

# EVALUACIÓN MULTICRITERIO CON APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICAS SIG PARA DEFINIR ESPACIOS DE EXPANSIÓN URBANA EN EL CANTÓN NARANJITO

## *MULTICRITERIA EVALUATION WITH THE APPLICATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS) TO DEFINE URBAN EXPANSION AREAS IN THE NARANJITO CANTON*

Edwin Alberto Cantos Sánchez <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9655-1303>. Correo: [ecantos@uagraría.edu.ec](mailto:ecantos@uagraría.edu.ec)

Israel Marcial Portilla Sánchez <sup>2</sup>

<sup>2</sup> Universidad de Guayaquil, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6929-6215>. Correo: [israel.portillas@ug.edu.ec](mailto:israel.portillas@ug.edu.ec)

Paola Gabriela Fajardo Espinoza <sup>3</sup>

<sup>3</sup> Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7348-6986>. Correo: [pfajardo@uagraría.edu.ec](mailto:pfajardo@uagraría.edu.ec)

Angélica Nathaly Lara Garabi <sup>4</sup>

<sup>4</sup> Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2320-554X>. Correo: [alara@uagraría.edu.ec](mailto:alara@uagraría.edu.ec)

\* Autor para correspondencia: [ecantos@uagraría.edu.ec](mailto:ecantos@uagraría.edu.ec)

### Resumen

Este estudio se enfoca en la evaluación multicriterio para determinar áreas óptimas de expansión urbana en el cantón Naranjito, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se identificaron zonas de restricción, como áreas consolidadas y cercanas a plantas de tratamiento de aguas residuales, donde la expansión urbana no es viable. A partir de capas que representan factores clave como hospitales, centros educativos, destacamentos policiales, ríos y vías, se desarrolló un modelo geoespacial detallado. La metodología de Saaty (EMC) fue empleada para ponderar estas variables, destacando la importancia relativa de cada una en la toma

de decisiones. Se priorizaron factores de mayor relevancia como la proximidad a hospitales y destacamentos policiales, mientras que otros como la cobertura vegetal y la pendiente del suelo se consideraron de menor impacto debido a su poca influencia en la expansión urbana en esta área. El análisis de consistencia confirmó la coherencia en la ponderación de los criterios. Los resultados del modelado SIG indicaron que las zonas más adecuadas para el crecimiento urbano están cercanas a áreas ya urbanizadas, lo que favorece el aprovechamiento de la infraestructura existente. Este enfoque integral permite una planificación urbana más eficiente y sustentable, adaptada a las características específicas del territorio de Naranjito.

**Palabras clave:** Evaluación multicriterio (EMC); expansión urbana; Sistemas de Información Geográfica (SIG); Metodología Saaty

### Abstract

*This study focuses on a multicriteria evaluation to determine optimal urban expansion areas in the canton of Naranjito using Geographic Information Systems (GIS). Restriction zones, such as consolidated areas and those near wastewater treatment plants where urban expansion is not feasible, were identified. A detailed geospatial model was developed based on layers representing key factors such as hospitals, educational centers, police stations, rivers, and roads. The Saaty methodology (MCE) was employed to weigh these variables, highlighting the relative importance of each in decision-making. Higher relevance was given to factors such as proximity to hospitals and police stations, while others, such as vegetation cover and soil slope, were considered to have less impact due to their minimal influence on urban expansion in this area. The consistency analysis confirmed the coherence in the weighting of the criteria. The GIS modeling results indicated that the most suitable areas for urban growth are close to already urbanized zones, which supports the utilization of existing infrastructure. This comprehensive approach allows for more efficient and sustainable urban planning, tailored to the specific characteristics of the Naranjito territory.*

**Keywords:** Multicriteria Evaluation (MCE); urban expansión; Geographic Information Systems (GIS); Saaty Methodology

**Fecha de recibido:** 21/07/2024

**Fecha de aceptado:** 07/09/2024

**Fecha de publicado:** 18/09/2024

### Introducción

El aumento de las zonas urbanas y su expansión territorial es un asunto crucial en la agenda urbana global. Es fundamental fomentar la planificación urbana y anticipar posibles conflictos futuros, a fin de lograr un equilibrio duradero entre las demandas de la población y las capacidades del territorio (Da Silva & Cardozo, 2015). Según un informe de la Organización de Naciones Unidas (ONU, 2022), debido a las altas tasas de natalidad del siglo XXI la población urbana sigue creciendo de forma natural, y esta tendencia es aún más

pronunciada en los países pobres. La ONU estima que de 2021 a 2050, la población urbana a nivel mundial crecerá del 56% al 68%.

Este aumento en la población urbana conlleva a que el desarrollo sostenible de los países dependa en mayor medida de la gestión del crecimiento y expansión urbana. Como afirma Lina Bassarsky, oficial de asuntos de población de la ONU, "La urbanización va a continuar y lo va a hacer más rápido en los países de ingresos bajos y medios". Por lo tanto, es necesario profundizar en el tema de la planificación territorial de las ciudades para poder gestionar de manera sostenible la expansión urbana, teniendo en cuenta las necesidades de la creciente población, las condiciones de habitabilidad urbana y el uso del suelo.

En este trabajo de investigación titulado como "Evaluación multicriterio con aplicación de Sistemas de Información Geográficas SIG, para definir espacios de expansión urbana en el cantón Naranjito" se aborda el crecimiento urbano en el cantón Naranjito que ha generado la necesidad de definir espacios adecuados para la expansión urbana, considerando la complejidad de factores a evaluar. Por ello, surge la problemática de cómo evaluar de manera efectiva y eficiente las diferentes alternativas de expansión urbana, tomando en cuenta múltiples criterios. Para abordar esta problemática, se plantea la evaluación multicriterio con la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG), como una herramienta que permita la identificación y selección de los espacios más idóneos para la expansión urbana en el cantón Naranjito.

El principal objetivo de este estudio es identificar las zonas óptimas para el crecimiento urbano en el cantón Naranjito, para lo cual se plantean tres objetivos específicos. En primer lugar, se busca determinar los parámetros que influyen en la toma de decisiones para la evaluación multicriterio (EMC). En segundo lugar, se establecerá una metodología para pronosticar el crecimiento urbano a partir de la información obtenida en la EMC. Por último, se realizará un modelado de las zonas de influencia con herramientas SIG, con el fin de establecer las zonas con mayor potencial para el crecimiento urbano. De esta manera, se pretende contribuir a la gestión territorial sostenible y equilibrada del cantón Naranjito, promoviendo una toma de decisiones más informada y participativa en la planificación urbana.

En este contexto, surge la necesidad de gestionar de manera eficiente el crecimiento urbano, garantizando un desarrollo sostenible y equilibrado en la zona. Actualmente, la falta de una planificación adecuada y la toma de decisiones sin un análisis detallado, han provocado un uso inadecuado del territorio y una expansión urbana descontrolada, generando conflictos ambientales, sociales y económicos.

En este sentido, la aplicación de la evaluación multicriterio con SIG permitirá una evaluación más precisa y detallada de los diferentes aspectos involucrados en la expansión urbana, tales como la disponibilidad de servicios básicos, la accesibilidad, la topografía, la calidad ambiental, entre otros.

Asimismo, el uso de SIG facilitará la integración y el análisis de datos georreferenciados de diferentes fuentes, permitiendo una mejor comprensión de la realidad del territorio y una toma de decisiones más informada y participativa.

De acuerdo con Santos et al. (2015), la evaluación multicriterio se define como una metodología que permite evaluar alternativas de manera objetiva y sistemática a través de la consideración de múltiples criterios y factores. Esta metodología es ampliamente utilizada en la planificación y gestión territorial, permitiendo una toma de decisiones más informada y participativa. Además, la aplicación de Sistemas de Información

Geográfica (SIG) en la evaluación multicriterio permite la integración y análisis de datos georreferenciados de diferentes fuentes, facilitando una mejor comprensión de la realidad territorial.

Según Peralta et al. (2019), la planificación territorial debe ser un proceso que promueva un desarrollo sostenible y equilibrado en las zonas urbanas, garantizando una gestión adecuada del territorio y una calidad de vida adecuada para la población. En este sentido, la aplicación de SIG en la planificación territorial permite la integración y análisis de información geográfica, social y económica, facilitando la identificación de los impactos y riesgos asociados al crecimiento urbano descontrolado y la identificación de alternativas más adecuadas y sostenibles.

Para Burgos et al. (2018), la expansión urbana descontrolada genera conflictos ambientales, sociales y económicos, afectando negativamente la calidad de vida de la población y la sostenibilidad del territorio. En este sentido, la evaluación multicriterio con la aplicación de SIG se presenta como una herramienta fundamental para la gestión territorial, permitiendo la evaluación de alternativas de expansión urbana en función de múltiples criterios, tales como la accesibilidad, la calidad ambiental, la disponibilidad de servicios, entre otros. De esta manera, se promueve una toma de decisiones más informada y participativa, garantizando un desarrollo urbano más sostenible y equilibrado.

La interdisciplinariedad, integra saberes en la cual se relacionan diferentes áreas del conocimiento en función de obtener un aprendizaje argumentativo y lograr el desarrollo de la aplicación de lo que se sabe desde diferentes áreas del conocimiento.

Se convierte en una necesidad articular los temas de diferentes asignaturas, de manera que los estudiantes puedan de adquirir el conocimiento asociando fenómenos en una sola dimensión. Esto es posible mediante la práctica y asociación entre maestros estudiantes y temas que, con diversos matices, partan de las raíces de las cosas existentes en la naturaleza que han contribuido a cambios sociales, culturales y científicos.

La Física al ser la ciencia que estudia y describe el comportamiento de los fenómenos naturales que ocurren en nuestro universo. Desde el apareamiento ha sido paciente a cambios radicales, con creencias al inicio y comprobaciones posteriores permite el análisis de elementos compositivos, del conocimiento llegando al entendimiento del concepto del mundo.

Hallar a través de la Física la descripción de la función de las cosas a nuestro alrededor, por ejemplo, cómo se mueven los objetos, por qué las cosas caen, cómo se propaga el sonido, qué es la luz, entre otras formas tienen un idioma propio que refleja la identidad de las cosas existente en el universo

La Química, estudia las sustancias e interacciones y como producen cambios tanto en la materia como en la energía, permite comprender y crear moléculas y materiales complejos, tiene un papel protagónico en la vida cotidiana, está presente en los alimentos, cosméticos, combustibles, tratamiento de aguas, textiles, en la minería, construcción, medicina, farmacia, productos industriales, medio ambiente, entre muchos otros más. De ahí, la necesidad e importancia de la investigación como un fenómeno científico, social y pedagógico, que con el paso de los años se ha ido transformando, confirmando de esta manera que las revelaciones científicas van sufriendo transformaciones que han permitido el avance de la ciencia.

La investigación se desarrolló en la unidad educativa municipal Julio Moreno Peñaherrera de la parroquia de Amaguaña en el periodo 2023 – 2024, el estudio permitió entender la interconexión de la Química y Física

en los diferentes temas de estudio que transfigura en nuevos elementos necesarios en la sociedad globalizada como práctica marcada.

Al final se elaboró una propuesta de trabajo de aula, con el objeto de contribuir a mejorar las prácticas de laboratorio como un sistema de garantía de calidad, relativo al modo de organización de los estudios de seguridad, referentes a la salud y al medio ambiente en materia de cómo se planifican, se ejecutan, se controlan, se registran, se archivan y se difunden

## Materiales y métodos

### Delimitación espacial

El cantón Naranjito, situado en la provincia del Guayas, Ecuador, abarca aproximadamente 761 km<sup>2</sup> y está ubicado a 60 kilómetros al noreste de Guayaquil. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en 2021, la población del cantón era de 84,273 habitantes. El clima del área es cálido y húmedo, con temperaturas promedio entre 25°C y 30°C. La cabecera cantonal, conocida por su ambiente tranquilo y acogedor, cuenta con infraestructura básica, incluyendo una red de carreteras y servicios como salud, educación, agua potable y alcantarillado.



Figura 1. Delimitación de la Investigación

### Datos

Para la evaluación, se recopilaron variables espaciales basadas en literatura relevante y datos disponibles del área de estudio. Las variables incluyen la ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), zonas urbanas, ríos, tipos de suelo, destacamentos de policía, centros educativos, hospitales y vías principales. Toda la información se proyectó en el sistema de referencia espacial UTM Zona 17S, usando datos obtenidos del Geoportal del Instituto Geográfico Militar (IGM).

### Técnicas de análisis

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se utilizaron como herramienta principal para el análisis de la información espacial. Según Longley et al. (2015), un SIG es un conjunto de herramientas que permite recopilar, almacenar, recuperar, transformar y visualizar datos geoespaciales, facilitando la toma de decisiones en planificación territorial.

Como afirman Laguna Marín-Yaseli y Nogués Bravo (2001), los SIG son esenciales en la gestión y ordenación del territorio, permitiendo evaluar e integrar múltiples alternativas y limitaciones territoriales en la definición de usos de suelo. En esta investigación, los SIG fueron clave para determinar la aptitud del territorio para acoger nuevas urbanizaciones y dirigir el crecimiento urbano hacia las áreas más apropiadas.

Además del uso de SIG, se aplicó la técnica de comparación por pares de Saaty para establecer una jerarquía de importancia entre las variables, asignando una ponderación a cada criterio con base en su relevancia en el análisis.

### Definición de Criterios de Evaluación

Se emplearon tres grupos de criterios: limitantes, factores ambientales y accesibilidad, para la evaluación multicriterio de zonas de expansión urbana en Naranjito.

1. **Criterios Limitantes:** Identificaron áreas donde el desarrollo urbano no es viable debido a restricciones legales, físicas o sociales. Se establecieron como limitantes la presencia de la planta de tratamiento de aguas residuales y las zonas urbanas consolidadas.
2. **Criterios de Factores Ambientales:** Consideraron los impactos y riesgos ambientales asociados al desarrollo urbano. Los criterios seleccionados incluyen la proximidad a ríos y el tipo de suelo, factores que determinan la viabilidad ambiental del desarrollo.
3. **Criterios de Accesibilidad:** Evaluaron la proximidad a servicios básicos y vías principales para garantizar una buena calidad de vida en las áreas de expansión urbana. Los criterios incluyeron la cercanía a destacamentos de policía, centros educativos, hospitales y vías principales.

### Criterios limitantes

Según lo definido por Jiang y Eastman (2000), un criterio limitante en SIG es “el limitante puede ser expresado como alguna característica que la solución final no puede poseer”. De esta forma, la aplicación del criterio limitante permite la exclusión de ciertas alternativas en función de la actividad evaluada, restringiendo así varias categorías de la capa analizada.

En esta investigación, con base al contexto del área de estudio, se estableció como limitante:

- Planta de tratamiento de aguas residuales
- Suelo urbanizado consolidado

### **Criterios de factores ambientales**

Los factores ambientales en cierta medida determinan la capacidad de actividad antrópica en un medio. Así lo señalan Timmermans y van der Waerden (2013), "los criterios ambientales son cada vez más importantes en la toma de decisiones urbanas, ya que las consecuencias de las decisiones urbanas tienen un impacto directo en el medio ambiente y, por lo tanto, en la calidad de vida de los habitantes urbanos" (p. 43). En este sentido, es fundamental que consideremos criterios ambientales en el modelo SIG para la toma de decisiones, para así asegurar un desarrollo urbano sostenible y respetuoso del medio ambiente.

En consecuencia, esta investigación toma en cuenta, en función del área de estudio, los siguientes criterios relacionados con el medio ambiente:

- Ríos
- Tipo de suelo

### **Criterios de accesibilidad**

Los criterios de accesibilidad permiten evaluar la facilidad de desplazamiento hacia los diferentes servicios y equipamientos urbanos, lo que a su vez influye en la distribución de la población y en la configuración de los patrones de uso del suelo (Mills, 2006). Asimismo, los criterios de accesibilidad pueden ayudar a identificar áreas que requieren mejoras en infraestructura vial o de transporte público para garantizar una distribución equitativa de los servicios y equipamientos urbanos en la ciudad (Güneralp, Filippi, y Güneralp, 2014). En el caso específico de los criterios mencionados en esta investigación, la presencia de centros educativos, hospitales y destacamentos de policía en zonas accesibles puede contribuir a una mayor calidad de vida para la población residente en la zona urbana, al garantizar el acceso a servicios básicos y de seguridad pública. Así pues, en esta investigación se considera los siguientes factores como criterios de accesibilidad:

- Zona urbana
- Destacamento policía
- Centros educativos
- Hospital
- vías principales

### **Ponderación de criterios**

Siguiendo la Ley de Weber-Fechner, se realizó una ponderación de cada factor para asignar una jerarquía y evaluar las mejores opciones para el uso de suelo urbano. Esta ponderación se llevó a cabo utilizando la técnica de comparación por pares de Saaty, que permite valorar numéricamente la relevancia de cada criterio en el análisis.

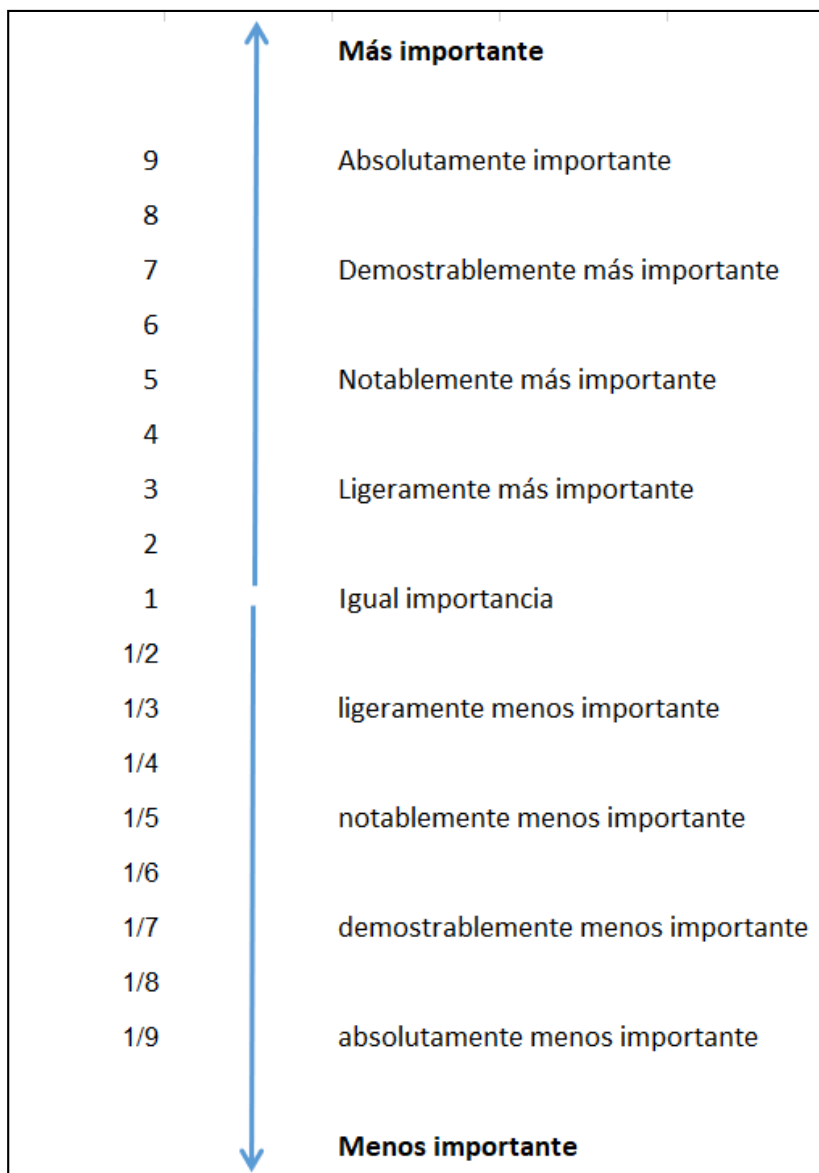


Figura 2. Escala usada para ponderación de criterios

### Coefficiente de Consistencia (CR)

El Coeficiente de Consistencia (CR) se utilizó en el método de Análisis Jerárquico de Procesos (AHP, por sus siglas en inglés). Este coeficiente se empleó para evaluar la consistencia de los criterios establecidos en el proceso de toma de decisiones. El CR mide la coherencia entre las diferentes comparaciones que los expertos han realizado para establecer la jerarquía de importancia de los criterios.

Mientras menor sea la relación de consistencia CR, más consistentes son los criterios dados por los especialistas. Si CR, es mayor a 0,10 los criterios son inconsistentes.



Las fórmulas necesarias para el cálculo de CR se describen a continuación.

$$Ci = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$Rci = \frac{1,98 * (n - 2)}{n}$$

$$CR = Ci/Rci$$

Donde;

CR= Relación de consistencia

Ci= Índice de consistencia

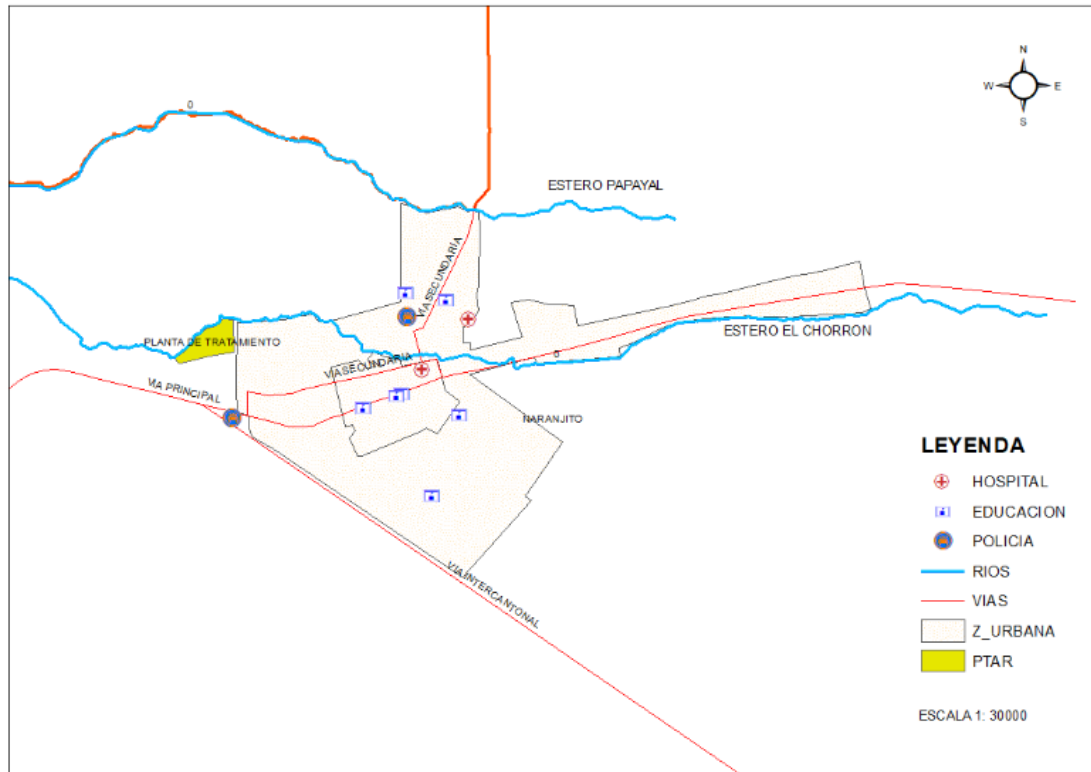
Rci= Índice de Consistencia Aleatoria, que depende del número de criterios a evaluar

El Índice de Consistencia (Ci) se calcula a partir de la matriz de comparación de criterios y se compara con el índice de consistencia aleatoria (Rci) correspondiente. Si el valor de CR obtenido es mayor a 0.10, se considera que los criterios son inconsistentes.

## Resultados y discusión

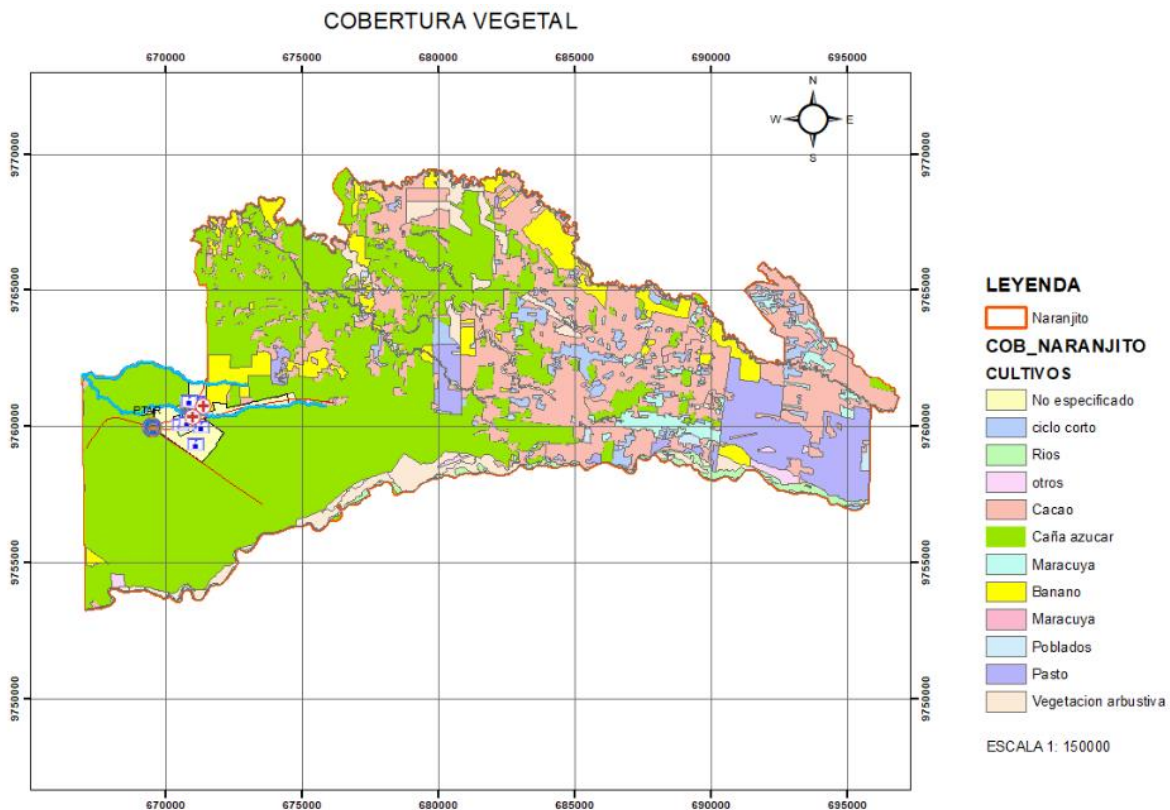
En la determinación de parámetros que influyen en la toma de decisiones para la evaluación multicriterio se identificó en primera instancia las zonas de restricciones, que se definen como zonas donde no sería adecuada la expansión urbana. En la Figura 3, se identifican estas zonas limitantes en las capas Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y Suelo urbanizado consolidado (Z\_URBANA). Ambas capas fueron consideradas como una restricción de donde ya no se puede consolidar viviendas debido a su actual consolidación y cercanía a una planta de tratamiento de agua que resulta perjudicial para el hábitat de las personas.

Posteriormente se creó capas con los parámetros que tienen determinado grado de relevancia para el análisis como; hospitales, centros de educación, unidades de policía comunitaria, ríos y, vías. Estos parámetros establecidos anteriormente en el capítulo de metodología se expresaron como capas en el modelado geoespacial.



**Figura 3.** Plano de Parámetros Considerados

La influencia del factor de cobertura vegetal en la toma de decisiones para la evaluación multicriterio no se consideró relevante en esta zona debido a la ausencia de limitaciones significativas, como bosques protectores o zonas verdes urbanas. Aunque la mayor parte de la cobertura vegetal está ocupada por cultivos de caña de azúcar y banano, *Figura 4*, estos no representan un obstáculo importante para la expansión urbana, ya que su expropiación es relativamente sencilla. Por lo tanto, se priorizaron factores de mayor relevancia en la toma de decisiones, considerando que la cobertura vegetal no influye significativamente en este caso.



**Figura 4.** Coberta Vegetal

La pendiente del suelo no se consideró como un factor relevante en la toma de decisiones para el asentamiento de viviendas, debido a que el porcentaje de pendiente es menor al 5%. Este factor se puede observar en el mapa de las capas de nivel de la zona de estudio, que se muestra en la *Figura 5*. En consecuencia, se enfocó en factores que tuvieran mayor impacto en la evaluación multicriterio para la toma de decisiones.

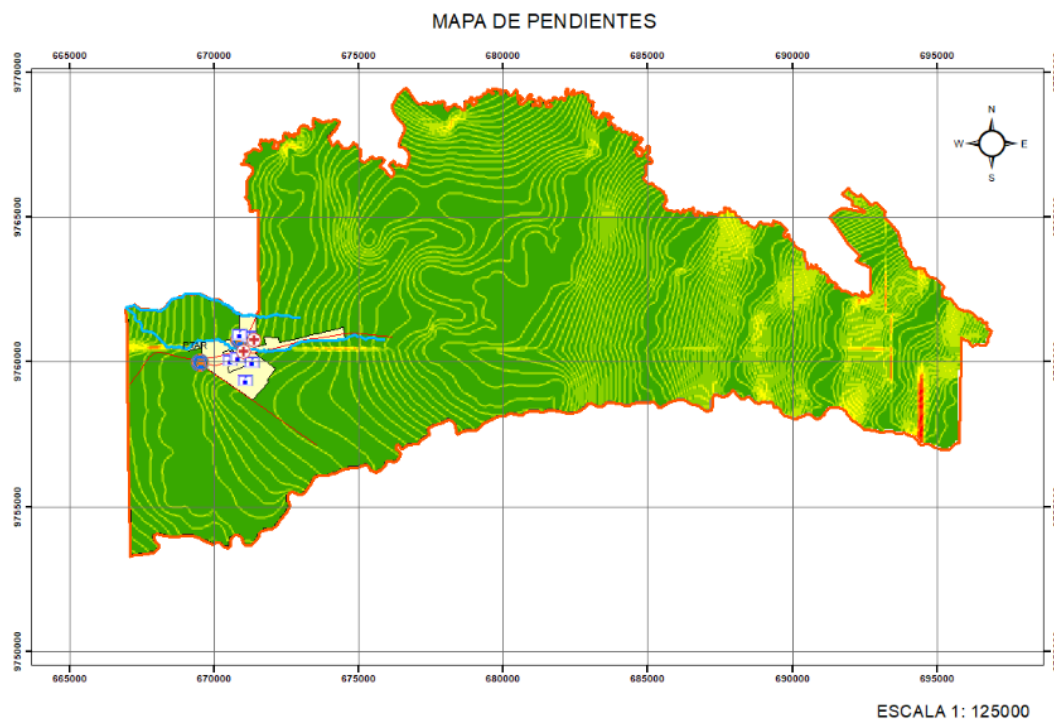


Figura 5. Mapa de Pendiente

### Metodología SAATY (EMC)

Con respecto a la metodología empleada para pronosticar el crecimiento urbano a partir de la información obtenida en la EMC, se partió desde la determinación de criterios para la ponderación de las variables consideradas para el análisis. En la *Tabla 1* se resume los resultados para la ponderación de cada factor perteneciente a los distintos criterios analizados.

Tabla 1. Determinación de criterios para ponderación de variable.

Nombre	Tipo variable	Proceso	Ponderación de variable		
			Baja	Media	Alta
Dist a Poblado	Continua	Euc dist- reclass	< 500 m	500-1000 m	> 1000 m
Vias	Continua	Euc dist- reclass	< 500 m	500-1000 m	> 1000 m
Dist a Centro Educativos	Continua	Euc dist- reclass	< 1000 m	100-2000 m	> 2000 m
Dist a Hospital	Continua	Euc dist- reclass	< 1000 m	100-2000 m	> 2000 m
Dist a Policia	Continua	Euc dist- reclass	< 1000 m	100-2000 m	> 2000 m

Tipo Suelo	Discreta	Conversion tool- reclass	otros (3)	Franco arenoso (2)	Arcilloso (1)
Dist a Planta Aguas residuales	Continua	Euc dist- reclass	< 1000 m	100-2000 m	> 2000 m
Dist a ríos	Continua	Euc dist- reclass	> 1000 m	500-1000 m	< 1000 m

Fuente: Cantos, 2023

La Tabla 1 presenta los criterios y variables utilizados en la evaluación multicriterio con aplicación de sistemas de información geográfica (SIG) para definir espacios de expansión urbana en el cantón de Naranjito. Los nombres de las variables incluyen: distancia al poblado, distancia a vías, distancia a centros educativos, distancia a hospitales, distancia a destacamentos policiales, tipo de suelo, distancia a plantas de tratamiento de aguas residuales y distancia a ríos.

Cada variable tiene un tipo (continua o discreta), un proceso (Euclidiana de reclasificación o herramienta de conversión) y una ponderación de variable con tres niveles: baja, media y alta. Por ejemplo, la variable "distancia al poblado" tiene una escala continua, se procesó mediante la distancia euclidiana de reclasificación y su ponderación de variable tiene tres niveles: menos de 500 metros (baja), de 500 a 1000 metros (media) y más de 1000 metros (alta).

### Determinación de pesos mediante SAATY (EMC)

Para determinar los pesos de las variables, primero se creó una matriz de comparación de criterios en la Tabla 2. Los criterios se compararon de a pares en una escala numérica del 1 al 9 según su importancia relativa en el problema, esta escala se encuentra en el capítulo de metodología, Figura 2. Posteriormente, se calcularon los pesos de los criterios utilizando la metodología EMC de Saaty. En la Tabla 2, se puede observar que el resultado de la matriz de determinación de pesos es la columna "Wi", donde se especifican los pesos de cada criterio.

Tabla 2. Método SAATY

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Wi	Ci	LAMDAi
C1	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,12	0,83
C2	1,00	1,00	3,00	1,00	2,00	0,50	2,00	2,00	1,57	0,19	1,02
C3	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,84	0,10	1,00
C4	2,00	1,00	3,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,57	0,19	1,30
C5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	0,12	0,00
C6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,12	0,00
C7	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	0,59	0,07	0,00
C8	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00	0,84	0,10	0,00

Fuente: Cantos, 2023

En la Tabla 3, se indica que la variable C1 corresponde a la "Zona urbana", la variable C2 corresponde al "Destacamento Policial", la variable C3 corresponde a los "Centros educativos", y así sucesivamente hasta la variable C8, que corresponde al "Tipo de suelo". Además, se presentan los pesos otorgados a cada variable,

donde se puede observar que la variable más importante es "Hospital" con un peso de 0.186, seguida por "Destacamento Policial" y "Tipo de suelo", ambas con un peso de 0.100. En esta misma tabla se muestra los pesos relativos finales de cada uno de los criterios evaluados. Estos pesos se han obtenido a partir de los valores de  $W_i$  calculados en la *Tabla 2*, y se corresponden con los ocho criterios evaluados: Zona urbana, Destacamento Policia, Centros educativos, Hospital, Vias principales, Rios, Planta de tratamiento de aguas residuales y Tipo de suelo.

**Tabla 3.** Pesos de ponderación SAATY

Variable	Factor al que corresponde	Pesos
C1	Zona urbana	0,119
C2	Destacamento Policia	0,186
C3	Centros educativos	0,100
C4	Hospital	0,186
C5	Vias principales	0,119
C6	Rios	0,119
C7	Planta de tratamiento de aguas residuales	0,071
C8	Tipo de suelo	0,100
		1,00

Fuente: Cantos, 2023

La Tabla 4 muestra el análisis de consistencia de una matriz de decisión construida con el método de Saaty. En la primera columna muestra el valor del índice de consistencia ( $C_i$ ), que es un valor que se calculó para evaluar la coherencia de las comparaciones realizadas en la matriz de decisión. Este valor se obtuvo a partir de una fórmula matemática, descrita en el capítulo de metodología, que utiliza la suma de los productos de los valores de la matriz por su correspondiente peso relativo.

El valor de  $C_i$  fue comparado con un valor de referencia que se obtiene de la tabla de valores de referencia de acuerdo con el tamaño de la matriz. La tercera columna muestra el valor del índice de consistencia relativa ( $R_{ci}$ ), que se calcula dividiendo el valor de  $C_i$  por el valor de referencia. En este caso,  $R_{ci}$  es  $0,053381261 / 0,99 = 0,0539$ .

La última columna muestra una evaluación de la consistencia de la matriz, expresada como el valor del índice CR. Este valor se calculó a partir de una fórmula matemática que utiliza el número de criterios ( $n$ ) y el índice de consistencia relativa ( $R_{ci}$ ). En este caso, el valor de CR es 0,0539, que se considera consistente ya que es menor que 0,1. En resumen, esta tabla indica que la matriz de decisión evaluada es consistente, lo que significa que las comparaciones realizadas en la matriz son coherentes y no hay inconsistencias significativas.

**Tabla 4.** Consistencia de matriz SAATY

$C_i$ =	0,0534	
$R_{ci}$ =	0,99	
CR=	0,0539	Consistente

Fuente: Cantos, 2023

### Modelado de zonas de influencia con herramientas SIG

La Figura 6 presenta el mapa de las zonas óptimas para el crecimiento urbano del cantón Naranjito, el cual fue modelado a partir de los criterios y factores definidos previamente, utilizando el método Saaty para la ponderación de los mismos. La integración de las ponderaciones de las variables permitió obtener capas en el modelo SIG que muestran las zonas más y menos adecuadas para la expansión urbana del cantón. La leyenda asociada describe la aptitud de cada zona, donde el color verde indica las zonas más óptimas para el crecimiento urbano, el amarillo simboliza zonas que presentan ciertas limitaciones y el color rojo representa las zonas no óptimas. Este mapa demuestra la relevancia de las variables analizadas en el modelamiento SIG, donde la proximidad de las zonas óptimas al suelo ya urbanizado es coherente con el aprovechamiento de la infraestructura urbana ya establecida.

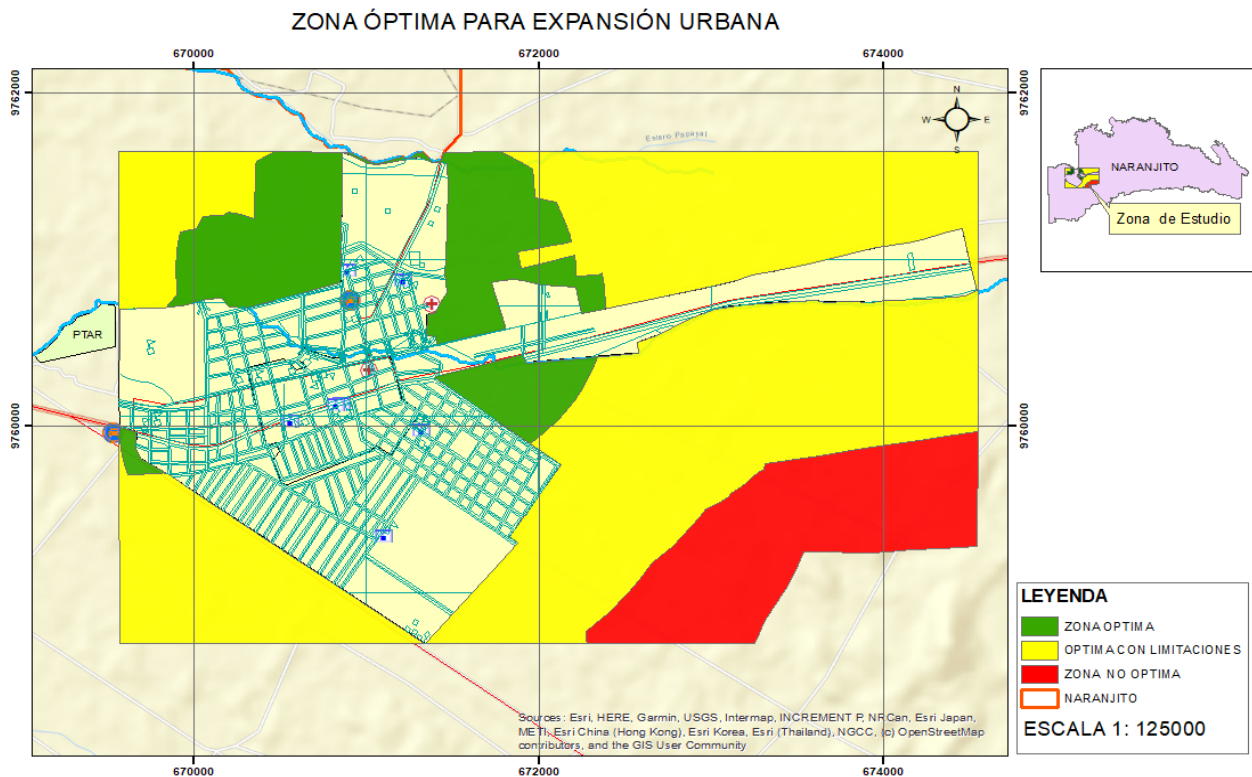


Figura 6. Zonas óptimas para expansión urbana

### Conclusiones

En este estudio específico no se consideraron factores como cobertura y pendiente debido a que no se encontraron limitaciones significativas con relación a la expansión urbana en la zona de estudio. Aunque la cobertura vegetal está ocupada principalmente por cultivos de caña de azúcar y banano, estos no representan un obstáculo importante para la expansión urbana ya que su expropiación es relativamente sencilla. En cuanto a la pendiente del suelo, se determinó que su porcentaje es menor al 5% y por lo tanto no se consideró relevante en la toma de decisiones para el asentamiento de viviendas. Por lo tanto, se priorizaron otros factores que tuvieran mayor impacto en la evaluación multicriterio para la toma de decisiones en este caso específico.

La metodología SAATY es una herramienta útil para el análisis de decisiones en el que se ordenan las variables y se les da una escala de acuerdo con el análisis técnico. Esta técnica permite establecer qué factores influyen en mayor o menor medida en el análisis espacial de las variables estudiadas y, por tanto, es útil en la toma de decisiones en el ámbito espacial. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la consistencia en los resultados obtenidos debe ser verificada y que la interpretación de los resultados también depende del criterio y juicio del experto que realiza el análisis.

La aptitud para el crecimiento urbano está directamente relacionada con la cercanía a las variables estudiadas. Se pudo observar que esta relación geográfica se correlaciona con la expansión histórica del cantón. En otras palabras, las áreas más cercanas a las variables estudiadas son las más aptas para el crecimiento urbano, mientras que las áreas más distantes tienen menor aptitud para el crecimiento urbano. Este hallazgo sugiere que es importante considerar las variables estudiadas al tomar decisiones de planificación urbana, ya que pueden influir en la aptitud de un área para el crecimiento urbano.

La aplicación de la metodología de Evaluación Multicriterio junto con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha demostrado ser una herramienta valiosa en la definición de zonas óptimas para la expansión urbana en el Cantón Naranjito. El análisis geoespacial permitió identificar las áreas más aptas para el crecimiento urbano en función de múltiples criterios, tales como la accesibilidad a vías principales, distancia a centros poblados, entre otros. Asimismo, se logró comprobar que la cercanía a las variables estudiadas, así como la expansión histórica del cantón, son factores claves para considerar en la definición de zonas óptimas. En este sentido, las herramientas SIG y el uso de geoprocetamiento se convierten en un aliado estratégico para la toma de decisiones en la planificación urbana y el ordenamiento territorial.

## Referencias

- Bauriedl, S. (2017). Urban expansion and sustainability: the multiple scales of urban growth. *Sustainability Science*, 12(1), 33-43.
- Da Silva, C., & Cardozo, O. (2015). Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina). *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, GeoFocus (Artículos)*(16), 23-40.
- Everitt, B., & Dunn, G. (2001). *Applied multivariate data analysis (2nd ed.)*. Arnold.
- Fernández, P., & Ramos, S. (2017). Evaluación multicriterio para la planificación territorial y urbana: Una revisión de la literatura. *Revista de Estudios Regionales*, 109(1), 115-140.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics (4th ed.)*. Sage Publications.



- Gaviria, M., & Sánchez, D. (2018). Aplicación de los SIG en la planificación urbana y el ordenamiento territorial. *GeoFocus*, 1(18), 126-146.
- Güneralp, B., Filippi, A., & Güneralp, I. (2014). Urban accessibility as an indicator of quality of life in US metropolitan areas. *Rev. Cities*, 12(1), 38-49.
- Hair, J., Black, W., Babin, B., & Anderson, R. (2014). *Multivariate data analysis (7th ed.)*. Pearson.
- Hong, Y., J, K., & Kim, J. (2018). Urban infrastructure assessment using GIS and multi-criteria analysis: a case study of the city of Daejeon, South Korea. *Sustainability*, 22-32. doi:10.3390/su10072222
- Jiang, H., & Eastman, J. (2000). Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(2), 173-184.
- Laguna, M., & Nogué, D. (2001). La Potencialidad Turística del medio natural en el LIC de las Sierras Ibéricas Riojanas mediante Evaluación Multicriterio. *Zubía Monográfico*, 13(1), 227-240.
- Le Vine, S. (2017). Urban expansion, mobility and the sustainable city. *Journal of Transport Geography*, 64(1), 181-188.
- Mills, G. (2006). *GIS, Environmental Modelling and Engineering*. Taylor & Francis, New York.
- Moraes, S. (2019). Expansão urbana e desigualdades socioespaciais: o caso de Belo Horizonte, Brasil. *Cadernos MetrÓpole*, 21(46), 29-48.
- Organización de Naciones Unidas (ONU). (2022). Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. *World Cities Report 2022: The Value of Sustainable Urbanization*. Obtenido de [https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr\\_2022.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf)
- Rencher, A., & Christensen, W. (2012). *Methods of multivariate analysis (3rd ed.)*. Wiley.
- Silva, A., Moreira, J., Rocha, J., & Coelho, C. (2017). SIG en el ordenamiento territorial: un análisis del impacto ambiental en una zona costera. *Boletín de la Asociación de Geólogos Españoles*. AGE, España.
- Tabachnick, B., & Fidell, L. (2013). *Using multivariate statistics (6th ed.)*. Pearson.
- Timmermans, H., & Waerden, v. d. (2013). Environmental Criteria in Urban Planning: A Comparative Study of Dutch and German Practices. (Springer, Ed.) In G. Gospodini (Ed.), *Planning and Design of Sustainable Urban Mobility Systems*, 43-62.
- Yan, Y., Chen, Y., Chen, N., & Li, X. (2019). GIS-based urban growth pattern analysis: a case study of the city of Chengdu, China. *Habitat International*, 93, 10-20.
- Yang, C., Zhang, W., & Lu, J. (2020). Los impactos de la expansión urbana en la biodiversidad. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 43(1), 58-63.