

UN CASO DE ESTUDIO EN INTEROPERABILIDAD ENTRE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Carlos Mario Zapata Jaramillo*
Guillermo González Calderón**
María Isabel Marín Morales***

Recibido: 31/08/2009

Aceptado: 05/10/2009

RESUMEN

Los sistemas de información geográfica (SIG) requieren interoperabilidad (capacidad para compartir datos y procesos) porque contienen grandes cantidades de información que se debe complementar para realizar procesos de análisis, predicción y estudios socioeconómicos, entre otros. Pese a existir estándares para el desarrollo de SIG, la interoperabilidad entre sistemas ya desarrollados es un problema, ya que la estructura de datos y procesos es propia de cada sistema y la gran cantidad de datos dificulta su migración a las estructuras estándar. Por ello, en este artículo de investigación científica y tecnológica se elabora un caso de estudio que permita comprender los elementos subyacentes a la interoperabilidad entre SIG.

Palabras clave: interoperabilidad, sistemas de información geográfica, datos raster, datos vectoriales, series de tiempo.

* Ph.D en Ingeniería, Profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia, Líder del grupo de investigación en Lenguajes Computacionales, Teléfono: (57)(4) 4255374, Fax: (57)(4) 4255365, cmzapata@unal.edu.co, Carrera 80 No. 65-223 Bloque M8A-310, Facultad de Minas, Escuela de Sistemas.

** MSc. en Ingeniería de Sistemas. Docente de la Facultad de Ingenierías, Universidad de Medellín, Grupo de Investigación ARKADIUS, Teléfono 3405391, ggonzalezc@udem.edu.co

*** Estudiante de Maestría en Ingeniería: Ingeniería de Sistemas, (57)(4) 4255127, mimarinm@unal.edu.co

A CASE STUDY ON INTEROPERABILITY BETWEEN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

ABSTRACT

Geographic Information Systems (GIS) require interoperability (capacity for sharing data and processes) due to the big amount of information. This information should be supplemented in order to make analysis, prediction processes, and socioeconomic studies, among others. Despite the efforts for standardizing GIS development, interoperability between ancient GIS still has problems: data and process structure are different for every GIS and data size makes the migration of data to standard structures difficult. The above reasons lead us to propose, in this scientific and technological research paper, a case study for better understanding GIS interoperability.

Key words: interoperability, geographic information system, raster format, vector format, time series

INTRODUCCIÓN

La globalización ofrece la posibilidad de sumar esfuerzos para la integración de los procesos y datos desarrollados y obtenidos aisladamente. El problema principal para intentar esta integración es el problema de compatibilidad en la estructura de los datos, las entradas y salidas de los programas. Para enfrentar este problema es necesario avanzar en el tema de la interoperabilidad, que se define como la capacidad que exhiben los sistemas para compartir datos y procesos [1].

Por otra parte, los sistemas de información geográfica (SIG) se están convirtiendo en importantes sistemas de gestión de información geo-referenciada [1] en un amplio dominio de aplicación, especialmente en las ciencias de la tierra, la atmósfera y el océano [2]. Esta gestión comprende procesos de análisis, predicción, estudios socioeconómicos y ecológicos, entre otros, para lo que resulta importante la posibilidad de interoperar entre estos. La interoperabilidad geográfica se define como la capacidad de los sistemas de información para 1) intercambiar libremente todo tipo de información geo-referenciada acerca de la Tierra y sus fenómenos y 2) cooperativamente, a través de redes, correr programas aptos para manipular dicha información [1].

A pesar de que existen estándares para el desarrollo de SIG, propuestos por el *Open Geospatial Consortium* (OGC) [2], la interoperabilidad de sistemas ya desarrollados es un problema, pues la estructura de los datos y los procesos es propia de cada uno y, en general, la gran cantidad de datos dificulta su migración a las estructuras estándar.

Con el fin de extraer los elementos subyacentes a la interoperabilidad entre SIG y aportar nuevas bases en el proceso de facilitar su interoperabilidad, en este artículo se plantea un caso de estudio que facilite la comprensión de tales elementos y procesos en los SIG. Este artículo se estructura así: en la sección 2 se expone el marco teórico que acerque al

lector a los conceptos básicos del tema, en la sección 3 se hace una recopilación de los avances en interoperabilidad entre SIG, en la sección 4 se explica el proceso y los resultados obtenidos en el caso de estudio y, finalmente, en la sección 5 se sintetizan las conclusiones y se plantea el trabajo futuro.

1. MARCO TEÓRICO

La interoperabilidad permite a los sistemas intercambiar datos y ejecutar tareas en conjunto. El *Object Management Group* (OMG) hace parte de las organizaciones que apoyan y promueven la iniciativa *The Interoperability Pledge*, creada con el fin de comprometer a los programadores a seguir estándares de desarrollo. El *World Wide Web Consortium* (W3C) viene desarrollando estándares que no garantizan la exitosa interoperabilidad entre aplicaciones de *software*, especialmente si se desarrollan de manera aislada, teniendo arquitecturas, plataformas, sistemas operativos y modelos de datos diferentes. Con el fin de superar las limitaciones señaladas, autores como Young et al. [3], realizan una evaluación de las 7 iniciativas más usadas para la interoperabilidad entre sistemas.

Por otro lado, los Sistemas de Información Geográfica se diseñan para almacenar, procesar, analizar y desplegar información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos. La tecnología de los SIG se puede utilizar en investigaciones científicas, evaluación del impacto ambiental y cartografía, por nombrar algunas. La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, suministrando sencillez y rapidez, y facilitando las relaciones de información existente, a través de la topología de los objetos [4, 5].

En un SIG existen dos modelos de datos básicos aceptados y estandarizados [6]: el *raster*

y el vectorial. En el primero, las características geográficas se representan usando celdas discretas cuadradas, organizadas en una malla (*grid*) rectangular. Se trata de una matriz bidimensional de datos, referenciada a partir de la esquina inferior izquierda y que posee datos asociados. A cada celda de la matriz se asocia un valor. El segundo representa la información a través de figuras geométricas, que representan fenómenos discretos con un límite definido. La forma básica para graficar es el punto, de donde se desprenden las demás, como son líneas y polígonos, entre otros. La información asociada con cada geometría se encuentra almacenada en la fila de la tabla de atributos. En la actualidad, existen iniciativas muy utilizadas en el dominio SIG, entre ellas *MapWindow GIS* [7] y *Google Earth* [8]. Un *raster* o un vectorial pueden poseer datos almacenados a través del tiempo en series temporales. Esta información se puede comportar de manera secuencial, en cuyo caso se le asocia una resolución temporal o de manera eventual, por ejemplo, las campañas de medición [9, 10].

2. ANTECEDENTES

Algunas de las herramientas usadas con mayor frecuencia para propiciar la interoperabilidad entre sistemas son: CORBA, Microsoft® .NET, J2EE, DCOM, EJB, P2P, etc. Estas herramientas presentan dificultades en su extensión ya que, entre ellas, manejan modelos de datos diferentes y sus protocolos son propietarios [3].

En Lewis et al. [11], se identifican cuatro niveles de interoperabilidad 1) de máquina, 2) sintáctico, 3) semántico y 4) organizacional. Así, relacionan algunos estándares con uno de los niveles definidos y concluyen que esos estándares no son suficientes.

Yi et al. [12] definen (sin llegar a plantear prototipos o lenguajes) un modelo de interoperabilidad

llamado *InteroModel5*, basado en Infraestructura de información espacial (*Spatial Information Infrastructure—SII*), el cual conecta cinco niveles de interoperabilidad: 1) institucional, 2) semántico, 3) del servicio de aplicación, 4) de la transformación de los recursos y 5) del descubrimiento de los recursos.

McDonald et al. [2] proponen un método para posibilitar la interoperabilidad entre sistemas implementados bajo protocolos del OGC y OpenDAP (un estándar relacionado con la atmósfera y el océano). Esta aproximación es de gran utilidad pero sigue siendo limitada pues la interoperabilidad se reduce a estos dos estándares.

Brock et al. [13] proponen el diseño de una familia de estándares que permitan la creación de modelos que se integren automáticamente en ambientes de ejecución. Así, los desarrolladores pueden proponer modelos dentro de su área particular y saber cómo acomodarse al ambiente compartido en el que deberán interoperar. Brock et al. [14], presentan la definición del lenguaje M, propuesto como trabajo futuro en Brock et al. [13]. Esto, con el ánimo de crear una infraestructura inteligente de la información, abierta para que las empresas puedan tener la capacidad de combinar, visualizar y entender los datos compartidos. El lenguaje consta de dos elementos clave: palabras y reglas. Las palabras toman una forma especial de manera que facilita el entendimiento de la máquina. Las reglas proveen la guía sobre cómo unir las palabras para representar los datos o modelos en un formato común interoperable. Este lenguaje es un avance hacia la interoperabilidad, pero su limitante es que sólo opera en el ámbito de los datos.

Zborovskiy [15] se enfoca especialmente en la interoperabilidad entre datos espaciales. En este trabajo se toma el lenguaje M propuesto por Brock [14] y se reduce su dominio al de los datos espaciales. La propuesta resultante presenta falencias, como el soporte al descubrimiento y conexión automática a fuentes de datos espaciales y la ausencia de

modelos matemáticos para el análisis de los datos, entre otros.

Wenjue et al. [16] presentan un método de interoperabilidad e integración de Servicios SIG distribuidos usando cadenas basadas en la tecnología de Servicios Web. Su estrategia para posibilitar la interoperabilidad es envolver todos los datos geo-espaciales —y las funciones de procesamiento de estos datos— en servicios *web* compatibles con los estándares SOAP, WSDL y UDDI, para finalmente poder realizar la composición entre servicios interoperables.

Entre los sistemas de información geográfica, Google Earth representa los datos geográficos en el formato *Keyhole Markup Language* (KML), que es un lenguaje de marcas basado en XML para representar datos geográficos en tres dimensiones. Su gramática contiene muchas similitudes con la de GML del OGC [8]. El *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) desarrolla y comercializa la suite de herramientas ArcGIS, entre otros productos. La popularidad de estas herramientas viene causando la generalización de sus formatos de almacenamiento de datos espaciales en el campo de los sistemas de información geográfica [6].

3. CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio se hizo con dos sistemas de información geográfica especializados en el procesamiento de información hidroclimática. El sistema A es HidroSIG Java, un SIG desarrollado por la Escuela de Geociencias y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Colombia [17]. El sistema B es *MapWindow GIS*, implementado en el *Framework .NET* por desarrolladores de la Escuela de Geociencias y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Colombia.

En el proceso de ejemplificación del caso de estudio se detalla un ejercicio entre objetos vectoriales y se generalizan las operaciones a realizar entre objetos vectoriales a partir del ejemplo. El

objetivo del ejercicio es complementar la capa de división política de la zona de estudio del proyecto AGUAS, que está en el Sistema B, con los municipios faltantes que sí están en la capa de división política de la zona de estudio del mismo proyecto en el Sistema A. Para simplificar la ejemplificación, se consideró que todos los mapas se obtuvieron a partir de un Elipsoide WGS84 [18]. Los pasos a seguir son:

- a) Obtener, en cada Sistema de Información, la capa de división política de la zona de estudio del proyecto AGUAS. En la tabla 1 se muestran los parámetros de consulta y los resultados obtenidos en cada sistema. En la tabla 2 se muestra la división política con sistema de coordenadas geográficas recuperadas del sistema A y en la figura 1 sus atributos. Asimismo, en la tabla 3 se muestra la división política de municipios con sistema de coordenadas proyectadas del sistema B, y en la figura 2 sus atributos.
- b) Llevar las dos capas vectoriales involucradas en la operación a una misma proyección para comparar las geometrías. En la ejemplificación, al usuario se le dieron varias opciones para llevar a cabo esta tarea: i) Llevar todos los mapas al sistema de coordenadas geográficas, ii) Llevar todos los mapas al sistema de coordenadas proyectadas y iii) Llevar todos los mapas a otro sistema de coordenadas. Para esta operación se eligió la segunda opción.
- c) Asociar el campo identificador de los polígonos en cada fuente, para poder hacer comparaciones entre los atributos de cada polígono y realizar cruces de información. Al usuario se le brindó la lista de atributos de cada capa de donde seleccionó el identificador en cada caso, así: para la capa obtenida del Sistema A (*División Política*) el campo identificador se llama *Identificador* y para la capa obtenida del Sistema B (Municipios) es *Shape_ID*.
- d) Realizar correspondencia entre tablas de atri-

butos para cruzar información coherente. Se le mostró al usuario la lista de atributos de ambas capas, de donde realizó un apareamiento entre los diferentes campos como se muestra en la tabla 4. Cabe destacar que el número de atributos no tiene que ser el mismo, precisamente como sucedió en esta ejemplificación.

- e) Identificar geometrías en común. En este paso se hace una comparación punto a punto entre las dos capas de vectoriales. Al usuario se le dio la opción de elegir la distancia mínima entre dos puntos, que se puede considerar despreciable, y el usuario eligió una distancia despreciable 10 metros. Luego, se realizó la comparación uno a uno entre los puntos de cada polígono determinando la correspondencia entre ellos como se muestra en la tabla 5 y dando como opciones de mezclado: i) pasar los polígonos faltantes de la capa municipio del sistema B a la capa división política del sistema A, ii) pasar los polígonos faltantes de la capa división política a la capa municipio y iii) mezclar las capas. En este caso, se eligió la opción 2. Como la capa municipios tiene un campo más que la capa división política, el sistema le solicitó al usuario ingresar el valor de este campo para cada polígono migrado. En esta ejemplificación sólo hay un campo adicional, OBJECTID, al cual se le da como valor el número 5.
- f) Finalmente se realiza la mezcla, migrando el polígono con *Identificador 5* de la capa división política a la capa municipios. La nueva tabla queda como se indica en la tabla 6 y el nuevo *shapefile* como se muestra en la figura 3.

Teniendo en cuenta que el principal objetivo de un sistema de información geográfica es resolver problemas complejos de planificación y gestión, la información asociada a los objetos geográficos se debe poder cruzar para realizar las inferencias

deseadas. Así, por ejemplo, el SIG se puede usar para identificar las estaciones de medición de caudal y precipitación (geometría de puntos) que están en torno a 4 metros del cauce principal de un río (geometría de líneas) que se represa con el fin de alimentar un embalse (geometría de polígonos) y que tiene un alto nivel de contaminación (datos almacenados en la tabla de atributos). Para llevar a cabo estas consultas es necesario tener definidas las operaciones que las posibilitan.

A partir de la ejemplificación ilustrada se concluye que las operaciones básicas para realizar en el proceso de interoperabilidad entre dos SIG son: 1) recuperar los datos a operar en cada uno de los sistemas involucrados, 2) igualar sistemas de coordenadas de las capas vectoriales a operar, 3) hallar el campo que identifica las geometrías en cada fuente de datos, 4) establecer correspondencias entre tablas de atributos, 5) identificar geometrías equivalentes y 6) mezclar geometrías de capas ya existentes para construir una nueva capa vectorial. Además, se identificó que una de las operaciones críticas es la primera, en donde es necesario hacer análisis de metadatos y de lenguaje natural escrito para realizar correspondencias. Partiendo del ejercicio realizado entre información en formatos vectoriales, se generalizan algunas operaciones que seguramente también harán parte de los ejercicios entre información en formatos *Raster*, entre *Raster* y *Vectorial* y entre información referenciada que tiene asociadas series de tiempo: 1) recuperar los datos a operar en cada uno de los sistemas involucrados y 2) igualar sistemas de coordenadas de las capas a operar.

La ejemplificación se puede extender, en general, a todos los SIG. Esto es posible, ya que las características extraídas hacen parte de la razón de ser y el valor agregado de estos sistemas: el procesamiento de la información geo-referenciada que ocupa un lugar en el espacio. Así, las operaciones básicas definidas tienen pertinencia no sólo en

los SIG usados en los casos de estudio, sino en los demás. Dos ejemplos de ello son: ArcGIS, que agrupa varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. ArcGIS se distribuye comercialmente bajo tres niveles de licencias que son, en orden creciente de funcionalidades: *ArcView*, *ArcEditor* y *ArcInfo*. En la figura 4 se muestra la capa vectorial de la zona de estudio del proyecto AGUAS visualizada en ArcGIS. El segundo SIG, GeoDa es un paquete de *software* libre que posibilita el análisis de datos espaciales, su geovisualización, autocorrelación y modelado espacial. En la figura 5 se muestra la capa vectorial de la zona de estudio del proyecto AGUAS, visualizada en GeoDa.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este artículo se obtuvo una clasificación de las operaciones básicas entre objetos vectoriales que se consideran en el proceso de interoperabilidad entre dos SIG. Además, se infirió una generalización a los formatos *Raster* y a la información

con series de tiempo asociadas. En el futuro, sería interesante corroborar esta inferencia con la ejemplificación de ejercicios entre objetos *Raster*, objetos *Raster versus* objetos vectoriales y con series de tiempo asociadas.

A partir del caso de estudio realizado y de los resultados obtenidos, se plantea una propuesta de método de interoperabilidad con base en las características subyacentes extraídas. Para ello, es necesario centrarse principalmente en la ambigüedad que existe al realizar las consultas y el cruce de la información que, hasta el momento, depende de las capacidades del usuario. Para solucionar este problema se propone el uso de una ontología como parte del método de interoperabilidad. Ontologías muy exhaustivas se desarrollaron en áreas relacionadas con el uso de los SIG, como por ejemplo la *Ontología de Hidrología*, [19, 20], y las ontologías SWEET (*Semantic Web for Earth and Environmental Terminology*) llevadas a cabo por el Laboratorio de Propulsión a Chorro de la NASA. Es necesario evaluar las ontologías disponibles, para determinar si aplican a este problema o si, por el contrario, es recomendable hacer una definición propia de la ontología.

Tabla 1. Consultas y resultados de los sistemas A y B.

<i>Parámetros de búsqueda</i>	<i>Resultado</i>
Sistema A: Proyecto: AGUAS Palabras clave: división política, zona de estudio	Sistema A: Recuperó sólo un resultado: <i>Vectorial División Política</i> con sistema de coordenadas geográficas (Lat-Long) (Fell y Tanenbaum, 2001). En la tabla 2 se muestra la división política recuperada y en la figura 1 los atributos.
Sistema B: Proyecto: AGUAS Palabras clave: división política, zona de estudio	Sistema B: Recuperó sólo un resultado: <i>Vectorial Municipios</i> con sistema de coordenadas proyectadas (Transversa de Mercator con falso origen Bogotá) (Fell y Tanenbaum, 2001). En la tabla 3 se muestra la división política recuperada y en la figura 2 los atributos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Atributos de los polígonos de la capa de división política de la zona de estudio del proyecto AGUAS obtenida desde HydroSIG Java.

<i>Identificador</i>	<i>DANE_Mpio</i>	<i>Municipio</i>	<i>Shape_Area</i>	<i>Shape_Leng</i>
0	D1	C	32505794.4	27477.6541
1	D2	D	607648803	221198.79
2	D3	E	244772642	100152963
3	D4	F	544290623	137571.227
4	D5	G	70575576.7	39680.2152
5	D6	H	5986451.5	98652.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Atributos de los polígonos de la capa de división política de la zona de estudio del proyecto AGUAS obtenida desde MapWindow.

<i>Shape_id</i>	<i>DANE_Mpio</i>	<i>Municipio</i>	<i>Objectid</i>	<i>Shape_area</i>	<i>Shape_leng</i>
0	D1	C	1	32505794.4	27477.6541
1	D2	D	2	607648803	221198.79
2	D3	E	3	244772642	100152963
3	D4	F	4	544290623	137571.227
4	D5	G	5	70575576.7	39680.2152

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Apareamiento entre tablas de atributos.

<i>División Política</i>	<i>Municipios</i>
Identificador ← → Shape_ID	
DANE_MPIO ← → DANE_MPIO	
MUNICIPIO ← → MUNICIPIO	
Shape_Area ← → ObjectID	
Shape_Leng ← → Shape_Area	
	Shape_Leng

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Apareamiento entre polígonos.

<i>Identificador</i>	<i>Shape_ID</i>
0 ← → 0	
1 ← → 1	
2 ← → 2	
3 ← → 3	
4 ← → 4	
5	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Unión de los polígonos de la capa Municipios con los que hay en la capa División.

<i>Identificador</i>	<i>DANE_Mpio</i>	<i>Municipio</i>	<i>ObjectId</i>	<i>Shape_Area</i>	<i>Shape_Leng</i>
0	D1	C	1	32505794.4	27477.6541
1	D2	D	2	607648803	221198.79
2	D3	E	3	244772642	100152963
3	D4	F	4	544290623	137571.227
4	D5	G	5	70575576.7	39680.2152
5	D6	H	6	5986451.5	98652.2

Fuente: Elaboración propia

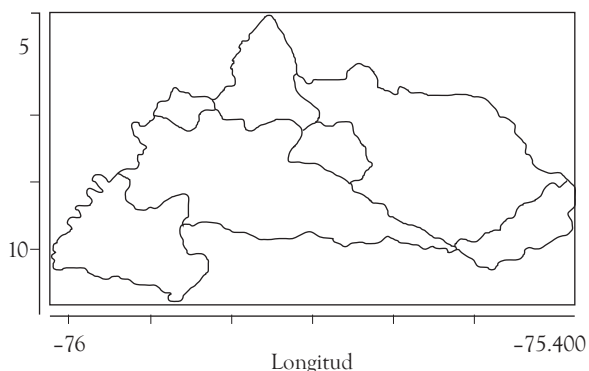


Figura 1. Capa de división política de la zona de estudio del proyecto AGUAS obtenida desde HydroSIG Java.

Fuente: elaboración propia

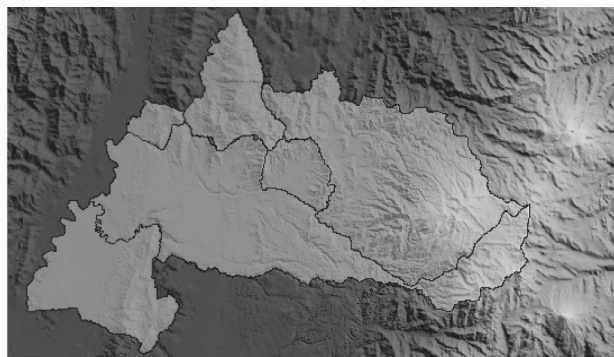


Figura 3. Unión de los polígonos de la capa Municipios con los que hay en la capa División Política.

Fuente: elaboración propia

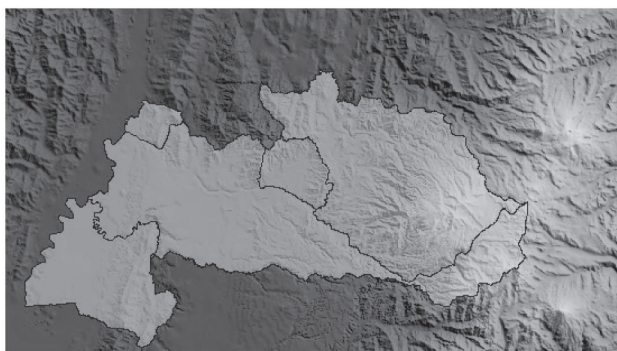


Figura 2. Capa de división política de la zona de estudio del proyecto AGUAS obtenida desde MapWindow.

Fuente: elaboración propia

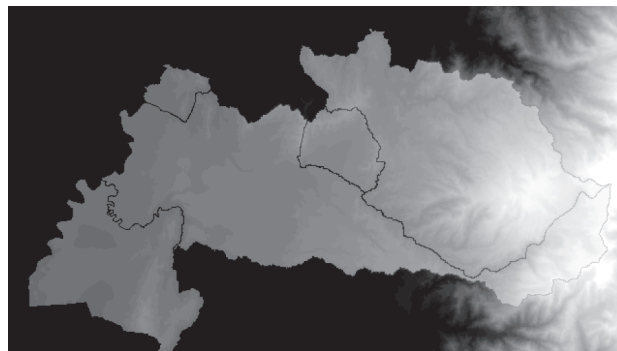


Figura 4. Capa vectorial sobre la capa raster de la zona de estudio del proyecto aguas visualizado en ArcGIS.

Fuente: elaboración propia

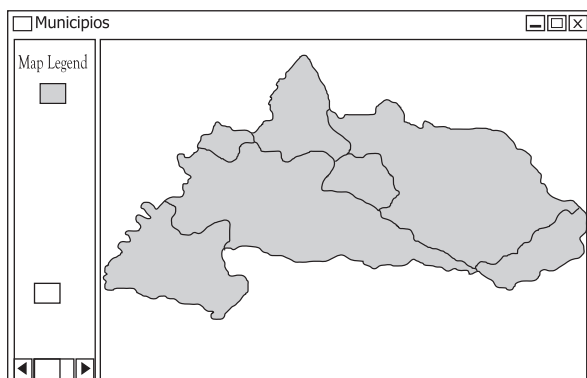


Figura 5. Capa vectorial de la zona de estudio del proyecto aguas visualizado en GeoDa.

Fuente: elaboración propia

REFERENCIAS

- [1] S. Zhang, J. Gan, L. Miao *et al.*, "Study on GML Spatial Interoperability based on Web Service," *31ra Annual Intl. Computer Software and Applications Conf*, vol. 1, pp. 649-656, 2007.
- [2] K. McDonald, Y. Enloe, D. Liping *et al.*, "A Gateway to Support Interoperability of OPeNDAP and OGC Protocols," in 2006 IEEE Intl. Conf. on Geoscience and Remote Sensing Symposium, Denver, 2006, pp. 301-304.
- [3] P. Young, N. Chaki, V. Berzins *et al.*, "Evaluation of Middleware Architectures in Achieving System Interoperability," in Intl. Workshop on Rapid Systems Prototyping, San Diego, 2003, pp. 108-116.
- [4] P. Bolstad, *A first text on Geographic Information Systems: White Bear Lake, MN: Eider Press*, 2005.
- [5] P. Burrough, and R. McDonnell, *Principles of geographical information systems.*, Oxford: Oxford University Press, 1998.
- [6] Y. Sun, P. Zhou, P. Yang *et al.*, "Establishment of special city GIS based on ArcObjects," in 2003 IEEE Intl. Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toulouse, 2003, pp. 3733-3735.
- [7] A. Aburizaiza, and D. Ames, "GIS-Enabled desktop Software Development Paradigms," in Conf. on Advanced Geographic Information Systems & Web Services, Cancún, 2009, pp. 75-79.
- [8] k. Honda, N. Duy, and H. Shimamura, "Linking OGC Web Services to Google Earth," in SICE-ICASE, 2006. Intl. Joint Conf, Bexco, 2006, pp. 4836-4839.
- [9] V. Lobanov, and V. Usachev, "Method of flood mapping and its applications for climate change, computations and GIS," in IEEE 1999 Intl. Geoscience and Remote Sensing Symposium, Piscataway, NJ, 1999, pp. 188-190.
- [10] L. Hung, and O. Batelaan, "Environmental Geological Remote Sensing and GIS Analysis of Tropical Karst Areas in Vietnam," in Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toulouse, 2003, pp. 2964-2966.
- [11] G. Lewis, E. Morris, S. Simanta *et al.*, "Why Standards Are Not Enough to Guarantee End-to-End Interoperability," in 7ma Intl. Conf. on Composition-Based Software Systems, Madrid, 2008, pp. 164-173.
- [12] S. Yi, Q. Li, and J. Cheng, "An interoperability GIS model based on the spatial information infrastructure," in The Proceedings of Geoinformatics'99 Conference, 19-21 June, Ann Arbor, 1999.
- [13] D. Brock, E. Schuster, S. Allen *et al.*, "An Introduction to semantic modeling for logistical Systems," *Journal of Business Logistics*, vol. 26 No 2, pp. 97-117, 2004.
- [14] D. Brock, E. Schuster, and T. Kuts, *An overview of the M Language*, Cambridge: The MIT Data Center, 2006.
- [15] M. Zborovskiy, "Representing and Manipulating Spatial Data in Interoperable Systems and its Industrial Applications," Tesis de Maestría, Massachusetts Institute of Technology, 2006.
- [16] Wenjue, J, G. Jianya *et al.*, "GIS integration and interoperability based on GIS service chain," in IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toronto, 2005, pp. 4962-4965.
- [17] G. Poveda, O. Mesa, J. Vélez *et al.*, "An Interactive Digital Atlas of Colombia's Hydro-climatology," *Journal of Hydroinformatics*, vol. 9 no. 2, pp. 145-156, 2007.
- [18] F. Fell, and M. Tanenbaum, "Preliminary comparisons of the WGS84(EGM96) Geoid with National Vertical Datums," in OCEANS, 2001, MTS/IEEE Conference and Exhibition, Honolulu, 2001, pp. 571-574.
- [19] C. Sánchez, C. Gladstone, and D. Holland, "Classification of urban features from Intergraph's Z/I Imaging DMC high resolution images for integration into a change detection flowline within Ordnance Survey," in Urban Remote Sensing Joint Event, Paris, 2007, pp. 1-8.
- [20] R. Drayton, and S. King, "An Evaluation Of The Ordnance Survey Digital Terrain Model," in Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1988, pp. 933-933.