

Enfoque metodológico para la construcción de una Geobase como apoyo a la investigación en agricultura y recursos naturales

Recibido: 18 de abril de 2013. Aceptado en versión final: 4 de abril de 2014.

Hilda Irene Camacho Vázquez*
Yolanda Margarita Fernández Ordóñez*
Jesús Soria Ruiz**
Miguel J. Escalona Maurice*

Resumen. La realización de operaciones con sistemas de información geográfica (SIG) y sistemas de análisis de imágenes de satélite, producen resultados que se insertan y manejan en bases de datos geoespaciales; estos repositorios se convierten en el centro de aplicaciones, en este caso, relacionadas con la investigación en agricultura y recursos naturales. Cada sistema cuenta con un modelo de datos propio y funciones específicas de manejo de sus bases de datos. Al no existir aún un modelo de datos ni funciones estándar para esas bases de datos comúnmente aceptados, el compartir y reutilizar resultados de diversas aplicaciones es un proceso tedioso y que requiere intervención manual del usuario. Esto se dificulta porque numerosos producto-

res de información geográfica no proporcionan suficientes datos descriptivos y concisos (metadatos) acerca de los resultados de sus trabajos. Este artículo aborda una metodología para la construcción de la base de datos geoespacial “GeoBase-L9”, que facilita la construcción del repositorio y el intercambio de productos geográficos entre usuarios. La metodología se basa en un esquema de metadatos propio que permite implementar un sistema de visualización de los insumos y de los productos de investigación vía web.

Palabras clave: Bases de datos, datos geoespaciales, GeoBase-L9, agricultura, recursos naturales, México.

Methodological approach towards the construction of a Geobase as support to research in agricultura and natural resources

Abstract. Geospatial databases are a central part in applications and projects within the context of research in agriculture and natural resources. Performing operations with geographic information systems and with software

for the enhancement, display or analysis of geographic data and information contained in digital maps, satellite images and aerial photographs generate results which are inserted within geospatial databases. These repositories are the core

* Colegio de Postgraduados, Carretera México-Texcoco, Km. 36.5, 56230, Montecillo, Estado de México. E-mail: HildaIreneCamachoVazquez@colpos.mx; yfernand@colpos.mx; mescalona@colpos.mx

** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Vial A. López Mateos, Km. 4.5, Carretera Toluca-Zitácuaro, 52107, Zinacantepec, Estado de México. E-mail: soria.jesus@inifap.gob.mx

Cómo citar:

Camacho V., H. I., Y. M. Fernández O., J. Soria R. y M. J. Escalona M. (2015), “Enfoque metodológico para la construcción de una Geobase como apoyo a la investigación en agricultura y recursos naturales”, *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 87, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 39-50, dx.doi.org/10.14350/rig.37303.

of geo-based applications, in particular, those related with a variety of research topics. Each system manages geospatial databases according to its own data model, and performs specific database management functions according to the procedures requested by users. A data model is an essential tool either for software developers or for users. A data model assists in the comprehension, at different levels of depth and detail, of the contents, organization and capabilities of databases, as well as to the comprehension of software restrictions and functionalities required to access the data. Current commercial informatics technology is designed for relational which are the most common types in use; in general this technology is not oriented to the needs of geospatial databases.

Relational databases are the most common data repositories in managerial or business applications. In these databases the DBMS or data base management system is based on the relational model, a formal prescription for the organization and structure of data introduced in the 1970s by E. F. Codd. The relational model and the associated Structured Query Language (SQL) are recognized standards for relational databases. Thus, relational DBMS all are based on a common data model which means that at the logical and at the user levels the data are seen through a same lens, which facilitates data exchange among systems and users. Object databases are oriented towards applications where data are inherently more complex than relational tables, such as the data in digital maps. There is no standard object data model, but basic object-oriented concepts for structuring and relating objects such as aggregation, semantic links and the inheritance of properties are commonplace.

Following recommendations by the Open Geospatial Consortium, some proprietary database management systems have included in recent years basic constructs to manage geospatial information. Anyway most database management systems, relational or otherwise, do not make public how they manage the internal storage of data items nor how the manipulation functionalities are implemented, since these are trade secrets.

INTRODUCCIÓN

Las bases de datos geoespaciales se convierten en el centro de las aplicaciones y proyectos, en el ámbito de la investigación en agricultura y recursos naturales que concierne a este trabajo. Un modelo de datos es un elemento esencial en las bases de datos, tanto para los implementadores del software de manejo como para los usuarios. Con distintos niveles de profundidad, es necesario que ambos grupos comprendan de manera sencilla y lógica el contenido, organización y capacidades de estas bases de datos y de las funcionalidades de software para acceder a ellas. La tecnología informática

The lack of standards for geospatial databases makes the exchange, sharing and reutilization of results among diverse applications and among different users a very tedious process. Normally manual user intervention is required and the task is made difficult and prone to errors because many geographic information producers do not provide sufficient concise descriptive data (metadata) about the results of their work. Most systems offer export/import functions to move geospatial data to/from other systems, but the verification of compatibility for appropriate use of the data is left to the user. She is made responsible for correction or modification of aspects which are significant regarding the applicability of processes or functions. These aspects include file format compatibilities or cartographic projections which when misunderstood lead to repetitive and accumulative errors, with a negative impact on the quality of end products.

Multidisciplinary and interdisciplinary research in Geomatics is present in many organizations and institutions worldwide. The objective of the research and development project reported here was to analyze ways to gather in a unique repository geospatial information products to be shared among the group of people working within the research line "Geomatics Applied to the Study and Management of Natural Resources and Agrosystems" of the Colegio de Postgraduados. In the medium term the repository should be able to support decision making using products derived from the research of this group.

This article refers to the methodology to build the geospatial database "GeoBase-L9", which facilitates the construction of the repository and the exchange of geographical products among users. We present the part of the methodology that is based on our own metadata schema which adheres to Mexican national standards which in turn follow international standards. The methodology has allowed the implementation of a pilot version to visualize via web the items that have been input to the GeoBase-L9 and also check the research products offered to the user.

Key words: Databases, geospatial data, GeoBase-L9, agricultura, natural resources, Mexico.

actual considera principalmente bases de datos relacionales y por objetos.

En las bases de datos relacionales, las más comunes en aplicaciones administrativas, el Sistema Manejador de Bases de Datos (SMBD) se fundamenta en el modelo relacional de datos, estructura formal propuesta en la década de los años setenta (Codd, 1990). El enfoque relacional ha producido un estándar para la visión lógica del contenido de las bases de datos y un lenguaje estándar para consulta, el SQL (*Structured Query Language*), (Silberschatz *et al.*, 2012). Los sistemas relacionales tales como MySQL®, Postgres® y Oracle® internamente realizan el almacenamiento y demás funciones de manejo

de manera propietaria, es decir, no se divulgan a terceros. Algunos productos propietarios han incluido características simples para manejo de información geoespacial basándose en recomendaciones del Consorcio Geoespacial Abierto (SWG-OGC, 2013). Las bases de datos relacionales funcionan de manera independiente mediante un SMBD, y no requieren de otro sistema para su administración a diferencia de las bases geoespaciales que están insertas en el software de análisis espacial de los SIG y de percepción remota (PR).

Para estos sistemas no se han adoptado completamente modelos de datos estándar, y cada sistema organiza conceptual y físicamente el manejo de datos geoespaciales (Shekhar y Chawla, 2003). Para interactuar con el usuario, un modelo de datos define los términos para referirse a los entes que maneja y para que sean utilizados en los distintos procesos de análisis, son comunes las nociones lógicas de *capa* o *tabla de atributos*, entre otras. En este sentido muchos usuarios entienden la noción de capa como la representación de un tipo de mapa en formato digital que puede manipularse por computadora (Zeiler, 2010).

La propuesta hacia la estandarización y los sistemas abiertos que facilitan la interoperabilidad admite la representación relacional o tabular de datos no geográficos facilitando su importación y exportación (Fileto y Madeiros, 2001); sin embargo, la simbiosis con datos geoespaciales sigue resolviéndose de manera *ad hoc*. Al no existir un modelo de datos ni funciones estandarizadas para bases de datos geográficas, el intercambiar y compartir resultados de diversas aplicaciones es un proceso generalmente manual y tedioso e incluso confuso para muchos usuarios. La mayoría de los sistemas solo ofrecen funciones de exportación/importación de datos (capas u otros ítems), dejando que el usuario verifique, corrija o modifique aspectos significativos en el tratamiento y aplicación de funciones. Tal es el caso de la verificación de compatibilidad de formatos y proyecciones, que pueden dar como resultado, errores constantes en la manipulación de datos entre sistemas y merma en la calidad de resultados.

En muchas instituciones académicas y de investigación alrededor del mundo, se realiza inves-

tigación sobre Geomática, conocida también como ciencias de la información geográfica. En algunas instituciones académicas, las investigaciones se reorientan hacia un enfoque multi e interdisciplinario. El objetivo de esta investigación fue analizar maneras de reunir en un repositorio productos de información espacio-temporal con el fin de que puedan compartirse entre el grupo de investigación interdisciplinario de la línea prioritaria de investigación en Geomática Aplicada al Estudio y Manejo de los Recursos Naturales y Sistemas Agropecuarios del Colegio de Postgraduados (CP, 2014). A mediano plazo el repositorio deberá apoyar a la toma de decisiones para la gestión de los recursos naturales. Los productos generados inicialmente son a nivel de cuenca hidrográfica. En esta etapa el trabajo utiliza una metodología para la implementación con software disponible pero no se recurre a software abierto, ya que eso se aborda en etapas subsecuentes del desarrollo. Como producto se obtuvo una versión funcional de la GeoBase-L9 y software asociado para la inserción, consulta, visualización y retroalimentación de los usuarios a los datos geográficos vía web. Se estima que la metodología es aplicable a la construcción de otras geobases de datos.

MARCO CONCEPTUAL

La GeoBase L9

En esta sección se plantea el contexto de uso y la unidad de estudio como elemento primordial para establecer los requisitos, y proceder a la presentación de los distintos elementos que se analizaron en la base de datos geográficos.

Contexto de uso. El ámbito de uso de cualquier software, define el propósito, ambiente, contenido, usuarios, políticas de uso y funciones que el software debe realizar. La noción de artefacto de software se utiliza en las ciencias computacionales para referirse a enfoques de desarrollo de software basados en modelos (*MDD-Model Driven Development*) y a los productos resultantes (Atkinson y Kühne, 2003). En este caso el artefacto es el repositorio de datos y el o los módulos de software para su manejo. Si los módulos están integrados se

trata entonces de un sistema. Una vez que se conoce el propósito y se define el nivel de alcance de una base de datos geográfica, es importante desglosar los componentes y características del repositorio y del software de manejo. El contexto del uso de la GeoBase-L9 lo constituye en primer término el ámbito de la investigación de la LPI 9 que realizan los investigadores pertenecientes al grupo de trabajo interdisciplinario denominado ETI-9, aunque en su versión a mediano y largo plazo abarcará a un grupo más numeroso de investigadores.

La investigación de la LPI 9 se enmarca en un macro proyecto de investigación, conocido como Proyecto de Investigación Integrador (PII), el cual se lleva a cabo en un periodo que abarca varios años. El PII a su vez involucra distintos sub-proyectos, acciones y responsables que comprometen la entrega de productos a la coordinación del grupo a cargo del proyecto. En este contexto, la LPI 9 ha puesto especial interés en la generación de productos de información espacial geo-referenciada con pertinencia científica, para permitir a la comunidad de la LPI 9, el uso coordinado de productos de investigación (mapas, metodologías, imágenes satelitales, datos estadísticos y otros), así como otros productos resultantes de procesos matemáticos y estadísticos necesarios para el estudio del territorio bajo un enfoque científico. El PII tiene como propósito analizar los componentes biofísicos y ambientales del área en estudio, la elaboración de modelos cartográficos como herramientas básicas para interpretar la situación actual de una región, y con ellos fundamentar y elaborar planes de ordenamiento territorial y ecológico. En su etapa actual, el PII considera como zonas de estudio las cuencas del río Meztitlán en el estado de Hidalgo y la cuenca de Texcoco en el Estado de México.

Se recabó y ordenó la información geográfica tanto la de origen como *la generada* por las investigaciones en un repositorio común. Dicho repositorio incluye, por una parte, los insumos documentales de origen (mapas oficiales, datos estadísticos, etc.) y por otra parte los productos generados y su información descriptiva (mapas, imágenes satelitales procesadas, etc.). El repositorio así generado es la GeoBase-L9.

La Cuenca Hidrológica como unidad de estudio. Una cuenca hidrológica es la zona de la superficie terrestre en la cual, toda precipitación pluvial se dirige de manera natural hacia un mismo punto terminal o de salida. Constituye una unidad espacial eco-geográfica relevante para analizar los procesos ambientales generados como consecuencia de las decisiones en materia de uso y manejo de los recursos hídricos, edafológicos y vegetales. Por lo tanto, constituye un marco apropiado para la planificación de medidas destinadas a corregir impactos ambientales producto del uso y manejo de los recursos naturales y de actividades antropomórficas. En este sentido, una cuenca es un ente conceptual y físicamente complejo, consistente del territorio delimitado por parteaguas donde existe una diversidad topográfica y de otros elementos (DOF, 1992).

En términos de planeación, la cuenca hidrográfica se emplea frecuentemente como unidad básica para describir el territorio cuya característica primordial es que el agua que se acumula en la cuenca desemboca hacia un cauce común (Sánchez *et al.*, 2003). La cuenca puede incluir entonces datos de divisiones políticas del territorio (estados, municipios o localidades) y muchas otras definidas para distintos propósitos. En el PII se plantea la cuenca hidrográfica como unidad básica de estudio y sus elementos deberán incorporarse de alguna manera en la GeoBase-L9.

MATERIALES Y MÉTODOS

Contenido y manejo de la GeoBase-L9

Las investigaciones que se enmarcan en el PII se relacionan con la conservación de los recursos naturales y con diversos problemas del sector agrícola, ganadero, forestal y pesquero. Los insumos para la investigación (datos e información geográfica *de origen*) y los resultados (productos que cumplan estándares de calidad) constituyen el contenido de la GeoBase-L9. A estos elementos de los denomina en este trabajo elementos "Recursos de Información (RI) para la GeoBase-L9". Como estrategia general para construir esta base, se consideró la incorporación de los RI por etapas (Fernández *et al.*, 2012).

En la etapa inicial se incorporaron mapas de las cuencas de Meztlán en el estado de Hidalgo, y de Texcoco en el Estado de México. Debido a que no todos los investigadores utilizan las mismas metodologías o los mismos sistemas computarizados de análisis de la información geográfica, los RI que contiene la GeoBase-L9 son heterogéneos.

En la etapa que describe este trabajo, no se contemplan funcionalidades que pertenecen a herramientas especializadas (manejo de modelos geoespaciales específicos), o liga directa con otros sistemas externos (analizadores de imágenes o herramientas SIG), ya que se centra en la estructuración del repositorio. Los modelos geoespaciales y otros procesos computacionales externos, continúan estando a cargo de los investigadores con las herramientas informáticas de su elección. Es importante resaltar que la GeoBase-L9 no se orienta a crear un servidor de información geoespacial general como GeoServer (OGC, 2014) ni un sistema manejador de bases geoespaciales heterogéneas, sino reunir los RI heterogéneos para su visualización y acceso mediante un sistema de consulta en línea (vía web), sin embargo, sí se utilizan algunas propuestas del GeoServer. El sistema de visualización constituye una interfaz útil para probar los mecanismos de acceso ofreciéndolo a la comunidad científica de la LPI 9 para evaluación. Le permite a un usuario decidir si un elemento en la GeoBase-L9 es de su interés para extraerlo (exportarlo) y también permite que un producto generado pueda insertarse (importarlo) a la base, para otros usos (compartir).

Usuarios y políticas de uso

En la interacción con el sistema de la GeoBase-L9, los usuarios se clasifican en tres categorías:

i) comunidad de investigadores activos de la LPI 9; *ii)* personal científico que trabaja con información geoespacial dentro de una institución de investigación y *iii)* usuarios externos. Se asignan distintos privilegios a los usuarios según su tipo, mismos que se resumen en la Tabla 1. A partir de esto se precisan requisitos que se retoman en la implementación del software como *políticas de uso* para la base de datos, que comprenden vigencia de los accesos permitidos, derechos de consulta/modificación, entre otros. Los niveles 0 y 1 se refieren al grado en el que los datos descriptivos o *metadatos* aportados están completos.

Las políticas de uso se definen en un documento que especifica las normas de inserción, eliminación, actualización y verificación de la calidad que se establece con participación de los usuarios.

Registro de objetos

El registro de objetos, tiene que ver con la definición de normas y documentos necesarios para el cumplimiento del registro. La primera norma considerada en este trabajo es que los RI (ítems u objetos) contengan los metadatos necesarios para formar parte de la GeoBase-L9. Los RI considerados aquí son: cartografía temática, imágenes satelitales y ortofotos digitales, entre otras. El registro de objetos debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Depuración de contenido.* Involucra verificar el cumplimiento de las normas de calidad establecidas para la GeoBase-L9 y las convenciones para versiones y formatos de archivos admitidos.
- b) Su distribución.* Delimita la verificación del cumplimiento de las condiciones propias de

Tabla 1. Usuarios, roles y privilegios en la GeoBase-L9

Tipo de usuario	ROL*	Privilegio
Administrador	1	Operaciones de inserción, eliminación y modificación al nivel 1
Productor	2	Operaciones de inserción y modificación al nivel 0
Lector	3	Operaciones de lectura (consulta)
Usuario externo	4	Operaciones especificadas en convenio

* Usualmente se emplea una numeración para definir la clasificación donde se establecen los distintos privilegios dentro del sistema.

cada ítem geográfico (RI) que permita compartirlo de manera confiable.

Requisitos del sistema

En primer término; los requisitos del sistema permiten, por un lado, facilitar la toma de decisiones sobre la arquitectura del sistema para cumplir con los objetivos (Hurtado, 2003); por otro, permiten delimitar las actividades que el sistema debe realizar, y determinar aquellos elementos que fijan las características finales solicitadas por los usuarios finales (requisitos funcionales). En segundo término, los requisitos del sistema especifican características restrictivas (requisitos no funcionales) que se refieren a la calidad requerida en el sistema. Estos requisitos son por lo general más difíciles de especificar con unidades medibles o actividades tangibles, optando por refinarlos con los usuarios, a través de la utilización y evaluación de versiones piloto del sistema (Nuseibeh y Easterbrook, 2000). Este es el enfoque que se ha seguido en este trabajo, ya que al no contar con experiencias previas de los usuarios de la GeoBase-L9 referente al potencial que ofrecen los artefactos de software, se ha optado por recabar información directa de los usuarios una vez que el sistema está en uso mediante la retroalimentación. Los requisitos funcionales y no funcionales para la GeoBase L9 se enumeran a continuación:

Requisitos funcionales: a) el usuario podrá registrarse dentro del propio sistema de una manera sencilla; b) el usuario podrá consultar cualquier ítem geográfico del RI con su conjunto de metadatos, y podrá descargar una copia en su computadora; c) los metadatos correspondientes a cualquier ítem geográfico podrán ser consultados y descargados en un archivo con extensión *.pdf; d) será posible realizar correcciones al conjunto de metadatos, y e) el sistema registrará tipo de usuario, tipo de información y fecha.

Requisitos no funcionales: a) la versión piloto del sistema permite guardar información de hasta 1 000 MB; b) el conjunto de metadatos que se integran en el sistema, se basan en un estándar propio y limitado, y no se podrá modificar o anexas algún otro metadato; c) los RI como las imágenes de satélite que se desean insertar en la GeoBase-L9,

deberán estar en un formato comprimido, ya que el repositorio acepta ítems generados por distintos software; d) puede eliminarse totalmente un RI del repositorio, la acción es estrictamente controlada y le corresponde solamente a usuarios con privilegios de administración del sistema.

Modelación de la GeoBase-L9

La modelación de bases de datos es un proceso que parte del análisis y precisión de los requisitos que deben cumplir los RI para ser insertados en el repositorio de manera que sirvan a los propósitos definidos para el contexto de uso de la base: usuarios, funcionalidades del software y restricciones. La modelación constituye una guía para la implementación y posterior mantenimiento incorporando mejoras en el contenido y en el desempeño operacional de la base. El proceso de modelación abarca desde el nivel conceptual –independiente del software y de la implementación hasta el nivel de realización mediante un sistema y los RI que se manejan. En cada nivel se recurre a diversos tipos de herramientas para construir los modelos. Dichas herramientas también denominadas “modelos” pueden resultar confusas para no especialistas en informática (Whitten *et al.*, 2004), por lo que en este caso y para facilitar la interacción con los usuarios se utilizaron como modelos las especificaciones mismas.

La especificación de los metadatos y las definiciones conceptual, lógica y física de la geobase que se describen a continuación se utilizaron para la construcción del sistema y del repositorio.

Modelo de Metadatos. Existen organizaciones que se encargan del estudio y desarrollo de normas y estándares, que permiten la homogenización de los metadatos (los cuales incluyen datos geográficos). Estas normas proporcionan un conjunto de terminologías, definiciones y procedimientos propios de los metadatos. Existen diversos software e incluso dentro de los propios SIG, donde se puede complementar la información basados en las normas descritas (Yeung y Hall, 2007).

Para la integración de los metadatos en un modelo de base de datos geográfico, se parte de la premisa de que la mayoría de los ítems geográficos distribuidos, suele no contener información clara,

concreta y estandarizada, que facilite su identificación y/o distribución. Para la GeoBase-L9 se tomó en cuenta un modelo de metadatos propio basado en el estándar ISO-19115, el cual permite simplificar el conjunto de atributos que describen a cada dato geográfico; es decir, permite contar con una descripción concreta sobre el origen, los propósitos, el sistema de referencia, los tiempos y las metodologías asociadas a los ítems geográficos incorporados a esta base de datos. Los metadatos que se utilizan consideran que hay necesidad reconocida de adaptar los estándares a necesidades específicas (NOA EDM, 2014).¹

Modelo conceptual. La modelación que se plantea, se basa principalmente en un modelo objeto-relacional; ya que los “objetos” o RI de este estudio, son imágenes geográficas (ortofotos digitales, imágenes raster y vectoriales –tipo *shapefile*, etc.). En la Figura 1 se muestra el modelo conceptual.

Modelo lógico. En la Figura 2 se muestra el modelo lógico de la GeoBase-L9, donde se ejemplifican algunos de los atributos que corresponden a un dato geográfico, así como las relaciones acorde con el modelo conceptual.

Modelo físico. Éste considera al SMBD, en el cual se va a llevar a cabo la instalación de la GeoBase-L9. Cada uno de los atributos del diseño lógico se integran a partir de los tipos de datos que maneja el SMBD. En este caso, la mayoría de los atributos se delimitan según los tipos de datos (*date, charactervaring and integer*). En la Figura 3 se muestra la estructura de los objetos dentro de PostgreSQL, así como las relaciones y los catálogos que integran la base de datos.

Arquitectura e implementación del sistema

La arquitectura del sistema representa de forma gráfica, cómo se encuentra estructurado desde su concepción más práctica el sistema. El flujo de información comienza desde el usuario a partir del uso de un SIG, con la manipulación de información geográfica que desea compartir por medio de la aplicación web diseñada para este efecto, y que es mostrado en el buscador de su preferencia; de modo que almacena todos los atributos correspondientes a los RI dentro de la GeoBase-L9.

El servidor de la GeoBase-L9 cuenta con la base de datos en PostgreSQL, donde se almacenan los RI mediante un *plugin*. En este caso, los RI se

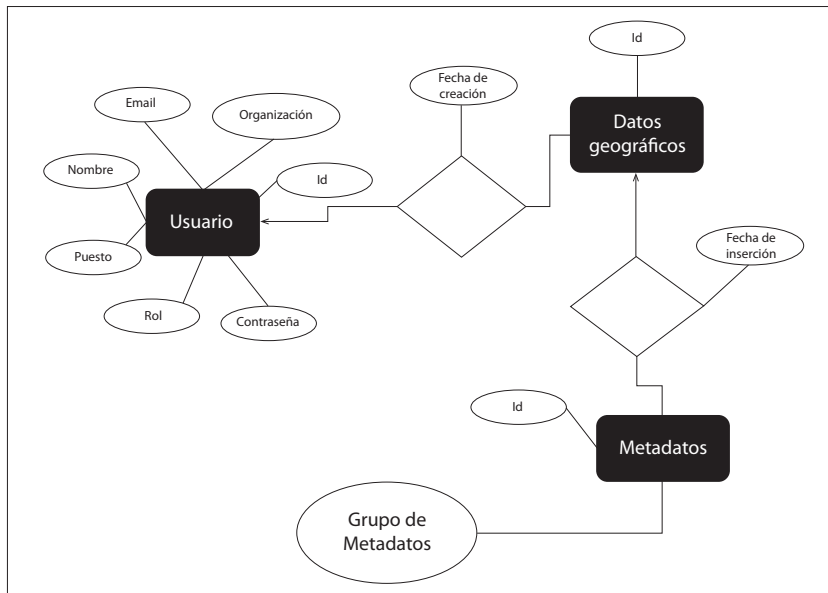


Figura 1. Modelo de alto nivel o conceptual.

¹ Para mayor información sobre el particular puede consultarse Fernández *et al.*, 2012.

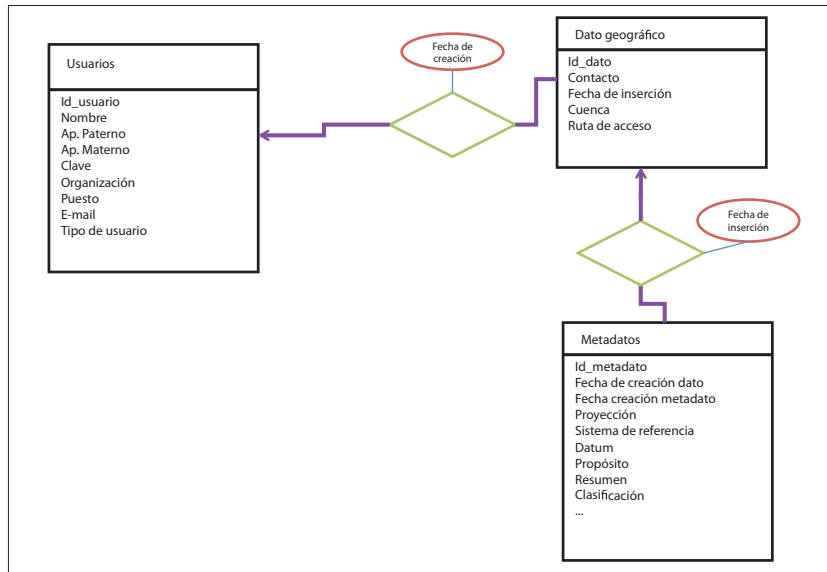


Figura 2. Modelo lógico de la GeoBase-L9.

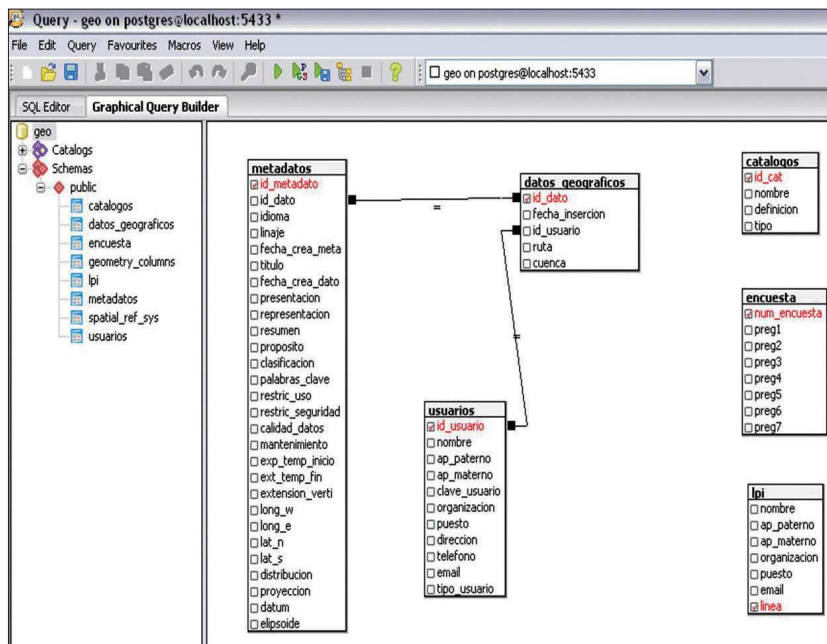


Figura 3. Modelo físico de la GeoBase-L9 en PostgreSQL.

almacenaron en una sección del disco duro para permitir a los administradores de la GeoBase-L9, generar los archivos y configuraciones necesarias para representar los RI en el buscador; para que el usuario descargue el dato geográfico deseado en un formato comprimido.

El sistema brinda la oportunidad de realizar consulta, inserción y edición de la información de objetos geográficos y de sus metadatos.

De las diversas herramientas que permiten la modelación general en el funcionamiento de un sistema, el UML (*Unified Modeling Language*) fue empleado en la modelación de la presente aplicación; ya que permite identificar a las clases, actores y establecer los procesos que se realizan en el sistema (Hurtado, 2003). La Figura 5 muestra la arquitectura del sistema con la notación de acuerdo con el lenguaje UML.

Por otro lado, el sistema cuenta con diversas funcionalidades estructuradas en casos de uso, de acuerdo con la esquematización del UML para diseño de software, los cuales están representados en la Figura 6.

Una vez delimitado el modelo de Metadatos, el tipo de interacciones entre el usuario y la GeoBase, el contenido, las políticas de uso y el manejo, se procede a la instalación de los elementos de software, tomando en cuenta el sistema operativo del servidor. Posteriormente se procede a la organización y programación del contenido de la página web dentro de un *framework*. Esto permite mantener un mayor control del elemento que se desea mostrar en la pantalla.

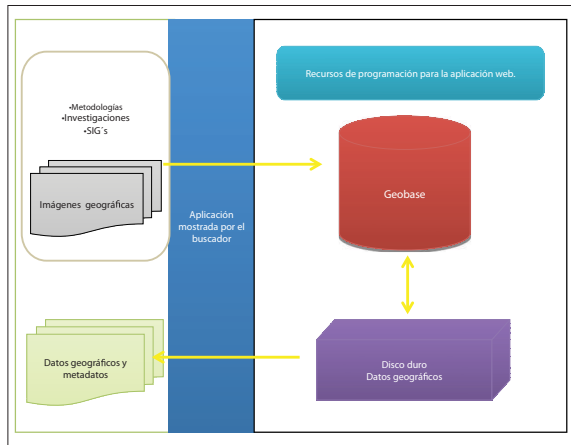


Figura 4. Arquitectura de la GeoBase-L9.

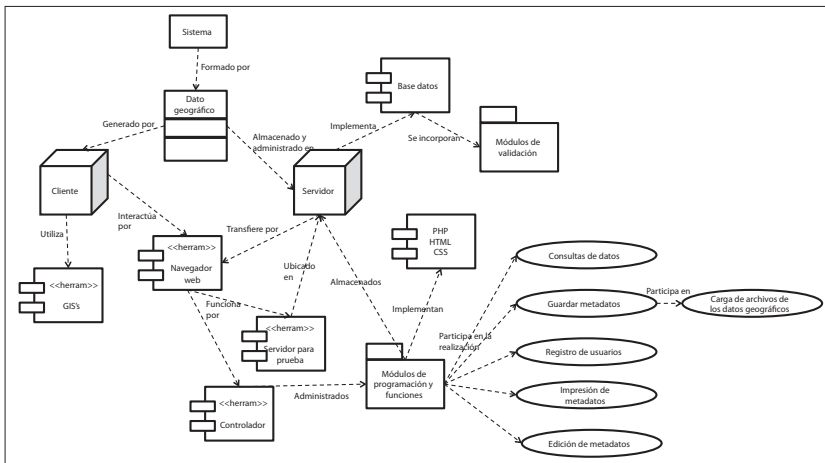


Figura 5. Arquitectura del Sistema con UML.

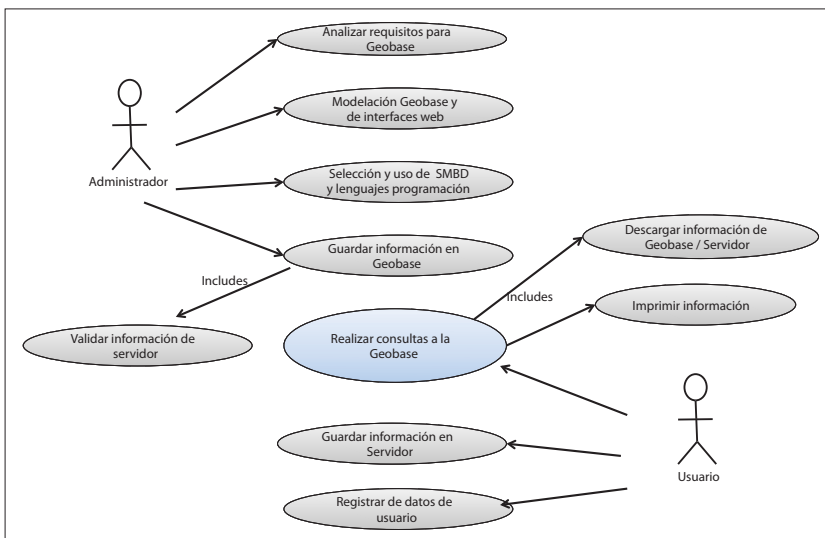


Figura 6. Diagrama de casos de uso de la GeoBase-L9 (notación UML).

El contenido de la página web se trabajó de manera separada en relación con los elementos que permiten su visualización. En este proceso se utilizaron herramientas de un servidor de mapas, adaptando los módulos propios de este servidor para la visualización de un RI de interés.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Sistema

La versión piloto de la GeoBase-L9, implementada en PostgreSQL con extensión de PostGIS, presenta las siguientes características:

- a) *Almacenamiento en el disco duro del servidor.* Todas las imágenes se localizan físicamente en el disco duro del servidor (en formato comprimido), guardando dentro de la base de datos la ruta de acceso de los archivos.
- b) *Almacenamiento en el SMBD.* La información de los usuarios, los metadatos de las imágenes y los catálogos es almacenada dentro del Postgres, basándose en el modelo lógico del cual se hace mención en la sección “Modelación de la GeoBase-L9”.

La consulta de los RI se realiza a través de una página web elaborada en lenguaje PHP, estructurada y organizada dentro de un servidor local de pruebas. Configurado en un primer momento en *localhost* (127.0.0.1) para posteriormente realizarlo en la red local del campus, manteniendo de forma fija una dirección IP (ejemplo: 10.0.4.17) mediante una interfaz amigable para el usuario, donde puede realizar las consultas de manera sencilla y práctica.

En la GeoBase-L9 es posible incluir información del usuario por medio del registro previo de sus datos, donde el sistema asigna un número de rol o tipo de usuario como se mencionó en la sección “Usuarios y Políticas de Uso”, con la finalidad de facilitar la administración de la base de datos. De esta forma, el usuario puede consultar, guardar y editar RI y sus metadatos de acuerdo con las restricciones específicas de cada rol, con el objetivo de evitar que se elimine o modifique información por parte de usuarios no autorizados.

La información contenida en la GeoBase-L9, corresponde a la cuenca de Meztlán, en el estado de Hidalgo, la cual está constituida principalmente por imágenes en formato vectorial y raster. Cada una de ellas cuenta con su respectivo metadato, donde se incluye la información de la persona que lo comparte. La interfaz de la página web, permite localizar aquellos elementos que cumplan con una serie de condicionantes, es decir; el usuario podrá buscar las imágenes de su interés de acuerdo con la cuenca, tipo de formato, clasificación, entre otros.

Una vez realizada la consulta, los RI que cumplen con los criterios seleccionados son desplegados en una lista a partir del título que los identifica; de tal forma que, una vez seleccionando un RI de interés, el sistema permitirá al usuario visualizar el mapa, consultar los metadatos en formato PDF o descargar la información en formato comprimido.

La visualización del RI se realiza mediante el servidor de mapas *geoserver* utilizando la interfaz y dinámica de almacenamiento/procesamiento de las imágenes como lo solicita este servidor de mapas; es decir, se emplea como un complemento de la GeoBase-L9 para facilitar la descarga de los RI por parte del usuario. La Figura 7 muestra un ejemplo de visualización de mapas vectorial y raster a través de *geoserver*.

Bases de datos geográficas

Las bases de datos geográficas están disponibles en un SMBD, cuyos elementos geográficos se vinculan con información de estudios/evaluaciones asociados a los ítems geográficos. La base geográfica está constituida con una sola temática, área en estudio o enfoque; permitiendo una gama de posibilidades para la incursión de diversas herramientas de almacenamiento.

Los elementos de programación que se emplearon para la organización de los componentes de visualización del contenido (página web), se adaptan de acuerdo con necesidades específicas de otras aplicaciones. En este caso, se contemplaron aspectos de consulta gráfica de los RI con el servidor de mapas *geoserver*, el cual tiene una interacción sencilla. Para los RI de tipo raster, este servidor

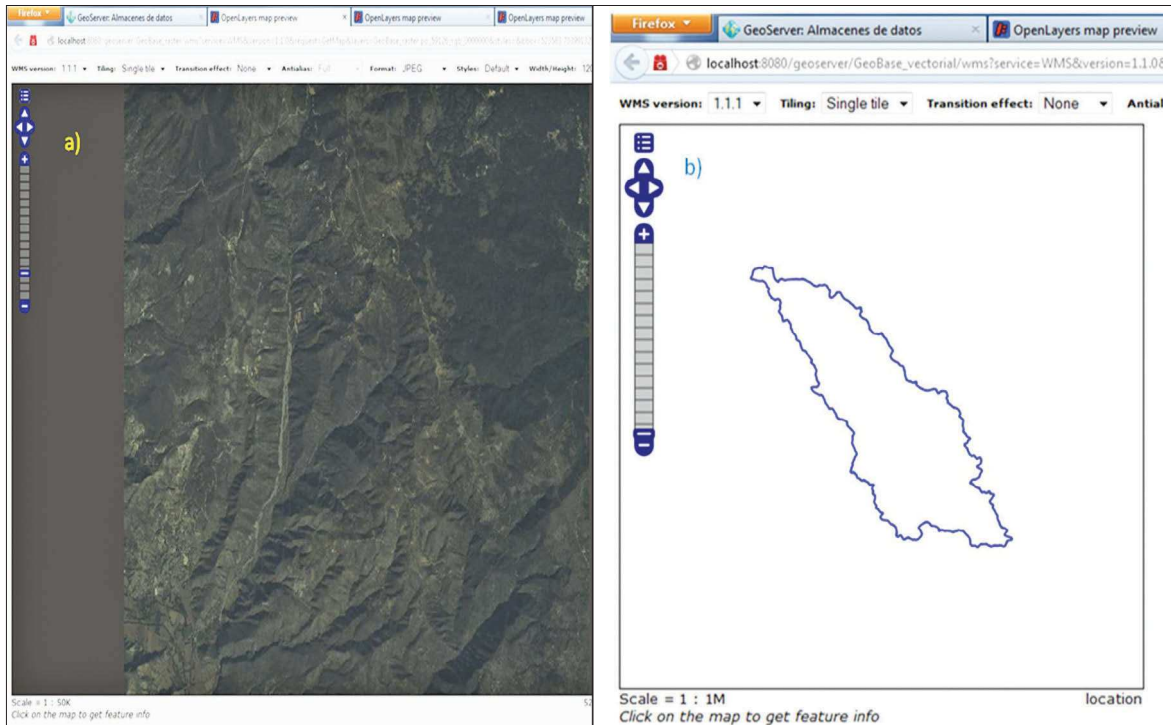


Figura 7. Despliegue de la información geográfica a) raster y b) vectorial en la GeoBase-L9 mediante *geoserver*.

toma de forma automática el sistema de coordenadas del ítem, para desplegar y visualizar la imagen dentro del buscador. En el caso de los RI de tipo vector, es necesario delimitar las características del archivo, tales como la proyección y el sistema de coordenadas.

El software y sus elementos, fueron diseñados para su instalación en diferentes plataformas o sistemas operativos, por lo tanto; es posible utilizar un servidor con la plataforma que se desee por parte del desarrollador, puesto que los elementos de programación y servidores utilizados en la versión piloto son prácticos y versátiles.

CONCLUSIONES

La GeoBase-L9 es un repositorio donde se almacena información geográfica que puede ser heterogénea por su origen, permite el acopio, ordenamiento y difusión de ítems geográficos o RI que incluyen mapas o imágenes resultantes del análisis en diver-

sos formatos y producidos por diversos sistemas de software e instituciones.

El modelo objeto-relacional de la GeoBase-L9, cumple con los requisitos establecidos para el contenido y el sistema de manejo asociado, permitiendo en etapas subsecuentes su evolución para ampliar y/o modificar el modelo, con un enfoque orientado a objetos.

La GeoBase-L9 no es un SIG que realice el análisis y procesamiento de datos geográficos, es una herramienta para el almacenamiento de recursos de información (RI) o ítems geográficos, orientados específicamente hacia la investigación en agricultura y recursos naturales.

La GeoBase-L9 forma parte de un proyecto de largo plazo, que es utilizado para almacenar información geográfica, garantizando el fácil acceso a los insumos y productos con criterios de calidad de la información, para una comunidad de investigadores en temas relacionados con agricultura y recursos naturales.

REFERENCIAS

- Atkinson C. and T. Kuhne (2003), "Model-driven development: a metamodeling foundation Software", vol. 20, no. 5, Sept.-Oct, Knowledge and Data Engineering, IEEE, pp. 36-41.
- Codd, E. F. (1990), *The Relational Model for Database Management* Version 2, Addison Wesley Publishing Company.
- CP (2014), "Plan Estratégico de la Línea Prioritaria de Investigación No. 9 "Geomática Aplicada al Estudio y Manejo de los Recursos Naturales y Sistemas Agropecuarios", Colegio de Postgraduados [<http://www.colpos.mx/web11/pdf/Investigacion/lpi/lpi-9/LPI-9-PE-2009-2011.pdf>]: disponible al 12 de marzo del 2014].
- DOF (1992), Ley de Aguas Nacionales, *Diario Oficial de la Federación*, México.
- Fernández, Ordóñez, Y., R. C. Medina Ramírez, J. Soria Ruiz y J. R. Pulido (2012), "Representación del conocimiento: desarrollo de ontologías", *Revista Electrónica de Socioeconomía Estadística e Informática (RESEI)*, Colegio de Postgraduados, diciembre, vol. 1, núm. 1, pp. 6-19.
- Fernández, O. Y., M. Escalona, J. Soria, H. Camacho y V. Velásquez (2013), "GeoBase de Datos para Investigación en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales", en Escalona, M., Y. Fernández y M. Jiménez (eds.), *Aplicaciones de Geomática en la Región Central de México: Cuenca de Metztlán y Cuenca del Valle de México*, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.
- Fileto, R. and C. B. Madeiros (2001), "Issues on interoperability of heterogeneous and geographical data", *Workshop Brasileiro de Geoinformática (GEOINFO)*, Rio de Janeiro [<http://www.geoinfo.info/portuguese/geoinfo2001/papers/127fileto.pdf>]: disponible al 5 de diciembre de 2012].
- Hurtado, S. (2003), "Representación de la arquitectura de software usando UML", *Sistemas & Telemática*, Universidad Icesi, v. 1, fasc., pp. 63-75.
- NOA-EDM (2014), ISO 19115-1 New Capabilities [https://geo-ide.noaa.gov/wiki/index.php?title=ISO_19115-1_New_Capabilities]: disponible al 12 de marzo de 2014].
- Nuseibeh, B. and S. Easterbrook (2000), *Requirements Engineering: A Roadmap* [<http://kaiya.cs.shinshu-u.ac.jp/re/lab/p35-nuseibeh.pdf>]: disponible al 18 de noviembre de 2012].
- OGC-Open GIS Consortium, Inc. (2004) [<http://www.opengeospatial.org>]: 22 de marzo de 2013].
- OGC-GeoServer (2014), GeoServer 2.5.0. [<http://geoserver.org/>]: 15 de marzo de 2014].
- Sánchez, A., R. García y A. Palma (2003), *La cuenca hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales*, SEMARNAT, México.
- Shekhar, S. and S. Chawla (2003), *Spatial Databases: A Tour*, Prentice Hall.
- Silberschatz, A., H. F. Korth and S. Sudarshan (2012), *Database System Concepts*, 6th Ed., McGraw-Hill.
- SWG-OGC (2013), Standard Working Group-Open Geospatial Consortium [<http://www.opengeospatial.org/standards>]; consulta 12 marzo].
- Whitten, J. L., L. D. Bentley and K. C. Dittman (2004), *Systems analysis and design methods*, 6th edition, Irwin/McGraw-Hill Companies, Inc.
- Yeung, A. K. W. and G. B. Hall (2007), "Spatial Database Systems: Design, Implementation and Project Management", *GeoJournal*, Springer.
- Zeiler, M. (2010), *Modeling Our World: The Esri Guide to Geodatabase Design*, ESRI Press.