geographische Untersuchung über die Gesetzmäßigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischen Funktionen*. Gustav Fischer.
- Delgado, O. (2003). *Debates sobre el espacio en la geografía contemporánea*. Universidad Nacional de Colombia, Unibiblos.
- García de León, A. (1997). Empleo de una metodología multivariada para la clasificación de unidades territoriales. *Revista del Colegio Mexicano de Geografía*, 14, 5-20.
- Goodchild, M. F. (2010). Twenty years of progress: GIScience in 2010. *Journal of Spatial Information Science*, 1, 3-20. <https://doi.org/10.5311/JOSIS.2010.1.2>
- Guttman, E., Zorro, C., Cuervo, A., & Ramírez, J. C. (2004). *Diseño de un sistema de indicadores socio ambientales para el distrito Capital de Bogotá*. Serie Estudios y Perspectivas, Oficina de la CEPAL en Bogotá.
- Haggett, P. (1977). *Análisis locacional en geografía humana*. Gustavo Gili.
- Haggett, P. (1965). *Locational analysis in human geography*. Edward Arnold.
- Humacata, L. M. (2014). Aportes metodológicos del análisis espacial con Sistemas de Información Geográfica a la clasificación espacial en Geografía. *Revista del Departamento de Ciencias Sociales*, 3, 118-147.
- Harvey, D. (1969). *Explanation in geography*. Edward Arnold.
- Humacata, L. M. (2015). Análisis socioespacial de los partidos de la cuenca media del río Luján (Argentina), utilizando Sistemas de Información Geográfica. *Revista de Geografía Valpsol*. (En línea) N° 52, 72-86. <https://doi.org/10.4067/s0718-98772015000200005>
- Lösch, A. (1940). *Die räumliche Ordnung der Wirtschaft*. Gustav Fischer.
- Martínez, A., & Bollo, M. (2017). Aplicación del enfoque geoecológico para la interpretación espacial de los niveles de urbanización. *Economía, Sociedad y Territorio*, 17(53), 115-144.

- Moreno, A. (2008). Los servicios colectivos y el desarrollo territorial: una reconsideración conceptual y metodológica actual. En A. Moreno & G. D. Buzai (coords.), *Análisis y planificación de servicios colectivos con Sistemas de Información Geográfica*. Universidad Autónoma de Madrid.
- Osorio, J. C., & Orejuela, J. P. (2008). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Scientia et Technica*, 14(39), 20-25. <https://doi.org/10.22517/23447214.2936>
- Oropeza, M., & Díaz, N. (2007). La geotecnología y su inserción en el pensamiento geográfico. *Terra Nueva Etapa*, 23(34), 71-95.
- Perón, E., Pérez, M., & Chávez, A. A. (2007). Un esquema metodológico para el análisis de la situación socio-habitacional en una ciudad. En: *Desigualdad regional, pobreza y migración*. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A. C. ISBN UNAM: 978-607-30-0001-7, AMECIDER: 978-607-96649-8-5.
- Santarelli, S., & Campos, M. (2002). *Corrientes epistemológicas, Metodología y Práctica en Geografía*. Editorial de la Universidad Nacional del Sur.
- Sánchez, D. C. (2007). *Contribución del análisis espacial a la ciencia y a la Geografía: el caso de los métodos clasificatorios* (tesis doctoral). Universidad del Salvador.
- Toskano, G. B. (2005). *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en la Selección de Proveedores* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

