

Modelo conceptual para la información edafológica. Estudio de caso: mapa nacional de suelos

Conceptual model for edaphological information. Case study: soil national map

Carlos Balmaseda¹ y Daniel Ponce de León¹

RESUMEN. Se creó el modelo conceptual de datos referente a la información edafológica, basado en estándares internacionales (normas ISO para la información geográfica y la geomática), a partir de un mapa vectorial de suelos. El modelo propuesto permitirá un cambio en la concepción de las bases de datos de suelos, al considerar de manera efectiva el carácter espacial de este tipo de dato y sienta las bases para la creación de un Sistema Geoespacial interoperable para la información edafológica.

Palabras clave: modelo conceptual, mapa digital de suelos, SIG.

ABSTRACT. The Conceptual Model for Edaphological Information was created, based in international standards (ISO standards for Geographic information/Geomatics), starting from a vector soil map. The proposed model will allow a change in the design of soil databases, when considering in an effective way the spatial components of this kind of data. It prepares the basis for the creation of an interoperable Geospatial System for Edaphological Information.

Keywords: conceptual model, digital soil map, GIS.

INTRODUCCIÓN

En el mundo hay gran cantidad de información de levantamientos de suelos que no se utiliza y a veces se desconoce o se ha olvidado su existencia. Esos estudios constituyen el legado de las ciencias del suelo, por ello se necesitan esfuerzos para su localización y catalogación (arqueología de datos), preservación (rescate de datos) y conversión a formatos de Sistemas de Información Geográfica (renovación de datos) de manera que no desaparezca (Rossiter, 2006).

El desarrollo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) en las ciencias geográficas, particularmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG), han devenido en un factor de impulso a la consideración de la componente espacial en los procesos de toma de decisiones, pero a su vez han provocado en muchos casos que se use de manera inadecuada (Burrough y McDonnell, 1998). En muchos países el empleo de los SIG ha mejorado considerablemente el uso de mapas de suelos en procesos de toma de decisiones de proyectos

ambientales y agrícolas (Lagacherie, 1997).

A pesar del desarrollo actual de las tecnologías de la información, en Cuba, muchos datos aún se encuentran en formato analógico, lo que limita su uso. Por tal razón se impone el desarrollo de procesos de modernización para el almacenamiento y cuidado de toda esa información que pertenece al patrimonio de las Ciencias del Suelo de Cuba.

El estado de conservación, actualización y características de la información edafológica en Cuba con relación a la informatización, no se corresponde con los esfuerzos y costos de su adquisición, a pesar de que los intentos por crear un sistema de información edafológica comenzaron hace más de 30 años (Ortega, 1975). Iniciativa que se abortó sin llegar a concretarse y que hubiese colocado a la edafología cubana en la vanguardia en ese momento.

Las ventajas que se obtienen de la implementación de bases de datos digitales de suelos pueden resumirse según Ponce de León (2003) en:

- Normalización de datos de suelos.

Recibido 12/02/09, aprobado 12/05/10, trabajo 24/10, investigación.

¹ Prof., Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Departamento de Riego, Drenaje y Ciencias del Suelo, Autopista Nacional Km. 23.5, San José de las Lajas, Cuba La Habana. CP: 32700 E-✉: cbalma@isch.edu.cu

- Compatibilidad con otras bases de datos a nivel nacional y mundial, lo que permitirá el intercambio de información.
- Sistema dinámico de información y monitoreo del recurso suelo.
- Accesibilidad de un grupo amplio de usuarios.
- Modelo para la transferencia de tecnología.

Otras ventajas se añaden cuando se incorpora la tecnología SIG, para el tratamiento de la información cartográfica, tales como la cartografía automática y los análisis espaciales, entre otras.

El objetivo de este trabajo es describir la forma en que se ha formulado el Modelo Conceptual de datos referente a la Información Edafológica de Cuba (MCIE), su creación se basa en la familia de estándares ISO 19100 y la ontología de un mapa vectorial de suelos. El modelo está orientado al establecimiento de las bases para un Sistema Geoespacial de Información Edafológica y a la inserción de esta información en Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE).

Antecedentes

Un modelo no es más que una representación de objetos o fenómenos que existen en el mundo real, o sea, descripción del dominio bajo estudio, independientemente de cualquier sistema computarizado o forma de representación (ISO 19103, 2001). El mejor modelo es aquel que brinda de una manera simple, la información correcta y consistente del comportamiento de los fenómenos que interesan de la realidad, caracterizados por variables temáticas (Aronoff, 1989).

Guerrero (2002) plantea que “Un modelo conceptual explica los conceptos más significativos en un dominio del problema, identificando los atributos y las asociaciones, representa cosas del mundo real, no componentes del software”. El modelo conceptual es una herramienta de comunicación, con la cual se intenta comprender los conceptos importantes y sus relaciones. Es también útil para transmitir este conocimiento a otros, por esa razón es ampliamente usado en la concepción de diversos tipos de proyectos relacionados con las ciencias de la tierra y el espacio (Robbi, 2001; Afanador y Castro, 2006; Alzate y Valero, 2006; Balceros *et al.*, 2006; Barri and Smettem, 2006; Mulahusić *et al.*, 2007; Rocha *et al.*, 2007).

La falta de un modelo conceptual trae consigo problemas de interoperabilidad y heterogeneidad. En las bases de datos de suelos creadas en Cuba, hasta hoy, es común encontrar dos tipos de heterogeneidad: sintáctica y semántica. Por definición, la primera es causada por los diferentes modelos lógicos usados, mientras la segunda, se refiere a las diferencias en la conceptualización de datos geográficos en relación con su complejidad (Kavouras y Kokla, 2000).

La interoperabilidad en la cartografía está dirigida a desarrollar mecanismos para resolver cualquier incompatibilidad y heterogeneidad que exista entre fuentes de información (Kavouras y Kokla, 2000), o sea, está relacionada con la posibilidad de emplear conjuntamente dos bases de datos procedentes de productores distintos, esta posibilidad puede verse limitada por: los modelos de datos, la semántica de las aplicaciones y los aspectos posicionales (Ariza, 2005).

Modelo implícito de la información edafológica

Los estudios de suelos con fines cartográficos generan un volumen de información que es prácticamente imposible de analizar sin la ayuda de sistemas computarizados, por esa razón, en Cuba, se han diseñado herramientas -los conocidos **Suelo25**, **Perfil25** y **SICCA**- que permiten el manejo de datos de perfiles de suelos y ayudan en el proceso de Toma de Decisiones. Todo este sistema de almacenamiento de la información edafológica ha sido diseñado con tecnología convencional de procesamiento de datos relacionales, es decir, orientada a textos y números en forma de tablas, donde las filas corresponden a los perfiles de suelos y las columnas a sus atributos, por lo que no responde a los requerimientos actuales de las Ciencias de la Tierra. Los cuales exigen, además, el análisis de la componente espacial en la toma las decisiones.

La necesidad de información espacial es suplida por las hojas cartográficas en papel de los mapas publicados. Sin embargo, entre esos mapas y las bases de datos no hay interacción alguna.

El proceso de llevar a formato digital la información edafológica ha carecido de un diseño, o sea, no se ha realizado un análisis previo de la información para definir, conceptualmente, las relaciones entre los diversos elementos que la integran. Según Bosque Sendra (1992), este debe ser el primer paso a la hora de diseñar una base de datos espacial.

Garea (2003) presentó un esquema metodológico para la implementación y funcionamiento de un Sistema de Información de Suelos. En él se muestra el diseño de las bases de datos espaciales y de atributos así como su contenido, donde considera las particularidades de la distribución de los suelos en condiciones de montaña.

En la literatura edafológica cubana no ha sido formalizado un modelo que explique el flujo de información en los componentes fundamentales del objeto suelo, pero su concepción está implícita en los productos más representativos de la cartografía tradicional, como por ejemplo el Mapa Básico de Suelos a escala 1:250000 (Instituto de Suelos, 1974) o el Mapa Nacional de Suelos a escala 1:25000 (Paneque *et al.*, 1991). Estos componentes son: hoja cartográfica, unidad cartográfica de suelo (UCS), perfil y horizonte de suelo.

Estándares para creación de modelos conceptuales

Los dominios geográficos dentro de la serie ISO 19100 han sido desarrollados como modelos conceptuales. El lenguaje del modelo conceptual puede ser empleado para modelar tanto software como hardware, por lo que puede ser usado en ambos modelos, el de dominio (modelado de información) y el de sistema (modelado de servicio).

En la creación de modelos conceptuales es necesario, entre otros, el empleo de los siguientes estándares de la serie ISO 19100:

- ISO 19103 (2001): “Lenguaje de esquema conceptual para la Información geográfica”. Cuyo propósito es brindar una base para el desarrollo acelerado de esquemas conceptuales, así como proponer las fases para la elaboración y validación

de modelos conceptuales.

- ISO 19107 (2001): “Esquema Espacial”. Especifica los esquemas conceptuales para describir las características espaciales de los objetos geográficos, y un conjunto de operaciones consistentes con esos esquemas.
- ISO 19109 (2001): “Reglas para la aplicación del esquema”. Propone las reglas para la confección de esquemas de aplicación, lo cual incrementará la habilidad para compartir datos entre proyectos y permite la interacción en tiempo real entre aplicaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Metodología para el diseño del Modelo Conceptual para la Información Edafológica

El Modelo Conceptual para la Información Edafológica se elaboró de acuerdo a las especificaciones de las normas: Lenguaje del Esquema Conceptual (ISO 19103, 2001), Reglas para la aplicación del Esquema Conceptual (ISO 19109, 2001) y Esquema Espacial (ISO 107, 2001), expresado mediante un diagrama de clases como estructura estática del lenguaje unificado de modelación (UML, *Unified Modeling Language*).

En el modelo de datos propuesto se selecciona el mapa a hoja cartográfica como elemento básico, es decir, la Unidad Mínima para el manejo de los datos y metadatos en la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE). Este puede tener cualquier escala, aunque el trabajo realizado va dirigido, fundamentalmente, al Mapa Nacional de Suelos a escala 1:25000.

Un punto esencial para esta decisión es que los rasgos característicos pueden ser proporcionados por cada Unidad Cartográfica de Suelos (polígono) o por los perfiles asociados, ejemplos de ello son: clasificación del suelo, textura, pedregosidad, rocosidad, pendiente, profundidad, etc., los cuales pueden ser precisa y completamente definidos en ese nivel.

La formulación del Modelo Conceptual para la Información Edafológica (MCIE) se alcanza después de elaborar el Modelo de Integración. Las etapas de trabajo fueron las siguientes:

1. Creación del modelo de integración representando el esquema de aplicación para la Información Edafológica.
2. Formulación del MCIE, referida al Mapa Nacional de Suelos a escala 1:25000.

Creación del Modelo de Integración

El primer paso en la creación de un Modelo Conceptual es la elaboración de un modelo de integración (ISO 19109, 2001). En este modelo se muestran en forma de paquetes los diferentes esquemas que conforman el proyecto. En cada esquema se señalan los elementos que intervienen.

En la figura 1 se muestra el modelo de integración con todos sus componentes. En el nivel superior se halla el Esquema de Aplicación de la Información Edafológica (con el ejemplo del Mapa Nacional de Suelos a escala 1:25000), el cual a su vez se dividió en los tres esquemas siguientes: Espacial, de Metadatos y de Calidad.

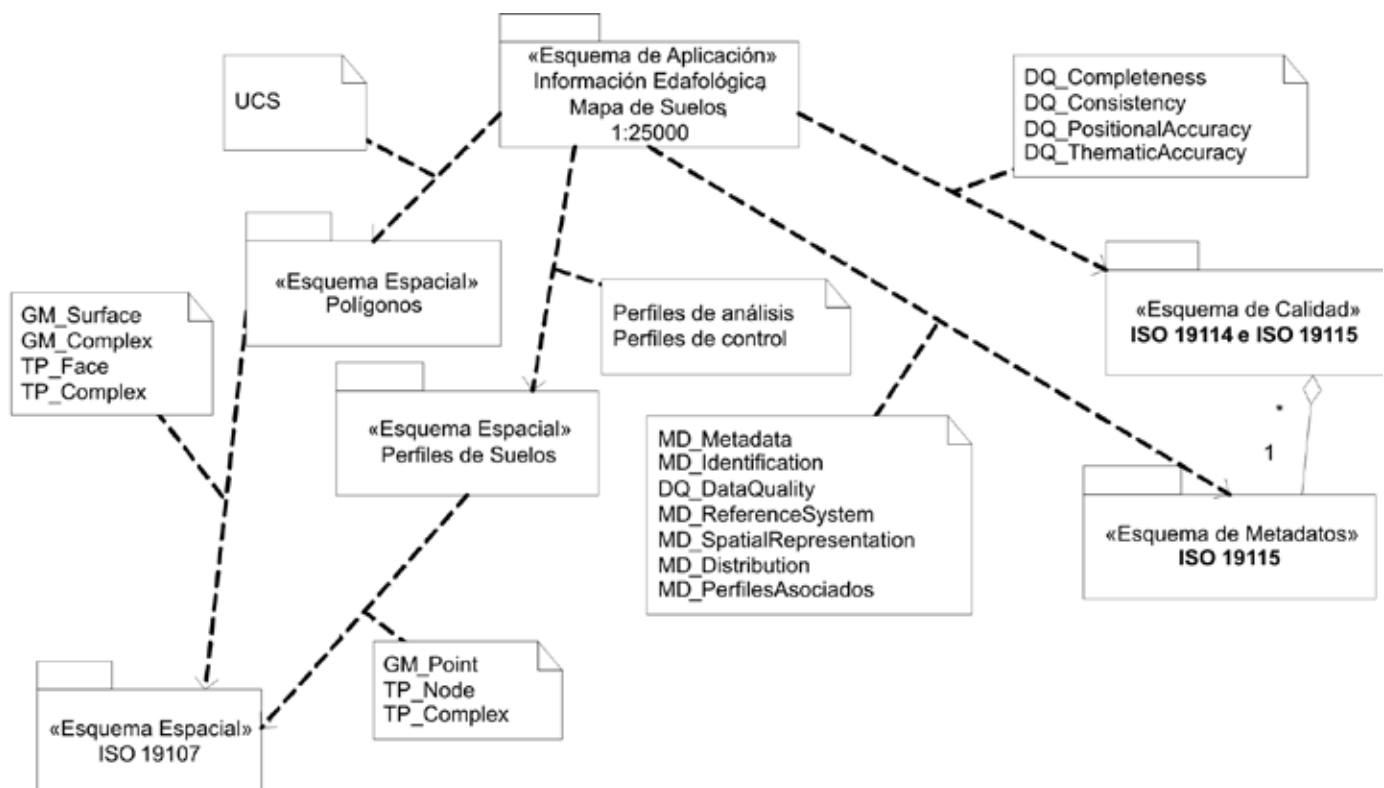


FIGURA 1. Modelo de integración representando el esquema de aplicación del Modelo Conceptual de la Información Edafológica.

Esquema Espacial

Los objetos espaciales de un mapa de suelos son los polígonos y los perfiles. Ambos tipos de objetos tributan al dominio espacial.

El Esquema Espacial está compuesto por los esquemas: de Polígonos y de Perfiles. El primero comprende las UCS. La realización geométrica de las UCS se hace con el uso de superficies simples y complejas, denominadas *GM_Surface* y *GM_Complex*. Las primitivas topológicas que los representan son *TP_Face* y *TP_Complex* (ISO 19107, 2001). El segundo esquema se refiere a los Perfiles de Suelos de forma genérica, los cuales pueden estar divididos en: Perfiles de análisis y Perfiles de control. Cada tipo debe constituir una capa en el Sistema de Información, la realización geométrica de ambas capas es la misma, o sea, son puntos (*GM_Point*) y la topología puede representarse por dos primitivas *TP_Node* y *TP_Complex* (ISO 19107, 2001).

Esquema de Metadatos

El Esquema de Metadatos propone la documentación de la información a nivel de hoja cartográfica o mapa, empleando el Perfil de Metadatos para la Información Edafológica obtenido del estándar ISO 19115 (2003). A ese mismo nivel se determina la calidad del producto.

Esquema de Calidad

La calidad de la información está incluida en los metadatos de la misma, de ahí la relación de agregación que aparece con el Esquema de Metadatos (Figura 1). Sin embargo, por su importancia en la toma de decisiones ha sido separada en el modelo de integración.

Formulación del Modelo Conceptual para la Información Edafológica

Con el modelo de integración se creó el Modelo Conceptual para la Información Edafológica. La validación del modelo se realizó a partir del análisis y verificación de las fases propuestas en ISO 19103 (2001) para modelar de información geográfica: Identificar alcance y contexto, Identificar las clases básicas, Especificar relaciones, atributos y operaciones, Complementación de restricciones y Armonización de la definición del modelo con submodelos.

La definición de las clases se hizo según los aspectos señalados en ISO 19109 (2001): (i) las definiciones o descripciones usadas para agruparlas en tipos, (ii) los atributos asociados a cada tipo, (iii) las relaciones entre tipos, (iv) el comportamiento de las clases.

Las clases, relaciones y atributos necesarios sirvieron de referencia para preparar el modelo de integración y posteriormente el modelo conceptual para mapas de suelos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelo Conceptual para la Información Edafológica (MCIE)

El MCIE (Figura 2, bordeado por líneas de puntos) se obtuvo tomando como base el modelo de integración basado en estándares ISO (Figura 1) y el conocimiento que se posee *a priori* de los datos. Este modelo es adaptable a cualquier mapa de suelos.

La base del MCIE fue la hoja cartográfica de suelos, constituye una superclase, que posee un conjunto de atributos como se puede apreciar en la Figura 2. Considerando la magnitud del modelo y dada la importancia y complejidad de algunos de sus elementos, por ejemplo los metadatos y la calidad, que pueden ser tratados de forma independiente, ambos se integran como modelos complementarios.

La descripción de los modelos se realizó a partir de las siguientes fases (ISO 19103, 2001):

Fase 0. Identificación del Alcance y contexto

El alcance del MCIE está dado por el Mapa Nacional de Suelos a escala 1:25000, aunque puede adecuarse a otros productos cartográficos edafológicos. Este mapa se ajusta al modelo vectorial de representación del espacio geográfico (Burrough y McDonnell, 1998), bajo esta concepción se digitaliza y maneja en los SIG, asociándole los datos que caracterizan a las UCS. Por otra parte, se han desarrollado bases de datos de perfiles, sin una relación funcional con las unidades cartográficas que los contiene. En este contexto es necesario el desarrollo de un Sistema Geoespacial de Información de Suelos que considere a la UCS como elemento principal que sintetiza y agrupa a los demás componentes de la información edafológica.

Fase 1. Identificación de las Clases básicas

Considerando los esquemas del modelo de integración, se definieron los objetos geográficos que constituyen las clases básicas del MCIE, a partir del Mapa Nacional de Suelos a escala 1:25000.

La Hoja Cartográfica de Suelos (HCS), es una superclase que agrupa las UCS. Estas últimas, contienen a los perfiles de suelos, los cuales a su vez están conformados por horizontes. En un mapa de suelos existen tres clases bien definidas: UCS, perfiles y horizontes (Figura 2). La unidad cartográfica es el elemento esencial en la estructura de información del referente del mundo real, al delimitar un espacio geográfico definido de suelo como componente principal de la parte superficial de la litosfera.

En el modelo se pueden apreciar los atributos que posee cada una de las clases básicas identificadas. Siguiendo el mismo se puede diseñar e implementar la base de datos no gráfica referida al mapa digital. Para los atributos temáticos se proponen listas de códigos, del tipo enumeración, con los dominios de cada variable. Esto facilita la entrada de datos y es una manera de disminuir los errores del tipo semántico en la base de datos.

Un mapa digital de suelo estructurado de esta forma permite búsquedas y análisis antes imposibles, dada la relación entre las bases de datos gráficas y de atributos.

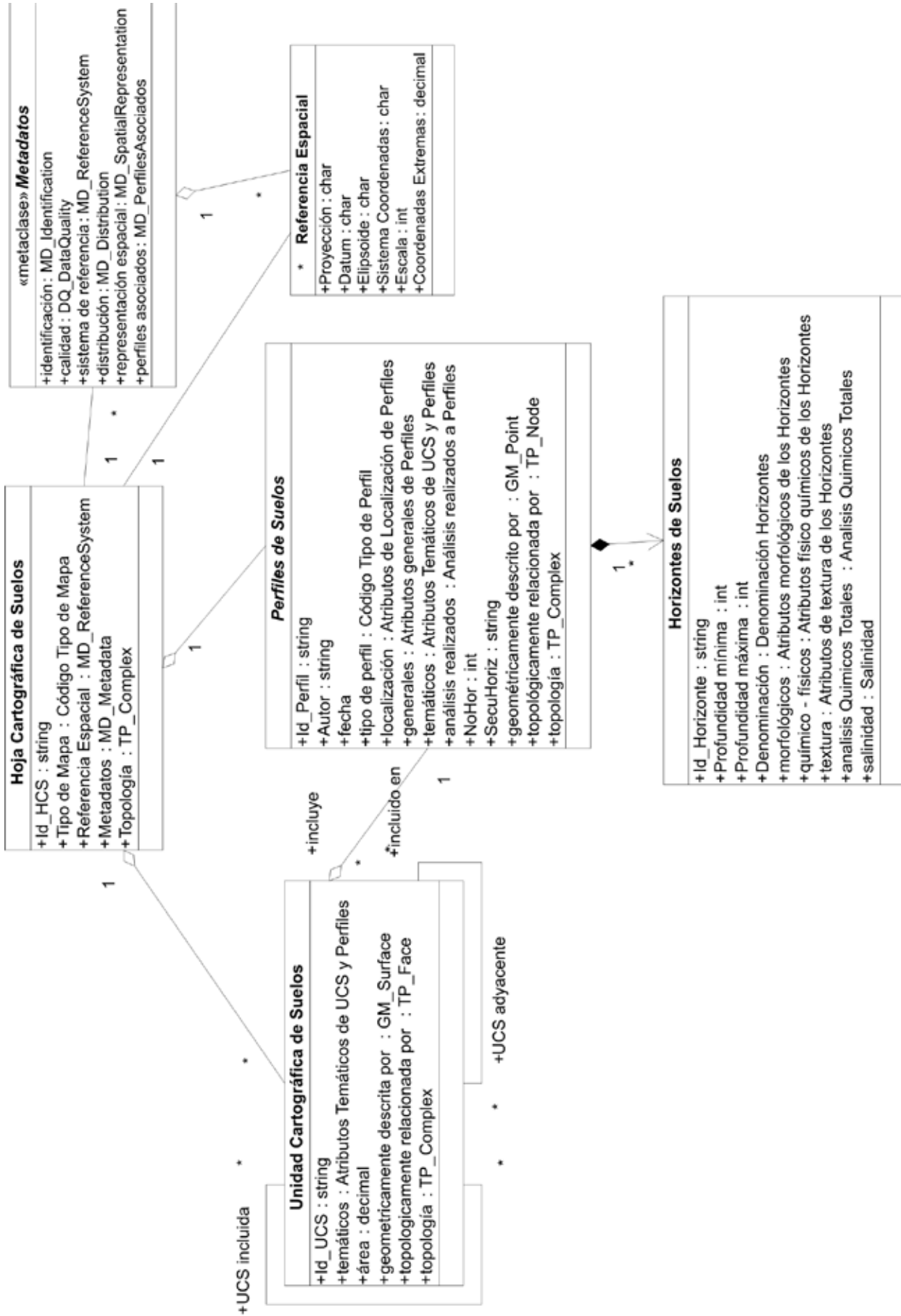


FIGURA 2. Modelo Conceptual para la Información Edafológica, referida al Mapa Nacional de Suelos a escala 1:25000, en él se pueden apreciar las clases y sus relaciones.

Fase 1b: Consistencia de las reglas para el esquema de aplicación

En la Figura 2 se pueden apreciar aplicaciones del Esquema Espacial, por ejemplo, al declarar que las clases UCS y Perfiles de suelos son descritas por los objetos geométricos *GM_Surface* y *GM_Point*. Las relaciones topológicas también pueden ser observadas en esa figura.

Definiciones dadas en el Esquema de Metadatos son usadas como atributos de la metaclase Hoja Cartográfica de Suelos, un ejemplo es el Sistema de Referencia empleado.

Los elementos y subelementos de calidad de los datos, definidos en las normas ISO 19113 e ISO 19114, constituyen subtipos de *DQ_Element* propuesto en ISO 19115. Por tanto la calidad de los datos se convierte en un metadato y es un atributo de la información.

El modelo propuesto tiene la granularidad del mundo real que representa, tanto semántica como espacial. Abarca los tres elementos fundamentales de un mapa de suelos: las UCS, los perfiles y los horizontes de suelos.

Fase 2: Especificar relaciones, atributos y operaciones

La HCS tiene una relación de agregación con las UCS y los perfiles, o sea, ambas clases están contenidas en la primera. Este mismo tipo de relación puede existir entre las UCS y los perfiles como se manifiesta en la Figura 2.

Una relación diferente y más fuerte existe entre las clases que representan a los perfiles y los horizontes, ésta es de composición, de manera que si los primeros desaparecen también lo harían los horizontes, cuestión totalmente lógica si se considera lo que cada clase representa.

Las relaciones espaciales entre las clases son demostradas en el modelo (figura 2), representadas por el atributo topología, son: (1) Perfiles de suelo-UCS; (2) UCS-UCS.

Fase 3: Complementación de restricciones

Las restricciones que se analizaron en el modelo conceptual están referidas al dominio de valores de los atributos, las cuales son ubicadas según Carpani (2000) en las restricciones

Intra-Nivel. Producto de que para cada atributo se definió el tipo de dato y su dominio de valores, se considera que todas las restricciones se tuvieron en cuenta.

Fase 4: Armonización de la definición del modelo

El modelo creado fue fragmentado en otros que pueden ser tratados en forma paralela e independiente, para facilitar el mejor entendimiento y documentación de las clases, las relaciones entre ellas y los atributos. De esta forma se eliminan las redundancias o conflictos y las ambigüedades.

Integración del Modelo

Con el fin de disminuir la complejidad de las clases del modelo, los atributos se agruparon de la misma manera en que se encuentran en las bases de datos relacionales preparadas para la entrada de datos del Mapa de Suelos a escala 1:25000, como es el caso de **Suelo25**.

CONCLUSIONES

El modelo obtenido proporciona una descripción de los datos, define su estructura y sienta las bases para la conformación de un Sistema Geoespacial de Información Edafológica, haciendo factible aplicar mecanismos automatizados al manejo de la información.

El modelo se fundamentó en la estructura gráfica y semántica del Mapa Nacional de Suelos a escala 1:25000, pero puede ser adaptado a la información edafológica – pedológica de mapas y estudios de suelos realizados en Cuba o en el extranjero para otras escalas.

La integración del modelo conceptual del mapa de suelos con los metadatos, sienta las bases la inserción de información edafológica en la Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba.

Considerando que la Información Edafológica constituye un dato fundamental para diversas ramas de la economía nacional, se deben encaminar esfuerzos para la creación de un Sistema Geoespacial propio, siguiendo el modelo conceptual propuesto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFANADOR, F. y I. F. CASTRO: Utilización de sensores aerotransportados para el mapeo del litoral caribe colombiano. En: **Memorias del XII Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica**, SELPER, Capítulo–Colombia, septiembre 24–29, 2006.
- ALZATE, BEATRIZ ELENA y J. A. VALERO: Diagnóstico de sostenibilidad ambiental a través de indicadores sistémicos espaciales, En: **Memorias del XII Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica**. SELPER, Capítulo Colombia, septiembre 24 – 29, 2006.
- ARIZA, F. J.: Factores determinantes de la calidad de un producto cartográfico. En: **Memorias de la Semana de Geomática 2005**, Bogotá, Colombia, 2005.

- ARONOFF, S.: *Geographic Information Systems: a management perspective*. WDL Publications, Ottawa, 1989.
- BALCEROS, V. M., A. CÁRDENAS, C. A. LEÓN, P. A.: Rincón. Agricultura de precisión para el cultivo de arroz en Colombia: Caso de estudio, municipio de Ambalema (Tolima). En: **Memorias del XII Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica**. SELPER, Capítulo– Colombia, septiembre 24 – 29, 2006.
- BARRI, M. A. and K- R. J.: “Smettem. A conceptual model of daily water balance following partial clearing from forest to pasture”, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 10: 321 – 337, 2006.
- BOSQUE SENDRA, J.: *Sistemas de Información Geográfica*, Rialp, Madrid, 1992.
- BURROUGH, P. A. Y RACHAEL MCDONNELL: *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, Oxford, England, 1998.
- CARPANI, F. CMDM: *Un Modelo Conceptual para la Especificación de Bases Multidimensionales*. Tesis (en opción al título de Master) Instituto de Computación-Facultad de Ingeniería. Pedeciba Informática. Universidad de la República, Uruguay, 2000.
- GAREA, E.: *Perfeccionamiento del manejo de la información de suelos en las Regiones Montañosas de Cuba mediante técnicas digitales*. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Instituto Técnico Militar “José Martí”, La Habana, Cuba, 2003.
- GUERRERO, L. A.: *CC40B - Análisis y Diseño Orientado a Objetos. Modelo conceptual*. [en línea] 2002, Disponible en: <http://www.dcc.uchile.cl/~luguerre/cc40b/clase4.html>. [Consultado el 15 de abril de 2006].
- INSTITUTO DE SUELOS: *Mapa genético de los suelos de Cuba, escala 1:250 000*, Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. La Habana, 1974.
- ISO 19103. *Draft Technical Specification 19103, Geographic information - Conceptual schema language*. ISO/TC 211, 2001.
- ISO 19107. *Geographic information - Spatial schema*. ISO/TC 211, 2001.
- ISO 19109. *Geographic information - Rules for application schema*. ISO/TC 211, 2001.
- ISO 19115. *Geographic information – Metadata*. ISO/TC 211, 2003.
- KAVOURAS, M. Y MARGARITA KOALA: *Ontology-based fusion of Geographic Databases. Spatial Information Management, Experiences and Visions for the 21st Century, International Federation of Surveyors, Commission 3-WG 3.1, Athens, Greece, 4-7 [en línea] October 2000*. Disponible en: <http://ontogeo.ntua.gr/Ontogeo-Publications.htm>. [Consultado el 15 de abril de 2006].
- LAGACHERIE, P.: From soil surveys to Soil Information Systems: The french experience. In: **XXVI Congresso Brasileiro de Ciencia do Solo**, Rio de Janeiro 20 a 26 de julio/1997.
- MULAHUSIĆ, A., T. PODOBNIKAR, N. TUNO: “Topographic information system of Bosnia and Herzegovina – conceptual and logical model”, *Geodetski vesnik*, 51(3): 537 – 548, 2007.
- ORTEGA, F.: “Sobre el mapa de regionalización de los suelos de Cuba”, *Revista de Agricultura*, 8(2): 1-5, 1975.
- PANEQUE, J. ENMA FUENTES, A. MESA y A. EICHEMENDÍA: El Mapa Nacional de Suelos Escala 1:25 000. 1991. En: **Memorias del XI Congreso Latinoamericano y II Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo**. pp. 1345-1347, Villegas D., R y D. Ponce de León (eds.) La Habana, 1993.
- PONCE DE LEÓN, D.: *Las Reservas de carbono orgánico de los suelos minerales de Cuba. Aporte metodológico al cálculo y generalización espacial*. Tesis (en opción del grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas), Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba, 2003.
- ROBBI, CLAUDIA: “Sistema Especialista para geração de mapas temáticos”, *Revista Brasileira de Cartografia*, 53: 45–64, dezembro, 2001.
- ROCHA, J.; J. A. TENEDÓRIO; ROSSANA ESTANQUEIRO; PAULO MORGADO SOUSA: “Classificação de uso do solo urbano através da análise linear de mistura espectral com imagens de satélite”, *Finisterra*, XLII(83): 47– 62, 2007.
- ROSSITER, D.: Digital Soil Mapping as a component of data renewal for areas with sparse soil data infrastructures., In: **Second Global Workshop on Digital Soil Mapping**, July 4-7, 2006, Rio de Janeiro, Brazil, 2006.