

**DETERMINACIÓN DE ZONAS APTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE COLEGIOS
DISTRITALES EN LA LOCALIDAD DE SUBA, PARTIENDO DE MÉTODOS DE
ANÁLISIS MULTICRITERIO Y HERRAMIENTAS SIG.**

Autor: Esteban Pinzón Ospina

Codigo:3101221

Tutor: Camilo León

Universidad Militar Nueva Granada

Facultad de Ingeniería

Especialización en Geomática

2015



DETERMINACIÓN DE ZONAS APTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE COLEGIOS DISTRITALES EN LA LOCALIDAD DE SUBA, PARTIENDO DE MÉTODOS DE ANÁLISIS MULTICRITERIO Y HERRAMIENTAS SIG.

Esteban Pinzón Ospina
Ingeniero Catastral y Geodesta, Ingeniero en la Dirección técnica de baldíos
Instituto Colombiano de Desarrollo Rural - INCODER, Bogotá, Colombia.
esteban_pinzon66@yahoo.com

RESUMEN

El presente estudio tiene por objeto encontrar zonas notablemente aptas para la construcción de colegios distritales en la localidad de suba, utilizando para esto una metodología que combina análisis multicriterio y herramientas SIG. Para darle un soporte estructurado a los criterios usados en el análisis, se estudia la norma técnica Colombiana NTC 4595 (Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares), y se definen a partir de esta las variables a considerar en el modelo; adicionalmente a estas, se definen otras variables, las cuales sumadas a las anteriores se convierten en los criterios para desarrollar la metodología del *proceso de análisis jerárquico (AHP)*.

La información geográfica utilizada como base para el desarrollo del estudio, fue descargada de la página web de la infraestructura de datos espaciales para el distrito capital – IDECA. Esta información vectorial se transforma en coberturas raster que definen cada una de las variables, con las que se va a efectuar un algebra de mapas teniendo en cuenta las ponderaciones o pesos resultantes del *proceso de análisis jerárquico*, para obtener finalmente una cobertura raster que indica las diferentes zonas aptas y no aptas para la construcción de las instalaciones educativas en la localidad de Suba.

Palabras clave: Análisis multicriterio, proceso de análisis jerárquico (AHP), sistemas de información geográfica (SIG), análisis espacial.

ABSTRACT

The object of the present study is to find suitable areas for the construction of public schools in locality of Suba, using a combined methodology of multi-criteria analysis and GIS tools. Some variables to consider into the model were defined from the Colombian Technical Rule NTC 4595 (planning and design of facilities and school environments) and others were created, becoming the criterion for the development of the “analysis of hierarchical process (AHP)” methodology.

The geographic information used for development of the study has been downloaded from the web page of Spatial Data Infrastructure for the Capital District of Bogota – IDECA.

The vector information transformed on raster coverage defined one by one the variables for algebra maps, taking into account the weighing or weights resulting of the “analytic hierarchy process (AHP)”, obtaining raster coverage to find suitable and non-suitable zones for the construction of educational facilities in locality of Suba.

Key words: Multicriteria analysis, analytic hierarchy process (AHP), geographic information systems (GIS) and spatial analysis.

INTRODUCCIÓN

El avance del sector de educación básica y media en un país en vía de desarrollo como Colombia, es una pieza fundamental para el mejoramiento de la calidad de vida de sus ciudadanos, dado que es la manera de garantizar que su población infantil tenga en un futuro cercano la posibilidad de acceder a la educación superior y de esta manera mejorar su calidad de vida y la de sus familias.

En la actualidad en la ciudad de Bogotá D.C., por medio del plan de desarrollo “Bogotá Humana”¹ impulsado por la Alcaldía Distrital y articulado a través de la Secretaría Distrital de Educación, se adelantan varios proyectos encaminados a fortalecer el derecho al acceso a la educación básica y media de calidad para los estratos bajos. Aunque se ha visto notablemente el avance y resultado positivo de dichos proyectos, aún queda mucho por hacer con respecto al tema.

Actualmente se observa que sigue existiendo un déficit en la oferta educativa; es el caso de la localidad de Suba, la cual para el año de 2013 tuvo un déficit de 5782 cupos estudiantiles en colegios distritales (Secretaría de Educación del Distrito, mayo 2014), pues de los 103.205 casos de “*demanda efectiva educativa del sector oficial*”², solo 97.423 obtuvieron cupos en esta localidad, para lograr mejorar estos indicadores negativos el distrito está comprometido en ampliar la cobertura educativa para que el nivel de niños desescolarizados tienda a cero en los próximos años.

En el objetivo de garantizar que la oferta de cupos educativos en el Distrito logre cobijar a la mayoría de población infantil, es necesario involucrar procesos tecnológicos que permitan tomar las mejores decisiones en cuestiones tan fundamentales como el sector de ubicación; esto se puede lograr mediante la aplicación de la Geomática, puesto que gracias a las herramientas que ofrece, se pueden llegar a resultados precisos en el territorio de interés.

¹ Bogotá Humana es el nombre dado por la administración del alcalde Gustavo Petro (2012-2015) a su plan de gobierno.

² La demanda efectiva del sector educativo oficial corresponde a la población que solicita un cupo escolar en el sistema administrado por el sector público, y está compuesta por antiguos alumnos que se promueven, los repitentes y los estudiantes nuevos.

Una de las soluciones fundamentales en el propósito de disminuir el déficit de la oferta educativa en Bogotá, es la construcción de nuevos colegios distritales. La localización de las instalaciones educativas debe considerar el análisis de diferentes variables que garanticen un impacto social y económico necesario para el buen desarrollo y cobertura de la población en la localidad. En este sentido, se propone la implementación de métodos de análisis multicriterio y herramientas SIG, que faciliten el análisis geográfico de cada una de las variables y componentes a evaluar para tomar la mejor decisión de acuerdo a unos criterios establecidos, logrando así una valoración integral de la problemática planteada.

La evaluación multicriterio es un conjunto de técnicas utilizadas en la decisión multidimensional y los modelos de evaluación, dentro del campo de la toma de decisiones (Barredo, 1996). Entre de los métodos de evaluación multicriterio encontramos, el Proceso de Análisis Jerárquico AHP (Analytic Hierarchy Process), el cual fue desarrollado a finales de los años 70 del siglo pasado por Thomas L. Saaty con el objetivo de apoyar la reducción del armamento nuclear de la Unión Soviética y los Estados Unidos (Saaty, 1980). Este proceso desarrolla una estructura jerárquica del problema de toma de decisiones, con el objetivo de estructurar y ordenar los procesos y en la actualidad aún cuenta con un gran impacto tanto a nivel teórico como aplicado.

En el entorno de la evaluación multicriterio se han llevado a cabo varios procesos de investigación y desarrollo para integrar estas técnicas con los sistemas de información geográfica, lo que ha logrado que esta unión sea muy común para la toma de decisiones en el territorio. Muchas de estas evaluaciones conjuntas, se han realizado para ayudar a solucionar problemas en áreas urbanas, es el caso de la investigación realizada por la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, en la cabeza de José Luis Palma, en donde se logró validar un modelo territorial en el que los servicios públicos tienen mayor área de cobertura y se garantiza que estos lleguen a las zonas marginales de la ciudad. La investigación aborda una metodología en base a SIG y EMC como herramientas de apoyo para que el gobierno local mejore la accesibilidad espacial de la población menos favorecida de la ciudad de Comayagua a servicios públicos (Palma 2013).

Otra importante investigación en el tema, es la realizada por la Universidad de Cantabria (España), dirigida por Olga de Cos Guerra, en la cual se generó una metodología a partir de SIG y EMC para determinar el grado de metropolización³ de las poblaciones próximas a Santander (España), a partir de variables físicas, sociales y económicas del territorio y sus habitantes.

La evaluación multicriterio constituye una alternativa metodológica de gran utilidad para identificación de territorios que presentan rasgos comunes para un objetivo concreto (de Cos Guerra, 2007). Teniendo en cuenta las anteriores investigaciones presentadas, podemos concluir que los SIG trabajando en conjunto con los EMC, son excelentes herramientas para la toma de decisiones para problemáticas que se desarrollan en el

³ Se denomina metropolización, a un concepto geográfico que denota el crecimiento demográfico, espacial y operativo de las metrópolis o grandes ciudades que se caracterizan por su elevada complejidad.

territorio, y que en el caso del presente trabajo se pueden aplicar para desarrollar el objetivo de construir nuevos colegios distritales en la localidad de Suba bajo las mejores condiciones para su población.

Los sistemas de información geográfica (SIG) son conjuntos de herramientas que abarcan diversos componentes como los son recursos humanos, hardware, software, datos y procesos. Los SIG tienen grandes mejoras para el manejo de datos (Burrough y McDonnell 1998), a través de análisis espacial de datos (Bailey y Gatrell 1995), permiten el manejo de diversos niveles de información georreferenciada, y cuentan con una gran versatilidad para realizar análisis espacial sobre diferentes coberturas espaciales; lo cual permite obtener resultados muy precisos cuando se sobreponen o contrastan diversas coberturas espaciales.

Área de Estudio.

El actual estudio tiene como área de interés la localidad de Suba en la ciudad de Bogotá D.C. Suba es la localidad número 11 de la ciudad, se encuentra ubicada al noroccidente de la ciudad y es la cuarta localidad más extensa de la capital, con 10.056 hectáreas después de Sumapaz, Usme y Ciudad Bolívar, respectivamente. Su suelo urbano comprende 6.271 hectáreas de las cuales 559 son protegidas; el suelo rural comprende 3.785 hectáreas de las cuales 910 corresponden a suelo de protección rural; el suelo de expansión es de 874 ha. Limita al Norte con el municipio de Chía; al Sur con la localidad de Engativá; al Oriente con la localidad de Usaquén y al Occidente con el municipio de Cota. (Secretaría de cultura, recreación y deporte 2015).

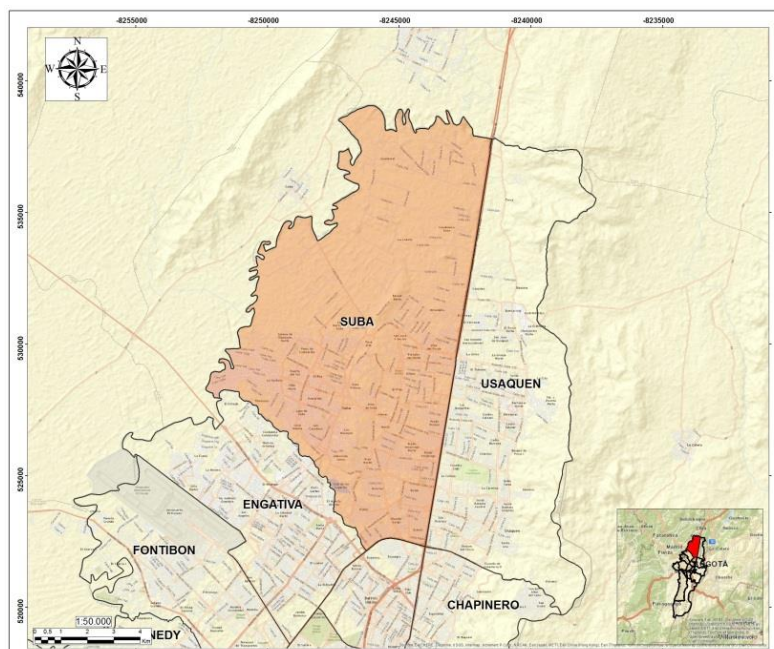


Figura 1: Ubicación general de la localidad de Suba

Fuente: Elaborado a partir de datos de IDECA y mapa base topográfico de ESRI

MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Información geográfica utilizada para el estudio:

La información geográfica utilizada para el estudio fue descargada de la página web de IDECA (Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital) entidad responsable de administrar la información geográfica espacial del distrito de Bogotá creada por las diferentes entidades adscritas al Distrito capital y que manejan información georreferenciada.

En articulación con la Infraestructura Colombia de Datos Espaciales – ICDE, se busca que la información geográfica en el Distrito se construya, se conozca, se comparta, se reutilice y sirva como insumo para generar valor agregado en beneficio de la comunidad, con reglas de juego claras, pertinentes y unas condiciones técnicas orientadas a la calidad. (IDECA 2015).

Teniendo en cuenta este loable objetivo, se re afirma que el objeto de este estudio es aportar desde la Geomática al desarrollo de la comunidad, en particular en este caso para la localidad de Suba.

La información fue descargada en formato .gdb (geodatabase) y cuenta con diferentes datasets (conjuntos de datos) que contienen información geográfica del Distrito de Bogotá. Todos los datasets se encuentran en el sistema de referencia Magna – Sirgas, en coordenadas geográficas.

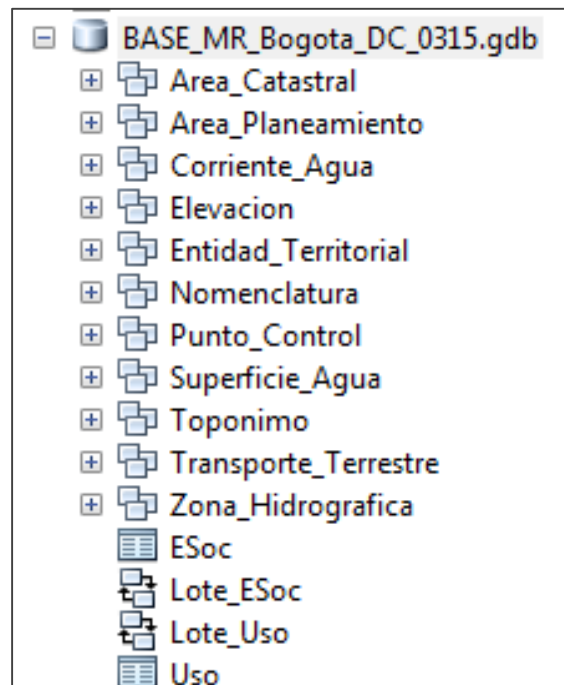


Figura 2: Datasets de la geodatabase oficial de IDECA
Fuente: IDECA (Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital)

1.2 Normatividad utilizada:

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), es el organismo nacional de normalización de Colombia.

Trabaja para fomentar la normalización, la certificación, la metrología y la gestión de la calidad en Colombia. El ICONTEC es el representante de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO), en nuestro país.

Realizando una investigación normativa que se relacionará con estándares para la construcción y ubicación de instituciones educativas en nuestro país, se encontró la *NTC 4595 de 1999*, la cual se encuentra dentro de las ramas de la ingeniería civil y arquitectura, y determina parámetros para el correcto planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares.

En la sección 3 – Planeamiento General, describe las disposiciones básicas necesarias para planificar ambientes escolares y las agrupa en 3 tareas: ubicación y características de los predios, dimensionamiento de las instalaciones escolares y disposiciones varias.

De los numerales 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7 se extrajeron los siguientes enunciados:

- No deben realizarse proyectos escolares en predios que no permitan un distanciamiento mínimo de la construcción o instalación más cercana de 50 metros a líneas de alta tensión, canales o pozos abiertos, vías férreas y vías vehiculares de alto tráfico.
- En relación con los usos compatibles, los predios para instalaciones escolares no pueden estar ubicados a distancias inferiores a 500 metros, medidos perpendicularmente desde su límite más cercano, de plantas o complejos industriales que produzcan y expidan contaminantes y/o polucionantes o generen cualquier otra forma de riesgo.
- Los lotes destinados a la construcción de edificaciones e instalaciones escolares deben tener pendientes inferiores al 15%.

1.3 Metodología

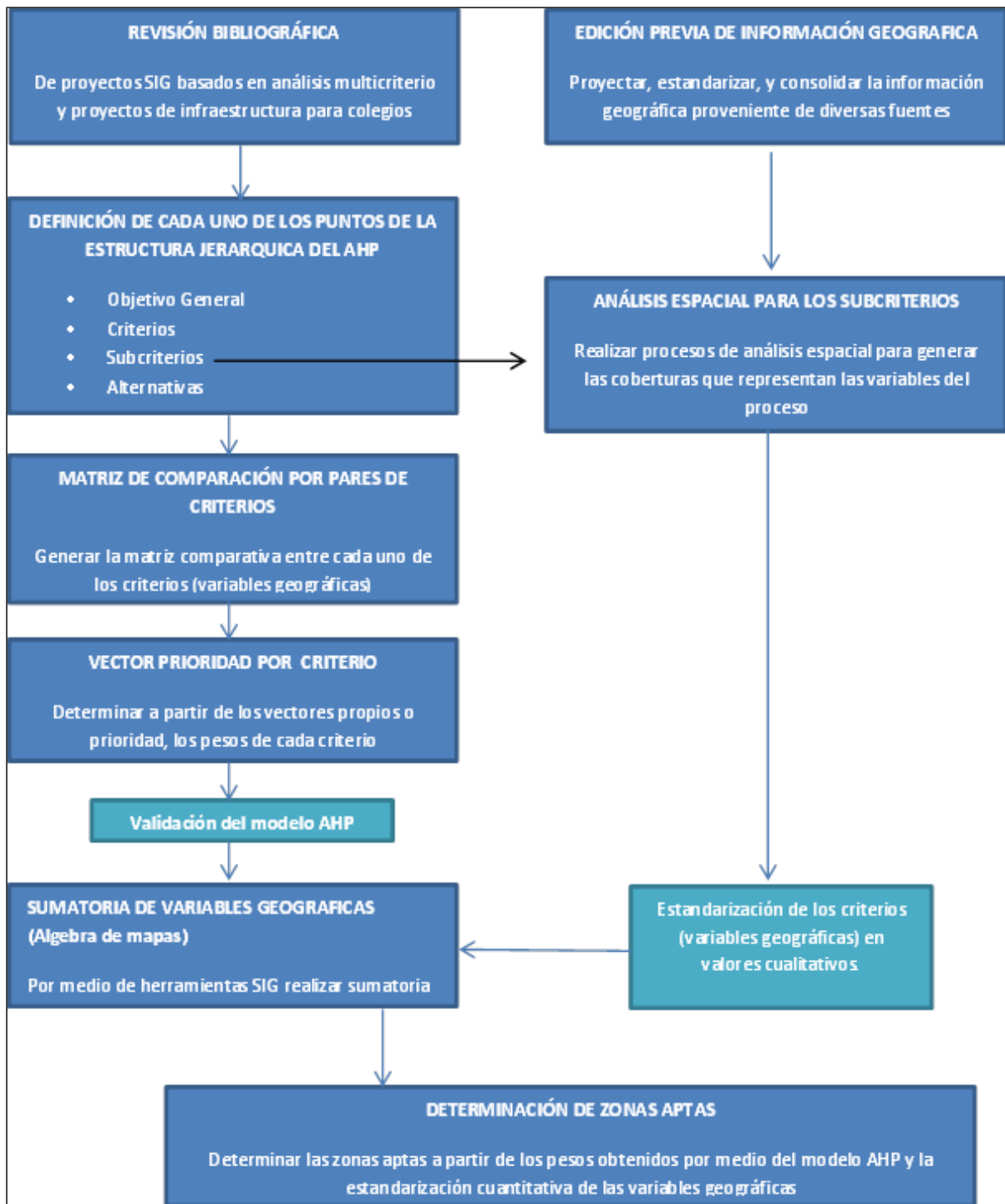


Figura 3: Esquema del proceso metodológico del estudio.
Fuente: elaboración propia, teniendo en cuenta la metodología del AHP.

1.3.1 Proceso de Análisis jerárquico AHP (Analytic Hierarchy Process)

El AHP fue desarrollado a finales de los años 70 del siglo pasado por Thomas L. Saaty con el objetivo de apoyar la reducción del armamento nuclear de la Unión Soviética y los Estados Unidos (Saaty, 1980), aunque ha tenido un gran impacto tanto a nivel

teórico como aplicado. Él propuso desarrollar una estructura jerárquica del problema de toma de decisión, con el objetivo de estructurar y ordenar todo el proceso.

El método de análisis multicriterio AHP, es un procedimiento diseñado para cuantificar juicios u opiniones sobre la importancia relativa de cada uno de los criterios en conflicto empleados en el proceso de toma de decisión. Al convertirse AHP en una técnica de toma de decisiones en grupo existen varios procedimientos de agregación de los juicios individuales.

Esta metodología propone como primera medida, descomponer el Problema de Decisión en una jerarquía de elementos interrelacionados, identificando: (a) la Meta General, (b) los Criterios, (c) las Alternativas posibles (Saaty, 1980).

Para el presente estudio se estableció la estructura jerárquica de Saaty de la siguiente manera:

- **Objetivo General:** Zonas aptas para la construcción de colegios distritales en la localidad de Suba.
- **Criterios:** Basados en la NTC 4595 (Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares) y Propuestos para el estudio.
- **Subcriterios:** Distancia a líneas de alta tensión, Distancia a vías de alto tráfico, Distancia a zonas industriales, Pendientes, Distancia a colegios distritales y Distancia a parques.
- **Alternativas:** Supremamente apta, Moderadamente apta, Marginalmente apta y No apta.

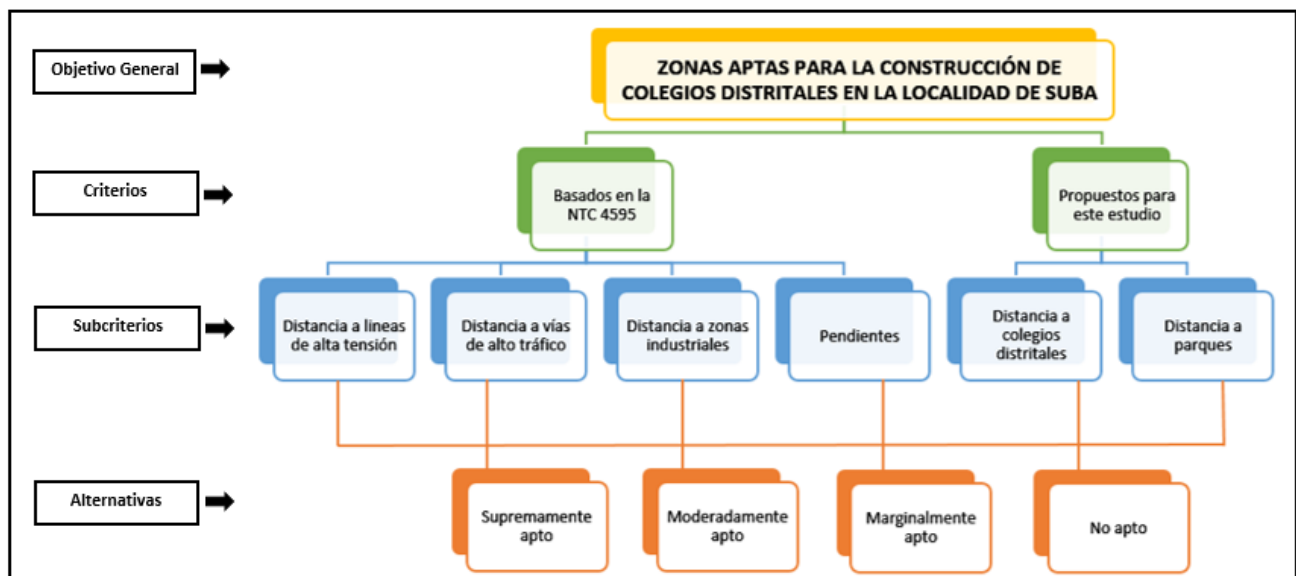


Figura 4: Estructura jerárquica para la determinación de las zonas aptas para construcción de colegios distritales en Suba.

Fuente: elaboración propia a partir de la metodología de AHP propuesta por Saaty.

Tabla 1: rangos definidos para cada uno de los subcriterios (variables geográficas) en cuanto a las alternativas:

Subcriterio	Alternativas			
	Supremamente apto	Moderadamente apto	Marginalmente apto	No apto
Distancia a líneas de alta tensión	mayor a 200 mts	100-200 mts	50-100 mts	0-50 mts
Distancia a vías de alto tráfico	mayor a 200 mts	100-200 mts	50-100 mts	0-50 mts
Distancia a zonas industriales	mayores a 900 mts	700-900 mts	500-700 mts	0-500 mts
Pendientes	0-5%	5-10%	10-15%	mayor a 15%
Distancia a colegios distritales	mayor a 900 mts	700-900 mts	500-700 mts	0-500 mts
Distancia a parques	0-300 mts	300-600 mts	600-900 mts	mayor a 900 mts

Fuente: elaboración propia a partir de los parámetros establecidos en la NTC 4595 y del criterio del realizador del estudio.

Una vez establecida la estructura jerárquica, es posible realizar la *matriz de comparación por pares de criterio (MCP)*, la cual permite analizar el grado de importancia de cada subcriterio con respecto a los demás. Este grado de importancia se establece a partir de una cuantificación o rating de importancia relativa entre los subcriterios considerados.

Tabla 2: Rating de importancia de para la construcción de la MCP

1 =	Si el criterio "x" es igualmente importante que el criterio "y"
2 =	Si el criterio "x" es apenas más importante que el criterio "y"
5 =	Si el criterio "x" es bastante más importante que el criterio "y"
7 =	Si el criterio "x" es mucho más importante que el criterio "y"
9 =	Si el criterio "x" es absolutamente más importante que el criterio "y"

Fuente: elaboración propia basado en la metodología del proceso de análisis jerárquico (AHP) de Saaty.

En base a la escala de importancia mostrada en la anterior tabla se construye la matriz de comparación por pares, con los 6 subcriterios definidos anteriormente.

Tabla 3: Matriz de comparación por pares (MCP) del estudio

		Subcriterio Y						
		1	2	3	4	5	6	
Subcriterio		Distancia a líneas de alta tensión	Distancia a vías de alto tráfico	Distancia a zonas industriales	Pendientes	Distancia a colegios distritales	Distancia a parques	
Subcriterio X	1	Distancia a líneas de alta tensión	1	1/5	1/7	7/1	5/1	7/1
	3	Distancia a vías de alto tráfico	5/1	1	1/7	5/1	3/1	5/1
	3	Distancia a zonas industriales	7/1	7/1	1	9/1	5/1	7/1
	4	Pendientes	1/7	1/5	1/9	1	1/5	1/3
	5	Distancia a colegios distritales	1/5	1/3	1/5	5/1	1	5/1
	6	Distancia a parques	1/7	1/5	1/7	3/1	1/5	1

Fuente: Construida a partir de los conceptos teóricos del AHP con base en los parámetros que establece la NTC 4595 y criterios del autor del artículo.

Tabla 4: Matriz de comparación por pares (MCP) con calificación numérica.

Subcriterio	Distancia a líneas de alta tensión	Distancia a vías de alto tráfico	Distancia a zonas industriales	Pendientes	Distancia a colegios distritales	Distancia a parques
Distancia a líneas de alta tensión	1	0,20	0,14	7	5	7
Distancia a vías de alto tráfico	5	1	0,14	5	3	5
Distancia a zonas industriales	7	7	1	9	1	7
Pendientes	0,14	0,20	0,11	1	0,20	0,33
Distancia a colegios distritales	0,20	0,33	0,20	5	1	5
Distancia a parques	0,14	0,20	0,14	3	0,20	1
TOTALES	13	8,93	1,73	30	10,4	25,33

Fuente: Construida a partir de los conceptos teóricos del AHP con base en los parámetros que establece la NTC 4595 y criterios del autor del artículo.

Según la metodología AHP, el cálculo del *vector propio* de la matriz MCP, proporciona la ponderación de cada uno de los criterios, es decir, que los componentes del vector propio de la matriz MCP representan los pesos que tienen cada uno de los criterios sobre la toma de decisión final. Para calcular el vector propio de una matriz, es necesario generar la *matriz normalizada (MCN)*; la cual se obtiene dividiendo cada valor de cada una de las columnas por la suma total de la columna.

Tabla 5: Matriz de comparación por pares normalizada (MCN).

Subcriterio	Distancia a líneas de alta tensión	Distancia a vías de alto tráfico	Distancia a zonas industriales	Pendientes	Distancia a colegios distritales	Distancia a parques
Distancia a líneas de alta tensión	0,08	0,02	0,08	0,23	0,48	0,28
Distancia a vías de alto tráfico	0,38	0,11	0,08	0,17	0,29	0,20
Distancia a zonas industriales	0,54	0,78	0,58	0,30	0,10	0,28
Pendientes	0,01	0,02	0,06	0,03	0,02	0,01
Distancia a colegios distritales	0,02	0,04	0,12	0,17	0,10	0,20
Distancia a parques	0,01	0,02	0,08	0,10	0,02	0,04

Fuente: Construida a partir de los conceptos teóricos del AHP expuestos por Saaty.

Después de tener la matriz de comparación por pares normalizada, se procede a generar el vector de prioridad para cada subcriterio; este se determina generando la suma ponderada de cada fila de la matriz y calculando su promedio.

Tabla 6: Vector de prioridad para los subcriterios

Subcriterio	Ponderación	%
Distancia a líneas de alta tensión	0,20	20%
Distancia a vías de alto tráfico	0,21	21%
Distancia a zonas industriales	0,41	41%
Pendientes	0,03	3%
Distancia a colegios distritales	0,10	10%
Distancia a parques	0,05	5%
Total	1,00	100%

Fuente: Construida a partir de los cálculos matriciales propuestos en la metodología AHP de Saaty.

El resultado obtenido en el vector de prioridad muestra la ponderación o peso que va a tener cada una de los subcriterios, que se convierten en las variables geográficas para el álgebra de mapas que se realiza posteriormente.

Después de obtener la ponderación de cada uno de las variables, es necesario realizar una evaluación de los resultados obtenidos, para esto, Saaty dentro de la metodología AHP propone el cálculo del *cociente de consistencia (RC)*, el cual determina si los resultados obtenidos en el vector de prioridad son adecuados o si se deben hacer ajustes en la matriz de comparación por pares, para optimizar los resultados. Según la metodología AHP, el RC debe ser inferior a 0,1 para matrices mayores de 5x5, si el resultado es mayor deben ser reconsiderados y modificados los valores de la matriz de comparación por pares.

Para este caso el RC obtenido fue de 0,089; considerando que es una matriz de tamaño 6x6, se determinan como aceptables los valores obtenidos y se validan los resultados del análisis matricial y del vector prioridad.

1.3.2 Generación de las variables geográficas (Subcriterios).

Para la generación de las variables geográficas del estudio se tuvo como base la Geodatabase del distrito Capital administrada por IDECA, y para la cual Todos los datasets se encuentran en el sistema de Referencia Magna – Sirgas, en coordenadas geográficas.

Todo el modelamiento y análisis espacial se fue llevado a cabo en es software ArcGIS 10,1 de ESRI, utilizando ArcMap, ArcCatalog y la extensiones 3D Analyst and Spatial Analyst.

Para las coberturas utilizadas, primero se restringieron para la localidad de Suba, para que el manejo de la información en el software geográfico fuera más rápido. Después se llevan todas a la proyección PCS_CarMAGBOG, la cual utiliza el datum Magna - Sirgas, con una proyección local especial para la ciudad de Bogotá D.C.

Tabla 7: Resumen de la generación de las coberturas raster para de cada una de las variables.

Variable	Feature en GDB IDECA	Extracción	Generación de la variable
Distancia a líneas de alta tensión	SSPP_INFRAESTRUCTURA_LIN EA_VEC	Líneas de alta tensión	Se genera cobertura raster de distancias euclidianas y se reclasifica con el rango de la tabla 1
Distancia a vías de alto tráfico	MVI	Malla vial arterial y malla vial intermedia	Se genera cobertura raster de distancias euclidianas y se reclasifica con el rango de la tabla 1
Distancia a zonas industriales	LOTE + Tabla (USO)	Lotes con usos: Industria mediana e industria grande	Se genera cobertura raster de distancias euclidianas y se reclasifica con el rango de la tabla 1
Pendientes	CNIV		Se genera un TIN a partir de las Curvas de nivel, se convierte a formato raster y se reclasifica con el rango de la tabla 1
Distancia a colegios distritales	SINT	Categoría 8 - Colegios distritales	Se genera cobertura raster de distancias euclidianas y se reclasifica con el rango de la tabla 1
Distancia a parques	PARQUES_IDRD	Parque metropolitano, parque zonal y parques vecinales	Se genera cobertura raster de distancias euclidianas y se reclasifica con el rango de la tabla 1

Fuente: elaboración propia.

A continuación se muestran la base vectorial de partida para la construcción de las coberturas raster de cada una de las variables, en las imágenes de la derecha (coberturas reclasificadas) los tonos rojos hacen referencia a las zonas no aptas, mientras que los tonos verdes hacen referencia a zonas aptas.

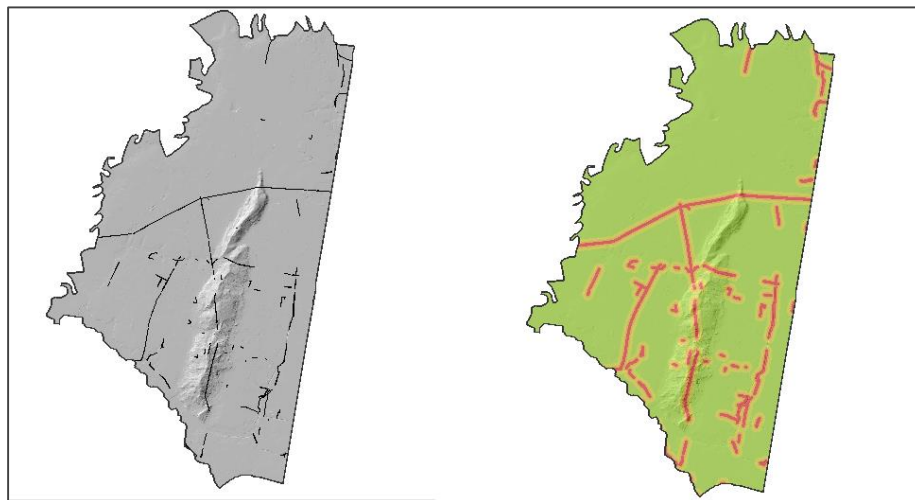


Figura 5: Líneas de alta tensión en Suba (Vector) y Cobertura raster con las 4 clases de aptitud definidas para la variable “Distancia a líneas de alta tensión”.

Fuente: Elaboración propia en software ArcGIS 10.1 a partir de datos de la Geodatabase de IDECA.

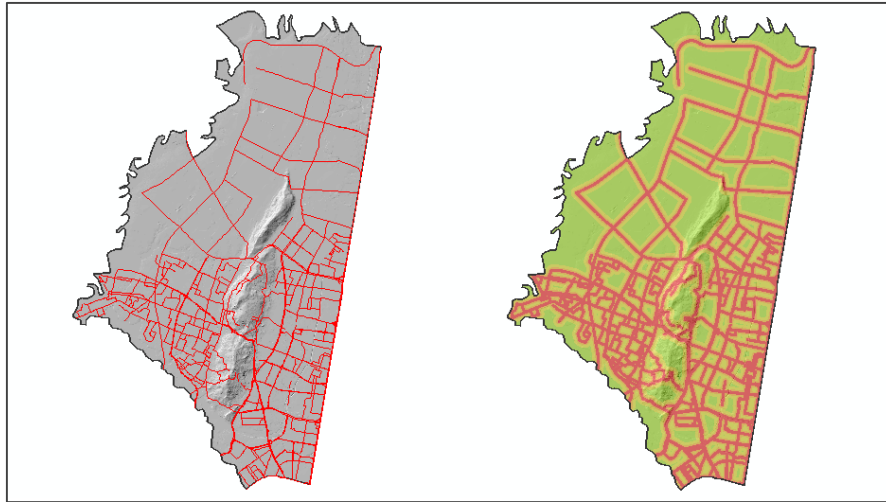


Figura 6: Malla vial arterial e intermedia de Suba (Vector) y Cobertura raster con las 4 clases de aptitud definidas para la variable “distancia a vías de alto tráfico”.

Fuente: Elaboración propia en software ArcGIS 10.1 a partir de datos de la Geodatabase de IDECA.

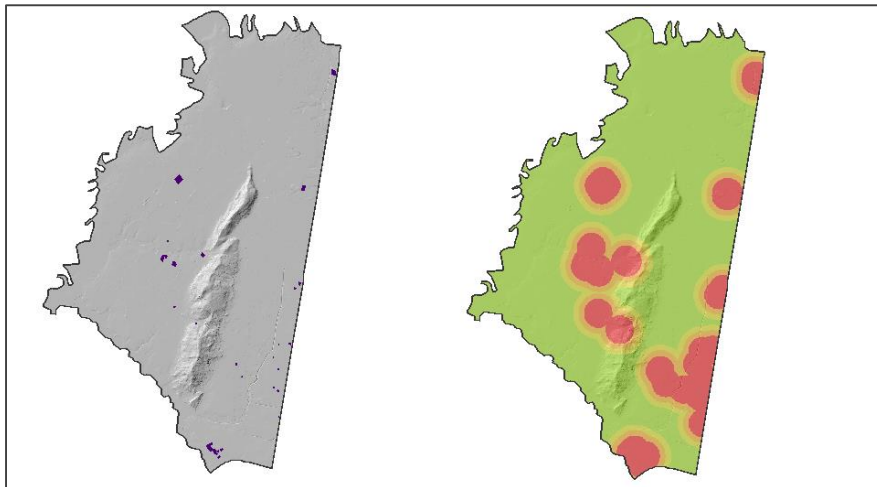


Figura 7: Lotes con usos Industria mediana e industria grande (Vector) y Cobertura raster con las 4 clases de aptitud definidas para la variable “Distancia a zonas industriales”.

Fuente: Elaboración propia en software ArcGIS 10.1 a partir de datos de la Geodatabase de IDECA.

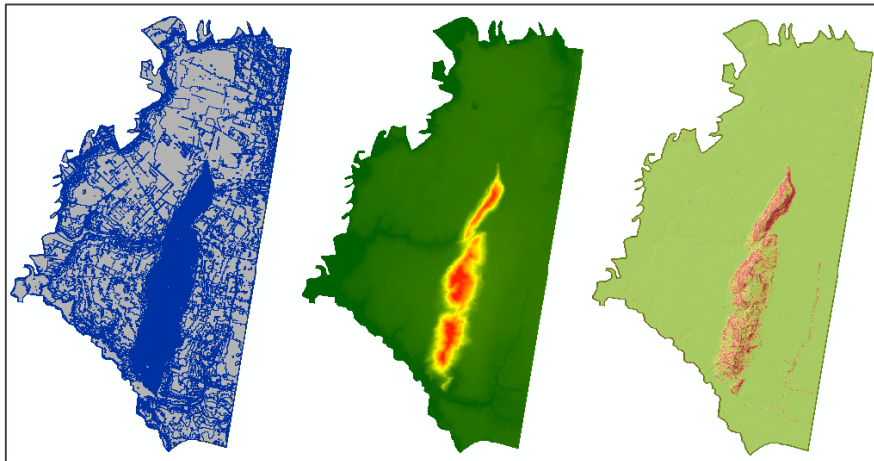


Figura 8: Curvas de nivel (Vector), cobertura raster generada a partir del TIN y cobertura raster con las 4 clases de aptitud definidas para la variable "Pendientes".

Fuente: Elaboración propia en software ArcGIS 10.1 a partir de datos de la Geodatabase de IDECA.

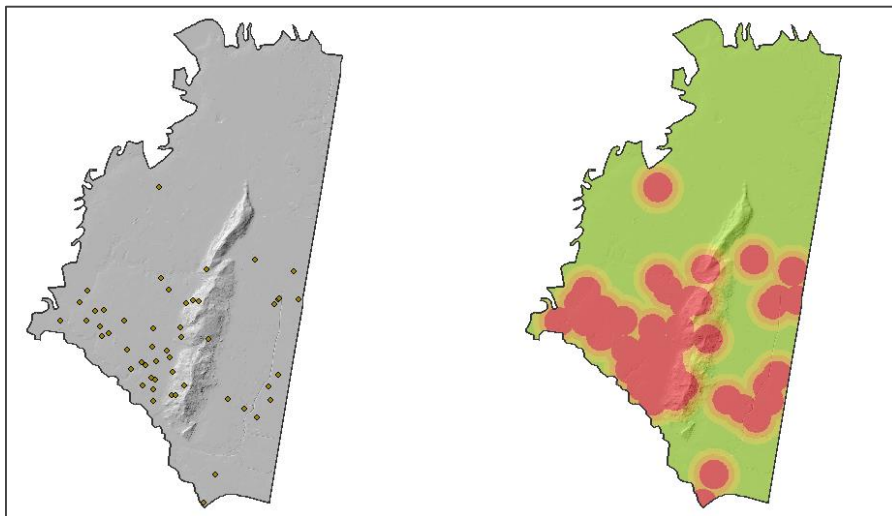


Figura 9: Colegios Distritales (Vector) y Cobertura raster con las 4 clases de aptitud definidas para la variable "Distancia a colegios distritales".

Fuente: elaboración propia en software ArcGIS 10.1 a partir de datos de la Geodatabase de IDECA.

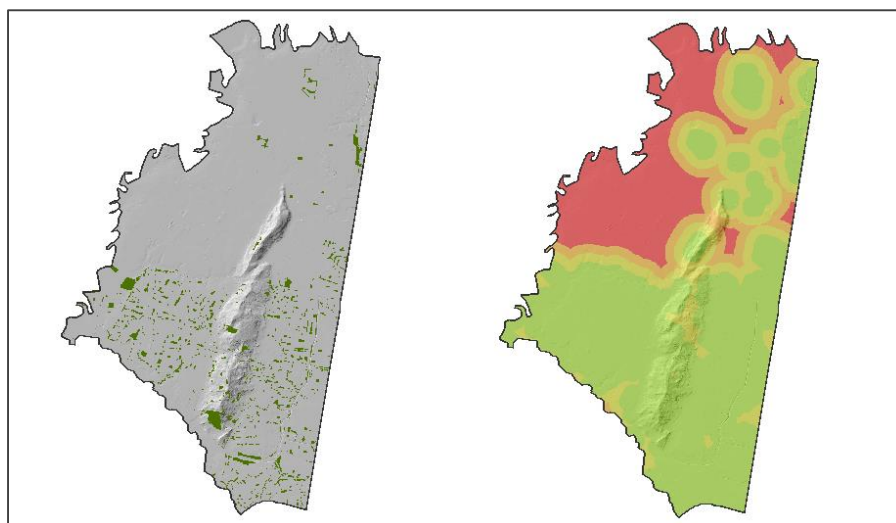


Figura 10: Parques Metropolitanos, zonal y vecinal (Vector) y Cobertura raster con las 4 clases de aptitud definidas para la variable "Distancia a parques".

Fuente: elaboración propia en software ArcGIS 10.1 a partir de datos de la Geodatabase de IDECA.

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Teniendo generadas y reclasificadas las variables en formato raster en una escala numérica que representa las 4 alternativas de aptitud (tabla 1) para todas las variables objetos de este estudio, y adicionalmente teniendo la ponderación o peso de cada una de las variables (tabla 6) con base en los resultados obtenidos y validados del análisis multicriterio; entonces podemos realizar un algebra de mapas que nos muestre finalmente la zonificación de aptitud para la construcción de colegios distritales en la localidad de suba.

Para obtener esta cobertura se utilizó la herramienta Weighted Overlay o “Superposición Ponderada”, la cual nos permite realizar una suma de coberturas raster, teniendo en cuenta pesos o ponderaciones diferentes para cada una de las coberturas a sumar, en este caso, los pesos que van a ser usados se definieron anteriormente mediante el cálculo del vector de prioridad dentro del proceso de análisis jerárquico.

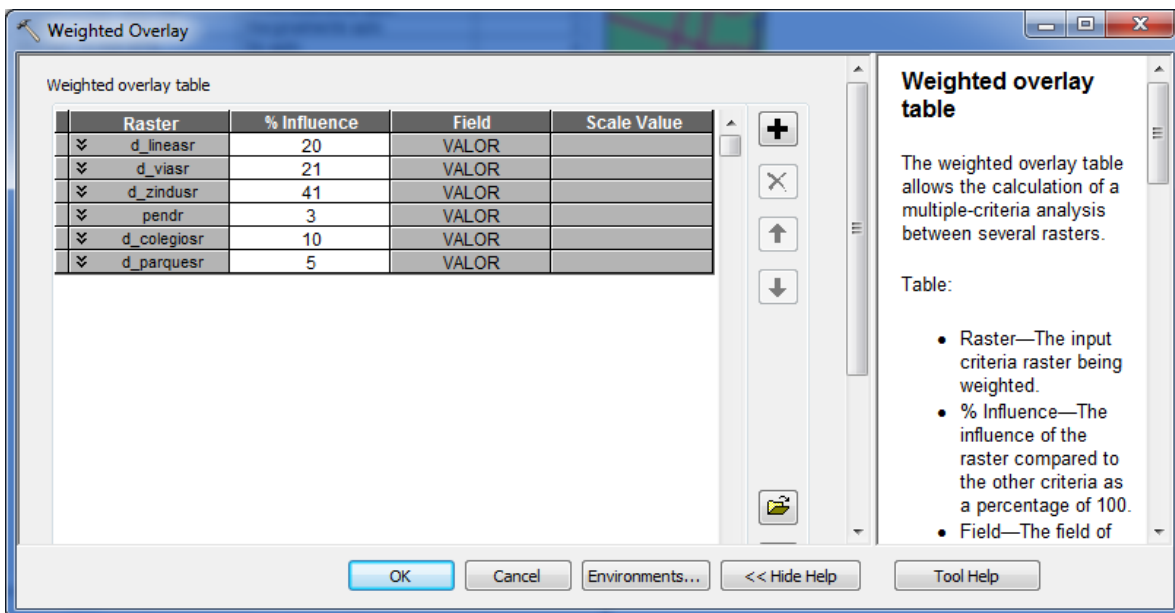


Figura 11: Ejecución de la herramienta Weighted Overlay para realizar la superposición ponderada de las 6 variables, teniendo en cuenta los pesos obtenidos por medio del análisis multicriterio.

Fuente: Ventana del software ArcGIS 10.1 en ejecución de la herramienta Weighted Overlay.

2.1 Mapa de zonas aptas para la construcción de colegios

Como resultado de la ejecución de la superposición ponderada en ArcGIS 10.1, se obtiene una cobertura raster con las 4 zonas de aptitud para la construcción de colegios (supremamente apta, moderadamente apta, marginalmente apta y no apta).

Esta cobertura obtenida se exporta a formato vectorial para obtener una mejor cobertura de salida y para poder hallar con mayor facilidad las áreas totales para cada una de las zonas.

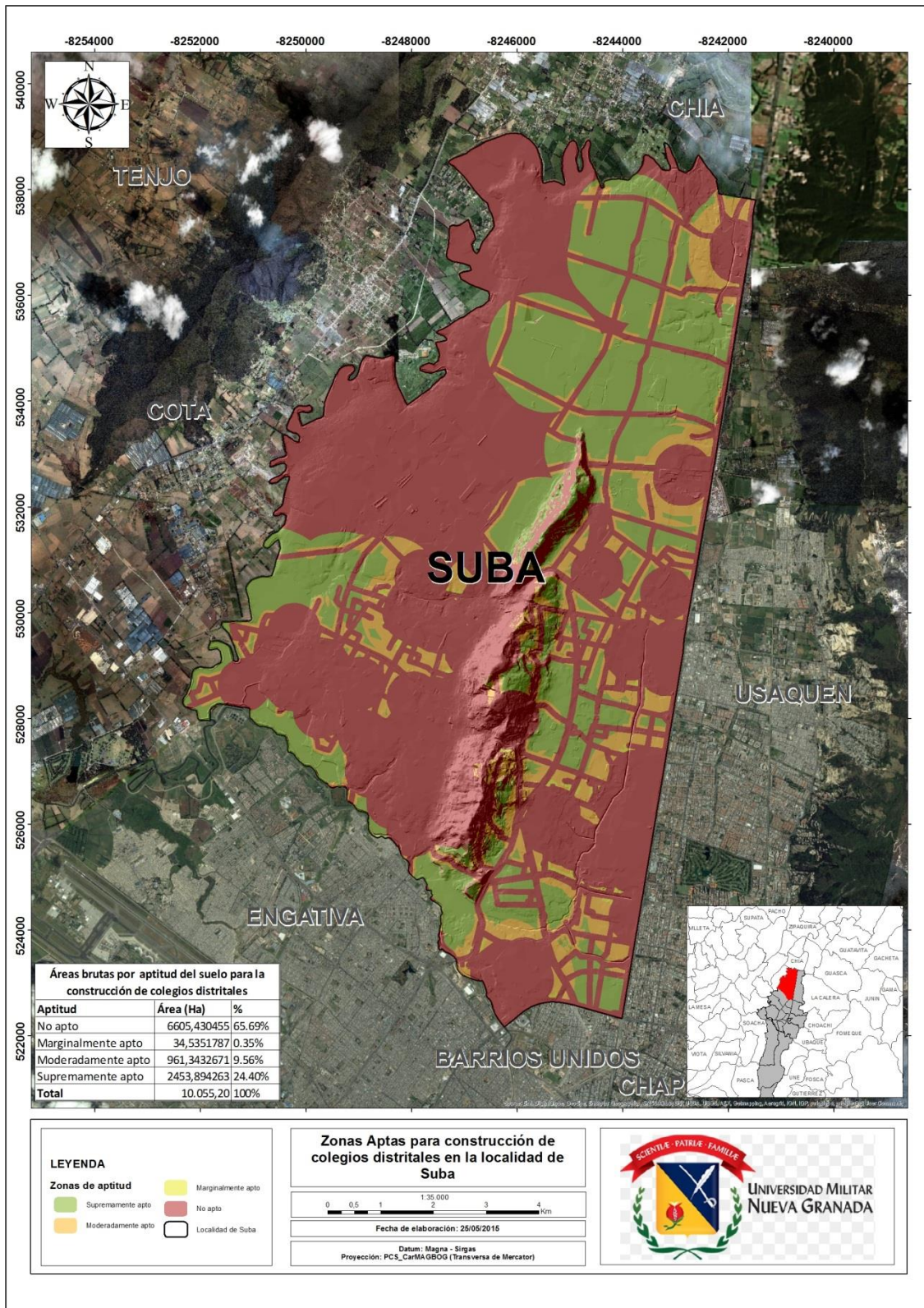


Figura 12: Mapa de zonas aptas para la construcción de colegios distritales en Suba.
Fuente: Generado a partir de la herramienta de superposición ponderada en ArcGIS 10.1

3. CONCLUSIONES

- Los métodos de análisis multicriterio son una excelente herramienta que permite la integración con herramientas SIG, puesto que al permitir estandarizar diferentes tipos de variables permite una mayor integración, que de otra manera no podrían tenerse en cuenta para toma de decisiones con análisis espacial.
- A pesar de que las zonas aptas en este ejercicio académico solo alcanzaron un 40%, y que la totalidad de variables no fue mayor, los resultados obtenidos se acercan a la realidad, y son aceptables, teniendo en cuenta que a las zonas obtenidas hay que descontarle las vías de tipo “local” y “rural”, los parques, y las zonas que por tipo de uso no sean compatibles con las construcciones escolares.
- Para realizar un análisis espacial adecuado, es recomendable trabajar las coberturas geográficas en formato raster, puesto que permite un manejo más adecuado de la información.
- El desarrollo, metodología y resultados del ejercicio académico demuestran una vez más que los métodos de análisis multicriterio trabajados conjuntamente con herramientas SIG de análisis espacial, permiten obtener muy buenos resultados, además de ser versátiles, adaptables a diversos ambientes y de fácil comprensión y ejecución.
- Se realizó un análisis extra, que consiste en considerar las zonas no aptas de las 4 variables basadas en la NTC 4595, para contrastar los colegios distritales existentes con estas zonas; para saber así que cantidad de colegios no están cumpliendo con los criterios establecidos en la norma. Se determinó de esta manera que 18 de los 52 colegios (un 34,6 %) distritales no cumplen con estos criterios, o sea que se encuentran en zonas no aptas para ubicación de ambientes escolares; lo que nos lleva a concluir que en la mayoría de casos no se tiene en cuenta esta NTC para la construcción o ubicación de colegios distritales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Barredo Cano J I, (1996). Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio Ed. RA-MA, 250 p.

[2] Bosque J y Franco S. (1995). Modelos de Localización – Asignación y evaluación multicriterio para la localización de instalaciones no deseables. En: Serie Geográfica, pp 97 -112.

[3] De Cos Guerra O. (2007). SIG y evaluación multicriterio: Propuesta metodológica para cuantificar el grado de metropolización en el territorio. En: Mapping, pp 6 – 24.

[4] Delgado Caballero C E y Valdez Lazalde J R (2010) Aptitud de áreas para plantaciones de eucalipto en Oaxaca y Veracruz: proceso de análisis jerarquizado vs álgebra booleana. En: Revista mexicana de ciencias forestales Vol 1(1) pp 8 – 20.

[5] Palma J. (2013). Sistemas de información geográfica (SIG) y metodologías de evaluación multicriterio (EMC) en la búsqueda de escenarios alternativos para el mejoramiento socio espacial de las áreas urbanas populares de la ciudad de Comayagua. En: GESIG Vol 5 (5) pp 180 – 193.

[6] Saaty T L.(1980) The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation.Ed. McGraw-Hill, 287 p.

[7] Vejo C y Roche H (2005). Análisis multicriterio en la toma de decisiones. En: <http://www.ccee.edu.uy/ensenian/catmetad/material/MdA-Scoring-AHP.pdf> (Marzo de 2015).

[8] Icontec (1999). Norma técnica colombiana NTC 4595 – Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares, 45 p.