



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

REDES DE INGENIERÍA

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/REDES/index>

Análisis de idoneidad del suelo para construcción de colegios públicos integrando SIG y PAJ en el área urbana de Bogotá

Land suitability analysis for construction of public schools integrating GIS and AHP in Bogotá's urban area

Tipo de artículo: Revisión de Caso.

Fecha de recepción:

Fecha de aprobación:

Resumen

Este artículo presenta un procedimiento para evaluar la idoneidad del suelo para su destinación a nuevos equipamientos educativos públicos en el área urbana de la ciudad de Bogotá, D.C., Colombia, utilizando un proceso de análisis jerárquico (PAJ) y sistemas de información geográfica (SIG) en los que se tienen en cuenta las directrices de la norma NTC 4595, el POT de la ciudad y otros usos de suelos cuyo cambio de actividad es poco probable como son los destinados a hospitales y cementerios, entre otros. Como resultado del análisis se establecen las zonas idóneas para la ubicación de terrenos destinados a dicho fin. Además se reconoce cuales equipamientos educativos actuales no cumplen con los criterios.

Palabras clave

Sistemas de información geográfica (SIG), Proceso análisis jerárquico (PAJ), Evaluación multicriterio (EMC).

Abstract

This study presents a procedure in order to evaluate the suitability of land for the destination of new public educational equipment within Bogotá, Colombia urban area, using an Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information Systems (GIS); where the criteria considered were NTC 4595, city's Land Use Planning and other soils whose change of activity is unlikely as hospitals and graveyards among others. As a result of the analysis it is

established which areas are suitable for the location of land intended for that purpose, also it can be recognized which existing educational equipment do not meet the criteria.

Key words:

Geographic Information Systems (GIS), Analytic Hierarchy Process (AHP), Multicriteria Evaluation (MCE).

Introducción

El actual Plan de Desarrollo de Bogotá reglamentado bajo el Acuerdo 645 de 2016 plantea mejorar las condiciones de acceso y permanencia a la educación y para ello se propone la construcción de nueva infraestructura que permita tener instituciones educativas más cerca de sus hogares [1]. La población en edad escolar (PEE) en colegios distritales de la ciudad alcanzaba un total de 877.536 estudiantes para el año 2015 teniendo en cuenta los colegios distritales, colegios privados en convenio con la secretaría de educación distrital y colegios en concesión. La tasa de deserción educativa ha venido decreciendo paulatinamente, pasando de un 3.9% en 2010 hasta un 2,3% en 2014, lo cual mide positivamente la eficiencia interna del sistema educativo [2]. Tomando en cuenta que los próximos años se espera que Bogotá siga creciendo en número de habitantes [3] [4], la planificación en infraestructura de equipamientos colectivos se hace necesaria, todo esto dado que la selección de un lugar al ser una decisión compleja es un componente clave para el éxito de cualquier proyecto, [5] más aún cuando se involucran dineros del sector público. Hasta 1998 parecía como un hecho normal que tanto la ubicación de los colegios y la población no obedecían a ningún tipo de previsión urbanística, sino que, en buena parte eran el resultado del azar, los colegios se construían donde hubiesen predios disponibles o, incluso, se adaptaban para tal uso [6]. No fue sino hasta el año 2006 cuando el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) ratificó la Norma Técnica (NTC) 4595, en la cual se establecen parámetros mínimos para la construcción de equipamientos educativos, actualmente la NTC 4595 se encuentra en su segunda actualización, los parámetros creados tienen en cuenta usos del suelo y la topografía del mismo, entre otros. Adicionalmente a los sugeridos en la NTC también se mencionan requerimientos adicionales dependiendo del POT de la ciudad.

Como objetivo principal se realiza un desarrollo metodológico regido bajo la legislación Colombiana, con el fin de localizar áreas potencialmente idóneas para la construcción y/o ubicación de equipamientos educativos de carácter público, utilizando análisis multicriterio y sistemas de información geográfica, debido a que estos son una herramienta poderosa para procesar datos espaciales y no espaciales, además, de visualizar resultados [7]. Aunque la integración de PAJ y SIG tiene como finalidad diversos tipos de análisis [8], entre otros la creación de mapas que pueden ser utilizados como herramienta para análisis de idoneidad [9] y actividades de desarrollo, los mapas obtenidos de esta manera son de gran utilidad a la hora de toma de decisiones [10]. La tecnología SIG es empleada para formular diferentes *mapas de criterio*, los cuales son usados en PAJ para construir modelos de idoneidad [11].

Metodología

A continuación se describe el proceso de integración de las metodologías planteadas por el PAJ y un SIG. El objetivo de dicha integración es la identificación de las zonas idóneas para construcción de los equipamientos educativos en la ciudad de Bogotá, debido a la existencia amplia de criterios, lo cual genera dificultad al momento de la toma de decisiones. El PAJ es una herramienta útil para manejar decisiones multicriterio [12]; el método de trabajo es lógico y estructurado, optimiza la toma de decisiones complejas cuando existen múltiples criterios o atributos mediante la descomposición del problema en una estructura jerárquica [13] lo cual conlleva a ver un problema determinado, como un conjunto de pequeños problemas individuales, el procedimiento consiste en justificar una decisión de manera subjetiva, dependiendo de cada uno de los criterios que se tengan para tomar la decisión. Analizando los subcriterios y su relación mutua los juicios subjetivos se convierten en análisis cuantitativos empleando una escala de importancia ponderada [14].

Esta metodología desarrollada originalmente por Saaty [15] plantea el siguiente flujo de trabajo para lograr la descomposición de un problema, meta u objetivo:

- Definir el problema, meta u objetivo y determinar el tipo de solución que se desea.
- Estructurar la jerarquía tomando como inicio el objetivo que impulsa la investigación, posteriormente los criterios, luego los subcriterios (criterios que dependen de los elementos posteriores) hasta el nivel más bajo (por lo general las alternativas).
- Construir las matrices de comparación por pares de criterio (MCP), en las cuales se contrastan uno frente a otros de manera cuantificable y determinan la importancia relativa entre sí.
- Realizar el proceso matemático para calcular los pesos específicos de cada criterio. Verificar los radios de consistencia (RC) de cada una de las MCP para demostrar que los valores ingresados en estas tienen una cualificación lógica y estructurada. Utilizar los pesos encontrados en los criterios para así ponderar los pesos de los subcriterios y ajustarlos a la estructura general planteada.

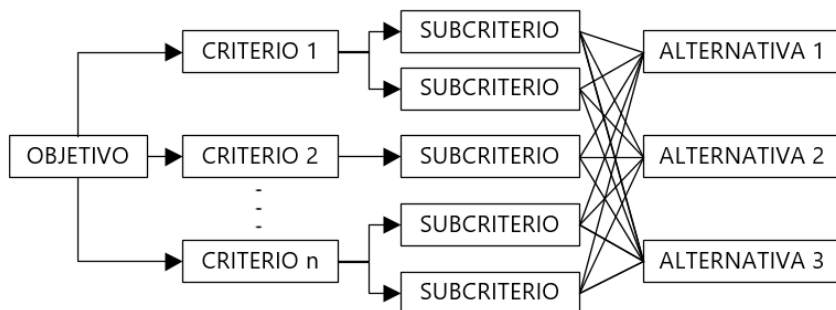


Figura 1 Estructura general de un PAJ.

Fuente: Autores con base en [16]

La Figura 1 representa la estructura de un PAJ de manera general. En cada nivel de la jerarquía se realiza una comparación entre los criterios de este nivel mediante las MCP, los niveles jerárquicos inferiores serán analizados teniendo en cuenta el nivel superior del cual proceden y así sucesivamente hasta las alternativas.

La construcción de las matrices de comparación por pares de criterio, se realiza tomando de cada nivel jerárquico los criterios a analizar (en niveles más bajos se tendrá en cuenta el nivel y el criterio del que depende) y se procede a analizar el grado de importancia que posee un criterio frente a otro utilizando los valores establecidos en la Tabla 1 [17], esto significa que un criterio comparado consigo mismo tendrá la misma importancia, denotada con un uno (1) y que la triangular superior de la matriz tendrá valores inversos a la triangular inferior.

Tabla 1 Escala fundamental de números absolutos

Fuente: [17]

Valor Importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos elementos contribuyes de igual manera a los objetivos
3	Importancia moderada	El criterio A es ligeramente favorecido sobre el criterio B
5	Importancia Fuerte	El criterio A es fuertemente favorecido sobre el criterio B
7	Importancia muy Fuerte	El criterio A es severamente favorecido sobre el criterio B
9	Importancia Extrema	El criterio A es en extremo más importante que el criterio B
2,4,6,8	Valores Intermedios	Cuando sea necesario un término medio

Posterior al proceso de creación de MCP se debe normalizar dicha matriz teniendo en cuenta la ecuación (1), esto se realiza sumando el valor de cada columna en la fila correspondiente, seguidamente el valor original en la posición i,j de la MCP es dividido entre dicha suma.

$$MCN_{ij} = \frac{MCP_{ij}}{\sum_{l=1}^m MCP_{lj}} \quad (1)$$

Donde i y j representan la posición de un valor en la matriz, l representa la columna de la matriz a la que se le está realizando el proceso aditivo y m representa la cantidad de filas de la matriz.

Ahora bien con el fin de asignar el vector de pesos w (el cual es un vector columna m -dimensional) se promedian todos los registros por fila en MCN, como se describe en la ecuación (2).

$$W_i = \frac{\sum_{l=1}^m MCN_{il}}{m} \quad (2)$$

La metodología sugiere comprobar que los valores asignados en la MCP tengan un radio de consistencia menor a 0.1 por lo cual, si este valor es mayor, se deben reasignar valores en la MCP; para obtener el valor del RC es necesario calcular el índice de consistencia (IC) y conocer el índice aleatorio (IA), dado por la expresión:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Donde λ_{max} es el resultado del promedio de la multiplicación de la MCP y W, n es la dimensión de la MCP. El cálculo de la IA se obtiene mediante la simulación de 100000 matrices aleatorias [18] como lo muestra la Tabla 2.

Tabla 2 Índice de consistencia Aleatorio
Fuente: Autores con base en [13]

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570

Una vez se tiene el IC y el IA, se calcula el RC, de acuerdo con la ecuación (4), en caso de que este valor sea mayor a 0.1 es necesario revisar de nuevo la MCP y reevaluar las prioridades de quien está tomando la decisión:

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (4)$$

Por otra parte los resultados de un PAJ pueden ser analizados en un SIG con una herramienta de geoproceto, superposición ponderada, la cual se utiliza en casos en que existan problemas de varios criterios, como la selección de sitios, entre otros. Al ser un análisis de superposición se debe definir el problema y dividirlo en pequeños problemas individuales de manera similar a un PAJ; sin embargo, la herramienta requiere un porcentaje de influencia de cada uno de los criterios que serán tenidos en cuenta en el análisis y es debido a este requerimiento que en necesario integrar PAJ con SIG. Los análisis que realiza la herramienta se hacen en formato raster.

Procedimiento

Inicialmente se efectuó una consulta sobre estudios que implementan la integración entre PAJ y SIG; posteriormente, se procedió a la búsqueda de la legislación existente sobre equipamientos educativos, se hallaron dos normas que están directamente asociadas con la localización y/o construcción para estos equipamientos, siendo estas: la NTC 4595 y el POT de la ciudad, basado en la legislación actual se garantiza que el análisis tenga la mayor cantidad fiable de variables reales que puedan afectar la localización de equipamientos educativos, por esta razón, se tienen en cuenta 16 variables (denominados en adelante subcriterios) pertenecientes a las dos normatividades (criterios), sin embargo, adicionalmente se consideró conveniente la creación de otro criterio que involucre aquellos tipos de suelo cuyo cambio de uso es poco probable, así, se crearon cinco subcriterios mas, de esta forma el estudio se realizó con un total de 21 subcriterios divididos en tres criterios distribuidos así:

- 12 subcriterios para la NTC 4595.
- 4 subcriterios para el POT.
- 5 subcriterios para otros suelos.

Se establecieron los siguientes subcriterios y se estableció nomenclatura para ellos.

El Criterio NTC 4595 (I) tiene como subcriterios:

- A - Cauces de ríos
- B - Cuerpos de agua
- C - Redes de alta tensión
- D - Vías de alta velocidad
- E - Vías férreas
- F - Estaciones de servicio
- G - Zonas de tolerancia
- H - Zonas industriales
- I - Vías de Acceso
- J - Servicios públicos
- K - Pendiente del terreno
- L - Distancia a otros colegios

El criterio de POT (II) tiene como subcriterio:

- M - Zonas inundables
- N - Zonas de reserva forestal y/o ambiental
- Ñ - Zonas de remoción en masa
- O - Rellenos Sanitarios

Finalmente el criterio de otros suelos (III) tiene como subcriterios:

- P - Terminales de transporte
- Q – Cementerios
- R - Zonas militares
- S - Zonas de seguridad
- T – Universidades

Seguido a esto, se buscaron bases de datos geográficas, imágenes, mapas, archivos tipo shapefile, entre otros, para desarrollar la metodología; como resultado de esta búsqueda se encontró material actualizado a 2016 en sitios web de la Alcaldía de Bogotá y una base de datos geográfica de la entidad IDECA [19] (Infraestructura de Datos Espaciales de la Capital) la cual es de acceso libre.

Luego se realizó un proceso de filtrado para depurar información que se ajuste a la legislación; la que se encontraba en mapas análogos o en imágenes fue sometida a un proceso de georreferenciación utilizando Magna Sirgas Colombia Bogotá (EPSG: 3116) como sistema de coordenadas, seguidamente, se realizó una serie de geoprocursos, los cuales dependían de la forma en la que, según la norma, los datos interactuaban con los equipamientos educativos (Ver: Figura 2).

Por último se aplicó el modelo matemático del Proceso de Análisis Jerárquico para finalmente realizar una superposición ponderada que muestre el resultado del estudio.

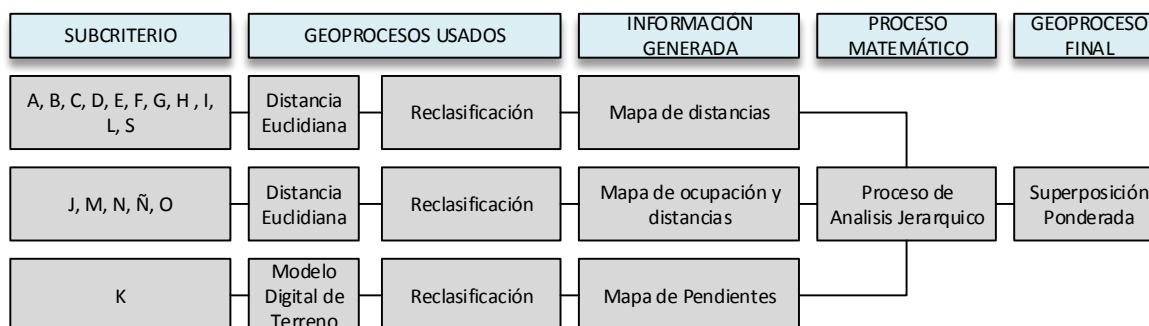


Figura 2 Procesamiento de datos para la metodología propuesta
Fuente: Elaboración propia con base en [19]

La Figura 2 muestra el flujo de trabajo posterior al proceso que permite filtrar la información, el geoproceso al que es sometido cada subcriterio, todos los subcriterios son sometidos a una reclasificación debido a que es allí donde se evalúan las alternativas (Ver Figura 3), que para el caso de los criterios I y II son definidos por la legislación y para el criterio III son definidos por los autores.

La figura también permite observar qué tipo de información se genera posterior a cada geoproceso individual de subcriterios, también muestra la integración del PAJ con un SIG al incorporarse la parte matemática con un geoproceso de superposición ponderada, que permite utilizar los resultados obtenidos por el PAJ en un SIG.

La Figura 3 indica que cada subcriterio posee alternativas de idoneidad diferentes, este resultado basado en la legislación no permite la agrupación de subcriterios, es decir, por ejemplo, la hidrología del área de estudio podría agruparse como un solo subcriterio al igual que la red vial y ciertas zonas de gestión del riesgo, pero, al existir alternativas diferentes para cada subcriterio es pertinente individualizarlos, incluso si la importancia de un subcriterio frente al otro es la misma y se le asigna en la MCP un valor de 1 se le da la importancia debida a la legislación y se evita caer en subjetividades que pueden ser causadas bien sea a la hora de la agrupación de subcriterios o de las alternativas.

CRITERIO	SUBCRITERIO	ALTERNATIVA		
		APTO	MODERADO	NO APTO
I. NTC 4595	A)	> 50m	30 – 50 m	0 – 30 m
	B)	> 150 m	100 – 150 m	0 – 100 m
	C)	>100 m	64 – 100 m	0 – 64 m
	D)	> 100 m	60 – 100 m	0 – 60 m
	E)	> 50 m	20 – 50 m	0 – 20 m
	F)	> 100 m	60 – 100 m	0 – 60 m
	G)	> 750 m	500 – 750 m	0 – 200 m
	H)	> 750 m	500 – 750 m	0 – 500 m
	I)	0 – 500 m	500 – 750 m	> 750 m
	J)	Tener Servicio	Hasta 150 m	> 150 m
	K)	0° - 10°	10° - 15°	> 15°
	L)	< 1000	1000 – 1500 m	> 1500m
	M)	No estar en la zona	Media - Baja	Alta
	II. POT	N)	> 200 m	Hasta 200 m de la zona
Ñ)		No estar en la zona	Media - Baja	Alta
O)		> 500 m	Hasta 500 m de la zona	Dentro de la zona
P)		> 100 m	Hasta 100 m de la zona	Dentro de la zona
Q)		> 100 m	Hasta 100 m de la zona	Dentro de la zona
III. OTROS SUELOS	R)	> 200 m	A 200 m de la zona	Dentro de la zona
	S)	> 1000 m	1000 – 3000 m	> 3000 m
	T)	>500 m	Hasta 500 m de la zona	Dentro de la zona

Figura 3 Definición de criterios, subcriterios y alternativas para el estudio.
Fuente: Autores con base en [20], [21]

Una vez se tienen definidos los criterios, subcriterios y alternativas se crean las MCP con el fin de hallar los pesos de cada uno de ellos.

Inicialmente se elabora la MCP de los criterios, debido a que cada peso hallado para los subcriterios debe ser ponderado con el resultado de su criterio.

Se expondrá a continuación el resultado del RC para cada MCP, los resultados de la ponderación se mostrarán más adelante.

Tabla 3 Matriz de comparación por pares de los criterios I, II y III

	I	II	III
I	1,00	4,00	5,00
II	0,25	1,00	3,00
III	0,20	0,33	1,00
RC calculado = 0,08			

La Tabla 3 muestra que el RC para la MCP de criterios se encuentra por debajo del teórico 0,1 lo cual representa una medición aceptable para el estudio según la metodología propuesta.

Tabla 4 Matriz de comparación por pares de los subcriterios del criterio I

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0
B	1,0	1,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	2,0	3,0
C	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	0,2	0,5	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5
D	0,5	0,5	2,0	1,0	0,5	0,3	0,3	0,2	0,5	0,5	0,5	0,3
E	0,5	0,3	1,0	2,0	1,0	0,3	0,5	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5
F	0,5	0,5	5,0	4,0	3,0	1,0	1,0	0,2	0,3	0,5	0,5	3,0
G	0,5	0,5	2,0	3,0	2,0	1,0	1,0	0,3	0,5	0,5	0,5	2,0
H	1,0	1,0	3,0	6,0	3,0	5,0	3,0	1,0	0,3	0,5	2,0	3,0
I	1,0	1,0	2,0	2,0	3,0	4,0	2,0	3,0	1,0	0,5	3,0	4,0
J	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0
K	0,5	0,5	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	0,5	0,3	0,5	1,0	2,0
L	0,5	0,3	2,0	4,0	2,0	0,3	0,5	0,3	0,3	0,5	0,5	1,0
RC calculado = 0,01												

Tabla 5 Matriz de comparación por pares de subcriterios del criterio II

	M	N	Ñ	O
M	1,0	1,0	1,0	1,0
N	1,0	1,0	2,0	0,5
Ñ	1,0	0,5	1,0	1,0
O	1,0	2,0	1,0	1,0
RC calculado = 0,07				

Tabla 6 Matriz de comparación por pares de subcriterios del criterio III

	P	Q	R	S	T
P	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
Q	2,0	1,0	2,0	0,5	0,5
R	2,0	0,5	1,0	0,5	1,0
S	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0
T	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0
RC calculado = 0,04					

Las Tabla 4, 5 y 6 muestran buenos grados de consistencia a pesar de que [22] afirma que la cantidad de criterios que se analizan en la MCP no debería ser superior a nueve, ya que entre mayor número de criterios de comparación, menor es la consistencia. En [23] se analiza cómo a una mayor cantidad de criterios se genera una mejor consistencia de los tomadores de

decisiones, si bien, la finalidad de este documento no es analizar las variabilidades de los radios de consistencia, es notable como en la matriz de la Tabla 4 posee un muy buen RC y es esta la que presenta mayor cantidad de criterios comparados, confrontando las tablas 5 y 6 se observa un mejor RC cuando se comparan más criterios y sí se tienen en cuenta todos los RC de las MCP se observa que entre menor es el número de criterios es menor la consistencia.

Como el RC que se ha calculado para las diferentes MCP es menor al 0,1 establecido teóricamente, se concluye que los criterios y subcriterios analizados, así como su posterior ponderación cumplen con los requisitos para el objetivo del estudio.

Resultados

Tabla 7 Resultados del análisis multicriterio

Nombre	Criterios (C)			Subcriterios (SC)																				
	I	II	III	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	Ñ	O	P	Q	R	S	T
Peso	67	23	10	7	7	3	3	3	5	4	9	9	8	5	4	5	6	5	7	1	2	2	3	2
Σ	100			100																				

Como resultado de esta integración entre PAJ y SIG se obtuvo que para el criterio I tenían mayor importancia los terrenos que estén alejados de las zonas industriales, tengan vías de acceso y servicios públicos (CI; SC-H, SC-I ver: Tabla 7), este resultado es ideal ya que los equipamientos colectivos normalmente se localizan cerca del mercado que desea abarcar, en vista del impacto que ejerce la distancia sobre el comportamiento de los demás agentes económicos [24]; por otra parte sin vías de acceso y sin servicios públicos no es posible tener esta clase de equipamientos, debido a que ambos son indispensables para el bienestar social y de apoyo al desarrollo [25].

En el criterio II se observó que existe una importancia similar, todo esto dado que los parámetros establecen zonas de alta importancia ambiental y de bienestar (CII; SC-N, SC-O ver: Tabla 7), en este criterio existe una leve importancia de los rellenos sanitarios, ya que impactan negativamente el ambiente debido a partículas contaminantes en el aire, generación de gases invernadero y generación de líquido lixiviado que puede contaminar fuentes de agua [26].

Por último para el criterio III (CIII; SC-S ver: Tabla 7) se evidencia una importancia mayor para las zonas de seguridad.

La Imagen 1 muestra el mapa del área urbana de la ciudad de Bogotá, D.C. y los resultados del proceso en las tres alternativas que se tuvieron en cuenta: en tono verde las zonas aptas y/o idóneas con un total de 10092.68 Ha (26.81%), en tono amarillo aquellas zonas que son moderadamente aptas las cuales ocupan un total de 2829.7 Ha (7.51%) y las zonas que no son aptas, las cuales alcanzan una extensión de 24715.94 Ha (65.66%) del total del área urbana de la ciudad.

Se observa como en la zona industrial al igual que las zonas periféricas del aeropuerto internacional El Dorado existen grandes extensiones de terreno que no son aptas; también se

observa que en el cerro de la localidad de Suba y en la zona sur oriental donde las pendientes son pronunciadas no se presentan mayores terrenos aptos, al igual que en las principales avenidas de la ciudad, el relleno sanitario Doña Juana, y zonas de remoción en masa. Las formas circulares que se observan en algunos lugares del mapa corresponden a los radios o zonas de influencia a 500 metros de cada institución educativa.

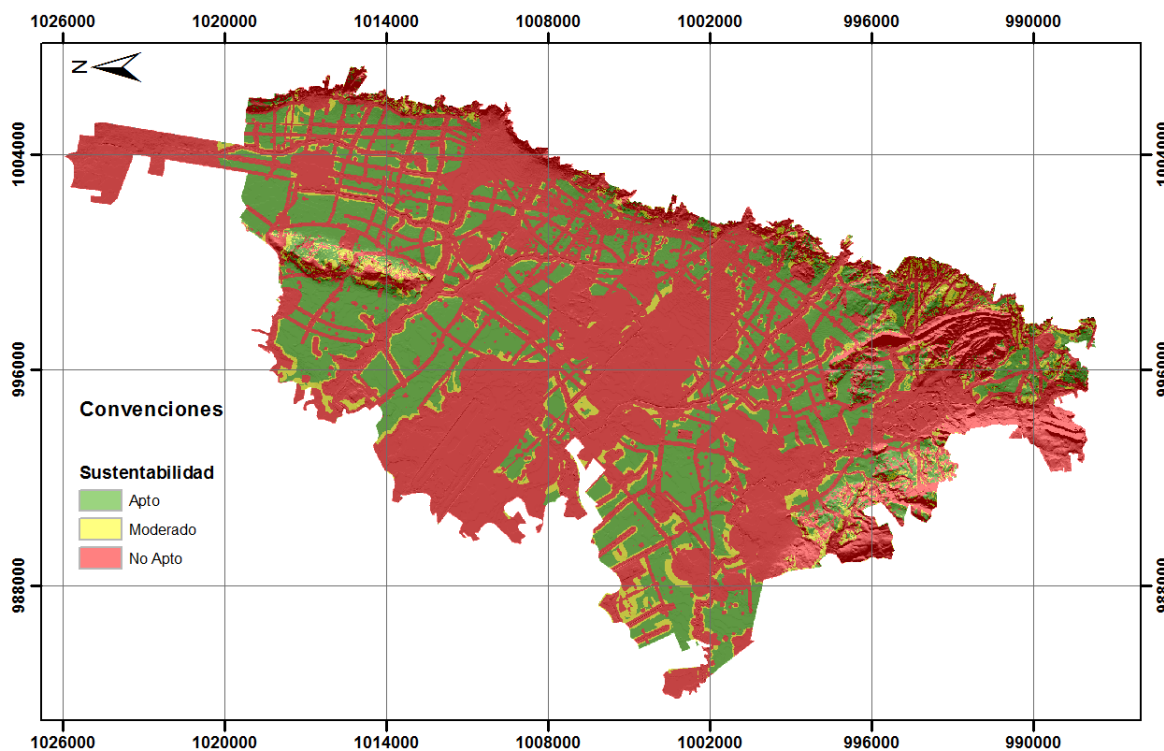


Imagen 1 Mapa de idoneidad del suelo

Discusión

Identificar la mayor cantidad de criterios y subcriterios asociados en casos en que intervenga legislación; así como también tener la suficiente información disponible es de vital importancia, pues así se logran mejores resultados; se sugiere al igual que [22] no sobrepasar los nueve criterios; pero, en este artículo se tomó la decisión de exceder dicho número debido a la legislación por la cual se rigen los criterios I y II, sin embargo, se debe considerar cómo en este caso a mayor número de criterios analizados en la MCP el RC es mayor, estos resultados pueden servir como soporte para futuros análisis basados en MCP.

Es de vital importancia verificar el RC debido a que este determina como está establecida la MCP, que sus valores son coherentes y se eliminan subjetividades.

Las zonas idóneas pueden cambiar dependiendo de los valores establecidos en la MCP, ya que se aplica una metodología a una decisión subjetiva basada en la lógica de la persona que toma la decisión basada en su experiencia.

Criterios como la estratificación no fueron tenidos en cuenta para facilitar el estudio, se sugiere en trabajos futuros tenerla en consideración, dado que la demanda de equipamientos educativos puede depender de dicho criterio, en este caso una modelación de localización-asignación en un ambiente SIG puede lograr resultados más puntuales, se propone, tener en cuenta previamente un análisis multicriterio.

Otros criterios como la existencia de establecimientos comerciales, no fueron tenidos en cuenta debido a que existen establecimientos deseables y no deseables [27].

Tampoco se tuvieron en cuenta condiciones de contaminación del aire, debido a que no se encontró información al respecto.

Conclusiones

El estudio se ajusta a los usos del suelo de la ciudad de Bogotá; por tanto tomar en cuenta los mismos criterios, subcriterios y/o valores de matriz de comparación por pares para otras regiones no es recomendable, ya que se debe tener en cuenta diferentes criterios ambientales, sociales e incluso culturales; sirve como primer intento para las autoridades competentes en la identificación de idoneidad del suelo, tanto para equipamientos educativos distritales sino como para cualquier tipo de equipamiento o servicio, incluso para modificaciones de usos del suelo, ya sean de carácter urbanístico, paisajístico, ambiental, social, entre otros.

Debido a la sencillez y versatilidad que tiene la metodología aplicada, esta ayuda en el proceso de planeación, planificación e identificación de zonas idóneas para la localización de equipamientos, teniendo en cuenta parámetros ambientales, urbanísticos y legales.

La integración de PAJ y SIG no solo permite realizar el desarrollo matemático, si no también observar de manera real en el sitio de estudio cuales son las zonas idóneas.

El uso de legislación para el análisis brinda una justificación jurídica a los criterios usados.

Aunque el RC es muy importante en este tipo de estudios no se recomienda interferir en el proceso de la creación de la MCP, este artículo solo presenta una MCP por nivel jerárquico o por criterios. En caso que se requiera encuestas y múltiples expertos en toma de decisión para el proceso de la creación de las MCP, es importante analizar los RC por separado y mostrar los resultados en un ambiente SIG que pueda revelar las consistencias o inconsistencias de mejor manera.

Se encuentra que de los 904 colegios registrados en la base de datos un total de 353 (39.04%) se encuentra en zonas aptas, 113(12.51%) en zonas moderadamente aptas y 438 (48.45%) se encuentran en zonas no aptas, estos resultados se obtuvieron sin tener en cuenta la distancia

a otros colegios, lo cual comprueba la falta de planeación y estudios previos a la hora de la localización de estos equipamientos mencionada anteriormente.

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Hector Ricardo Patiño Rivera: Estudiante Ingeniería Catastral y Geodesia – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. hrpatinor@correo.udistrital.edu.co

Adriana Lorena León Gallo: Estudiante Ingeniería Catastral y Geodesia – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. alleong@correo.udistrital.edu.co

Jaime Antonio Benítez Forero: Ingeniero Electrónico – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Especialista en Bioingeniería – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Especialista en Higiene y Salud Ocupacional – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia – Magister en Docencia – Universidad de la Salle – Colombia.

Profesor Facultad de Ingeniería – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia – jbenitez@udistrital.edu.co, jaimeantoniob@gmail.com.

Referencias

- [1] Concejo de Bogotá, «Acuerdo 645,» 09 06 2016. [En línea]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=66271>.
- [2] Secretaría de Educación, Oficina de Planeación, «Caracterización del Sector Educativo,» Bogotá, 2015.
- [3] Organización de Naciones Unidas, «World Urbanization Prospects Annual Revision,» Naciones Unidas, Nueva York, 2014.
- [4] Secretaria de Planeación Distrital, «Proyecciones,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.sdp.gov.co/PortalSDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/ProyeccionPoblacion>.
- [5] R. Guptha y H. Puppala, «Integratin Fuzzy AHP and GIS to Prioritize Sites for the Solar Plant Installation,» de *International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, 2015.
- [6] N. Rodríguez, La equidad espacial en la distribución del servicio educativo (1999-2009), Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2012.

- [7] S. Kalogirou, «Expert systems and GIS: an application of land suitability evaluation,» *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 26, nº 2-3, pp. 89-112, 2002.
- [8] S. Mahmoud y A. .. Alazba, «Integrated remote sensing and GIS-based approach for deciphering groundwater potencial zones in the central regioes of Saudi Arabia,» *Environmental Earth Sciences*, vol. 75, nº 4, p. 344, 2016.
- [9] Y. Xu, J. Sun, J. Zhang, Y. Xu, M. Zhang y X. Liao, «Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of enviromental suitability for living in China's 35 major cities,» *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 26, nº 9, pp. 1603-1623, 2012.
- [1 0] A. K. Mishra, S. Deep y C. Abhishek, «Identification of suitable sites for organic farming using AHP & GIS,» *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, vol. 18, nº 2, pp. 181-193, 2015.
- [1 1] S. Khahro, A. Matori, I. Chandio y M. Talpur, «Land suitability analysis for installing new petrol filling stations using GIS,» de *Fourth International Symposium on Infrastructure Engineering in Developing Countris, IEDC 2013*, Karachi, Pakistan, 2014.
- [1 2] D. Samari, H. Azadi, K. Zarafshani, G. Hosseininia y F. Witlox, «Determining appropriate forestry extension model: Application of AHP in the Zagros Area, Iran,» *Fores Policy and Economics*, vol. 15, nº 1, pp. 91-97, 2012.
- [1 3] S. A. Berumen y F. Llamazares Redondo, «La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el ahp) en un entorno de competitividad creciente,» *Cuadernos de Administración*, vol. 20, nº 34, pp. 65-87, 2007.
- [1 4] K. Young, D. Kibler, B. Benham y G. Loganathan, «Application of the Analytical Hierarchical Process for Improved Selection of Storm-Water BMPs.,» *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 135, nº 4, pp. 264-275, 2009.
- [1 5] T. Saaty, de *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*, McGraw-Hil, 1980.
- [1 6] I. S. Mustafa, N. M. Din, A. Ismail, R. Omar y N. Khalid, «Antenna Placement for Landslide Monitoring Using Analytical Hierarchy Process (AHP) and Geographical Information System (GIS),» de *IEEE Symposium on Wirelless Technology and Applications (ISWTA)*,, Kuching, Malasia, 2013.
- [1 7] T. Saaty, «Decision making with the analytic hierarchy process,» *International journal of services sciences*, vol. 1, nº 1, pp. 83-98, 2008.
- [1 8] J. Aguarón y J. Moreno, «The geometric consistency index: Approximated thresholds,» *European Journal of Operational Research*, vol. 147, nº 1, pp. 137-145, 2003.
- [1 9] C. Zafra, F. Mendoza y P. Montoya, «Metodología para la localización de rellenos sanitarios mediante sistemas de información geográfica. Un caso regional colombiano,» *Ingeniería e investigación*, vol. 32, nº 1, pp. 64-70, Abril 2012.

- [2 0] Ministerio de Educación Nacional, «Norma técnica colombiana NTC 4595-4596,» [En línea]. Available: <http://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-96894.html>.
- [2 1] Secretaria Distrital de Planeación, «Cartografía,» [En línea]. Available: http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/POT_2020/Cartografia.
- [2 2] T. Saaty, «How to make a decision: The analytic hierarchy process,» *European Journal of Operational Research*, vol. I, pp. 9-26, 1990.
- [2 3] L. A. Builes y L. Lotero, «Análisis y variabilidad de la consensia en un proceso jerárquico de toma de decisiones ambientales,» de *Congreso Latinoamericano de Investigación Operativa*, Río de Janeiro, 2012.
- [2 4] M. Polése, *Economía urbana y regional. Introducción a la relación entre territorio y desarrollo*, Cartago: Ucol, 1998.
- [2 5] M. Ramírez, «¿Dónde localizar hospitales públicos? Las nuevas tecnologías - SIG- como herramientas de apoyo a la planificación territorial. Un caso de estudio aplicado a la Provincia del Chaco-Argentina,» *Serie Geográfica*, n° 10, pp. 133-142, 2002.
- [2 6] K. Lai, L. Li, S. Mutti, R. Staring, M. Taylor, J. Umali y S. Pagsuyoin, «Evaluation of waste reduction and diversion as alternatives to landfill disposal,» de *Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)*, Charlottesville, 2014.
- [2 7] J. Bosque Sendra y A. Moreno Jiménez, *Sistemas de Información Geográfica y Localización óptima de instalaciones y equipamientos*, Madrid: RA-MA, 2012.
- [2 8] IDECA, «Mapa de Referencia,» 06 2016. [En línea]. Available: <http://www.ideca.gov.co/es/servicios/mapa-de-referencia/tabla-mapa-referencia>.