



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Manual de prácticas de  
laboratorio para el análisis  
de datos geoespaciales**

**MATERIAL DIDÁCTICO**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Geomático**

**P R E S E N T A**

Abril Zaira Espejo Madrigal

**ASESOR(A) DE MATERIAL DIDÁCTICO**

Dra. Griselda Berenice Hernández Cruz



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2021

## Índice

1. Programa PAPIME
    - 1.1 Objetivo
    - 1.2 Características
    - 1.3 Proyecto PAPIME PE110218
  2. Marco conceptual
    - 2.1. Sistemas de Información Geográfica
      - 2.1.1. Definición
      - 2.1.2. Componentes
      - 2.1.3. Evolución de los SIG a través del tiempo
      - 2.1.4. Datos espaciales
      - 2.1.5. Minería de datos
  3. Software libre y de bajo costo
  4. Análisis de datos espaciales
    - 4.1. Análisis multicriterio
    - 4.2. Modelo digital de elevación
    - 4.3. Rutas óptimas
    - 4.4. Creación de página web
    - 4.5. Bases de datos
    - 4.6. Geolocalización de sitios de interés
    - 4.7. Geodatabase
  5. Conclusiones
- Fuentes de consulta

# 1. Programa PAPIME

## 1.1 Objetivo

El Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME), tiene por objetivo impulsar la superación y desarrollo del personal académico mediante apoyo a proyectos que conduzcan a la innovación y al mejoramiento del proceso enseñanza-aprendizaje y beneficien a los alumnos de los niveles medio superior y superior de la UNAM (<https://dgapa.unam.mx/index.php/fortalecimiento-a-la-docencia/papime>).

## 1.2 Características

Los proyectos desarrollados mediante PAPIME, deberán girar en torno a temas que permitan una enseñanza creativa, que involucren nuevas formas de pensar, motiven el interés y la imaginación de los participantes, ahondar en los campos multidisciplinarios que permiten resolver situaciones complejas y la propuesta de recursos didácticos interactivos asociados a los planes de estudio vigentes.

La responsabilidad o corresponsabilidad de un proyecto PAPIME recae sobre el personal académico de la UNAM contratado de forma definitiva, interina o a través del procedimiento dispuesto en el artículo 51 del estatuto del Personal Académico (EPA), con un nombramiento del siguiente tipo:

- Profesor de carrera (asociado o titular)
- Investigador de carrera (asociado o titular)
- Técnico académico (titular)

## 1.3 Proyecto PAPIME PE110218

Este manual de prácticas de laboratorio se ha podido realizar gracias al Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza en la convocatoria del año 2018, trayendo como consecuencia un mejor aprendizaje y una guía para los alumnos.

Enfatizamos el uso de software libre y licencias de bajo costo para los estudiantes y académicos, con el fin de tener herramientas tecnológicas útiles y accesibles. Muchas de las metodologías aquí presentadas han sido realizadas primero en software privativo y de alto costo y nos hemos dado a la tarea de cambiarlas a software libre o de bajo costo.

Los colaboradores han querido destacar los trabajos y logros que se tienen a nivel nacional entre las instituciones que realizan una labor científica, y de investigación, en las diversas áreas de interés para la ingeniería aplicada. Utilizando metodologías cuya eficacia en tiempo, minimiza costos en las investigaciones, característica de vital importancia para quienes trabajamos en las academias (estudiantes, profesores e investigadores).

Además de las prácticas, se encuentran también algunos de los insumos utilizados para realizarlas, de tal manera que se pueden realizar las metodologías para comprobar la eficacia de los manuales.

Esperamos este recurso sea de interés para la comunidad estudiantil y académica, agradecemos el apoyo a la División de Ingenierías Civil y Geomática, al Programa de Apoyo a Proyectos para la

Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza, así como a los colaboradores, tesistas y becarios que hicieron posible este trabajo.

## 2. Marco conceptual

### 2.1 Sistemas de Información Geográfica

#### 2.1.1. Definición

Para comprender lo que es un Sistema de Información Geográfica (SIG), primero definiremos lo que es un Sistema de Información (SI) desde el punto de vista de la ingeniería de software; Peña (2006) define un SI como el conjunto de elementos interrelacionados con el propósito de prestar atención a las demandas de información de una organización, para elevar el nivel de conocimientos que permitan un mejor apoyo a la toma de decisiones y desarrollo de actividades; mientras que Cortés (1998), lo define como un sistema basado en computadora, el cual es alimentado con datos por medio de procedimientos de entrada y convierte los datos en información, dicha información se muestra por medio de procedimientos de salida.

De las definiciones anteriores, podemos interpretar un SI como un sistema de elementos interrelacionados, cuya finalidad es procesar datos de entrada y arrojar información adecuada para la atención de necesidades y una mejor toma de decisiones.

Ahora bien, un SIG, es un SI acondicionado para la ciencia de la geografía, es un sistema para describir y categorizar la Tierra y otras geografías, cuyo objetivo es mostrar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente.

De acuerdo a *Environmental Systems Research Institute* (Esri), empresa líder mundial en desarrollo y comercialización de software especializado, un SIG es un marco para recopilar, gestionar y analizar datos. Adaptado en la ciencia de la geografía, un SIG integra muchos tipos de datos. Analiza la ubicación espacial y organiza capas de información en visualizaciones utilizando mapas y escenas 3D. Con esta capacidad única, los SIG revelan información más profunda sobre datos, como patrones, relaciones y situaciones, ayudando a tomar decisiones más inteligentes (<https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>).

#### 2.1.2. Componentes

Como se mencionó anteriormente, un SI es un conjunto de elementos interrelacionados, en el caso de los SIG, hay seis elementos o componentes requeridos para el trabajo en conjunto, como se puede observar en la Fig. 1 (Karimi & Akinci, 2009):

- 1) Una red de computadoras, es la infraestructura que interconecta dos o más computadoras y otros dispositivos para compartir recursos y computación paralela. Una red de computadoras incluye redes de área local (LAN), redes de área amplia (WAN) e internet. Estas redes son un componente fundamental de los SIG, con su capacidad de mejorar la accesibilidad y la reutilización de datos georreferenciados y herramientas de análisis.
- 2) Hardware, en los SIG se refiere a los componentes físicos de un sistema informático, compuesto de un CPU para ejecutar el software, almacenamiento en disco para almacenar grandes cantidades de datos y programas; dispositivos de entrada como digitalizadores, escáneres para convertir datos; y dispositivos de salida para mostrar los resultados. En la actualidad los SIG no solo funcionan en computadoras de escritorio, sino que también están disponibles a través de computadoras portátiles, asistentes digitales personales (PDA), dispositivos de vehículos y teléfonos celulares.

- 3) Software, es el responsable de generar, almacenar, analizar, manipular y mostrar datos geográficos. Actualmente, muchos paquetes diferentes de software SIG están disponibles en productos tanto comerciales (p. ej. ESRI, Intergraph and Autodesk) como de código abierto (p. ej. GRASS).
- 4) Datos, incluye datos geoespaciales y no geoespaciales para representar áreas geográficas, objetos o fenómenos seleccionados para fines específicos.
- 5) Personas, están categorizadas en tres clases basadas en sus roles, espectadores, usuarios generales y especialistas SIG. La clase más grande consiste en los espectadores, quienes solo consultan y visualizan materiales referenciales de una base de datos geográfica para fines de representación. Los usuarios generales emplean operaciones SIG básicas para respaldar la decisión y el análisis empresarial de negocios, como la ubicación de los clientes, rutas óptimas para transportar bienes o servicios, o rastrear productos enviados. Los especialistas SIG son aquellos que están capacitados en SIG, entienden los conceptos subyacentes de SIG y brindan soporte técnico a las otras dos clases de usuarios.
- 6) Procesos o métodos, requeridos para garantizar que las actividades SIG, como la forma de recuperar, almacenar, transformar y analizar los datos espaciales, mantener una alta calidad y satisfacer las necesidades de la organización. En general, estos procedimientos se utilizan para describir los pasos tomados en el desarrollo de SIG y cumplir con un plan de implementación y reglas comerciales de cada organización.



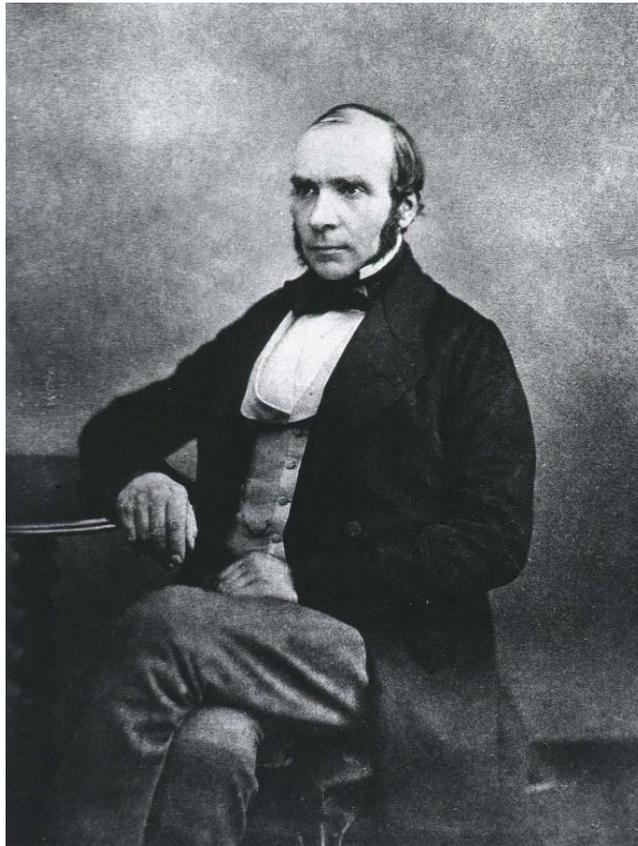
Fig. 1 Componentes de los SIG.

### 2.1.3. Evolución de los SIG a través del tiempo

La historia del SIG comenzó en 1854, cuando el cólera golpeó la ciudad de Londres, Inglaterra. John Snow, médico británico, comenzó a mapear las ubicaciones de brotes, caminos, límites de propiedades y líneas de

agua. Al agregar estas características a un mapa, vio que los casos de cólera se encontraban comúnmente a lo largo de las líneas de agua.

El mapa de casos de cólera de John Snow conectó la geografía y la seguridad de la salud pública; no fue solo el comienzo del análisis espacial, sino que también marcó el inicio de todo un campo de estudio: Epidemiología, el estudio de la propagación de una enfermedad, por lo que es conocido como el padre de tal ciencia (Fig. 2).



*Fig. 2 John Snow, médico británico considerado el padre de la epidemiología.*

La historia de los SIG se puede agrupar en varias etapas de desarrollo, en ellas se pasa desde los mapas de papel estáticos a mapas digitales dinámicos y desde el análisis básico a la resolución de problemas más complejos, lo anterior influenciado por la participación de personas clave y el desarrollo tecnológico, en el portal de GISGeography.com se encuentran las siguientes etapas:

## **I. Antes de 1960: la edad oscura del SIG**

En la década de 1950, los mapas eran simples; tenían su lugar en rutas para vehículos, la planificación de nuevos desarrollos y la localización de puntos de interés.

Pero nada de lo anterior fue hecho en computadoras, una opción fue el mapeo de tamices utilizando capas transparentes en tablas de luz para identificar áreas de superposición; los desafíos a los que se enfrentaron era un casi imposible e inexacto cálculo de áreas, los datos eran toscos y medir distancias era tedioso. Con los problemas anteriores, los cartógrafos y usuarios espaciales quisieron explorar opciones informáticas para el manejo de datos geográficos; dichos problemas se volvieron el incentivo para pasar del papel a la cartografía por computadora.

## II. 1960 a 1975: SIG pioneros

Los comienzos de 1960 a 1980 fueron realmente el periodo de tiempo de los pioneros de los SIG.

Los avances tecnológicos se unieron: mapear gráficos como salidas usando impresoras de línea, avances en el almacenamiento de datos con ordenadores centrales y la grabación de coordenadas como entrada de datos; fueron los desarrollos iniciales para el siguiente paso.

Los SIG necesitaban de una mente que uniera los avances anteriores; y fue durante el mandato de quien es considerado el padre de los SIG, Roger Tomlinson (Fig. 3), en el gobierno canadiense, en la década de 1960 cuando inició, planificó y dirigió el Sistema Geográfico Canadiense (CGIS). Una gran variedad de autores considera el CGIS como la raíz de los SIG.

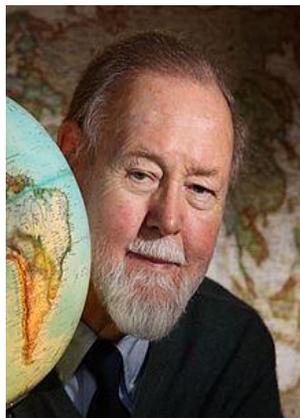


Fig. 3 Roger Tomlinson, considerado padre de los SIG.

CGIS fue único porque adoptó un sistema de enfoque de capas para el manejo de mapas, debido a la gran cantidad de territorio que ocupa Canadá, la idea de un Inventario de Tierras Canadiense se desarrolló en 1964, y fue hasta 1971 que comenzó a funcionar plenamente.

La Oficina del Censo de EE. UU. (US Census Bureau) fue una de las primeras en adoptar algunos de los principios básicos de los SIG, su trabajo pionero, condujo a la entrada digital del censo de 1970, utilizando el formato de datos GBF-DIME (Archivo de Base Geográfica – Codificación de Mapa Independiente Dual), este tipo de archivo permitía la entrada de datos digitales, corrección de errores e incluso mapeo de coropletas. Con este formato, la Oficina del Censo de EE. UU., comenzó a digitalizar los límites del censo, carreteras y áreas urbanas; esto fue un gran paso en la historia de los SIG.

El *Ordnance Survey*

(OS), la agencia cartográfica del Reino Unido, también comenzó su desarrollo de mapas topográficos, hasta la fecha el OS produce datos SIG diferentes.

Hasta este punto, los SIG aún se encontraban en una etapa pionera, siendo promovidos por solo unas cuantas agencias nacionales selectas.

### **III. 1975 a 1990: Comercialización del software SIG**

Las ventajas del mapeo digital resaltadas por los diferentes gobiernos, influyeron en el trabajo del Laboratorio de Harvard para Gráficos por Computadora, donde a mediados de la década de 1970 se desarrolló el primer vector SIG llamado ODYSSEY GIS. El marco técnico de ODYSSEY GIS fue usado por ARC/INFO de Esri, conduciendo a la siguiente etapa de los SIG, su comercialización.

A finales de los 70's, el tamaño de la memoria y las capacidades gráficas estaban mejorando; los nuevos productos de cartografía por computadora incluyeron Sistemas de Gestión y Creación de Información Geográfica (GIMMS), MAPICS, SURFACE, GRID, IMGRID, GEOMAP y MAP.

La etapa de finales de los 80's, se caracterizó por una gama cada vez mayor de proveedores de software SIG. Uno de los mayores proveedores de software SIG fue Esri, que ahora es la compañía de software SIG más grande del mundo, experta en el desarrollo y que ha cumplido un papel clave en la historia de los SIG.

### **IV. 1990 a 2010: Proliferación de usuarios**

Todos los ingredientes estaban listos para la infiltración de los SIG en la población:

- Computadoras, más baratas, más rápidas y más potentes.
- Múltiples opciones de software y disponibilidad de datos.
- Lanzamiento de nuevos satélites e integración de tecnología en teledetección.

1990 a 2010 fue el periodo de despegue de los SIG; la importancia del análisis espacial para la toma de decisiones se fue reconociendo gradualmente, poco a poco los SIG se introdujeron en las aulas y en las empresas.

Para esta época, los software SIG fueron capaces de manejar tanto datos vectoriales como ráster; la información recopilada desde el espacio, al unísono con la disponibilidad de los Sistemas de

Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés), abrieron el camino a productos innovadores como sistemas de navegación para automóviles y vehículos aéreos no tripulados.

## **V. 2010 en adelante: La explosión del código abierto**

Con los avances tecnológicos, los usuarios SIG ahora construyen su propio software de una manera abierta y colaborativa. Este tipo de software se pone a disposición del público y se denomina código abierto con la gran ventaja de no tener costo alguno.

El código abierto se ha convertido en una corriente principal, gradualmente estamos entrando en una era de software SIG abierto, aunque los avances y la oferta de soluciones de las compañías de software como Esri siempre les permitirán un lugar en el mercado.

### **2.1.4. Datos espaciales**

Wordboys (1995) afirma que “los datos son el corazón de los SIG y cualquier sistema es tan bueno como su población de datos” (p 15). Los datos son el elemento que alimenta a los SIG, son necesarios para la visualización, análisis y para dar sentido a la tecnología y, es el usuario el encargado de gestionar esos datos y obtener de ellos el mayor provecho posible (Olaya, 2014).

Es importante diferenciar el concepto entre dato e información, se entiende como dato el conjunto de valores o elementos que utilizamos para representar algo, es necesario interpretar dicho dato para que surja un significado. Al realizar una interpretación, el dato informa del significado que tiene y es entonces cuando puede ser usado para algún fin, es decir, que las operaciones que se hagan sobre él tengan sentido y resulten coherentes con el significado propio que contiene. (Olaya, 2014).

De acuerdo a Abdul & Pilouk (2008), hay tres componentes de datos espaciales que deben almacenarse para datos SIG: datos geométricos, datos temáticos y una identificación de enlace (ID) para el componente geométrico y temático. El componente geométrico se ocupa de la ubicación de los datos mediante un sistema de coordenadas de referencia y el componente temático proporciona los valores de los atributos de los datos, por ejemplo, nombres u otros identificadores.

Olaya en su publicación *Sistemas de Información Geográfica*, nombra a la componente geométrica como componente espacial y nos dice que esta componente es la que hace posible que la información se califique como geográfica, ya que sin esta no se tiene una localización y en consecuencia no podría existir un marco geográfico; respondiendo a la pregunta ¿dónde?. Por otro lado, la componente temática responde a la pregunta ¿qué? y va unida a la anterior.

Una vez que han quedado descritas las componentes de los datos espaciales, Burrough & McDonnell (como se citó en Lloyd, 2010) nos dicen que “representaciones del mundo real a menudo se dividen en (1) entidades y (2) campos”. Lloyd, 2010 describe a las entidades como objetos conceptualmente distintos, tales como ubicaciones de puntos, carreteras o límites administrativos y los campos transmiten la idea de

los valores de algunas propiedades en todas las ubicaciones. Los objetos bien descritos como distintas entidades, se representan utilizando el modelo de datos vectoriales; en cambio, las propiedades que tienden a variar sin problemas de un lugar a otro (espacialmente continuas), se representan con frecuencia utilizando el modelo de datos ráster.

#### Modelo ráster:

Son estructuras conceptualmente simples, comprenden celdas cuadradas con valores numéricos o clases adjuntas a cada celda.

Olaya (2014) nos dice que en los modelos ráster, la zona de estudio es dividida de forma sistemática en una serie de unidades mínima (habitualmente se denominan celdas), y para cada celda se recoge la información pertinente que la describe. Lloyd (2010) pone como ejemplo valores que representan elevaciones, donde las celdas contienen valores categóricos o enteros (Fig. 4).



*Fig. 4 Imagen ráster. Valores de elevación en metros.*

#### Modelo vectorial:

Para Lloyd (2010), mientras que las características en las cuadrículas ráster se identifican simplemente por la posición de las celdas en las filas y columnas, los datos vectoriales comprenden coordenadas espaciales explícitas de las características que componen los objetos. Los datos vectoriales comprenden puntos (con coordenadas 'x' y 'y'), líneas (segmentos de línea (o arcos) conectados por puntos) y áreas (polígonos con el mismo punto de inicio y final). En la Fig. 5, Lloyd (2010), muestra que las entidades de línea comprenden dos formas de ubicaciones de puntos:

1. Vértices: representan el cambio en la dirección de los arcos
2. Nodos: representan el inicio o el final de los arcos, incluidas las ubicaciones donde se conectan los diferentes arcos.

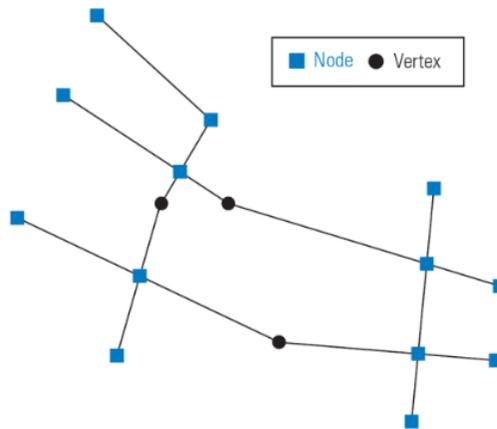


Fig. 5 Modelo de datos vectorial.

### 2.1.5. Minería de datos

La minería de datos es la extracción de información que reside de forma implícita en los datos. Dicha información es desconocida previamente y podrá resultar útil para algún proceso (Palma, Palma y Pérez, 2009).

Para Hand, Mannila y Smyth (2001) la minería de datos es frecuentemente establecida en el contexto más amplio del <<descubrimiento del conocimiento en bases de datos>> (KDD, por sus siglas en inglés), dicho término se originó en el campo de investigación de la inteligencia artificial (AI, por sus siglas en inglés). El proceso de KDD involucra varias etapas: seleccionar los datos objetivo, preprocesarlos, transformarlos si se requiere, realizar la minería de datos para extraer patrones y relaciones, para finalmente interpretar y evaluar las estructuras descubiertas.

Una vez que descrita la minería de datos y como esta se encuentra dentro del contexto del descubrimiento de conocimiento en bases de datos, de acuerdo a Vitkar (2016), las técnicas de la minería de datos pueden ser aplicadas eficientemente sobre datos espaciales. Clasificaciones y regresiones son usadas para entender patrones en el comportamiento de los datos; el análisis predictivo es utilizado para evaluar las tendencias futuras de los datos y los SIG para estudiar el impacto de dichas tendencias. Al combinar la minería de datos con los SIG se contribuye a lo denominado minería de datos espaciales (SDM, por sus siglas en inglés).

De acuerdo con Cangrejo y Agudelo (2011), el desarrollo de bases de datos espaciales y métodos como la minería de datos espaciales, se originaron en desarrollos conceptuales y tecnológicos en áreas vinculadas a la información geográfica en su dimensión espacial, en particular, lo referente al procesamiento de la información espacial y herramientas como los SIG. La SDM nace como respuesta a la necesidad de interpretar y descubrir información relevante contenida en las grandes bases de datos espaciales que existen actualmente y están en un crecimiento constante.

Dentro de la minería de datos espaciales existen tareas que involucran métodos provenientes del área computacional, estadística y visual, así como algunas combinaciones de estos. Las cuatro grandes tareas en minería de datos son:

### I. Clasificación espacial y predicción

La clasificación hace referencia directa al agrupamiento de datos puntuales clasificados o categorizados según los atributos de los datos, este tipo de clasificación es llamada también <<clasificación supervisada>> ya que requiere datos de formación entrenados para la configuración del modelo de clasificación, datos de validación para optimizar la configuración y un conjunto de datos de prueba que permitan la evaluación el desempeño del modelo entrenado.

Algunos métodos de clasificación son árboles de decisión, redes neuronales, estimación de máxima verosimilitud, análisis de discriminante lineal, máquinas de soporte vectorial, k-nn (nearest neighbors) y razonamiento basado en casos.

### II. Reglas de asociación espacial

Originalmente se destinó a la identificación de regularidades entre objetos involucrados en transacciones de bases de datos, representan relaciones entre los objetos y los predicados espaciales. También pueden presentar relaciones topológicas entre objetos espaciales, algunos ejemplos son: disyunción, intersección, adyacencia, superposición, vecindad e igualdad; pueden representar orientaciones o el orden espacial o contener información referente a distancias como objetos cerca o lejos de; algunos ejemplos se pueden ver en la Fig. 6.

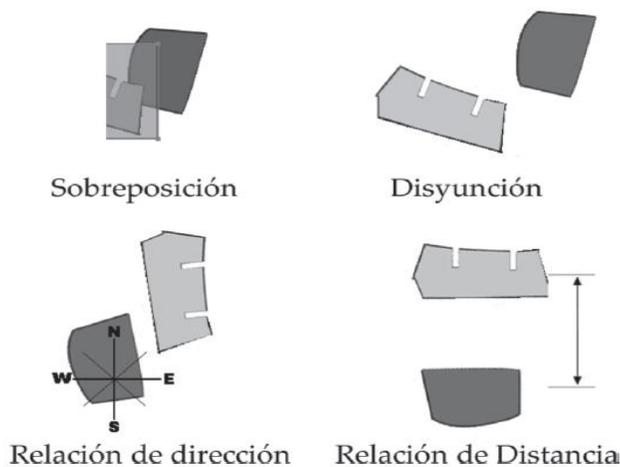


Fig. 6 Relaciones comunes de asociación espacial.

### III. Agrupación espacial, regionalización y análisis de patrones de punto

Este tipo de tarea organiza los datos en grupos o clusters, de modo que los elementos del mismo grupo son similares entre sí y diferentes de los otros. Los métodos de clustering se clasifican en dos grandes tipos: agrupación por separación o agrupación jerárquica. La agrupación por separación divide un conjunto de

datos en un número de grupos no superpuestos, un dato es asignado al grupo más cercano según la proximidad o una medida de similitud. La agrupación jerárquica organiza los datos en jerarquías con una secuencia de particiones o agrupaciones.

La regionalización hace referencia a la forma de agrupación que busca grupos espaciales en grupos contiguos, mientras optimiza una función objetivo.

El análisis de patrones de punto, también conocido como <<análisis de punto caliente>> o <<hot spot>>, se enfoca en la detección de eventos inusuales en el espacio; tiene por objetivo detectar un exceso de ocurrencias del objeto observado en un área determinada.

#### **IV. Geovisualización**

Es el desarrollo de la teoría y los métodos facilitadores en la construcción del conocimiento a través de la exploración visual, el análisis de datos geoespaciales y la implementación de herramientas visuales para una posterior recuperación, síntesis, comunicación y uso del conocimiento.

A diferencia de la cartografía, la geovisualización se especializa en el desarrollo de mapas altamente interactivos y herramientas para la exploración de datos, generación de hipótesis y generación de conocimiento.

### **3. Software libre y de bajo costo**

Como se describió anteriormente, a partir del 2010 nos encontramos en una etapa de explosión de código abierto, en la que los usuarios especializados desarrollan su propio software de forma abierta y colaborativa, con la finalidad de facilitar a otros usuarios el uso de dichos desarrollos sin la necesidad de pago por el uso de estos.

El portal GISGeography.com cuenta con un listado del software de código abierto describiéndolos según sus funcionalidades y popularidad, se rescataron las primeras 10 posiciones:

#### **1. QGIS - Anteriormente Quantum GIS**

Es un SIG libre y de código abierto, funciona en las plataformas GNU/Linux, Unix, Mac Os, Microsoft Windows y Android.

#### **2. gVSIG**

Surgió en el año 2004 en España como una opción de software SIG gratuita y de código abierto. Entre sus funcionalidades que más destacan están la visualización 3D y las herramientas CAD.

#### **3. Whitebox CAT**

Existe desde 2009 y es el reemplazo del Sistema de Análisis de Terreno (TAS, por sus siglas en inglés), es una herramienta para aplicaciones hidrogeomórficas; puede considerarse un paquete de software de percepción remota y SIG, siendo de acceso abierto completo. Destaca por su caja de herramientas para datos LiDAR.

#### **4. SAGA GIS**

Sistema de Análisis Geocientíficos Automatizado (SAGA, por sus siglas en inglés), es principalmente una herramienta de análisis para el terreno.

#### **5. GRASS GIS**

Sistema de Apoyo de Análisis de Recursos Geográficos (GRASS, por sus siglas en inglés), fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU. como una herramienta para la gestión de la tierra y la planificación ambiental. No es una herramienta útil para el diseño cartográfico, pero destaca en el procesamiento de imágenes, manipulación digital del terreno y estadísticas.

#### **6. MapWindow**

Era un SIG patentado, pero se ha abierto a través de un contrato con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés) llamado <<Cuencas>>, por lo que su código fuente fue lanzado al público. Permite la visualización, identificación de características, procesamiento de datos, creación de diseños de impresión, delineación automática de cuencas hidrográficas y cuenta con la herramienta DotSpatial para programadores SIG.

#### **7. ILWIS**

Gestión Integrada de la Información de la Tierra y el Agua (ILWIS, por sus siglas en inglés), era un software comercial que se convirtió en un SIG de código abierto. Entre sus funciones están la digitalización, edición, visualización de datos geográficos y herramientas de percepción remota como la clasificación de imágenes y manipulación de bandas espectrales.

## **8. GeoDa**

Es un software gratuito utilizado principalmente para la introducción de nuevos usuarios en el análisis de datos espaciales. Su principal funcionalidad es la exploración de datos en estadísticas.

## **9. uDig**

uDIG es un acrónimo para las siguientes funcionalidades:

- u: interfaz fácil de usar (user-friendly interface).
- D: significa escritorio (desktop), es ejecutable en Windows, Mac o Linux.
- i: estándar de consumo orientado a Internet (WMS, WFS o WPS).
- g: significa SIG-listo (GIS-ready) para análisis complejos.

Es una opción útil en el mapeo básico, permite la importación de mapas base con la misma melodía que en ArcGIS aunque sus herramientas son limitadas por lo que no se considera un paquete SIG gratuito realmente completo.

## **10. OpenJump**

Anteriormente Plataforma de Mapeo Unificada de JAVA (JUMP GIS, por sus siglas en inglés), es uno de los paquetes de software SIG más completo. Maneja grandes conjuntos de datos, cuenta con un renderizado superior y con complementos para edición, ráster, impresión, procesamiento web, análisis espacial, GPS y bases de datos.

## 4. Análisis de datos espaciales

A lo largo de este capítulo se presentarán síntesis de los manuales de prácticas realizados en colaboración con profesores y alumnos de la carrera de Ingeniería Geomática de la Universidad Nacional Autónoma de México, quienes fueron parte del proyecto <<Manual de prácticas de laboratorio para el procesamiento de imágenes de satélite y análisis de datos geoespaciales>> del proyecto PAPIME PE110218, los recursos completos correspondientes a cada práctica se podrán consultar en el siguiente enlace: <http://192.168.39.4/~proimas/>.

### 4.1 Análisis multicriterio

#### **Práctica 1: Análisis multicriterio para la creación de un ecoparque en la localidad de Santa Elena, Yucatán.**

##### **Objetivos de aprendizaje:**

##### **a) Objetivo general:**

Mediante diversas herramientas de geoprocésamiento se realizará un análisis multicriterio para la creación de un sitio óptimo para la construcción de un ecoparque en el municipio de Santa Elena, en el estado de Yucatán.

##### **b) Objetivos específicos:**

Mostrar cómo se realizan algunos procesos en QGIS para hacer un análisis multicriterio.

Establecer las formas de ocupar datos ráster y vectorial al momento de llevar un análisis multicriterio.

##### **Recursos:**

- a) Software libre QGIS.
- b) Archivos tipo shape disponibles para descarga en INEGI.
- c) Software auxiliar para operaciones matemáticas. Para la realización de esta práctica se usó Excel de Microsoft Office.

##### **Introducción:**

Se entiende por evaluación multicriterio (EMC) al conjunto de técnicas que están orientadas para la asistencia en la toma de decisiones, mediante un conjunto de operaciones espaciales teniendo como objetivo encontrar alternativas bajo diferentes criterios y objetivos considerando simultáneamente todas las variables que intervienen en un dado problema, para de esta forma, generar soluciones con los criterios establecidos desde un principio. En la actualidad los EMC son procedimientos de gran importancia con la unión de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), forman una gran herramienta para la toma de decisiones al momento de localización.

A su vez también la EMC ofrece la selección de diferentes alternativas, ya que son un conjunto de técnicas utilizadas en la toma de decisiones multidimensionales para evaluar una serie de opciones, ofreciendo la oportunidad de obtener un análisis equilibrado de todas las facetas de los problemas de planificación.

La utilización de SIG y EMC nos permite, analizar y describir el territorio, seleccionar un conjunto de alternativas deseables y simular distintos escenarios para la toma de la decisión final.

Para esta práctica del sitio óptimo tomaremos en cuenta los siguientes criterios:

- Que se encuentre dentro de los 500 metros de la vegetación.
- Que se encuentre a 300 metros de las carreteras.
- Que se encuentre a 1.5 kilómetro de zonas de cultivos.
- Que se encuentre a 700 metros de corrientes de agua.
- Que se encuentre en 500 y 1500 metros de las localidades.

### Desarrollo:

1. Creación de buffers que cumplan con los criterios establecidos (Fig. 7).

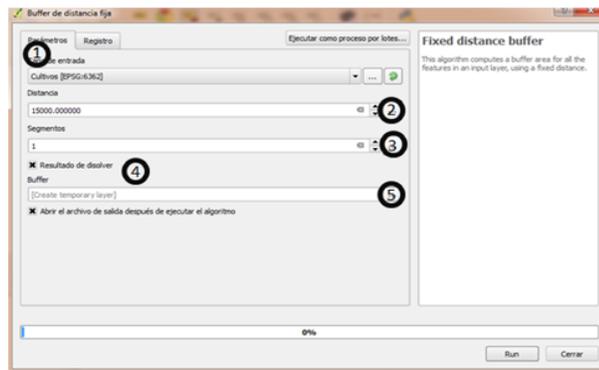
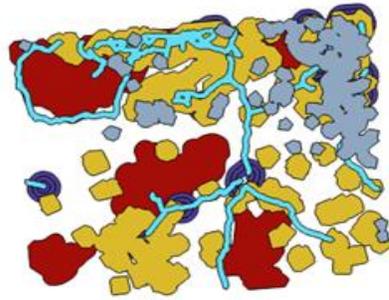
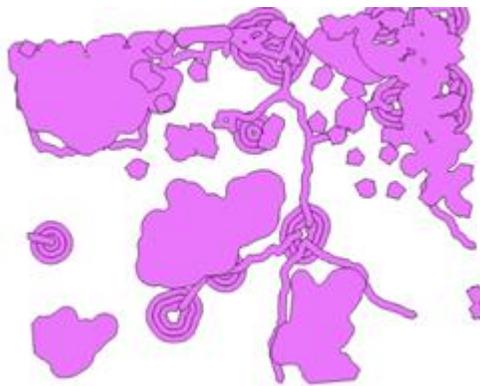


Fig. 7 Creación de buffer.

2. Obtención y unión de los buffers, (Fig. 8 y 9).



*Fig. 8 Buffers creados con los criterios establecidos.*



*Fig. 9 Unión de los buffers a excepción del criterio para cultivos.*

3. Áreas óptimas para el desarrollo del ecoparque (Fig. 10)



*Fig. 10 Zonas factibles para la ubicación del ecoparque.*

4. Obtención y asignación del eigenvector principal normalizado (Fig. 11 y 12).

Localidades			
Factores	500	1000	1500
500	1.00	3.00	5.00
1000	0.33	1.00	3.00
1500	0.20	0.33	1.00
$\Sigma=$	1.53	4.33	9.00



Localidades				Eigenvector principal
Factores	500	1000	1500	
500	0.65	0.69	0.56	1.90
1000	0.22	0.23	0.33	0.78
1500	0.13	0.08	0.11	0.32
$\Sigma=$	1.00	1.00	1.00	3.00

Eigenvector principal normalizado	
500	0.633997
1000	0.259989
1500	0.106014
$\Sigma=$	1

Fig. 11 Obtención del eigenvector.

	distance	Eingevector
1	500	0.633997
2	1000	0.259989
3	1500	0.106014

Fig. 12 Asignación del eigenvector.

## 5. Rasterización y normalización (Fig. 13).

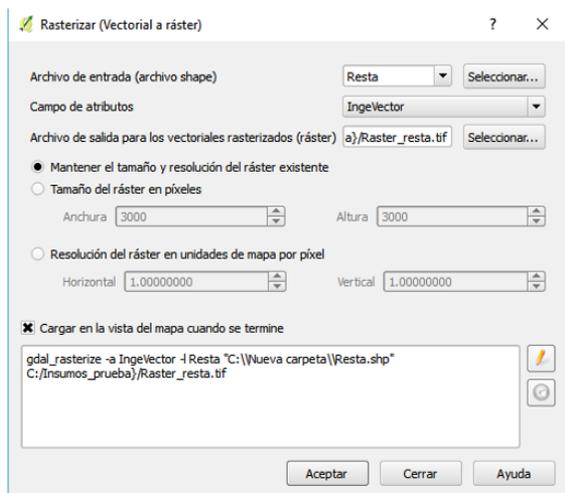



Fig. 13 Rasterización.

Para la normalización del ráster se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\left( \frac{(\text{Ráster} - \text{Valor mínimo ráster})(\text{Valor máximo escala} - \text{Valor mínimo escala})}{(\text{Valor máximo ráster})} \right) + \text{Valor Mínimo Escala}$$

## 6. Ráster a vectorial (Fig. 14)

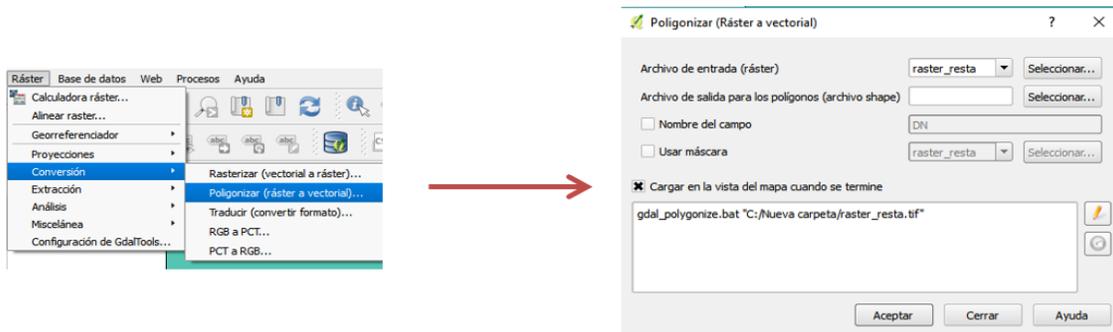


Fig. 14 Poligonizar (Ráster a vectorial).

## 7. Resultado final

Finalmente se obtiene el archivo shape donde se observan las zonas óptimas para la ubicación del ecomarque (Fig. 15).

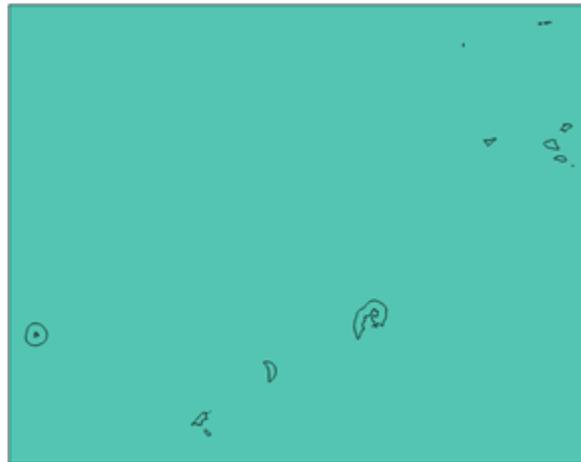


Fig. 15 Polígonos de zonas óptimas.

**Conclusiones:**

La planificación territorial es influenciada por factores de tipo ambiental, social, económico, político, entre otros; por lo que la información espacial que oriente a una mejor toma de decisiones es una necesidad.

El éxito del desarrollo y continuidad de infraestructura, tanto en el sector público como privado, dependerá de la correcta ubicación, ya que deberá maximizar los beneficios y reducir y de ser posible, eliminar las afectaciones a los factores involucrados.

## **4.2 Modelo digital de elevación**

### **Práctica 2: Elaboración de un modelo digital de elevación.**

#### **Objetivos de aprendizaje:**

##### **a) Objetivo general:**

Elaborar un modelo de elevación digital (DEM).

##### **b) Objetivos específicos:**

Mostrar cómo se realizan algunos procesos en QGIS para la elaboración de un DEM.

#### **Recursos:**

- a) Software libre QGIS.
- b) Archivos tipo ráster.
- c) Complemento OpenLayers plugin.

#### **Introducción:**

La representación del relieve es importante para conocer información existente acerca de los elementos en la superficie de la Tierra, siendo de gran relevancia para el análisis y estudios de diversas índoles en los campos de la ingeniería y Ciencias de la Tierra.

Un modelo digital de elevación (DEM) es una representación digital, visual y matemática de la superficie terrestre y su altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve, los elementos y objetos presentes en el mismo.

Un archivo ráster contiene celdas y píxeles los cuales contienen información de la elevación con respecto sobre el nivel del mar, por tanto, un modelo digital de elevación está contenido en un archivo de tipo ráster, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados.

En la actualidad, los modelos constituyen un medio para lograr la representación del relieve de forma versátil y funcional ya que a partir de él se puede conocer la conformación o morfología del terreno (MDT), los elementos de origen antrópico y la vegetación presente en el mismo DEM.

Es posible generar información a partir de los modelos digitales de elevación posibilitando la obtención de datos de apoyo para el cumplimiento de objetivos, toma de decisiones y desarrollo de proyectos relacionados con el relieve. Los datos de apoyo derivados pueden ser curvas de nivel, corrientes de agua, mapas de pendientes, redes irregulares de triángulos (TIN), imágenes del relieve sombreado o mapa de sombras, puntos acotados de altura, modelos vectoriales de altura de los elementos presentes en el terreno, líneas estructurales, entre otros.

## Desarrollo:

### 1. Conversión de extensión del archivo a .tiff

Una vez cargado el archivo ráster en QGIS, se verifica que este cuente con un sistema de coordenadas.

Para la presente práctica se utilizó un archivo del estado de Guerrero, México, proyectado en cónica conforme de Lambert (CCL) con los parámetros correspondientes para México (Fig. 16).

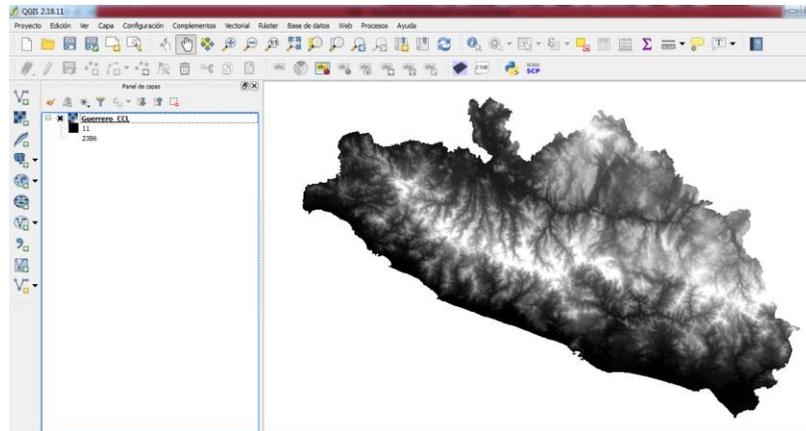


Fig. 16 Archivo ráster del estado de Guerrero.

Para la elaboración del DEM, el archivo debe tener una extensión Geotiff (.tiff), este se debe verificar en las propiedades del archivo. El archivo de la presente práctica tiene una extensión .ovr, por lo que se procede a convertir la extensión, mediante la pestaña <<Ráster>>, donde se desplegará un submenú donde elegiremos <<Conversión>> y finalmente la opción <<Traducir>> (Fig. 17).

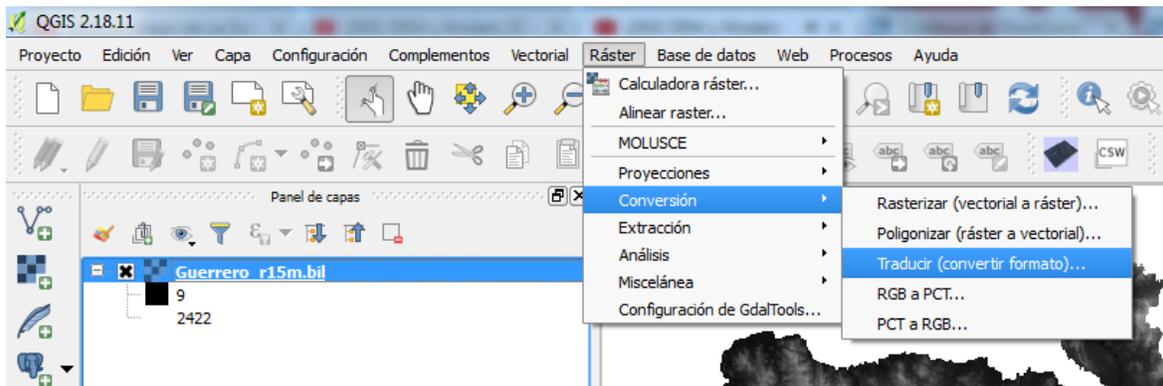


Fig. 17 Pestaña Ráster.

En la ventana emergente desplegada se ingresará el archivo a convertir como archivo de entrada y como archivo de salida se selecciona la ruta y el nombre del nuevo archivo con la extensión .tiff.

Una vez realizado lo anterior aparecerá el nuevo archivo ráster, al cual se le puede verificar su extensión examinando sus propiedades.

## 2. Visualización del archivo .tiff

Procedemos a abrir la ventana de <<Propiedades de la capa>>, del lado izquierdo se selecciona la opción <<Estilo>>, en la opción de <<Tipo de renderizador>> elegimos <<Unibanda pseudocolor>>, en la opción <<Color>> elegimos <<BrBG>>, en <<Modo>> seleccionamos <<Cuantil>>, en <<Clases>> se eligen <<15>> y finalmente marcamos la casilla de <<Invertir>> (Fig. 18); de modo que los tonos verdes indicaran los valores más bajos y los cafés los valores más altos del archivo ráster (Fig. 19).

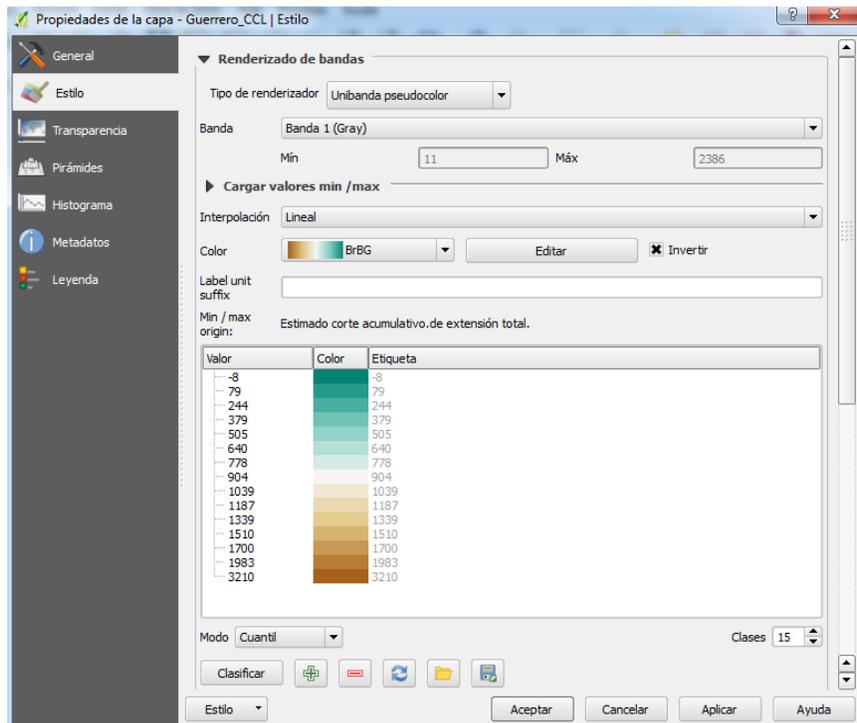


Fig. 18 Configuración de <<Estilo>> en la ventana <<Propiedades de la capa>>.

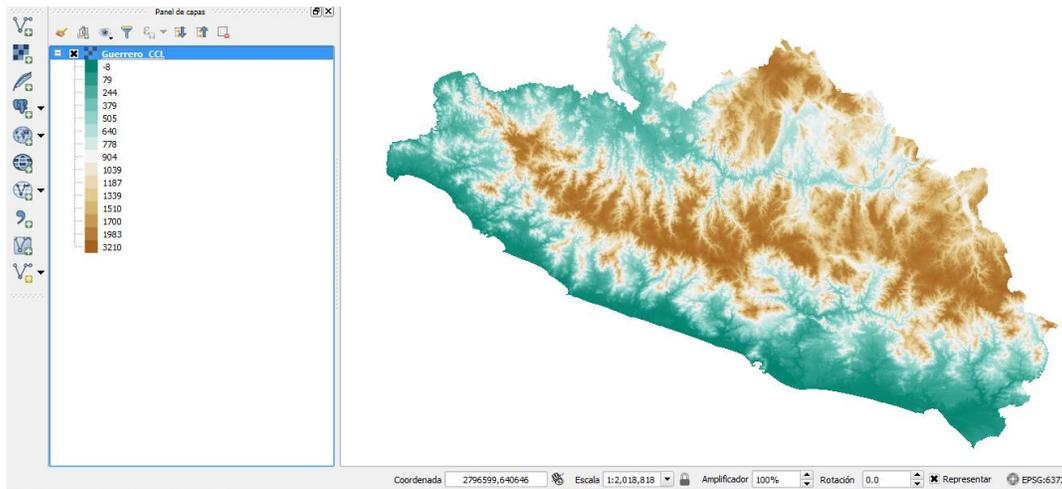


Fig. 19 Visualización del archivo ráster.

### 3. Modelo Digital de Elevación (DEM)

En la pestaña <<Web>> del menú principal de QGIS, se selecciona <<Qgis2threejs>> (Fig. 20).

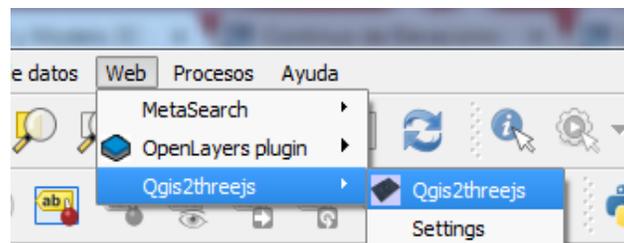


Fig. 20 Plugin Qgis2threejs.

Desplegará una ventana en la cual se seleccionará la opción <<DEM>>, en <<DEM Layer>> se elige el archivo con extensión .tiff; en el resto de las opciones se dejan los valores asignados por default y se ejecuta dando clic en el botón <<Run>>.

Se abrirá una ventana del navegador de internet, se podrá visualizar el DEM (Fig. 21), con el scroll podemos realizar acercamientos y viceversa a zonas de interés.

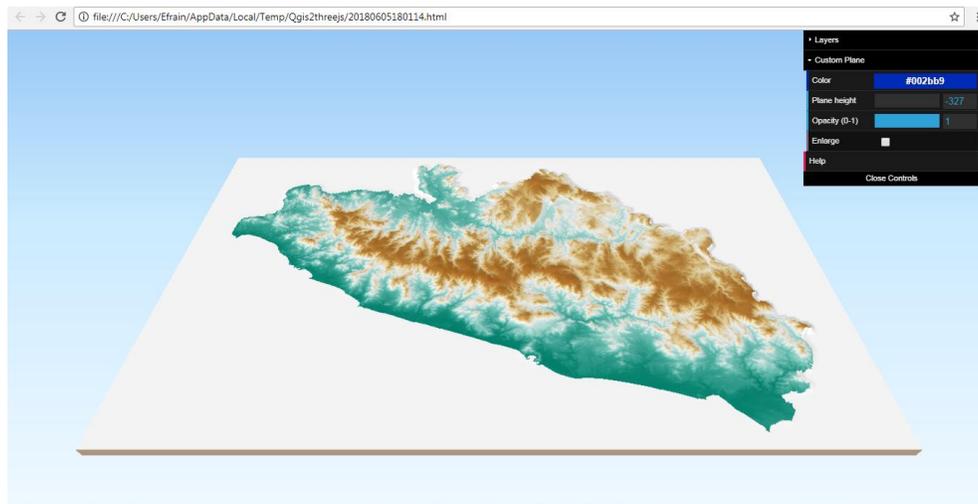


Fig. 21 Visualización del DEM.

Dentro de la ventana de visualización se desplegará un menú (Fig. 22), dentro de la pestaña <<Layers>> se encuentra el nombre del archivo ráster; <<Custom Plane>> ofrece la posibilidad de modificar el color y opacidad de la máscara del DEM, en la opción <<Plane height>> se puede modificar el comportamiento de la máscara a la elevación deseada.



Fig. 22 Menú del DEM.

#### 4. Imagen satelital del DEM

Del menú principal de QGIS, en la opción <<Web>> seleccionamos <<OpenLayers plugin>>, del submenú desplegado elegimos <<Google Maps>> y de las opciones brindadas, seleccionaremos <<Google Satellite>> (Fig. 23).

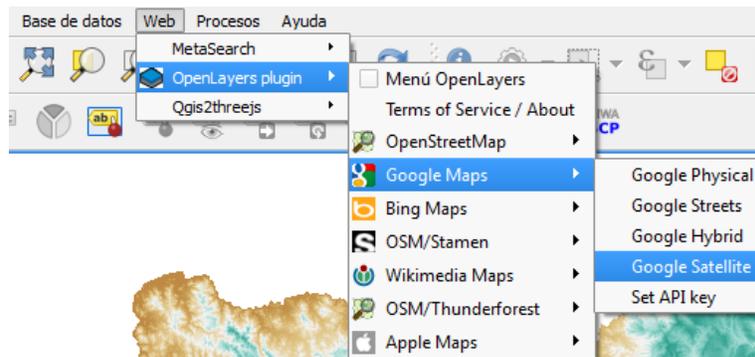


Fig. 23 Plugin OpenLayers.

Nuevamente en <<Qgis2threejs>>, se desplegará una ventana con una imagen satelital de la zona del DEM (Fig. 24).



Fig. 24 Imagen satelital de la zona de ubicación del DEM.

### Conclusiones:

Un gráfico tridimensional del terreno nos da una primera visión general de la zona donde se tiene proyectado trabajar; de modo que las primeras consideraciones y limitaciones serán resultado de conocer a fondo los detalles de la superficie.

Los DEM son de utilidad en múltiples áreas de aplicación, son populares en aplicaciones para las ciencias ambientales y proyectos de infraestructura civil.

### 4.3 Rutas óptimas

#### Práctica 3: Análisis de trayectorias (Ruta óptima).

##### Objetivos de aprendizaje:

###### a) Objetivo general:

Aprender a trazar una ruta óptima (ruta más corta) a partir de dos puntos dados en QGIS.

###### b) Objetivos específicos:

Aprender a descargar datos vectoriales mediante el uso del complemento OpenLayers plugin.

Trazar una ruta óptima utilizando un archivo vectorial de líneas.

##### Recursos:

- a) Software libre QGIS.
- b) Archivo vectorial (shapefile) de líneas.
- c) Complemento OpenLayers plugin.
- d) Complemento Grafos de Rutas.

##### Introducción:

Los Sistemas de Información Geográfica son herramientas útiles para la planificación, reducen tiempo, distancia y costo para la realización de trazados óptimos; con su apoyo nos permite enfrentarnos a un aspecto restrictivo del territorio trazando la ruta óptima entre dos puntos para incurrir en el menor coste de esfuerzo durante nuestro desplazamiento.

El grafo de rutas es un complemento en C++ para QGIS que calcula la ruta más corta entre dos puntos en una capa de poli línea, y traza esta ruta sobre la red de carreteras.

Características principales:

- Calcula la ruta, así como la longitud y el tiempo de viaje.
- Optimiza la longitud o el tiempo de viaje.
- Exporta la ruta a una capa vectorial.
- Resalta la dirección de las carreteras (esto es lento y se utiliza principalmente para fines de depuración y para pruebas de configuración)

##### Desarrollo:

1. Descarga de datos

En el menú principal, en la pestaña <<Web>>, seleccionamos la opción <<OpenLayers plugin>> y del submenú que despliega se elige <<OpenStreetMap>> (Fig. 25).

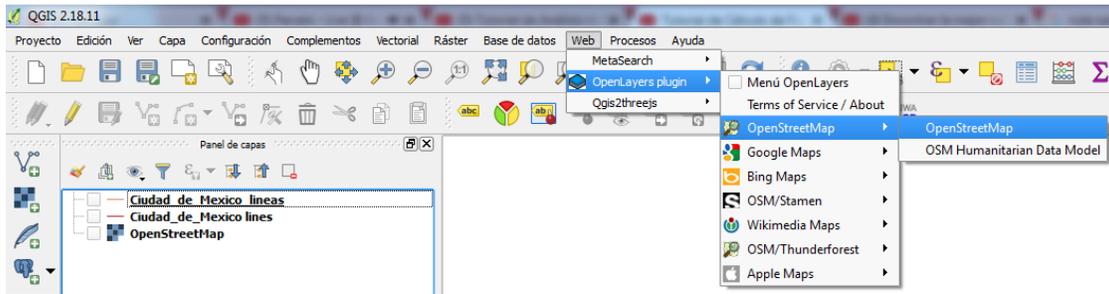


Fig. 25 Acceso a la herramienta OpenStreetMap.

Desplegará un mapa base mundial (Fig. 26) en el cual se analizará la zona de interés que el usuario requiera.

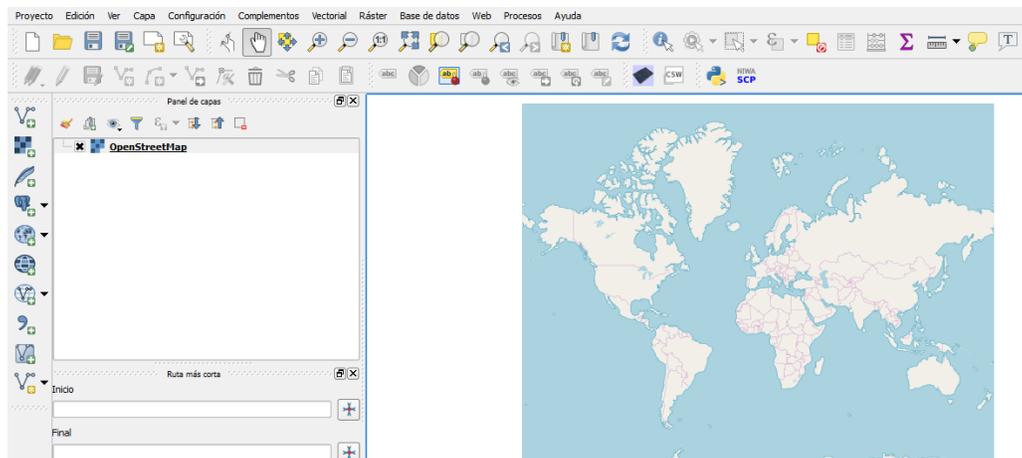


Fig. 26 Mapa base.

Para el caso de la presente práctica, se analizará una trayectoria dentro de la Ciudad de México, por ello se realizará un zoom a la zona de interés (Fig. 27).

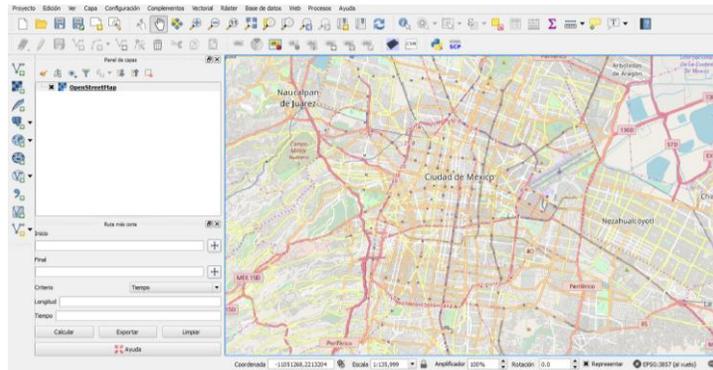


Fig. 27 Zona de análisis.

Una vez identificada la zona de interés, se procede a la descarga de los datos vectoriales; lo anterior se realiza desde el menú principal, en la pestaña <<Vectorial>>, seleccionamos <<OpenStreetMap>> y seleccionamos <<Descargar datos...>> (Fig. 27).

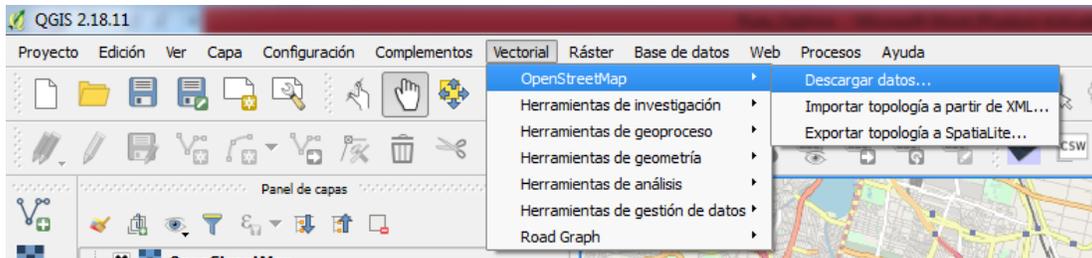


Fig. 28 Descarga de datos vectoriales.

Desplegará una ventana en la cual se gestionan los datos de descarga de tres formas diferentes: 1) A partir del lienzo del mapa, 2) A partir de capa y 3) Manual; para la presente práctica se elegirá la opción <<A partir del lienzo de mapa>> (Fig.29), dando clic en el botón de puntos suspensivos se indicará la ruta donde se guardará la descarga; finalmente se da clic en aceptar. Los datos descargados se guardarán con la extensión .osm (OpenStreetMap).

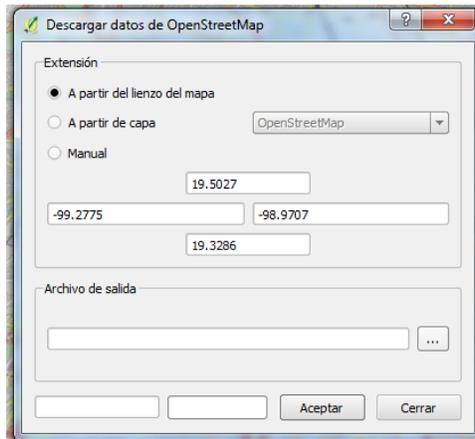


Fig. 29 Descarga de datos .osm.

## 2. Importación y conversión de archivos .osm a archivo vectorial

Con la opción de <<Añadir capa vectorial>>, en la ventana desplegada se buscará el archivo .osm previamente descargado (Fig. 30)

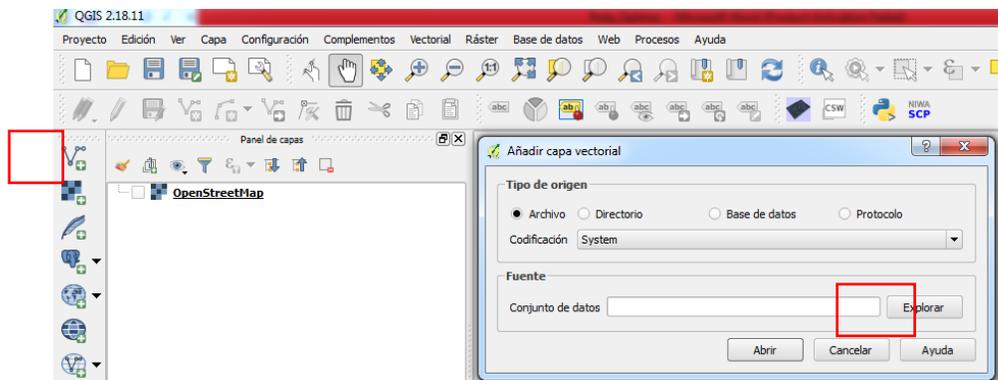


Fig. 30 Añadir capa vectorial.

Los datos descargados contienen múltiples capas, se seleccionará únicamente la capa de líneas y daremos clic en <<Aceptar>> (Fig. 31) de modo que en el área de trabajo del software veremos la capa de líneas previamente seleccionada (Fig. 32).

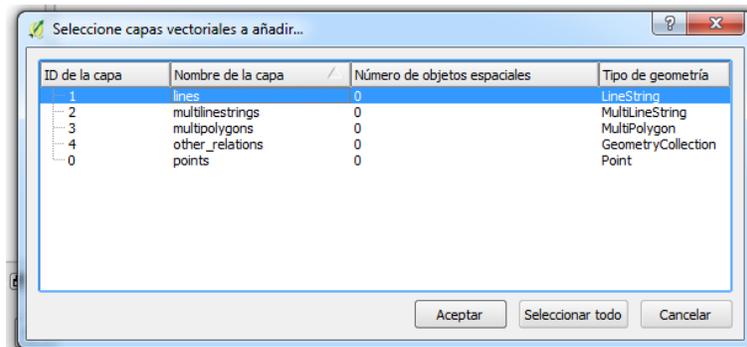


Fig. 31 Selección de la capa vectorial de tipo líneas.

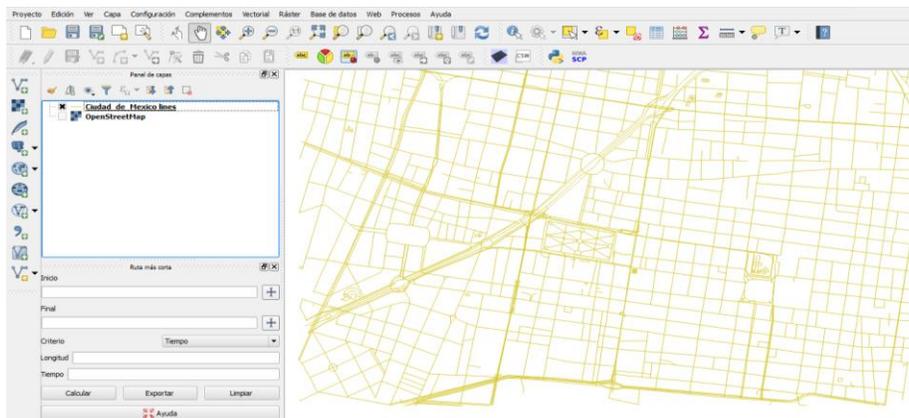


Fig. 32 Visualización de la capa vectorial seleccionada.

Se procederá a guardar la capa vectorial de líneas en formato shapefile, lo anterior se realiza dando clic derecho sobre la capa ubicada dentro del panel de capas, seleccionando la opción <<Guardar capa vectorial como>>, se desplegará una ventana con opciones editables como el nombre de la capa, el sistema de referencia, geometría y algunas otras (Fig. 33); en el botón <<Explorar>> se edita el nombre y la ruta donde se guardará el archivo.

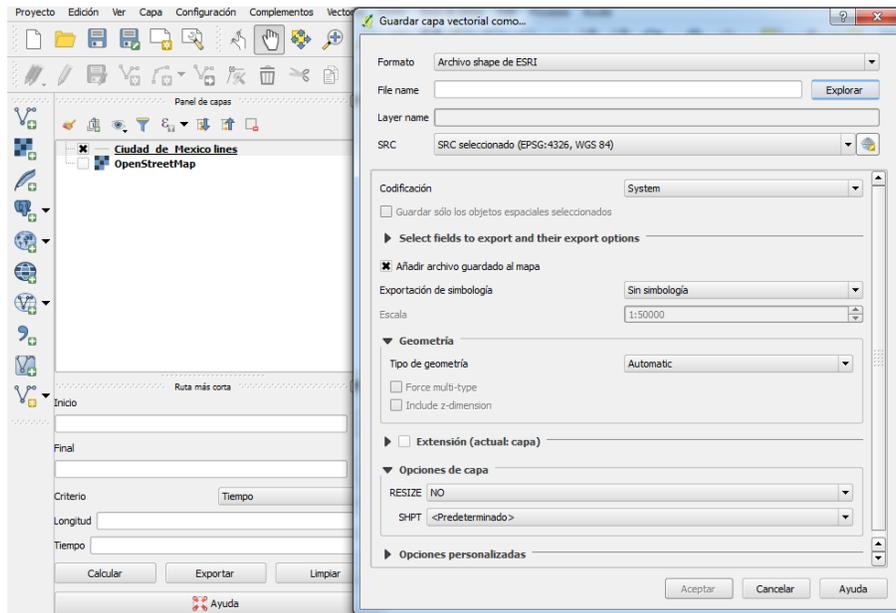


Fig. 33 Conversión del archivo vectorial de líneas a formato shapefile.

Una vez generado el archivo shapefile se visualizara en el área de trabajo de QGIS.

### 3. Uso del complemento <<Grafos de Rutas>>.

En el menú principal, en la pestaña <<Vectorial>>, seleccionamos <<Road Graph>> y del submenú desplegado se da clic en <<Settings...>> (Fig. 34).

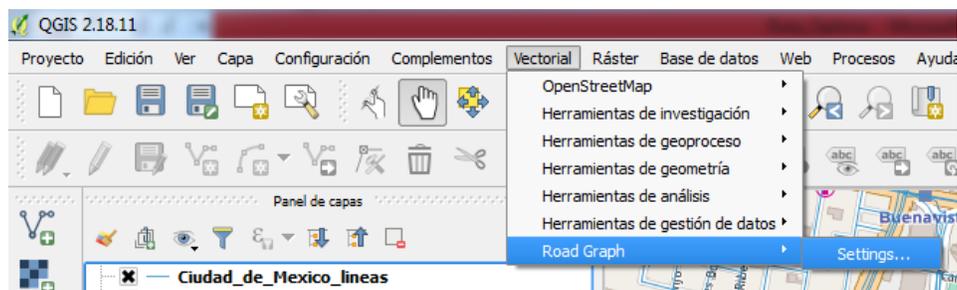


Fig. 34 Complemento Grafos de Rutas.

Desplegará una ventana en la cual se pueden gestionar características como las unidades de tiempo y distancia, entre algunas otras opciones (Fig. 35).

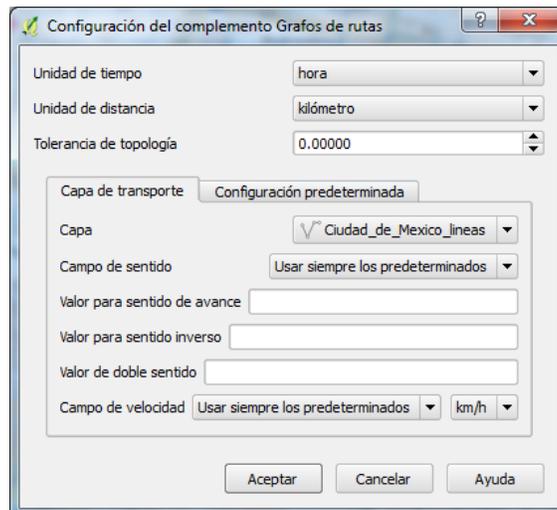


Fig. 35 Configuración del complemento Grafos de Rutas.

Una vez que se ha realizado la configuración, en la zona inferior izquierda de la ventana de trabajo de QGIS, se encontraran las funciones del complemento. Para el cálculo de rutas se deben elegir un par de coordenadas que serán un punto inicial y un punto final dentro del shapefile de líneas; para agregarlas se debe dar clic en los iconos con un el símbolo de <<+>> ubicados del lado derecho de las opciones <<Inicio>> y <<Final>> (Fig. 36).

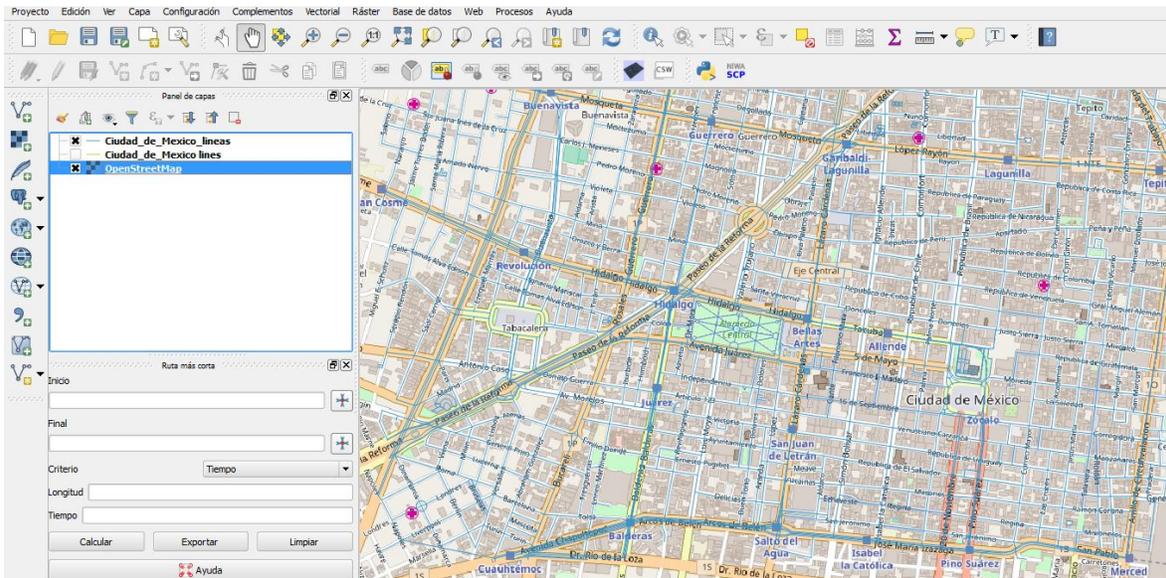


Fig. 36 Complemento Grafos de Rutas.

Grafos de Rutas funciona trazando la más corta entre dos puntos, además agrega la longitud de la trayectoria y el tiempo de recorrido.

En la Figura 38, se realizó un ejemplo entre un punto inicial ubicado en la Plaza de la Constitución y un punto final en el Colegio de las Vizcaínas. Es posible realizar múltiples análisis de rutas dando clic en el botón <<Limpiar>> e ingresando nuevas coordenadas.

### **Conclusiones:**

La planificación en rutas de traslado ya sea para bienes o servicios se refleja en la eficiencia y competitividad que el cliente obtiene.

Algunos de los beneficios que ofrece el uso de rutas óptimas es la reducción en el tiempo de planeación de rutas para despacho, reducción de personal para dicha labor, reducción en el consumo de combustibles y un manejo eficiente en las ventanas de tiempo.

## 4.4 Creación de página web

### Práctica 4: Creación de una página web utilizando QGIS

#### Objetivos de aprendizaje:

##### a) Objetivo general:

Distribución de datos espaciales mediante una página web.

##### b) Objetivos específicos:

Mediante el software de QGIS crear una página web mostrando datos espaciales.

Mostrar las herramientas necesarias para realizar una página web mediante un mapa base, así como diferentes puntos sobre él.

#### Recursos:

- a) Software libre QGIS.
- b) Archivo vectorial (shapefile) de las zonas arqueológicas del Estado de México.
- c) Complemento qgis2web

#### Introducción:

Esta práctica consiste en la publicación de datos geoespaciales mediante qgis2web, un complemento de QGIS, este nos permite exportar los proyectos dentro de QGIS en mapas web, donde crea automáticamente archivos HTML, JavaScript y CCS.

Qgis2web crea un mapa web basado en OpenLayers 3, o Leaflet de todas nuestras capas vectoriales existentes en un proyecto de QGIS. La herramienta convierte las capas vectoriales en GeoJSON y crea una estructura de carpetas con un archivo index.html que contiene el mapa web.

Además, el plugin es capaz de exportar la simbología definida en QGIS tanto de puntos, líneas y polígonos e incluir un control de visibilidad de capas y varios controles más.

#### Desarrollo:

1. Agregar los datos necesarios al área de trabajo.

Mediante el panel del explorador, se agregan los archivos shapefile de las zonas arqueológicas y otro del estado de México. También es necesario agregar un mapa base, lo anterior se realiza desde la pestaña <<Web>> del menú principal, seleccionando <<OpenLayersPlugin>>, seguido de la opción <<OpenStreetMap>>.

2. Publicación del mapa.

En la pestaña <<Web>> del menú principal, se selecciona <<qgis2web>> y abre un submenú con la opción <<Create web map>> sobre la que se dará clic (Fig. 37).



Fig. 37 Opción <<Create web map>>.

Se desplegará una ventana con el nombre <<Export to web map>>, en la cual se podrá editar el diseño de la página, los datos y sus características (Fig. 38).

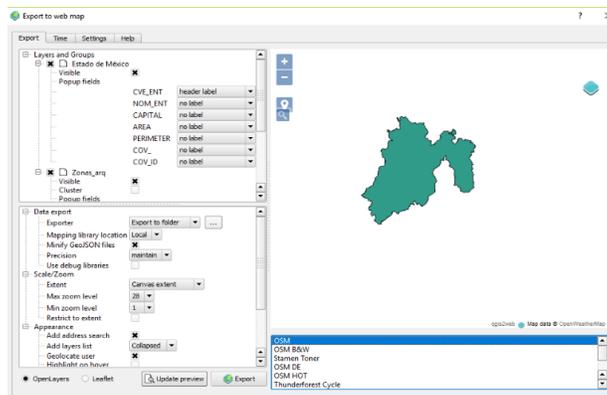


Fig. 38 Ventana <<Export to web map>>.

Para visualizar el mapa base, es necesario dar clic en las opciones disponibles del lado inferior derecho; además para una vista previa podemos dar clic en el botón <<Update preview>> y para una vista del mapa final en la web se tienen el botón <<Export>> (Fig. 39).

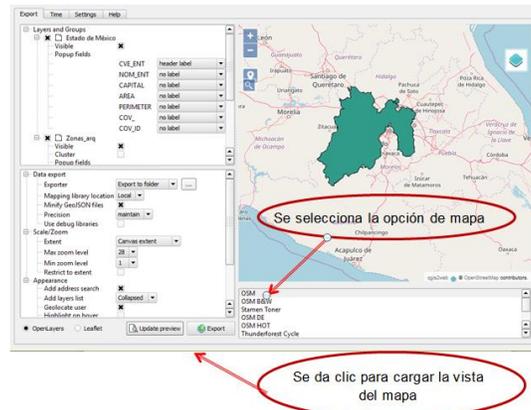


Fig. 39 Edición del mapa web.

En la opción <<Export to folder>> (Fig. 39) se selecciona la ruta donde se guardarán y exportarán los cambios realizados en el mapa. Además, en el recuadro superior izquierdo (Fig. 39), se tiene el listado de los shapefiles presentados en el mapa, se tiene la opción hacer visibles en forma de etiquetas los atributos que se mostrarán en el mapa web final.

En el recuadro inferior izquierdo (Fig. 39), en el despliegue de <<Data export>>, en la opción <<Mapping library location>>, se elige <<local>>, marcando la opción <<Minify GeoJSON files>> se reduce el tamaño de las capas, mientras que en <<Precision>> se mantiene la precisión del mapa, marcando la opción <<Use debug libraries>> se depuran las librerías. Más abajo, en el despliegue de <<Scale/Zoom>>, en <<Extent>> se ofrece la opción de modificar la extensión del mapa, la máxima y mínima escala del mapa en <<Max zoom level>> y <<Min zoom level>>, respectivamente y finalmente en <<Restrict to extend>> se activa la restricción de la escala. El despliegue de <<Appearance>> se modifican los detalles estéticos y algunas funciones como las siguientes: <<Add address search >> (agrega la búsqueda de direcciones en el mapa), <<Add layers list>> (adiciona una lista o menú desplegable de las capas disponibles), <<Geolocate user>> (agrega la localización del usuario vía IP), <<Highlight on hover>> (resalta los campos y muestra sus atributos al pasar el cursores sobre el mapa web), <<Layer search>> (agrega un buscador de las capas existentes), <<Match project CRS>> (habilita ventanas emergentes), <<Measure tool>> (agrega una herramienta para medir distancias sobre el mapa web), <<Show popups on hover>> (resalta características sobre el mapa web al pasar el cursor) y <<Template>> (visualiza el modelo de capas).

### 3. Diseño del mapa web.

Las modificaciones realizadas se guardarán en la ruta asignada, separadas en distintas carpetas categorizadas (Fig. 40).

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
images	01/08/2018 06:58 ...	Carpeta de archivos	
layers	01/08/2018 06:58 ...	Carpeta de archivos	
resources	01/08/2018 06:56 ...	Carpeta de archivos	
styles	01/08/2018 06:58 ...	Carpeta de archivos	
index	01/08/2018 06:58 ...	Archivo HTML	2 KB

Fig. 40 Carpetas de archivos.

El archivo index de la Figura 40 contiene el código fuente de la página, si el archivo es abierto en un editor de páginas web, es posible modificar la página desde el código fuente.

### Conclusiones:

Desde que la era digital ganó terreno, la distribución de la información por estos medios se ha vuelto primordial ya que se tiene un mayor impacto a la población que cuenta con acceso a estas tecnologías, de modo que se pueden realizar distribuciones masivas de información con la ventaja de un menor costo, ya que en este caso se hace uso de software libre y no se requieren medios impresos.

## 4.5 Bases de datos

### Práctica 5: Elaboración de una base de datos

#### Objetivos de aprendizaje:

##### a) Objetivo general:

Analizar información Geoespacial mediante el software TerrSet.

##### b) Objetivos específicos:

Descarga de datos geoespaciales de diversas fuentes de internet.

#### Recursos:

- a) Sistema Terrset (Licencia de prueba gratuita de 30 días).
- b) Ejecutable Access Database Engine.

#### Introducción:

La información Geoespacial es un factor fundamental en la toma de decisiones y en el desarrollo de la sociedad actual. Este tema es de importancia tanto para el sector público, el sector privado y académico, cualquier evento o fenómeno ocurre en un espacio determinado del planeta, por lo cual, es necesario conocer la ubicación espacial de cualquier fenómeno de interés, así como, las características de su entorno, dando como resultado tomar decisiones con mayor inteligencia, mayor eficiencia y a un menor costo.

Para poder analizar dicha información Geoespacial es necesario recopilar datos e información para posteriormente poder procesarla y así llegar al análisis para los fines que al usuario le convenga. Dicho procesamiento y análisis de datos geoespaciales se lleva a cabo en softwares especializados llamados Sistemas de Información Geográficos (SIG), existen diversos softwares de este tipo. En esta práctica de análisis de información geoespacial se utilizó el software TerrSet.

TerrSet es un sistema de software geoespacial integrado para monitorear y modelar la superficie terrestre desarrollado por Clark Labs en cooperación con diversas instituciones para el desarrollo sostenible y la conservación medioambiental (mejor desarrollo sustentable). Este sistema incorpora el análisis de los SIG, el software Idrisi y las herramientas de procesamiento de imágenes junto con una variedad de aplicaciones. TerrSet, ofrece un extenso conjunto de herramientas geoespaciales además de no ser un software muy costoso y de contar con una interface amigable y de uso fácil para el usuario.

En esta práctica se instruirá cómo manejar algunos de los comandos más destacados de TerrSet, como crear un nuevo proyecto, la conversión de diversos archivos y formatos a formato Idrisi así como la descarga de datos e información geoespacial de diversas fuentes en internet.

## Desarrollo:

### 1. Instalación de TerrSet y Access Database Engine.

Se descarga la versión más reciente del software TerrSet. Así como el ejecutable Access Database Engine (gestión de bases de datos) de la siguiente dirección:

[https://drive.google.com/drive/folders/1cKpzgX\\_GwAvE89Qjw6TwxynBTkkL98i?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1cKpzgX_GwAvE89Qjw6TwxynBTkkL98i?usp=sharing)

Una vez realizada la descarga, se descomprimen los archivos y se ejecuta la aplicación Setup\_TerrSet\_1831 para iniciar con la instalación del software; se desplegarán ventanas emergentes a las cuales se les dará clic en el botón <<Next>>.

Una vez finalizada la instalación, se desplegará una ventana para la activación del programa (Fig. 41), en la que se dará clic en el botón <<Run TerrSet in Trial Mode (30 days left)>>.



Fig. 41 Ventana de activación.

Para la instalación de Access Database Engine, se ejecuta como administrador, el aplicativo homónimo, se da clic en el botón <<Next>> y finalmente al botón <<Install>>.

### 2. Descarga de Geodatos

Se importarán los siguientes archivos, en formatos compatibles con TerrSet:

- Modelo numérico de altitud

Para el modelo numérico de altitud, se accede al portal de CGIAR (<http://www.cgiar-csi.org/>) y se busca la opción <<SRTM 90m Digital Elevation Database>>; del resultado de la búsqueda, en la sección download, se selecciona la primera opción. Se mostrará un visualizador con una retícula, bastará con seleccionar un cuadro o ingresar las coordenadas del área de interés y dar clic en el botón amarillo del extremo superior derecho el cual nos brindará las opciones de descarga disponibles, se selecciona el formato HTTP (Fig.42).



Fig. 42 Opciones de descarga de la información.

- Variables de clima

La descarga de información climática del sitio (<http://www.worldclim.org/>) se ofrece en dos versiones, seleccionaremos la versión 1.4 y de la interfaz desplegada seleccionaremos la opción <<Current>> y daremos clic en <<Download by title>> en donde se podrá seleccionar el área de interés a descargar.

- Imágenes satelitales
- Productos vectoriales

### 3. Importación de Geodatos a TerrSet

En la interfaz de TerrSet, se dará clic en el icono <<+>> ubicado en la parte superior izquierda de la pantalla principal (Fig. 43).

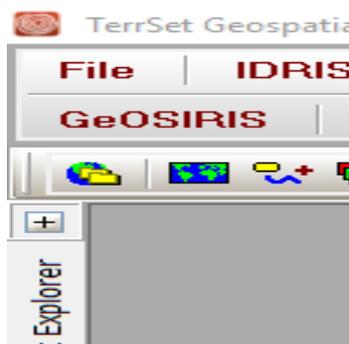


Fig. 43 Función TerrSet Explorer.

La función TerrSet Explorer desplegará una ventana en la cual se selecciona la pestaña <<Projects>> (Fig. 44); el icono en forma de carpeta en la parte inferior izquierda permitirá agregar las carpetas en las que se tenga la información de interés.

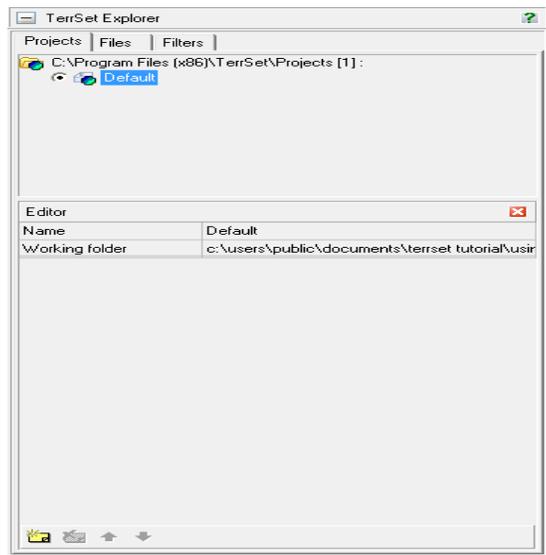


Fig. 44 Pestaña Projects.

Para fines de la presente práctica, se crearán tres carpetas (una para el modelo de elevación, otra para los datos climáticos y una tercera para archivos vectoriales y de excel); para agregar la ruta de la carpeta creada se da clic sobre el espacio vacío de cada carpeta (Fig. 45).

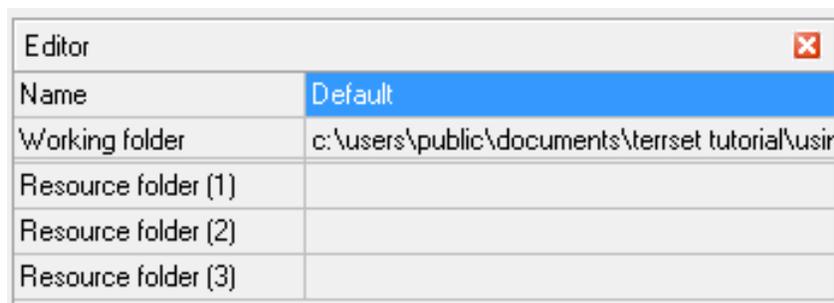


Fig. 45 Editor para agregar carpetas de trabajo.

Con el fin importar un archivo GeoTIFF en formato Idrisi se selecciona la pestaña <<File>> de la interfaz de TerrSet, de las opciones desplegadas se selecciona <<Import>> y posteriormente <<Desktop Publishing Formats>> y finalmente se da clic en <<GEOTIFF/TIFF>> (Fig.46).

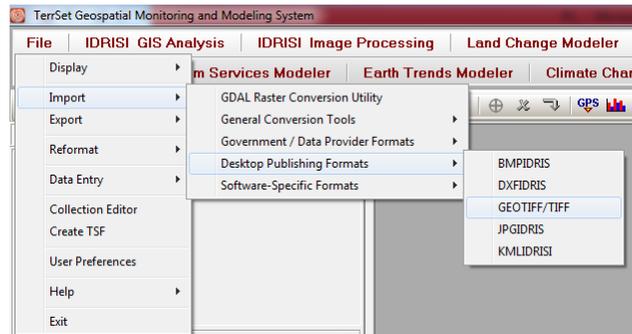


Fig. 46 Ruta para importación de archivo GeoTIFF a formato Idrisi.

Se abrirá una ventana emergente en cual se seleccionará <<GeoTIFF/Tiff to Idrisi>>, en la primera casilla se cargará el modelo de altitud y en la segunda la imagen GeoTIFF (Fig. 47); posteriormente se da clic en el botón <<OK>> y aparecerá la nueva imagen con formato Idrisi.

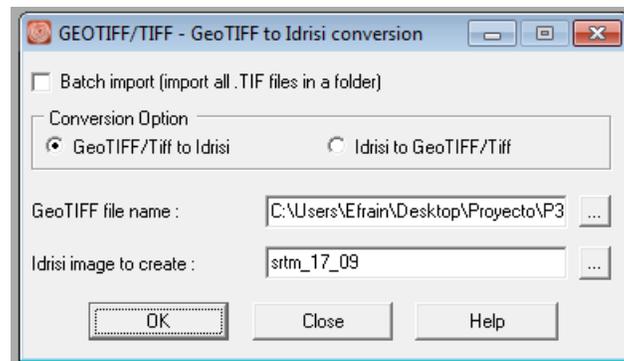


Fig. 47 Importación de archivo GeoTIFF a formato Idrisi.

El siguiente tipo de archivo a importar son los de tipo shapefile, siguiendo la ruta <<File>>, <<Import>>, <<Software Specific Formats>>, <<ESRI Formats>> y finalmente se selecciona <<SHAPEIDR>> (Fig.48).

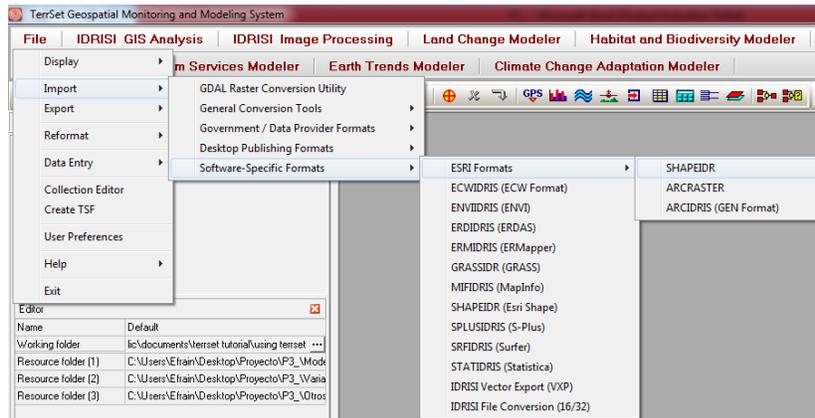


Fig. 48 Ruta para importación de archivo shapefile a formato Idrisi.

Se despliega una ventana emergente en la cual se selecciona la opción <<Shapefile to Idrisi>>, en la opción <<Input>> se selecciona el shapefile a convertir y en <<Output Idrisi vector file>> se ingresa la ruta donde se guardará el nuevo archivo (Fig. 49); finalmente se da clic en el botón <<Ok>> y se mostrará el archivo vectorial con formato Idrisi.

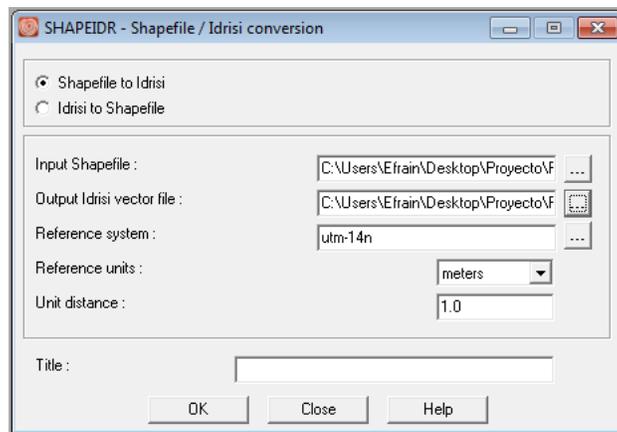


Fig. 49 Función SHAPEIDR

Y finalmente para la importación del archivo Excel, primero se crea una base de datos seleccionando el icono <<Database Workshop>> del menú principal de TerrSet (Fig. 50).

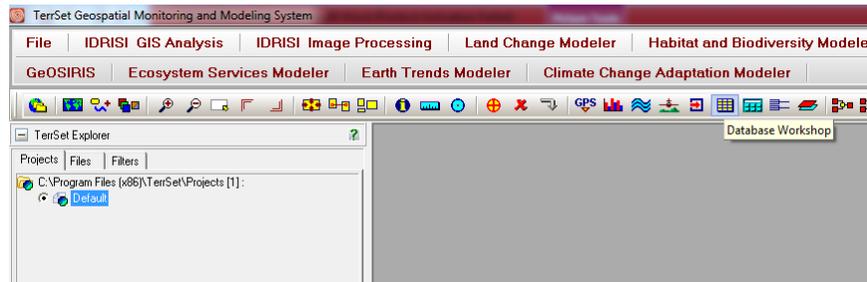


Fig. 50 Icono Database Workshop.

Se despliega un espacio de trabajo en el cual se da clic en la pestaña <<File>> y se selecciona <<New>> del menú desplegado (Fig. 51); el archivo con extensión .accdb se guarda con el nombre y la ruta especificada por el usuario.

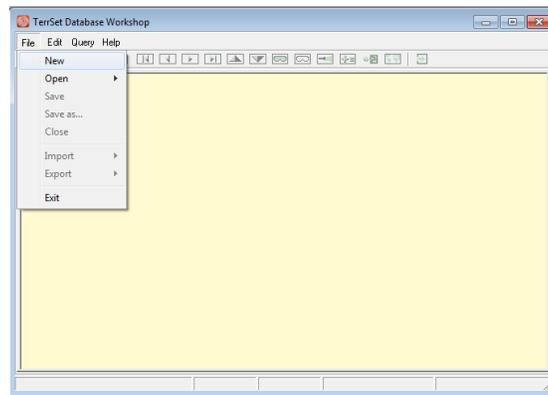


Fig. 51 Creación de un nuevo archivo Database Workshop.

Lo siguiente es importar la tabla en formato Excel seleccionando la pestaña <<File>>, del menú desplegado <<Import>>, <<Table>> y finalmente se selecciona <<From External File>> (Fig. 52).

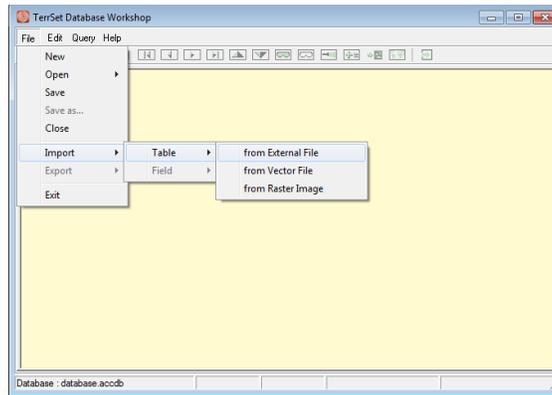


Fig. 52 Ruta para importar el archivo Excel.

En la ventana desplegada se busca la ruta del archivo a importar y se cambia la extensión a .txt (es necesario guardar la tabla de excel como un archivo delimitado por comas).

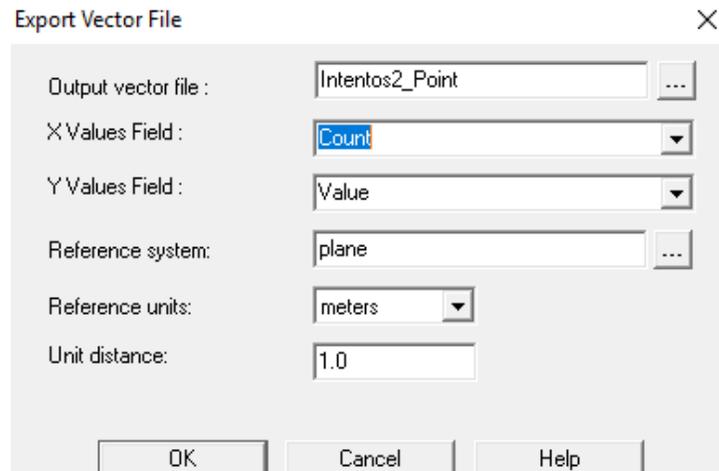
Como resultado se observa la tabla (Fig. 53) en formato Idrisi.

 A screenshot of the Idrisi Database Workshop application window. The main window displays a data table with the following columns: OBJECTID, Value, Count, intento14, intento15, intento16, intento17, and intento18. The table contains 15 rows of data. The first row (OBJECTID 1) is highlighted in blue.
 

OBJECTID	Value	Count	intento14	intento15	intento16	intento17	intento18
1	1	1	57	24	76	58	71
2	2	1	55	23	73	55	71
3	3	1	56	24	75	56	71
4	4	1	54	23	73	55	71
5	5	1	54	23	72	54	71
6	6	1	56	24	75	57	71
7	7	1	56	24	74	56	71
8	8	1	53	22	71	53	71
9	9	1	52	22	70	53	71
10	10	1	56	24	75	56	71
11	11	1	42	17	57	42	51
12	12	1	53	22	71	53	71
13	13	1	48	20	65	48	61
14	14	1	54	23	72	54	71
15	15	1	50	20	67	50	61

Fig. 53 Base de datos importada por Database Workshop.

Para convertir la tabla Idrisi a un archivo vectorial, se despliega el menú <<File>> y se selecciona <<Export>>, de las opciones desplegadas se elige <<Field>> y finalmente se selecciona <<X Y to Point Vector Field>>. Se despliega una ventana en la cual se ingresa el nombre del archivo a exportar y los campos con las coordenadas X y Y (Fig. 54), al dar clic en el botón <<OK>> se visualiza el nuevo archivo vectorial.



*Fig. 54 Exportación a archivo vectorial.*

### **Conclusiones:**

En la realización de proyectos de larga duración y que requieren de numerosos insumos es necesario contar con una base de datos que integre todo lo relacionado, de modo que el proyecto pueda ser portable, editable y reconstruido en caso de ser necesario.

## 4.6 Geolocalización de sitios de interés

### Práctica 6: Geolocalización de sitios arqueológicos

#### Objetivos de aprendizaje:

##### a) Objetivo general:

Dar a conocer las zonas arqueológicas del Estado de México, así como sus principales características y los servicios que se encuentran a los alrededores.

##### b) Objetivos específicos:

Mostrar cómo se realiza la digitalización de sitios de interés en QGIS. Creación y edición de shapefiles en QGIS.

#### Recursos:

- a) Software QGIS.
- b) Insumos descargables del portal de INEGI.

#### Introducción:

En muchas ocasiones se necesita tener geolocalizados diferentes sitios, para manipularlos, ya sea ingresarlos a algún mapa o aplicación, pero esta información solo está en imágenes, no contando con coordenadas propias, y es necesario obtener un punto, para eso se lleva a cabo la digitalización, esta consiste en convertir los puntos en un formato digital, que en este caso es hacer un shapefile del punto deseado, para tenerlo como elemento, de esta forma el sitio tendrá coordenadas y se podrá editar para asignarle otros atributos.

La práctica siguiente consiste en la digitalización de las zonas arqueológicas ubicadas en el Estado de México. Las zonas se localizaron sobre un mapa base con el software de QGIS, donde, además, se explica el procedimiento de poner los mapas como base, de esta forma el shapefile creado tendrá las zonas. Así mismo, se le agregarán algunos campos de información para mostrar cómo es que se digitalizan los sitios y se les asignan atributos. La información para llenar los atributos fue sacada del portal geográfico del INAH en la opción de patrimonio arqueológico.

Además de esto, se descargaron datos de medios de transporte, para saber cuáles están cercanos a las zonas arqueológicas, y con esto se muestran algunos geoprocetos para su realización.

#### Desarrollo:

1. Mapa base

A través del complemento <<OpenLayersPlugin>> accedemos al catálogo de mapas base de <<OpenStreetMap>> (Fig 55).



Fig. 55 Acceso al catálogo de mapas base.

## 2. Creación de archivo shapefile

De la barra principal de QGIS se despliega la pestaña <<Capa>>, se elige <<Crear capa>>, del menú desplegado se selecciona <<Nueva capa de archivo shape>> (Fig. 56); otra forma de realizar el mismo proceso es desde la barra de iconos vertical al dar clic en el icono correspondiente.

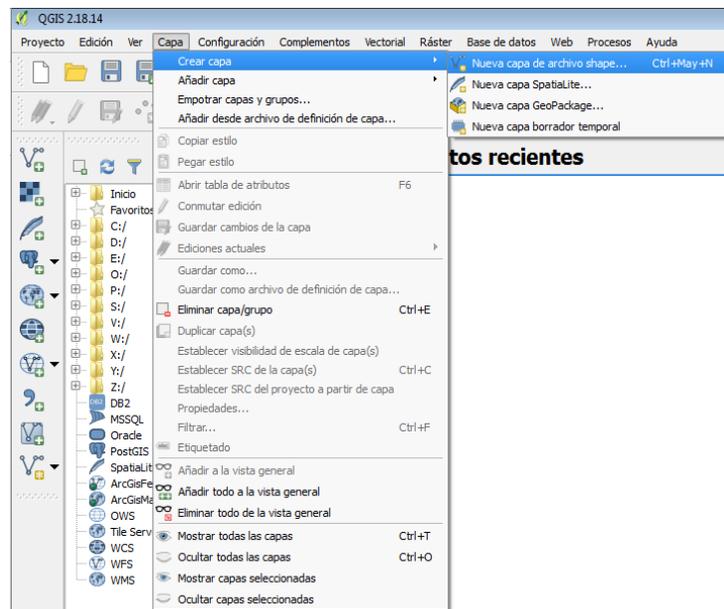


Fig. 56 Creación de archivo shape.

Se despliega una ventana en la que se ingresan los datos del archivo shape que se creará (Fig. 57).

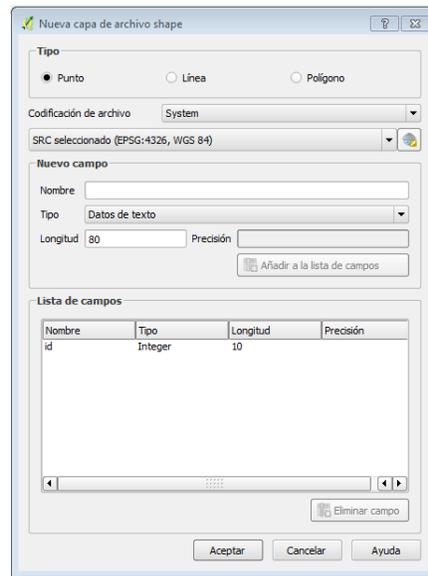


Fig. 57 Propiedades del archivo shape.

El primer dato solicitado es el tipo de archivo (punto, línea o polígono), seguido del sistema de coordenadas y los campos con el tipo de información que contienen. Los campos agregados aparecen en la parte inferior de la ventana una vez que se ha dado clic en el botón <<Añadir a la lista de campos>>, una vez ingresados los campos se da clic en el botón <<Aceptar>>, se despliega una ventana donde se ingresa la ruta donde se guardara el archivo, se verifica que el archivo aparezca en el panel de capas.

### 3. Digitalización

Con un clic derecho en el archivo shape creado previamente se selecciona la opción <<Conmutar edición>> activando los iconos de la <<Barra de herramientas Digitalización>>. El icono añadir objeto espacial despliega una pantalla en la cual se ingresa información a los campos creados (Fig. 58), y finalmente el cursor que ahora aparece como una cruz roja se posiciona sobre el lugar deseado y se da un clic, de este modo el punto creado está ahora asociado a la información agregada.

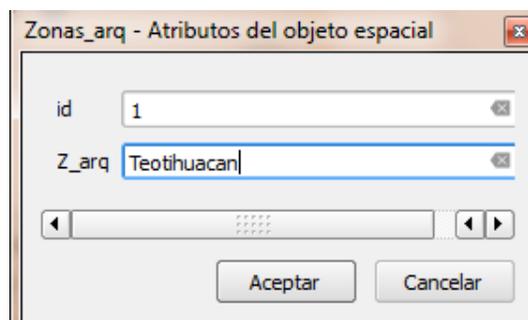


Fig. 58 Atributos del shapefile.

El proceso anterior se repite según el número de puntos a ingresar y se visualizan sobre el mapa base (Fig. 59).

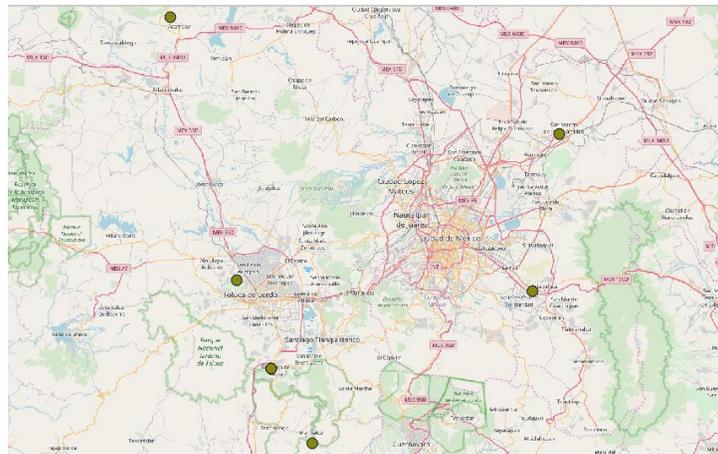


Fig. 59 Puntos digitalizados.

#### 4. Datos de transporte

Para identificar las zonas arqueológicas más accesibles, se descargan los datos de transporte público de la página del Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP) del sitio <http://itdp.mx/dotmx/#/descargas>. La descarga de la <<Base de datos cartográfica>> contiene una capa de puntos con las estaciones de transporte público (STC Metro, Metrobús, Tren ligero, Suburbano, Mexibús y Servicio de Transportes Eléctricos) de la zona metropolitana del Valle de México (Fig. 60).

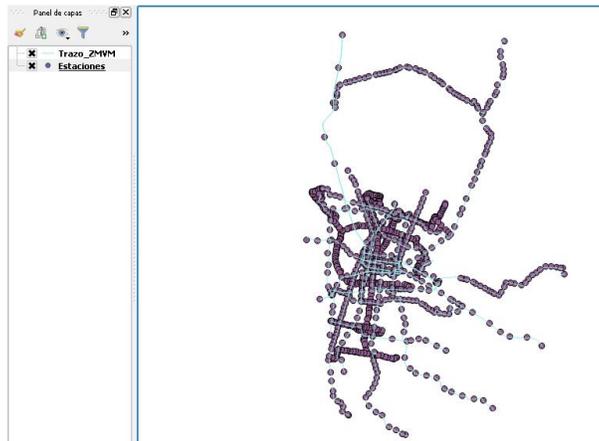


Fig. 60 Shapefile de transporte público.

Se descarga un shape de la división política estatal del país del portal de la Conabio (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>), mediante una selección por atributos se exporta el Estado de México como un nuevo shapefile.

Para conservar únicamente las estaciones de transporte ubicadas dentro del Estado de México, se hace uso de la herramienta <<Extraer por localización>> (Fig.61), creando un nuevo shapefile de los puntos que se encuentran dentro de la entidad (Fig. 62).

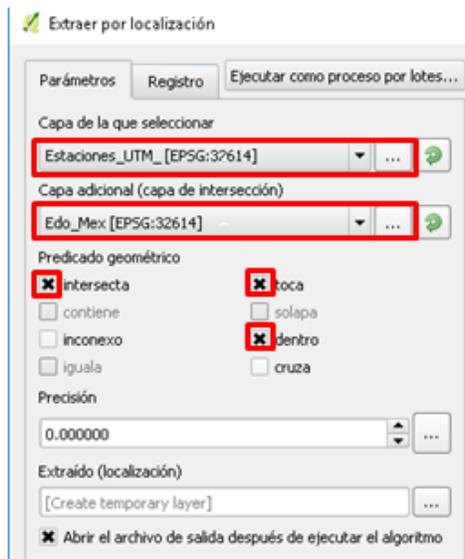


Fig. 61 Extracción de datos por localización.

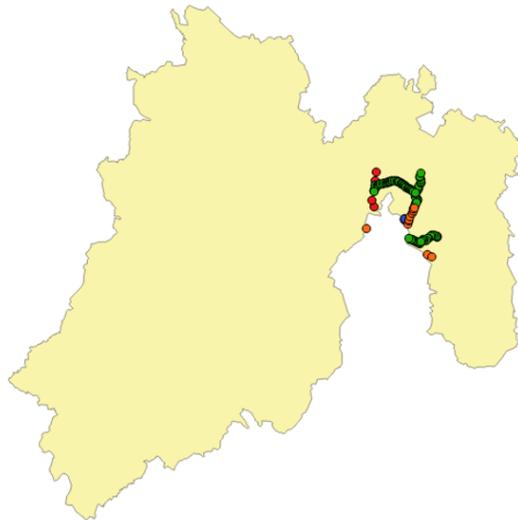


Fig. 62 Estaciones de transporte público sobre el Estado de México.

### 5. Accesibilidad al transporte público

De acuerdo con la Nota Metodológica – DOT DF del Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP), con base en distancias que se pueden caminar fácilmente o andar en bicicleta y el tiempo de recorrido, se califica de la siguiente forma (Fig. 63):

-	Distancia [m]	Accesibilidad
<b>A</b>	0 - 500	Excelente
<b>B</b>	500 - 800	Bueno
<b>C</b>	800 - 1000	Regular
<b>D</b>	1000 - 2000	Malo

Fig. 63 Tabla de distancias.

Con las distancias anteriores se aplica la herramienta <<Buffer de distancia fija>> a la capa de estaciones de transporte con la opción <<Ejecutar como proceso por lotes>> (Fig. 64) para eficientar el proceso.

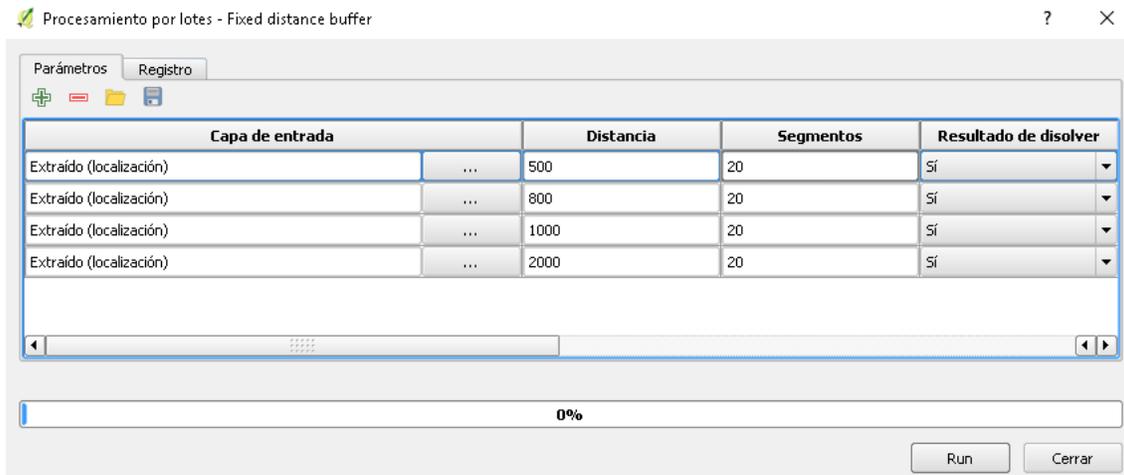


Fig. 64 Parámetros para la creación del buffer.

Se obtiene el resultado siguiente (Fig. 65):

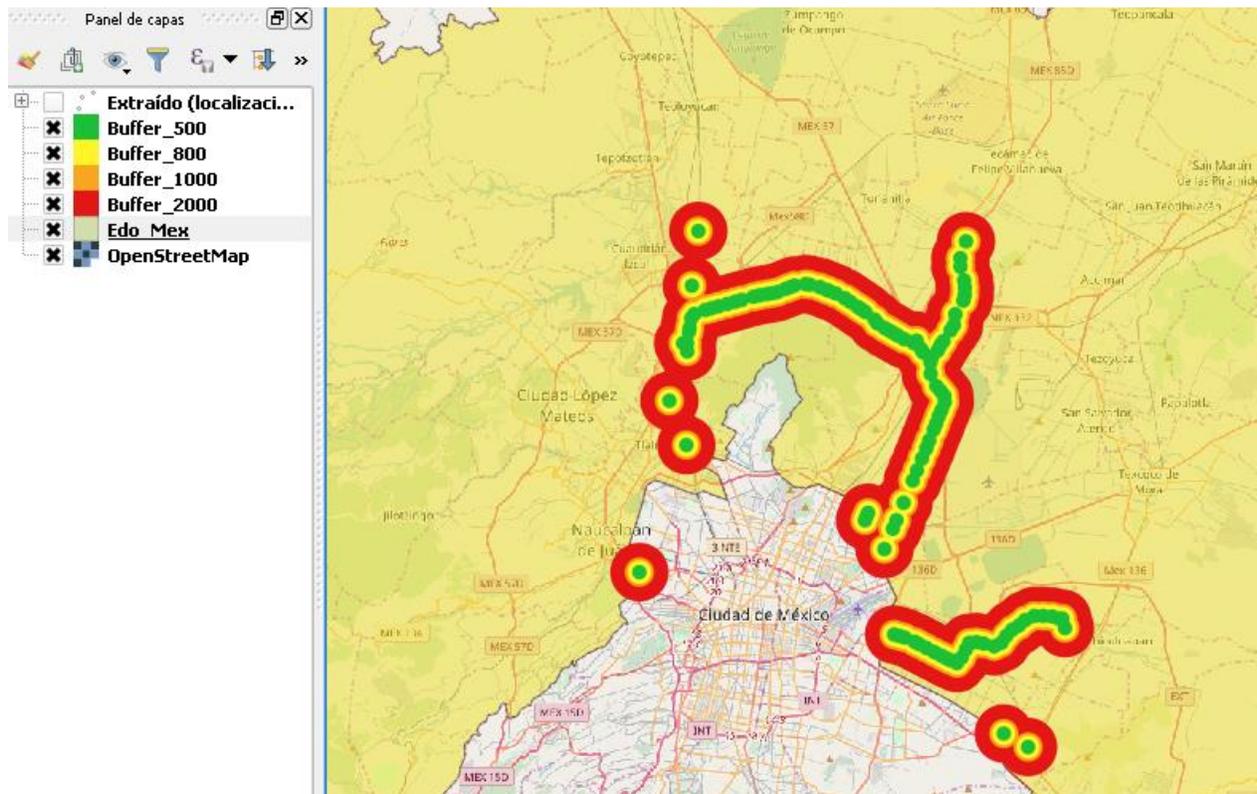


Fig. 65 Buffers aplicados sobre las estaciones de transporte público.

**Conclusiones:**

La disponibilidad de la información en medios digitales se ha vuelto de gran importancia ya que, junto con el avance tecnológico y la modernización, los usuarios son cada vez más demandantes en cuanto a localizar bienes o servicios de su interés.

Además, existen múltiples proyectos e investigaciones que requieren del análisis de la cartografía antigua para la evaluación del cambio y evolución, con esto también se logra la conservación y difusión de la información.

## 4.7 Geodatabase

### Práctica 7: Creación de una geodatabase en PostgreSQL

#### Objetivos de aprendizaje:

##### a) Objetivo general:

Establecer una conexión entre un SIG y una base datos.

##### b) Objetivos específicos:

Realizar una geodatabase en PostgreSQL

Exportar y conectar a la geodatabase a QGIS

#### Recursos:

- a) Software QGIS.
- b) PostgreSQL.

#### Introducción:

La geodatabase es un modelo que permite el almacenamiento físico de la información geográfica, ya sea en archivos dentro de un sistema de ficheros o en una colección de tablas en un Sistema Gestor de Base de Datos (Microsoft Access, Oracle, Microsoft SQL Server, IBM DB2 e Informix).

Las geodatabases cuentan con un modelo de información integral para representar y administrar información geográfica. Este modelo de información integral se implementa como una serie de tablas que almacenan clases de entidad, datasets ráster y atributos. Además, los objetos de datos SIG avanzados agregan comportamiento SIG, reglas para administrar la integridad espacial y herramientas para trabajar con diversas relaciones espaciales de las entidades, los ráster y los atributos principales.

Las geodatabases nos dan un sinfín de beneficios entre ellos:

#### Gestión de Datos Centralizada

Dado que todos los datos de una Geodatabase son almacenados directamente en sistemas gestores de bases de datos comerciales (Microsoft Access para Geodatabase personal y Oracle, IBM DB2, SQL Server o Informix para Geodatabase corporativa) o en sistemas de ficheros, éstos constituyen un repositorio común y centralizado para todos los datos geográficos de una organización.

#### Replicación

La replicación permite distribuir la información geográfica en dos o más geodatabases, de manera que los datos estén sincronizados. Basado en el entorno de versiones, incluye el modelo completo de la

geodatabase, incluyendo topologías y redes geométricas, y puede ser usado en entornos conectados y desconectados.

### Edición multiusuario

A través del mecanismo de versiones que se implementa sobre el Sistema Gestor de Bases de Datos (Oracle, Microsoft SQL Server, IBM Db2 o Informix), es posible realizar tareas de edición multiusuario.

### Desarrollo:

#### 1. Instalación de PostgreSQL

Descargar e instalar PostgreSQL, versión 9.23 del siguiente link:

<https://www.enterprisedb.com/downloads/postgres-postgresql-downloads#windows>

Se ejecuta el instalador del software, en la ventana desplegada se da clic en el botón <<Next>> (Fig. 66).

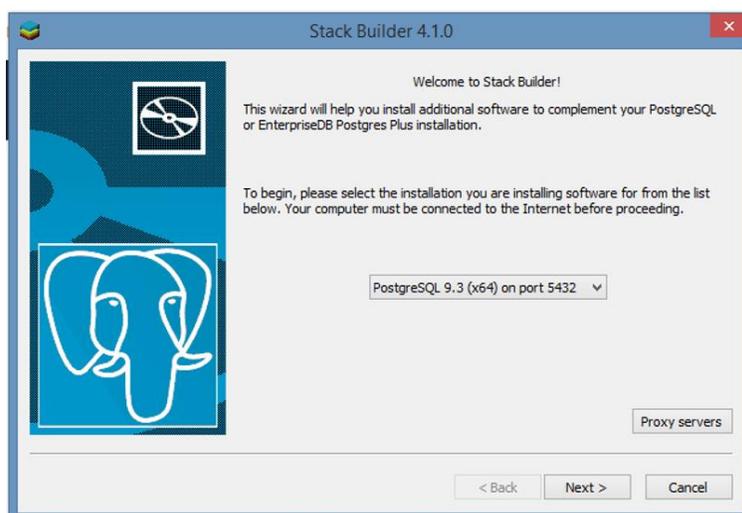


Fig. 66 Instalador de PostgreSQL.

Se solicita la creación de una contraseña, el usuario puede ingresar la contraseña que desee, como siguiente paso se solicita un puerto y muestra uno por default, se deja el puerto preestablecido.

De la ventana desplegada se elige la opción 9.3 y se da clic en el botón <<Next>>, la siguiente ventana solicita información para un equipo de 32 o 64 bits.

#### 2. Creación de una geodatabase

Una vez finalizada la instalación, se busca dentro del equipo la aplicación <<PgAdmin>> (Fig. 67).

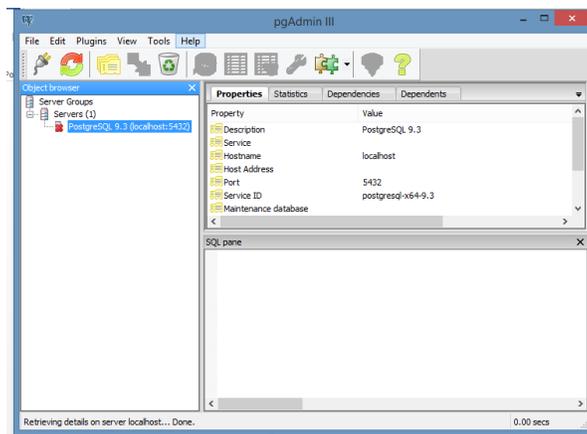


Fig. 67 Ventana de inicio de PgAdmin.

Se conecta al servidor dando clic en <<PostgreSQL 9.3>> e ingresando la contraseña que se ingresó durante la instalación.

Una vez establecida la conexión se despliega un menú de estructura tipo árbol, se crea una nueva geodatabase dando clic en <<Databases>> seguido de <<Crear Nueva>> (Fig. 68).

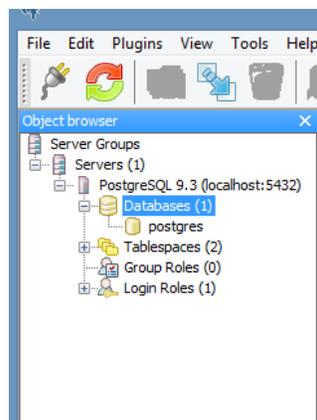


Fig. 68 Creación de geodatabase.

Se ingresa un nombre para la geodatabase y se da clic en el botón <<OK>>.

### 3. Conexión de la geodatabase en QGIS.

Una vez creada la geodatabase, se despliega su menú y se da clic derecho sobre <Extensions>> y se selecciona <<Crear nueva>>, se despliega una pantalla en la cual se accede a la pestaña <<Properties>> y en la opción <<<Name>> se elige <<postgis>> (Fig. 69), finalmente se da clic en el botón <<OK>>.

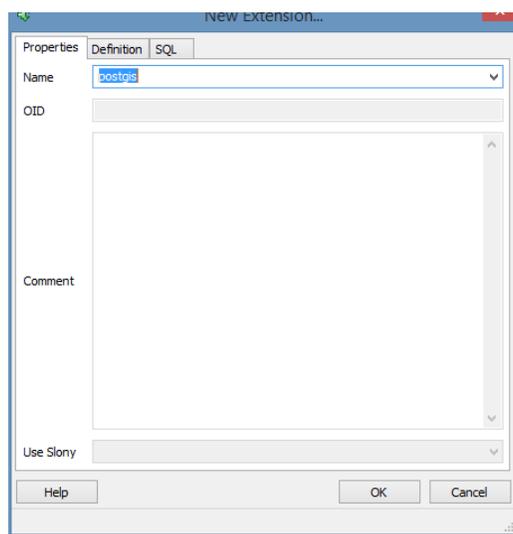


Fig. 69 Conexión de la geodatabase a QGIS.

#### 4. Exportación de datos

En QGIS se agrega una capa en formato shapefile y se selecciona el botón <<Añadir capas PostGIS>> ubicado en la barra vertical del lateral izquierdo del software, se despliega una ventana en la que se selecciona la pestaña <<Nueva>>, en la ventana desplegada (Fig.70), se ingresa el usuario y contraseña establecidos durante la instalación de PostgreSQL y el resto es información ingresada al crear la geodatabase en PgAdmin.

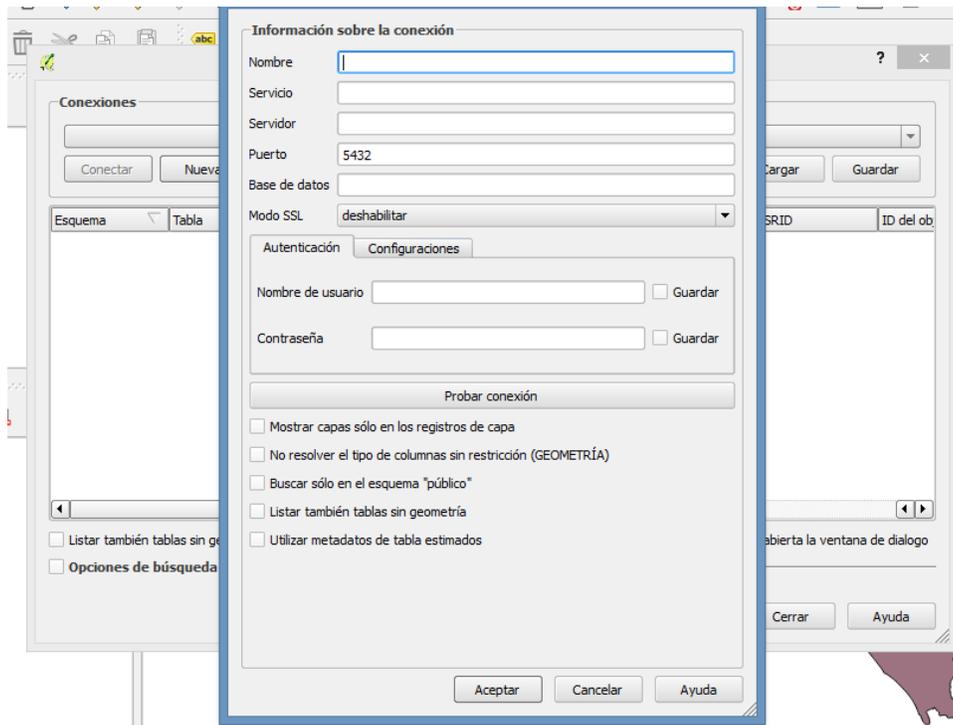


Fig. 70 Información sobre la conexión.

Del menú principal de QGIS se elige la pestaña <<Base de datos>> que despliega una ventana de un administrador de bases de datos (Fig.71), se da clic en <<PostGIS>> con lo que la geodatabase está lista para la importación de archivos.

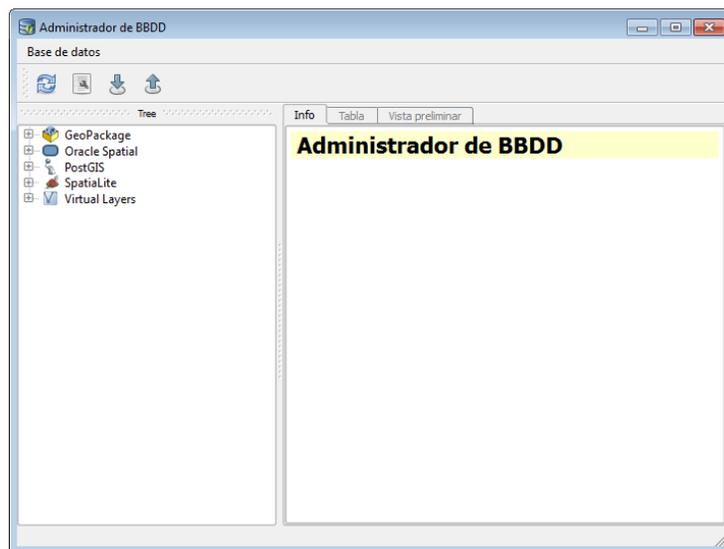


Fig. 71 Administrador de bases de datos.

**Conclusiones:**

El uso de una geodatabase como sistema de almacenamiento y administración de información geográfica y que además resida en un sistema gestor de bases de datos permite aprovechar las funciones de estos en el tratamiento de información geoespacial generando una visión más completa del comportamiento de los elementos de información que se contenga.

## **5. Conclusiones**

El uso de manuales de prácticas se puede considerar una herramienta para orientar y facilitar el trabajo tanto de enseñanza para los profesores, como de aprendizaje para el alumnado, ya que se vuelven una guía para la ejecución de las metodologías que el alumno requerirá en su futuro profesional, al integrar los conocimientos teóricos previos con el refuerzo de la ejecución metodológica, permite una mejor cohesión del aprendizaje al alumno.

Además, por la temática del presente manual, se convierte en un insumo de aprendizaje, tanto para la academia en las asignaturas correspondientes a las áreas de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota; como para la sociedad técnica al hacer uso de los distintos softwares especializados en el tratamiento de información geográfica, ya que permite visualizar los alcances y nuevas posibilidades aplicativas de forma clara y sistemática. Lo anterior es posible ya que las metodologías presentadas en cada práctica, parten de las herramientas básicas y sencillas hasta requerimientos más complejos; y al ser los insumos requeridos para cada práctica de fácil acceso al usuario, la replicación de las prácticas presentadas es altamente viable.

Por otro lado, el futuro del alumnado al ejercer su profesión no se verá limitado a un área de conocimiento, por el contrario, múltiples disciplinas interaccionaran para cumplir con los objetivos de interés del empleador o del emprendedor, razón por la cual este manual incorpora algunas otras ciencias como percepción remota, arqueología y climatología.

El horizonte de posibilidades en el que existe el manejo de datos geográficos es vasto por lo que es necesario contar con una estandarización en el procesamiento de los datos, y, a nivel empresarial, la preservación del conocimiento adquirido es también un factor importante para la reducción de errores y control de las actividades.

## Fuentes de consulta:

Abdul-Rahman, A. & Pilouk, M. (2008). *Spatial Data Modelling for 3D GIS*. Alemania: Springer.

Cangrejo, D. y Agudelo, J. (2011). Minería de datos espaciales. *Revista Avances en Sistemas e Informática*, 8, (3).

Cortés, R. (1998). *Introducción al análisis de sistemas y la ingeniería de software*. Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.

DGAPA, UNAM. (s. f.). *Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME)*. México. Recuperado de: <http://dgapa.unam.mx/index.php/fortalecimiento-a-la-docencia/papime#>

DGAPA, UNAM. (s. f.). *Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME)*. México. Recuperado de: <http://dgapa.unam.mx/images/red/PAPIME.pdf>

ESRI (s. f.). *What is GIS?* Estados Unidos de América. Recuperado de <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>

GISGeography (s. f.) *The Remarkable History of GIS*. Recuperado de: <https://gisgeography.com/history-of-gis/>

Hand, D., Mannila, H., & Smyth, P. (2001). *Principles of Data Mining*. Estados Unidos de América: The MIT Press

Karimi, H. A. & Akinci, A. (2009). *CAD and GIS Integration*. Estados Unidos de América: CRC Press.

Lloyd, C. (2010). *Spatial Data Analysis an introduction for GIS users*. Estados Unidos de América: Oxford University Press Inc.

Olaya, V. (2004). *Sistemas de Información Geográfica*. Recuperado de: <http://volaya.github.io/libro-sig/>

Palma, C., Palma, W., y Pérez, R. (2009). *Data Mining El arte de Anticipar*. Chile: RIL editores.

Peña, A. (2006). *Ingeniería de Software: Una Guía para Crear Sistemas de Información*. México: Instituto Politécnico Nacional. Wordboys, M. (1995). *GIS A Computing Perspective*. Inglaterra: Taylor and Francis Ltd