

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**EVALUACION DE LA CALIDAD CARTOGRAFICA
VECTORIAL UTILIZADA PARA EL MANEJO DE LOS
RECURSOS NATURALES**

TESIS DE DOCTORADO

**COMO REQUISITO PARA OBTENER TITULO DE:
DOCTORADO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE
RECURSOS NATURALES**

**PRESENTA:
ABRAHAM CARDENAS TRISTAN**

Linares, Nuevo León. México, Enero, 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

TESIS DE DOCTORADO

EVALUACION DE LA CALIDAD CARTOGRAFICA VECTORIAL
UTILIZADA PARA EL MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES

Que para obtener el grado de Doctor en Ciencias

PRESENTA:

ABRAHAM CÁRDENAS TRISTÁN

COMITÉ DE TESIS



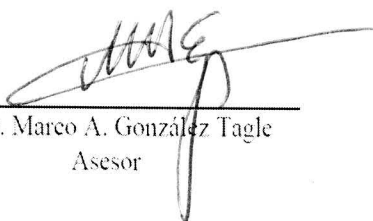
Dr. Eduardo J. Treviño Garza
Director de tesis



Dr. Oscar A. Aguirre Calderón
Asesor



Dr. Javier Jiménez Pérez
Asesor



Dr. Marco A. González Tagle
Asesor



Dra. Xanat Antonio Némiga
Asesor Externo

Linares, Nuevo León, México

Enero de 2013

DEDICATORIA

A mi esposa Eyra y a mis hijos Jessé y Alexis, por su paciencia, comprensión y colaboración en este proceso de estudio y aprendizaje.

A mis padres Jesús y Catalina, por creer en mis sueños y por haberme dado ejemplo de lucha, esfuerzo y entrega.

A mis hermanos Jesús y Georgina por acompañarme y entender mis anhelos

AGRADECIMIENTOS

Dentro de muchos retos, uno que me entusiasma, el comienzo de la vida científica a través de la experiencia adquirida para analizar, observar y experimentar. Aprendí importantes cosas que entrenaron mi lógica, mi destreza mental, mi razonamiento y mi capacidad de análisis. En este camino aprovecho la oportunidad para agradecer a todas aquellas personas e instancias que han sido parte de este proceso de formación.

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada para ejercer mis estudios de Doctorado.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León y en especial a los profesores-investigadores que evaluaron mi estudios y experimentaciones.

Al comité de tesis, quienes con su experiencia y ejemplo fomentaron un mí un espíritu emprendedor en el desarrollo de esta investigación (Eduardo J. Treviño-Garza ,Oscar A. Aguirre-Calderón, Javier Jimenez-Pérez , Marco A. González-Tagle y Xanat Antonio-Némiga).

Al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), por haber colaborado facilitándome información vectorial y por haberme concedido entrevistas con personal del área de Geodesia y Cartografía.

A la compañía SAFE SOFTWARE por el otorgamiento de licencias FME Workbench para la integración de datos espaciales, el análisis de transformación de formatos y procesos de interoperabilidad.

A la compañía ESRI por el otorgamiento de licencias DataViewer, para las experimentaciones con el análisis de evaluación de la calidad de datos vectoriales.

Al virtual Globe “Google Earth”, por permitir procesos de interoperabilidad y experimentar con el API de Google Maps para el análisis de integración de datos espaciales en línea.

Mi especial agradecimiento al Dr. Eduardo J. Treviño Garza, por haber confiado en mi tema de investigación, por sus consejos en el armado de la estructura de la tesis, sus sugerencias acertadas en la redacción, sus comentarios y observaciones sobre la lógica de la aplicación de la ciencia y sobre todo por la paciencia para guiar con entusiasmo a todos sus estudiantes.

A mis alumnas (os) Rosalinda, Alba, Humberto, David y Lorena quienes se involucraron en algunas actividades relacionadas con mi investigación.

Para todas las personas antes mencionadas y para todas aquellas que contribuyeron de una u otra forma con mi trabajo de investigación, manifiesto un sincero agradecimiento.

RESUMEN GENERAL

La producción cartográfica que se genera para México ha pasado de un proceso estático a un mecanismo de múltiples aplicaciones. Así mismo, la necesidad de desarrollar información cartográfica en diferentes escalas y de diferentes usos es todavía un desafío. Una situación ideal sería utilizar una base de datos espacial detallada y actualizada, a partir de la cual, la representación y desarrollo de cartografía para múltiples fines y en diferentes escalas podría ser simplificada con solo utilizar algoritmos de generalización (agentes autogeneralizantes o patrones de representación múltiple). Se efectuó un proceso de evaluación de la calidad de la cartografía del país, en diversas muestras de información vectorial sobre ciertas coberturas de territorio, utilizando diversas tecnologías geoespaciales. Para generar indicadores de tal evaluación, se desarrolló un modelo de análisis vectorial a fin determinar la incertitud espacial debida a la propagación de errores entre diferentes escalas de datos utilizadas. Dadas las ventajas de los sistemas de visualización sobre el Web, se experimentó con diversas tecnologías para realizar un proceso de integración en Google Earth utilizando muestras de la cartografía vectorial del país. Se analizaron correspondencias geométricas, métricas y topológicas, a fin de generar indicadores de la relación escala-imagen. Una vez experimentado con la residencia de datos vectoriales sobre el Web, se desarrolló un prototipo llamado SIDDGEO, el cual permite la integración y construcción de objetos geográficos tanto en plataformas en línea como en la plataforma de GE.

ABSTRACT

Maps production that is generated for Mexico has passed of a static process to a mechanism of multiple applications. Also, the necessity of developing cartographic information in different scales and uses is stills a challenge. An ideal situation would be to use a spatial database detailed and updated, from which, the representation and development of cartography for multiple purpose and in different scales, could be simplified just by using generalization algorithms (self-generalizing objects (SGO) or patterns of multiple representation). The cartographic quality of the country was evaluated, in various samples of vectorial data over certain territory coverage, using various geospatial technologies. To generate such evaluation indicators, a vectorial analysis model was developed to determine the spatial uncertainty due to error propagation between different scales. Given the advantages of visualization systems on the Web, we experimented with various technologies, to perform an integration process in Google Earth using samples of vectorial maps of the country. We analyzed geometrical, metric and topological correspondences, to generate indicators of scale-image relationships. Once experienced with residence of vectorial data on the Web, a prototype called SIDDGEO was developed, which enables the integration and construction of geographical objects both on the web and on Google Earth platforms.

INDICE

I. Introducción	8
II. Estado del arte de la producción cartográfica	21
III. Uso de tecnologías espaciales para evaluar la calidad de muestras vectoriales de la producción de cartografía	34
IV. Análisis vectorial para modelar la incertitud espacial entre diferentes producciones de escalas de información debido a la propagación de errores	70
V. Análisis de escalas en Google Earth para la generación de indicadores de la relación imagen-escala	81
VI. Sistema de visualización y digitalización de datos geográficos (SIDDGEO) a partir de Maps API	108
VII. Conclusiones generales	134

CAPITULO I. INTRODUCCION

En recientes años, el desarrollo del uso de la cartografía sobre demanda en diferentes medios tecnológicos se ha incrementado y sus múltiples aplicaciones han alcanzado diversos ámbitos que años atrás solo podían ejercerse con la cartografía sobre papel. Los avances en generalización cartográfica, las tendencias en representación múltiple, el desarrollo de las bases de datos geoespaciales, la cartografía en demanda sobre el Web y el surgimiento de nuevas tecnologías de edición y tratamiento de información geoespacial, han permitido optimizar la reproducción de información cartográfica en donde la obtención de calidad, sigue siendo un tema a considerar para su investigación. En los últimos 35 años, se persigue aun la búsqueda de exactitud al abstraer de la superficie de la Tierra cualquier objeto que asocie una fiel representación desde el punto de vista vectorial o matricial, como lo ha señalado en su momento Robinson et al., (1995) *Topographic maps accurately portray the surface of the earth and “the spatial association of a selection of diverse geographical phenomena”*. Sin embargo, desarrollo de proyectos y estudios relacionados al tema han logrado algunos avances, pero para fines de producción estos siguen efectuándose con las tradicionales herramientas de edición. Por un lado, la evolución de los programas CAD (Computer-Aided Design) hacia la interoperabilidad con formatos de SIG, como es el caso de su transformación de formato vectorial CAD a formato ArcGIS (Shapefile), permitió grandes avances, así como el surgimiento de la integración de formatos de diferentes tipos de datos vectoriales que FME Inc., (Spatial Data Transformation Platform) y otras compañías ha logrado conjuntar. Por otro lado, la evolución de Oracle, el OGC (Open Geospatial Consortium), las tecnologías SOLAP (Spatial On-Line Analytical Processing), entre otros organismos también importantes, han dado la pauta a que el manejo de la información en bases de datos espaciales interoperables sea más perceptible al manejo e integración de la información de tipo geoespacial. La entrada de GE, ha manifestado una oportunidad para resolver cantidades de problemáticas, a través de análisis de los espacios en la Tierra (Grossner, 2006), sin embargo, siendo un sistema visualizador a partir de integración de imágenes de diversos satélites y en diversas escalas, no es la herramienta que responda a solucionar cualquier tipo de estudio. Dado que en cuanto al trabajo de precisión se trata, efectuar éste en terreno natural seguirá siendo el medio más preciso para producir y

colectar la información. Con el objeto de conocer las ventajas de la plataforma GE, se analizaron y evidenciaron indicadores, para resolver diversas problemáticas, que tienen que ver con la integración de información vectorial y su correspondencia en las imágenes de las cuales se compone, así como el enlace a bases de datos espaciales y otros formatos de información. “Si la cartografía digital seguirá siendo uno de los medios más importantes para el aprovechamiento, análisis y estudios de los recursos naturales, este estudio doctoral explorará la actual información vectorial con recientes tecnologías geoespaciales”.

CONTEXTO DE LA INVESTIGACION

La producción de cartografía digital del país, ha sido en las últimas décadas el medio por el cual se han ejercidos innumerables desarrollos en diferentes ámbitos. La escala de información más utilizada por su detalle (1:50,000), ha permitido un mayor conocimiento del país, sus recursos naturales, su incremento en el desarrollo de infraestructura, el crecimiento de las ciudades con sus zonas urbanas, rurales y en el establecimiento de indicadores estadísticos de todos los rubros que conforman la evolución del territorio. Sin embargo, la cartografía de uso de suelo y vegetación, ha sido producida digitalmente por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para los años 1993, 2002 y 2007 en la escala 1:250 000, basadas en información contenida en imágenes de satélite. Las bases de datos conteniendo esta cartografía que está disponible a nivel nacional, conocida como Serie II, Serie III y Serie IV respectivamente, fueron integradas junto con Serie I realizada en base a procesos de interpretación y restitución de fotografías aéreas, tomadas entre los años de 1968 y 1986, Velázquez et al., (2002), señala que no existe una evaluación cuantitativa de la confiabilidad de dicha cartografía, así mismo describen sobre su origen en formato analógico del cual se efectuaron procesos de digitalización de la información. El Instituto Nacional de Ecología (INE) trabajó en el proceso de digitalización de la Serie I cartografía de uso de suelo y vegetación de INEGI, en donde se definen más de 300 clases, el producto se encuentra en formato Arc/Info en proyección Cónica de Lambert. A principios de los años 90's el INEGI actualizó la cartografía Serie I, la cual denominaron Serie II en base a la interpretación visual de imágenes de satélite corregidas. Se produjeron

espaciomapas derivados de la composición a color de imágenes Landsat TM (combinación de bandas del infrarrojo y visible 4, 3, 2), las cuales se imprimieron a escala 1:250 000 y se detalló el sistema clasificatorio con más de 600 categorías, (Palacio-Prieto et al., 2004). Entre 1992 y 1994 el Instituto de Geografía de la UNAM, inicia la elaboración de cartografía para el Inventario Forestal Nacional, del cual se actualizó la cartografía de la Serie I, en base a análisis visual de 74 imágenes Landsat TM en todo el país. La actualización fue parcial y solo se hizo para áreas forestales, en donde se mezcla información actualizada con información previa de la Serie I, (Sorani and Alvarez, 1996), el sistema clasificatorio se derivó de FAO y la escala es 1:250 000 por zonas UTM, la cual se encuentra en formato digital.

En el año 2000 el mismo Instituto de Geografía, inicio la primera fase del Inventario Forestal Nacional (IFN) en colaboración con el INEGI, el cual consistió en una actualización de la información digital de la Serie II y que así misma derivó de observaciones de campo en más de 10,000 puntos utilizados en Serie I, así como la interpretación visual de composiciones de color de imágenes Landsat ETM+ del año 2000 impresas en escala 1:125 000 (Palacio et al., 2000; Velázquez et al., 2001; Mas et al., 2002), de lo cual el sistema clasificatorio tiene 75 categorías y es una simplificación del INEGI. Para la elaboración de ésta, se trabajó en talleres con especialistas en vegetación y percepción remota. En el periodo 2002-2005, con la llamada Serie III se logran avances importantes permitiendo la conversión de formatos análogos a formato digital, los cuales apoyan estudios temporales, pudiendo facilitar la edición y visualización en cualquier equipo de cómputo con software adecuado. Sin embargo se tuvieron implicaciones en la calidad de la información, dado a la metodología para la obtención, corrección geométrica, mejoramiento, visualización e impresión del insumo principal. Se construyó una base de datos de puntos de control, siendo estos derivados de las cartas topográficas del INEGI a 1:50 000, con el objeto de asegurar que los posibles errores por distorsión y desfases no fueran mayores a los sugeridos en la escala de trabajo (menor o igual a 50 m). Con base en la comparación de las Series I, II y III del INEGI, Sánchez et al., (2008), documentaron en detalle la condición y tendencias de los ecosistemas de México. La generación de la serie IV (Uso de suelo y vegetación) a escala 1:250 000 editada por el INEGI, se trabajó entre los años 2006-2010 y representa una importante fuente de información que apoya los estudios

temporales de las comunidades vegetales, la generación de información estadística, así como el monitoreo de la cubierta vegetal de México y los principales usos del suelo que se desarrollan en ésta. Tal serie consta de 148 conjuntos de datos digitales y un continuo nacional en formato shapefile, y se estableció como datum de referencia el ITRF92. El procedimiento fue manual por medios digitales a partir de imágenes SPOT multiespectrales del año 2007, las cuales se ortorrectificaron. Así mismo, se respaldó la información con verificación de campo (INEGI, 2012).

ESTADO DE LA ACTUAL PRODUCCIÓN CARTOGRÁFICA

Situación con la cartografía de uso de suelo

Con la intención de desarrollar nuevos trabajos de producción de cartografía que describan el uso de suelo y la vegetación en escalas mayores 1:50 000, se pretende describir un mayor detalle de la información, mejorar la precisión y derivar aspectos temáticos en materia de recursos naturales (Victoria-Hernández, 2011). Sin embargo tal visión pudiera ser irrealizable, dado a los grandes costos económicos que este proceso implicaría. Algunos estados del país han invertido en cartografía en escala mayor en aspectos específicos necesarios, como el caso de Aguascalientes y Guanajuato. En tales procesos y apoyados por el INEGI, la metodología ha migrado del manejo de fotografía aérea al uso de imágenes de satélite. Sin embargo, tales procedimientos aun están en consideración y las metodologías de edición se están experimentando, dado a que los mapas obtenidos a través de la clasificación digital de imágenes multiespectrales basada en píxeles presentan una diversidad de errores (Franklin et al., 2000; Zhu et al., 2000; Couturier et al., 2007; Garcia-Mora T.J., and Mas J.F., 2008), se ha buscado nuevas alternativas con una serie de métodos propuestos que integran procesos informáticos y manejo de tecnologías espaciales para aproximarse a generar indicadores con mejores resultados en cuanto a su calidad. Entre los métodos alternativos los enfoques de clasificación se han encaminado al manejo “*por objeto*”, consistiendo en tomar unidades de análisis a grupos de píxeles correspondientes a objetos reales en el terreno, y por otro lado el enfoque de manejo de “*redes neuronales*”,

pudiendo incorporar diferentes tipos de información relacionados con la distribución estadística de los datos (uso de algoritmos de aproximación y de clasificación, mapas temáticos, modelos de elevación, diferencias espectrales).

Cobertura actual de cartografía para recursos naturales

En lo que respecta a la cobertura actual de cartografía vectorial para recursos naturales se cuenta con productos para *Geología* (datos vectoriales 1:1 000 000 y 1:250 000, catalogo de metadatos, diccionario de datos, disponible en el web), *Edafología* (datos vectoriales 1:1 000 000 y 1:250 000, catalogo de metadatos, diccionario de datos, disponible en el web), *Hidrología* (datos vectoriales 1:1 000 000 y 1:250 000, catalogo de metadatos, diccionario de datos, disponible en el web, red hidrográfica a 1:50 000, estudios hidrológicos estatales y descripción de análisis físico-químicos), *Uso de suelo y vegetación* (datos vectoriales 1:1 000 000 y 1:250 000, catalogo de metadatos, diccionario de datos, disponible en el web, información botánica, herbario INEGI), *Climatología* (datos vectoriales 1:1 000 000 y 1:250 000, catalogo de metadatos, diccionario de datos, disponible en el web, información climática), *Fisiografía* (datos vectoriales 1:1 000 000 y 1:250 000, catalogo de metadatos, diccionario de datos, disponible en el web, información fisiográfica), *Uso potencial del suelo* (datos vectoriales 1:1 000 000 y 1:250 000, catalogo de metadatos, diccionario de datos, disponible en el web), *Humedales potenciales* (datos vectoriales 1:250 000), *Territorio Insular* (Metadatos y sistema de consulta). Es importante señalar que hasta el momento dicha descripción de la cobertura ha sido generada en escalas pequeñas y en la mayoría de los casos derivada de la cartografía 1:50 000. Esto ha implicado que los elementos descriptivos de cada una de las temáticas de las cuales se conforma, en general se editen sin mayor detalle y solo representando relativamente la descripción característica de sus atributos.

Situación con la cartografía vectorial topográfica

La ley de información estadística y geográfica, publicada por el Diario Oficial de la Federación (DOF), el 30 de diciembre de 1980, establece una serie de artículos y normativas que de alguna forma regulan el manejo de la información geográfica en nuestro

país. Sin embargo, en dicha ley no se especifica lo que pasaría si la evolución tecnológica, de la cual se utilizan las herramientas para producir la información, tendría que adecuar sus mecanismos y metodologías de producción, estructuración y almacenamiento, así como su representación a la vanguardia del actual desarrollo tecnológico y requerido fuertemente en la sociedad. En las últimas décadas, en cuanto a producción de cartografía en nuestro país, se han tenido importantes logros. El organismo oficial productor de cartografía del país (INEGI), ha colaborado fuertemente para establecer mecanismos facilitando el acceso más fiel a cualquier detalle de la superficie del territorio mexicano a través de sus diferentes escalas de producción cartográfica. Cabe señalar que el gran insumo oficial que décadas atrás constituyó el reto del INEGI, fue la producción de la cartografía 1:50 000, de la cual han surgido innumerables aplicaciones y desarrollos, misma que ha servido de base para la generación de cartografía para recursos naturales, entre muchos otros desarrollos.

En los múltiples usos de la producción cartográfica del país, ya sea por lo que produce el INEGI y lo que han generado las compañías particulares, se ha constatado que no existe la perfecta calidad en tal producción cartográfica, ya que la representación precisa de los objetos geográficos que conforman el territorio seguirá siendo difícil de abstraer, debido a que no hay tecnología específica que manifieste una fiel representación de la realidad. Hansen Albites (2003), describió la importancia de regular la caracterización de metadatos, así como su correspondencia a la infraestructura de datos espaciales de México (IDEMEX), de lo cual se reconoce, que no se tiene el suficiente orden y que son pocos los actuales esquemas existentes para su adecuada administración. Se menciona también como una aspiración, que se carece de un esquema de gestión y administración de la información geoespacial en un entorno tecnológico apropiado, que prevea una producción ordenada y adecuada. Aun con tales situaciones se han desarrollado importantes trabajos de investigación en diversas instituciones, quienes han aprovechado la cartografía topográfica a la escala 1:50 000 con fines de estudios diversos, adaptando esta a mecanismos, metodologías y nuevas tecnologías geoespaciales permitiendo atender diversas problemáticas dentro del ámbito del aprovechamiento de los recursos naturales, como el caso de González et al., (2004). Recientemente, en nuevas perspectivas del gobierno del País, a través del INEGI, se está editando producción cartográfica vectorial a escala 1:20,000 (Ramírez-Gordiano, 2007). Esta nueva escala oficial de información cartográfica,

no tiene aun la cobertura total del territorio. Se pretende acrecentar el nivel de detalle, así como de precisar mayores elementos, características y atributos de todos los objetos geográficos a cartografiar.

Para apoyar y atender la problemática de la falta de información de calidad vectorial y justificar este trabajo de tesis de doctorado, se describe una propuesta que beneficia un mejor conocimiento del manejo de uso de suelo en lo que respecta a uso de datos vectoriales y matriciales en el aprovechamiento de todos los insumos cartográficos que conforman a los recursos naturales. Se experimentó con la información vectorial cartográfica del país, a través de la integración de diversas tecnologías geoespaciales para generar y evidenciar los elementos erróneos en las muestras de dicha información. Estas tecnologías evidenciaron inconsistencias entre una escala y otra sobre la conformación y representación de los objetos geográficos sobre el territorio. Así mismo, se integró en la plataforma de GE información vectorial para analizar su adaptación a las imágenes, analizar la precisión de éstas y efectuando verificaciones con posicionamiento por satélite en diversos puntos, la conexión de bases de datos espaciales con Oracle Spatial, y la adaptación de plataformas sobre el Web para representar la información cartográfica sobre demanda.

HIPOTESIS Y OBJETIVO DE INVESTIGACION

HIPOTESIS

La generación de indicadores de evaluación de calidad de la cartografía vectorial incrementaran la certidumbre de los estudios para el aprovechamiento de los recursos naturales

OBJETIVOS DE LA TESIS

Desarrollar metodologías para evaluar con tecnologías geoespaciales y herramientas geomáticas, la correspondencia vectorial de muestras de la cartografía de México en sus escalas oficiales, tanto en la plataforma de Google Earth como en plataformas para información vectorial sobre el Web.

- ✓ Describir la tendencia y problemática de la mejora en la representación de la cartografía vectorial.
- ✓ Analizar y evaluar la calidad de la conformación de la cartografía vectorial, sus métricas, su representación geométrica, su exactitud posicional, su semiología gráfica, su topología y su semántica.
- ✓ Determinar la incertitud espacial debida a la propagación de errores entre diferentes escalas de datos vectoriales.
- ✓ Generar un catalogo de la relación escala-imagen en GE, para determinar indicadores escalares basados en los niveles de zoom.
- ✓ Diseñar de un prototipo para integración y digitalización de datos vectoriales utilizando el sistema de gestión de bases de datos (SGBD) Oracle, interoperable a la plataforma de GE, basado en el API de GM.

ETAPAS DE LA METODOLOGIA UTILIZADA

La metodología utilizada consistió en primer lugar a efectuar un análisis del estado del arte sobre los temas que involucran esta investigación: la modelización conceptual del proyecto con UML (Unified Modeling Language), la cartografía del País, la generalización automática y la representación múltiple, los patrones, los objetos autogeneralizantes, la cartografía sobre demanda en el Web, la aplicación de los sistemas de posicionamiento en apoyo a la generación de cartografía. Una familiarización con los datos vectoriales de las bases de datos cartográficas del país en sus diferentes escalas de producción. La etapa siguiente consistió en estudiar y analizar las plataformas GE, plataformas para cartografía sobre el Web y la Integración del Sistema de Gestión de Bases de Datos (SGBD) Oracle Spatial. Enseguida se procedió a efectuar diversas experimentaciones para la generación del catálogo de uso de indicadores escalares de GE, así como experimentaciones para integrar bases de datos espaciales sobre la misma plataforma y sobre plataformas para el Web. Las tecnologías que sirvieron a esas experimentaciones son: FME, ArcGIS, GE, Spatial Oracle, DataViewer, GeoNetwork, GNSS Solutions, GML, SVG, JAVA, JavaScript, HTML, XML, Perceptory. Se utilizaron receptores de dos bandas L1, L2 para el levantamiento en campo efectuando corrección diferencial y ligándose a la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA). Tal que mencionado precedentemente los datos utilizados para llevar a cabo tales experimentaciones, fueron solicitados oficialmente al INEGI. Para el diseño del prototipo se trabajó con el API de GM_V3, JavaScript, XML, HTML, CSS, un servidor Web XAMPP, PHP y SQL.

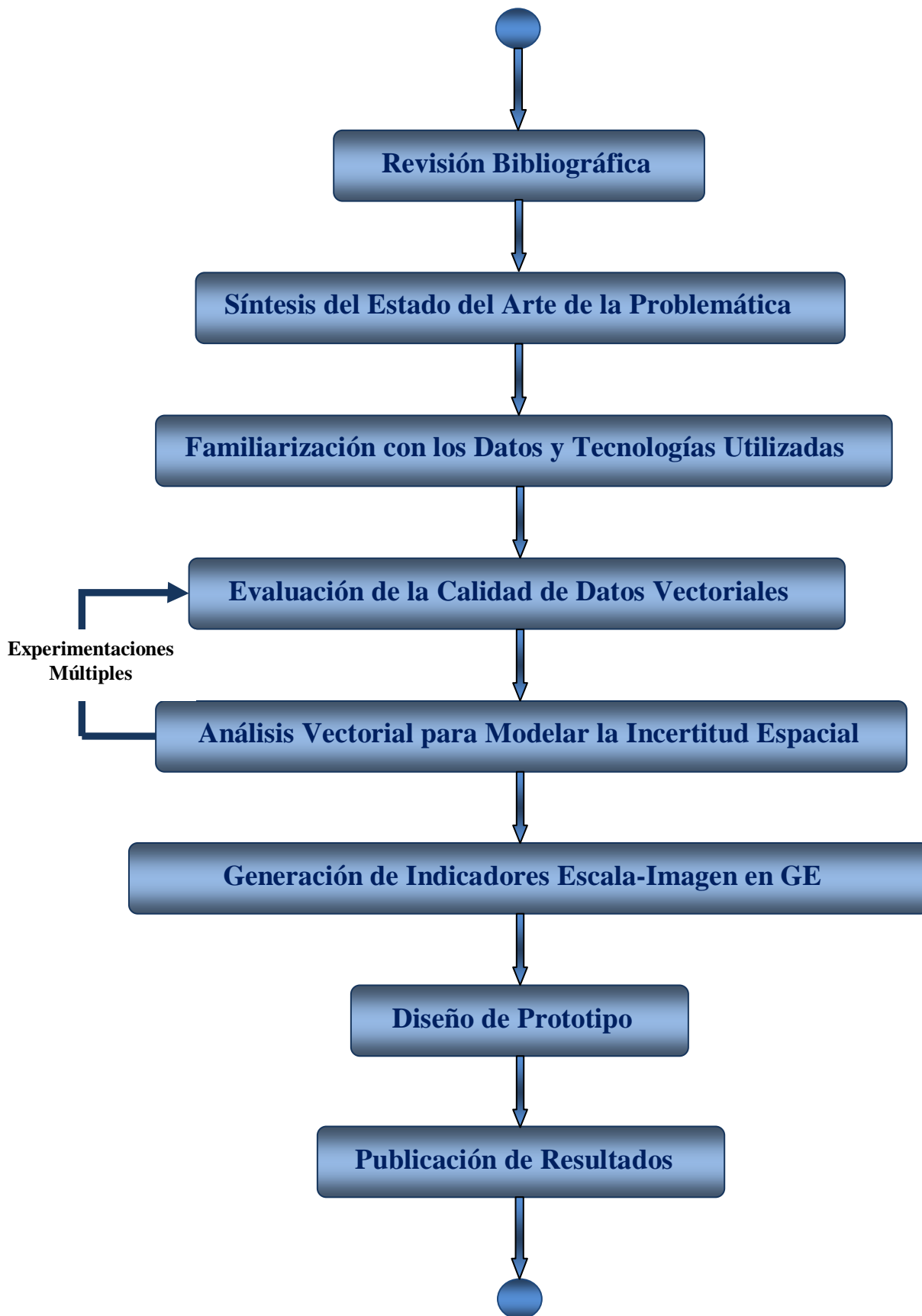


Figura1. Diagrama de Actividades de Metodología Utilizada

PRESENTACION DE LA TESIS

La presente tesis se compone de 4 artículos, de los cuales uno aceptado para publicación en la revista Investigaciones Geográficas 2012, dos sometidos a unas revistas científicas a comité de lectura y uno aceptado en una conferencia (International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences Florianopolis-SC, Brazil). Así mismo la tesis se constituye de siete capítulos.

El **segundo capítulo** presenta un estudio de literatura de los trabajos existentes en el área y ligados a la tesis, haciendo énfasis en los procesos evolutivos de la producción de cartografía y conceptos sobre la evaluación de la calidad.

El **tercer capítulo** presenta el proceso de la evaluación de la calidad de la cartografía del país, en diversas muestras de información vectorial sobre ciertas coberturas de territorio, utilizando diversas tecnologías geoespaciales.

El **cuarto capítulo** describe un análisis vectorial a fin de determinar la incertidud espacial debida a la propagación de errores entre diferentes escalas de datos.

El **quinto capítulo** presenta el proceso de la integración en GE de muestras de la cartografía del país sobre ciertas coberturas de territorio, con el objeto de analizar correspondencias geométricas, métricas y topológicas, generando indicadores de la relación escala-imagen.

El **sexto capítulo** describe el diseño de un prototipo llamado SIDDGEO, permitiendo la integración y construcción de objetos geográficos sobre plataformas en línea, integrando al Sistema de Gestión de Bases de Datos (Oracle), para cargar información vectorial, tanto en una plataforma Web, como en la plataforma de GE.

El **séptimo capítulo** concluye la tesis. Este capítulo discute también sobre los resultados obtenidos en esta tesis, así como los límites de la propuesta y los desafíos que son perspectiva.

Remarca: La presente tesis es esencialmente compuesta de artículos presentados en diferentes revistas científicas en periodos diferentes y dado que los diferentes artículos están ligados a la misma problemática, ciertas redundancias pueden ser notorias en las diferentes partes de la tesis a nivel de conceptos y en algunas bibliografías. Con el objeto de guiar al lector en el mensaje de la secuencia de la tesis, cada capítulo lleva una relación que encadena el desarrollo de la metodología de este trabajo.

REFERENCIAS

- Couturier, S., J. F. Mas, E. López, G. Cuevas, A. Vega and V. Tapia (2007). "Accuracy assessment of land cover maps in sub tropical countries: a sampling design for the Mexican National Forest Inventory." Online Journal of Earth Sciences 1: 127-135.
- Franklin, J., C.E. Woodcock and R. Warbington (2000). "Multi-attribute vegetation maps of forest services lands in California supporting resource management decisions." Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 66: 1209-1217.
- García-Mora, T. J., and Mas J.F. (2008). "Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México." Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM 67(ISSN 0188-4611): 7-19.
- Gonzalez M. Treviño Garza E. J. Aguirre C. O.A., J. P. (2004). Rodalización mediante sistemas de información geográfica y sensores remotos. Investigaciones Geográficas, . Boletín del Instituto de Geografía, , UNAM. 53: 39-57.
- Grossner, K. E. (2006). "Is Google Earth, "Digital Earth" Defining a Vision." NSF IGERT in Interactive Digital Multimedia(DGE-0221713): 13.
- Hansen Albites, F. A. (2003). Metadatos e infraestructuras de datos espaciales. B. d. I. S. N. E. y. d. I. Geográfica. **2**: 26.
- INEGI (2012). Guía para la interpretación de cartografía (Uso de suelo y vegetación, escala 1:250 000, Serie IV). I. N. d. E. y. Geografía. Mexico, INEGI. 1: 126.
- Mas, J. F., A. Velázquez, J.L. Palacio y G. Bocco (2002). Wall-to wall land use / Land cover Mapping of Mexico: The National Forest Inventory 2000. Proceeding of the 29th International Symposium on Remote Sensing of the Environment, Buenos Aires, Argentina.
- Palacio-Prieto, J. L., M.T. Sánchez-Salazar, J.M. Casado Izquierdo, E. Propin Frejomil, J. Delgado Campos, A. Velázquez Montes, L. Chias Becerril, M.I. Ortiz Alvarez, J. González Zánchez, G. Negrete Fernández, J. Gabriel Morales, R. Márquez Huitzil (2004). Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio. S. d. M. A. y. R. N. I. N. d. Ecología. Mexico, D.R. Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN 970-32-1885-7: 164.

- Palacio, P., J.L., G. Bocco, A. Velázquez, J.F. Mas, F. Takaki, A. Victoria, L. Luna, G. Gómez, J. López, M. Palma, I. Trejo, A. Peralta, J. Prado, A. Rodríguez, R. Mayorga y F. González (2000). "La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del inventario forestal nacional 2000." Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM 43: 183-203.
- Ramírez-Gordiano, J. C. R., Rodríguez-Ramos, S., Carrillo-Martínez, T. (2007). Generación de la Carta Topográfica Escala 1:20 000 INEGI. Aguascalientes, México, INEGI. 1: 26.
- Robinson, A. H., Morrison, J.L., Muehrcke, P.C., Kimerling, A.J., Guptill, S.C. (1995). Elements of Cartography. USA.
- Sánchez, C., S., A. Flores Martínez, I.A. Cruz Leyva y Velazquez A. (2008). Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. II Estudio del País. CONABIO. México.
- Sorani, V., and Alvarez, R. (1996). "Hybrids maps: a solution for updating of forest cartography with satellite images and existing information." Geocarto International 11(4): 17-23.
- Velázquez, A., Mas Jean F., Palacio Jose Luis (2002). Análisis de cambio de uso de suelo. I. d. G. UNAM. MEXICO, Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT): 95.
- Velázquez, A., Mas Jean F., R. Mayorga-Saucedo, J.L. Palacio, G. Bocco, G. Gómez-Rodríguez, L. Luna-González, I. Trejo, J. López-García, M. Palma, A. Peralta y J. Prado-Molina (2001). "El Inventario Forestal Nacional 2000: Potencial de uso y alcances,." Ciencias 64: 13-19.
- Victoria-Hernandez, A., Niño-Alcocer, M., Rodríguez-Avalos, J.A., Argumedo-Espinoza, J.A. (2011). Generación de Información de Uso de Suelo y Vegetación, Proyectos y Convenios escala 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. 1.
- Zhu, Z. L., L. M. Yang, S. V. Stehman and R. L. Czaplewski (2000). "Accuracy assessment for the U.S. Geological Survey Regional Land-Cover Mapping Program: New York and New Jersey Region." Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 66: 1425-1435.

CAPITULO 2 ESTADO DEL ARTE DE LA PRODUCCION CARTOGRAFICA

Los trabajos de la presente tesis necesitan la comprensión de diversos conceptos en lo concerniente a la evolución de producción de cartografía. Tales descripciones señalan el ámbito de la generación de cartografía dentro de una serie de mecanismos que han sido sujeto de investigación a través de las últimas décadas. Entre ellos se describe el proceso de evolución de la producción, los procesos de la generalización cartográfica automática, la representación múltiple, la cartografía sobre demanda y las tendencias para evaluar cartografía en las etapas de producción, así como la problemática de la propagación de errores. En segundo lugar se describen los conceptos y problemáticas ligadas a la evaluación de la calidad; de ello se describen, los elementos de calidad y las tendencias para sistemas y modelos de calidad.

El proceso evolutivo de la producción de cartografía y conceptos sobre la calidad

De la realidad al dato

Uno de los retos más difíciles para representar la realidad de la forma y dimensiones de objetos geográficos con todos sus elementos y su relación de espacio en la Tierra, ha sido la aplicación de metodologías de abstracción, conformando a los fenómenos discretos y continuos que en ella existen. En las últimas décadas y a partir de la evolución de la informática, todos los procesos de las ciencias para estudiar la forma y dimensiones de la Tierra, fueron evolucionando y migrando de aplicaciones análogas a digitales con la adopción de nuevos equipos y programas de computo que permitieron integrar la representación de los objetos geográficos con primitivas geométricas atómicas, tales que el punto, la línea y la conformación de líneas (el Polígono).

ii **Fenómeno Discreto:** Localizado en un lugar fijo sobre el territorio y bien delimitado (Ej: Edificio, Calle, Fuente, Montaña, Valle, Zona Agrícola o Forestal, etc.)

Fenómeno Continuo: Puede encontrarse o ser medido por todas partes sobre el territorio cubierto (EJ: Temperatura, Precipitación, Suelo, Bosque, Río, etc.)

Para lograr representar el proceso de abstracción de los objetos de la realidad con las primitivas geométricas, se han utilizado según Aalders (2002) dos etapas:

Conceptualización = definición de las entidades que deben ser consideradas del mundo real y la abstracción de los objetos seleccionados.

Medición = la especificación de los métodos de medición y los requerimientos de medición para la captura de los datos.

Dicho proceso de abstracción se ha hecho manifiesto en nuestro país desarrollándose más por los métodos de medición y poco considerando el importante proceso de conceptualización. Esto, debido a que no se le ha dado un verdadero seguimiento a mantener un estatus científico dentro de los organismos de servicios, encargados a través de los años de regir la representación del territorio. Por otro lado, el mayor desarrollo de los métodos de captura y edición de información se ha efectuado con procedimientos en fotogrametría; diseño de cartografía asistida por vectorización de cartas de diferentes escalas y de diferentes usos; digitalización de planos generados con procedimientos topográficos; diseño de cartas en procesos manuales con fotointerpretación y utilizando fotografía aérea; entre otros mecanismos. En dichos procedimientos, se contaba con sistemas de referencia para determinar posiciones de los objetos, dentro del marco de las especificaciones geodésicas y cartográficas siguiendo estándares internacionales, pero en la mayoría de los casos con políticas específicas del país. Esto trajo como consecuencia, que al considerar más el interés del desarrollo de metodologías de medición, para abstraer los rasgos de los objetos de la realidad, no se tuvieran claras definiciones de la forma de percibir dichos objetos. Como lo menciona van Oort (2005) si no se tiene una clara definición de la abstracción de objetos de la realidad, la naturaleza del objeto será captada con imprecisión y al mismo tiempo la imprecisión de dicho objeto, obstaculiza la medida del error.

La generalización cartográfica automática

En los últimos 35 años, los procesos de producción cartográfica han ido cambiando. Ciertos países, queriendo optimizar recursos, han dado la oportunidad a los científicos para la búsqueda de propuestas, generando mecanismos de optimización a través de procesos informáticos para derivar cartografía de una escala detallada a una escala con menos detalle (proceso de generalización automática a través de algoritmos). Este proceso, se ha llevado a cabo por tres aproximaciones: *medios orientados a tratamientos* (Ruas, 2002; Barrault et al., 2002; Mustié et al., 2002; Weibel et al., 2002; Lehto, 2001), basado exclusivamente en el uso de algoritmos para cumplir con operaciones de generalización; *medios a representaciones múltiples*, (Van Oosterom 1992; Weibel et al., 1999; Vangenot et al., 2002), teniendo en cuenta el diseño y manejo de bases de datos espaciales a representación múltiple y *medios combinando ambos*, (Allouche et Moulin 2001; Cecconi, 2002; Cárdenas et al., 2004; Jabeur, 2006; Sabo M.N. et al., 2007) por la situación de la imposibilidad de automatizar enteramente a la generalización y las problemáticas de la representación múltiple. Esta tendencia del proceso de generalización automática se ha dado en países que se han involucrado en la búsqueda de mecanismos para automatizar la generación de cartografía en diversas escalas a partir de bases de datos detalladas. De igual manera se han interesado en explorar tecnologías espaciales para trabajar en nuevos procedimientos de generación de cartografía; evaluación de la calidad de datos, regulación del desarrollo de tecnologías espaciales y en la idea de migrar a producir cartografía utilizando actuales imágenes de satélite. Dado que en estas etapas de generalización cartográfica resulta complejo regular el control de la representación verdadera de los objetos geográficos sobre el territorio, así como poder medir su correspondencia geométrica, de exactitud posicional, semántica y topológica, se pensó en otros mecanismos para tratar a los objetos geográficos a partir de ejercer un mayor valor en objetos específicos pudiendo estos ser representados en múltiples escalas de producción.

La representación múltiple

La representación múltiple es un mecanismo que liga a los objetos o fenómenos geográficos en su concepción y representación a nivel de una escala que los describe, analizando siempre que un mayor nivel de detalle de la información se puede aprovechar para modelar diferentes niveles de abstracción de la realidad. Es decir, describir un mismo objeto geográfico en diferentes representaciones de escalas. Que idealmente, esta sería la ventaja si se lograra desde una base de datos robusta con información detallada derivar cartografía en diferentes escalas (desafío de la generalización cartográfica automática). Los trabajos en representación múltiple datan desde los años 80's, y a través de ese tiempo en el ámbito científico se han desarrollado diversas metodologías (Kilpeläine 2000; Bédard *et al.* 2002; Timpf et Frank 1995; Van Oosterom et Schenkelaars 1995; Vangenot 1998) tales que: estructuras multi-capas, estructuras jerárquicas, los arboles jerárquicos o representación múltiple implícita, el estampillaje, los vuelos, los patrones geométricos, la asociación con multiagentes y la relación con objetos auto-generalisantes. Sin embargo, existe una serie de problemáticas que según Devogele et al., (2002) se han presentado en tres vertientes desde el punto de vista de las bases de datos espaciales: a) en la relación de las abstracciones, b) en la relación de las instancias de las diferentes representaciones, c) y la definición de un proceso de apareamiento de las instancias.

La cartografía bajo demanda o sobre pedido

Las tendencias del aprovechamiento de la información cartográfica en medios tecnológicos siguen en aumento, sin embargo, las políticas de control de su aprovechamiento son poco reguladas. En sus inicios la cartografía en línea estaba limitada a la visualización de cartas estáticas de formato matricial (Bernier et al. 2003). Hoy en día, es común utilizar cartografía en tecnologías móviles (celulares, navegadores, pantallas de rutas para automóviles, ipod) así como la creciente demanda de cartografía en línea (maps on demand), de los cuales la interactividad de la información es una prioridad más que la calidad de la información. Siendo dado que tales aplicaciones de cartografía aprovechan la

naturaleza espacial de los datos con el propósito de permitir a los usuarios visualizar la información geográfica, no se hace énfasis en la correcta representación de dicha información para su adecuado análisis. Más preocupante aun, es que tal aprovechamiento de la información cartográfica es utilizada para análisis de problemas, o la realización de estudios, usándola en el estado original con inconsistencias e irregularidades, los procesos de control de calidad solo son utilizados por ciertos países que han establecido normativas. Desde el punto de vista de la producción cartográfica, el Web ha presentado diversas ventajas con respecto a la cartografía tradicional (cartas papel), dado que el Web ofrece accesibilidad y actualidad (Van Elzakker 2001). Por otro lado, debido a la creciente demanda de cartografía en el Web, cada vez hay nuevas herramientas que permiten la oportunidad del análisis de la superficie de la Tierra, generalmente la mayoría de los sitios de cartografía conservan los datos a cierta escala predefinida y los usuarios están restringidos a navegar entre ellas limitándose en general a la visualización de temas específicos y a la selección de la simbología de ciertos elementos. Las aplicaciones más utilizadas en la actualidad son aquellas que ofrecen servicios de itinerarios, localización de sitios, ubicación de rutas, plataformas para actualización de objetos geográficos, y nuevas tendencias tecnológicas para la modelización virtual de objetos. Según las estadísticas de comeScore Media Metrix (www.comscore.com/metrix) millones de cartas en el web son utilizadas por día y la cantidad de sitios que dan acceso a los datos cartográficos va en aumento (Peterson 2003). Por otra parte, las necesidades de información cartográfica requeridas por los usuarios del sector profesional van en aumento y son diversas. Este tipo de usuarios están conscientes de la importancia de establecer políticas de calidad en los procesos de producción de cartografía (Van der Steen, 2000). La producción de cartografía bajo demanda, es controlada a criterio de quienes la producen, mismos que establecen los requerimientos potenciales de uso. Cada organismo productor ha evolucionado en la forma de concebirla y tales producciones de cartografía han sido diversas en metodologías. Décadas atrás y antes de la aparición de las bases de datos espaciales, los productores de cartografía percibían la concepción de cartas según necesidades específicas teniendo en cuenta grandes volúmenes de producción, generalmente producciones en serie representando a los territorios a través de cartas topográficas en cierta escala.

Con la democratización del uso la información geográfica y su accesibilidad, la cartografía en la actualidad debe satisfacer diferentes necesidades puntuales, ya sea en términos de escala, de diversas temáticas, de semiología gráfica. A fin de tomar en cuenta las necesidades de los usuarios, trabajos de investigación describen desarrollos de herramientas para la creación de cartas sobre demanda (Gbei et al., 2003; Bernier et al., 2005).

La problemática de la propagación de errores en cartografía

En la producción de cartografía vectorial han sido utilizadas diversas metodologías de generación de la información geográfica. Sin embargo, en los diferentes procesos han existido errores con la información que muy probablemente se han propagado a través de las diferentes etapas de producción y reedición. En recientes trabajos sobre el análisis de la propagación de errores, la tendencia se presenta en generar una especie de prototipos que puedan filtrar a través de software la incoherencia de los elementos cartográficos mal representados o no correspondientes en sus formas métricas (topología, geometría, correspondencia lógica y semántica). De los trabajos de investigación de WU D. et al. (2010) se describe una metodología a través de un modelo que evalúa la calidad de específicos rasgos cartográficos, sin embargo el autor hace hincapié en lo siguiente, “it is necessary to extend the theoretical model of error and quality control and change from the former study of error and uncertainty to user-led evaluation of the suitability”. Esta claro que más que utilizar herramientas de detección de errores, lo ideal sería hacer algo para no seguir propagando estos. Por otro lado, la propuesta de Bédard et al. (2004) con el prototipo Multidimensional User Manual (MUM), herramienta de análisis de datos geoespaciales para determinadas áreas cartográficas en estudio, el cual señala con indicadores estadísticos la calidad de dichos datos espaciales en la interface de un ambiente vía SOLAP (Spatial On Line Analytical Processing), (Bédard et al., 2005; Bédard Y., 2012).

Búsqueda de la evaluación de la calidad en la producción de cartografía

En la evolución de los procesos de la producción cartográfica, en lo que concierne a calidad de la representación de los objetos del mundo real, se ha tenido una serie de diversos acontecimientos encausados por la informatización de los procesos de producción, que han marcado la pauta en la necesidad de normativas buscando la calidad de datos espaciales. Dado, a que la evolución de la producción cartográfica en las últimas décadas, ha pasado de procesos enteramente manuales, costosos en inversión de tiempo y esfuerzos, a una diversidad de técnicas automáticas o semi automáticas menos costosas en recursos. Por lo cual ciertas iniciativas han sido comentadas en la comunidad científica. Devillers (2007), describe dos perspectivas de investigación al respecto: 1. Entre más eficiente sea la comunicación y el conocimiento de la evaluación de la calidad de la información se ayudaría a los usuarios a entender las limitaciones de los datos 2. La gestión de la calidad de la información al interior de una base de datos estructurada, cuando se asocia con herramientas SIG, podría proveer resultados adaptados a la manipulación de datos para las áreas de interés. En los últimos años, se ha acrecentado la necesidad de atender y analizar aspectos diversos en la búsqueda de calidad de los procesos de producción cartográfica. Dado que cualquier usuario puede utilizar la información cartográfica para diferentes fines, no se puede garantizar el buen uso de esta, ni controlar los posibles procesos en los cuales estará sometida. Por un lado, no existe la requerida cultura profesional en los usuarios para aprovechar con discreción el potencial de uso de ésta. De igual manera, no estando la información cartográfica sometida a procesos de calidad y al aprovecharse para diferentes fines, se genera un arrastre de errores de un lado a otro que no son controlables, ocasionado frecuentes inconsistencias. Descrito por Goodchild (1992) como un problema creciente, se postularon perspectivas de investigación que comenzaron a atender el problema de la evolución de los procesos de producción cartográfica en cuanto al control de la calidad, con el desarrollo de nuevas tendencias tecnológicas siendo aprovechadas en los procesos de producción. En la actualidad, la ideología para aplicar estándares de calidad de datos en todos los aspectos de producción es todavía un reto (Goodchild, 2012), ya que esta problemática ha sido atendida en ciertos países y en otros permanece sin control. Tal situación, sigue acarreado por consecuencia en los países en donde aun no se regula,

problemas de representación de los objetos geográficos, inconsistencias para la interoperabilidad de la correspondencia de los mismos, así como ligereza indiscriminada para el uso, aprovechamiento y tratamientos sobre la información cartográfica.

La definición de elementos de la calidad

Se definieron una serie de elementos de la calidad de datos espaciales según los siguientes autores y organismos que han pugnado por establecer un control a nivel mundial: Aronoff (1989), SDTS (1992), CEN/TC287 (1995), ISO/TC211 (2002-2009). Los elementos determinados fueron los siguientes:

1. Linaje (Lineage).- Que refiere al origen o la fuente de la información de la cual los datos fueron derivados, los métodos de derivación, incluyendo todas las transformaciones que se efectuaron en dicho proceso.
2. Precisión de la posición (Positional accuracy).- Corresponde a los valores de la exactitud de las coordenadas, distinciones entre la exactitud posicional relativa y absoluta, así como la exactitud posicional vertical y horizontal.
3. Precisión de los atributos (Attribute accuracy).- Corresponde a la exactitud de todos los atributos en cuanto a su forma posicional y temporal. Estos se pueden medir de cuatro escalas de medida: radio, intervalo, ordinal y nominal.
4. Consistencia lógica (Logical consistency).- Esta corresponde a la fidelidad entre las relaciones codificadas en las estructuras de datos (correspondencia en datos gráficos, topológicos, geometría, consistencia topológica y semántica, en formato, dominio, etc.).
5. Completud (Completeness).- Es la medida de la ausencia de datos o la presencia de exceso de los mismos. La calidad de dichos datos debe incluir información acerca de criterios de selección.
6. Exactitud semántica (Semantic accuracy).- La interconectividad de todos los elementos y aquellos de la calidad de los datos presiona a la importancia de describir fuentes diversas de objetos con excepción de error.
7. Uso, propósito, restricciones (Usage, purpose, constraints).- Considera al uso potencial que se le dará a los datos

8. Calidad temporal (Temporal quality).- Refiere a la exactitud de las medidas en tiempo, su validación temporal, su consistencia temporal, actualización, su índice de cambio y lapso temporal.
9. Variación en calidad (Variation in quality).- Refiere a la homogeneidad, como una textual y cualitativa descripción de la uniformidad en la calidad de los parámetros en un conjunto de datos geográficos
10. Meta-calidad (Meta-quality).- Este elemento proporciona la información en la calidad de la descripción de la calidad.
11. Resolución (Resolution).- En cuanto a la “variación en calidad” y “meta-calidad”, el elemento “resolución” se encuentra sobre todo como sub-elemento de otros elementos espaciales de la calidad de los datos o de otros elementos de los meta datos.

De los elementos descritos precedentemente, se señalan a cinco de ellos como los más populares, desde el punto de vista en la perspectiva de la calidad de datos espaciales y son: la positional accuracy, attribute accuracy, temporal accuracy, logical consistency, and completeness. (Guptill and Morrison 1995; ISO/TC 211, 2012)

Implementación de nuevos modelos de evaluación de la calidad

La ideología al implementar nuevos modelos de evaluación de la calidad de datos, va de la mano con el uso de metodologías asociadas a los requerimientos de usuarios y los objetivos de búsqueda de información de calidad. Según los análisis de la problemática que describió Van Oort (2006), en cuanto la ignorancia de los usuarios sobre mantener y procurar la calidad de datos, se debió a frecuentes circunstancias propiciadas por la democratización de la producción cartográfica y el uso y aprovechamiento de la información geográfica, para cualquier persona que en la mayoría de los casos no ha tenido solidas bases de formación en cartografía.

1. *La disponibilidad e intercambio de los datos espaciales se incrementó,*
2. *Hay grupos crecientes de usuarios menos enterados de la calidad espacial de datos,*
3. *Los SIG permiten el uso de datos espaciales de todo tipo sin importar la relación con la calidad de datos espaciales,*

4. *Los SIG actuales tratan muy poco herramientas para la gestión de la calidad de datos espaciales,*
5. *Existe una distancia considerable entre los usuarios de datos espaciales y aquellos que siendo usuarios se informan sobre la calidad. Además productores de datos espaciales proporcionan poca información sobre la calidad de datos espaciales.*

En las nuevas perspectivas de investigación para el manejo de la calidad de datos espaciales se han descrito los nuevos horizontes pretendiendo abarcar la cobertura de necesidades de la información geográfica en los diversos ámbitos del territorio (Larrivéé et al., 2011; Bédard, 2011). De aquí la importancia de manifestar que si los *recursos naturales* son abstraídos y representados a través de la conformación de objetos espaciales, estos requieren su específica representación que debe ser estandarizada y controlada con los elementos de orden calificativo y cuantitativo manifiestos en la precisión y la exactitud que a ellos debe corresponder.

LITERATURA CITADA

- Aalders, H. G. J. L. (2002). The Registration of Quality in a GIS. . Spatial Data Quality. T. a. Francis. London: 186-299.
- Allouche M.K. et Moulin B. (2001). "Reconnaissance de patterns par réseaux de neurones: application à la généralisation cartographique." Revue Internationale de Géomatique 11(2): 251-279.
- Aronoff, S. (1989). Geographic Information Systems: a Management Perspective. Ottawa.
- Barrault M. et Bader M. (2002). Les algorithmes de déplacement. Généralisation et Représentation Multiple. R. A. (Ed.). Paris, Hermes science publications. 287-302.
- Bédard, Y., Devillers, Rodolphe., Gervais, Marc & Jeansoulin Robert (2004). Towards Multidimensional User Manuals for Geospatial Datasets: Legal Issues and their Considerations into the Design of a Technological Solution. Third International Symposium on Spatial Data Quality (ISSDQ). ISSDQ. Bruck an der Leitha, Austria. 1: 9.
- Bédard, Y. (2011). Data Quality + Risk Management + Legal Liability = Evolving Professional Practices. FIG Working Week 2011. F. W. W. 2011. Marrakech, Morocco.

- Bedard Y. (2012). Origines, évolution and défis de la technologie SOLAP. Conférence sur invitation, Paris, France, Mines ParisTech á Sophia.
- Bédard Y., B. E. e. D. R. (2002). La métastructure VUEL et la gestion des représentations multiples. Généralisation et Représentation Multiple. Rus A. (Ed). Paris, Hermes science publications: 149-162.
- Bedard Y., R. S., Proulx M. J. (2005). Spatial On-Line Analytical Processing (SOLAP): Concepts, Architectures and Solutions from a Geomatics Engineering Perspective. . Geomatics Engineering Perspective. DataWarehouses and OLAP: Concepts, Architectures and Solutions. E. Group. Canadá.
- Bernier E., B. Y. a. H. F. (2005). UMapIT: an on-demand Web mapping tool based on a multiple representation database. Proceeding of 8th ICA WORKSHOP on Generalisation and Multiple Representation. ICA. Coruña, Spain.
- Bernier E., B. Y. e. L. M. (2003). "Cartographie sur demande sur le Web et bases de données multidimensionnelles. De la personnalisation par couche cartographique à la personnalisation par occurrences." Revue Internationale de Géomatique 13(3): 339-359.
- Cardenas A. (2004). Utilisation des Patrons Géométriques comme Support à la Généralisation Automatique. Département des sciences géomatiques. Québec, Laval. M.Sc.: 110.
- Cecconi, A. (2002). Improving Map Generalization for On -- Demand Mapping by Multiscale Databases Databases. Joint Workshop on Multi Multi -- Scale Representations of Spatial Data. In: Department of Geography GIS Division and S. University of Zurich (Editors). Ottawa, 19.
- CEN/TC 287, t. I. T. (1995). Draft Quality Model for Geographic Information. CEN/TC 287, Brussels, European Committee for Standardization Working Paper D3.
- Devillers R., B. Y. (2007). "Towards spatial data quality information analysis tools for experts assessing the fitness for use of spatial data." International Journal of Geographical Information Science 21(3): 261-282.
- Devogele T., B. T. e. L. T. (2002). La problématique de la représentation multiple. Généralisation et Représentation Multiple. H. s. publications. Paris, Ruas A. (Ed.), : 55-74.
- Gbei E., M. B., Cosma I., Jabeur N. et Delval N., (2003). "Conception d'un prototype de service Web géolocalisé appliqué à l'industrie récréotouristique." Revue Internationale de Géomatique 13: 375-395.
- Goodchild, M. F. (1992). Sharing Imperfect Data. Institutions Sharing Spatial Information. NCGIA. San Diego, National Center for Geographic Information and Analysis. 1: 10.
- Goodchild, M. F. a. L. L. (2012). "Assuring the quality of volunteered geographic information." Spatial Statistics 1(DOI: 10.1016/j.spasta.2012.03.002): 110-120.

- Guptill, S., C., Morrison, Joel L. (1995). Elements of spatial data quality. New York, USA, Oxford, U.K. and Tarrytown.
- ISO/TC211 (2012). ISO 19155:2012. Geographic information -- Place Identifier (PI) architecture. ISO, TC/SC: TC 211. ICS: 35.240.70.
- Jabeur, N. (2006). Multi-Agent System for On-The-Fly Web Map Generation and Spatial Conflict Resolution. Departement des sciences informatiques/Géomatique. Québec, Laval. Ph.D.: 275.
- Kilpelainen T. (2000). "Maintenance of multiple representation database for topographic data." The Cartographic Journal 37(2): 101-107.
- Larrivée, S., Y. Bédard, M. Gervais, T. Roy (2011). New Horizons for Spatial Data Quality Research. 7th International Symposium on Spatial Data Quality (ISSDQ 2011). ISSDQ. Coimbra, Portugal.
- Lehto, L. a. K., T., (2001). Generalizing XML-Encoded Spatial Data on the web. Proc. of 20th International Cartographic Conference, Pékin, 2390-2396.
- Mustière, S. (2002). Apprentissage Supervisé pour la Généralisation Cartographique. Université Pierre et Marie Curie Paris. Doctorat Thesis.
- Peterson M. (2003). Maps and the Internet: An introduction. Maps and the Internet. P. M. (Ed.). London, Elsevier. 1-16.
- Ruas, A. (2002). "Les problématiques de l'automatisation de la généralisation." Généralisation et Représentation Multiple(Ruas, A. Ed.): 75-90.
- Sabo M.N. (2007). Intégration des Algorithmes de Généralisation et des Patrons Géométriques pour la Création des Objets Auto-Généralisants (SGO) afin D'améliorer la Généralisation Cartographique à la Volée. Faculté de Foresterie et Géomatique. Quebec, LAVAL. Ph.D.: 225.
- SDTS (1992). Spatial Data Transfer Standard (SDTS).
- Timpf S. and Frank A.U. (1995). A multi-scale data structure for cartographic objects. Proceeding of 17th International Cartographic Conference, Barcelone, Spain.
- Van der Steen, S. J. F. M. (2000). Publishing on demand, technical possibilities and limitations. Seminar on On-demand Mapping, ICA Commission on Map Generalization,, Barcelona, Catalunya.
- Van Elzakker C.P.J.M. (2001). Use of maps on the Web. Web Cartography: Developments and Prospects. K. M.-J. a. B. A. (Eds.). Londres, Taylor & Francis. 21-36.
- van Oort, P. (2005). Spatial data quality: from description to application. NCG Nederlandse Commissie voor Geodesie Netherlands Geodetic Commission. Delft, The Netherlands, Netherlands Geodetic Commission is part of the Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences (KNAW). Ph.D.: 140.

- van Oort, P. (2006). Do users ignore spatial data quality? 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences., Lisbon, Portugal.
- Van Oosterom P. (1992). "A storage structure for a multi-scale database: the reactive-tree." Computer, Environment and Urban Systems 16: 239-247.
- Van Oosterom P. and Schenkelaars V. (1995). "The development of an interactive multi-scale GIS." International Journal of Geographical Information Systems 9(5): 489-507.
- Vangenot, C., Parent, C. and Spaccapietra, S., (1998). "Représentation multi-résolution Concepts pour la description de bases de données avec multi représentation." Revue internationale de géomatique 8(1-2): 121-147.
- Vangenot, C., Parent, C. and Spaccapietra, S., (2002). Modélisation et manipulation de données spatiales avec multireprésentation dans le modèle MADS. Généralisation et représentation Multiple. I. L. (Editor). Paris, Hermès Science Publications. 93-112.
- Weibel, R., Bernier, E., Bédard, Y. and Cecconi, A., (2002). La généralisation à la volée. Généralisation et représentation multiple. H. Science. Paris, 319-333.
- Weibel R. and Dutton G. (1999). "Generalising spatial data and dealing with multiple representations." Geographic Information Systems- Principles and Technical Issues. Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J. and Rhind D.W. (Eds.)(John Wiley & Sons,): 125-155.
- Wu D. Hu H. Yang X.M. , Z. Y. D., Zhang L.H. (2010). Digital Chart Cartography: Error and Quality Control. I. o. G. S. a. N. Key State Lab of Resources and Environmental Information system. China, Yantai Institute of Coastal Zone Research, CAS,.

CAPITULO 3. USO DE TECNOLOGIAS ESPACIALES PARA EVALUAR LA CALIDAD DE MUESTRAS VECTORIALES DE LA PRODUCCION DE CARTOGRAFIA

Aceptado para publicación como: Cárdenas-Tristán A¹ ²., Treviño-Garza E.J²., Aguirre-Calderón O.A²., Jiménez-Pérez J²., González-Tagle M.A²., Antonio-Némiga X³., Spatial Technologies to Evaluate Vectorial Samples Quality in Maps Production. Revista Investigaciones Geográficas, 2012.

RESUMEN

A pesar de los importantes progresos realizados en la materia en los últimos años, la conceptualización de la metodología para evaluar la calidad de vectores que integran la cartografía digital es aun una tarea complicada, no existiendo un esquema oficial de evaluación de la calidad de la producción cartográfica vectorial en el País. Se propone una metodología para evaluar la calidad de la producción cartográfica a través del análisis de muestras aplicadas a las diversas escalas vectoriales de la cobertura del territorio de la República Mexicana. Las pruebas realizadas con el uso de diversas tecnologías espaciales, se encuentran dentro la norma TC/211 (ISO19113 e ISO19114), estas han sido desarrolladas con el apoyo de compañías productoras de nuevas tecnologías espaciales así como del organismo oficial, productor de información vectorial en el País. Se tiene como objetivo buscar justificaciones pertinentes e indicadores potenciales, para determinar normas o modelos específicos de evaluación de la calidad, beneficiando el potencial de la producción cartográfica en el aprovechamiento de los recursos naturales y las frecuentes aplicaciones potenciales de la misma. La metodología utilizada va a la par de los avances en la investigación para establecer una mejora en las políticas de evaluación y de edición de cartografía vectorial, llevada a cabo por organismos internacionales, universidades y centros de investigación.

Palabras clave: Calidad de datos espaciales, cartografía, producción de mapas, tecnologías espaciales, datos vectoriales

ABSTRACT

Despite significant progress in recent years, the methodological conceptualization for assessing quality of vectors that integrate digital mapping is still a complicated task. Due to the fact that there is not an official scheme in México to evaluate vectorial cartographic quality, an alternative methodology is proposed for assessing vectorial quality through analysis of samples at various vectorial scales from the Mexican Republic coverage. The tests conducted with various spatial technologies are under the norm frame TC/211 (ISO19113 e ISO19114), and these have been developed with support of companies who

are producers of new spatial technologies and supported by the official producing agency of vectorial information in the country. Of which it is intended searching for appropriate evidences and potential indicators to determine norms or specific models to evaluate quality, for potential benefit of cartographic production in natural resources use and others potential applications of them. The methodology described pursues current advances in research to establish an improvement in the assessment policies in vectorial editing and mapping carried out by international agencies, universities and research centers. To make such a proposal in vectorial assessment quality, recognition was made from different approaches of those who worked in the field.

Keywords: Spatial data quality, cartography, maps production, spatial technologies, vectorial data

INTRODUCCIÓN

El incremento tecnológico en estos últimos años, en cuanto a desarrollos de nuevas tecnologías espaciales, ha permitido que se atiendan diversas problemáticas en el ámbito de la información geográfica; en cuanto a su forma de generarla, los métodos para manipular sus componentes primitivos vectoriales (puntos, líneas y la conformación de polígonos), la adecuación de la información a ciertas necesidades puntuales de los usuarios, la oportunidad de hacer interoperables los diversos formatos en la que se presenta, la adecuación a nuevas infraestructuras de datos espaciales y la oportunidad que se tiene de utilizar ésta para nuevas perspectivas en el conocimiento del territorio. Si en el pasado la producción de cartografía se limitaba prácticamente a la producción de cartas estáticas en serie, la revolución de estos últimos años ha facilitado la multiplicación de otro tipo de cartas: la carta sobre demanda (Sabo et al. 2007). La cartografía sobre demanda es una cartografía que se genera según los requerimientos puntuales de los diferentes tipos de usuarios, contrariamente a la generación de cartografía tradicional que ha sido producida en grandes cantidades para cubrir necesidades de orden general.

En la actualidad, la cartografía sobre demanda ha rebasado expectativas, debido a los innumerables desarrollos informáticos tanto comerciales (software licenciado) como el uso de software libre comandado por el Open Geospatial Consortium (OGC). Así mismo, la

posibilidad que permite Internet a través de servicios Web, con el uso de una gran variedad de herramientas CASE (Computer Aided Software Engineering) y nuevas tecnologías espaciales. De igual manera, el acceso a diferentes bases de datos de información geográfica, con la oportunidad de entrar a diferentes servidores en línea permitiendo la descarga gratuita de dicha información. En lo que se requería para producir cartografía tradicional y demandando la mano de especialistas, la cartografía sobre demanda, aunada al concepto de democratización de la información, permitió que usuarios con nuevos conocimientos en geomática y utilizando las mencionadas tecnologías espaciales (Sistemas de Información Geográfica (SIG), uso de imágenes de satélite, software para la generalización cartográfica automática, los sistemas de posicionamiento por satélite, la videogrametría, la tecnología lidar, entre otras), puedan fabricar simple y rápidamente la cartografía deseada sin entrar en largos procesos tradicionales de formación y la adquisición de experiencia a través de los años. Por otro lado, usuarios sin formación e interesados en el uso y concepción de cartografía sobre demanda, tienen los mismos derechos originados por la libertad del uso de las tecnologías espaciales y su aplicación en el manejo de la información geográfica para manipular y generar mapas sobre demanda. Goodchild (1995), calificó esta situación como preocupante debido a la poca responsabilidad que puede existir de usuarios sin conocimiento adecuado queriendo concebir cartografía sobre demanda. “GIS is its own worst enemy: by inviting people to find new uses for data, it also invites them to be irresponsible in their use”. Con la democratización del uso la información geográfica y su accesibilidad, la cartografía en la actualidad debe satisfacer diferentes necesidades puntuales, ya sea en términos de escala, de diversas temáticas, de semiología gráfica, y potencialmente en la diversificación de ciertos elementos específicos para el aprovechamiento de los recursos naturales que hoy en día son tendencias potenciales con el propósito de regular, controlar, medir, preservar, ordenar y aprovechar las nuevas perspectivas de dependencia económica de los territorios.

Considerando los recientes avances tecnológicos y tratando de responder a una de las necesidades más importantes en los últimos 30 años “*la generación de la calidad en datos espaciales*”, que ha sido poco atendida. Se busca reencontrar en ello el principio del conocimiento del territorio lo más fiel y adecuado posible, a través de la producción de cartografía que considere los elementos correspondientes a su generación en calidad. La

producción de cartografía tradicionalmente ha representado un largo procedimiento que comprende la adquisición y la validación de información, la elaboración de bases de datos cartográficas y la generación de cartografía en diferentes escalas. Procedimientos que se ha buscado optimizar a través de la generalización cartográfica automática (McMaster 1991; Weibel et al., 1999; Allouche *et al.*, 2001; Jabeur 2006) y la representación múltiple (Rigaux 1994; Vangenot 1998; Müller *et al.* 1995; Devogele *et al.* 2002, Bédard *et al.* 2002; Bernier 2002; Cárdenas 2004) facilitando la generalización automática. Estos aspectos de optimización de dicha producción cartográfica, se ha buscado apegarlos a los estándares actuales que por un lado buscan responder a necesidades frecuentes de información geográfica puntual y por el otro no dejan de lado la intención de cuidar la generación de dicha información en cuanto a la calidad de datos. Sin embargo, no es del todo conocida por la gran masa de usuarios la cultura de la búsqueda de dicha calidad en la producción de datos. Recientemente Kumi-Boateng et al., (2010), concientiza en el establecimiento de políticas para autenticar la calidad de la producción de datos espaciales, *“is not only useful for in-house data development, but data customers and users are able to determine the validity of data by checking the sources and procedures used to create the data.”* El objetivo en este artículo busca proponer una metodología alternativa para evaluar la calidad vectorial a través del análisis de muestras en diversas escalas de la cobertura de la República Mexicana.

ANTECEDENTES

En la última década se han propuesto una serie de alternativas permitiendo la valoración de la calidad de la cartografía que se ha producido en diferentes países. Estas alternativas han sido la respuesta a crecientes necesidades en la determinación de la calidad de datos espaciales de fuentes cartográficas. Países como Reino Unido, Francia, Canadá y España, han logrado establecer mecanismos que han compartido a la comunidad internacional, como el caso de los trabajos en España por Ariza et al. (2002) con la producción de dos libros (Calidad en la Producción Cartográfica y Casos Prácticos de Calidad en la Producción Cartográfica). Así mismo, importantes trabajos de investigación efectuados en el ámbito de la calidad cartográfica se han desarrollado. Tal es el caso de Gago Afonso et

al., (2006), quienes trabajaron con el desarrollo de una metodología en la adquisición de muestras de coordenadas de puntos planimétricos y altimétricos de una área específica a cierta escala, en donde se restituyó fotogramétricamente una hoja cartográfica de la misma zona de estudio, compuesta de fotografías aéreas a escala 1:25, 000, con el objeto de comparar los datos vectoriales obtenidos, a fin de homologar correspondencias a través de formulas en un análisis multicriterio, buscando la exactitud entre los elementos representando un mismo lugar.

Ariza et al. (2004) desarrolla un trabajo posterior con la generación del libro “*Casos prácticos de calidad en la producción cartográfica*”, dicho trabajo se orienta al control de calidad en cartografía. Los autores plantean 31 casos interesantes sobre; la mejora de la calidad, tamaños muestrales, control de procesos, control de componentes posicional y temática, simulación y control de bases de datos geográficas. Los casos prácticos presentados, fueron desarrollados en cartografías ya implementadas.

Pavicic et al., (2004), colaboraron en un sistema de calidad para la nueva generación de cartografía de Croacia a escala 1:25,000, beneficiando los rasgos topográficos. En dicho sistema se implementó un modelo de control de tal producción de cartas topográficas, acordando a las especificaciones de ISO en la calidad de elementos.

El objetivo de este proyecto de producción de datos, fue generar bases de datos considerando la exactitud posicional, de tal manera que se beneficiara la producción de cartografía a escalas más pequeñas (1:50,000, 1: 100,000 y 1:200,000). De tal proceso surgió un manual para el control de procesos de calidad y se automatizó con la adopción de la tecnología espacial FME (Safe Software Inc.) para la detección de anomalías, analizando los archivos relacionados con la especificación de productos de la cartografía, utilizando los operadores de FME Workbench. El sistema pudo detectar una variedad de errores en los objetos de análisis (en correspondencias geométricas, semánticas, semiológicas, clasificación de códigos en la construcción de polígonos conformando edificios, áreas, uso de suelo) que son controlables, a través de una serie de reportes estadísticos para el control de los procesos de calidad.

Jobst M. et Twaroch F. (2006), presentaron un método de evaluación, basado en un razonamiento estocástico para apoyar el diseño de cartografía perceptible, a través de un modelo computacional que permite que el diseñador del mapa asuma la elección de los

adecuados parámetros y la interacción entre ellos, siendo apoyado por un proceso de decisión. Se utilizaron librerías de una red bayesiana proporcionadas por Microsoft Research.

Bartoschek et al. (2006), realizaron un estudio vectorizando 153 mapas de la reserva ecológica nacional (REN) de la región de Alentejo en el sur de Portugal, con el objetivo de medir la exactitud espacial y asegurar la conformidad con la cartografía original, dado que cada condado produce sus propios mapas, se pudo generar diversidad en la implementación de leyendas. La metodología consistió en la implementación del algoritmo *sampling* dentro del diseño de una interface, en donde el algoritmo enlista la cantidad de clases y la combinación de estas de la BD original con las respectivas áreas para cada condado. El algoritmo genera muestras de la talla original de los objetos, los compara con la clasificación digital de la REN y posteriormente las referencia con la cartografía en papel en los puntos muestreados para calcular los errores posicionales y temáticos, proporcionando estimaciones y el error de muestreo.

Gui et al., (2008), describen una metodología a través de algoritmos para analizar un mapa catastral a escala 1: 1, 000 con 400 parcelas analizadas, de lo cual se derivan diversas inconsistencias en problemáticas de calidad espacial.

Sarmiento et al., (2008), desarrollan una metodología para evaluar la exactitud temática de mapas de cobertura de la tierra que usan referencias inciertas en las características de conformación. Dicha metodología consiste en la *fuzzy synthetic evaluation* (FSE), basada en la combinación de operadores borrosos lingüísticos en donde específicamente, se evalúan magnitudes de los errores por clase de la cubierta de la tierra y se mide su peso en el proceso de evaluación de la exactitud del mapa.

Stehman (2008), describe sobre los diseños de muestreo para evaluar la exactitud de mapas, debido a su demanda, al incremento de datos espaciales y a la utilización de estos. Se especifica que ahora los elementos de evaluación están basados más allá de la implementación de una matriz de error, situación generada por la diversificación a detalle de requerimientos a conocer sobre las características de la cobertura de elementos en la tierra. De lo cual, nuevos desafíos se presentan.

WU D. et al., (2010), introduce un nuevo concepto el *tetrahedron model*, para el análisis del control de calidad de la cartografía, detectando error en sus etapas de producción. La propuesta es un modelo de análisis de la calidad que propone referencias a la gente que provee datos, a quien manipula datos y a quien los verifica. Se considera al usuario como un controlador del factor de calidad el cual tendría el mismo estatus como productor. Sin embargo los autores consideran que se deberán efectuar mayores exploraciones y análisis para resolver la incertidumbre en la evaluación de los errores en la cartografía.

Por otro lado, se han desarrollado importantes investigaciones en el ámbito de la calidad de datos espaciales, estos trabajos han sido plasmados en el libro de Devillers et Jeansoulin, (2005) (*Qualité de l'information géographique*) y el reciente libro “*Spatial data quality: from process to decisions*”, Devillers (2010).

De tales trabajos de investigación y su descripción de procesos metodológicos, se ha podido constatar que la generación de modelos de calidad correspondientes a las necesidades requeridas de un determinado territorio es fundamental. Tal como se describe en los trabajos de Shi W., (2008), “*Quality control for spatial data refers to developing methods to ensure the final spatial data are produced to meet the users requirements*”. De igual manera, las metodologías que se han generado y aquellas que surjan recientemente son alternativas que van cambiando la oportunidad de mejorar los propósitos para evaluar la calidad de la producción cartográfica.

DATOS, MATERIALES UTILIZADOS Y METODOLOGÍA INICIAL

A fin de iniciar con las etapas del análisis, inicialmente había que familiarizarse con las bases de datos de la cartografía vectorial de México, así como obtener una descripción de los datos utilizados y la forma en que estos serían analizados. La metodología utilizada consistió en primer lugar en efectuar una modelización conceptual de la problemática de análisis con UML (Unified Modeling Language), una revisión del estado actual de la cartografía del País. Una familiarización con los datos vectoriales de las bases de datos cartográficas del país en sus diferentes escalas de producción (1:20,000; 1:50,000; 1:250,000 y 1:1, 000 000). Las tecnologías que sirvieron a esas experimentaciones son FME Workbench, ArcGIS, DataViewer, Google Earth (GE). Los datos utilizados para

llevar a cabo tales experimentaciones fueron solicitados oficialmente al Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI).

A fin de proceder a orientar la representación de los datos en la determinada zona de estudio, estos se verificaron y en su momento adecuaron en los operadores de las tecnologías utilizadas. Así mismo, se describe en detalle las bases de referencia de los sistemas de coordenadas utilizados en las escalas cartográficas analizadas.

Sistema de coordenadas actual:			
Escala 1:20,000	Escala 1:50,000	Escala 1:250,000	Escala 1:1,000,000
Proyección geográfica UTM, Universal Transverse Mercator Datum: ITRF92 Actualización de los Métodos: Fotogrametría-Campo de Clasificación (Superposición Raster/Vector) Fecha de edición: 2005 (Campo de clasificación), 2006 (Actualización digital), modelo de datos vectoriales, diccionario de datos topográficos, normas para la captura de datos), 2008 (inicio del proceso de edición) Intervalo de las curvas de nivel: 10 metros Escala de la fotografía utilizada: 1:40,000 Resolución espacial: 15 metros	Proyección geográfica UTM, Universal Transverse Mercator Datum: ITRF92 Fecha de edición 1993 (modelo de datos vectoriales), 1994 (altimetría y normas para la captura), 1996 (normas para la captura de datos y diccionario de datos topográficos), 1997 (Actualización digital), 2002 campo de clasificación y compilación), 2003 (Actualización digital). Intervalo de las curvas de nivel : 20 metros Software de edición: Microstation Resolución espacial : Escala de la fotografía utilizada : 1:75,000	Proyección geográfica: Lambert Conformal Conic Datum ITRF92 Fecha de edición 1996 (diccionario de datos), 2003 normas para la captura de datos y área de clasificación), 2004 Actualización digital) Intervalo de las curvas de nivel : 100 metros Software de edición : AutocadMap Resolución espacial : 15 metros	Sistema de referencia: Planimetría: NAD27, Clarke ellipsoid 1866 Altimetria: Nivel medio del mar North American vertical datum of 1929 Proyección geográfica: Lambert Conformal Conic Actualización de Datum: ITRF92 Fecha de edición: 1996 (diccionario de datos), 2000 (compilación de conjuntos), 2003 normas para captura y área de clasificación), 2004 (actualización digital) Edición de metodos: generalización cartográfica manual (cartografía asistida por computadora) sobre la base de la cartografía topográfica vectorial 1:250 000, series 2, actualizada de Noviembre 1995 a Noviembre 1997. Intervalo de las curvas de nivel : 200 metros Software de edición : AutocadMap

Tabla 1.- Descripción de los sistemas de referencia de las escalas cartográficas utilizadas

Efectuada la familiarización de la cartografía a analizar y una vez referenciada en las tecnologías utilizadas, se procedió con el análisis de algunos recortes efectuados en ArcGIS sirviendo como elementos que en su momento sobre forma de archivos serian integrados en la plataforma de FME Workbench. Posteriormente, se utilizaron una serie de operadores de la plataforma para comenzar con la integración de las capas de información requeridas. De tal manera que se clasifican las siguientes capas de información que se integraron y sus respectivas escalas:

Tipo de archivo	Operador	Elemento Geométrico
.shp 1:1m .shp 1:250k .shp 1:50k	NeighborFinder	Líneas (curvas nivel)
.shp 1: 1m .shp 1:250	NeighborFinder	Líneas (curvas nivel)
.shp 1:50k .shp 1:20k	AtributeFilter AtributeValueMapper AtributeCreator	Polígonos (manzanas, edificaciones)
.shp 1:20k .shp 1:50k	NeighborFinder	Polígonos, Líneas (manzanas, vías de comunicación)
.shp 1:20k .shp 1:50k	AtributeFilter AtributeValueMapper AtributeCreator	Polígonos, (manzanas, edificaciones)

Tabla 2.- Integración de capas .shp en FME.

La integración de datos espaciales a base de esquemas para el análisis de información vectorial

La etapa inicial para analizar las muestras de la cartografía vectorial en diferentes escalas, se hizo conforme a una serie de recortes cartográficos de espacios seleccionados en los cuales teníamos cobertura vectorial. Siendo dado que la gran cantidad de información implicaba largos procesos, concretamos analizar la información vectorial en recortes correspondientes del Estado de San Luis Potosí.

La finalidad de los recortes consistió en elegir las zonas para el análisis, a través de diversas muestras de la información, permitiendo llevar dichas muestras a través de archivos shapefile a un proceso de evaluación con la tecnología FME Workbench. En esta tecnología se efectuó un proceso de integración que implicó el análisis de información proveniente de

diferentes escalas de la misma zona de estudio (Las muestras de integración efectuadas fueron descritas en la Tabla 2).

Pouliot (2002), describe el concepto de integración de datos espaciales, como un proceso (metodológico o tecnológico) que implica la combinación de datos espacio-temporales provenientes de diferentes fuentes a fin de extraer una más grande variedad y una mejor calidad de información. De tal manera que al efectuar un proceso de integración, los datos combinados pueden incluir datos multi-temporales, datos de diversas resoluciones espaciales, datos de diversos captores o sensores, datos de diversos tipos de formatos, etc. Habiendo considerado a los diferentes juegos de datos que se utilizaron para la integración de datos señalados en la tabla 2., se dejó bien estructurado al inventario de datos espaciales, representando a la zona urbana de San Luis Potosí. Posteriormente, se procedió a analizar la coherencia espacial de los juegos de datos conjuntados en las bases de datos correspondientes. A fin de mostrar anomalías de las correspondencias geométricas, topológicas y semánticas, el análisis en FME, consistió en integrar datos de mismas o distintas fuentes de información y diferentes escalas de mismos sitios en donde los objetos debieran corresponder entre sí. De lo cual, como ejemplo en la figura 1, se tomó un pequeño extracto de una muestra de información vectorial, que describe incoherencias en la relación topológica entre escalas, así como incoherencias en la representación geométrica de la descripción de mismos objetos.

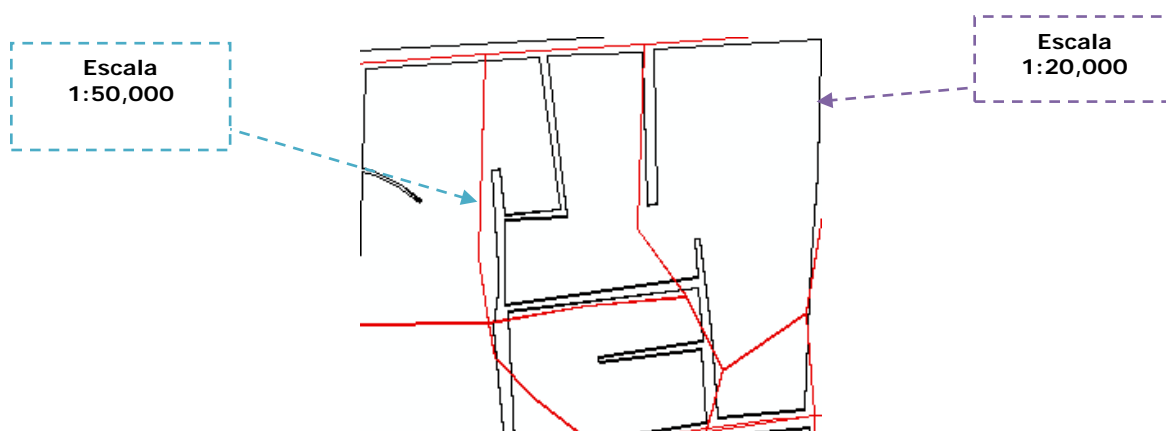


Figura 1.- Ejemplo de la evaluación en FME de correspondencias geométricas, topológicas y semánticas de un mismo sitio en dos escalas diferentes.

Por lo general, las integraciones de información de muestras vectoriales de distintas escalas analizadas, muestran en gran porcentaje la misma problemática en las correspondencias señaladas. En algunos casos, la representación semántica evidencia cambios, dado a la temporalidad de los juegos de datos producidos, por el hecho de que la producción de la escala a 1:50 000 data en fechas de edición entre 1968 y 1988, siendo integradas a la escala 1:20 000 que recientemente se está editando. Tales procesos se podrán detallar posteriormente según evaluaciones que se sigan efectuando.

El propósito de la integración de los juegos de datos señalados anteriormente, fue efectuado para analizar las relaciones geométricas, topológicas, semánticas y de exactitud posicional entre las diferentes escalas de información sobre el mismo territorio. Siendo dado que la cartografía 1:50 000 ha sido esencialmente utilizada en el país en los últimos 40 años y habiéndose iniciado el proceso de edición de la carta a 1:20 000, nos interesaba saber de las correspondencias entre ambas bases de datos de información. Por ejemplo, debiera ser común que la representación de curvas de nivel 1:50 000 que van a cada 10 mts., con respecto a las curvas de nivel a 1:20 000 que igualmente se establecen a la misma equidistancia, estas debieran coincidir respectivamente en cuanto a geometría y exactitud posicional. Sin embargo, siendo dado que en los procesos de edición la cartografía a 1:50 000, surge de una escala de fotografía a 1:75 000 y la cartografía 1:20 000, surge de una escala de fotografía a 1:40 000. Tal situación repercute quizás en la resolución de ambas escalas de fotografía siendo estas diferentes y por otro lado, en los procesos de edición alternativos que se han utilizado con el paso del tiempo y el avance tecnológico. Al mismo tiempo, la implicación del diferente personal que ha trabajado en el proceso de edición y aplicando diferentes normativas con el paso del tiempo. A fin de mostrar tales diferencias se recurrió a migrar archivos vectoriales en formato .shp de las hojas cartográficas (f14a84_50k y f14a84d_20k) de ambas escalas señaladas en la plataforma de Google Earth, según procedimientos que mas adelante se detallarán. Tales representaciones se esquematizan en las siguientes figuras 2 y 3. Según análisis de la representación geométrica, se puede describir que la cartografía vectorial que mejor representa los rasgos orográficos en las imágenes de Google Earth es la escala 1:20 000, de igual manera se puede verificar que los procesos de edición han sido de mejor calidad que los procesos efectuados con las curvas a escala 1:50 000.

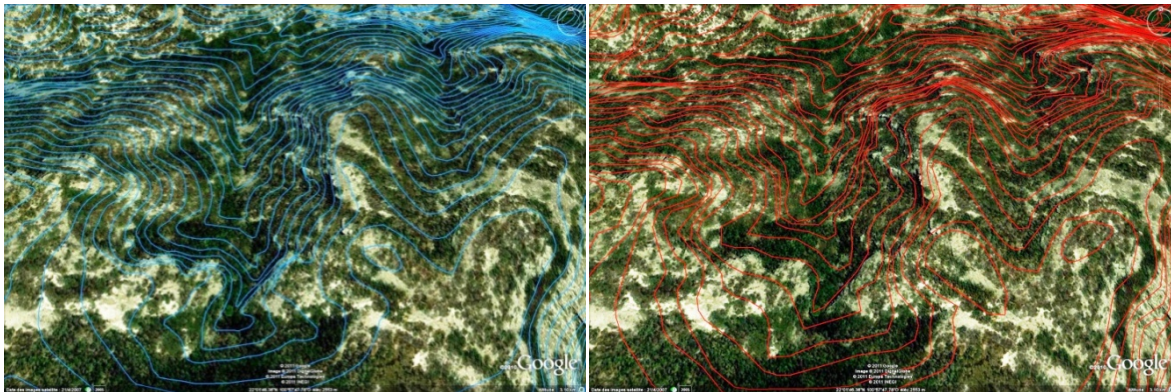


Figura 2.- Representación de capas cartográficas en azul escala 1:20 000 y en rojo escala 1:50 000 de la misma zona (integración en google earth, 2011).

Dado que dicha constitución de cartografía vectorial es reciente y en la cual se han utilizado nuevas tecnologías de edición, es natural que esto suceda, sin embargo, no debe omitirse que en el proceso de análisis de ambas coberturas vectoriales, existen anomalías de edición, que implican aun importantes faltas en la representación de la información sobre las muestras seleccionadas del territorio a analizar.

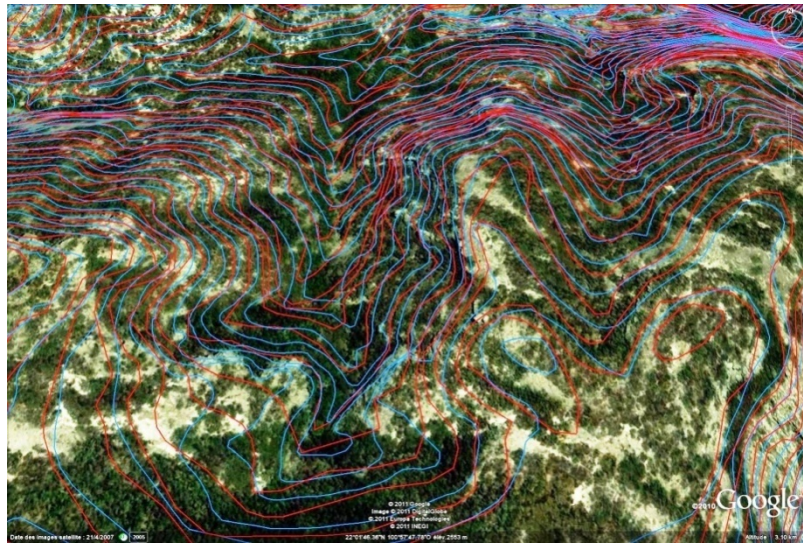


Figura 3.- Representación de ambas capas cartográficas, mostrando diferencias en la representación geométrica (integración en google earth, 2011).

El análisis de información en pro de medir métricas geométricas, topológicas y de exactitud posicional

Dados los procesos anteriores y con el propósito de conformar el proceso metodológico, recurrimos a utilizar una tecnología geoespacial que nos dio la oportunidad de adentrarnos en las etapas a seguir para evaluar aspectos específicos de la calidad cartográfica. GIS Data ReViewer, es una extensión de ArcGIS Desktop, que proporciona un sistema completo de herramientas del control de calidad (QC), para simplificar muchos aspectos del control de calidad espacial con procedimientos visuales y automatizados de los datos. Inicialmente, se pretendía trabajar con dos herramientas; GIS Data ReViewer y Geo Network, sin embargo solo se pudo utilizar la primera, debido a problemáticas de instalación y compatibilidad de la tecnología con los sistemas con que actualmente contamos.

ESCALA 1:20,000	ESCALA 1:50,000
CARACTERISTICAS: Producto cartográfico que integra información de infraestructura, orografía, hidrografía, y poblaciones del país, compilada mediante técnicas fotogramétricas a partir de fotografías aéreas, información geodésica y verificación de campo	CARACTERISTICAS: Producto cartográfico que integra información de infraestructura, orografía, hidrografía, y poblaciones del país, compilada mediante técnicas fotogramétricas a partir de fotografías aéreas, información geodésica y verificación de campo
FORMATO DE COBERTURA: (Lat: 07° 30' Long: 06° 40')	FORMATO DE COBERTURA: (Lat: 15° Long: 20°)
AREA EN KM²: Área aproximada de 160 kilómetros cuadrados	AREA EN KM²: Área aproximada de 960 kilómetros cuadrados

Tabla 3.- Descripción y características de la cobertura de hojas cartográficas a escalas 20K y 50K (INEGI).

Posteriormente y habiéndonos familiarizado con el manejo de la tecnología “Data ReViewer”, se logró conformar la integración de una hoja cartográfica de cobertura del territorio seleccionado a escala 1:50 000, así como las 6 correspondientes hojas cartográficas a escala 1:20 000 representando a una misma zona de estudio. En la tabla 3, se da una descripción de las áreas de cobertura de ambas escalas y sus diversas características. Siendo dado que la cantidad de información es basta, nos concentramos en analizar las capas de información que siendo más representativas (curvas de nivel, vías de comunicación, calles, manzanas, edificaciones, etc.), estas permiten el análisis de su

conformación a través de sus primitivas (puntos, líneas y la conformación de polígonos). Se planteo analizar, el cómo son representadas capas de información que en ambos casos, estas pueden tener diferentes nombres sobre la información que representan. Así mismo, el interés se concentró en poder medir las divergencias de representatividad geométrica, topológica y por ende el grado de exactitud posicional. La selección de las capas vectoriales de información para efectuar su análisis de conformación a partir de las primitivas geométricas, se ejecutó según la serie de parámetros existentes en DataReviewer en pro de evaluar la calidad vectorial. Existen alrededor de 42 operadores espaciales, los cuales son manipulados a través de operaciones directas, determinando los parámetros adecuados según el tipo de dato que se esté manipulando. Así mismo, se puede efectuar la evaluación de la calidad por medio de consultas SQL, teniendo en existencia la conformación de la base de datos adecuada que se crea en ArcCatalog, su extensión es .gdb, y para leer los archivos en ArcMap se utiliza la extensión .shp o .mxd. DataReviewer, también nos permitió una importante forma de verificar el estado actual de la representación de la geometría y la topología de ciertos objetos que en su mayoría no correspondían a la verdadera representación de los rasgos del territorio en las zonas estudiadas. En tales procesos que serán descritos en la siguiente sección, se logró encontrar anomalías en una integración de los datos vectoriales de cierta escala, sobre las porciones del territorio correspondientes en la plataforma de GE. Una vez editada correctamente la representación vectorial, ésta permitió que se generaran los indicadores estadísticos de dicho proceso de edición, el cual generó una alternativa de análisis de la calidad vectorial cartográfica pudiendo resolver la anomalía dentro de los operadores de DataReviewer.

Los resultados de evaluación de calidad de las diversas tecnologías utilizadas

Evaluación de las correspondencias geométricas

La mayoría de los conflictos de representación de la información vectorial tienen que ver con el nivel de detalle en su geometría, y para tal situación, se analizaron diversos juegos de datos que implícitamente en su constitución tienen anomalías ligadas a la forma en que

están editados. Dado que la *estructura vectorial* se compone de puntos, líneas y la conformación de polígonos a la forma de estructuras matemáticas en geometría plana. Esta, divide el espacio de manera discontinua, siendo asociada a las métricas cartesianas (X,Y,Z). Dicha estructura, se adapta bien a la representación de las entidades de fronteras fácilmente identificables como los límites administrativos, las propiedades, los trabajos de ingeniería, las delimitaciones territoriales, etc. La topología de esta estructura no está implícita y puede ser explicitada de diferentes formas. Dicha estructura vectorial esta codificada de diversas maneras (en vector simple, vector conectado y vector topológico), para fines de análisis con los operadores de la tecnología utilizada, se examinó la conformación de las codificaciones en las que actualmente está constituida dicha cartografía vectorial. Los operadores espaciales de dicha tecnología, son algoritmos que ejecutan diversas funciones para facilitar el análisis de requerimientos con el objeto de evaluar la calidad de la información constituida a través de las primitivas vectoriales. Para comenzar con el primer análisis, se eligieron una serie de operadores espaciales, que se aplicaron al concentrado de curvas, perteneciente a la hoja cartográfica (f14a83), de la escala 1:50 000. (ver figura 4).

Automated Check Report By Group									
Report generated on 21/06/2011 06:45 p.m. by uaslp									
Reviewer Workspace Location: J:\Información_Geográfica_INEGI3\curvas50.gdb									
Session(s): Session 1 : Curva50									
Batch Job Name	Date/Time	Batch Job Group	Check Type	Check Title	Records Validated	Total Results	Total Percent Accuracy	Distinct Results	Distinct Percent Accuracy
curva50					28404	6007	78,85%	2508	91,17%
	21/06/2011 03:19:26 p.m.								
		Curva50_part8			1998	3996	- 100,00%	1998	0,00%
				Regular Expression Check					
				Regular Expression Check	1998	3996	- 100,00%	1998	0,00%
	21/06/2011 03:18:18 p.m.								
		Curva50_part7			6102	75	98,77%	75	98,77%
				Evaluate Part Count Check					
				Evaluate Part Count Check	3051	0	100,00%	0	100,00%
				Evaluate Vertex Count Check					
				Evaluate Vertex Count Check	3051	75	97,54%	75	97,54%
	21/06/2011 03:10:36 p.m.								
		Curva50_part6			6102	3	99,95%	3	99,95%
				Cutbacks Check					
				Cutbacks Check	3051	2	99,93%	2	99,93%

Evaluate Polyline Length Check						
	Longitud de la Linea	3051	1	99,97%	1	99,97%
21/06/2011 03:00:17 p.m.						
	Curva50_part11	1998	0	100,00%	0	100,00%
Valency Check						
	Valency Check	1998	0	100,00%	0	100,00%
21/06/2011 02:59:05 p.m.						
	Curva50_part1	12204	1933	84,16%	1933	84,16%
Invalid Geometry Check						
	Geometría Inválida	3051	0	100,00%	0	100,00%
Multipart Line Check						
	Multipart Line	3051	0	100,00%	0	100,00%
Non-Linear Segment Check						
	Non-Linear Segment	3051	0	100,00%	0	100,00%
Polyline or Path Closes on Self Check						
	Polyline or Path Closes	3051	1933	36,64%	1933	36,64%
Total		28404	6007	78,85%	2508	91,17%

Figura 4.- Reporte de verificación en grupo del conjunto de curvas vectoriales de la hoja cartográfica (f14a83), escala 50K, aplicando diversos operadores espaciales.

Se pretendía efectuar un chequeo de la *expresión regular* de la constitución de los vectores (seriación de polilíneas) conformando a las curvas; una verificación de los elementos que las integran, una evaluación de la conformación de vértices, una verificación de reducciones en las polilíneas, la longitud de las líneas, la geometría inválida, las polilíneas multipartes, los no segmentos lineares y el cierre de las trayectorias de las polilíneas. Efectuado el proceso con la aplicación de dichos operadores espaciales, sólo tuvieron efecto, aquellos en los cuales se encontraron anomalías dentro de sus funciones de análisis, para fines de evaluar la calidad. Este reporte, representa el indicador porcentual del tipo de evaluación que se ejerce con los diversos operadores espaciales existentes de la tecnología. Dado que la evaluación de la constitución geométrica de vectores conformando al objeto curvas y éste, siendo representado por una serie de polilíneas interconectadas, expresando la elevación y forma del terreno, su evaluación de calidad no termina aquí, ya que adicionalmente, se tiene que evidenciar la representación de la forma geométrica sobre una imagen de fondo en el territorio correspondiente. Este proceso, por lo general se puede efectuar al interior de DataReviewer, solo que en esta ocasión las ortofotos con las que contamos tienen mala resolución y datan de fechas muy anteriores, situación que nos llevo a experimentar con la plataforma de google earth pro, que al momento presenta mayor

resolución en las imágenes, estas están actualizadas y se puede interoperar vía archivos shapefile, con la aplicación de una serie de procedimientos que han sido experimentados. Para apoyar la consistencia en la problemática de la representación de correspondencias geométricas entre información de mismos sitios, nos apoyamos con la tecnología FME Workbench, quien nos permitió integrar las diversas capas de información vectorial hasta con tres diferentes juegos de datos en las escalas 1:20 000, 1:50 000 y 1:250 000, utilizando diferentes operadores espaciales de la tecnología. Por otro lado, los parámetros de la semiología gráfica de DataViewer no nos permitió analizar la integración de los tres diversos juegos de datos con diferentes texturas y colores, sin embargo, si se logró efectuar los test, aplicando operadores espaciales grupalmente al conjunto integrado de escalas vectoriales en la denominación de los objetos; curvas, vías de comunicación, calles, manzanas y edificaciones. En las siguientes figuras 10 y 11 se ejemplifican resultados de las actuales correspondencias en cuanto a curvas.

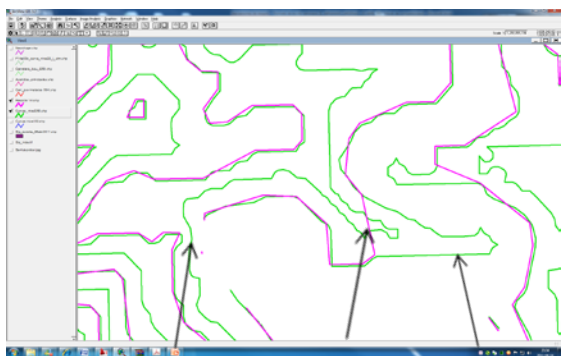


Figura 5.- Integración de capas vectoriales 1:250 000 (verde) y 1: 1 000 000 (rosa).

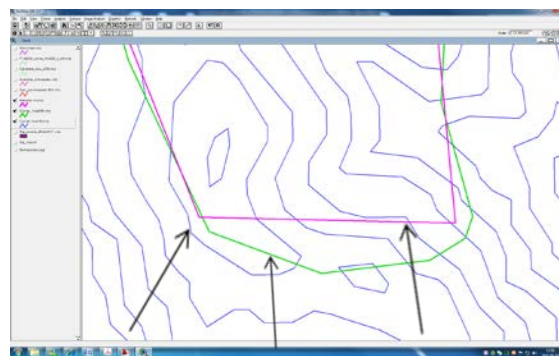


Figura 6.- Integración de capas 1:1 000 000(rosa), curvas a 1:250 000 (verde) y a 1:50 000 (azul).

Al verificar correspondencias de mismas curvas en distintas escalas, la representación geométrica, debiendo ser similar, difiere en gran medida en la lógica de la representación del territorio. De igual manera, si se pusiera una imagen de fondo se puede constatar dichas incoherencias en lo que se representa de la zona de estudio. Las escalas 1:250 000 y 1:1 000 000 al parecer han sido sometidas a procesos de generalización cartográfica de tipo manual, que en su tiempo debido a la falta de tecnologías y quizás a la poca importancia que se le adjudicaba a la edición de la calidad de lo que estas escalas representarían del territorio.

Evaluación de las correspondencias topológicas

En lo que respecta a la evaluación de correspondencias topológicas, el análisis efectuado en DataReviewer fue particularmente complejo, debido a que utilizamos una reciente versión de prueba en la cual, los operadores espaciales que verifican la topología estaban deshabilitados. Sin embargo, si se pudo constatar diversas anomalías correspondientes a la topología entre objetos correspondientes de una misma zona en las dos diferentes escalas (1:20 000 y 1:50 000), dichas escalas fueron las que más nos interesaron por la representatividad de detalle en los objetos de las capas de información describiendo el territorio Mexicano. Según evaluación de muestras analizando problemas de topología, se trató de medir las inconsistencias relacionadas entre mismos objetos, como señalado anteriormente. De tales análisis, constatamos importantes diferencias que refieren a diversas problemáticas en los procesos de edición tradicionales. Al analizar la hoja cartográfica *f14a84_continuo curva_50_utm* y revisando sus atributos que detallan su identificador, la clasificación de la polilínea, la elevación de la curva, su clave, entre otros atributos, y comparando la integración de estos con la hoja cartográfica *f14a84d_curva nivel_20_utm*, que corresponde a mismo lugar, de igual manera checando mismos atributos pudimos percibir diferencias de orden topológico señaladas en la siguiente figura 7.

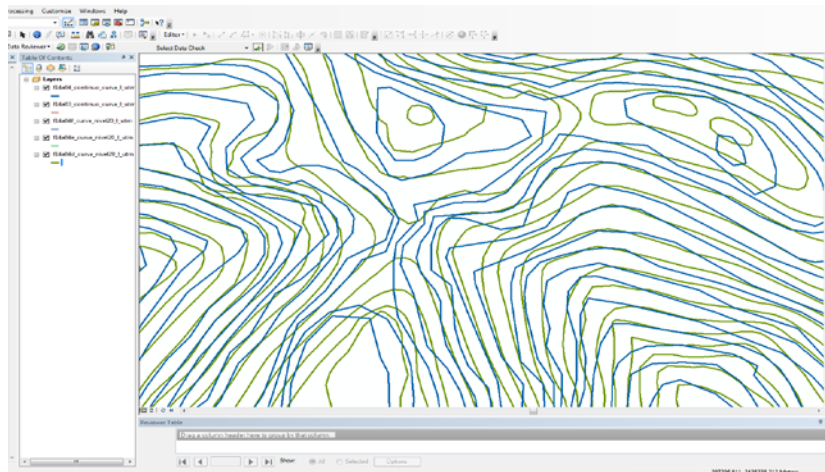


Figura 7.- Representación y análisis topológico de la hoja cartográfica *f14a84_continuo curva_50_utm* (azul), en relación con la hoja cartográfica *f14a84d_curva nivel_20_utm* (verde).

Lo que nos llamó la atención, fue que estando las curvas de ambas escalas editadas a cada 10 mts, estas tienen amplias diferencias de correspondencia en relación a la

representatividad del terreno que describen. En color azul se describe al continuo de curvas a escala 50k con una geometría falta en calidad de edición y con diversos y frecuentes picos, que si los analizamos en un zoom, podríamos ver que la edición carece de sentido con respecto a la elevación del territorio que representan. Así mismo, en la gran cantidad de las hojas cartográficas cubriendo el territorio Mexicano de la misma escala, se encuentran las mismas y frecuentes problemáticas de falta de calidad. Por otro lado, en color verde se describe a las curvas de nivel a escala 20k, las cuales por el nivel de detalle se mejora la posibilidad de edición, sin embargo persisten inconsistencias en ciertas hojas cartográficas de la misma escala. La cuestión en ambas situaciones, sería que estando las curvas representando en misma elevación a un determinado territorio, estas carecen de lógica y la problemática se ha querido evaluar desde un punto de vista topológico. Por otro lado, se analizó otro juego de datos correspondientes a la hoja cartográfica *f14a84_calle_50_utm* (polilíneas en color morado) y la hoja cartográfica *f14a84d_manzana_20_utm*, correspondientes a la integración de una misma zona en la tecnología Datareviewer,(Ver Figura 8).

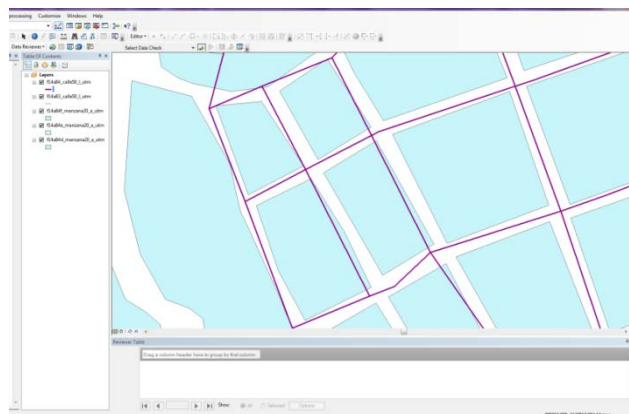


Figura 8.- Representación y análisis topológico de la hoja cartográfica *f14a84_calle_50_utm*, en relación con la hoja cartográfica *f14a84d_manzana_20_utm*.

En dicho análisis, la descripción de la capa cartográfica en color morado, correspondiente a la hoja cartográfica *f14a84_calle_50_utm*, describe una representación sobre el terreno que difiere de la representación de la capa cartográfica en color azul describiendo la geometría de las manzanas correspondientes a la hoja cartográfica *f14a84d_manzana_20_utm*, en donde se visualiza un problema de orden topológico entres ambas escalas de información.

Continuando con el análisis, se integró otro juego de datos correspondientes a las hojas cartográficas *f14a84d_calle_20_utm* (color morado) y *f14a84d_carretera_20_utm* (color verde), (ver figura 14).

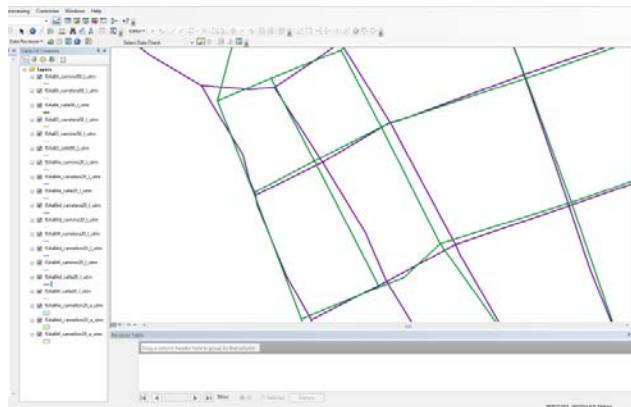


Figura 9.- Representación y análisis topológico de la hoja cartográfica *f14a84d_calle_20_utm*, en relación con la hoja cartográfica *f14a84d_carretera_20_utm*.

En tal análisis se constató, que de igual manera en capas de información de misma escala, existen importantes diferencias de orden de representatividad geométrica, que derivan en problemas de topología en relación al territorio que representan. La situación de este análisis, nos permitió constatar lo siguiente; si en el uso de cartografía vectorial a escala 1:50 000, en el cual se han desarrollado innumerables proyectos a través de décadas y siendo éstos basados en dicha producción cartográfica, ¿qué confianza se podría tener de cualquier usuario de la cartografía vectorial, que ha generado desarrollos?. Más bien tendríamos que ejercer un cierto nivel de desconfianza de lo que se ha desarrollado en innumerables proyectos sobre el territorio, tomando de base a la cartografía 1:50 000. Estando en proceso el desarrollo de cartografía vectorial a escala 1:20 000, en el que el nivel de detalle de la información debe ser más fiel y tiene que describir con una más clara representatividad al territorio, pues aun en esta escala se manifiestan anomalías, que quizás correspondan a los procesos de edición actuales o a la falta de atención en la implementación de un proceso normativo de la evaluación de la calidad de dicha producción cartográfica.

Evaluación de las correspondencias semánticas

En la tecnología utilizada para evaluar la calidad vectorial, no existen operadores espaciales pudiendo generar una evaluación de la coherencia semántica y temática de los juegos de datos espaciales, los cuales han sido seleccionados en muestras o recortes vectoriales. Inicialmente nos apoyamos con FME, con el objetivo de asegurar un apareamiento a nivel del significado de los datos, relacionados en su identificación y su descripción. Se efectuó la integración semántica de ciertos juegos de datos geoespaciales, utilizando información de dos y tres escalas diferentes (1:20 000, 1:50 000 y 1:250 000) sobre el mismo territorio. Dado que en el País no se cuenta con una infraestructura de datos espaciales establecida del todo, en ésta se pudo haber obtenido un referencial semántico de base, buscando su compatibilidad con los juegos de datos de las bases de datos de las escalas utilizadas. Por lo general, las infraestructuras de datos geoespaciales, siendo establecidas para ordenar y administrar la gran cantidad de información espacial conformando a un País, se pueden tomar como infraestructura de referencia, comparable a la masa de producción de información geográfica, generada por los diversos organismos e instituciones productoras.

A fin de asegurar una conjunción de lazos geométricos entre las primitivas de una misma temática, en relación con las hojas cartográficas correspondientes a las zonas de estudios a través de muestras, nuestra oportunidad, estuvo basada en utilizar las bases de datos existentes y hacer las comparaciones entre ellas mismas. Dichas hojas cartográficas del INEGI fueron las siguientes: escala 1:50 000 (F14A83 y F14A84), escala 1:20 000 (F14A83C, F14A83F, F14A84A, F14A84D y F14A84E). En los análisis de tales juegos de datos se pudo constatar que no existen problemas mayores semánticos encontrados. Los juegos de datos analizados, tienen los mismos atributos con la misma estructura, las clases de objetos difieren en nombre, pero los dominios de valor para las clases de objetos son comparables entre ambas representaciones de la información.

Resultados de la edición de anomalías geométricas, apoyando el proceso de evaluación de calidad en DataReviewer a partir de la herramienta Editor (Reshape Feature Tool y Edit vértices)

De las oportunidades presentadas por la tecnología utilizada para el análisis de la calidad de datos vectoriales, que pueden representar a la diversidad de objetos geográficos conformados por estructuras vectoriales, es el uso de herramientas de edición de la forma y posición de vectores. Tal oportunidad, se convirtió en el medio de evaluación de la calidad que permite corregir y reeditar al instante las anomalías de representatividad geométrica, así como las anomalías de problemáticas topológicas, de posición y de forma. Para este proceso, la tecnología utilizada, demanda la base de datos que será evaluada, siendo identificada por el formato.gdb, la cual es leída al tener activo ArcMap.

Inicialmente, utilizando imágenes referenciadas de fondo e integrando la capa o recorte cartográfico de la zona de estudio, se superponen los datos vectoriales de dicha capa o recorte cartográfico sobre la imagen en cuestión y se hace la identificación del estado actual de la representatividad geométrica de la cartografía vectorial, en relación con la correspondencia de la información de las imágenes.

Cabe señalar que la referenciación de los parámetros de las imágenes tanto en DataReviewer como en la plataforma de google earth pro, deben corresponder a la relación de parámetros espaciales de los datos vectoriales que se estén analizando. En las siguientes figuras 15, 16, 17 y 18, se describen los procedimientos de las etapas para reeditar los vectores, a fin de presentar una mejor correspondencia de la geometría representando al objeto.



Figura 10.- Detección y análisis de la instancia 1454, representando una casa-habitación en la clase de objeto manzana20_utm de la hoja cartográfica F14A8d a escala 20k.

Dentro de los procesos de integración de la hoja o recorte cartográfico y el análisis de su calidad posicional en relación a las imágenes de la zona de estudio, se describen 1843 ocurrencias del dominio de valor en la clase de objeto denominado como “FID”, determinados en la tecnología utilizada para la evaluación de la calidad. Las problemáticas señalan un desfase geométrico que se visualiza común en las ocurrencias de la manzana que representa al conjunto habitacional de la zona de análisis, (ver figura 16). Dicho desfase se manifiesta en un promedio de 3 a 4 metros de la posición de cada vértice. En las demás instancias aledañas alrededor de la zona de estudio, se manifiesta un desfase variado que va de 0 a 4 metros. El análisis de correspondencia de la geometría de los vectores que representa a la variedad de objetos de la zona de estudio a través del dominio de valor “manzanas”, viene de una fuente de edición de cartografía vectorial a escala 1:20 000, en donde se señala anteriormente que dicha escala cartográfica integra la siguiente información: infraestructura, orografía, hidrografía, y poblaciones del país. Dado que los detalles de los rubros señalados son importantes en esta escala, la calidad de la edición generada por medios y procesos fotogramétricos, no es sometida a un proceso de evaluación oficial que en su momento podría corregir anomalías y verificar la calidad de su producción.



Figura 11.- Muestra de la zona de estudio, que al centro describe al conglomerado de casas-habitación, representando un desfase en la geometría con respecto a la posición.

Para continuar con el proceso de edición de la instancia 1454, en la herramienta Editor (Reshape Feature Tool y Edit vértices) de DataReviewer, se selecciona dicha instancia que nos muestra una tabla con la descripción de sus atributos (ver figura 17). En ese momento se procede a preparar al objeto para comenzar con su análisis de posición con respecto a la imagen de base que señala las anomalías de desfase y se procede a reeditar. En esta etapa, se tiene que ser muy cuidadoso de lo que se va a seleccionar como anomalías a reeditar, ya que todo dependerá del objetivo de la reedición. Así mismo, el criterio a tomar en base a que reeditar, depende de las necesidades específicas del análisis sobre el cual y según determinados fines, se debe plasmar la calidad vectorial.

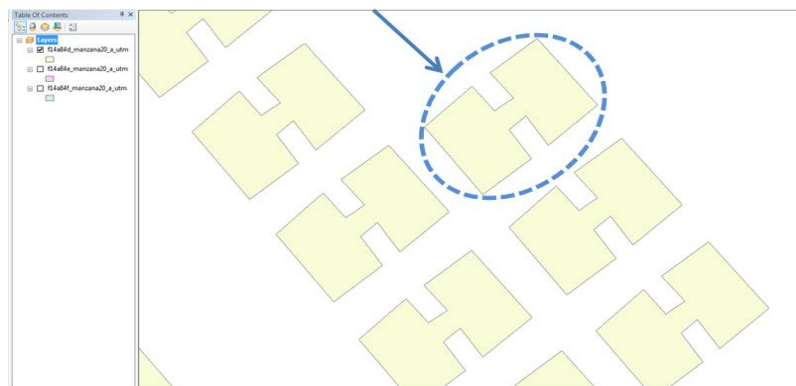


Figura 12.- Selección y análisis de atributos y parámetros de la ocurrencia 1454, representando una casa-habitación en la clase de objeto manzana20_utm de la hoja cartográfica F14A8d a escala 20k.

Es importante indicar que para efectuar el análisis de los vectores representando a las casas-habitación en la actual geometría de la hoja cartográfica F14A8d a escala 1:20 000, entraríamos en un exhaustivo proceso de evaluación de calidad. De tal manera que para reeditar la actual conformación geométrica de los objetos que se señala, su objetivo debe estar bien determinado, ya que serian demasiados objetos a reeditar y los procesos serian largos. Para apoyar la metodología de este análisis, nos concentramos en mostrar la edición de un solo objeto, que ejemplifica los procesos a seguir si se deseara reeditar grandes cantidades de objetos. Dicha metodología, apoyaría la corriente de investigación en la *aproximación interactiva o inteligencia amplificada* (Sabo, 2007), la cual utiliza sistemas comerciales para la generalización interactiva, debido a la dificultad de encontrar soluciones enteramente automatizadas.

El objeto que ha sido seleccionado, corresponde a una representación geométrica de la realidad a través de la conformación de vectores. Dicho objeto escogido al azar, nos describió su posición a partir de coordenadas UTM (ver figura 13), las cuales fueron analizadas con respecto a las coordenadas de la imagen utilizada como base en la zona de estudio.

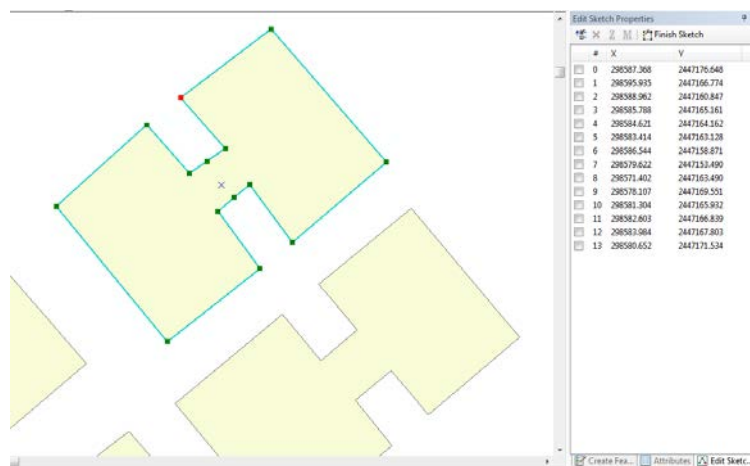


Figura 13.- Ubicación de coordenadas de posición inicial de vértices de la instancia 1454 e inicio de procesos de reedición.

Una vez señalando los vértices del objeto sobre la posición de la imagen, las coordenadas se reeditan y van dibujando la nueva y mejor forma de representación geométrica, correspondiente al objeto a corregir (ver figura 14). Se tendrá que decidir de la cantidad de vértices del objeto a reeditar y esto dependerá de la mejor representación geométrica que se desee obtener sobre los objetos a analizar. En este caso, se buscó corregir un desfase de la representación geométrica de la ocurrencia 1454, de la hoja cartográfica señalada anteriormente. Así mismo, la exactitud posicional de la geometría del objeto, permite cumplir con una procedural forma de evaluar la calidad vectorial, reeditando con herramientas la forma más adecuada al representar objetos de la realidad. Habiendo explicado anteriormente que las ortofotos existentes de la zona de estudio tenían mala resolución y que databan de fechas anteriores, éstas no permitían ver las correspondencias geométricas actualizadas de la actual edición de la cartografía vectorial del INEGI a escala 1:20 000. Tal situación nos llevó a experimentar con la plataforma google earth pro, que nos permitió explorar su factibilidad en relación a la importación de archivos shapefile vía formato kml, así como los diversos procesos de conversión de formatos a través de diferentes talleres de ingeniería de software (CASE).

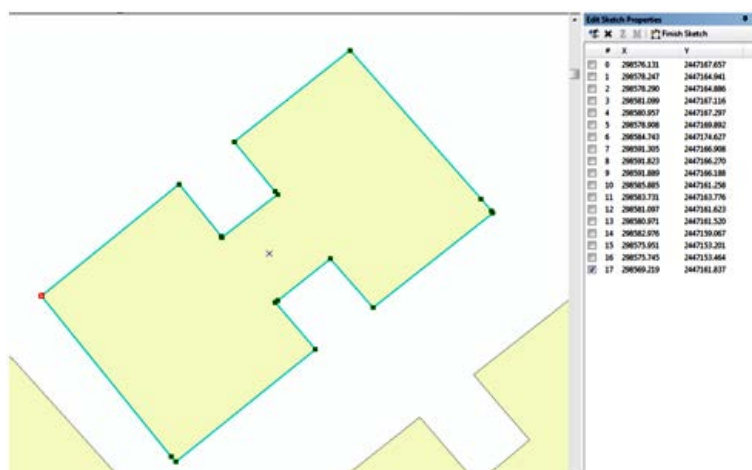


Figura 14.- Instancia 1454 reeditada y sus nuevas coordenadas de posición de vértices corregidas.

Se aplicaron diversos procedimientos de edición a diferentes hojas cartográficas de la zona de estudio y para ampliar expectativas de evaluación, se utilizó también la hoja cartográfica

F14a84, correspondiente al continuo de curvas a escala 1:50 000. Dado que las curvas están constituidas de una seriación de polilíneas, nos interesaba conocer su actual constitución geométrica con respecto a la representación del territorio cubierto en la zona de estudio. Las curvas a la escala señalada, habiendo sido editadas en una serie de etapas de restitución fotogramétrica, con diferentes tecnologías y diverso personal, varían en representatividad, la cual tampoco cuenta con un exhaustivo proceso de evaluación de su calidad vectorial. Pudiendo mostrar diferentes aspectos del estado de su calidad, nos concentramos en las curvas cercanas a un cuerpo de agua, en donde éstas caen al interior de dicho cuerpo (ver figura 15). La intención inicial, es analizar porque sucede esto y de igual manera ver la forma de corregirlo, aplicando la misma metodología de reedición sobre el estado actual de las polilíneas dibujando las concatenaciones de nodos, el proceso a seguir implicó la descripción de los atributos de la ocurrencia y la detección de los vértices de nodos actuales, así como sus respectivas coordenadas de posición.

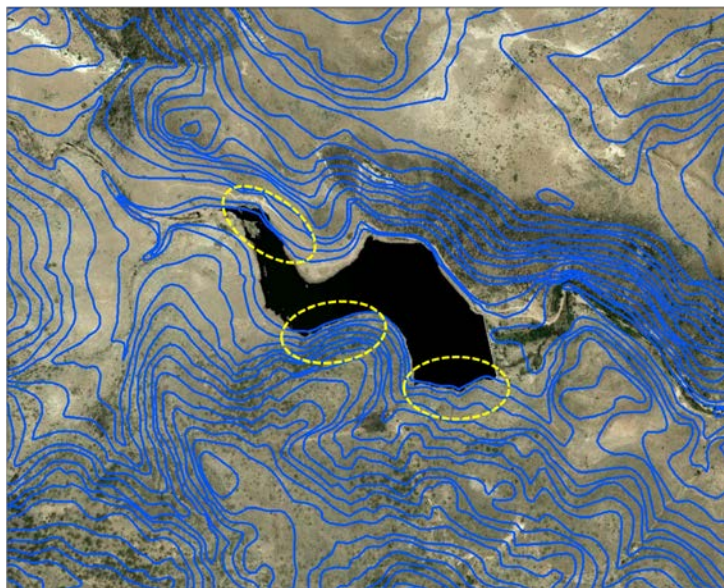


Figura 15.- Muestra de una parte de la zona de estudio, que describe al conglomerado de curvas a escala 1:50 000 y la incidencia de curvas sobre el cuerpo de agua.

Posteriormente, se procedió a reeditar la curva en cuestión que correspondió a la elevación 1970 SNMM. En el recorte de datos vectoriales al interior de DataReviewer fue ubicada la instancia FID “1744”, correspondiente a la elevación señalada. De entrada, la descripción de sus atributos nos permite clasificar e identificar el elemento conformado por una polilínea que describe los rasgos físicos cercanos a la zona del cuerpo de agua (ver figura 16).



Figura 16.- Selección de curva a elevación 1970 de la escala 1:50 000 para proceso de reedición buscando mejorar su representatividad geométrica.

Dada su revisión de representatividad geométrica, así como el análisis de su trayectoria, que en ciertas ocasiones también se cruzaba con la curva 1980, en tal situación se procedió a efectuar la reedición de dicha curva, cuidando su liberación sobre la superficie del cuerpo de agua que se requería disgregar. Para tal efecto, nos apoyamos con la herramienta *Editor*, parámetro *Start Editing*, quien nos permitió iniciar con el proceso. Seleccionada la geometría de la curva, se puede apreciar su estado actual, a través de una serie de coordenadas en UTM, que describen su actual posición. Una vez activados los parámetros de edición se procede a editar la polilínea con las herramientas *Edit Vertices* y *Reshape Feature Tool*. Dichas herramientas, permiten ir editando cada parte de la polilínea deseada, de tal manera que tanto su mejora en edición, su separación de cruces con otras curvas y la determinación de su correcta posición de acuerdo a la imagen de base, se establece la nueva

posición de la curva que es conformada por una serie de nuevas coordenadas describiendo su posición mejorada (ver figura 17).

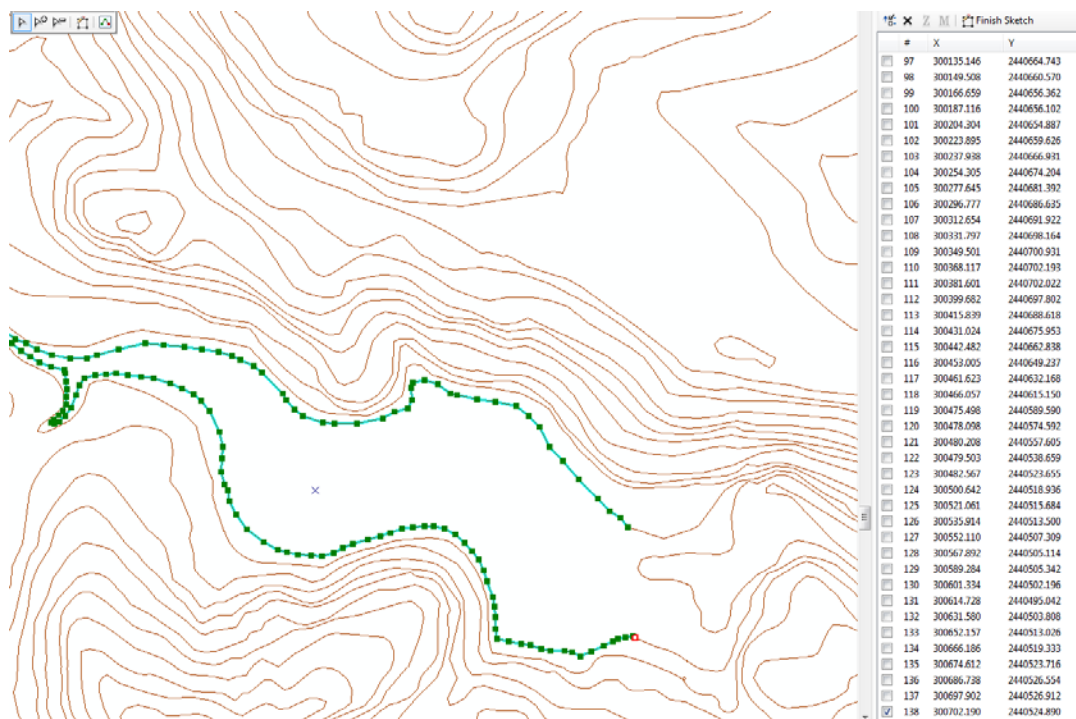


Figura 17.- Proceso de reedición de curva 1970, clasificada como FID “1744”, determinando su mejorada posición.

De esta manera, al aceptar el proceso de edición, se guarda su nueva conformación y se procede a verificar nuevamente anomalías, en el total del recorte de la hoja cartográfica en proceso de evaluación de la calidad de las primitivas en cuestión. Cada vez que se desea hacer un nuevo procedimiento de evaluación de calidad, reeditando anomalías encontradas, en los diferentes elementos de las capas de información de los objetos geográficos y siendo estos representados por las primitivas geométricas, en las herramientas señaladas de edición no se tiene restricción para editar las primitivas con la cantidad de nuevos vértices necesarios a mejorar la calidad de representación geométrica y de correcta posición de los objetos en cuestión.

Una vez culminado el proceso de reedición, se activan los parámetros de evaluación sobre la hoja cartográfica en análisis, con el objeto de verificar la existencia de anomalías sobre la integración del continuo de curvas al interior de la hoja cartográfica analizada. En la

siguiente (figura 18), se describe el ejemplo de reporte, que señala el porcentaje de exactitud derivado del proceso de evaluación con el parámetro *Invalid geometry Check*.

Origin Table	Check Type	Check Title	Total Records*	Total Results	Total Percent Accuracy	Distinct Results	Distinct Percent Accuracy
f14a84_continuo_curva_l_utm			2369	1	99.96%	1	99.96%
	Invalid Geometry Check						
		Invalid Geometry Check (f14a84_continuo_curva_l_utm)	2369	1	99.96%		
Total			2369	1	99.96%	1	99.96%

*This report is based on the total number of records in the Origin Table at the time this report is generated.

Figura 18.- Reporte de registros evaluados después de editar anomalías sobre la hoja cartográfica f14a84_continuo_curva

Los diferentes reportes generados a partir del uso de operadores de análisis, son procesos en los cuales, se tiene que determinar claramente en la tecnología de evaluación, el tipo de análisis de calidad a efectuar. Existen procedimientos de evaluación de la calidad de la información, en los cuales se puede medir anomalías que son detectadas según el parámetro utilizado. Pero es complejo solicitar a la tecnología de evaluación utilizada, que responda puntualmente a requerimientos de análisis específicos. Dado que dicha herramienta ha sido concebida para atender situaciones de evaluación de la calidad de la información, ésta, en su estructura interna no responde a todas las necesidades de evaluación de la calidad deseadas.

CONCLUSIÓN

Después de analizar la diversidad de procesos y metodologías efectuadas en diversos trabajos de investigación, en pro de evaluar la calidad de la información de datos y concentrados en la constitución de lo vectorial, nos dimos a la tarea de adentrarnos en la corriente de investigación de la *aproximación interactiva o inteligencia amplificada*, experimentando nuevas tecnologías espaciales, con el propósito de encontrar un rápido y automatizado mecanismo, pudiendo evaluar la calidad vectorial de grandes cantidades de información. En este artículo, se describió una metodología alternativa para evaluar la calidad de muestras vectoriales de la producción de cartografía. Dicha propuesta, emerge dentro de una problemática mundial, la cual trata de regular a los diversos organismos

productores de cartografía vectorial, que través del tiempo han ido emigrando en sus métodos de producción de unos a otros, con el objeto de optimizar en tiempo y costo dichos procesos. De tal manera, que adaptando nuevas metodologías de producción de cartografía vectorial, no se ha llevado un control de calidad de lo que cada una de estos procesos generan. Esto ha traído como consecuencia que la cartografía vectorial editada hace algunas décadas con iniciales metodologías de producción, sea acoplada a recientes procesos de producción cartográfica utilizando nuevas tecnologías y novedosos procesos metodológicos. En tal situación, al acoplar y actualizar cartografía, las posibles anomalías generadas de carácter geométrico, topológico y de exactitud posicional poco han sido evaluadas con procesos rigurosos normados y muy probablemente los errores existentes se han propagado de unos métodos de producción a otros. En el caso de la producción de cartografía vectorial del país, no existe hasta el momento alguna instancia o comité de evaluación externo que capacitado en normativas de evaluación de la calidad, avale dichos procesos productivos, así como la calidad de la información. La alternativa propuesta lleva consigo cuestionar la necesidad de retomar normativas mundiales y en su defecto adaptar alguna norma o política de evaluación, la cual involucre a especialistas que dictaminen sobre los procesos productivos y que sugieran mecanismos tecnológicos de revisión y análisis sobre la calidad de la información generada.

La metodología utilizada, ha implicado el ordenamiento del inventario de la información vectorial, y se ha realizado el proceso de evaluación de la calidad a través de conjuntar juegos de datos de mismas zonas de estudio, conformados por muestras de sitios específicos, dado que la información vectorial se encuentra en grandes cantidades. Ha sido necesario trabajar con hojas cartográficas en distintas escalas, en las cuales, para optimización de pruebas, se han hecho algunos recortes cartográficos de diferentes capas de información y en determinadas zonas de estudio.

Los diferentes procesos de análisis de la geometría, la topología, la semántica y la exactitud posicional, han sido el motivo de consideración en la evaluación de la calidad vectorial, dado a la magnitud de inconsistencias encontradas en la actual representatividad de la información en diferentes escalas editadas. Tales conceptos de análisis han sido retomados de las especificaciones normativas actuales de ISO para el manejo de información geográfica.

En el proceso de evaluación de la calidad vectorial que se ha efectuado con el uso nuevas tecnologías espaciales, se ejecutó una metodología que conforma capas de información y éstas siendo constituidas por las primitivas geométricas, permitieron la adaptación con el uso de operadores espaciales para poder evaluar la calidad vectorial. Tales operadores se presentaron simples en ejecución pero resultaron complejos al determinar ciertas funciones de evaluación, no obstante, se logró concluir con un evidente resultado. No existiendo una única y exclusiva tecnología geoespacial que pueda ejercer todos los procedimientos de análisis de la calidad vectorial, se recurrió en la metodología a integrar diversas tecnologías geoespaciales conformando el proceso de evaluación. De lo cual, se logró medir con un indicador, el rango de exactitud de elementos evaluados sobre la información vectorial. Sin embargo, tales indicadores de evaluación son aun genéricos, es decir, la evaluación se facilita con el uso de operadores espaciales de evaluación de la calidad, cuando es simple la consulta del que evaluar. Pero se presenta compleja, cuando se solicitan detalles mayores sobre indicadores más específicos de evaluación. Por lo general, la evaluación es descrita a través de la generación de un reporte, y este reporte especifica el parámetro de evaluación utilizado dentro del tipo de operador espacial seleccionado. Habiendo evaluado un cierto archivo de información vectorial, los algoritmos internos que procesaron el tipo de evaluación solicitado, arrojan una estadística porcentual, describiendo el total de elementos que conforman al archivo y las diferencias encontradas y es partir de esto que se señala el resultado porcentual de exactitud del análisis efectuado.

Por el momento, en el marco de esta investigación, han surgido una serie de ideas para adaptar interoperablemente, la comunicación entre las tecnologías espaciales utilizadas y la adaptación de otros mecanismos, pudiendo ir más allá en la evaluación de la calidad vectorial, fortaleciendo nuestra metodología. Sin embargo, antes de ahondar en mejorar la metodología, se propone generar un comité nacional integrado por especialistas en la materia, que al mismo tiempo que se trabaja en el fortalecimiento y establecimiento de la infraestructura de datos espaciales del país, pueda retomar la adecuación de normativas, para un constante proceso de evaluación de la calidad de la producción de cartografía vectorial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACyT, quien ha hecho posible la realización de esta investigación, de igual manera agradecemos al Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, por su cooperación y colaboración con la idea de este proyecto.

LITERATURA CITADA

- Allouche M.K. et Moulin B. (2001). "Reconnaissance de patterns par réseaux de neurones: application à la généralisation cartographique." Revue Internationale de Géomatique 11(2): 251-279.
- Ariza Lopez, F. J. (2002). Calidad en la Producción Cartográfica. Ra-Ma, Jaen, España. 424 p.
- Ariza Lopez, F. J. (2004). Casos Prácticos de calidad en la producción cartográfica. Jaén, Universidad de Jaen. España, 388 p.
- Bartoschek T. Painho M. Henriques R. Peixoto M., C. A. C. (2006). RENalyzer: A tool to facilitate the spatial accuracy assessment of digital cartography. 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Lisbon, Portugal. pp 379-385
- Bédard Y., B. E. e. D. R. (2002). La métastructure VUEL et la gestion des représentations multiples. Généralisation et Représentation Multiple. Rus A. (Ed). Paris, Hermes science publications: 149-162.
- Bernier E. (2002). Utilisation de la Représentation Multiple comme Support à la Génération de Vues de Bases de Données Géospaciales dans un Contexte SOLAP. Departement des sciences géomatiques. Québec, Laval. M.Sc.: 89.
- Cárdenas A. (2004). Utilisation des Patrons Géométriques comme Support à la Généralisation Automatique. Département des sciences géomatiques. Québec, Laval. M.Sc.: 110.
- Devillers R. Goodchild, H. (2010). Spatial Data Quality: From Process to Decisions. London, New York, CRC Press Taylor & Francis Group, 222 p.
- Devillers R. Jeansoulin, R. (2005). Qualité et incertitude : présentation du problème. Introduction. Qualité de l'information géographique. H. S. Publications. Paris, Lavoisier: 343.
- Devogele T., B. T. e. L. T. (2002). La problématique de la représentation multiple. Généralisation et Représentation Multiple. H. s. publications. Paris, Ruas A. (Ed.), : 55-74.

- Gago Afonso A.J. Ferreira Coelho D. A.F., d. S. T. R. F. (2006). IGeoE: Positional quality control in the 1/25000 cartography. 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences., Lisbon, Portugal. pp 835-839.
- Goodchild, M. F. (1995). Sharing Imperfect data. Sharing Geographic Information. I. O. H. J. a. R. G. (Eds). New Brunswick, Rutgers University Press: 413-425.
- Gui D. Li G. Li Ch., Z. C. (2008). Quality Check in Urban and Rural Cadastral Spatial Data Updating. Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Shanghai, P. R. China. pp. 65-70
- ISO (2008). TC-211 - Information Géographique/Géomatique. Les Normes Internationales pour les Entreprises, les Gouvernements et la Société. Oslo, Norway, ISO.
- ISO. (2010). "TC 211 - Information géographique/Géomatique, Organisation internationale de normalisation."
http://www.iso.org/iso/fr/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=54904&published=on&development=on, 2012.
- Jabeur N., A. (2006). Multi-Agent System for On-The-Fly Web Map Generation and Spatial Conflict Resolution. Departement des sciences informatiques/Géomatique. Québec, Laval. Ph.D.: 275p.
- Jobst, M., Twaroch Florian, A. (2006). An Evaluation Method for Determining Map-Quality. Vienna, Austria, Institute of Geoinformation and Cartography: pp.293-304.
- Kumi-Boateng B., I. Y. (2010). "Assessing the Quality of Spatial Data." European Journal of Scientific Research 43(4): 507-515.
- McMaster R (1991). "Conceptual framework for geographical knowledge." Longman Scientific & Technical New York NY(Wiley): pp. 21-39.
- Müller J.C., W. R., Lagrange J.P. and Salgé F., (1995). Generalization: state of the art and issues. GIS and Generalization: Methodology and Practice., Bristol: Taylor & Francis. 280 p.
- OGC (2011). Open Geospatial Consortium. Welcome to the OGC Website. O. S. a. Specifications.
- Pavicic S. Rapaic M., a. L. S. (2004). Topographic Data Production as Basis for NSDI - Croatian Example. FIG Working Week 2004, Athens, Greece.
- Pouliot, J. (2002). Intégration des données spatiales, Concepts et Pratiques. Cours à option du programme de Maitrise en sciences géomatiques. Québec, Qc. Candá, GMT-66342.
- Rigaux P. (1994). "La représentation multiple dans les systèmes d'information géographique." Revue Internationale de Géomatique 4(2): 137-164.
- Sabo M.N. (2007). Intégration des algorithmes de généralisation et des patrons géométriques pour la création des objets auto-généralisants (sgo) afin d'améliorer la généralisation

cartographique à la volée. Faculté de Foresterie et Géomatique. Quebec, Lavla. Ph.D.: 225 p.

- Sarmiento P. Carrao H., a. C. M. (2008). A Fuzzy Synthetic Evaluation Approach for Land Cover Cartography Accuracy Assessment. Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Shanghai, P. R. China, ACADEMIC, World Academic Union. pp. 348-355
- Shi, W. (2008). From Uncertainty Description to Spatial Data Quality Control. Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Shanghai, P. R. China, ACADEMIC, World Academic Union. pp. 412-417
- Stehman, S. V. (2008). Sampling Designs for Assessing Map Accuracy. Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Shanghai, P. R. China, June 25-27
ACADEMIC, World Academic Union. pp. 8-15
- Vangenot C. (1998). "Représentation multi-résolutions, concepts pour la description des bases de données avec multi-représentations." Revue Internationale de Géomatique 8(1-2): 121-147.
- Weibel R. and Dutton G. (1999). "Generalising spatial data and dealing with multiple representations." Geographic Information Systems- Principles and Technical Issues Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J. and Rhind D.W. (Eds.), (John Wiley & Sons): 125-155.
- Wu D. Hu H. Yang X.M. , Z. Y. D., Zhang L.H. (2010). Digital Chart Cartography: Error and Quality Control. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 38, Part II, pp 255-260

CAPITULO 4. ANÁLISIS VECTORIAL PARA MODELAR LA INCERTITUD ESPACIAL ENTRE DIFERENTES PRODUCCIONES DE ESCALAS DE INFORMACIÓN DEBIDO A LA PROPAGACIÓN DE ERRORES

Publicado en Proceeding of the 10th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences Florianopolis-SC, Brazil, July 10-13, 2012. *Como:* Cárdenas-Tristán A¹ ²., Treviño-Garza E.J²., Aguirre-Calderón O.A²., Jiménez-Pérez J²., González-Tagle M.A²., Antonio-Némiga X³., Vectorial analysis modeling to determine spatial uncertainty among different data production scales due to error propagation.

RESUMEN

Dados diferentes procesos realizados en los últimos años para analizar la producción de información vectorial en diferentes escalas, así como el análisis de la calidad de esta, se analizaron los códigos de las primitivas geométricas conformando la representación de objetos geográficos con el objeto de efectuar un reconocimiento geométrico-topológico de las diferentes formas de representar la realidad vectorialmente. Se utilizó la regla del vecino más próximo combinado con una clasificación, determinando un algoritmo iterativo de búsqueda, para analizar el recorrido de polilíneas conformando curvas u objetos geográficos. Dicho algoritmo permite modelar ciertos grados e indicadores de incertitud espacial a partir de diferentes tipos de errores geométrico-topológicos que han propagado diferencias significativas entre la correspondencia de diversas escalas de información vectorial.

Palabras clave: Incertitud espacial, calidad de datos, producción de cartografía, datos vectoriales, propagación de error.

ABSTRACT

Given different processes in recent years to analyze vectorial data production at different scales as well as quality analysis of it, geometric primitive geocodes were analyzed forming the geographic objects representation in order to carry out a geometric-topological recognition from different ways of representing reality vectorially. We used the nearest neighbor rule combined with a classification, determining an iterative search algorithm to analyze polylines that form curves or geographic objects. This algorithm allows modeling certain spatial uncertainty indicators from different types of topological-geometric errors that have propagated significant differences between various scales correspondence of vectorial information.

Keywords: Spatial uncertainty, data quality, maps production, vectorial data, error propagation.

INTRODUCCIÓN

La producción de cartografía tradicionalmente ha sido un largo proceso que involucra la adquisición de datos y la validación de información, desarrollo de bases de datos cartográficas y la generación de cartografía en diferentes escalas. Recientemente (Kumi-Boateng *et al.*, 2010), hace conciencia en el establecimiento de políticas para autenticar la calidad de la producción de datos espaciales, *“is not only useful for in-house data development, but data customers and users are able to determine the validity of data by checking the sources and procedures used to create the data”*.

En la historia de la producción de cartografía para fines de conocimiento y representación del territorio, la comprensión de los recursos naturales y análisis diversos, ha existido una serie de circunstancias y problemáticas que en recientes años han sido el objeto para ciencias y tecnologías en el ámbito. Uno de los principales problemas para abstraerse de la realidad las características para un mejor conocimiento del territorio, ha sido la falta de modelos normalizados para efectuar el proceso de abstracción. Según Andrew (2008), un modelo para los procesos de decisión, desde el punto de vista de los productores de datos, debe ser *“sufficiently simplified, based on bounded rationality leads to an operational method to assess the fitness for use of data”*. Anterior a este criterio, cada productor de información en su propio juicio, ha utilizado la metodología de su elección, generalmente sin considerar métricas de control y especificaciones requeridas para la recolección de la información adecuada. Por lo general en la gran cantidad de trabajos de investigación que analizan diversas escalas de la conformación de cartografía, se evalúan los componentes primitivos para el análisis de su representación tomando en cuenta la calidad de datos vectoriales. De tales análisis en la mayoría de los casos se ha determinado que si hay anomalías en los procesos de evaluación de datos vectoriales en diferentes escalas, estos se han propagado en la edición de cartografía heredando diversos errores; métricos semánticos, geométricos y topológicos. Esta situación es debida a que en la mayoría de los casos los procesos de edición han sido manuales (Griffith, 2008) *“Because so much geospatial data has been manually digitized over the years, researchers have studied error associated with this digitizing process for several decades”*. La propagación de errores generada en tales procesos de edición manual ha dejado en la mayoría de los casos un

incierto control de los datos espaciales que describen objetos y elementos del territorio. Sin embargo, en recientes procesos de edición de cartografía vectorial se cree que las nuevas tecnologías pueden generar mejores representaciones geoespaciales de los datos. El centro nacional para el análisis de información geográfica (NCGIA) con su iniciativa en “Visualización de la calidad de la información espacial” clasifica las fuentes de incertidumbre de datos, como fuente de errores, errores de procesos y errores de uso (Beard, M.K. *et al.*, 1991). Sin embargo, se debe tener en cuenta que la incertidumbre surge en los datos reales y esta se representa de muchas formas, ya que los propios datos pueden contener errores o estos pudieran estar conformados parcialmente (Lindley, 2006). A fin de proponer un modelo para evaluar la incertidumbre espacial, se procedió a analizar la coherencia de conjuntos de datos espaciales, analizando a las entidades curvas de nivel existentes en bases de datos. Para mostrar anomalías de correspondencias geométricas y topológicas, el análisis consistió en la integración de datos de mismas fuentes a diferentes escalas en mismos sitios a analizar en donde los objetos deberían corresponder unos con otros. La mayoría de los conflictos de representación de la información vectorial tienen que ver con el nivel de detalle en su geometría, y por tal situación, diversos conjuntos de datos que fueron analizados, de manera implícita en su constitución tienen anomalías relacionadas con la forma en que fueron concebidos. Para efectuar una evaluación geométrica de vectores conformando al objeto curvas, estos se tuvieron que integrar con diversas tecnologías a fin de adaptarse a la forma geométrica de una imagen de fondo en un determinado territorio. Tal proceso permitió el apareamiento espacial de las series interconectadas de polilíneas adecuándose a la forma y elevación del terreno. Se precisó que la representación de las curvas de nivel deberían describir las características del terreno alrededor de los cuerpos de agua, debiendo estas manifestarse como un conjunto uniforme de polilíneas siguiendo una establecida cota de elevación sin adentrarse a la profundidad de determinados cuerpos de agua, lo cual indicaría que el trazo de la curva no persigue su cota de elevación continua. Una curva de nivel que describe las características de la topografía de los territorios y siendo uniforme en su cota de elevación, nunca tendría que adentrarse en las profundidades de los cuerpos de agua superficiales. Si una curva de nivel cae dentro de un cuerpo de agua la cota de elevación no describe nada sobre el agua, ya que el agua es un elemento continuo que puede o no existir y no puede ser medible como un elemento fijo. Por lo tanto para ser

medible en elevación, volumen y superficie, depende estrictamente de otros procedimientos, tales que las determinaciones de orden hidrológico e hidráulico. En todo caso estaríamos hablando de inconsistencias de la relación de los datos vectoriales en correspondencia con las imágenes de base, teniendo ambos mismos sistemas de referencia. Por tal motivo habiendo encontrado evidencias de curvas de nivel que se cruzan sobre cuerpos de agua, nos ayudo a determinar la existencia de anomalías que quisimos analizar para verificar la referenciación de las imágenes, la integración de los datos vectoriales, la resolución de los pixeles de las imágenes y las tecnologías utilizadas. Tal situación nos introdujo en la idea de esta investigación para analizar la constitución de las polilíneas representando curvas de nivel, las cuales han sido producidas por diferentes mecanismos tecnológicos a través de los años. De esta manera se procedió en efectuar diversas muestras de apareamientos entre recortes de datos vectoriales e imágenes de satélite con el objeto de evidenciar posibles propagaciones de errores. Considerando justificar diferentes aspectos de la calidad de la información vectorial, en esta ocasión nos concentramos en las curvas de nivel cercanas a los cuerpos de agua y sobre todo en aquellas que caen dentro de dichos elementos. Para evaluar estas inconsistencias, utilizamos imágenes Landsat ETM+ con banda pancromática en 15m de resolución espacial, imágenes Spot , así como ortofotos digitales a escala 1:10 000. Sobre estas imágenes se integraron datos vectoriales de polilíneas (curvas de nivel) en diferentes escalas de mismas zonas de estudio.

METODOLOGÍA

Para apoyar el análisis de esta problemática utilizamos la tecnología FME workbench, quien nos permitió integrar diversas capas de datos vectoriales en tres escalas diferentes de información (1:20 000, 1:50 000 y 1:250 000). Para tal efecto se utilizaron diversos operadores de la tecnología, los cuales nos ayudaron a verificar las correspondencias de mismas curvas de nivel en diferentes escalas. De tal manera que la representación geométrica en la integración de las capas teniendo que ser similar, difiere en gran medida en la representación lógica del territorio. Así mismo si se utiliza una imagen de fondo, se puede observar que las mismas inconsistencias también se reflejan en la zona de estudio. Habiendo analizado las escalas 1:250 000 y 1: 1000 000, las cuales han sido sometidas a

procesos de generalización cartográfica de tipo manual, en el tiempo en que fueron editadas y debido a la falta de tecnología, no se tomaron en cuenta aspectos de calidad en la producción de la información.

Para determinar diferencias de la integración de las curvas de nivel en diferentes escalas y su relación de apareamiento espacial con los píxeles de las imágenes que representan a los cuerpos de agua, se procedió a efectuar diversas pruebas en dichos elementos como el ejemplo de la (figura 1).

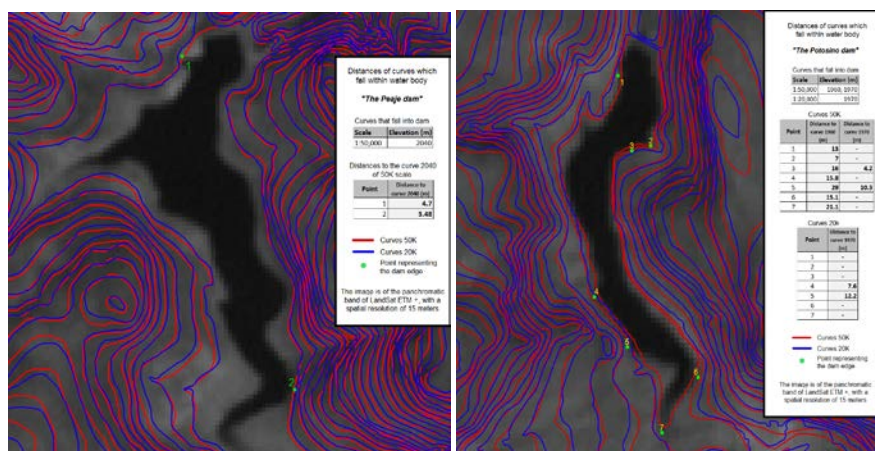


Figura 1: Integración de las escalas 1:50 000 y 1:20 000 en la Imagen Landsat EMT

En general, la integración de información de muestras vectoriales en diferentes escalas analizadas muestra un alto porcentaje con la misma problemática de correspondencia geométrica y topológica. En ocasiones las evidencias de orden semántico difieren dado a la temporalidad de los conjuntos de datos producidos por el hecho de que la escala a 1:50 000 fue editada entre 1968 y 1988, la cual se integró a la escala 1:20 000 editada recientemente. El propósito de integrar los conjuntos de datos descritos se efectuó para analizar las relaciones geométricas, topológicas, semánticas y de exactitud posicional de mismas zonas de estudio. De tal manera debería ser común que la representación de las curvas de nivel a 1:50 000, las cuales van a cada 10m con respecto a las curvas de nivel a 1:20 000, quienes se establecen a la misma equidistancia, ambas deberían coincidir respectivamente con los elementos señalados. No obstante cabe señalar, que el proceso de edición de la cartografía a 1:50 000 emerge de fotografía aérea a escala 1:75 000 y la cartografía 1:20 000 surge de fotografía a escala 1:40 000. Por otro lado, es importante indicar que gran cantidad de

personal ha trabajado en los procesos de edición de la cartografía a través de los años, mismos que han utilizados diferentes metodologías, así como experimentado con diferentes procesos y adaptándose a diversas tendencias de la demanda de la información.

Para validar la correcta posición de las curvas de nivel, se realizó posicionamiento por satélite en las zonas de estudio, colocando una serie de puntos coordinados cercanos a los cuerpos de agua, los cuales nos ayudaron a comprobar las inconsistencias de posición de las curvas de nivel en relación a los pixeles de las imágenes en donde estas debieran de corresponder adecuadamente en cuanto a su ubicación. Lo que nos llamó la atención, fue que estando las curvas de ambas escalas editadas a cada 10 mts, estas tienen amplias diferencias de correspondencia en relación a la representatividad del terreno que describen. En color azul se describe al continuo de curvas a escala 1:50 000 con una geometría falta en calidad de edición y con diversos y frecuentes picos, que si los analizamos en un zoom, podríamos ver que la edición carece de sentido con respecto a la elevación del territorio que representan. En ambas situaciones la problemática radica en que las curvas de nivel siendo representadas en la misma elevación de la zona descrita, estas carecen de inconsistencia lógica, de tal manera que al evaluar la situación desde los puntos de vista geométricos y topológicos se evidencian importantes anomalías, las cuales nos llevaron a trabajar en un modelo que podría medir la incertitud espacial de tales problemáticas descritas. De los trabajos recientes que analizan los pixeles de las imágenes y su relación en la conformación de objetos, el uso de algoritmos y patrones de alineamiento, podemos citar a (Soe, W.M. *et al.*, 2001; Steele B. M., 2001; Zhang K., 2008; Xiang Zhang, 2011; Muhammad Aamir Cheema *et al.*, 2010).

Definición del problema

Sea U un objeto del universo. Cada objeto $O_i \in U$ es descrito por un conjunto de atributos $R = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, y los objetos son distribuidos en d -classes $\{S_1, S_2, \dots, S_n\}$. Dado $TM = \{O_1, O_2, \dots, O_m\}$, $TM \subseteq U$ para ser el conjunto de entrenamiento de los objetos pertenecientes a U . Específicamente, una imagen landsat podría ser representada por un conjunto LI , donde $LI \subseteq U$, donde cada pixel P of LI , puede ser considerado un objeto O de U . Hay varias áreas de interés en LI , tomando en cuenta ríos, lagos, presas, montañas,

etc., los cuales se podrían representar por subconjuntos de LI . Además, se obtienen relaciones geométricas acerca de un territorio, como curvas de elevación en diferentes escalas, que podrían representarse por un subconjunto de un conjunto GR , donde $GR \subseteq U$. Además, $LI \cup GR = U$.

Sea $S_i = \{O_{i_1}, O_{i_2}, \dots, O_{i_u}\}, S_i \subseteq LI$ y $S_j = \{O_{j_1}, O_{j_2}, \dots, O_{j_z}\}, S_j \subseteq GR$ los conjuntos pertenecientes a los lagos y las curvas de elevación de los conjuntos LI y GR , respectivamente. Teóricamente, estos conjuntos deberían cumplir $S_i \cap S_j = \emptyset$. Sin embargo, cuando las mediciones físicas fueron realizadas en el territorio, se encontró que la propiedad anterior no se cumple en todos los casos (ver figura 1). Además, no es suficiente verificar el cumplimiento con las propiedades antes mencionadas, ya que es deseable conocer el grado de incertidumbre propagado. Este trabajo propone una forma de calcular este valor del grado de incertidumbre, utilizando un algoritmo de clasificación, particularmente el k -vecino más cercano (K -nn) clasificador, aplicado sobre las curvas de nivel, lagos y superficies de terreno.

Por lo tanto, el problema en este trabajo es acerca de una clasificación supervisada, de una matriz de entrenamiento TM , el algoritmo permite asignar a un conjunto de objetos $O_i \in U$, $O_i \notin TM$ una clase específica $S_i, i = 1, \dots, d$. La siguiente (figura 2) muestra el modelo que ayuda a determinar el grado de incertidumbre espacial, de acuerdo con el análisis realizado.

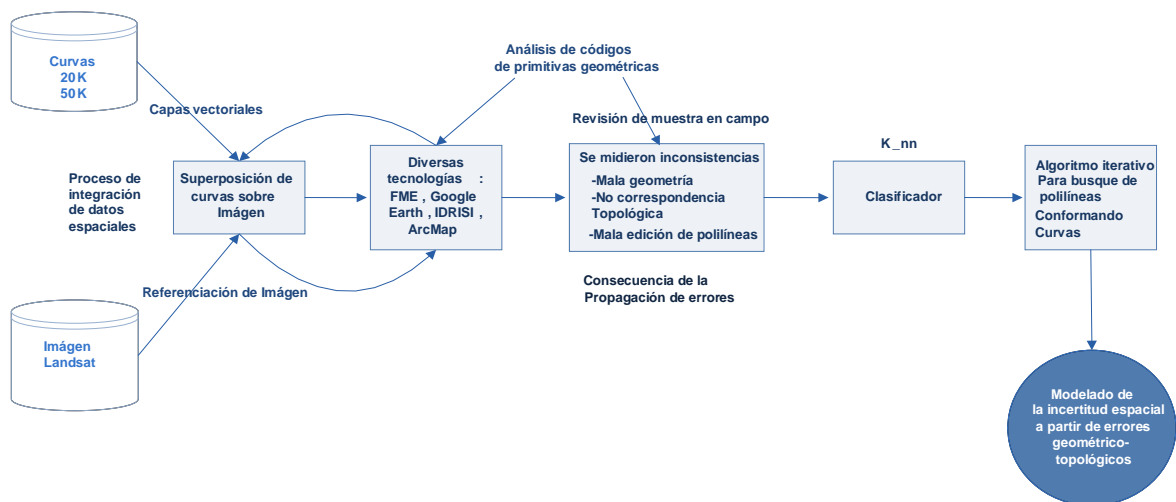


Figura 2: Modelo propuesto para determinar la incertidumbre espacial

RESULTADOS

El modelo propuesto incluye la aplicación de un algoritmo de clasificación, con el fin de obtener el grado de incertidumbre entre el apareamiento de las curvas de nivel sobre los lagos, analizando las curvas que describen objetos geográficos. Para el caso particular de las imágenes de satélite mostradas en la figura 1, se seleccionó el algoritmo de clasificación k-nn. De manera general, k-nn funciona de la siguiente manera: Primero, el objeto a ser clasificado se compara entre todos los objetos de TM para obtener la distancia entre ellos. Segundo: estas distancias se ordenan de forma ascendente. Finalmente, los primeros k-vecinos en el orden establecido son sólo considerados para la clasificación. Para el modelo propuesto, los conjuntos: $LI \subseteq TM$, $J \subseteq TM$, $LI \cap J = \emptyset$, y $GR \subseteq TS$ son considerados. Donde LI y J son los conjuntos de píxeles pertenecientes a los lagos y al área determinada de la imagen procesada, GR es el conjunto de curvas de elevación que pertenece a la imagen procesada y TS es el control o conjunto de prueba. Cada punto de una curva de elevación podría ser representado por un píxel en la imagen procesada, utilizando su posición relativa. Entonces, cada punto de las curvas de elevación de GR , es procesado por k-nn, obteniendo el k-vecino más cercano. Teóricamente, todos los puntos de una curva de elevación debe ser clasificado en el conjunto J . Sin embargo, en la práctica esto no ocurre, debido a que algunos puntos de las curvas de elevación se clasifican en el conjunto LI , que pertenece a los lagos en la imagen procesada. El grado de incertidumbre (ud) de la curva de elevación se puede obtener mediante la siguiente declaración:

$$ud = 1 - a * \left(\frac{b}{n} \right)$$

Donde n es el número de píxeles de la curva de elevación; b es el número de píxeles de la curva de elevación clasificado erróneamente en el conjunto LI ; y a es una constante de ajuste entre diferentes escalas de las curvas de elevación. Entonces, si el valor de $ud = 1$, la curva de elevación es correctamente mapeada. Si no, si el valor de ud es cercano a 1, esto significa que el error es pequeño. De lo contrario, la marca de error es grande. De acuerdo con el análisis en el caso de los cuerpos de agua que han sido descritos en la figura 1 y habiendo aplicado la fórmula para determinar la incertidumbre especial, los resultados obtenidos son los siguientes en la (Tabla 1).

Curva	Número de puntos de incidencia de la curva en cuerpos de agua (b)	Numero de pixeles asociados a la curva con incidencia en cuerpos de agua (n)	Escala (a)	ud
2040	2	390	50k	0.9948
1970	2	251	20k	0.9920
1970	2	251	50k	0.9920
1960	6	251	50k	0.9760

Tabla 1: Aplicación de la fórmula para la medición de la incertitud

CONCLUSIONES

Se propuso una fase preliminar de un algoritmo a partir de un enfoque teórico; sin embargo, este algoritmo ha sido probado en diversos procesos metodológicos de evaluación, siendo este específico para el análisis de polilíneas que constituyen curvas y la relación de estas alrededor de los cuerpos de agua. El propósito fue determinar el grado de incertitud espacial en el ejemplo descrito, evidenciado en este caso que la propagación de errores, se puede medir de alguna manera con ciertas métricas encontradas en la verificación de la correcta posición (uso de sistemas de posicionamiento) en donde las curvas deben describir la elevación sobre el terreno y su correspondencia de ubicación en la imagen referenciada de fondo. El siguiente paso sería automatizar el modelo propuesto, implementando el algoritmo a través de un sistema, el cual mecaniza los requerimientos de la incertitud espacial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACyT, quien ha hecho posible este trabajo de investigación, agradecemos también al Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, por su colaboración con la idea de este proyecto.

LITERATURA CITADA

- Kumi-Boateng B., I. Y. (2010). "Assessing the Quality of Spatial Data." European Journal of Scientific Research 43(4): 507-515.
- Andrew, U. F. (2008). Data Quality - What can an Ontological Analysis Contribute? The 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, v1: Spatial Uncertainty, Vienna, Austria, Department of Geoinformation Technical University Vienna Gusshausstrasse 27-29/E127-1 A-1040.
- Griffith, D. A. (2008). Spatial Autocorrelation and Random Effects in Digitizing Error. Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Shanghai, P. R. China, June 25-27, 2008.
- Beard Kate, M., Barbara P. Battenfield, and Sarah B. Clapham (1991). NCGIA research initiative 7: Visualization of spatial data quality. Technical Paper 91-26, Castine, Maine, October 1991.
- Lindley, D. V. (2006). Understanding Uncertainty. New Jersey, 250.
- Soe W. Mynt, P. G., Anthony Brazel, Susanne Grossman-Clarke, Qihao Weng (2001). "Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery." Remote Sensing of Environment RSE-07831;(ELSEVIER): 17.
- Steele, B. M. (2001). "Combining Multiple Classifiers: An Application Using Spatial and Remotely Sensed Information for Land Cover Type Mapping." Remote Sensing of Environment 74(3): 545-556.
- Zhang, K. Z. a. S. (2008). Estimation of Linear Vectorial Semiparametric Models by Least Squares. Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Shanghai, P. R. China, June 25-27, 2008, pp. 16-21.
- Xiang Zhang, T. A., Jantien Stoter, Menno-Jan Kraak, Martien Molenaar (2011). "Building pattern recognition in topographic data: examples on collinear and curvilinear alignments." Geoinformática Springer(DOI 10.1007/s10707-011-0146-3): 33.
- Muhammad Aamir Cheema, X. L., Wei Wang, Wenjie Zhang and Jian Pei (2010). "Probabilistic Reverse Nearest Neighbor Queries on Uncertain Data." transactions on knowledge and data engineering: 14.

**CAPITULO 5. ANÁLISIS DE ESCALAS EN GOOGLE EARTH
PARA LA GENERACIÓN DE INDICADORES DE LA RELACIÓN
IMAGEN-ESCALA**

Artículo a someter en revista: Cárdenas-Tristán A¹ ²., Treviño-Garza E.J²., Aguirre-Calderón O.A²., Jiménez-Pérez J²., González-Tagle M.A²., Antonio-Némiga X³., Scales Analysis in Google Earth for Catalogue Generation of Image-Scale Use Indicators.

RESUMEN

Para generar un catálogo de indicadores de la relación escala-imagen en el sistema de visualización Google Earth, se concibieron una serie de escalas representativas en base a los niveles de zoom de Google Maps, las cuales permitieron analizar las funcionalidades de dicho sistema de visualización en sus capacidades para profundizar en detalle sobre la resolución de las imágenes y su retorno de estas. Se analizaron muestras de diversas imágenes de cobertura en cuatro temáticas seleccionadas del uso de suelo representando recursos naturales. A fin de asociar el mecanismo multinivel del sistema de visualización de GE, se utilizó una herramienta que mide en pantalla los pixeles por pulgada PPI (*pixel per inch*), indicando la cantidad de pixeles que se encuentran en una pulgada física en el monitor, así como el análisis de su proyección en que está constituida la estructura de las imágenes. De tal manera a analizar el cambio de comportamiento de una pantalla a otra, pudiendo asociar un mecanismo que permite la mejor relación del manejo de diversas imágenes cubriendo un determinado territorio y la relación de escalas que mejor representan las temáticas descritas. Se analizaron un total de 893 muestras en 32 sitios del territorio comprendido entre los 14° a 33° de latitud norte y de 86° a 119° de longitud oeste. Para generar dicho catalogo se valoraron las muestras en la determinación de porcentajes de error y la determinación de varianza y desviación estándar.

Palabras clave: escala; sistema de visualización; imágenes de satélite; cartografía; multinivel.

ABSTRACT

To generate a catalog of image-scale relationship indicators in the visualization system of Google Earth, a series of representative scales based on the zoom levels on Google Maps were devised. Which allowed to analyze features from images visualization system and their abilities to deepen in detail resolution. Samples of various images in four selected topics of land use representing natural resources were analyzed. To associate the multilevel mechanism of GE display system, we used a screen measuring tool in pixels per inch (PPI), indicating the pixels number that are in a physical inch on the monitor and the analysis of

its projection in which images are structured. Thus being able to analyze behavior change from one screen to another, associating a mechanism that allows the optimal management of different images covering a given territory and the scale relationship that best represents the issues described. We analyzed a total of 893 samples from 32 sites in the area between 14 ° to 33 ° north latitude and 86 ° to 119 ° west longitude. To build this catalog, the samples were evaluated in determining error rates, variance determination and standard deviation.

Keywords: scale; visualization system; satellite images; cartography; multilevel

INTRODUCCION

En la actualidad, un sinnúmero de usuarios de las tecnologías espaciales han asociado representar la conformación de cartografía vectorial con el aprovechamiento de imágenes de satélite, en infraestructuras de servidores universales y principalmente en la infraestructura de Google Earth (GE), permitiendo apoyos para la investigación en el conocimiento de los elementos del territorio (Chen et al., 2012; Dransch, 2000; Gibin et al., 2008). En su momento y antes del desarrollo del virtual globe (desarrollo de sistemas visuales), la cartografía sobre el web presentó importantes alternativas para análisis y conocimiento de la Tierra. De lo cual una serie de diversos programas tales que MapQuest, Map24 y Google Mpas fueron populares por un tiempo y el uso de estos servicios fue relativamente limitado (Zook M.A. and Graham M., 2007). Contrariamente GE es un sistema de visualización interactivo que permite el análisis de diferentes tipos de imágenes a través de mecanismos de profundización en la resolución de los detalles de la imagen e ir al contrario de la resolución de los detalles de esta. La información de las imágenes no está asociada a una serie de escalas en particular, como tradicionalmente asociamos a la representación de la realidad en la cartografía convencional, que normalmente han editado los países en escalas 1:20k, 1:50k, 1:100k, 1:250k, 1:1000k. La interoperabilidad de la infraestructura de GE (Craglia et al., 2008; Tolk, 2007; Sandvik, 2008), que ha permitido la adaptación de formatos de información de diversas fuentes vía su estructura kml, en archivos .shp, .dwg, .fmw entre otros, ha logrado que se realicen millones de operaciones

de representación cartográfica a través del uso de GIS (Henry, 2009), manejando los datos de diversas escalas e integrándolos a las imágenes de la plataforma. De tal manera, que se pueda obtener una mejor apreciación de lo que los datos vectoriales describen sobre los territorios, en base a la relación de imágenes de satélite de fondo. Sin embargo, no ha sido fácil medir ciertas inconsistencias de representación y descripción de los objetos a partir de datos vectoriales quienes se integran a la variedad de imágenes representando el territorio, las cuales tienen diversas resoluciones y una estructura multi-escala fácil de manejar pero compleja para asociar correspondencias geométricas y topológicas. Para observar y analizar objetos geográficos siendo estos ligados a un cierto nivel de imagen-escala, cuando se asocia a datos vectoriales se dificulta la relación de precisión.

De tal manera que en las funcionalidades de la estructura de GE y su mecanismo del asociado escalar de los objetos vía un zoom inteligente, nos generó el interés en el presente trabajo de conocer la relación de elementos u objetos representados a partir de diferentes imágenes y la posible representación escalar de su estructura, situación que llevó a analizar la parte correspondiente a Google Maps (GM) en la cantidad de vistas representadas, de las cuales se asocia una relación escalar. GM cuenta en promedio con 20 vistas diferentes, vistas que van desde la apreciación de todo el planeta hasta un cierto nivel de terreno. Sin embargo, dado que los zooms no son fijos sino constantes, estos dependen de la zona y la resolución de la fotografía o imagen. Así mismo, cada una de ellas representa una escala, y se puede apreciar mediante una línea en la parte inferior izquierda del mapa, pero su medición es demasiado imprecisa, ya que al ser una imagen digital su tamaño varía dependiendo de la pantalla donde se visualice. La representación de la información se visualiza a través del zoom y éste está asociado al aumento o disminución de la distancia focal de los objetos (Schütze, 2007; Crossley, 2008), que al realizar un zoom en una imagen por computadora se multiplica la cantidad de píxeles del mismo tono que la conforman, presentando de esta manera imágenes más grandes o pequeñas en la pantalla que el objeto original (Vijayalakshmi, 2007). La escala a diferencia del zoom representa un valor de proporción, y ésta generalmente se asocia a una métrica representativa del terreno con la simetría gráfica según una escala determinada en un plano, mapa o sistema de visualización (Veregin, 2011).

Para analizar la escala cartográfica en imágenes de satélite no se puede prescindir en considerar una serie de factores importantes y en los cuales la comunidad científica ha trabajado arduamente, tales que la precisión geométrica y la calidad visual de la imagen, así como su relación con la escala a través de diferentes criterios y estándares de precisión planimétrica (Corbelle-Rico et al., 2006). Tomando en cuenta que los diferentes tipos de imágenes de GE que conforman la descripción de la Tierra están sujetas a un sistema de proyección UTM, estas son afectadas en su representación de su latitud y longitud, según el grado de resolución del tipo de imagen utilizada. Tal situación también repercute en diversos cambios de la posición escalar de las imágenes, que al ejercer un cierto grado de zoom en una determinada superficie, se genera un cierto incremento de píxeles en las imágenes que describen elementos del territorio. Cuando la resolución de la imagen es menor, la latitud y la longitud se adaptan a una serie de mecanismos de una más pobre representación pixelar, que de igual manera se pueda contabilizar a través de una cierta cantidad de vistas analizando la capacidad para profundizar en la resolución de la imagen y el proceso contrario (go back) del zoom, de tal manera, a poder asociar a éstos con una tabla descriptiva que relate el tipo de escala asociado y su descripción métrica. Así mismo, es necesario considerar las diferentes resoluciones de las pantallas en donde se observa a los diversos elementos que analizamos del territorio, dado que dichas pantallas están sujetas a ciertas clasificaciones de píxeles, las cuales, son convertidas y adaptadas automáticamente cuando se observan imágenes de GE en un determinado tipo de pantalla. Un mecanismo desarrollado (Tanner, 2003), describe en una patente (US 6,618,053 B1) “the asynchronous multilevel texture pipeline”, Método que relata los procesos reales en los cuales está sustentada la funcionalidad del estructura de GE.

El objeto de este estudio tiene como propósito generar indicadores escalares en GE, a fin de determinar una relación escala-imagen que asocie a las características que describen visualmente algunos elementos del uso de suelo, pudiendo ser utilizados en la diversidad de análisis de trabajos y proyectos de investigación. Así mismo, se pretende facilitar un conocimiento estimado de la relación imagen-escala, a la gran diversidad de usuarios que estudian el territorio y aquellos que requieren indicadores porcentuales del uso de imágenes y su relación a una escala para determinados fines. Si para ciertos estudios; determinar

áreas o superficies, relacionar distancias, representar volúmenes, medir espacios, aprovechar la resolución de elementos de las imágenes y su temporalidad, entre otros elementos de estudio, el catalogo de indicadores de la relación escalar en las imágenes de GE, puede apoyar tales ejercicios, según los indicadores escalares definidos en el análisis que se describirá a lo largo de este artículo.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Se realizó análisis de muestras en las imágenes cubriendo el territorio de la República Mexicana, en la región 14° a 33° de latitud norte y de 86° a 119° de longitud oeste. Las diversas imágenes que hacen la cobertura de dicho territorio son de Cnes/Spot, Digital Globe, GeoEye, NASA. Existen lugares en el planeta en donde la cobertura de las imágenes con muy buen nivel de detalle permite que se incremente el profundizar en las imágenes con más niveles de zoom, de lo cual se registran más escalas de dichas zonas. Contrariamente, en otros lugares con poca resolución de las imágenes se originan menos niveles de zoom.

Selección de muestras

Para elegir las muestras se describió una lista de apartados de recursos naturales representados en las imágenes de GE y que serían evaluados a fin de seleccionar aquellos que mejor pudieran ser medidos en dichas imágenes. Inicialmente, se seleccionó el agua, suelo, agricultura, ganadería, litorales, flora y fauna. También se tomó en cuenta infraestructura, vías de comunicación, zonas urbanas y rurales. El criterio para su selección consistió en poder captar en las imágenes la nitidez del objeto y la conformación de sus características representativas de tal manera a poder medirlo. Así mismo, se seleccionó una muestra por cada elemento de recurso natural de los ya determinados para cada Estado del País, y que a su vez fuese representativa. Se omitieron algunos Estados de la República que no contaban con cuerpos de agua superficiales y bosques.

Descripción de la metodología

Habiendo analizado y determinado una relación de escalas en GM, éstas las relacionamos en la interface de GE, de tal manera a asociar ciertas correspondencias de representación escalar. Dado que la resolución de las imágenes de GE está definida por un factor que se conoce como pixeles por pulgada o PPI (*pixel per inch*), esta medida indica la cantidad de pixeles que se encuentran en una pulgada física en el monitor, de tal manera que este es el factor que provoca que una imagen cambie de tamaño de una pantalla a otra, ya que entre mayor sea la cantidad de PPI mas pequeña será la visualización de la imagen. Para la medición de las muestras en pantalla se utilizó a *JrulerPro software* (Figure 1) que facilitó este proceso. Desarrollado por la compañía Spadix Software, esta herramienta es una regla digital que permite medir cualquier objeto en la pantalla. Es útil para la medición de gráficos y para la distribución de espacio en páginas web. La regla puede mostrarse en pixeles, pulgadas, picas y centímetros.

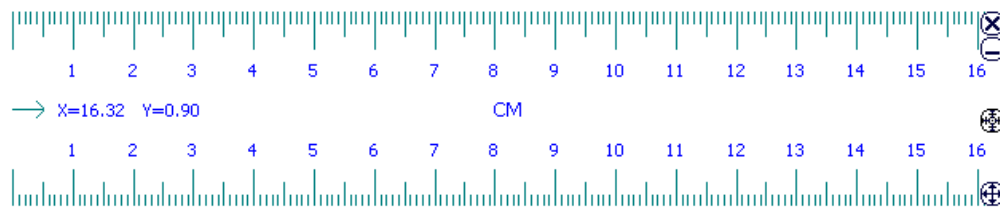


Figura 1. JrulerPro

Para este estudio se utilizó la versión 3.0 Pro. Al ejecutarse la regla, esta se puede rotar, puede ser arrastrada, girada y extendida y puede cambiar su graduación de manera automática, además de modificar la transparencia. Inicialmente, el procedimiento para determinar la relación de escalas entre los niveles existentes de zoom en GM fue de la siguiente manera: Instalado el software Jruler y una vez ubicados en la pantalla, nos introducimos en los niveles de zoom, de tal manera a ubicarnos o centrarnos en el mapa del País o Ciudad de nuestra preferencia, en este caso, se ubicó en la Ciudad de San Luis Potosí, México. Enseguida, se cambia la vista a modo en mapa, de esta manera facilitaremos la medición al no haber tantos elementos en la pantalla. El zoom se ajusta al nivel que queremos medir (Figure 2), en esta ocasión utilizamos como ejemplo el nivel 18 del zoom al cual asociamos la regla.

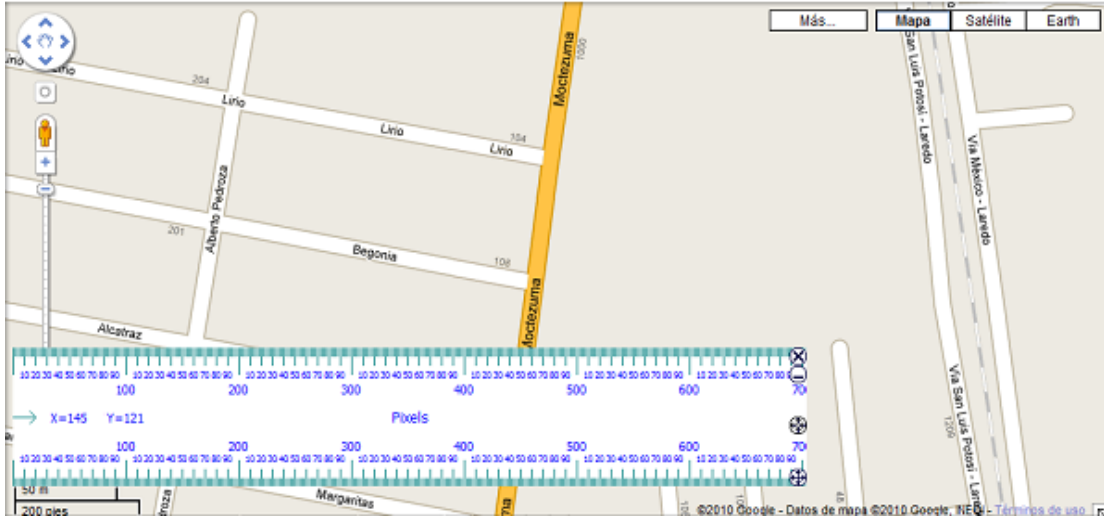


Figura 2. Nivel 18 en GM y el ejemplo del asociado de la regla Jruler.

De esta manera podemos ver la cantidad de pixeles que mide la línea de extremo a extremo, de lo cual, observamos una medición de aproximadamente 90 pixeles (Figure 3). Como anteriormente se señaló, la cantidad de pixeles de los cuales está formada una imagen varía dependiendo de la resolución de la pantalla en donde está se localice.

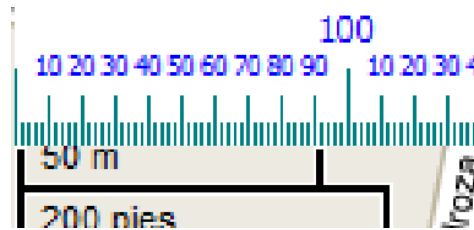


Figura 3. Medida de cantidad de pixeles con la regla Jruler.

Al cambiar la medición del Jruler a cm para medir la línea de escala nuevamente, en este caso dará un aproximado de 2.5 cm de extremo a extremo de la línea de escala (Figura 4).

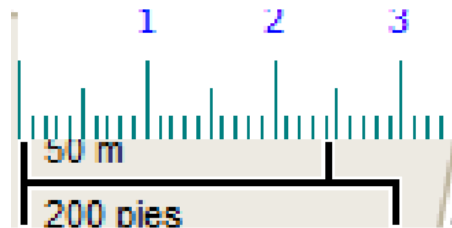


Figura 4. Medida en cm con la regla Jruler.

Debido a que Jruler cambia automáticamente el número de píxeles por centímetro, la medición no cambiará, no importa en qué pantalla o resolución se visualice la línea de escala anteriormente medida, esta siempre medirá 2.5 cm. Esta línea, la cual de extremo a extremo representa una medida de 50 metros o 5000 centímetros, mide según la regla 2.5 centímetros. Si dividimos la medida que representa la línea (5000 cm) entre lo que realmente mide (2.5cm), nos dará por resultado el valor de la proporción de los centímetros en una escala estimada de 2000. De los pasos que se señalaron en el ejemplo anterior, estos se repitieron con cada uno de los 20 niveles de zoom en GM, de tal manera a sacar la equivalencia de centímetros entre *Jruler* y los niveles de zoom. Tal procedimiento permitió establecer el siguiente catálogo de escalas según los diferentes niveles de Zoom (Tabla 1).

Zoom	Metros representados en la línea de escala	Centímetros medidos en la línea de escala (jruler)	Proporción de centímetros en escala estimada
0	10000000	2	1:500000000
1	5000000	2	1:250000000
2	2000000	2	1:100000000
3	2000000	3.2	1:62500000
4	1000000	3.2	1:31250000
5	500000	3.2	1:15625000
6	200000	2.5	1:8000000
7	100000	2.5	1:4000000
8	50000	2.5	1:2000000
9	20000	2	1:1000000
10	10000	2	1:500000
11	5000	2	1:250000
12	2000	1.6	:125000
13	2000	3	1:66666
14	1000	3	1:33333
15	500	3	1:16666
16	200	2.5	1:8000
17	100	2.5	1:4000
18	50	2.5	1:2000
19	20	2	1:1000

Tabla 1. Escalas asociadas a GM según los diferentes niveles de zoom

Experimentaciones en la medición de muestras en GE

Con el objeto de asociar las escalas determinadas en GM, se procedió a establecer un mecanismo en GE, el cual se describe a continuación:

En GE el primer paso consiste en ubicar la zona de la muestra según el elemento u objeto, representando algún recurso natural. En este caso, como ejemplo se hará una muestra de cuerpos de agua en la laguna Miramar (Figura 5) en el Estado de Chiapas.

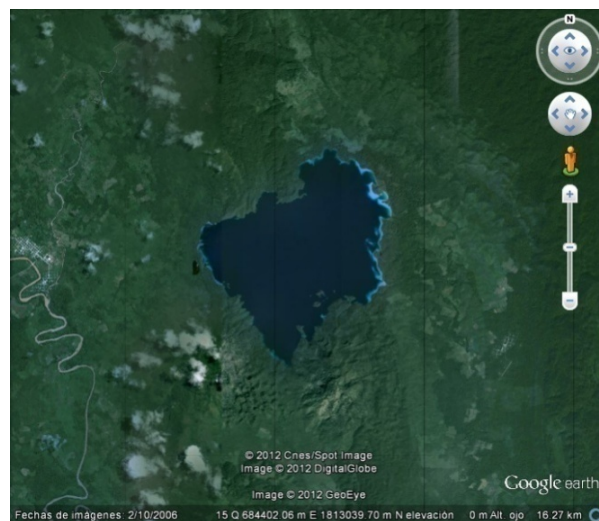


Figura 5. Muestra del Estado de Chiapas para cuerpos de agua.

Posteriormente, sobre la zona determinada de la imagen se traza la línea base, tratando de marcar la mayor longitud en el elemento (Figura 6) y enseguida se registran los datos determinados en la ventana regla. Cabe recalcar, que este procedimiento implica la determinación de un criterio establecido para medir cuerpos de agua, en los cuales se pretendía encontrar una similitud de longitud y superficie entre dichos elementos representados en las diversas imágenes sobre el visualizador de GE.

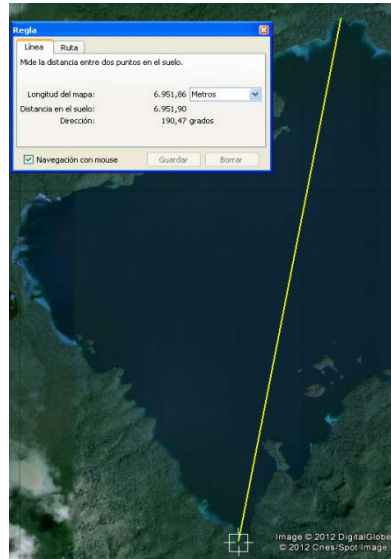


Figura 6. Trazo de la línea base

También establecemos una marca para obtener coordenadas del elemento, posteriormente se traza una línea auxiliar a un costado del objeto en análisis, de tal manera a determinar la escala. En el siguiente ejemplo (Figura 7) se adecuará la vista a escala 1:8000, según la relación de escalas determinadas en la (tabla 1). En dicha vista trazamos una línea de 200 metros con la regla de GE, debiendo corresponder a 2.5 cm de la regla Jruuler.

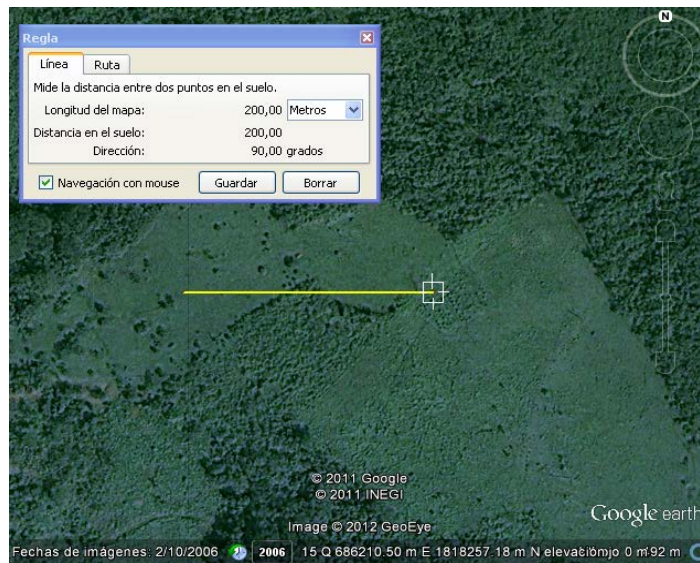


Figura 7. Trazo de Línea auxiliar.

En el caso de la escala 1:8000 necesitamos representar una línea de 200 metros en 2.5 cm en pantalla, de tal manera que ajustamos el zoom de la vista para llegar a la medida del tamaño de la línea auxiliar, procedimiento que determina el ajuste de escala en la vista

(Figura 8), una vez ajustado el zoom al tamaño de la línea auxiliar, la vista estará en la escala indicada pudiendo ser medida con Jruler y posteriormente capturada la medida en su tabla correspondiente en la columna (cm en la línea de escala). Este procedimiento se repitió las veces necesarias sobre el elemento del mismo sitio, tomando en cuenta la adecuación del zoom en GE, en relación a aquellas escalas de la (tabla 1) que permitieron poder observar al elemento muestreado al profundizar con el zoom en la resolución de cada imagen en la que el elemento se encontraba localizado.

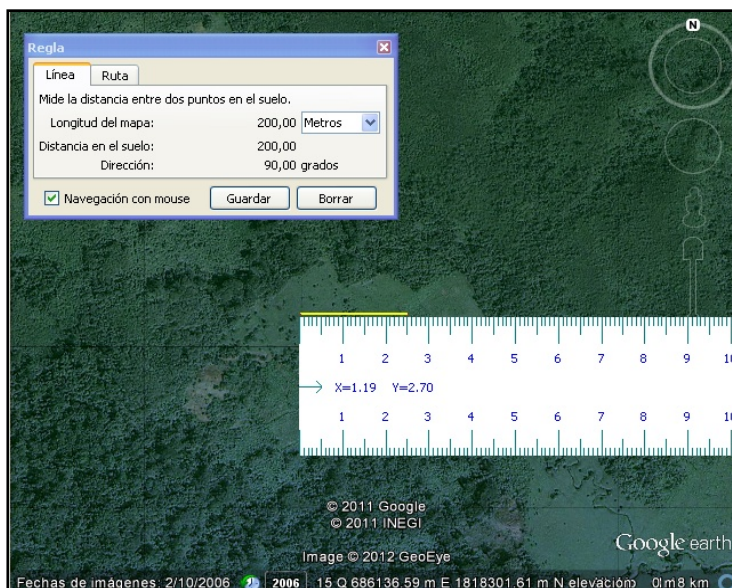


Figura 8. Ajuste de la escala en la vista.

Enseguida volvemos a medir el elemento señalado en la (figura 6), cuidando no modificar el zoom de la vista, de tal manera a medir una línea base con ayuda del Jruler (Figura 9). Esta operación nos permite trabajar en la posición de la imagen, de la cual se estatizan los parámetros del zoom en pantalla, permitiéndonos obtener la longitud con la regla en la vista determinada, de tal manera a obtener su valor en cm, el cual multiplicamos por los mts representados en la línea de la escala, que en este ejemplo corresponde a 200 mts en la escala 1:8000 (correspondiente al valor de la columna “*Proporción en cm*” en la tabla 1), los cuales ya multiplicados se dividen entre los 2.5 cm, que se determinaron al ajustar la vista y su correspondencia en la herramienta Jruler (figures 8 y 9). Entonces la operación descrita en el cálculo de este ejemplo, queda registrada junto con los valores de todas las

muestras analizadas en hoja de cálculo (Tabla 2), siendo representada de la siguiente manera: **84.4** (cm en la regla)***200** (m representados en la línea de escala) / **2.5** (cm en la línea de escala medido con Jruler) = **6752.0** (Longitud calculada). Así mismo, también se toma el valor de altura de ojo, el cual también es registrado en la hoja de cálculo, sirviendo a determinar la variación de observación de cada vista, según los diferentes niveles de zoom.

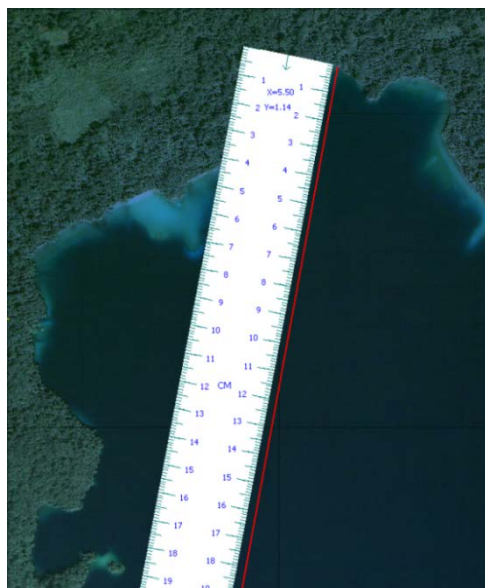


Figura 9. Medición de línea de la muestra.

Para cada apartado en el que se trabajó (suelo agrícola, agua, infraestructura y bosques), se basó en las escalas de la Tabla 1, de tal manera que la determinación de las escalas del ejemplo de la Tabla 3, estuvo relacionada con aquellos objetos que se pudieron medir, siendo estos visibles en pantalla según escala establecida. Se determinaron un total de 893 muestras divididas de la siguiente manera: 256 muestras para suelo en 32 estados (8 escalas analizadas), 217 muestras para cuerpos de agua en 31 estados (7 escalas analizadas), 224 muestras en infraestructura en 32 estados (7 escalas analizadas), y 196 muestras para bosque en solo 28 estados (7 escalas analizadas).

	A	B	C	D	E	F	G
56	CHIAPAS						
57							
58	Estado	Desc. muestr	Longitud (m)	E	N	FECHA	PROVEEDOR
59	Chiapas	Cuerpos de a	6943	686041	1814634	8/13/2006	DigitalGlobe-Cnes
60							
61		ESCALA	mts representados en la línea de escala	cm en la línea de escala	cm en regla	ALTURA (km)	log calculada (m)
62		1:1000000	20000	2	0.7	225.85	7000.0
63		1:500000	10000	2	1.4	113.94	7000.0
64		1:250000	5000	2	2.8	57.83	7000.0
65		1:66666	2000	3	10.6	15.39	7066.7
66		1:33333	1000	3	20.7	8.02	6900.0
67		1:16666	500	3	41.8	4.07	6966.7
68		1:8000	200	2.5	84.4	2.16	6752.0

Tabla 2. Tablas registro de descripción y mediciones en cada escala utilizada.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE MUESTRAS DE LA RELACION ESCALA-IMAGEN

Se obtuvieron una serie de escalas representativas para el manejo de las diferentes imágenes de GE, las cuales fueron generadas a partir del análisis de muestras, en relación a la funcionalidad del zoom, al interior del proceso de la resolución de cada imagen para las diferentes temáticas que fueron sujeto de análisis. Dicha serie de escalas representativas se describe a continuación en la siguiente (Tabla 3). Hasta este paso, se asocia que para cada temática seleccionada existe una variedad de escalas que son representativas para el manejo de las diversas imágenes cubriendo el sector de análisis de este trabajo. Sin embargo, se detallarán las implicaciones consideradas en el uso de dichas escalas determinadas para cada temática, analizando los procedimientos en base al señalamiento de rangos de error, según la variedad del análisis de cada muestra.

Escala	Suelo	Cuerpos de agua	Infraestructura	Bosque
1:4,000,000				✓
1:2,000,000				✓
1:1,000,000		✓		✓
1:500,000		✓		✓
1:250,000	✓	✓		✓
1:66,666	✓	✓	✓	✓
1:33,333	✓	✓	✓	✓
1:16,666	✓	✓	✓	
1:8,000	✓	✓	✓	
1:4,000	✓		✓	
1:2,000	✓		✓	
1:1,000	✓		✓	

Tabla 3. Escalas representativas para los diferentes temas

Las muestras analizadas fueron variadas en sus longitudes tomadas en m. De lo cual, para cada una de las temáticas, se describe en la (Tabla 4), un listado de las longitudes de las muestras correspondientes a cada uno de los 32 Estados de la República Mexicana. De tal manera, que los rangos tienen una dispersión de longitud que varía de la siguiente manera:

1. Suelo agrícola (93 – 665 m) (en las diferentes muestras)
2. Infraestructura (178 – 1601 m)
3. Cuerpos de agua (1417 – 21219 m)
4. Bosque (14651 – 263999 m)

No.	Ciudades	Suelo	Cuerpos de agua	Infraestructura	Bosque
1	Aguascalientes	200	6450	254	49195
2	Baja California Norte	280	2776	298	60378
3	Baja California Sur	140	1787	241	69287
4	Campeche	175	4309	408	
5	Chiapas	185	6943	455	263999
6	Chihuahua	665	3701	251	122005
7	Coahuila	473	5900	871	62446
8	Colima	300	6688	409	36206
9	Durango	392	8677	473	63034
10	Guanajuato	189	4546	180	38244
11	Guerrero	93	5489	382	42103
12	Hidalgo	203	7022	272	39206
13	Jalisco	198	3130	666	22776
14	Estado de México	183	9751	464	22973
15	Michoacán	450	3933	350	29600
16	Morelos	251	4280	261	14651
17	Nayarit	280	21219	811	35461
18	Nuevo León	475	8360	1257	52240
19	Oaxaca	260	11083	1601	39454
20	Puebla	196	11373	464	29563
21	Querétaro	290	2785	373	24233
22	Quintana Roo	184	9458	211	
23	San Luis Potosí	106	4634	178	15188
24	Sinaloa	382	7095	350	35197
25	Sonora	410	10780	1250	72721
26	Tabasco	195	6244	246	
27	Tamaulipas	483	15316	462	20748
28	Tlaxcala	232	3711	230	15686
29	Veracruz	201	12227	223	15686
30	Yucatán	201		360	43486
31	Zacatecas	347	3705	629	
32	Distrito Federal	482	1417	115	17220

Tabla 4. Longitud de las muestras en metros

A fin de concentrar dicha variación, se definió un promedio para cada una de las temáticas, con el objeto de efectuar un muestreo estadístico que permita verificar un análisis de su dispersión. En este caso para suelo, se encontró un promedio de 284m, cuerpos de agua con 6928.7m, infraestructura con 475m y bosque con 48320.9m (Tabla 5). Así mismo, se determinaron otros valores estadísticos de las mismas longitudes.

	Suelo Agrícola	Cuerpos de agua	Infraestructura	Bosque
N	32	31	32	28
Promedio	284.4m	6928.7	475.0	48320.9
Máximo	665.0m	21219.0	1601.0	263999.0
Mínimo	93.0m	1417.0	178.0	14651.0
Varianza	18057.9	18282865.7	122497.0	2334635704.3
Desviación estándar	134.4m	4275.8	350.0	48318.1

Tabla 5. Estadísticos de las medidas de las muestras

Porcentaje de error en las mediciones

Para realizar una comparación de las longitudes de las muestras y lo obtenido al medir en cada escala con Jruler, se optó por manejar un porcentaje de error. Esto, debido a que cada muestra tiene una medida diferente, y no podemos manejar cierta cantidad en metros de error promedio por escala en todas las muestras. De tal manera que para cada muestra, se determinó obtener su diferencia en base a la medida de la longitud calculada en pantalla y la medida determinada con la regla Jruler, la cual describe el error. El error se multiplica por 100 y se divide entre la longitud de la muestra (medida con Jruler), dando el porcentaje de error en la escala determinada. Por ejemplo, para sacar el porcentaje de error en la temática de suelo para la escala 1:250 000 de la (Tabla 6), se efectuó un procedimiento para cada estado de la República Mexicana, que inicialmente se calcula de la siguiente manera:

CIUDAD	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	LONGITUD (m)	E	N	FECHA	PROVEDOR
Aguascalientes	suelo agrícola (lindero)	200	770591,98	2424350,41	2009-08-23	Geoye/INEGI

ESCALA	METROS REPRESENTADOS EN LA LINEA DE ESCALA EN GE	CM MEDIDOS EN LA LINEA DE LA ESCALA EN PANTALLA (JRULER)	cm en regla LONGITUD DE LA MUESTRA EN PANTALLA CON JRULER	ALTURA (km)	log_calculada (m)	error	%error
1:250000	5000	2	0,15	25,07	375,0	175,0	87,5
1:66666	2000	3	0,3	13,93	200,0	0,0	0,0

1:33333	1000	3	0,6	7,8	200,0	0,0	0,0
1:16666	500	3	1,2	4,87	200,0	0,0	0,0
1:8000	200	2,5	2,5	3,34	200,0	0,0	0,0
1:4000	100	2,5	5	2,61	200,0	0,0	0,0
1:2000	50	2,5	9,8	2,25	196,0	4,0	2,0
1:1000	20	2	25,6	2,08	256,0	56,0	28,0

Tabla 6. Tablas registro para calculo de porcentajes de error en muestras

En este caso para Aguascalientes con 375m (Long calculada) – 200m (medida de la longitud de la muestra con Jruler) = 175m de diferencia, entonces los $175 \times 100 / 200 = 87.5$ % de error. Los porcentajes de cada muestra tomada en misma escala se suman y promedian, de aquí que surgió el 15.2% para la escala 1:250 000 en la temática suelo. Siendo dado que se calculó mismo procedimiento para los 32 estados, el resultado de cada uno de ellos en las demás escalas, de igual manera se suma y se saca promedio % error. Mismos procedimientos se utilizaron para determinar los diversos porcentajes de error de las cuatro temáticas analizadas. A fin de describir el comportamiento de los promedios de porcentaje de error determinados en cada muestra analizada de las cuatro temáticas, se generaron unas gráficas (figuras 10-13) que describen tales resultados. Dichas gráficas describen un patrón muy similar y éste manifiesta que el error es grande en escalas pequeñas, de tal manera que conforme la escala aumenta hasta que sobrepasa la mitad de las escalas, llega al menor error, para después incrementarse un poco.

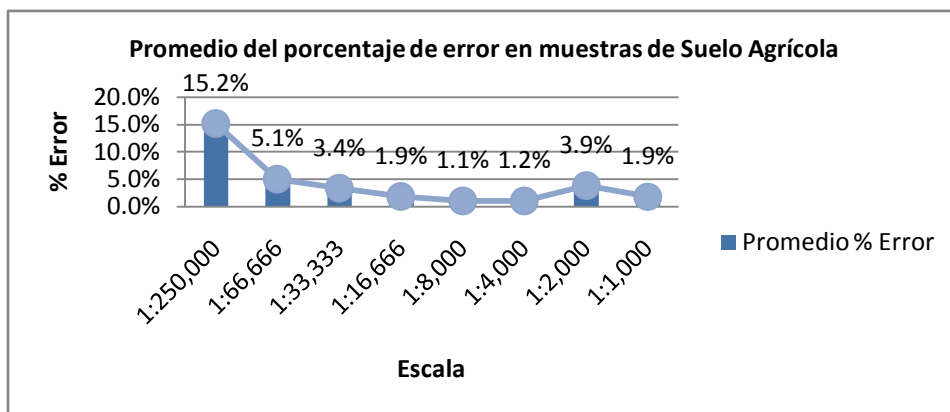


Figure 10. Promedio del porcentaje de error de muestras en Suelo agrícola

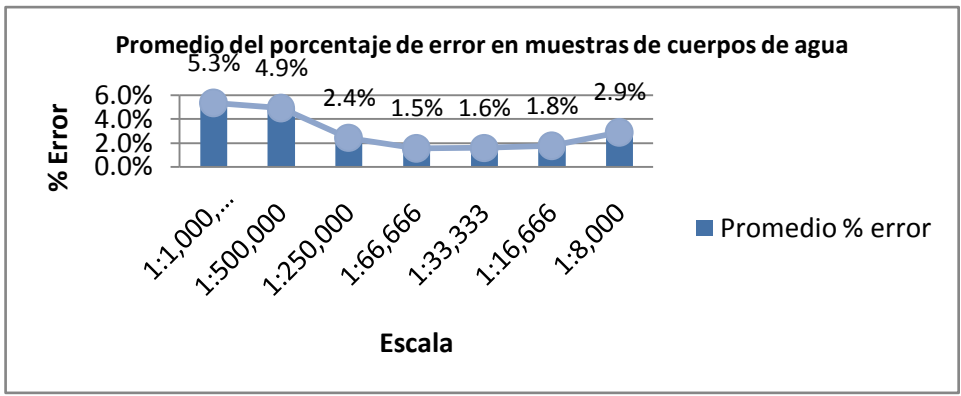


Figure 11. Promedio del porcentaje de error de muestras de cuerpos de agua

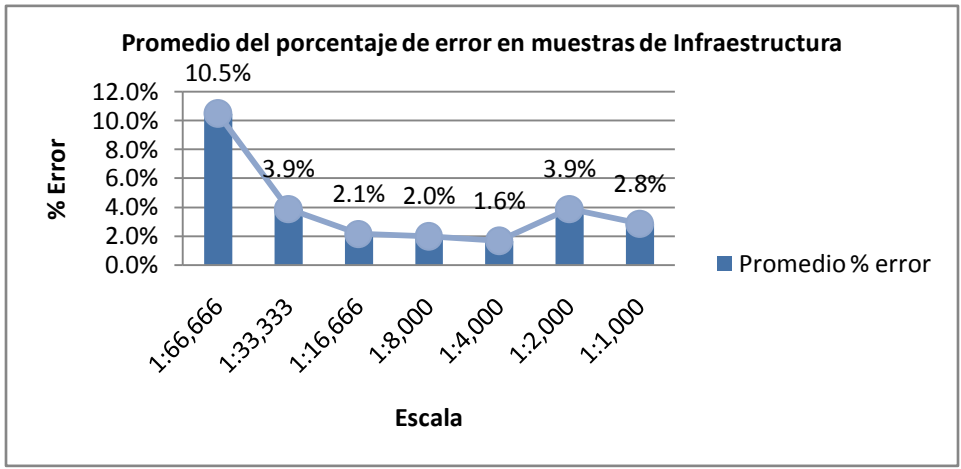


Figure 12. Promedio del porcentaje de error de muestras de infraestructura

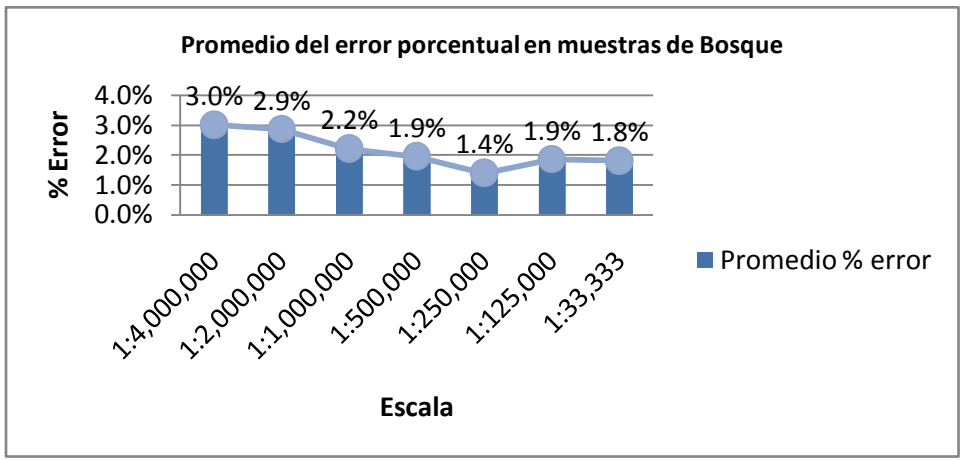


Figure 13. Promedio del porcentaje de error de muestras de bosque

Concentrando las anteriores gráficas en una sola, se muestra la semejanza entre los errores de las cuatro temáticas abordadas. De las cuales, se describe lo siguiente:

Generalizando las escalas para poder cotejar los resultados en cada apartado, se reconoce que en una quinta escala de cada tema se encontró el menor valor en el porcentaje de error, a excepción de cuerpos de agua, donde la mínima se encuentra en una cuarta escala. Ver (Figura 14).

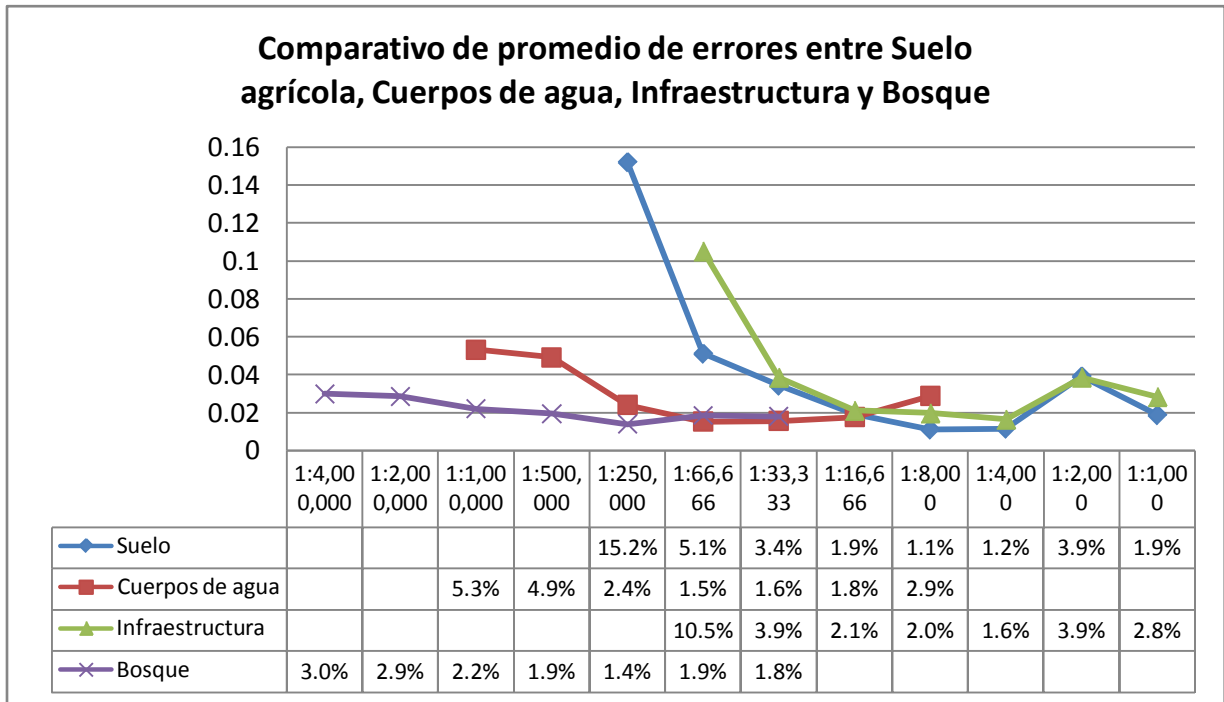


Figure 14. Comparativo de promedio de errores entre suelo agrícola, cuerpos de agua, infraestructura y bosque

- En la primer escala de cada tema (Suelo 1:250,000 – Cuerpos de agua 1:1,000,000 – Infraestructura 1:66,666 – Bosque 1:4,000,000):

→ La muestra se visualiza muy pequeña, de los milímetros a unos cuantos centímetros.

- En la tercer y cuarta escala de cada tema (Suelo 1:33,333 y 1:16,666 – Cuerpos de agua 1:250,000 y 1:66,666 – Infraestructura 1:16,666 y 1:8000 – bosque 1:1,000,000 y 1:500,000):

→ La muestra se observa medianamente y se puede medir en la pantalla.

- En quinta escala de cada tema (Suelo 1:8,000 – Cuerpos de agua 1:33,333 – Infraestructura 1:4,000 – Bosque 1:250,000):

→ La muestra se visualiza por completo en la pantalla, lo que facilita su medición directa con la regla.

- A partir de la sexta escala de cada tema (Suelo: 4,000 – Cuerpos de agua 1:16,666 – Infraestructura 1:2,000 – Bosque 1:66,666):

→ La muestra sobrepasa la pantalla, por lo que se tiene que medir varias veces con la regla. Los cambios que se hacen al mover la regla o la muestra provocan que el error aumente.

Variación del error en cada escala

Una vez mostrado el porcentaje de error entre la longitud de la muestra en la interface de GE, lo obtenido con la regla, así como sus respectivos cálculos, enseguida, se describirán las variaciones entre los errores en cada escala, manejando también el porcentaje de error. Para este caso, ambas variables ayudan a encontrar la escala en donde existe mayor variación entre los errores, es decir, en donde es más probable que los errores de las mediciones sufran mayores alteraciones.

Para analizar tales variaciones aplicamos la siguiente formula de la varianza (σ^2) a fin de medir la media de las diferencias entre el conjunto de valores del error en las diferentes escalas analizadas.

Donde:

S^2 = Varianza

X_i = valor observado

\bar{X} = promedio de las observaciones

n = elementos de la muestra

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

De igual manera, deseando saber cuánto se separaban los datos de los porcentajes, determinamos la desviación estándar (σ) con el objeto de medir la dispersión en la media de distancias entre los porcentajes de error determinados.

$$s = \sqrt{s^2}$$

En las siguientes (Tablas 7-10) se muestra la varianza y desviación estándar obtenidas para cada tema. En este caso, se observa también un patrón muy parecido al del promedio del porcentaje de error, el cual será representado en graficas posteriores.

ESCALA	σ^2	σ
1:250,000	349.36	18.69
1:66,666	19.50	4.42
1:33,333	12.05	3.47
1:16,666	9.01	3.00
1:8,000	1.39	1.18
1:4,000	1.03	1.02
1:2,000	194.17	13.93
1:1,000	23.83	4.88

Tabla 7. Varianza y Desviación estándar para muestras de suelo agrícola

ESCALA	σ^2	σ
1:1,000,000	9.29	3.05
1:500,000	49.31	7.02
1:250,000	12.89	3.59
1:66,666	2.95	1.72
1:33,333	1.48	1.22
1:16,666	2.40	1.55
1:8,000	28.44	5.33

Tabla 8. Varianza y Desviación estándar para muestras de cuerpos de agua

ESCALA	σ^2	σ
1:66,666	338.05	18.39
1:33,333	13.68	3.70
1:16,666	2.69	1.64
1:8,000	1.72	1.31
1:4,000	1.47	1.21
1:2,000	73.21	8.56
1:1,000	56.96	7.55

Tabla 9. Varianza y Desviación estándar para muestras de infraestructura

ESCALA	σ^2	σ
1:4000000	5.11	2.26
1:2000000	6.04	2.46
1:1000000	3.41	1.85
1:500000	2.09	1.45

1:250000	1.17	1.08
1:125000	2.43	1.56
1:33333	1.43	1.20

Tabla 10. Varianza y Desviación estándar para muestras de bosque

Se generaron las siguientes graficas en base a los cálculos determinados para sacar la desviación estándar, las cuales se manifiestan en las (Figuras 15-18), en tales graficas se percibe que a una menor escala se presenta una mayor variación entre los valores calculados en las muestras. También hay un punto después del centro donde existe una menor dispersión, la cual muestra después otros aumentos.

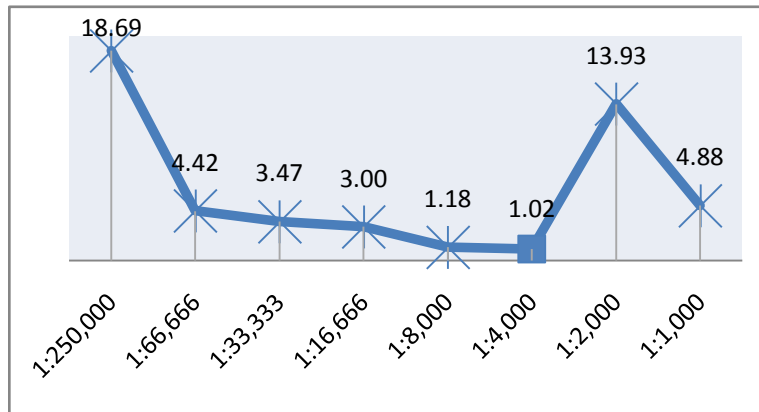


Figura 15. Desviación estándar para porcentaje de error en suelo agrícola

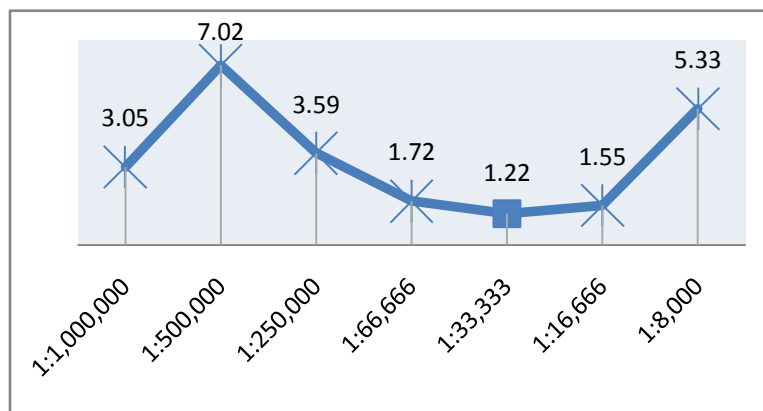


Figura 16. Desviación estándar para porcentaje de error en cuerpos de agua

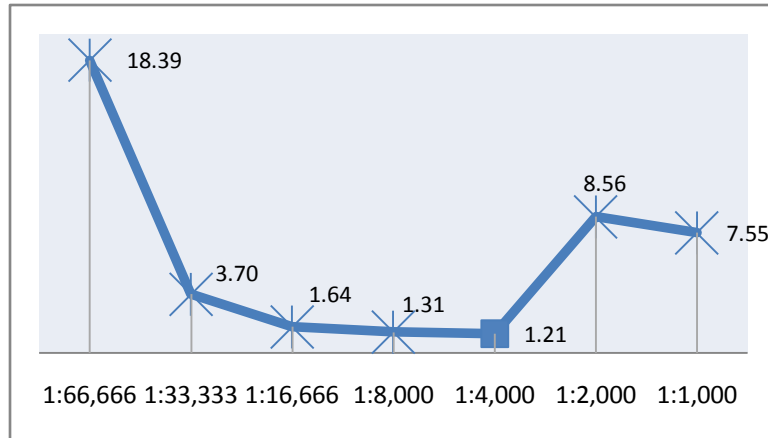


Figura 17. Desviación estándar para porcentaje de error en infraestructura

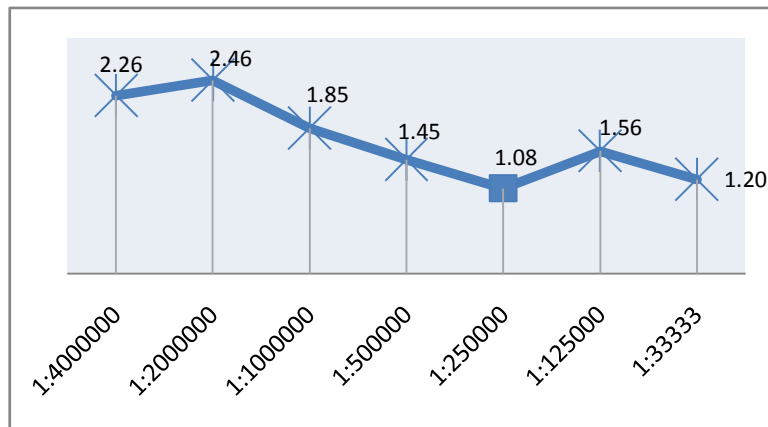


Figura 18. Desviación estándar para porcentaje de error en bosque

Haciendo el comparativo entre los resultados para el cálculo de los porcentajes de error (figuras 11-14) y aquellos determinados en base al cálculo de la desviación estándar (figuras 15-18), se describe las siguientes comparaciones:

Tomando en cuenta el promedio de porcentaje de error:

Suelo agrícola, el mínimo fue 1.1% (1:8,000) y el máximo 15.2% (1:250,000)

Cuerpos de agua, mínimo de 1.5% (1:66,666) y máximo de 5.3% (1:1,000,000)

Infraestructura, mínimo de 1.6% (1:4,000) y máximo de 10.5% (1:66,666)

Bosque, mínimo de 1.4% (1:250,000) y máximo de 3% (1:4,000,000)

En base a la variación del porcentaje de error, manejando la desviación estándar:

Suelo agrícola, mínima de 1.02% (1:4,000) y máxima 18.69% (1:250,000)

Cuerpos de agua, mínima de 1.22% (133,333) y máxima de 7.02% (1:500,000)

Infraestructura, mínima de 1.21% (1:4,000) y máxima de 18.39% (1:66,666)

Bosque, mínima de 1.08% (1:250,000) y máxima de 2.46% (1:2,000,000)

De acuerdo con lo anterior, se muestran a continuación las escalas que se recomienda asociar con las imágenes de GE en los temas de los cuales se efectuó el análisis de este trabajo. Tales escalas determinadas permitirán obtener un menor error y mayor calidad en las diversas aplicaciones que se efectúen al respecto en la relación escala-imagen. Las escalas en base al promedio de los porcentajes de error, determinan los rangos reales entre los errores generados para cada una de las escalas, mientras que las escalas determinadas en base a la variación entre errores, permiten encontrar la escala en donde la dispersión del porcentaje de error con respecto a su media sea menor.

EN BASE AL PORCENTAJE DE ERROR	
MUESTRA	ESCALA
Suelo Agrícola	1:8,000
Cuerpos de Agua	1:66,666
Infraestructura	1:4,000
Bosque	1:250,000

EN BASE A VARIACION ENTRE ERRORES	
MUESTRA	ESCALA
Suelo Agrícola	1:4,000
Cuerpos de Agua	1:33,333
Infraestructura	1:4,000
Bosque	1:250,000

CONCLUSIONES

El análisis realizado confirmó la hipótesis de la dependencia de la escala de visualización y el error asociado en la interpretación de caracteres relacionados con el uso del suelo utilizando las imágenes. Se generó un catálogo escala-imagen de uso potencial, que contiene una serie de recursos para facilitar y guiar en el uso óptimo de escalas del sistema de visualización GE. Dicho catálogo puede permitir estandarizar los tipos de escalas en el visualizador para ciertos fines de estudio, además definir los elementos geográficos describiendo recursos naturales que pueden aprovecharse a una determinada escala para un sin fin de estudios y análisis efectuados sobre dicho sistema de visualización. Dado que el catálogo de la relación imagen-escala, ha sido analizado directamente para asociar la representación de la realidad de los elementos en las imágenes a una cierta escala, es posible relacionar la integración de datos vectoriales en la plataforma de GE, con el objeto de analizar diferencias de los datos vectoriales y su relación con las imágenes de base en las cuales según su resolución de éstas se pueda describir las inconsistencias presentadas.

Dentro del proceso de la metodología utilizada, la inclusión de una regla digital para la medición de elementos sobre GE influye en la calidad de la medición de estos, ya que se obtiene un valor más acertado mientras el elemento no sea muy pequeño en pantalla, ni tan grande que la sobrepase. De las escalas determinadas para cada tema, a menor escala existe un mayor error en la medición. En el caso de ir en las imágenes de menor detalle a mayor detalle en escalas centrales (escala intermedia), donde el elemento sea completamente visible en pantalla y no tan pequeño, el error tiene su menor valor. Conforme las escalas van aumentando (ir a mayor detalle), se presenta en cierto momento en la imagen que el objeto observado es mayor y sobrepasa el tamaño de la pantalla, debido a que el zoom se ha aumentado a fin de adaptar la vista a la escala, de tal manera, que para poder lograr medir tal objeto, se tendrá que tener mayor cuidado en lograr la completa medición en tramos con Jruler por parte del usuario. Cabe mencionar que existen lugares en el planeta en donde la cobertura de las imágenes con muy buen nivel de detalle permite que se incremente profundizar en las imágenes con más niveles de zoom, de lo cual se registran más escalas de dichas zonas. Contrariamente, en otros lugares con poca resolución de las imágenes se originan menos niveles de zoom. GE así como otras nuevas tecnologías en visualización de

datos espaciales, el desarrollo de aplicaciones de los propios sistemas, tales que los API's, los desarrollos de infraestructuras de datos y los nuevos lineamientos de investigación en Digital Earth (DE), tendrán en su momento que responder a las necesidades de representación de calidad de todos los objetos geográficos sobre los diversos y variados territorios.

AGRADECIMIENTOS

Loa autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACyT, quien ha hecho posible el apoyo para esta investigación. También agradecemos al virtual globe GE, por la disponibilidad de la versión profesional del visualizador.

LITERATURA CITADA

- Chen, A. G. G. L., S.J. Kempler, L. Di. (2010). "Visualization of Earth Science Data Using Google Earth." The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 34(Part XXX): 6.
- Craglia M., G. M. F., Annoni A., Camara G., Gould M., Kuhn W., Mark D., Masser I., Maguire D., Liang S., (2008). "Next-Generation Digital Earth* A position paper from the Vespucci Initiative for the Advancement of Geographic Information Science." International Journal of Spatial Data Infrastructures Research 3(DOI: 10.2902/1725-0463.2008.03.art9): 146-167.
- Crossley, J. (2008). A Rough Google Earth Guide. Mercy Corps. University of Edinburgh: 24.
- Dransch, D. (2000). "The use of different media in visualizing spatial data." Computers & Geosciences 26(PERGAMON): 5-9.
- Corbelle Rico, E., M. L. G. D., J. Armesto González, T. Rego Sanmartín (2006). "La escala cartográfica de la imagen de satélite. Caso particular de las imágenes Ikonos y QuickBird." Revista de Teledetección 26: 18-24.
- Gibin, M., Alex Singleton, Richard Milton, Pablo Mateos, Paul Longley (2008). Collaborative Mapping of London Using Google Maps: The LondonProfiler. UCL WORKING PAPERS SERIES. University College London, Centre for Advanced Spatial Analysis. 1: 15.
- Henry, A. (2009). Using Google Earth for Internet GIS. Institute of Geography School of GeoSciences Edinburgh, University of Edinburgh. MSc in Geographical Information Science: 24.

- Sandvik, B. (2008). Using KML for Thematic Mapping. Institute of Geography School of GeoSciences. Edinburgh, University of Edinburgh. MSc in Geographical Information Science: 22.
- Schütze, E. (2007). Current state of technology and potential of Smart Map Browsing in web browsers using the example of the Free web mapping application OpenLayers. Multimedia Technology Bremen University of Applied Sciences. Osnabrück/Germany, Bremen University of Applied Sciences. MSc in Computer Science 128.
- Tanner, C. C., Cupertino, CA (2003). Asynchronous multilevel texture pipeline. United States, Vicarious Visions, Inc., Troy, NY (US). US 6,618,053 B1: 16.
- Tolk, A., James L. Boulet (2007). Lessons Learned on NATO Experiments on C2/M&S Interoperability. Spring Simulation Interoperability Workshop, Norfolk, VA,.
- Veregin, H. (2011). Concepts and Methods for Rule-Based Web Cartography. SCO Technical Paper. Wisconsin State Cartographer's Office, University of Wisconsin-Madison. 1: 22.
- Vijayalakshmi Atluri, S. A. C. (2007). "A geotemporal role-based authorisation system." Int. J. Information and Computer Security 1(1/2): 143-168.
- Zook, M. A., Graham M. (2007). "The creative reconstruction of the Internet: Google and the privatization of cyberspace and DigiPlace." Geoforum 38(2007): 1322-1343.

**CAPITULO 6. SISTEMA DE VISUALIZACIÓN Y
DIGITALIZACIÓN DE DATOS GEOGRÁFICOS (SIDDGEO) A
PARTIR DE MAPS API**

Sometido como: Cárdenas-Tristán A¹ ²., Treviño-Garza E.J²., Aguirre-Calderón O.A²., Jiménez-Pérez J²., González-Tagle M.A²., Antonio-Némiga X³., Digitalization System of Geographical Data based en Maps API. Revista: International Journal of Digital Earth

RESUMEN

Analizadas las últimas tendencias en cartografía vectorial beneficiando diversas aplicaciones en el uso de suelo, así como las tendencias para evaluar la calidad vectorial y su relación con sistemas de visualización, se propuso un prototipo que apoya la investigación en diversos ámbitos del manejo de recursos naturales, el análisis del ordenamiento territorial, la representación geométrica de la biodiversidad y la vegetación, entre otras aplicaciones. Dicho sistema se integra con el virtual globes Google Earth y Google Maps, in web based online analysis, permitiendo editar e integrar vectores, valorar su geometría, almacenar sus componentes métricos al interior de una base de datos espacial (BDE), reconstruir la geometría de objetos mal editados, medir la incertitud espacial a partir de la propagación de errores, el cálculo de áreas y volúmenes en cuerpos de agua y la reedición de archivos KML. La metodología utilizada integra mecanismos de interoperabilidad entre el sistema de visualización, talleres de ingeniería de software (CASE), uso de Google Maps Javascript API V3 y recientes tecnologías Web para la residencia del sistema.

Palabras Clave: Cartografía, API_Google Maps, API_Google Earth, Escala-Imagen, Sistemas en línea, Tecnologías espaciales

ABSTRACT

Analyzed the latest trends in vectorial mapping benefiting various land use applications, as well as trends to assess the vectorial quality and its relation to visualization systems, was proposed a prototype that supports research in various fields of natural resource management, analysis of territorial ordering, the geometric representation of biodiversity and vegetation, among other applications. This system integrates with virtual globes Google Earth and Google Maps in web based online analysis; allowing editing and integrating vectors, evaluate its geometry, store its metric components within a spatial database, reconstruct geometry of objects poorly edited, measure the spatial incertitud based on error propagation, calculating areas and volumes in water bodies and reediting KML files. The methodology integrates interoperability mechanisms among the

visualization system, Computer Aided Software Engineering (CASE), using Google Maps Javascript API V3 and recent Web technologies for system residency.

Keywords: Cartography, Google Maps and Google Earth API, Image-Scale, On line-System, Spatial technologies.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) interoperables se ha incrementado, debido a las recientes tendencias para el manejo de información espacial, en los cuales se ha dejado de lado ciertos paradigmas en la implementación de sistemas geográficos distribuibles (Chow 2008), mismos que han motivado a investigadores a explorar en diversas técnicas para su concepción. Dichos sistemas se han podido generar por las recientes ventajas de servicios Web, siendo éstos cada vez más accesibles al público en general. Así mismo, las aplicaciones de los SIG a través de Internet lograron interacción con el uso de Google Earth (GE), por las ventajas de despliegue, al proceso de vectores y al manejo de atributos de la información.

La evolución de Maps API (Application Programming Interfaces), ha permitido un mayor interés para usuarios quienes han encontrado un potencial en el manejo de la información geográfica, requiriendo tomar rápidas decisiones a través de nuevos diseños de sistemas facilitando diversos procesos. Dada esta tendencia, se desarrolló un prototipo llamado SIDDGEO (Sistema de Visualización y Digitalización de Datos Geográficos), el cual permite editar e integrar vectores, valorar su geometría, almacenar sus componentes métricos a partir de una base de datos espacial, reconstruir la geometría de objetos mal editados y modelar la incertitud espacial a partir de la propagación de errores, el cálculo de áreas y volúmenes en cuerpos de agua y la reedición de archivos KML. La metodología utilizada integra mecanismos de interoperabilidad entre sistemas de visualización, talleres de ingeniería de software (CASE), uso de Google Maps (GM) Javascript API V3 y recientes tecnologías Web para la residencia del sistema.

Se experimentó con diversas tecnologías espaciales combinado métricas de visualización, de tal manera a determinar la relación escalar entre los niveles de zoom de GM y las operaciones de la función de algoritmo de GE para profundizar en detalle sobre las

imágenes y su retorno de éstas. Tales experimentaciones permitieron generar una relación escala-imagen que describe las mejores opciones del uso de imágenes en una determinada escala. De tal manera que dicho mecanismo se integró al prototipo con el objeto de asociar diversos parámetros de SIDDGEO, controlando el manejo de información vectorial en determinadas escalas asociadas.

A fin de contribuir con la nueva visión de Digital Earth (DE) para la próxima década, en sus perspectivas de visualización, en los avances de servicios Web y en las múltiples aplicaciones potenciales de los sistemas interactivos (Craglia et al., 2012), este artículo describe una alternativa para evidenciar el reciente potencial del uso de APIs, explorando sus ventajas y analizando expectativas para futuros desarrollos.

ANTECEDENTES

En los conceptos del manejo de Información Geográfica, la comunidad profesional, se había acostumbrado al análisis de tecnologías de SIG (desarrolladores de software, implementación de librerías, diseño de operadores espaciales y potencialmente a la mejora de diversos formatos de datos; .SHP, MIF/MID, .TAB, .DGN, .GDO, entre muchos otros). Con la aparición de sistemas de visualización geográfica vía Web y el advenimiento de DE, gran cantidad de usuarios han encontrado otras oportunidad para solventar necesidades de orden geográfico no necesitando en su momento complejas operaciones de análisis espacial, las cuales solamente podrían ejercerse con una licencia oficial de software de alguna compañía productora de SIG. Habiendo considerado en su momento a GE como parte del entorno de los SIG, los conceptos elementales de análisis espacial, interoperabilidad, manejo de capas y operadores espaciales; han sido elementos que comercialmente llevaron en tendencias tecnológicas a las empresas en importantes desarrollos en los últimos años. Contrariamente, en la estructura de GE simplemente similares conceptos han resultado atractivos, dado a la base de imágenes que la tecnología presentó. Goodchild (2008), *define “Digital Earth as a single portal to all that is known about the surface and near-surface of the planet is clearly much closer today, likewise is a mirror world, a faithful digital rendering of the real thing, based on draping imagery over a digital elevation model”*.

Sin embargo, GE es aún carente de parámetros para ejercer análisis espaciales de alto nivel, dado que su concentración mayor se fortalece en aspectos visuales del territorio basado en un conjunto integrado de diferentes tipos de imágenes de satélite, las cuales siendo referenciadas en el sistema, éstas son actualizadas esporádicamente.

En la diversidad de aplicaciones con el manejo de información geográfica, así como en la variación de operaciones requeridas, no todos los análisis espaciales deben corresponder a estrictas medidas de modelación analítica. Dadas las estrictas funcionalidades del manejo de SIG, para usuarios de GE el ámbito se concentra en nuevas alternativas para comprender el territorio.

En la actualidad, los servicios web, la cartografía interactiva sobre demanda, los servidores de mapas y recientes sistemas de visualización, se presentan como herramientas potenciales para una diversidad de usuarios que demandan rápidas y fáciles representaciones de información espacial, el análisis del territorio, conocimientos del uso de suelo, así como una diversidad de operaciones métricas para determinación de superficies, cálculo de volúmenes, trayectorias, construcción de escenarios 3D, entre muchas otras operaciones de análisis.

Para tales desarrollos, la comunidad científica también se ha concentrado en las aplicaciones de SIG en Internet. Específicamente con el aprovechamiento del potencial del API de Google Maps. En el ámbito de la formación de estudiantes en universidades y usuarios en general, el acceso al manejo de SIG comerciales en ocasiones resulta imposible, dado que la compra de una licencia oficial de cualquier SIG resulta excesiva en costo, contrariamente a la oferta del Open Geospatial Consortium (OGC), quien permite la descarga de software libre sin ninguna restricción. De igual manera se puede tener acceso a recientes servicios web y herramientas espaciales que atienden la demanda del manejo de información geográfica sin costo alguno. De los trabajos recientes de investigación explorando el potencial del API de mapas en GE, se señala a Henry (2009), quien desarrolla un sistema llamado VISQUE (VISualise and Query Using Earth), el cual integra una amplia gama de conjuntos de datos de Islandia correspondientes al siglo XVIII, permitiendo a los usuarios consultas directas de los datos dándoles la oportunidad de crear visualizaciones personalizadas. Los resultados en el manejo de vectores y atributos se

representaron y visualizaron en GE, así mismo, un mecanismo para la consulta de datos se añadió a dicha plataforma.

En la percepción que se tiene sobre el manejo de datos espaciales y las ventajas para describir la información visualmente, científicos en diversos ámbitos del uso de información geográfica, han encontrado un potencial para la apreciación de los elementos en la Tierra a través de la adaptación del API. Tal es el caso de (Zook M.A. and Graham M., 2007; Conroy, et al., 2008; Sheppard, S. R.J., and Cizek, P., 2009; Chen, et al., 2009; Kingsbury, 2009; Fritz, et al., 2009). De sus desarrollos, se describen importantes aplicaciones que justifican una serie de operaciones logrando manifestar análisis espaciales necesarios en ámbitos que antes eran lejanos para la gran cantidad de usuarios y que en la actualidad responden a necesidades específicas. Es normal que los estrictos juicios observables sobre el aprovechamiento del API para cierto sector resulte incomodo, pero las ventajas descritas de quienes están siendo usuarios del tipo de sistemas generados con el API y de quienes están explorando su potencial, son testigos de los diversos retos que la tecnología adecua con frecuencia y de la evolución de sus funcionalidades. Por ejemplo, las relaciones de interoperabilidad entre sistemas fueron probadas con la integración de servicios web en internet y la adaptación de SIG independientes como los trabajos que han descrito (Gibin et al., 2008; Hwang, 2008; Chow, 2008).

Importantes exploraciones sobre el sujeto se han desarrollado recientemente como la propuesta de (Liang M., et al.,2012), con el diseño e implementación de un navegador para el conocimiento multicapas en la construcción de mapas con un zoom progresivo utilizando el API de GM. Por otro lado, los trabajos de Buchel (2012), quien concentró su investigación en los fenómenos de la georeferenciación a partir de las metodologías utilizadas para el establecimiento de la interoperabilidad según las tendencias del Knowledge Organization Systems (KOS), específicamente para metadatos, clasificaciones e instancias de representaciones digitales de mapas como GM.

METODOLOGÍA

Para cumplir con el propósito de este artículo y habiendo trabajado en el API de GE para el desarrollo de SIDDGEO, esta investigación fue basada en una estructura metodológica, la

cual se describe en el siguiente diseño de modelo conceptual (Figura 1).

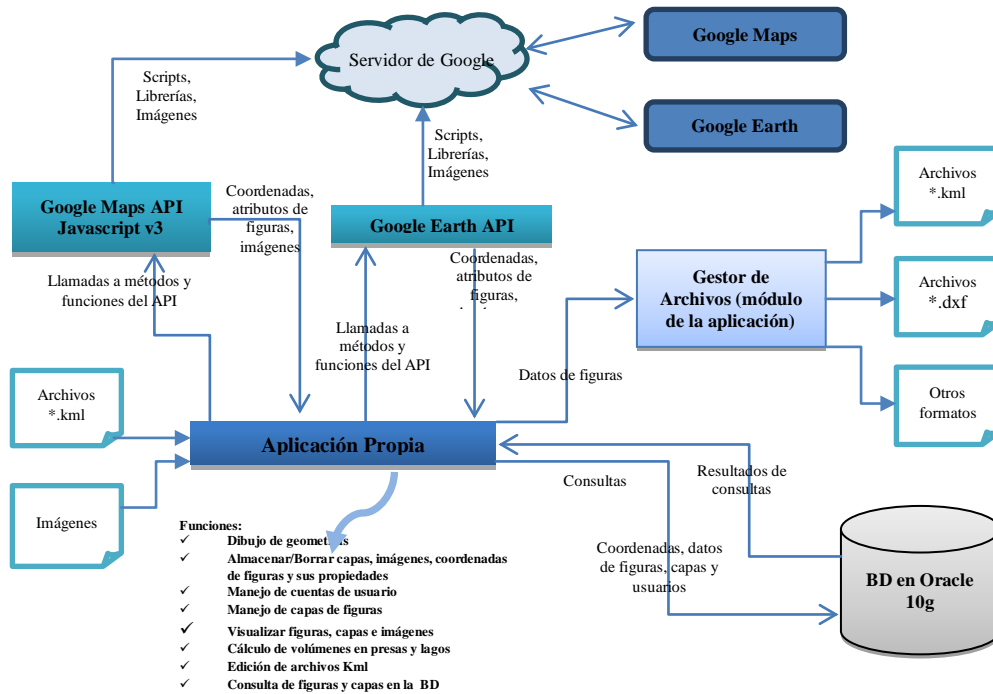


Figura 1. Estructura del prototipo.

La metodología utilizada consiste en primer lugar en el llamado al servidor Google a partir del API de GM y el API de GE, a través de diversos scripts, librerías e imágenes. Dicho servidor permite la lectura en pantalla de tanto de GE como de GM. El diseño de la aplicación propia se estableció en llamadas, funciones y métodos de ambos APIs, los cuales se adecuaron a través de coordenadas, atributos de figuras e imágenes. El diseño de la aplicación asoció la relación de escalas de imágenes, la generación de archivos kml con un gestor de archivos para manejo de diversos formatos y la conexión al diseño de una BD que reside en el sistema de gestión de bases de datos (SGBD) Oracle 10g express edition. La mayoría del código desarrollado es JavaScript, seguido de HTML, PHP, SQL y CSS. Los códigos no están agrupados por el lenguaje de programación, si no de acuerdo a la función que realizan y en el orden de implementación.

En cuanto a la estructura de la BD (Figura 2), se establecieron 10 entidades asociando atributos para la generación y almacenamiento en el prototipo de primitivas geométricas; líneas, polígonos y marcadores, quienes conforman o dibujan a los elementos u objetos que deben ser concebidos. Así mismo, se determinó el control de usuarios, capas, la semiología gráfica y el zoom.

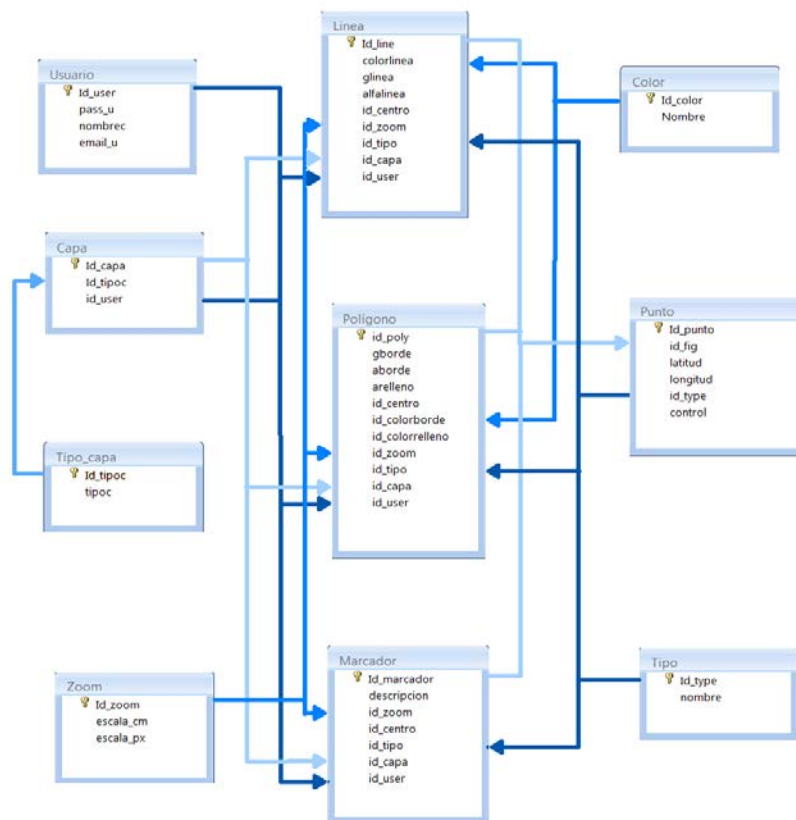


Figura 2. Estructura de la BD del prototipo.

En la concepción de la aplicación, se llevó a cabo una serie de procesos que implicaron una ordenada dinámica para enlazar métodos de los APIs con los diversos lenguajes de programación utilizados. Así como scripts, librerías, llamado a tecnologías y el manejo de archivos y carpetas. Un resumen de los procedimientos descritos se muestra en la siguiente (figura 3).

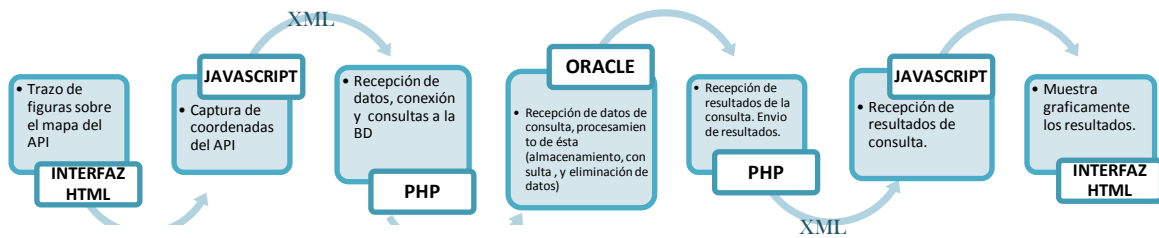


Figure 3. Dinámica del trabajo del sistema.

IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

A continuación se describe un resumen de las etapas en la implementación del prototipo. Este proceso implica la instalación y configuración de un servidor web y un servidor de BD. Así mismo, la preparación de códigos para la inserción del API de GM y los códigos de conexión a la BD Oracle.

Instalación y configuración de servidor web y servidor de base de datos

Software requerido

Se utilizó un servidor del paquete XAMPP ya que trae incluido Apache y es de fácil instalación. En cuanto a servidor de BD, Oracle fue el seleccionado requiriendo efectuar una conexión con Apache, para este caso se utilizó la versión 10g.

Procedimiento:

-En la ruta donde se instaló XAMPP (comúnmente “C:\xampp\php\”) se busca el archivo “php.ini” y se abre con el blog de notas.

-Con Ctrl+F buscamos la palabra “oci”. Nos lleva a la línea de código donde está la extensión oci8.

```
965 extension=php_mysql.dll
966 :extension=php_mysql_mysqlnd.dll
967 extension=php_mysqli.dll
968 :extension=php_oci8.dll
969 :extension=php_pdo_firebird.dll
970 :extension=php_pdo_mssql.dll
```

Figura 4. Archivo php.ini

- Borramos el “;” del final de la línea y guardamos el archivo.

```
966 :extension=php_mysql_mysqlnd.dll
967 extension=php_mysqli.dll
968 extension=php_oci8.dll
969 :extension=php_pdo_firebird.dll
970 :extension=php_pdo_mssql.dll
```

Figura 5. Modificación a php.ini

-Corremos Apache y enseguida aparece el Panel de Control de XAMPP. Si a un costado de la sección de “Apache” el estatus indica “Running” quiere decir que el servidor está actualmente encendido. Damos clic en el botón de Stop y posteriormente en Start para reiniciarlo.

Text de conexión

-Hacemos un test de conexión. Creamos un archivo “phpinfo.php” y lo pegamos en la carpeta “C:\xampp\htdocs\” (que es donde se guardan todos los archivos que se quieren desplegar en el servidor). Éste archivo contendrá el siguiente código:

```
<?
phpinfo();
?>
```

-En el navegador, vamos a la dirección “localhost/phpinfo.php”. Se abrirá una página con la información de la configuración de PHP en el sistema. Enseguida se muestran varias tablas con información en orden alfabético, vamos hasta la letra “O” y buscamos la tabla “oci8”. En caso de encontrarse, hay que verificar que la opción “OCI8 Support” esté en “enabled”. Terminado esto, la conexión entre la base de datos Oracle y el servidor Apache estará efectuada.

Inserción del API de GM

Para indicar que se estará trabajando con el API se debe incluir el siguiente código entre los tags html de **<head>** **</head>**.

```
<script type="text/javascript"
  src="https://maps.google.com/maps/api/js?sensor=false">
</script>
```

Para incrustar el mapa se inserta el código siguiente:

```
<script type="text/javascript">
function initialize() {
  var latlng = new google.maps.LatLng(22, -100);
  var myOptions = {
    zoom: 8,
    center: latlng,
    mapTypeId: google.maps.MapTypeId.ROADMAP
  };
  var map = new google.maps.Map(document.getElementById("map_canvas"),
    myOptions);
}
</script>
```

Y dentro del cuerpo del archivo html, en los tags **<body>****</body>** :

```
<body onload="initialize()">
  <div id="map_canvas" style="width:100%; height:100%"></div>
</body>
```

La función **initialize()** se ejecuta en el momento en que se carga la página. Dentro de esta función se declara una variable **latlng** la cual indica las coordenadas donde se centrará el mapa. En la variable **myOptions** se establecen los parámetros de **zoom** (zoom con el que se desplegará el mapa), **center** (la anterior variable **latlng**) y **mapTypeId** (El tipo de mapa que se desplegará). Al final se declara una variable **map** donde se asigna los valores de **myOptions**.

El siguiente código ejemplifica lo anterior. Basta con guardarlo como un archivo con extensión **html** y guardarlo en la carpeta del servidor "C:\xampp\htdocs\", posteriormente lo abrimos en el navegador con la dirección "localhost/nombre_archivo.html".

```

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<meta name="viewport" content="initial-scale=1.0, user-scalable=no" />
<style type="text/css">
html { height: 100% }
body { height: 100%; margin: 0px; padding: 0px }
#map_canvas { height: 100% }
</style>
<script type="text/javascript"
src="https://maps.google.com/maps/api/js?sensor=false">
</script>
<script type="text/javascript">
function initialize() {
var latlng = new google.maps.LatLng(22, -100);
var myOptions = {
zoom: 8,
center: latlng,
mapTypeId: google.maps.MapTypeId.SATELLITE
};
var map = new google.maps.Map(document.getElementById("map_canvas"),
myOptions);
}
</script>
</head>
<body onload="initialize()">
<div id="map_canvas" style="width:100%; height:100%"></div>
</body>
</html>

```

Trazado de figuras

Para el trazo de geometrías como puntos (o marcadores), líneas y polígonos cada uno tiene su constructor, el cual se incluyen dentro de los tags `<script></script>` después de la función **initialize()**.

Construcción de un marcador:

```

var myLatLng = new google.maps.LatLng(22.151659, -100.97115);
var myOptions = {
zoom: 4,
center: myLatLng,
mapTypeId: google.maps.MapTypeId.SATELLITE
}
var map = new google.maps.Map(document.getElementById("map_canvas"), myOptions);

var marker = new google.maps.Marker({
position: myLatLng,
map: map,
title:"Hello World!"
});

```


Construcción de polilíneas:

```
var linea_coord = [
  new google.maps.LatLng(22, -100),
  new google.maps.LatLng(22, -99),
];
var linea_path = new google.maps.Polyline({
  path: linea_coord,
  strokeColor: "#FF0000",
  strokeOpacity: 1.0,
  strokeWeight: 2
});

linea_path.setMap(map);
}
```

Construcción de polígonos:

```
var bermudaTriangle;

var triangleCoords = [
  new google.maps.LatLng(25.774252, -80.190262),
  new google.maps.LatLng(18.466465, -66.118292),
  new google.maps.LatLng(32.321384, -64.75737),
  new google.maps.LatLng(25.774252, -80.190262)
];

bermudaTriangle = new google.maps.Polygon({
  paths: triangleCoords,
  strokeColor: "#FF0000",
  strokeOpacity: 0.8,
  strokeWeight: 2,
  fillColor: "#FF0000",
  fillOpacity: 0.35
});

bermudaTriangle.setMap(map);
}
```

Cada constructor sigue el mismo patrón, tiene una variable para las coordenadas, otra para las propiedades y al final con **.setMap()** se establece en qué mapa se dibujará la figura.

Si se requiere que sea el usuario quien indique sus coordenadas mediante el trazado sobre el mapa, entonces se deben utilizar los **listeners**. Estos se activarán cada vez que suceda un elemento. El siguiente código ejemplifica el uso de un listener:

```
google.maps.event.addListener(map, 'click', function(event) {
  var latitud = event.latLng.lat();
  var longitud = event.latLng.lng();
  alert("Latitud="+latitud+" Longitud="+longitud);
});
```

Cada vez que se dé clic sobre el mapa, se mandará un mensaje de alerta que mostrará los valores de latitud y longitud del punto donde se dio clic. Enseguida se muestra

Ejemplo de trazado en la edición de polígonos

```
var dibujaPoligono;  
var latitudArray = new Array();  
var longitudArray = new Array();  
  
function DibujarPoligono() {  
    var path = new google.maps.MVCArray();  
  
    polygon = new google.maps.Polygon({  
        map: map,  
        strokeColor: "#FF0000",  
        strokeOpacity: 0.8,  
        strokeWeight: 2,  
        fillColor: "#FF0000",  
        fillOpacity: 0.35  
    });  
  
    polygon.setPaths(new google.maps.MVCArray([path]));  
    polygon.setMap(map);  
  
    //numero de vértice  
    var nv=0;  
  
    dibujaPoligono = google.maps.event.addListener(map, 'click', function (event) {  
        path.insertAt(path.length, event.latLng);  
        latitudArray[nv] = event.latLng.lat();  
        longitudArray[nv] = event.latLng.lng();  
  
        nv++;  
    });  
}
```

La función **DibujarPoligono()** construye un polígono (**polygon**) y activa el listener **dibujaPoligono**. En éste último se activa al dar clic sobre el mapa que es cuando el usuario definirá los nodos del polígono. Con cada clic dentro de los arreglos **latitudArray** y **longitudArray** se guardan los valores de latitud y longitud de cada nodo.

Guardado y envío de coordenadas a PHP

Después de haber trazado una figura, ésta puede almacenarse en una BD. Para esto es necesario crear una función de guardado que recopile los datos de coordenadas y los mande al código php.

Este es el código de una función de guardado la cual complementa al código anterior de trazado:

```
function GuardarPoligono() {  
  
    var nombrepol = document.getElementById('nombrepol').value;  
    var exito=0;  
  
    for(var j=0; j<latitudArray.length; j++){  
        var url = "Insert_pnt.php?latitud=" + latitudArray[j] + "&longitud=" +  
            longitudArray[j] + "&nombrepol=" + nombrepol + "&num_nodo="+j;  
        downloadUrl2(url, function(data, responseCode) {  
  
            if (responseCode == 200 && data.length <= 1) {  
                exito++;  
                if (exito==latitudArray.length){  
                    alert ("Polígono guardado");  
                }  
            }  
        });  
    }  
}
```

La variable **nombrepol** recupera el nombre del polígono a guardar de una caja de texto con id 'nombrepol'. En el **ciclo for** hace un número de recorridos igual al del número de nodos del polígono a guardar. Para cada recorrido reúne las coordenadas de latitud (**latitudArray[j]**) y longitud (**longitudArra[j]**) y las incluye en una variable llamada **url**.

La variable **url** representa una dirección a la cual será enviada la información. A la función **downloadUrl2()** se le pasa como parámetro la variable url y se hace el envío de datos al archivo php que ejecutará la inserción a la BD.

Envío de datos mediante XML

El paso de información entre el código javascript a PHP requiere el uso de XML. Con un método como **downloadUrl2()** se hacen las solicitudes http al archivo PHP:

```
function downloadUrl2(url, callback) {  
    var request = window.ActiveXObject ?  
        new ActiveXObject("Microsoft.XMLHTTP") :  
        new XMLHttpRequest;  
  
    request.onreadystatechange = function() {  
        if (request.readyState == 4) {  
            request.onreadystatechange = doNothing;  
            callback(request.responseText, request.status);  
        }  
    };  
  
    request.open('GET', url, true);  
    request.send(null);  
}  
  
function doNothing() {}
```

Esta función a su vez hace posible la recepción de los resultados del código PHP.

Recepción de coordenadas en PHP

La recepción de coordenadas en un archivo PHP es de la siguiente manera:

```
<?php
$variable_en_php = $_GET['variable_de_javascript'];
?>
```

Códigos de conexión a la BD

Debido a que el sistema es web, la conexión entre ambos se realiza mediante algún lenguaje de programación como ASP o PHP. Por ejemplo éste último la estructura es la siguiente:

```
?php

$connection = oci_connect('Nombre de la BD', 'contraseña', //localhost/XE');
$consulta = oci_parse($connection, "Sentencia SQL");
oci_execute($consulta);
oci_free_statement($consulta);

?>
```

Donde:

- **oci_connect()** : Conecta a la BD de Oracle. Establecemos el nombre de la BD y la contraseña para que pueda acceder.
- **oci_parse()**: Prepara una declaración para su ejecución.
- **oci_execute()**: Ejecuta una declaración.
- **oci_free_statement()**: Libera todos los recursos asociados con la declaración.

Por ejemplo:

```
?php

//Recepción de variables
$lat = $_GET['latitud'];
$lng = $_GET['longitud'];
$nom_poligono = $_GET['nombrepol'];
$num_vertice = $_GET['num_nodo'];

//Insercion de datos en la BD de Oracle
$connection = oci_connect('GEO2', 'pass12345', //localhost/XE');
$consulta_insercion = oci_parse($connection, "Insert into Vertices_Pol
values('$nom_poligono', '$lat', '$lng', '$num_vertice')");
oci_execute($consulta_insercion);
oci_free_statement($consulta_insercion);

?>
```

Retorno de valores de la consulta por XML

En el caso donde se necesite que la BD regrese valores, por ejemplo de una consulta, la forma de recibir la información en el archivo PHP y que a su vez sirve para que javascript pueda leer los resultados es por medio de **XML**.

```
header("Content-type: text/xml");
echo '<markers>';
while ($row = oci_fetch_array($stid, OCI_ASSOC)) {
    echo '<marker ' .
        echo 'atributo="' . $row['nombre_atributo'] . '" ' .
        echo '>';
}
```

Por medio de **oci_fetch_array** se retornan los valores de la consulta. Con **\$row['nombre_atributo']** se indica el valor de tiene cada registro del resultado en cierta columna. Como se puede observar con **header** comienza a escribirse un archivo XML, después con los comandos **echo** se escriben sobre el archivo los tags (pues XML trabaja sobre etiquetas).

Recepción de valores de consulta en Javascript

Dentro del código javascript se reciben los valores de la consulta en PHP al leer el archivo XML. El código de la función que lee el archivo tiene la siguiente estructura:

```
var url="consulta.php?nombrepol=poligonol";
downloadUrl(url, function(data) {
    var markers = data.documentElement.getElementsByTagName("marker");
    var latitud= markers[0].getAttribute("lat");
    var longitud= markers[0].getAttribute("long");
});
```

Por medio de una variable **markers** se guardan los valores del tag “marker” es decir, de cada registro retornado.

Cabe mencionar que para poder detallar todos los códigos de la implementación del prototipo se requeriría gran cantidad de hojas en este trabajo, sin embargo se resaltó al comienzo que solo se presentaría un resumen de dicha implementación.

RESULTADOS

A fin de mostrar la adecuación de GE con la aplicación SIDDGEO, una selección de ejemplos de las interfaces se ilustra a continuación. Inicialmente en la figura 6, se muestra la interface con los elementos solicitados para registro y acceso de un nuevo usuario de dicho sistema. Posterior al registro aparecerá otra interface que permitirá el acceder con el registro generado en las veces que se utilice el sistema.

The image shows the registration page of the SIDDGEO system. At the top, there is a blue header with the SIDDGEO logo and a globe icon. Below the header, the text "Sistema de Integración y Digitalización de datos Geográficos" is visible. A navigation menu includes "Inicio", "Dibujado de Figuras", "Insercion por Formulario", "Consultas", "Borrado de figuras", "Volúmenes", and "Edición". The main content area is titled "Registro" and contains a form with five input fields: "Nombre completo:", "Usuario: (máximo 25 caracteres)", "Correo electrónico:", "Contraseña: (máximo 20 caracteres)", and "Confirmar contraseña:". A blue "Enviar" button is located at the bottom of the form.

Figura 6. Interface de registro del sistema.

Habiendo accedido al sistema, la pantalla de posición inicial nos lleva a visualizar una imagen completa de mapa (Figura 7), según las coordenadas que se establecieron para su posición en el elemento <DIV> del API de GM. Esta función permite que se pueda colocar la posición inicial en pantalla de la imagen deseada en cualquier parte del GE.



Figura 7. Posición inicial de mapa en pantalla.

Se estará listo para comenzar a navegar así como para acceder a las demás opciones, pudiéndose estas desplegar en la parte superior izquierda con el icono en forma de flecha, el cual despliega el menú de opciones. La intención fundamental de este diseño consiste en aumentar al máximo el área de trabajo sobre el mapa. De esta manera los menús de opciones y de configuración aparecerán sobre este. Si se comienza con el diseño de de polígonos, en la paleta de opciones de la derecha se deberá completar los atributos requeridos a fin de generar el archivo kml representando al polígono generado.

Una vez seleccionadas las opciones de atributos para la figura, seleccionamos la opción de **“Comenzar a dibujar”**. Esta habilitará al mouse para comenzar a marcar puntos sobre la interface del mapa, cada punto funcionara como **“Vértice”** del polígono y será concluido cuando se cierre por completo la figura, es decir que se deberá marcar el último punto sobre el primero que se haya colocado. Una vez terminada la figura el sistema muestra información como se ve en la figura 8.



Figura 8. Diseño de polígonos.

Cuando la figura se cierra, el sistema despliega una ventana en la parte inferior izquierda con información acerca del polígono recientemente dibujado. Los datos que aparecen en esta ventana son:

- El punto centro del mapa visualizado en donde se está dibujando la figura.
- El área en metros cuadrados de la figura dibujada.
- Los límites (bounds) del polígono.
- Y, por último, los puntos de coordenadas (latitud y longitud) de cada uno de los vértices de la figura.

En este punto la figura esta lista para ser guardada en la base de datos, ser eliminada utilizando la opción de borrado del menú de dibujado de polígono o para dibujar otra figura sobre el mapa. Si se opta por dibujar una nueva figura sin haber guardado o borrado la que se dibujó primero, el sistema no será capaz de guardar la información en la base de datos o de borrar la primera figura ya que solo mantiene en memoria los datos de la “última figura dibujada”.



Figura 9. Diseño de polígonos en objetos de imágenes

La figura 9, se describe un procedimiento similar al agregar el trazo de un polígono, del cual se describen sus atributos de la semiología gráfica, así como la referenciación de dicho elemento construido caracterizado por coordenadas centrales del elemento, su superficie y sus delimitaciones coordenadas. En el caso de determinación de superficies y volúmenes de cuerpos de agua en el prototipo se implementó el cálculo de volúmenes rápidos que no requieran altos niveles de exactitud. El mecanismo se basa en elementos que puedan delimitarse en pantalla y a la vez se pueda indicar su profundidad, como el caso de presas, lagos, ríos y zonas excavadas. El sistema idealmente requeriría que se delimite su superficie y posteriormente que se conozca la profundidad de ciertos puntos estratégicos en un cuerpo de agua. Si se logra obtener estos datos de profundidad verídicos, se podría determinar un volumen más exacto de dicho cuerpo de agua. La figura 10 muestra un ejemplo del proceso de la edición de la superficie de un cuerpo de agua, completando diversos parámetros.

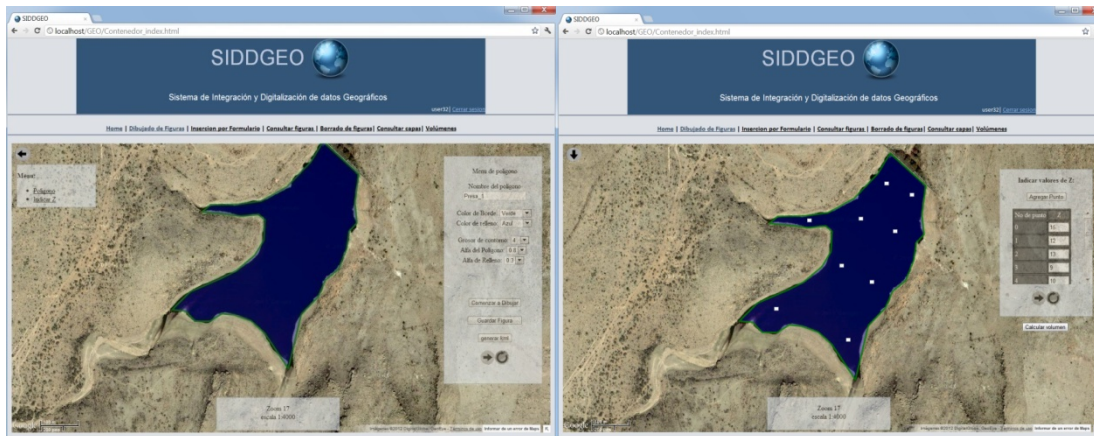


Figure 10. Determinación de superficie en cuerpo de agua

Entre más elementos de datos de profundidad recabados o marcados en sistema, la aproximación del volumen será más precisa. Esto hará que el algoritmo basado en la estructura delaunay y desarrollado al interior del API, pueda ejercer mejor su trabajo para la determinación del volumen. Cuando el mecanismo calcula dicho volumen, envía un mensaje de alerta con el resultado en m^3 . Posteriormente se trabajó en prototipo, de tal manera a representar las dimensiones volumétricas del cuerpo de agua de forma tridimensional con el objeto de manifestar visualmente la constitución de dicho volumen (Figura 11).

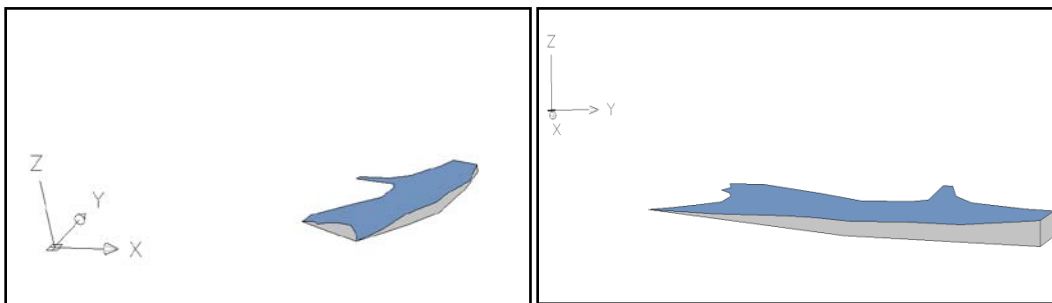


Figura 11. Modelado tridimensional de cuerpo de agua.

Tal mecanismo siendo aproximado, permite tener una ventaja visual de dicho cuerpo de agua. A partir de aquí, se podrían trabajar muchas perspectivas que para la gran cantidad de usuarios que efectúan proyectos, esta herramienta podría apoyarles en sus anteproyectos a estimar costos y otros elementos necesarios en el análisis de los cuerpos de agua, el estudio de protección de las zonas hidrológicas, las recargas de los cuerpos de agua por

escurrimientos, entre otro elementos. Finalmente en la parte de reedición de archivos Kml, los cuales pueden actualizarse y modificarse manipulando sus primitivas vectoriales, estos pueden ser llamados de un archivo en la PC o directamente solicitado al BD para su adecuación. El trabajo se puede efectuar a partir de la interface con GM o directamente con GE. De esta manera un archivo cualquiera tendrá los procesos determinados, los cuales se visualizan en la siguiente figura 12.

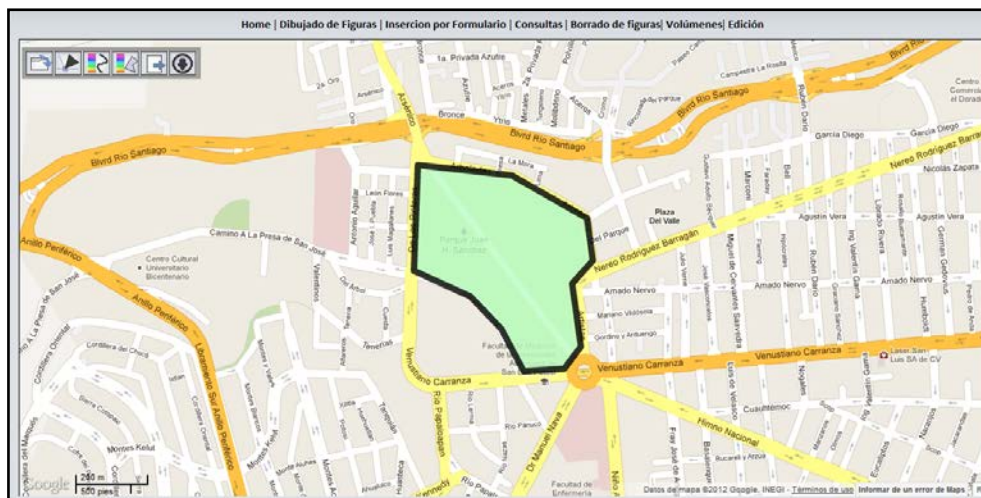


Figura 12. Reedición de archivos kml.

El archivo instaurado ya sea en GM o GE, podrá reeditarse en sus nodos y aceptar estos de tal manera que se adecue a la forma en la cual se desea diseñar este. Ver (figura 13), así mismo el archivo puede ser exportado a otro formato, de lo cual en los parámetros de reedición es seleccionado y convertido en el formato deseado.



Figura 13. Reedición de archivos kml.

CONCLUSIONES

En esta investigación se exploró las ventajas del API_V3 de GM, utilizando a GE para visualizar los diferentes procesos implementados. Las funcionalidades del prototipo se adecuaron con la estructura del API y se pudieron establecer a través del Web con los accesos descritos vía JavaScript. La conexión a la base de datos Oracle, finalmente permite a los usuarios que cualquier edición de geometrías pueda ser guardada al interior de dicha BD conservando su constitución vectorial, la cual es generada en un archivo KML siendo este el que se almacena. La ventaja del sistema, permitirá a los usuarios la oportunidad de consulta a la BD Oracle para llamar a todos los archivos KML generados de las propuestas de construcción de objetos que han servido para dimensionar espacios en las imágenes de GE, los cuales sirven para estudiar a los diferentes ámbitos del uso de suelo. Cuando en GE se desea trazar una trayectoria, generar un polígono o marcar una posición, por lo general estas quedan registradas como capas específicas y hay que activarlas para que se visualicen en pantalla. La ventaja con la BD generada en el prototipo es benéfica cuando derivado de un amplio estudio de uso de suelo se requiere controlar la gran cantidad de elementos construidos con los editores de geometrías, los cuales se pueden actualizar, reeditar y ser llamados indistintamente por medio de consultas a la BD.

Dados los parámetros para la edición de polígonos, líneas o puntos describiendo objetos sobre las imágenes, en las paletas de resultados se describen importantes datos de las superficies editadas de estos, su posición en el mapa por coordenadas en cada vértice editado y la descripción visual de los límites que lo conforman.

A fin de valorar la posición vectorial de información editada sobre las imágenes de GE así como su exactitud posicional, se verificaron muestras de polígonos editados, puntos y trazos de líneas sobre diversos objetos de imágenes y estos fueron validados en campo efectuando posicionamiento por satélite. Tal experimentación nos permitió tener certeza de las propuestas de edición efectuadas directamente en el prototipo, con el objeto de propiciar indicadores de exactitud posicional para usuarios quienes ya trabajan sobre GE en propuestas de proyectos queriendo determinar superficies y su relación con la posición de las imágenes que describen los lugares de estudio.

Cuando de un proyecto se tengan archivos kml determinados y de los cuales se quisieran efectuar modificaciones a su geometría, se logró en al API poder modificar dicha geometría, reeditando ésta en base a las imágenes de GE o directamente en GM. Se creó una función en código php y javascript conteniendo el método para cargar archivo, leer su constitución geométrica y poder editar sus coordenadas de posición. Una vez modificados archivos estos pueden registrarse nuevamente en la BD habiendo actualizado su constitución vectorial.

Generalmente, la cartografía vectorial beneficiando el conocimiento de los rasgos topográficos y aquella que describe a la vegetación, consta de importantes diferencias, las cuales son significativas y han sido un problema para valorar superficies, volúmenes así como dimensionar ciertos requerimientos en el ámbito de uso de suelo en los territorios. En el prototipo se diseñó un mecanismo basado en un algoritmo que intenta medir la incertitud espacial de geometrías de objetos y su correcta representación en base a las imágenes de GE, de lo cual se pretende relacionar la concordancia de las coordenadas de dichas geometrías y su relación a la correcta posición en los pixeles de la imagen a la cual debe corresponder.

Se trabajó también un aspecto importante en el prototipo para modelar y determinar superficies y volúmenes aproximados en cuerpos de agua a partir del método de triangulación delaunay integrado a la estructura del API. Por lo general para conocer la profundidad de los cuerpos de agua, habría que medir el fondo de estos con diversas metodologías, sin embargo, en ocasiones para estimar cantidad de agua, volúmenes de desazolve, superficies del vaso de concentración del agua y una estimación virtual de la profundidad, para ciertos proyectos se podría evidenciar por medio los operadores que en dicho prototipo se logró integrar.

AGRADECIMIENTOS

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de este trabajo de investigación. Los autores agradecen al virtual globe GE, por la disponibilidad del API_V3, quien ha hecho posible el desarrollo de scripts para integrar

prototipo. Así mismo, agradecemos a los depositarios de tecnologías libre sobre el Web, para el manejo de servidores en línea, código abierto en diversos lenguajes de programación y talleres de ingeniería de software (CASE).

LITERATURA CITADA

- Buchel, O. (2012). Making Sense of Document Collections with Map-Based Visualizations. School of Graduate and Postdoctoral Studies The University of Western Ontario. London, Ontario, Canada, University of Western Ontario. Doctor of Philosophy: 236.
- Chen, A., Leptoukh, G.G., Kempler, S.J., Di, L. (2009). "Visualization of Earth Science Data Using Google Earth." The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 34(Part XXX).
- Chen, A., Leptoukh, G.G., Kempler, S.J., Lynnes, Ch., Savtchenko, A., Nadeau, D., Farley, J. (2009). "Visualization of A-Train vertical profiles using Google Earth." Computers & Geosciences 35: 419-427.
- Chow, T. E. (2008). "The Potential of Maps APIs for Internet GIS Applications." Transactions in GIS 12(2): 179-191.
- Conroy, G. C., Anemone, Robert L., Van Regenmorter, John., Addison, Aaron (2008). "Google Earth, GIS, and the Great Divide: A new and simple method for sharing paleontological data." Journal of Human Evolution 55: 751-755.
- Craglia, M., de Bie, Kees., Jackson, Davina., Pesaresi, Martino., Remetey-Fülöpp, Gábor., Wang, Changlin., Annoni, Alessandro., Bian, Ling., Campbell, Fred., Ehlers, Manfred., van Genderen, John., Goodchild, Michael., Guo, Huadong., Lewis, Anthony., Simpson, Richard., Skidmore, Andrew., Woodgate, Peter., (2012). "Digital Earth 2020: towards the vision for the next decade." International Journal of Digital Earth 5(1): 4-21.
- Fritz, S., McCallum, Ian., Schill, Christian., Perger, Christoph., Grillmayer, Roland., Achard, Frédéric., Kraxner, Florian and Obersteiner, Michael (2009). "Geo-Wiki.Org: The Use of Crowdsourcing to Improve Global Land Cover." Remote Sensing 1(doi:10.3390/rs1030345): 345-354.
- Gibin, M., Singleton, Alex., Milton, Richard., Mateos, Pablo., Longley Paul (2008). "An Exploratory Cartographic Visualisation of London through the Google Maps API." Applied Spatial Analysis 1: 85-90.
- Goodchild, M. F. (2008). "The use cases of digital earth." International Journal of Digital Earth 1(1): 31-42.
- Henry, A. (2009). Using Google Earth for Internet GIS. Institute of Geography School of GeoSciences Edinburgh, University of Edinburgh. MSc in Geographical Information Science: 24.

- Hwang, J.-T. (2008). "An embedded google earth/maps application on real estate database inquiry and display." The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVII.(Part B4): 6.
- Kingsbury, P., Jones III, John Paul (2009). "Walter Benjamin's Dionysian Adventures on Google Earth." Geoforum, ScienceDirect 40: 502-513.
- Liang, M., Guerra, Julio and Brusilovsky, Peter (2012). Building Multi-layer Social Knowledge Maps with Google Maps API. CEUR Workshop Proceedings, Montreal, Canada, CEUR-WS.org 2012.
- Sheppard, S. R. J., Cizek, Petr (2009). "The ethics of Google Earth: Crossing thresholds from spatial data to landscape visualisation." Journal of Environmental Management 90: 2102-2117.
- Stylos, J. a. M. B. (2007). "Mapping the Space of API Design Decisions." IEEE, Computer Society Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing(DOI 10.1109/VLHCC.2007.44): 50-57.
- Zook, M. A., Graham, Mark (2007). "The creative reconstruction of the Internet: Google and the privatization of cyberspace and DigiPlace." Geoforum, ScienceDirect 38: 1322-1343.

CAPITULO 7. CONCLUSIONES GENERALES y DISCUSION

Se ha presentado una propuesta encaminada a valorar a la información vectorial en sus elementos primitivos geométricos (puntos, líneas y la conformación de polígonos), los cuales en la historia de la constitución cartográfica vectorial del país, se han adaptado para representar a los diversos objetos geográficos sobre el territorio. Dichos objetos representados en su momento sobre cartas papel, se fueron adecuando de su forma análoga a formatos digitales que posteriormente describieron al mismo territorio y todos sus elementos en otras escalas de representación.

La iniciativa de esta investigación lleva consigo el compromiso de atender demandas relacionadas a la calidad de los datos vectoriales y a analizar las ambigüedades resultantes del análisis de muestras en hojas cartográficas de la cartografía vectorial topográfica, la cual ha servido de apoyo para la generación de otros rubros cartográficos que describen a los recursos naturales, tales que: la cartografía para uso de suelo, vegetación, geología, hidrología, fisiografía, uso potencial del suelo, entre otras.

Se exploraron diversas tecnologías espaciales, en las cuales se ha hecho visible y medible cualitativa y cuantitativamente a elementos vectoriales que conforman aspectos describiendo al territorio y al manejo de uso de suelo.

La metodología utilizada para evaluar la calidad de la producción cartográfica a través del análisis de muestras aplicadas a las diversas escalas vectoriales de la cobertura del territorio de la República Mexicana. En dicha propuesta se experimentaron diversas tecnologías espaciales, de las cuales compañías desarrolladoras nos proporcionaron licencias vírgenes y la información vectorial para experimentación fue solicitada oficialmente al INEGI. Los resultados de esta metodología dejaron evidencias importantes sobre la calidad de la cartografía vectorial a fin de encontrar mecanismos para modelar aspectos diversos de evaluación.

Se le dio continuidad a la modelación para evaluar la calidad vectorial en los aspectos geométrico-topológicos y se analizaron los códigos de las primitivas geométricas

conformando la representación de objetos geográficos. Se utilizó la regla del vecino más próximo combinado con una clasificación, determinando un algoritmo iterativo de búsqueda, con el objeto de analizar el recorrido de polilíneas conformando curvas de nivel. Dicho algoritmo permitió modelar ciertos grados de incertidud espacial a partir de diferentes tipos de errores geométrico-topológicos que han propagado diferencias significativas entre la correspondencia de diversas escalas de información vectorial y su relación con la posición de píxeles en imágenes de satélite.

Para constatar experimentaciones del modelado y la integración de vectores con imágenes de satélite, se efectuó un análisis de la relación escala-imagen en el sistema de visualización GE. Se analizaron muestras de diversas imágenes de cobertura en cuatro temáticas seleccionadas del uso de suelo. Se analizaron un total de 893 muestras en 32 sitios del territorio comprendido entre los 14° a 33° de latitud norte y de 86° a 119° de longitud oeste. Este mecanismo, generó indicadores para un mejor manejo de escalas en GE, sirviendo a un sinnúmero de usuarios conocer la mejor forma de utilizar las imágenes de dicho sistema de visualización.

Se describió el desarrollo de un prototipo para la integración y digitalización de datos geográficos, al cual llamamos SIDDGEO. Dicho sistema se integra con el virtual globe Google Earth y Google Maps, en sistemas de análisis en línea sobre el Web, permitiendo editar e integrar vectores, valorar su geometría, almacenar sus componentes métricos al interior de una base de datos espacial (BDE), reconstruir la geometría de objetos mal editados, medir la incertidud espacial a partir de la propagación de errores, el cálculo de áreas y volúmenes en cuerpos de agua y la reedición de archivos KML. La metodología utilizada integra mecanismos de interoperabilidad entre el sistema de visualización, talleres de ingeniería de software (CASE), uso de Google Maps Javascript API V3 y recientes tecnologías Web para la residencia del sistema.

DISCUSION

La tesis presenta una propuesta metodológica, que se concentra en evaluar la calidad vectorial de la producción de cartografía en sus diferentes escalas de edición.

Sin embargo, en tales perspectivas de análisis se fortaleció a la temática de este trabajo, deseando colaborar con la problemática del uso de cartografía vectorial en el ámbito del manejo de uso de suelo y la vegetación, así como otros elementos para el conocimiento del territorio. Según lo complejo que ha resultado el constatar precisos análisis en cuanto a detalles, características y atributos describiendo a la vegetación, en diversos trabajos que se han desarrollado se manifiesta la incertidumbre al no contar con una cartografía específica que describa con precisión los rasgos señalados. Dados diversos procesos llevados a cabo por organismos en pro de la evaluación de los cambios de cobertura y uso de suelo en el país, han surgido una serie de señalamientos en relación a la fiabilidad de la cartografía que describe tal temática. Por ejemplo, en el estudio de cruzamiento de mapas a partir de la integración de cuatro bases de datos que se efectuó con cartografía del INEGI a escala 1:250 000 y cartografía de los Inventarios Nacionales Forestales que desarrolló el Instituto de Geografía de la UNAM, se constataron inconsistencias en ambas bases de datos que nunca fueron sometidas a análisis rigurosos de su confiabilidad (Mas et al., 2009). Aun así, se derivó otra cartografía a misma escala 1:250 000 con una serie de procesos queriendo homologar los atributos de las bases de datos utilizadas. Es evidente que en el cruzamiento de los mapas vectoriales debió existir una considerada propagación de errores, sin embargo, el interés se concentraba en abstraer lo más necesario posible, aspectos relevantes describiendo a una más completa cobertura de la vegetación.

Se ha intentado efectuar revisiones de la versión cartográfica que digitalizó el INE de la información proporcionada por el INEGI, de tal manera a evaluar la confiabilidad de la información. Para tal proceso se comparó la información digital contra la información analógica (mapas impresos), de lo cual innumerables inconsistencias se presentaron complicando la descripción de elementos de la vegetación, sus características, correspondencias semánticas y atributos (Velázquez et al., 2002). En tales etapas de evaluación en ocasiones se le daba peso a la calidad digital, en determinado momento se

incentivaba los aspectos temporales y según necesidades se volvía a retomar que tan confiables serían los datos derivados de diversos procesos de producción. Terminados los análisis y observando ciertas equivalencias en cuanto a escala y sistema clasificadorio se determinaba la existencia de incongruencias, pensando en reeditar o corregir digitalmente las anomalías encontradas. Finalmente se evidenció, que la cartografía que se derivó del estudio es altamente diversa, compleja y poco objetiva.

La CONABIO en colaboración con el INEGI, ha trabajado en la derivación de cartografía de uso de suelo y vegetación a escala 1:50 000, utilizando imágenes de satélite de determinadas resoluciones, dichas derivaciones de cartografía, se han comparado con la cartografía de la vegetación generada por el INEGI en la escala 1:250 000. Sin embargo importantes discrepancias las asocian a los diferentes métodos y materiales empleados por dichas instituciones para la generación de cartografía (Acosta-Velásquez, 2007).

En los análisis de los ecosistemas terrestres del país en las últimas décadas se ha examinado sobre las principales alteraciones y transformaciones ocurridas. Las causas las asocian a la información actual disponible, de tal manera que se ha experimentado sobre la calidad y confiabilidad de las bases de datos que han sido utilizadas. De lo cual, se describe sobre las fuentes comunes de error sobre la información (resolución espacial, temporal y espectral) que surge cuando se comparan bases de datos de escalas diferentes asociando a la escala vectorial 1:1 000 000 con la escala 1:250 000 (Sánchez-Colon et al., 2008). Dadas las inconsistencias señaladas y la importancia de la búsqueda de alternativas, el autor sugiere que se conjunten esfuerzos entre los diversos organismos, universidades y gobierno para corregir tales deficiencias.

Habiendo concentrado una serie de mecanismos tecnológicos a través de la metodología seguida para la realización de esta tesis, se manifiesta que el mayor rubro de los resultados de este trabajo de investigación, han sido encaminados en una propuesta que podría mejorar normativas y nuevas metodologías para evaluar la calidad de la producción de cartografía tanto vectorial topográfica (insumo del cual se ha derivado mayormente la cartografía para recursos naturales) como en beneficio para evaluar y generar nueva cartografía para uso de suelo y vegetación. Sin embargo, la propuesta descrita precedentemente involucra una serie

de problemáticas que no son fáciles de resolver, pero en tales procesos se incentivará a trabajar en las nuevas perspectivas de la evaluación de la calidad de datos, en ordenar y controlar las etapas de producción, así como en normar las ediciones alternas de cartografía para usos diversos. La calidad en la producción cartográfica está asociada directamente en lo que se requiere obtener de todos los objetos conformando el territorio y sobre la forma de obtener y representar estos. Siendo dado que jamás se podrá obtener una fiel y pura representación de cada rasgo requerido sobre el territorio, si se podrán generar los mecanismos permitiendo la regulación de estándares de calidad.

En la mayoría de las problemáticas que han manifestado inconsistencias con el uso de la cartografía que se produce del país y todos sus elementos geográficos, las podríamos referir a las siguientes situaciones; dado que la infraestructura geoespacial de datos del territorio mexicano no está establecida del todo, trae como consecuencias, seguir con tendencias y políticas en las cuales cada Estado de la República, genera sus propios criterios de desarrollo. Se trabaja con diversas tecnologías de adquisición y almacenamiento de información, se hacen tratamientos de datos con diversas plataformas, no hay un estándar para el manejo de la información en sistemas de bases de datos espaciales, a pesar de que el INEGI ha trabajado asesorado por universidades y centros de investigación en el extranjero para establecer sus marcos y sistemas de referencia, no tiene el apoyo necesario de investigadores en México colaborando para tal propósito. Es poco el compromiso para conjuntar a instituciones, universidades y centros de investigación con fines responsables para impulsar tales desarrollos, que por consecuencia, esto no permite la búsqueda de mejores estrategias en cuanto al ordenamiento del territorio y todos sus recursos naturales. Dentro de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, publicada en su última reforma DOF 29-07-2010, se establece en el artículo 27, la normativa para regir el aprovechamiento de los recursos naturales de nuestro país. Sin embargo no se le da peso a la forma de hacerlo ni a la importancia de generar insumos específicos para el conocimiento de tales recursos naturales, pudiendo ser oportuno incentivar la edición de cartografía vectorial específica para tales fines.

LITERATURA CITADA

- Acosta Velásquez, J. M. T. R. Z. (2007). Programa de monitoreo de los manglares de México a largo plazo: Primera Etapa. C. N. p. e. C. y. U. d. l. Biodiversidad. Tlalpan, México, Distrito Federal,, Informe final SNIB-CONABIO. 1.
- Mas, J. F., Velázquez, A., and Couturier S. (2009). "La evaluación de los cambios de cobertura/ uso de suelo en la República Mexicana." Investigación Ambiental 1(1): 23-39.
- Sánchez, C., S., A. Flores Martínez, I.A. Cruz Leyva y Velazquez A. (2008). Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. II Estudio del País. CONABIO. México.
- Velázquez, A., Mas Jean F., Palacio Jose Luis (2002). Análisis de cambio de uso de suelo. I. d. G. UNAM. MEXICO, Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT): 95.