

Propuesta metodológica a partir del análisis de los procesos para determinar zonas aptas para la expansión urbana aplicados por Aguilar, J. R. V., Principi, N. 2017 y Daga López, R. A. 2009

María Yerania Martínez Martínez, María Silvia del Rocío Covarrubias Ruesga, Ignacio Barajas Ávalos, Dora Angélica Correa Fuentes, María del Pilar Ramírez Rivera

Tecnológico Nacional de México Campus Colima; Maestría en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana – División de Estudios de Posgrado e Investigación – México; Av. Tecnológico 1 A.P. 10 y 128, C.P. 28976 Villa de Álvarez, Col.

Resumen

La necesidad del ordenamiento territorial para que los nuevos asentamientos se sitúen en zonas aptas, además de reordenar los asentamientos irregulares, hace que las herramientas de decisión espacial jueguen un papel muy importante para lograr una adecuada expansión urbana. El presente trabajo compara las metodologías de tres investigaciones que utilizaron el Análisis Espacial Multicriterio, útil en la evaluación de sitios idóneos para la expansión urbana. Cada uno, lo realizó teniendo en cuenta los factores biofísicos, socioeconómicos y de localización de acuerdo a su región, implementando Sistemas de Información Geográfica como el ARCGIS, IDRISI Selva 17.0 e ILWIS 3.4. La evaluación de los distintos criterios se realizó a través de métodos como el Análisis Jerárquico (MAJ), Método de ponderación por Ranking recíproco y el Método Rank Order, lo que permitió definir la importancia relativa de cada criterio dentro de la evaluación. Implementaron la sumatoria lineal ponderada, el MCE (Evaluación Multicriterio) y el árbol de criterios como regla de decisión en la evaluación. Los resultados obtenidos a partir del análisis comparativo, dan origen a la generación de la metodología aplicable en distintas zonas de estudio de acuerdo a sus características, además, muestran claras similitudes entre cada uno de los procesos que dieron lugar al alcance del propósito de las investigaciones: la obtención de los mapas de aptitud para la expansión urbana.

Abstract

The need for territorial planning of the new settlements located in suitable areas, in addition to reorganizing irregular settlements, means that spatial decision-making tools play a very important role in achieving adequate urban expansion. The present work compares the methodologies of three investigations that used the Multicriteria Spatial Analysis, useful in the evaluation of suitable sites for urban expansion. Each investigation was made taking into account the biophysical, socioeconomic, and location factors according to their region, implementing Geographic Information Systems such as ARCGIS, IDRISI Selva 17.0, and ILWIS 3.4. The evaluation of the different criteria was executed through methods such as the Hierarchical Analysis (MAJ), Reciprocal Ranking Weighting Method, and the Rank Order Method, which allowed for defining the relative importance of each judgment within the evaluation. They implemented the weighted linear summation, the MCE (Multi-Criteria Evaluation), and the criteria tree as a decision rule in the evaluation. The results obtained from the comparative analysis give rise to the generation of the applicable methodology in different study areas according to their characteristics, in addition, they show clear similarities between each of the processes which were the starting point of the research purpose: Obtaining suitability maps for urban expansion.

Palabras clave: Aptitud urbana, Expansión urbana, Análisis Espacial Multicriterio, Planificación, Uso de suelo.

Keywords: Urban aptitude, Urban expansion, Multicriteria Spatial Analysis, Planning, Land use

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las ciudades se ha caracterizado principalmente por un aumento de población. Recientemente, el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas ha estimado que

el 55 % de las personas en el mundo vive en ciudades, y prevé que el 68 % de la población vivirá en zonas urbanas para el 2050. Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, (2018).

Esto, continuará con una numerosa demanda de suelo, ocupando áreas no aptas para ser habitables; en algunos casos, viviendo en condiciones precarias por la escasa infraestructura y servicios. Del mismo modo, ocupando espacios con otros fines a la aptitud del lugar, deteriorando los recursos naturales y poniendo en riesgo la vida de la población.

En México, en los últimos años la expansión urbana se ha visto reflejada con un mayor impacto. De acuerdo al Censo General de Población y Vivienda del 2000, el país contaba con 97.5 millones de habitantes y para el 2020 ya eran 126 millones, habiendo un incremento del 29 %. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2000-2020.

Por ello, es de suma importancia llevar a cabo una planificación territorial en las zonas que rodean a las ciudades, con el objetivo de preservar los recursos naturales y permitir que la mancha urbana se extienda bajo zonas aptas, mediante una clasificación del territorio en función de las aptitudes y riesgos (Metodología SEDATU, mayo 2017). Es decir, zonas que cuenten con las características óptimas para una calidad de vida, con infraestructura y servicios necesarios para las nuevas viviendas y, donde no existan peligros naturales que pongan en riesgo la vida y el patrimonio de los habitantes. Para esto, se han implementado resoluciones para la mitigación de este problema, mediante herramientas y metodologías que permitan brindar un apoyo en la toma de decisiones para el proceso de ordenamiento territorial (López, J. M. 2018).

En el estudio de las ciudades, cuando se analiza un problema que involucra una decisión, se requiere considerar varios factores. De ahí la importancia de definir criterios que permitan identificar elementos para la toma de decisiones en la planificación urbana de un asentamiento humano. En este sentido, existe una herramienta llamada Análisis Espacial Multicriterio (AEM), la cual, facilita la toma de decisiones mediante la identificación de los criterios más relevantes. Este proceso, se apoya en la implementación de los datos geográficos, la toma de elecciones, la manipulación de datos y preferencias. Existe una diferencia con la Evaluación Multicriterio (EM) usual, siendo el número de factores necesarios a detectar y tomar en cuenta, así como el tamaño de las colaboraciones en medio de estos componentes, Malczewski, J. (1999). Los Sistemas de Información Geográfica y el Análisis Multicriterio son herramientas que pueden apoyar en la toma de decisiones, logrando mayor efectividad y eficacia en el proceso. “La combinación de ambos métodos hacen referencia al Análisis Espacial Multicriterio”, Sharifi, Ali, et al., (2004).

En años recientes, se ha avanzado en la aplicación del Análisis Multicriterio para abordar la diversidad de la toma de decisiones respecto a la planificación urbana y rural. Este análisis, se focaliza en proveer la teoría y las metodologías necesarias para soportar la toma de decisiones en problemas complejos y poco estructurados, y donde los actores implicados presentan múltiples puntos de vista y criterios, Zopounidis y Parpalos, (2010). Las técnicas de esta herramienta han sido aplicadas en distintos procesos de planificación y a diferentes escalas:

Tabla 1. Aplicación del Análisis Espacial Multicriterio a diferentes escalas. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Aplicación	Autor
Ubicación de rellenos sanitarios	Mamani, et al., 2021
Ubicación de parques eólicos y granjas solares	García Orrego, S., 2021
Fertilización en cultivos	Moroni, H. B. R. (2021
Zonificación de áreas con un alto potencial hidrogeológico	Villacís García, J. O., 2020
Análisis de inundaciones	Vergara Noriega, S. L., 2020
Determinación de peligros volcánicos	Aceves-Quesada, et al., 2006

En el caso del análisis de aquellos factores que determinan la expansión de una ciudad a lo largo del tiempo, esta técnica se ha utilizado, por mencionar algunos ejemplos:

Tabla 2. Aplicación del Análisis Espacial Multicriterio en procesos de planificación urbana. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Aplicación	Autor
Gestión ambiental	Mondragón Puerto, Y. J., 2019
Ubicación de conjuntos habitacionales	Francisco Antonio, E. H., 2019
Modelos de crecimiento urbano	Rocha, et al., 2010
Planificación urbana	Cardoso, et al., 2022
Ordenamiento territorial	Romero, et al., 2003
Expansión urbana	Daga López, R. A., 2009

La finalidad de la planificación del suelo es el mejor uso de los recursos naturales, valorando las necesidades y la función de la tierra, identificando y resolviendo conflictos entre usos competitivos e intentando encontrar soluciones sostenibles, Riveira, I. S., & Maseda, R. C. (2006). Por lo tanto, el objetivo del trabajo es generar una propuesta metodológica para la determinación de zonas aptas para la expansión urbana, aplicando el Análisis Espacial Multicriterio a partir de la comparación de las metodologías propuestas por Aguilar, J. R. V., Principi, N. 2017 y Daga López, R. A. 2009, se seleccionaron tomando en cuenta la misma problemática; la expansión urbana, considerada en diferentes escalas de territorio y población. En la Ciudad de Buenos Aires, Argentina, cuyas formas de ocupación más extensas, están vinculadas con modalidades de expansión sobre áreas no urbanizables, las cuales, corresponden a las urbanizaciones cerradas y a los asentamientos informales. Ambos tipos de asentamiento tienen en común encontrarse sobre suelos en su mayoría no aptos, ocasionando problemáticas urbano-ambientales, Rodríguez Tarducci, et al., (2021). Para efectos de homologar criterios cuando hablamos de urbanizaciones cerradas, se refiere a conjuntos residenciales cerrados por muros, barreras, rejas y vallas que incluyen viviendas unifamiliares (algunas veces también edificios multifamiliares) y áreas privadas para uso colectivo, Roitman, S. (2016). Los asentamientos informales son los ocupados mediante acuerdo de voluntades entre el legítimo propietario y el posesionario, pero que no cuenta con la documentación legal que ampare el dominio y/o la propiedad del ocupante, [Instituto Nacional del Suelo Sustentable (INSUS), agosto 2020].

En la Ciudad de Lima, Perú, Javier Protzel evidencia que Lima crece de una forma excesiva, en donde no se consideran aspectos tales como territorio, geolocalización, fallas geológicas, entre otros aspectos propios de la naturaleza. Lima emerge construida sobre un desierto, ello implicaría que diversas edificaciones se encuentran bajo riesgo de hundimiento por la estructura del suelo. En el periodo de 1930-1970, se dio un incrementado proceso urbanístico; sin embargo, este se hizo sin ninguna planificación ni un plan de desarrollo como tal (Davila, R. T. F. 2021).

En México, en la ciudad de Morelia, del estado de Michoacán, a partir de los años setenta y hasta mediados de los noventa, su expansión se caracterizó por el surgimiento de numerosos asentamientos irregulares tanto de tipo residencial como medio y bajo, y colonias populares, en esta etapa de urbanización se incrementó la demanda de suelo, vivienda y servicios urbanos. Su crecimiento urbano fue a costa de la afectación de tierras ejidales y pequeñas propiedades, la mayor parte agrícolas, así, por lo menos, 50% de la superficie urbana de Morelia tuvo como régimen de propiedad al ejido (ÁVILA, P. 2001).

Estos conflictos agravan la sostenibilidad de las ciudades, en tanto no se tomen las medidas necesarias que incluyan una adecuada regulación y planificación urbana. Cabe mencionar que, el hecho de que existan asentamientos irregulares en una zona, no quiere decir que se deba pasar por alto su autorización, de acuerdo

al artículo 118 de La Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (LGAHOTDU), quienes propicien o permitan la ocupación irregular de áreas y predios en los Centros de Población o autoricen indebidamente el asentamiento en zonas de riesgo, se harán acreedores a las sanciones administrativas, civiles y penales aplicables (LGAHOTDU, Última reforma publicada DOF 01-06-2021).

El presente artículo busca integrar las tres metodologías propuestas en una sola que sea acorde con la información existente y con un procedimiento de fácil aplicación. De esta manera, los entes gubernamentales pueden tener un modelo en común para determinar áreas aptas para la expansión urbana tomando decisiones que beneficien a la población y garanticen la preservación de las áreas naturales.

2. METODOLOGÍA

La investigación se realiza por medio de un enfoque mixto, implementando técnicas cualitativas, mediante la descripción de una metodología bajo criterios y características tomados de la comparación de tres investigaciones dedicadas a determinar zonas con aptitud para la expansión urbana. También se usan técnicas cuantitativas, una vez efectuada la metodología en determinada área de estudio para obtener mapas de zonas aptas para la expansión.

Su alcance es descriptivo-correlacional; realiza la recolección de los datos y factores aplicados en las tres investigaciones, los describe y se realiza una comparativa de variables para finalmente realizar una propuesta metodológica aplicable.

Presenta un método inductivo, toma casos especiales y trata de encontrar tendencias generales.

Teniendo en cuenta los antecedentes investigativos éstas fueron seleccionadas de acuerdo a la problemática que abordan y tienen en común, además de hacerlo en cuanto a las características de la ciudad; extensión territorial y cantidad de población, esto, nos permite realizar una comparación adecuada que produzca un resultado de fácil entendimiento y que sirva para la aplicación en otros territorios. Como apoyo a la investigación se respondieron las siguientes preguntas ¿Cuáles son los principales factores y/o criterios que intervienen en el Análisis Espacial Multicriterio (AEM)?, ¿Cuáles son las características, ventajas y desventajas del AEM?, ¿Cómo se implementa la herramienta para la determinación de áreas con aptitud para la expansión urbana? y ¿Cuáles son las estrategias más efectivas para mejorar el AEM?

El objetivo principal de esta investigación es implementar una metodología para determinar zonas con aptitud para la expansión urbana en base al Análisis Espacial Multicriterio, desde la comparación de criterios metodológicos usados en tres investigaciones.

Esta metodología implica:

- Identificar y jerarquizar las variables que intervienen para determinar la aptitud urbana.
- Analizar y comparar los criterios utilizados en por lo menos tres investigaciones a fines a la determinación de zonas aptas para la expansión urbana.
- Evaluar la metodología aplicada en estas investigaciones que comparten similitudes en las características para determinar zonas con aptitud.
- Diseñar la metodología a aplicar en proyectos urbanos.

De acuerdo a la evaluación y comparación de los casos en estudio, la metodología que presenta este trabajo incorpora tres etapas fundamentales: Etapa Inteligente, Etapa de diseño y Etapa de Selección.

Etapa Inteligente: En la que se define el problema y se determina el objetivo del proyecto, además de realizar un análisis del contexto:

1. Seleccionar y delimitar el área a analizar.
2. Recolectar y revisar la información existente en cuanto a crecimiento urbano, demográfico y cartografía.
3. Realizar la selección de variables, en cuanto a cada una de las partes de un territorio que pueden ser evaluadas.

Entorno físico: Fisiografía, geología, hidrología, clima, temperatura, precipitación, geomorfología, edafología.

Entorno biótico: Flora, fauna y vegetación actual.

Entorno económico.

Entorno social: Asentamientos humanos y sus aspectos demográficos, culturales, de organización y participación social y del desarrollo del capital humano.

Entorno Legal.

4. Determinación de los criterios a considerar.

Existen 2 tipos;

Factores: Aquellos que elevan o desacreditan la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración.

Limitantes o restricciones: Restringen la disponibilidad de algunas alternativas según la actividad evaluada.

Por ejemplo: Fallas, pendiente, Áreas Naturales Protegidas, industria minera, Límite Urbano y Cuerpos de Agua, distancias a áreas urbanas actuales, etc.

Etapa de Diseño: Se establecen jerarquías y pesos a los factores considerados, y se elabora una matriz de decisión.

5. Elección del método empleado para la ponderación de los criterios.
 - Método de Análisis Jerárquico (MAJ)
Mejora el entendimiento de las decisiones complejas y descompone el problema en una estructura jerárquica, establece pesos a los factores de acuerdo al nivel de importancia. Este método tiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y, alternativa (Gutiérrez-Angonese et al., 2010).
 - Método de ponderación por ranking recíproco
Propuesto por Malczewski (1999). Este método considera la formulación de un ranking de importancia para cada variable, donde la variable más importante adquiere el valor 1, la segunda el valor 2 y así sucesivamente. Luego, se estandarizan los valores de acuerdo a la proporcionalidad de cada uno respecto del mayor valor posible y finalmente cada proporcional se divide por el valor de sumatoria de

las proporciones. Es decir, en este caso el investigador debe decidir el ranking de los criterios, pero los pesos se obtienen a través del método.

Tabla 3. Ponderación por el método por ranking recíproco. Fuente: Elaboración propia a partir de Principi, N. 2017.

Criterios	Ranking (rj)	Proporcionalidad (1/rj)	Ponderación (1/rj)/Σ(1/r)
1	1	1	0.63
2	3	0.33	0.21
3	4	0.25	0.16
Suma		1.58	1

- **Método Rank Order.**
 Los pesos se ajustan según orden de jerarquía (importancia del criterio) dentro de un conjunto de pesos posibles para los que el peso del más importante es siempre mayor al segundo más importante y el peso del último criterio (menos importante) es mayor a cero: $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n \geq 0$
 Este se subdivide en dos métodos:
 Valor esperado: Se calcula W_k para el criterio k de acuerdo a la siguiente formula donde n es el número de criterios.

$$W_k = \sum_{i=1}^{n+1-k} \frac{1}{n(n+1-i)}$$

Tabla 4. Pesos de criterios según Valor Esperado. Fuente: Investigación de Daga López, R. A. 2009.

Número de criterios (n)	E(W1)	E(W2)	E(W3)
2	0.75	0.25	
3	0.61	0.28	0.11
4	0.52	0.27	0.15

Esto ha permitido calcular pesos para cada factor según la importancia de cada criterio respecto a todos los otros considerados. Cuando el criterio tiene la misma importancia se asigna el mismo peso.

- **Rank Sum:** Se calcula W_k para el criterio k de acuerdo a la siguiente formula donde n es el número de criterios, donde se calcula el valor del peso.

$$W_k = \frac{n+1+k}{\sum_{i=1}^n (n+1+i)}$$

Tabla 5. Pesos de criterios según Rank Sum. Fuente: Investigación de Daga López, R. A. 2009.

Número de criterios (n)	E(W1)	E(W2)	E(W3)
2	0.66	0.33	
3	0.50	0.33	0.17
4	0.40	0.30	0.20

6. **Evaluación:** Una vez establecidos la puntuación y los pesos en cada uno de los criterios se hace la integración y se evalúa cada alternativa mediante las Reglas de Decisión.
- **Sumatoria Lineal Ponderada (SLP)**
 En la cual se realiza una sumatoria de los factores, multiplicados por sus respectivos pesos. La ecuación que describe el método es la siguiente:

$$r_i = \sum_{j=1}^n (w_j * e_{ij})$$

Donde:

ri: Capacidad del terreno para la ubicación de cierto uso.

wj: Peso del criterio j.

eij: Valor normalizado de la alternativa i en el criterio j.

n: Número de criterios involucrados en la investigación.

- MCE, por sus siglas en inglés (Evaluación Multicriterio). Esta opción permite realizar la evaluación de los diferentes criterios con la posibilidad de asignar las ponderaciones de forma manual. De este modo, el método MCE logra unir los diferentes criterios definidos para el objetivo, utilizando la cercanía a las áreas urbanas como la mayor ponderación obtenidas a partir del método por ranking recíproco.
- Árbol de criterios (de evaluación), en el cual se grafica y especifica los criterios de diseño distinguiendo restricciones, factores biofísicos, factores socioeconómicos y de localización, como también su comportamiento en términos de costo (-) y/o beneficio (+).

Etapas de selección: Se genera un análisis de sensibilidad para la elaboración de las recomendaciones y la explicación de los resultados.

7. Seleccionar el Sistema de Información Geográfico a utilizar. De acuerdo al Centro Nacional de Información y Análisis Geográfico (NCGIA) de los Estados Unidos, un SIG es un sistema de información compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación. (Lara, E. L., et al., 2006).

Ejemplo: ARGIS, IDRISI Selva 17.0, e ILWIS 3.4.

8. Obtención del mapa de aptitud para la expansión urbana, entendido como el grado idóneo del territorio para asentar a la población en desarrollo.

3. RESULTADOS

Se identificaron y jerarquizaron las variables que intervienen para determinar las zonas aptas de expansión.

Tabla 6. Comparativa de variables por investigación. Fuente: Elaboración propia a partir de la investigación de Aguilar, J. R. V., Principi, N. 2017 y Daga López, R. A. 2009.

Variables que intervienen por investigación		
Investigación de Aguilar, J. R. V.	Investigación de Principi, N. 2017.	Investigación de Daga López, R. A. 2009.
La cobertura vegetal y uso de suelo, ayuda en la identificación de zonas urbanizadas, así como de los	Bañados, es decir, terrenos bajos y húmedos, en partes cenagosos y a veces inundados por aguas	Factores biofísicos: Pendiente, inclinación del terreno con

lugares con mayor probabilidad de ser urbanizada.	pluviales o por las de un río o laguna cercana.	respecto a la horizontal puede estar expresada en grados o porcentaje.
Áreas naturales protegidas, que sirven para lograr ubicar las zonas restrictivas.	Cursos de agua, esta variable contempla ríos, arroyos, canales de riego y zanjones.	Ríos, escorrentía de aguas superficiales.
Geología, permite la identificación de diferentes peligros como fallas geológicas.	Estaciones de ferrocarril y redes viales, considerando rutas nacionales y provinciales, autopistas y caminos de la zona de estudio.	Zona de arenamiento, lugar donde se deposita partículas de arena debido a la erosión eólica.
Topografía, como información básica para el estudio y análisis de la zona.	Uso urbano actual; aglomeraciones urbanas, las ciudades, pueblos, barrios y paraderos de autobús.	Factores socio-económicos: Agua potable, el asentamiento urbano debe ubicarse cerca de zonas que cuentan con agua potable.
Geomorfología, identifica como los procesos de crecimiento urbano modifican la dinámica y geomorfología de los espacios naturales.		Energía eléctrica, considerando subestación, transmisión primaria y secundaria.
Edafología, sirve para identificar los diferentes tipos de suelo y lograr su mejor utilización.		Laguna de oxidación, laguna artificial donde las aguas servidas (desagües), reciben un tratamiento.
Pendientes, determinando zonas restrictivas para el crecimiento urbano.		Factores de localización; centros urbanos y vías de comunicación.

Se analizaron y compararon los criterios utilizados en las investigaciones.

Tabla 7. Comparativa de criterios por investigación. Fuente: Elaboración propia a partir de la investigación de Aguilar, J. R. V., Principi, N. 2017 y Daga López, R. A. 2009.

Criterios que intervienen por investigación		
Investigación de Aguilar, J. R. V.	Investigación de Principi, N. 2017.	Investigación de Daga López, R. A. 2009.
Fallas	Distancias a áreas urbanas locales: Considera 2000 metros como la distancia más propicia para expansión urbana, desde ahí decrece la aptitud.	Área urbanizada, las nuevas áreas deben encontrarse fuera de la mancha urbana por ya estar ocupadas, pero no alejadas por que deben ser proveídos de servicios.
Pendiente	Distancias a redes viales: Considera 3000 metros como la distancia óptima.	Área de uso agrícola, por poseer valor recreativo ambiental y económico.
Áreas naturales protegidas	Distancias a las estaciones de ferrocarril: Se definen como áreas de mayor aptitud los 2000 metros y decrece su aptitud más allá de ese límite.	Aguas subterráneas, de profundidades menores a 10 metros por ser zonas de recarga acuífera y evitar problema de infiltración que afecten a las construcciones.
Límite urbano	Presencia de bañados, como factor de tipo restrictivo, se considerará con o el área de bañados, es decir, luego de esa distancia se considerará con	Abastecimiento de agua, mientras las áreas de expansión se encuentran más cercanas a zonas que cuentan con abastecimiento de agua potable, será mejor, ya

	aptitud óptima para el desarrollo urbano.	que el costo de construcción de nuevas redes de agua será menor y conforme se aleja, los costos serán mayores.
Cuerpos de Agua	Distancia a cursos de agua, factor de tipo restrictivo, se determinaron 1000 metros a cada lado del río, donde no habrá aptitud para el desarrollo urbano por ser áreas que tienen alta probabilidad de inundación.	Abastecimiento de Energía Eléctrica; la subestación de energía debe encontrarse a más de 200 metros para evitar riesgos a accidentes. La línea de Transmisión Primaria a más de 100 m en ambos lados. La línea de Transmisión Secundaria a más de 50 m a ambos lados. La laguna de Oxidación, según normativas las áreas urbanas no deben encontrarse a menos de 500 metros, siendo las mejores aquellas que se encuentran a más de 1.5 km. Ríos, tomando como restricción una distancia menor a 200 metros. Arenamiento, considerando distancias menores a 500 metros no son aptas y mayores de 2 km como aptas, para prevenir futuros arenamientos al área de expansión. Pendiente, siendo las más aptas aquellas que se encuentran por debajo de 30%. Distancias cercanas a vías de comunicaciones tanto principales como secundarias para una mejor movilización a centros de trabajos, recreacionales y centros comerciales.

Se evaluaron las tres investigaciones y se identificaron los métodos utilizados para la ponderación de los valores de cada criterio propuesto, además de seleccionar la Regla de Decisión utilizada para su integración y se identificó el Sistema de Información Geográfica propuesto para la realización de los mapas de aptitud.

Tabla 8. Comparativa de método de ponderación, Sistema de Información Geográfica y Regla de Decisión por investigación. Fuente: Elaboración propia a partir de la investigación de Aguilar, J. R. V., Principi, N. 2017 y Daga López, R. A. 2009.

Método de ponderación, Sistema de Información Geográfica y Regla de Decisión aplicado por investigación		
Investigación de Aguilar, J. R. V.	Investigación de Principi, N. 2017.	Investigación de Daga López, R. A. 2009.
Método de Análisis Jerárquico (MAJ).	Método de ponderación por ranking recíproco.	Método Rank Order.
Sistema de Información Geográfico: ARGIS	Sistema de Información Geográfico: IDRISI Selva 17.0.	Sistema de Información Geográfico: ArcGis 9.3 e ILWIS 3.4.
Sumatoria Lineal Ponderada (SLP) como regla de decisión.	Aplica la regla de decisión MCE, por sus siglas (Evaluación Multicriterio).	Aplica el Árbol de Criterio de Evaluación.

La aplicación de la herramienta Análisis Espacial Multicriterio en las tres investigaciones tuvo un resultado positivo en la obtención de los mapas de aptitud territorial para la expansión urbana. Mismos que, se detallan de manera visual en cada una de las investigaciones y, comparten similitudes en cuanto a las variables y criterios utilizados de acuerdo a su zona de estudio, que, aunque son diferentes en cuanto a territorio y población, logran la aplicación del objetivo que se plantean.

4. DISCUSIÓN

Mediante el análisis de las tres metodologías, en cuanto a su procedimiento y selección de criterios, y una vez respondidas las preguntas de investigación por cada uno de los casos en estudio, se pudo lograr su interrelación, ya que hubo similitudes en el proceso para la obtención del objetivo, de manera que surge la secuencia para la aplicación del Análisis Espacial Multicriterio en la determinación de zonas aptas para la expansión urbana. Al igual, da pie a que en una investigación futura se puedan aplicar estas metodologías en una zona de estudio particular, de modo que se puedan corroborar y comparar los resultados descritos por cada uno de los autores y valorar los métodos de ponderación y las reglas de decisión aplicados para saber cuál aporta mayor viabilidad.

5. CONCLUSIONES

La selección y el proceso de los criterios a determinar dependen de las prioridades de cada zona de estudio y pueden ser tan amplios como la accesibilidad a los datos espaciales lo permita, entre ellos, los factores biofísicos, socio-económicos y de localización.

La elección de la metodología dependerá del objetivo del investigador, de la escala en que se quiere laborar y de la disponibilidad de información y recursos para su ejecución. Es importante destacar que las deseables, son las metodologías cuantitativas que utilizan los modelos espaciales y la aplicación de métodos óptimos, como es el caso del Análisis Espacial Multicriterio, considerado como herramienta de gran ayuda en la toma de decisiones.

Esta herramienta presenta grandes ventajas, su aplicación en un sin fin de áreas, siempre y cuando se tenga claro el objetivo y la elección de los criterios a considerar. Aunque su desventaja es, que, al ser una herramienta para la toma de decisiones puede llegar a utilizar multitud de criterios.

La forma de aplicación consiste en; una vez determinado el problema y definido el objetivo, se seleccionan las variables que formarán parte de la evaluación, así mismo, los criterios a considerar y su grado de importancia, de mismo modo se define el Sistema de Información Geográfico a utilizar de acuerdo a la accesibilidad del investigador, por último, se determina el mapa de aptitud para la expansión urbana.

Es importante mencionar que, para tener éxito en el cumplimiento de objetivos, es necesario seleccionar cuidadosamente los criterios a considerar en el análisis, así como la priorización y el peso que se le da a cada uno. Estos criterios deben ser totalmente justificados y, de preferencia, revisados por un experto en la materia. Con la valoración de las metodologías, se determina el proceso de aplicación del Análisis Espacial Multicriterio,

de manera que aporte a los gobiernos y personas que no sean especialistas en el tema, una forma sencilla en el diseño de soluciones a problemas de ordenamiento territorial.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado, al Tecnológico Nacional de México Campus Colima y a mis profesores, a mi Directora, Codirector y Revisores, especialmente al Dr. Santiago Arceo Díaz por su dedicación y compromiso, y a todo el núcleo académico de Posgrado, los cuales, son parte esencial dentro de mi formación.

REFERENCIAS

- [1] Aceves-Quesada, F., López-Blanco, J., & Martín del Pozzo, A. L. (2006). Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 23(2), 113-124.
- [2] Aguilar, J. R. V., Granados, E. M. L., Olivera, J. A. Á., & Cantú, M. E. M. Aptitud Territorial para la expansión urbana de la Ciudad de Morelia.
- [3] ÁVILA, P. (2001) Urbanización popular y conflictos por el agua en Morelia, Tesis de Doctorado en Ciencias Sociales, Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social, CIESAS Occidente, México.
- [4] Cardoso, M. M., & Carfiel, G. E. (2022). Planificación urbana: evaluación multicriterio para nuevas localizaciones de centros de salud en Santa Fe. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 15, 37-37.
- [5] Daga López, R. A. (2009). Determinación de áreas con aptitud para la expansión urbana con fines de ordenamiento territorial aplicando el análisis espacial multicriterio: caso: cuenca baja del río Lurín.
- [6] Davila, R. T. F. (2021). La ciudad: Crecimiento (s) urbano (s) desconfigurados en los contextos de desigualdad y segregación en Lima Metropolitana. *YUYAYKUSUN*, (11), 141-155.
- [7] Francisco Antonio, E. H. Aplicación de Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica para la localización óptima de conjuntos habitacionales. Caso de estudio: Zona Metropolitana de Toluca.
- [8] García Orrego, S. Análisis espacial multicriterio para la ubicación de parques eólicos y granjas solares en Colombia.
- [9] Guía metodológica SEDATU, Elaboración y actualización de programas municipales de Desarrollo Urbano, mayo 2017. <https://www.gob.mx/sedatu/documentos/nueva-metodologia-para-la-elaboracion-y-actualizacion-de-programas-municipales-de-desarrollo-urbano>
- [10] Gutiérrez Angonese Jorgelina y Sendra Montserrat Gómez Delgado y Joaquín Bosque SIMULACIÓN DE CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y TIG EN EL GRAN SAN MIGUEL DE TUCUMAN [Publicación periódica]. - ARGENTINA: Tecnologías de la Información Geográfica: la Información Geográfica al Servicio de los Ciudadanos, 2010. - 873-888.
- [11] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI, Censo de Población y Vivienda 2000-2020. <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx?tema=P>
- [12] Lara, E. L., Simeón, C. P., & Navarro, J. G. M. (2006). Los sistemas de información geográfica. *Geoenseñanza*, 11, 16.
- [13] LEY GENERAL DE ASENTAMIENTOS HUMANOS, ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DESARROLLO URBANO, noviembre 2016, Última reforma publicada DOF 01-06-2021. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGAHOTDU_010621.pdf
- [14] López, J. M. (2018). Técnicas de evaluación multicriterio, lógica difusa y Sistemas de Información Geográfica como herramientas para el ordenamiento territorial (Doctoral dissertation, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires).
- [15] Malczewski, J. (1999). GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons.
- [16] Mamani Mamani, G. J., & Loaiza Puma, V. R. (2021). Análisis multicriterio en sistemas de información geográfica (SIG) para la ubicación de un relleno sanitario en la provincia de San Román-Puno.
- [17] Mena Frau, C., Gajardo Valenzuela, J., & Ormazábal Rojas, Y. (2006). Modelación espacial mediante geomática y evaluación multicriterio para la ordenación territorial. *Revista Facultad de Ingeniería-Universidad de Tarapacá*, 14(1), 81-89.
- [18] Mondragón Puerto, Y. J. (2019). Comparación de metodologías para la identificación de la "Infraestructura Verde" a nivel local, con base en el análisis espacial. Caso de estudio: municipio de la Calera.
- [19] MORONI, H. B. R. (2021). Análisis multicriterio para determinar la fertilización del cultivo de arroz aplicando SIG (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR).

- [20] Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. (16 de mayo 2018, Nueva York). Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo. <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>
- [21] Política Nacional del Suelo, Agosto 2020. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano | Instituto Nacional del Suelo Sustentable. <https://www.gob.mx/insus/documentos/politica-nacional-de-suelo>
- [22] Principi, N. (2017). Evaluación Multicriterio para la obtención de zonas aptitud para el desarrollo urbano en la cuenca del río Luján (Provincia de Buenos Aires, Argentina) con Sistemas de Información Geográfica. Investigaciones y Ensayos Geográficos, 14.
- [23] Riveira, I. S., & Maseda, R. C. (2006). RULES-Sistema de Ayuda para la Planificación del suelo rural. Recursos rurales: revista oficial do Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural (IBADER), (2), 25-33.
- [24] Rocha, W. P., Delgado, M. G., & Sendra, J. B. (2010). Desarrollo de modelos de crecimiento urbano óptimo para la Comunidad de Madrid aplicando métodos de evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica. Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, (10), 7.
- [25] Rodríguez Tarducci, R., Cortizo, D., & Frediani, J. C. (2021). Problemáticas urbano-ambientales en torno a la expansión urbana en el partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina. Revista Universitaria de Geografía, 30(2), 39-63.
- [26] Roitman, S. (2016). Urbanizaciones cerradas a escala planetaria. PROSPECTIVA. Revista de Trabajo Social e intervención social, (21), 13-22.
- [27] Romero, H., Ordenes, F., & Vásquez, A. (2003). Ordenamiento territorial y desarrollo sustentable a escala regional, ciudad de Santiago y ciudades intermedias en Chile. Desafíos de la Biodiversidad en Chile, Eugenio Figueroa y Javier Simonetti, Editores, Editorial Universitaria, Santiago de Chile, 167-207.
- [28] Sharifi, Ali; Marjan Van, Herwijnen and Willem Van Den Toorn. 2004. Spatial Decision Support Systems, Capitulo 3 Spatial Multiple Criteria Decision Analysis. Pp.157-173.
- [29] Vergara Noriega, S. L. (2020). Análisis de amenaza por inundaciones en el municipio de San Marcos, Sucre mediante la evaluación multicriterio en sistemas de información geográfica.
- [30] Villacís García, J. O. (2020). Determinación de áreas con potencial hidrogeológico mediante evaluación espacial multicriterio de la microcuenca Honda, cantón Zaruma, provincia de El Oro.

Correo de autor de correspondencia: arq.yerania.martinez@gmail.com, maria.covarrubias@colima.tecnm.mx