

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

Miguel Antonio Ávila Angulo, MSC ¹, Hector Ricardo Patiño Rivera, Ing ², Adriana Lorena León Gallo, Ing ³
¹Distrital University Francisco José de Caldas, Colombia, maavila@udistrital.edu.co, ²Distrital University Francisco José de Caldas, Colombia, hrpatinor@correo.udistrital.edu.co, ³Distrital University Francisco José de Caldas, Colombia, alleong@correo.udistrital.edu.co

Resumen- Aquí se presenta un análisis multicriterio con el fin de evaluar la idoneidad del suelo para la construcción de nuevos equipamientos educativos en el área urbana de la ciudad de Bogotá, Colombia, el estudio se basa en un Análisis de Multicriterio Jerárquico (AHP) y Sistema de Información Geográfica (SIG); donde los criterios tenidos en cuenta son la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4595, el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de la ciudad, y otros suelos cuyo cambio de actividad es poco probable como son universidades, cementerios entre otros. Como resultado del análisis se establece que zonas son aptas para la construcción de equipamientos educativos, además se puede reconocer qué colegios actuales no cumplen con los criterios.

Palabras clave- Sistemas de información geográfica, Proceso análisis jerárquico, Evaluación multicriterio.

Abstract- Here it is presented a multicriteria analysis in order to evaluate the suitability of land for the construction of new educational equipment within Bogotá, Colombia urban area. The study is based in an Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information Systems (GIS); where the criteria considered were NTC 4595, city's Territorial Arrangement and (CTA) other soils whose change of activity is unlikely as universities, graveyards among others. As a result of the analysis it is established which areas are suitable for the construction of educational equipment, also it can be recognized which existing schools do not meet the criteria.

Keywords-- Geographic Information Systems, Analytic Hierarchy Process, Multicriteria Evaluation.

I. INTRODUCCION

El actual plan de desarrollo de Bogotá reglamentado bajo el Acuerdo 645 de 2016, plantea aumentar las condiciones de acceso en la educación en la ciudad y para ello se propone la construcción de nueva infraestructura que permita a los estudiantes de la ciudad 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 877536 estudiantes para el año 2015 teniendo en cuenta los colegios distritales, colegios privados en contrato con la secretaría de educación distrital y colegios en concesión. La tasa de deserción educativa ha venido decreciendo constantemente 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 en 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 que el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) ratificó la 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, topografía, entre otros. Adicionalmente a los requerimientos sugeridos en la NTC también se mencionan unos requerimientos adicionales dependiendo POT de la ciudad.

II. METODOLOGÍA

En el presente documento se realiza el proceso de análisis jerárquico para la toma de decisión ya que al existir una amplia lista de requerimientos, el proceso de toma de decisiones se vuelve complejo e incluso confuso. El proceso de análisis jerárquico (AHP) es una herramienta útil para manejar decisiones multicriterio [7]; el método de trabajo es lógico y estructurado el cual optimiza la toma de decisiones complejas cuando existen múltiples criterios o atributos mediante la descomposición del problema en una estructura jerárquica [8], lo cual permite descomponer un problema determinado en 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 una decisión. Analizando los subcriterios y su relación mutua los juicios subjetivos se convierten en análisis cuantitativos empleando una escala de importancia relativa [9].

La metodología desarrollada por (Saaty, 1990) [10] establecida para la descomposición del problema es:

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.80>
ISBN: 978-0-9993443-0-9
ISSN: 2414-6390

15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Global Partnerships for Development and Engineering Education", 19-21 July 2017, Boca Raton FL, United States.

- Definir el problema y determinar el tipo de solución que se desea.
- Estructurar la jerarquía desde la meta de la toma de la decisión, posteriormente los criterios, luego los subcriterios (criterios que dependen de los elementos posteriores) hasta el nivel más bajo (por lo general las alternativas).
- Construcción de matrices de comparación por pares de criterio (MCP) en la cual se analizan los criterios frente a los otros criterios.
- Usar las prioridades obtenidas de la comparación para ponderarlas en el nivel anterior por cada elemento. Posteriormente por cada uno de estos elementos en el nivel anterior añadir pesos y obtener su porcentaje global de participación.

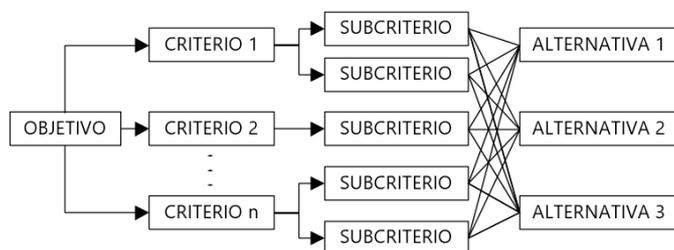


Fig. 1 Estructura general de un AHP.
Fuente: Autores con base en [11].

La construcción de las matrices de comparación por pares de criterio, se realiza tomando de la primera fila y de la primera columna cada criterio y se pondera dependiendo de la importancia entre el criterio A o el criterio B tomando valores del 1 al 9 [12].

Tabla 1 Escala fundamental de números absolutos
Fuente: [12]

Intensidad de 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 a este proceso de creación de MCP se debe normalizar dicha matriz; esto se realiza sumando el valor de cada columna y obteniendo en una nueva columna el valor original en la posición i,j sobre la suma total teniendo como resultado la matriz normalizada MCN:

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

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.

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

La metodología sugiere comprobar que los valores asignados en la MCP tengan un grado de confianza mayor a 0.1 para lo cual se debe calcular su radio de consistencia RC, 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 dado por la expresión:

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

Donde $\lambda \max$ es el resultado del promedio de la multiplicación de la MCP y W, n es la dimensión de la MCP. El cálculo del índice aleatorio IA se obtiene mediante la simulación de 100000 matrices aleatorias [13].

Tabla 2 Índice de consistencia Aleatorio
Fuente: Autores con base en (Aguarón, J; Moreno J) [13]

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

Una vez se tiene el IC y el IA, se calcula el RC, de acuerdo con:

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

III. INTEGRACIÓN SIG CON AHP

Los sistemas de información geográfica son una herramienta poderosa para procesar datos espaciales y no espaciales, además de visualizar resultados [14]. Aunque la integración de AHP y SIG tiene como finalidad diversos tipos de análisis [15] una de las más aplicadas es la creación de mapas que pueden ser utilizados como herramienta de toma de decisiones para análisis de idoneidad [16] y actividades de desarrollo, los mapas obtenidos de esta manera son de gran utilidad a la hora de toma de decisiones [17]. La tecnología SIG es empleada para formular diferentes mapas de criterio los cuales son usados en AHP para construir modelos de idoneidad [18].

VI. MÉTODOS

El presente estudio se enmarcó dentro del uso de un Proceso de Análisis Jerárquico y herramientas SIG para la creación de un mapa de idoneidad del suelo, que ayude a los tomadores de decisiones, en la ubicación de nuevos colegios distritales basado en 3 criterios principales que son la NTC 4595, el POT de la ciudad, y otros usos; este último tiene en cuenta aquellos usos del suelo que son poco probables de cambiar su actividad. Los criterios fueron seleccionados por factores normativos debido a que la NTC y el POT son obligatorio cumplimiento y sus alternativas de aptabilidad están definidas en dicha normativa, por otra parte los otros usos que fueron definidos por los autores y sus alternativas fueron analizados previamente analizando diversos factores como el área, factores históricos y crímenes. Los criterios son comparados para analizar cuál es su peso en el análisis; cada criterio tendrá una determinada cantidad de subcriterios repartidos de la siguiente manera:

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

Los cuales también se comparan por separado y se asigna un peso final que dependa del porcentaje de participación del criterio principal, las alternativas que se manejan son Apto, Moderadamente Apto, y no Apto; .

CRITERIO	SUBCRITERIO	ALTERNATIVA		
		APTO	MODERADO	NO APTO
I. NTC 4595	A) Cauce de río	> 50m	30 – 50 m	0 – 30 m
	B) Cuerpo de Agua	> 150 m	100 – 150 m	0 – 100 m
	C) Red Alta Tensión	> 100 m	64 – 100 m	0 – 64 m
	D) Vía Alta Velocidad	> 100 m	60 – 100 m	0 – 60 m
	E) Vía Férrea	> 50 m	20 – 50 m	0 – 20 m
	F) Estación de servicio	> 100 m	60 – 100 m	0 – 60 m
	G) Zona de Tolerancia	> 750 m	500 – 750 m	0 – 200 m
	H) Zona Industrial	> 750 m	500 – 750 m	0 – 500 m
	I) Vía de acceso	0 – 500 m	500 – 750 m	> 750 m
	J) Servicios Públicos	Tener Servicio	Hasta 150 m	> 150 m
	K) Pendiente	0° - 10°	10° - 15°	> 15°
	L) Distancia a colegio	< 1000	1000 – 1500 m	> 1500m
II. POT	M) Zona Inundable	No estar en la zona	Media - Baja	Alta
	N) Zona de reserva	> 200 m	Hasta 200 m de la zona	Dentro de la zona
	Ñ) Remoción en masa	No estar en la zona	Media - Baja	Alta
	O) Relleno Sanitario	> 500 m	Hasta 500 m de la zona	Dentro de la zona
III. OTROS SUELOS	P) Terminal Transporte	> 100 m	Hasta 100 m de la zona	Dentro de la zona
	Q) Cementerio	> 100 m	Hasta 100 m de la zona	Dentro de la zona
	R) Zona Militar	> 200 m	A 200 m de la zona	Dentro de la zona
	S) Zona de seguridad	> 1000 m	1000 – 3000 m	> 3000 m
	T) Universidad	> 500 m	Hasta 500 m de la zona	Dentro de la zona

Fig. 2 Definición de criterios, subcriterios y alternativas para el estudio.

Fuente: Autores con base en [19], [20].

Una vez definidos los criterios, subcriterios y alternativas se dispone a la creación de la MCP que permita definir los pesos de cada una de las variables dentro del análisis, en total se realizan 4 análisis multicriterio, el primero tiene en cuenta solo los criterios, los siguientes 3 análisis se realizan comparando los subcriterios, cada uno de estos análisis utiliza el RC para calcular la consistencia de cada MCP.

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			

El resultado del RC permite inferir que la MCP tiene valores aceptables y lógicos con lo cual cada uno de los pesos obtenidos en los subcriterios se ponderará con los valores calculados.

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

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
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					

A pesar de que (Saaty, 1990) [21] afirma que no debería ser superior a 9 la cantidad de variables que se analizan en la MCP debido a que entre mayor número de criterios de comparación menor es la consistencia en [22] se analiza como 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 la matriz de la Tabla 4 posee un muy buen radio de consistencia y es esta matriz la que presenta mayor cantidad de criterios comparados.

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

Posteriormente se procede a digitalizar y georreferenciar la información de los subcriterios en un sistema de

coordenadas Magna Sirgas Bogotá (EPSG: 3116), para los subcriterios cuya alternativa de idoneidad está determinada por la distancia se realiza un proceso de distancia euclidiana y posteriormente una reclasificación, para el subcriterio de pendientes se reclasifica dependiendo del porcentaje de inclinación del terreno.

V.RESULTADOS

Tabla 7 Resultados del análisis multicriterio

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

Como resultado de la metodología se obtuvo que para el criterio I tenían mayor importancia los colegios que estuviesen alejados de las zonas industriales, tengan vías de acceso y servicios públicos (CI; SC-H, SC-I ver: Tabla 7), este resultado es esperado pues 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 [23]; por otra parte sin vías de acceso y sin servicios públicos no es

posible tener esta clase de equipamientos, pues ambos son indispensables para el bienestar social y de apoyo al desarrollo [24]. En el criterio II se observó que existe una importancia similar, todo esto dado que los parámetros son zonas de alta importancia ambiental y 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 la generación de líquido lixiviado que puede contaminar fuentes de agua [25]. Por último para el criterio III (CIII; SC-S ver: Tabla 7) se evidencia una importancia mayor para las zonas de seguridad.

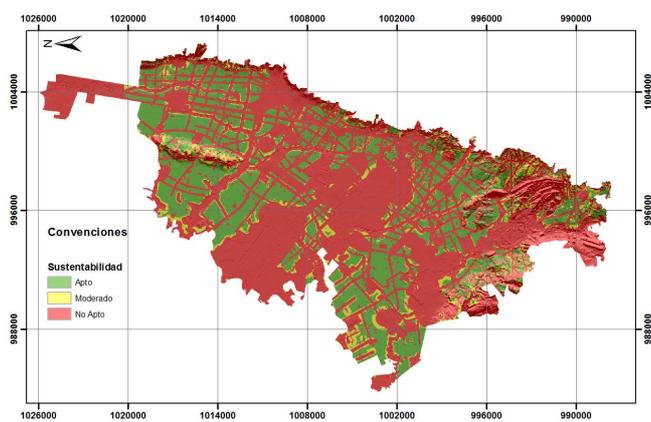


Fig. 3 Mapa de idoneidad del suelo

En la Figura 3 se observa el mapa de la área urbana de la ciudad de Bogotá DC 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 como en las zonas periféricas del aeropuerto internacional El Dorado existen grandes zonas que no son aptas; en general se observan también las principales avenidas de la ciudad en todo el mapa, las zonas marcadas como no aptas en la zona sur oriental del mapa se deben a la presencia de pendientes pronunciadas, 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.

Identificar la mayor cantidad de criterios y subcriterios asociados; así como también tener dichos datos disponibles es de vital importancia, pues así se logra un mejor análisis y también mejores resultados, se sugiere al igual que [21] no sobrepasar los 9 criterios, en este artículo se excede en una de las matrices dicho valor debido a que estas variables son determinadas por legislación existente, y las alternativas son diferentes para cada variable. Además permite verificar los radios de consistencia RC, ya que este valor determina que la

matriz de comparación por pares está bien establecida y sus valores sean coherentes. Las zonas aptas pueden cambiar dependiendo de los valores establecidos en la matriz de comparación por pares de criterio. Criterios como las zonas estratificadas no fueron tenidos en cuenta para facilitar el estudio, pero se sugiere en trabajos futuros tenerla en consideración, dado que en estas zonas es donde se concentra la demanda de equipamientos educativos, en este caso una modelación de localización-asignación puede lograr resultados más puntuales, pero se sugiere tomar en cuenta previamente un análisis multicriterio. Otros criterios como establecimientos comerciales entre otros, no fueron tenidos en cuenta esto debido a que existen establecimientos deseables y no deseables [26]. En total se crearon 21 mapas de idoneidad como subcriterios a los cuales se les realizó un proceso de reclasificación en el software ArcGIS Pro, posteriormente utilizando la herramienta de Weighted Overlay se procede a asignar el porcentaje de participación de cada subcriterio para así finalmente obtener el mapa de idoneidad.

CONCLUSIONES

Debido a la sencillez y versatilidad que tiene la metodología aplicada, ayuda en el proceso de planeación, planificación e identificación de zonas idóneas para la localización de equipamientos colectivos, teniendo en cuenta criterios ambientales, urbanísticos y legales regidos por la NTC y el POT. Debido a que la metodología AHP es utilizada en la toma de decisiones subjetivas la creación de la matriz de comparación por pares de criterio y el RC aportan un análisis cualitativo a dicha subjetividad, lo que no significa que con valores diferentes el RC pueda mejorar.

El estudio es una aproximación a la realidad y 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, pues intervienen diferentes criterios ambientales, sociales e incluso culturales; sirve como primer intento para las autoridades correspondientes en la identificación de idoneidad del suelo. 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.

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] 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, n° 1, pp. 91-97, 2012.
- [8] 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, n° 34, pp. 65-87, 2007.
- [9] 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, n° 4, pp. 264-275, 2009.
- [10] T. Saaty, de The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation, McGraw-Hil, 1980.
- [11] 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 Wireless Technology and Applications (ISWTA), Kuching, Malasia, 2013.
- [12] T. Saaty, «Decision making with the analytic hierarchy process,» International journal of services sciences, vol. 1, n° 1, pp. 83-98, 2008.
- [13] J. Aguarón y J. Moreno, «The geometric consistency index: Approximated thresholds,» European Journal of Operational Research, vol. 147, n° 1, pp. 137-145, 2003.
- [14] S. Kalogirou, «Expert systems and GIS: an application of land suitability evaluation,» Computers, Environment and Urban Systems, vol. 26, n° 2-3, pp. 89-112, 2002.
- [15] 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, n° 4, p. 344, 2016.
- [16] 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, n° 9, pp. 1603-1623, 2012.
- [17] 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, n° 2, pp. 181-193, 2015.
- [18] 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.
- [19] Ministerio de Educación Nacional, «Norma técnica colombiana NTC 4595-4596,» [En línea]. Available: <http://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-96894.html>.
- [20] Secretaria Distrital de Planeación, «Cartografía,» [En línea]. Available: http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/POT_2020/Cartografia.
- [21] T. Saaty, «How to make a decision: The analytic hierarchy process,» European Journal of Operational Research, vol. I, pp. 9-26, 1990.
- [22] L. A. Builes y L. Lotero, «Análisis y variabilidad de la consisenia en un proceso jerárquico de toma de decisiones ambientales,» de Congreo Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa, Río de Janeiro, 2012.
- [23] M. Polése, Economía urbana y regional. Introducción a la relación entre territorio y desarrollo, Cartago: Ucol, 1998.
- [24] 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.
- [25] K. Lai, L. Li, S. Mutti, R. Staring, M. Taylor, J. Umali y S. Pagsuyoio, «Evaluation of waste reduction and diversion as alternatives to landfill disposal,» de Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS), Charlottesville, 2014.
- [26] J. Bosque Sendra y A. Moreno Jiménez, Sistemas de Información Geográfica y Localización optima de instalaciones y equipamientos, Madrid: RA-MA, 2012.