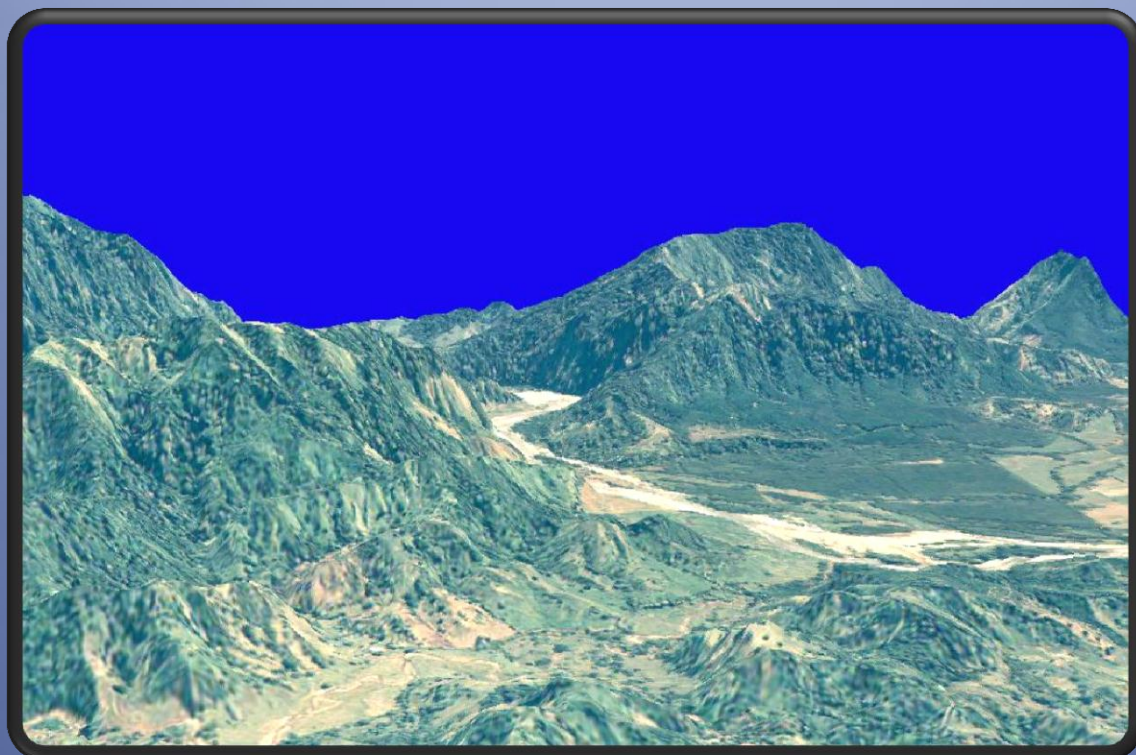




GeoProcesamiento

De Geodatos a GeoInformación

El presente documento explora las operaciones y funciones básicas, tanto de naturaleza espacial como no espacial (i.e. gestión de tablas), que provee un software de SIG con el fin de convertir geodatos en geoinformación.

JORGE FALLA GAMBOA

Contenido

1. Introducción	3
2. Funciones y operaciones de un SIG	3
2.1. Captura y edición de geodatos.....	5
Métodos de creación de geodatos	6
Adquirir datos en campo.....	11
2.2. Gestión de tablas	12
Tipos de datos en Excel y Access	14
Fuentes y formatos de datos tabulares	15
Modelo de datos para el sector agropecuario y creación de tabla de atributos.....	16
Tareas que puede realizar con tablas y sus atributos	22
Visualizar atributos: ventana de atributos y herramienta de información/identificación	22
Seleccionar y analizar atributos de una capa de geodatos	28
Actualizar atributos de una capa de geodatos.....	28
Relación y asociación de tablas	30
2.3. Geoprocesamiento: De Geodatos a GeoInformación.....	33
2.3.1. Extraer.....	34
Recortar (<i>Clip</i>).....	35
Dividir.....	35
Seleccionar registros de una tabla.....	36
2.3.2. Análisis de superposición	36
Métodos de superposición	37
Polígonos ficticios	37
Traslape vectorial.....	39
Fuente: elaboración propia.	40
Borrar elementos de una capa.....	40
Identidad	40
Interceptar	41
Unión de polígonos.....	43
Actualizar polígonos de capa existente.....	44
2.4. Análisis de proximidad.....	44
2.4.1. Selección por ubicación (consulta espacial)	45
Selección de elementos de una capa de geodatos	46

Selección de elementos de dos capas de geodatos.....	47
2.4.2. Elemento más cercano (Unión geoespacial).....	51
2.4.3. Distancia entre puntos (matriz de distancia).....	56
2.4.4. Área de influencia o búfer	56
2.4.5. Crear polígonos de Thiessen o de Varonoi.....	57
2.5. Cartografía automatizada	59
3 Modelación o simulación de escenarios utilizando un SIG	61
Modelo de idoneidad	68
Modelos empíricos.....	69
Comentarios finales	70
4. Ejercicio de autoevaluación (ver geodatos_cap4).....	71
Anexo 1	79
Referencias.....	80

1. Introducción

El presente capítulo está dedicado a explorar las operaciones y funciones básicas, tanto de naturaleza espacial como no espacial (i.e. gestión de tablas), que provee un software de SIG con el fin de convertir geodatos en geoinformación.

En un SIG, cada ente o elemento del mundo real está definido por su posición geográfica y sus características o atributos no espaciales y es precisamente esta particularidad lo que convierte al SIG en una poderosa herramienta para visualizar y analizar relaciones geoespaciales. Por ejemplo, en una geobase de datos, una finca puede estar definida por una serie de coordenadas (i.e. longitud y latitud) que conforman su perímetro y por atributos como área, pendiente media, cultivo principal y dueño. A partir de estos datos es posible dar respuesta a una serie de preguntas utilizando las operaciones y funciones que provee el software de SIG. Algunos ejemplos son:

1. ¿Cuánto es el área de la finca apropiada para cultivos en limpio?, y ¿Dónde se ubica dicha área?
2. ¿A qué distancia está la finca de la carretera más cercana?
3. ¿Quiénes son los colindantes de la finca?
4. ¿En cuál municipalidad se debe pagar el impuesto territorial?

La comunidad SIG ha crecido sustancialmente en los últimos diez años y con ello el desarrollo de software y aplicaciones especializadas. Por otro lado, también se han introducido nuevos métodos y técnicas de análisis de datos geográficos, por lo que no es posible describir en el presente capítulo una revisión exhaustiva de la temática. Otro elemento a considerar es que el mundo del software evoluciona rápidamente y los programas de SIG, tanto privativos como libres, incluyen cada vez más herramientas de análisis, ya sea como parte de la versión estándar o como extensiones o complementos. Lo más frecuente es que las herramientas sean proporcionadas por el proveedor de software; sin embargo también existen desarrolladores y proveedores independientes. Además, cada vez es común que los productos ofrezcan herramientas de desarrollo de software (SDK), lenguajes de programación y secuencias de comandos para el desarrollo de aplicaciones personalizadas. Por esta razón, se recomienda al lector que al utilizar un programa de SIG utilice el manual o ayuda del mismo.

2. Funciones y operaciones de un SIG

El número de operaciones y funciones que permite ejecutar el software de SIG está en función de su orientación o especialización (e.g. procesamiento vectorial, ráster, imágenes, geobase de datos), del sistema operativo, hardware y de la compañía o grupo que produce el software (Cuadro 1). Sin embargo y con fines didácticos, las mismas pueden agrupar de la siguiente manera (Burrough y Mcdonell 1998):

1. Captura y edición de geodatos

- Creación, edición y actualización de capas vectoriales y ráster (incluidas las imágenes).
- Creación de topología.
- Proyectar y retroproyectar set de geodatos.
- Transformaciones geométricas, georreferenciación, generalización, juntar, disolver.
- Integración con archivos CAD, DXF, imágenes y del sistema de posicionamiento global satelital (GPS, por su siglas en inglés o SPG en castellano).
- Conversión, exportación e importación entre formatos de geodatos.

- Creación y edición de atributos (tablas y bases de datos).
- Rasterizar y vectorizar geodatos.

2. Gestión y análisis de atributos no espaciales

- Almacenamiento y recuperación de datos.
- Búsqueda por atributos.
- Gestión de bases de datos.
- Creación, edición y actualización de atributos (tablas).
- Análisis estadístico.

3. Visualización y productos gráficos

- Visualización en 2.5D
- Simbolización
- Entorno Web

4. Geoprocesamiento

- Operaciones de superposición: recortar, borrar, interceptar, identidad, unión.
- Operaciones de proximidad (vectorial): polígonos de Thiessen, punto en polígono, área de influencia (búfer).
- Operaciones de proximidad (ráster): interpolación geoespacial (e.g. curvatura mínima, distancia ponderada inversa, Kriging), filtros digitales (ventana móvil), funciones topográficas (gradiente, aspecto, convexo/cóncavo), creación de isolíneas y perfiles, análisis de intervisibilidad, iluminación o sombreado del terreno, vistas en perspectiva, proximidad relativa (concepto de fricción).
- Operaciones de conectividad: Caracterización de polígonos basados en su área y forma (e.g. tamaño, distancia de semieje menor y mayor). Análisis de redes (e.g. optimización de rutas, asignación de recursos, predicciones de flujo en una ruta).

5. Producción cartográfica

- Gratículas y retículas
- Simbolización (colores, tramados, dimensiones de elementos gráficos)
- Exporta mapas como jpg, tiff, png

Cuadro 1: Funciones y operaciones típicas de un software de SIG para geodatos vectoriales.

Función / operación	Función / operación
Crear geodatos	Visualización y productos gráficos
Crear tema de eventos	Símbolo único
Crear polilíneas a partir de puntos	Valor único
Crear polígonos a partir de puntos	Color graduado
Crear polígonos a partir de polilíneas	Símbolo graduado
Crear topología	Gráficos (circulares, barras)

Digitalización en pantalla	Mapa de densidad
Calcular área, longitud	Vistas 2.5D
Leer archivos KML	Gráficos
Interface para GPS	
Leer/importar archivos CAD	
Editar geodatos	Crear tablas
Editar polilíneas y polígonos	Adicionar, borrar registros
Convertir elementos múltiples a simples	Adicionar, borrar campos
Convertir elementos simples a múltiples	Cambiar valores de celdas
Convertir polilíneas a puntos	Cambiar nombre a campo
Convertir polígonos a puntos	Concatenar valores
Borrar puntos, polilíneas y polígonos	Anexar registros
Centroide de polilíneas y polígonos	Juntas tablas
Dividir polígono con polilínea	Dividir registros por atributos
Dividir polilínea con polilínea	Unir tablas
Dividir elementos por atributo	Asociar tablas
Ajustar punto a una polilínea (snapping)	Estadísticos descriptivos
Juntar capas de geodatos	Búsqueda por atributos
Convertir entre formatos de archivos	Operadores matemáticos y booleanos
Georreferenciar	Interface para bases de datos
Cambio de proyección	Establecer enlaces con otros componentes
Cambio de datum	Sobreposición
Generalización	Recortar capas de geodatos
Generalizar polilíneas	Borrar elementos
Generalizar polígonos	Interceptar dos capas de geodatos
Disolver elementos basado en un atributo	Identidad
Búsqueda por ubicación	Actualizar polígonos
Interceptar	Unión geoespacial
Completamente contenido	Punto en polígono
A una distancia de	Análisis d redes
Contiene el centro de	Crear una red a partir de geodatos existentes
Tiene su centro en	Enrutamiento
Se encuentra completamente dentro de	Ruta más corta
Vecindad	Área de servicio
Vecino más cercano	Segmentación dinámica
Matriz de distancia (puntos)	Localidad más cercana
Crear área de influencia (búfer)	Producción cartográfica
Polígono de Thiessen	Gratículas y retículas
Triángulos irregulares (TIN)	Simbología
	Exporta mapas como jpg, tiff, png

Fuente: Elaboración propia.

2.1. Captura y edición de geodatos

Todo software de SIG posee herramientas para crear, editar y almacenar datos en los formatos de uso más frecuente en aplicaciones SIG. En la actualidad es posible editar entidades almacenadas tanto en archivos simples como las formas o “shapefiles” o en bases de datos geoespaciales, así como en varios formatos tabulares (e.g. Excel, Dbase, ASCII, CVS). Los elementos a crear y editar incluyen puntos, líneas, polígonos y texto (anotaciones).

También se puede alinear y ajustar bordes compartidos, generalizar la geometría de la capa de geodatos y cambiar su sistema de referencia geográfico (proyección y datum).

Sin importar el software de SIG que usted utilice, es muy posible que encuentre la misma funcionalidad aunque no las mismas herramientas utilizadas para compilar y actualizar sus datos geográficos. Es también posible que ciertas rutinas de edición no se encuentren en el software o que requieran de extensiones o complementos adicionales. Por ejemplo, el programa le puede permitir crear y editar entidades simples en una geobase de datos pero no le permita o no posee capacidades más avanzadas como la creación de topología y redes geométricas. Por esta razón antes de elegir un software se recomienda definir con claridad sus requerimientos de creación y edición de datos y luego compararlos con las herramientas que ofrece el software que usted desea adquirir o utilizar.

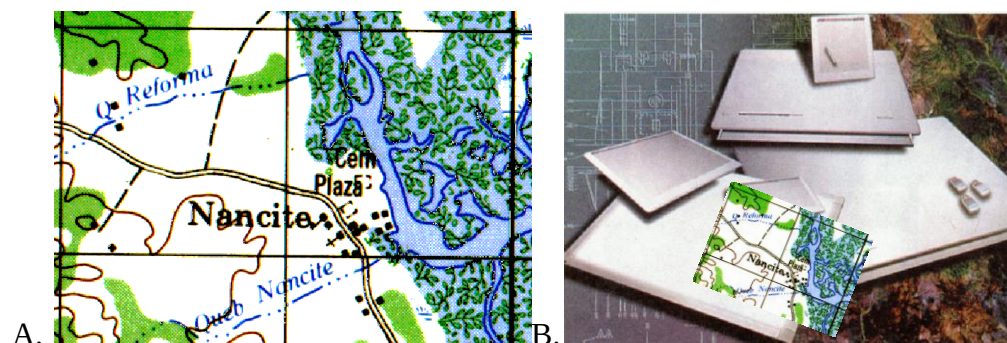
Métodos de creación de geodatos

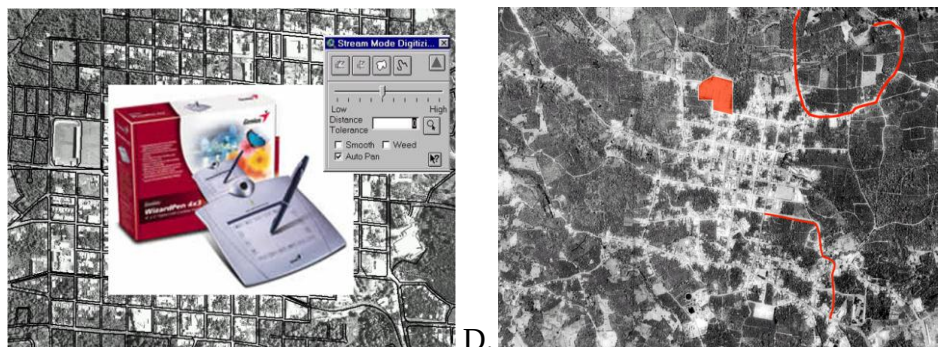
El proceso de automatización de la cartografía existente inicia con la vectorización de material tanto en formato analógico (e.g. mapas, planos) como digital (e.g. fotos aéreas escaneadas). En el caso de entidades vectoriales el proceso concluye con la creación de capas topológicamente correctas y listas para adicionarse a un a geobase de datos o para ser utilizadas en alguna tarea de geoprocésamiento.

Digitalizar geodatos

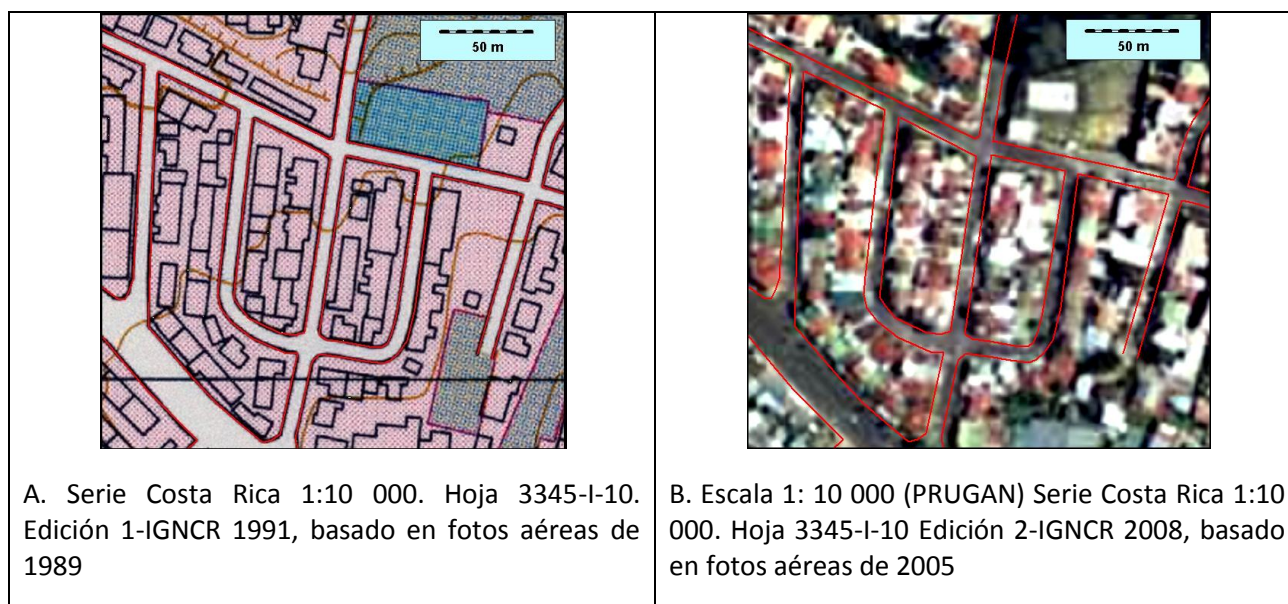
La digitalización es el proceso utilizado para convertir entidades de un formato analógico a uno digital. Por ejemplo, es muy posible que en el proceso de preparar su base de datos, usted deba convertir el plano escaneado de una finca en un archivo vectorial o trazar la red de caminos desde un mapa topográfico publicado por el Instituto Geográfico Nacional.

La forma más barata y eficiente de digitalizar entidades es utilizar el método de digitalización en pantalla (Fig.1), herramienta que se encuentran tanto en software privativo como libre. Hasta hace algunos años, otro método utilizado comúnmente era sujetar el mapa impreso a un tablero de digitalización y luego utilizar un cursor para realizar el trazado (Fig. 1). En este método, se visualiza una fotografía aérea, una imagen de satélite o una ortofotografía en la pantalla como un mapa base y luego se dibujan las entidades, como carreteras, edificios o parcelas, en la parte superior de éste como se muestra en la figura 1D. El producto final es una capa vectorial actualizada como puede apreciarse en la figura 2.





C. D.
 Figura 1: A. Segmento de mapa escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional. B. Tabletas digitalizadoras utilizadas para traza elementos de un mapa impreso. C. Herramientas e interfaz gráfica de software utilizado en el proceso de vectorización manual. D. Digitado manual en pantalla de líneas y polígonos. Fuente: elaboración propia.



A. B.
 Figura 2: Porción de mapa escala 1:10 000 de 1991 (Hoja 3345-I-10. Edición 1-IGNCR) y ortofoto del año 2005. Fuente: Cartografía digital PRUGAM-ING-2008 y cartografía ING-1991.

El archivos de formas ("shapefile"), creado originalmente por la compañía ESRI para su software ArcView 2 en los primeros años de la década de 1990, es uno de los formatos vectoriales más utilizados por la comunidad de usuarios de SIG a nivel mundial; sin embargo no poseen topología y con frecuencia poseen errores geométricos como polígonos con espacios vacíos, traslapes entre polígonos y polilíneas que se cruzan pero no forman nodos. Por esta razón se recomienda utilizar la herramienta que provee su software para verificar que la geometría de la capa sea la correcta.

El control de calidad (verificación de topología) incluye el asegurarse que los polígonos realmente formen estructuras cerradas con información sobre sus vecinos (derecha, izquierda), que los arcos posean información sobre direccionalidad y que su geometría sea correcta. Entre los errores geométricos más frecuentes tenemos (Fig. 3):

Polilíneas

1. Muñones (“dangle”).
2. Arcos no conectados a un nodo.
3. Arcos discontinuos. La distancia de cierre o engarce (“snapping”) permite eliminar estos errores de forma automática en el proceso de creación de la topología.

Polígonos

- A. Arcos colgantes o muñones y polígono sobrepuesto.
- B. Arcos colgantes o muñones y polígono incompleto.
- C. Polígono incompleto y sobrepuesto.
- D. Segmento de línea perdido y polígono sobrepuesto.
- E. Línea astillada. Líneas con ángulo muy agudo creadas por un error en la digitación.

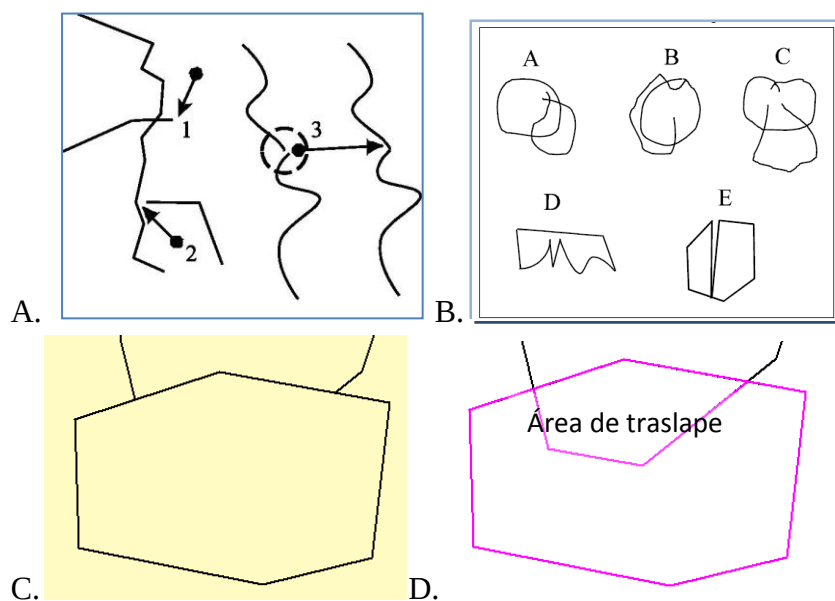


Figura 3: Ejemplos de errores topológicos. A. Polilíneas. B. Polígonos. C. Ejemplo de traslape en una capa de polígonos no visible al usuario cuando utiliza un color sólido. Fuente: elaboración propia.

Crear puntos

Los puntos son las entidades más simples que usted puede crear a partir de una imagen visualizada en la pantalla de su computadora. Simplemente, haga un clic en el sitio donde desea crear un punto. Puede hacer clic con el botón derecho del ratón en el mapa o usar una herramienta de alineación para crear puntos en ubicaciones exactas.

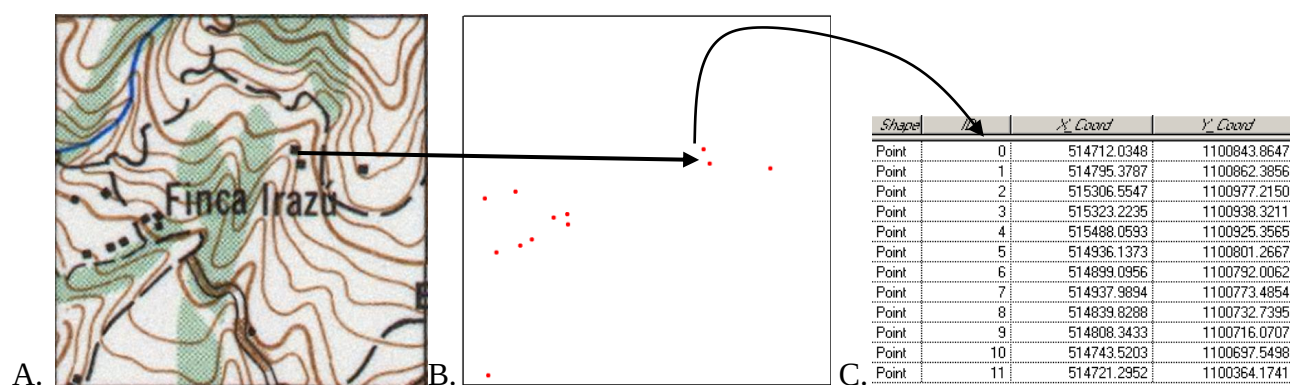


Figura 4: Capa de puntos creado utilizando el método de digitación en pantalla. A. Mapa 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional. B. Puntos C. Tabla de atributos: incluye el tipo de entidad (punto), un identificador consecutivo y las coordenadas X,Y. Fuente: elaboración propia.

Crear polilínea o segmentos de línea

Para digitar una polilínea utilice la herramienta de crear líneas y haga una serie de clics a lo largo del elemento que desea trazar (e.g. un río, camino); para terminar haga un doble clic. Los vértices son los puntos donde la línea cambia de dirección y los segmentos son las líneas (rectas) que conectan a los vértices (Fig. 5).

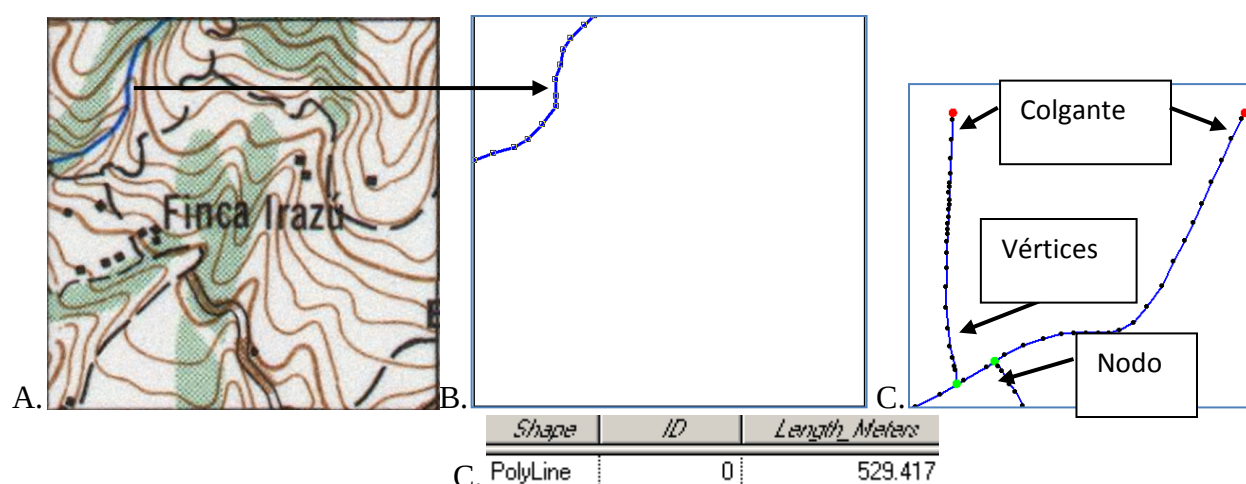


Figura 5: Capa de polilínea creado utilizando el método de digitación en pantalla. A. Mapa topográfico 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional. B. Polilíneas (río). C. Tabla de atributos mostrando la longitud de la polilínea (529, 4 metros). C. Terminología utilizada para designar puntos en polilíneas. Fuente: elaboración propia.

Crear polígonos

Para crear segmentos de polígonos utilice la herramienta de polígono de su software y haga una serie de clics a lo largo del perímetro del elemento que desea trazar (e.g. parches de bosque). Al igual que con las polilíneas, los vértices son los puntos donde la línea cambia de dirección y los segmentos son las líneas (rectas) que conectan a los vértices (Figs. 6 y 7).

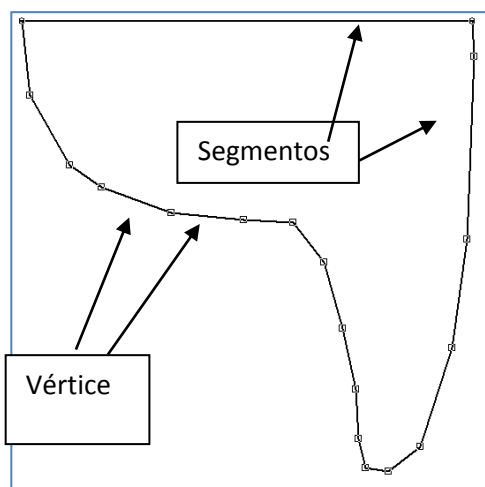


Figura 6: Vértices y segmentos lineales en una capa de polígonos creada utilizando el método de digitación en pantalla. La única forma de mejorar la forma del polígono es insertando una mayor cantidad de vértices. Esto desde luego requiere de mayor tiempo y aumenta el tamaño y complejidad de la capa de geodatos. Fuente: elaboración propia.

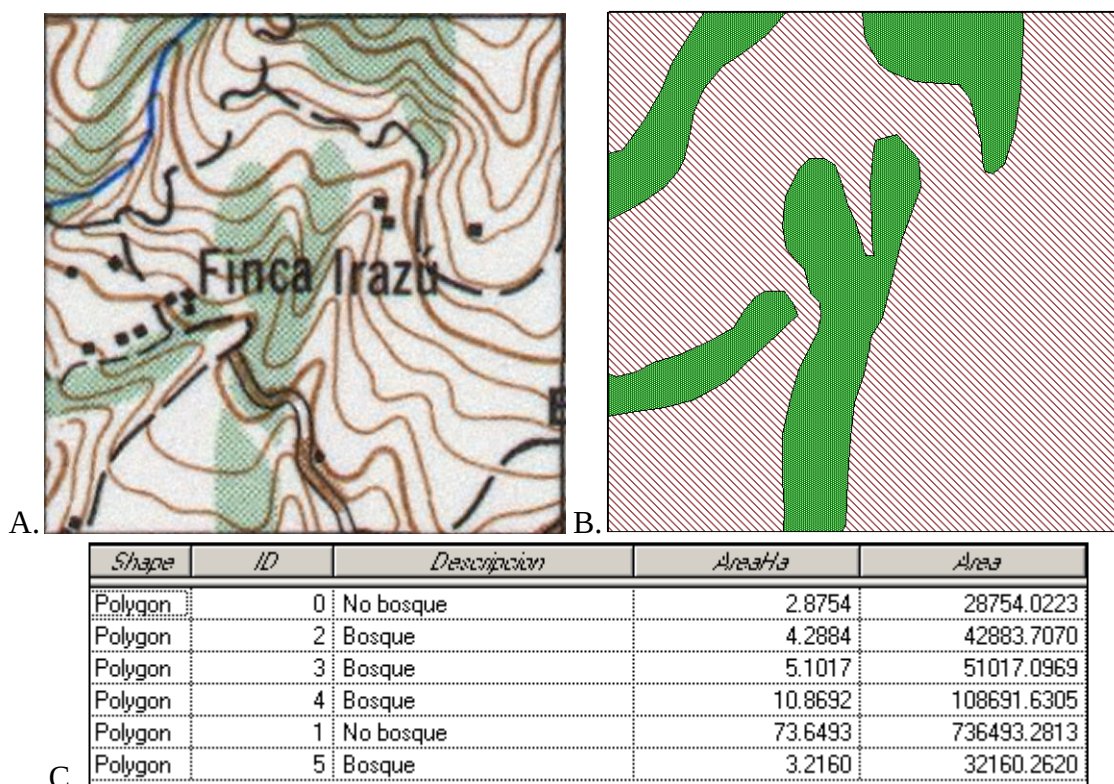


Figura 7: Capa de polígonos creada utilizando el método de digitación en pantalla. A. Mapa 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional. B. Polígonos (bosque y no bosque). C. La tabla de atributos incluye un identificador para cada polígono, su área en metros cuadrados y hectáreas y una descripción. Fuente: elaboración propia.

El software ofrece una herramienta de alineación la cual facilita el engarce o posicionamiento de nuevos vértices y segmentos de tal manera los mismos coinciden a la perfección cuando coincidan espacialmente con otro vértice. Cuando se activa esta herramienta, el puntero saltará o se alineará a los bordes o vértices cuando esté se

encuentra dentro de la tolerancia de alineación (Fig. 8). La alineación ayuda a crear polígonos que no se superponen o que tienen espacios entre ellos o la ubicación de un punto exactamente sobre una línea existente (e.g. cruce entre río y camino).

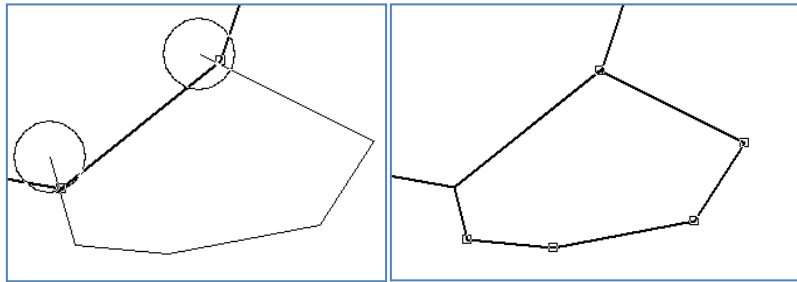
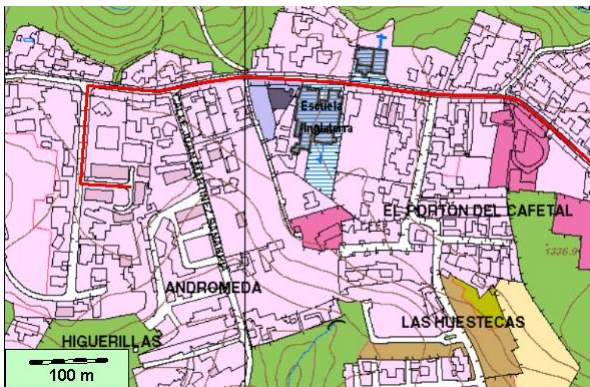


Figura 8: Herramienta de alineación. Los círculos indican el área de tolerancia de alineación. Cuando el puntero se encuentra dentro de dicho círculo el vértice se alineará a los bordes del polígono. Fuente: elaboración propia.

Adquirir datos en campo

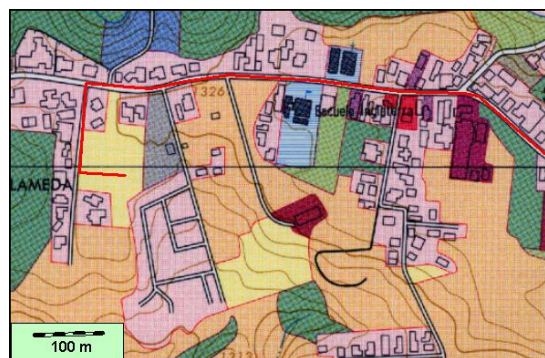
Cada vez es más frecuente que los geodatos se capturen directamente en el campo utilizando un receptor del Sistema de posicionamiento global satelital (GPS). Estas unidades de GPS determinan su posición mediante señales de satélites, apoyadas algunas veces de estaciones base. La exactitud de los receptores varía, según marca, costo y condiciones de trabajo, desde milímetros hasta cinco o diez metros (Fig. 9). Por lo tanto, asegúrese de utilizar un receptor de GPS tan exacto como los datos con los que se utilizará. Las unidades GPS más recientes pueden conectarse a computadoras portátiles, “tablets” o a teléfonos inteligentes para registrar los datos en el campo.



A.



B.



A. Escala 1: 10 000 (PRUGAN). Serie Costa Rica 1:10 000. Hoja 3345-I-10 Edición 2-IGNCR 2008, basado en fotos aéreas de 2005.

B. PRUGAN Ortofo 2005.

C. Serie Costa Rica 1:10 000. Hoja 3345-I-10 Edición 1-IGNCR 1991 basado en fotos aéreas de 1989.

C.

Figura 9: Concordancia espacial entre registros GPS (receptor de US\$300) y cartografía escala 1:10 000 del Instituto Geográfico Nacional. Fuente: elaboración propia.

2.2. Gestión de tablas

Las tablas contienen atributos (espaciales y no espaciales) de entidades geográficas y permiten consultar, recuperar, visualizar y analizar sus características (Fig. 10). El cuadro 2 lista y define los términos relacionados con tablas y atributos. Algunas definiciones hacen referencia a partes de una tabla en tanto que otras a la funcionalidad y uso de la tabla en el contexto de una geobase de datos.

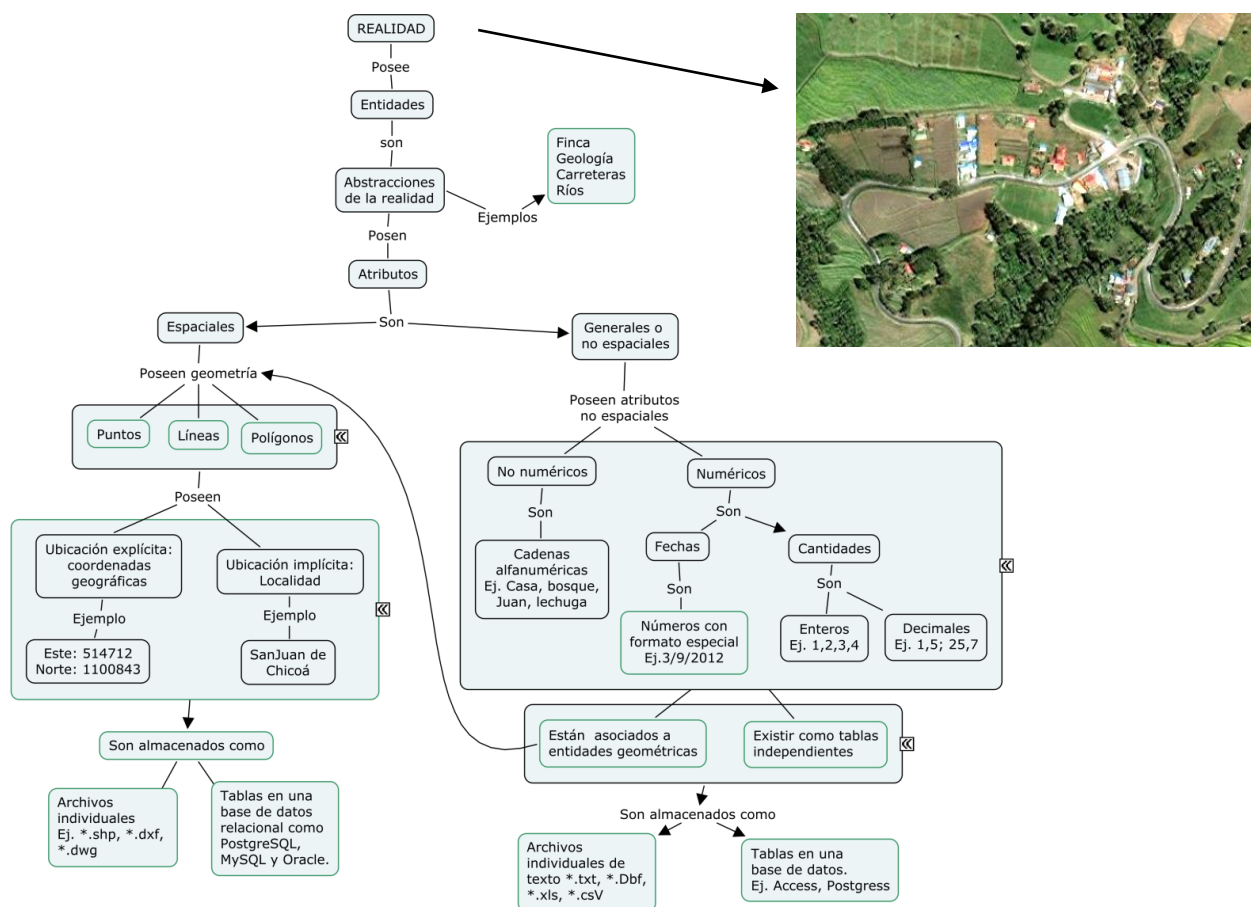


Figura 10: Mapa conceptual de la relación entre la realidad, entidades y sus atributos. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 2: Terminología utilizada en la gestión de tablas.

Término	Definición
Tabla	Conjunto de datos organizados en filas y columnas. Cada fila representa un registro único y cada columna un campo del registro. Las filas y columnas se intersecan para formar celdas, que contienen un valor concreto para un campo en un registro.
Atributo	Característica no espacial de una entidad geográfica en el SIG, normalmente almacenado en una tabla y vinculado a una entidad geométrica mediante un identificador único o clave. Por ejemplo, los atributos de una finca podrían incluir su propietario, nombre, área registral y colindantes.
Campo	Cada una de las columnas de la tabla; almacena el valor de un atributo único.
Alias de campo	Nombre alternativo especificado para un campo, tabla, archivo o set de datos, que es más descriptivo y fácil de usar que el nombre real. Por ejemplo el nombre del campo puede ser “uso” y el alias puede ser “uso año 2012”.
Registro	Cada una de las filas de una tabla.
Unir	Operación que anexa temporalmente los campos de una tabla a los de otra a través de un atributo o campo común a ambas tablas denominado clave. Las uniones se utilizan normalmente para asociar más atributos a la tabla de atributos de una capa geográfica.
Relación	Operación que establece una conexión temporal entre registros en dos tablas, utilizando un clave común a ambos.
Clase de relación	Un elemento de la geobase de datos que almacena información sobre una relación. Una clase de relación establece una conexión permanente entre registros en dos tablas, utilizando una clave común a ambos.
Dominio	Mecanismo utilizado en una geobase de datos para asegurar la integridad de los datos. Los dominios de atributos definen qué valores se permiten en un campo en una clase de entidad o tabla de atributos no espaciales. Si las entidades u objetos no espaciales se han clasificado en subtipos, se pueden asignar distintos dominios de atributo a cada uno de los subtipos.
Subtipo	Subconjunto de entidades de una clase de entidad u objetos de una tabla en una geobase de datos, que comparten los mismos atributos. Por ejemplo, la clase de entidad “corrientes naturales” puede subdividirse en cuatro subtipos: ríos, quebradas, arroyos y yurros. Al diseñar una geobase de datos o simplemente una tabla de atributos es más eficiente crear subtipos que crear muchas clases de entidad o tablas en una geobase de datos.
Tabla de consultas	Tabla que contiene los resultados de una consulta. Por ejemplo, el software puede crear una tabla para mostrar todas aquellas corrientes naturales que cumplen con la condición de ser “quebradas”.
Consulta basado en atributos	El software procesa una consulta basada en atributos tabulares o de la entidad y presenta solo aquellas entidades o registros que satisfacen los criterios de búsqueda.
ID de objeto	Identificador numérico único de cada registro o entidad asignado y administrado por el sistema de gestión de la base de datos.

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a su contenido, las tablas pueden dividirse en generales y espaciales. Las primeras contienen registros (filas) y campos (columnas) que almacenan atributos generales como nombre del dueño de una finca (texto) o el tipo de cultivo (texto) y área de la finca (número decimal) y se guardan como archivos individuales de texto (ASCII, CVS), de Excel, de Dbase o como parte de una base de datos (Fig. 11). En una tabla espacial existe un campo que contiene un tipo particular de entidad geométrica (punto, línea o polígono) así como otros campos de atributos no espaciales (e.g. tipo de cultivo) (Fig. 11).

A.

Shape	ID	Length	Tipo
PolyLine	0	943.1900	Tierra
PolyLine	2	503.0701	Tierra
PolyLine	3	169.6606	Tierra
PolyLine	4	238.9444	Tierra
PolyLine	5	300.0720	Tierra
PolyLine	6	231.8505	Tierra
PolyLine	7	474.6636	Tierra
PolyLine	8	488.2421	Lastre
PolyLine	1	194.4788	Tierra

B.

	A	B	C
1	ID	LENGTH	TIPO
2	0	943.1900	Tierra
3	2	503.0701	Tierra
4	3	169.6606	Tierra
5	4	238.9444	Tierra
6	5	300.0720	Tierra
7	6	231.8505	Tierra
8	7	474.6636	Tierra
9	8	488.2421	Lastre
10	1	194.4788	Tierra

C.

ID,LENGTH,TIPO
0,943.1900,Tierra
2,503.0701,Tierra
3,169.6606,Tierra
4,238.9444,Tierra
5,300.0720,Tierra
6,231.8505,Tierra
7,474.6636,Tierra
8,488.2421,Lastre
1,194.4788,Tierra

D.

"ID","Length","Tipo"
0,943.1900,Tierra
2,503.0701,Tierra
3,169.6606,Tierra
4,238.9444,Tierra
5,300.0720,Tierra
6,231.8505,Tierra
7,474.6636,Tierra
8,488.2421,Lastre
1,194.4788,Tierra

Figura 11: Tabla asociada a un elemento espacial de tipo polilínea (A) y tablas independientes B: Hoja de Excel, C: Archivo ASCII en formato CSV y D: Archivo ASCII en formato txt. Cada campo puede almacenar un tipo de dato específico, como un número, una fecha o un texto. Las tablas pueden ser almacenadas como archivos independientes o como parte de una base de datos. Fuente: elaboración propia.

Tipos de datos en Excel y Access

Es muy probable que usted posea o deba utilizar atributos almacenados en tablas de Excel o en una base de datos personal de Access y por esta razón en el cuadro 3 se describen los tipos de datos que se pueden almacenar en los archivos de ambos programas. En el caso de Excel, los tipos de interés para el usuario de un SIG son valores numéricos, texto y fecha. En el caso de Access, por tratarse de una base de datos, existen once tipos de datos disponibles para cada campo de una tabla como se muestra en el cuadro 4. La tabla también incluye los nombres equivalentes utilizados por ArcGIS.

Cuadro 3: Tipos de datos utilizados en MS Excel de interés para aplicaciones SIG.

Tipo de dato	Descripción
Texto	Cadena de letras y números utilizados para digitar datos en las celdas de una hoja de Excel. No se recomienda utilizar caracteres especiales, espacios ni tildes al crear datos de texto. En Excel el texto es alineado a la izquierda en la celda. Todo número será interpretado como un texto.
Numérico	Los números pueden ser enteros (e.g. 5, 10, 20) o decimales (5,5 y 10,2). En Excel los valores numéricos se alinean a la derecha en la celda. Asegúrese de que el tipo de datos esté definido en Excel como numérico y no como texto.
Fecha	Excel almacena las fechas (día, mes, año, hora) como un dato numérico.
Fórmulas	Una fórmula es una ecuación matemática como por ejemplo $2+3=5$. Las fórmulas creadas en Excel a partir de sus funciones (e.g. sumar, restar) son consideradas como números; ya que el programa al exportar la hoja de cálculo, convierte la fórmula en su resultado.

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4: Tipos de datos utilizados en las bases de datos de MS Access y su designación en ArcGIS.

Tipo de datos ArcGIS	Tipo de datos MS Access	Notas
Objetoid	Número entero grande	Id. DE OBJETO es un campo de numeración automática.
Entero corto	Entero	Enteros; códigos numéricos, variables cuantitativas discretas. Ámbito de valores -32 768 a 32 767. Dos octetos ($2^1 = 2$)
Entero largo	Número entero grande	Enteros, variables cuantitativas discretas. Ámbito de valores -2 147 483 648 a 2 147 483 647. Cuatro octetos ($2^2 = 4$).
Float	Simple	Números decimales, variables cuantitativas continuas. Ámbito de valores aproximadamente -3.4E38 a 1.2E38. Cuatro octetos ($2^2 = 4$).
Doble	Doble	Números decimales, variables cuantitativas continuas. Ámbito de valores aproximadamente -2.2E308 a 1.8E308. Ocho octetos ($2^3 = 8$).
Texto	Texto	Símbolos alfanuméricos (e.g. nombres, tamaños, colores, códigos).
Date	Fecha/Hora	Este campo almacena fechas, tiempo o fechas y tiempo. El formato estándar es mm/dd/yyyy hh:mm:ss y una especificación de AM y PM.
Blob	Objeto OLE*	A BLOB (Objetos Binarios Grandes) es "un dato" almacenado en una geobase de datos como una secuencia de números binarios. ArcGIS almacena dimensiones y anotaciones como BLOBs así como imágenes, multimedia o códigos de programación.
Guid	Número	Id. de replicación, se permiten duplicados
Geometry	Objeto OLE*	En ArcGIS, este campo indica el tipo de elemento geométrico que contiene el campo: punto, línea, polígono, puntos múltiples, parches múltiples. Este campo se denomina con frecuencia <i>SHAPE</i> . La forma física como la geometría es almacenada en una base de datos depende de la base de datos utilizada (DBMS) (DB2, Informix, Oracle, PostgreSQL, SQL Server).
Ráster	Número entero grande	En MS Access el set de datos ráster es convertido a una imagen en formato ERDAS IMAGINE, JPEG o JPEG 2000.

* La vinculación de objetos y los objetos incrustados (OLE) son objetos creados en otras aplicaciones que se vinculan o incrustan en Access. El tipo de dato "objeto binario grande" (BLOB) y GEOMETRÍA no existe en Access, de modo que el objeto está en ArcGIS y vinculado a la base de datos de Access.

Fuente: elaboración propia.

Fuentes y formatos de datos tabulares

Existen diversas fuentes y formatos de datos tabulares, los cuales son leídos y procesados por la mayoría de los programas de SIG. Las tablas de atributos pueden almacenarse como archivos individuales en su computadora o como parte de una base de datos. Algunos de los formatos más comunes son:

- Tablas de MS Excel.
- Tablas dBASE, formato utilizado shapefiles.
- INFO, formato utilizado con las coberturas de ESRI.

- Archivos de texto o ASCII. Estos archivos se crean con un editor de texto o exportando hojas de trabajo de Excel o tablas de una base de datos. Las columnas o campos están delimitados por comas o tabulaciones y sus formatos más comunes son:
 - Texto (Unicode): Este formato (.txt) guarda el texto y los valores tal como aparecen en las celdas de la hoja de cálculo activa.
 - CSV (delimitado por comas): Este formato (.csv) guarda únicamente el texto y los valores como aparecen en las celdas de la hoja de cálculo activa. Las columnas de datos se separan mediante comas y cada fila de datos termina en un retorno de carro. Si las celdas presentan fórmulas en vez de valores de fórmulas, éstas se convertirán como texto.
 - Texto con formato (delimitado por espacios): Este formato (.prn) guarda únicamente el texto y los valores como aparecen en las celdas de la hoja de cálculo activa. Las columnas de datos se separan mediante comas y cada fila de datos termina en un retorno de carro. Si las celdas presentan fórmulas en vez de valores de fórmulas, éstas se convertirán como texto.
 - Texto (delimitado por tabulaciones, MS-DOS y texto Unicode): Este formato (.txt) guarda tanto texto como valores tal y como aparecen en las celdas de la hoja de cálculo activa. Las columnas de datos se separan por tabulaciones y cada fila de datos termina en un retorno de carro. Si las celdas presentan fórmulas en vez de valores de fórmulas, éstas se guardarán como números.
- Bases de datos personales de MS Access.
- Otras bases de datos privativas (e.g. Oracle) y libres (MySQL, PostgreSQL).

Modelo de datos para el sector agropecuario y creación de tabla de atributos

El modelo de datos es una representación conceptual de los elementos o entidades que conforman la realidad, sus atributos y las relaciones espaciales y funcionales. La compañía ESRI (www.esri.com) en colaboración con la academia y los diferentes usuarios de la industria geoespacial ha propuesto modelos de datos para diversas disciplinas (e.g. ambiente, biodiversidad, atmósfera, mapa base, geología; para mayores detalles ver <http://support.esri.com/en/downloads/datamodel>). El modelo de datos del sector agropecuario considera cinco grupos conceptuales o temáticos: 1) las instalaciones o infraestructura de la finca, 2) el catastro, 3) la producción agropecuaria, 4) el mapa base y 5) los agronegocios (Fig. 12). El modelo es muy versátil y cubre los requerimientos del finquero, de aquellos dedicados a la distribución y comercialización de productos agropecuarios y del sector público (ver anexo 1). La finalidad de un modelo de datos es proporcionar un marco de referencia conceptual común para diseñar y crear un SIG estandarizado que facilite el flujo de información entre los miembros de la comunidad agropecuaria en un entorno automatizado confiable y transparente.

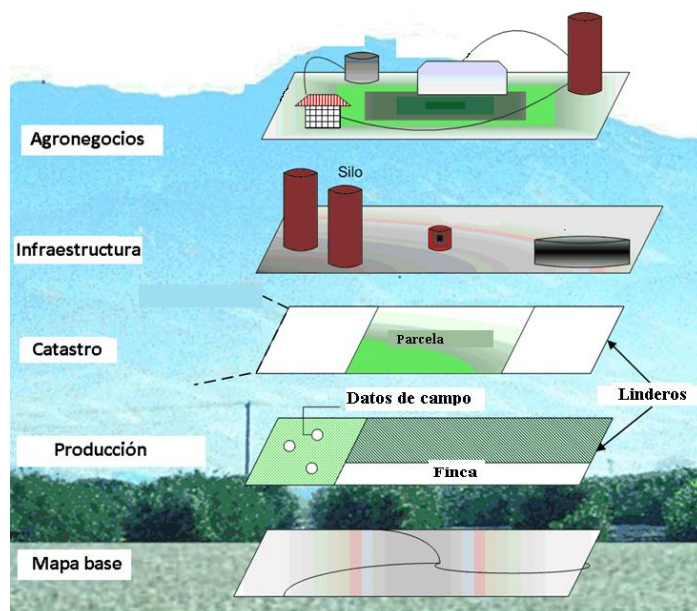


Figura 12: Modelo de datos para el sector agropecuario. Fuente: http://downloads.esri.com/support/datamodels/Agriculture/AGDM_Poster.gif.

A continuación utilizaremos el modelo de datos del sector agropecuario para definir entidades, campos y atributos para la entidad finca (Fig. 13).

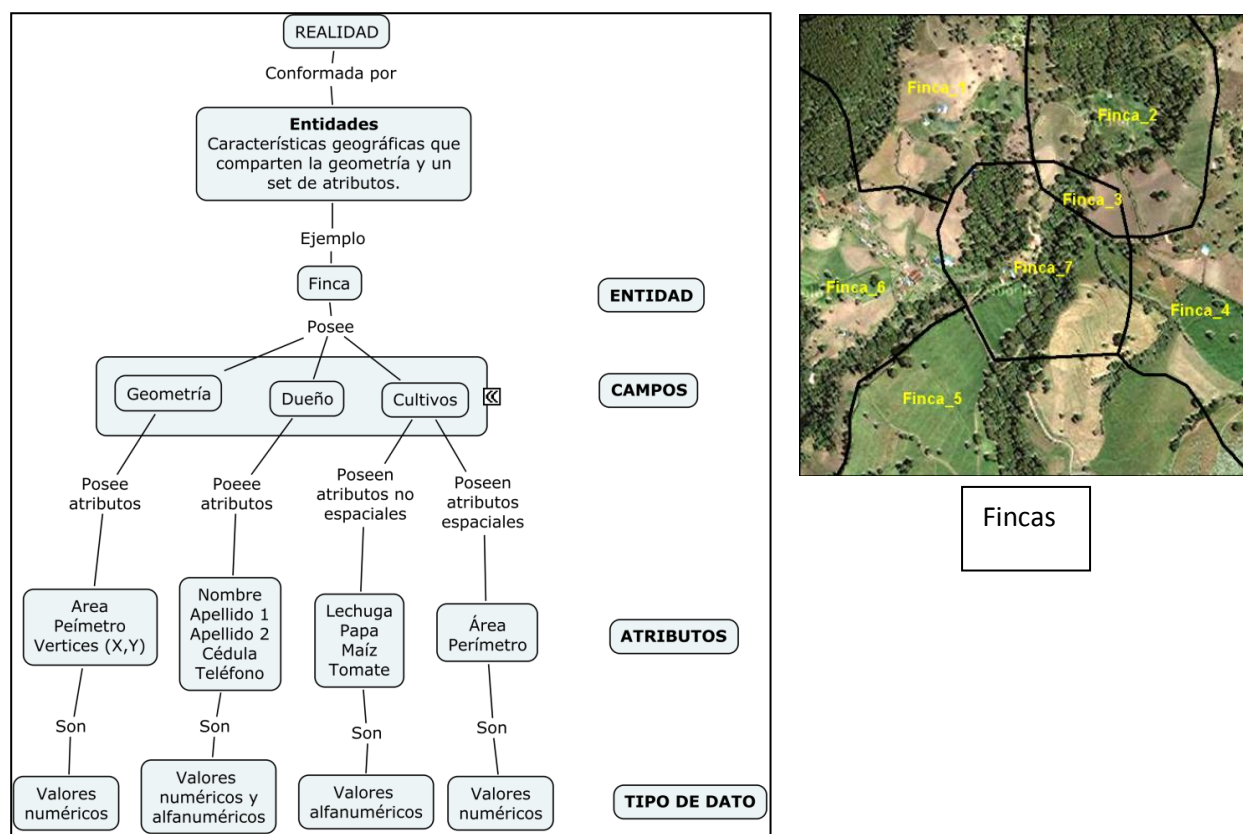


Figura 13: Campos, atributos y tipo de datos para la entidad finca. Fuente: elaboración propia.

1. Liste los elementos o entidades que desea describir en la tabla; recuerde que una entidad es una característica geográfica del mundo real que comparte tanto la geometría como los atributos. Para el SIG-AGRO algunos ejemplos son:

Cuadro 5: Ejemplos de elementos o entidades.

Elemento o entidad	Definición	Tipo de campo
Finca	Espacio geográfico definido por un polígono que pertenece a un propietario.	Alfanumérico
Carretera	Vías de comunicación terrestres.	Alfanumérico
Cuerpo de agua superficial	Agua con corriente (e.g. río, quebrada) o estática (e.g. laguna, embalse).	Alfanuméricos
Geología	Formaciones geológicas	Alfanumérico
Uso-cobertura	Uso-cobertura de la tierra. Incluye tanto elementos naturales como antrópicos.	Alfanumérico

Fuente: elaboración propia.

2. Liste los atributos (campos) que desea registrar para cada entidad. Para facilitar el proceso de identificación, piense en aquellas cosas o características que poseen las entidades. Por ejemplo, las entidades finca y carreteras pueden poseer los siguientes atributos:

Cuadro 6: Ejemplos de atributos para elementos o entidades.

Entidad	Campo1	Campo2	Campo3	Campo4	Campo5	Campo6
Finca	Geometría	Área	Perímetro	Dueño	Distrito	Cultivos
Carretera	Geometría	Área	Perímetro	Pendiente	Velocidad	Tipo
Carretera	Geometría	Longitud	material	Pendiente	Velocidad	Tipo

Fuente: elaboración propia.

3. Defina el tipo de campo y los valores que utilizará para almacenar los atributos. Por ejemplo, la entidad finca puede tener los siguiente campos y valores:

Cuadro 7: Ejemplos de atributos el elemento o entidad finca.

Atributo1	Tipo de campo	Valores
Geometría	Texto	Cadena de texto
Área	Decimal	Datos numéricos con decimales.
Perímetro	Decimal	Datos numéricos con decimales.
Nombre y apellidos	Texto	Cadena de texto
Distrito	Texto	Cadena de texto
Cultivos	Texto	Cadena de texto
Cabezas de ganado vacuno	Númérico	Entero. Ámbito de valores 0 a 32.767. Dos octetos ($2^1 = 2$)
Distrito	Texto	Cadena de texto
Cantón	Texto	Cadena de texto

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en el cuadro 8, el tipo de dato define tanto los posibles valores que puede aceptar el campo como las operaciones que pueden realizarse; por ejemplo, no es posible realizar una operación aritmética con cadenas de texto (e.g. Limón, Piña). Al importar datos de tablas externas asegúrese de que su software interpreta correctamente el tipo de datos y los valores que posee el campo. Los datos numéricos pueden almacenarse como:

Cuadro 8: Tipo de datos y sus características.

Tipo de dato	Rango de almacenamiento	Tamaño (bytes ¹)	Aplicaciones
Entero (1 byte)	Un número entero entre 0 y 255	1	Datos numéricos sin decimales en el rango especificado.
Entero corto o entero	-32.768 a 32.767	2	Datos numéricos sin decimales en el rango especificado.
Entero largo	-2.147.483.648 a 2.147.483.647	4	Datos numéricos sin decimales en el rango especificado.
Número de coma flotante de precisión simple	aproximadamente -3,4E38 a +3,4 E38	4	Datos numéricos con decimales en el rango especificado.
Número de coma flotante de precisión doble (doble)	aproximadamente -1,797E308 a +1,797E308	8	Datos numéricos con decimales en el rango especificado.
Decimal	-9,999 x 10 ²⁷ y +9,999 x 10 ²⁷	12	Datos numéricos con decimales en el rango especificado.

Fuente: elaboración propia.

Al elegir el tipo de dato numérico, pregúntese si su atributo puede expresarse como un número entero o si por el contrario debe utilizar un número con decimales. Si necesita almacenar números enteros (e.g. 12 o 14.697.874); especifique si se trata de un entero corto o largo. Si necesita almacenar números fraccionarios (i.e. con decimales) como 0,23 o 658,1589; especifique si es un flotante simple o doble. En todo caso, elija siempre el tipo de dato que ocupe el menor espacio de almacenamiento posible; esto no sólo minimiza la cantidad de espacio requerido para almacenar sus datos sino que también mejorará el rendimiento.

Por otro lado, recuerde que la computadora solo podrá almacenar un número de dígitos acorde con el espacio de almacenamiento asignado (Cuadro 9). Por ejemplo, si usted elige el tipo de datos número de coma flotante de precisión doble, solo podrá almacenar 15 dígitos (123456789012345) porque éste es el número más largo que puede contener el espacio de almacenamiento de 8 octetos (i.e. Tipo de datos “doble” en Access). Cualquier número que usted digite o el programa calcule con mas dígitos será redondeado y se almacenará en un formato similar a la notación científica, lo que los convierte en un número aproximado (e.g. 12.345.678.901.234.567.890 será almacenado como 1,23456789012346E+19). Por otro lado, programas como Access truncarán el número si este excede el tamaño de campo especificado, limitando el tamaño de los nuevos valores de datos al espacio disponible. Observe también que el tipo de datos coma flotante simple solo pueden almacenar con precisión números que contengan un máximo de seis dígitos. Por ejemplo, no es posible almacenar el número 23.456,79 con precisión en un campo flotante simple porque este número contiene siete dígitos y el programa lo truncará a seis dígitos (i.e. 23.456,7).

¹ El término “byte” u octeto describe una secuencia de bits contiguos que se utilizan como unidad básica de almacenamiento de datos.

Cuadro 9: Ejemplos de rangos de números y de cómo pueden ser almacenados en un archivo o en una geodatabase de datos.

Rango	Tipo de datos	Precisión (longitud del campo)	Escala (posiciones decimales)
0 y 255	Integer1, byte,	3	0
0 y 99	Entero corto	2	0
-99y 99*	Entero corto	3	0
0 a 32.767	Entero corto	5	0
32.768 y 99.999	Entero largo	5	0
0,001 y 0,999	Coma flotante (Simple)	4	3
1.000,00 y 9.999,99	Coma flotante (Simple)	6	2
-123.456,78 y 0*	Coma flotante (Doble)	9	2
0 y 1.234,56789	Coma flotante (Doble)	9	5

*Los números negativos requieren precisión adicional para almacenar el signo negativo.

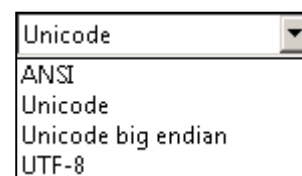
Fuente: elaboración propia.

Cadena de Texto

Un campo de texto contiene una serie de símbolos alfanuméricos que pueden representar nombres de personas (e.g. Juan, Pedro), localidades (e.g. Puntarenas, Chirripó) o cualquier otra característica no numérica de un elemento así como descripciones textuales. Dado que los atributos textuales se pueden repetir en una capa de geodatos o en una tabla externa, con frecuencia se utiliza un valor codificado para referirse a cada descripción textual. Por ejemplo, se pueden codificar los tipos de uso-cobertura de la tierra con valores numéricos de 1 a n, asignándole el 1 a terrenos agrícolas, el 2 a terrenos forestales, el 3 a cuerpos de agua y así sucesivamente.

El utilizar números requiere de menos espacio de almacenamiento; sin embargo, el usuario debe interpretar los valores codificados. Con frecuencia dichos valores están referidos a un dominio de valores codificados en la base de datos, lo cual permite que el usuario final observe la descripción textual cuando se visualice la tabla. Otra forma de lograr el mismo efecto cuando se utilizan archivos independientes es crear una asociación entre la tabla de códigos y una tabla externa que contiene la descripción textual de cada código.

Para permitir que un texto se convierta más fácilmente entre idiomas, usted puede guardar sus archivos utilizando el estándar “Unicode”², el cual provee un número único para cada carácter, lo cual permite su tratamiento informático, transmisión y visualización entre programas y equipos de cómputo. El término proviene de los tres objetivos de perseguidos por estándar: universalidad, uniformidad y unicidad. Unicode define tres formas de codificación bajo el nombre UTF o Formato de Transformación Unicode (Unicode Transformation Format); el cual a su vez permite crear siete esquemas de codificación. Por ejemplo, el bloque de notas de Microsoft o su versión libre Note++ (<http://notepad-plus-plus.org/>) permite guardar archivos utilizando el formato UTF-8 (ISO 10646) (cuadro 10), el cual es una codificación orientada a byte con símbolos de longitud variable (de 1 a 4 bytes por carácter Unicode) que incluye



² <http://unicode.org/>

la especificación US-ASCII de 7 bits (128 caracteres), por lo que cualquier mensaje ASCII es representado sin cambios entre sistemas operativos y computadoras.

Formato dbase

Aun cuando en la actualidad dbase (<http://www.dbase.com>) no es un formato de archivo importante en el mercado de bases de datos, dBase II fue el primero y el más ampliamente utilizado sistema de gestión de bases de datos (DBMS) para microcomputadoras desde los principios de 1980. Un legado importante de dBase es el formato de archivo .dbf, propiedad de la empresa Ashton-Tate; sin embargo los mismos fueron invalidados por un juez en los Estados Unidos de América en diciembre de 1990 y desde entonces la estructura y secuencia del archivo es conocida y libre. Esto ha facilitado que otras compañías lo adopten como formato para sus aplicaciones. Tal es el caso de ESRI, la cual seleccionó dBase III para almacenar los atributos de su formato de archivo "shape" (forma) y PC ArcInfo en entorno de PC. En las versiones de DOS (dBASE II, dBASE III, dBASE IV y dBASE 5) todo campo está limitado a un máximo 254 caracteres.

Cuadro 10: Los primeros 59 caracteres del formato UTF.

hex	dec	char	Hex	dec	char	hex	dec	char	hex	dec	char
00	00	◆	10	16		21	33	!	32	50	2
01	01		11	17		22	34	"	33	51	3
02	02		12	18		23	35	#	34	52	4
03	03		13	19		24	36	\$	35	53	5
04	04		14	20		25	37	%	36	54	6
05	05		15	21		26	38	&	37	55	7
06	06		16	22		27	39	'	38	56	8
07	07		17	23		28	40	(	39	57	9
08	08		18	24		29	41	)	3a	58	:
09	09		19	25		2a	42	*	3b	59	;
0a	10		1a	26		2b	43	+	3c	60	<
0b	11		1b	27		2c	44	,	3d	61	=
0c	12		1c	28		2d	45	-	3e	62	>
0d	13		1d	29		2e	46	.	3f	63	?
0e	14		1e	30	-	2f	47	/	40	64	@
0f	15		1f	31		30	48	0	41	65	A
10	16		20	32		31	49	1	42	66	B

Fuente: elaboración propia.

Fechas

En el tipo de datos fecha puede almacenar fechas (e.g. mayo 24 2012), horas (e.g 12M) o fechas y horas (e.g. 6/20/96 8:30 AM). El formato predeterminado en el cual se presenta la información es mm/dd/aaaa hh:mm:ss y una especificación para a.m o p.m.

Dado que MS Access es una de las bases de datos personales de mayor uso, el cuadro 11 muestra la conversión entre tipos de datos de Dbase y Access.

Cuadro 11: Conversiones del tipo de datos de Dbase a Access.

Tipos de datos de Dbase	Conversión al tipo de datos de Access
Carácter	Texto.
Numérico	Numérico, propiedad tamaño del campo establecida a doble.
Flotante	Numérico, propiedad tamaño del campo establecida a doble.
Lógico	Sí/No.
Fecha	Fecha/Hora.
Memo	Memo

Fuente: elaboración propia.

BLOB

Un BLOB (también conocido como un objeto binario grande- BLOB, objeto grande básica-BLOB) es una secuencia larga de números binarios almacenados como una sola entidad en un sistema de gestión de bases de datos, con tamaños del orden de 2 o más Gigabytes. Los BLOB se utilizan para almacenar imágenes y objetos de audio o de otro tipo de multimedia, aunque a veces, también el código ejecutable binario se almacena como una BLOB. Las bases de datos comerciales y libres soportan este tipo de dato (e.g. PostgreSQL, MySQL, SQLite, SQL Server, Access).

Tareas que puede realizar con tablas y sus atributos

Las tablas permiten realizar las siguientes tareas en el entorno de un software de SIG:

- ✓ Visualizar atributos
- ✓ Simbolizar atributos
- ✓ Seleccionar elementos o registros
- ✓ Editar campos, registros y valores de atributos

Visualizar atributos: ventana de atributos y herramienta de información/identificación

La ventana de atributos permite visualizar los campos, atributos y valores asociados a una capa de geodatos o a una tabla independiente. La figura 14 muestra la tabla de atributos para la capa fincas_dueños.shp utilizando gvSIG y ArcView GIS y Quantum GIS. La interfaz grafica es muy similar para ambos programas con la diferencia de que el segundo incluye el campo “shape” que contiene el tipo de elemento geométrico.

ID	CODIGO	CEDULA_PRO	NOMBRE	PRIMER_APE	SEGUNDO_AP	CELULAR	Area	Perimetro
2	Finca_2	1-057-844	Teresa	Vallejo	Ruiz	23456897	158677.912...	1594.905544
7	Finca_7	3-235-895	Pedro	Valverde	Cruz	87654321	133260.839...	1415.495553
3	Finca_3	3-568-897	Jaime	Vallejo	Ruiz	33579869	16520.189753	581.214712
1	Finca_1	1-057-845	Jacinto	Sevilla	Valverde	65432189	157584.06427	1688.61645
6	Finca_6	3-658-125	Eliseo	Bello	Cruz	56789432	168379.793...	2228.217666
5	Finca_5	8-587-697	Juana	Valverde	Cruz	12345678	208841.577...	2246.217198
4	Finca_4	8-658-974	Eleonara	Valverde	Cruz	36987542	156735.622...	2460.919516

0 / 7 Total registros seleccionados.

gvSIG

ArcView GIS

Quantum GIS

Figura 14: Visualización de tabla de atributos en gvSIG, ArcView GIS y Quantum GIS. Fuente: elaboración propia.

Otra herramienta ofrecida por todos los programas de SIG es la de información , la cual permite visualizar los atributos de un elemento geométrico particular con solo hacer un clic sobre el mismo. La figura 15 muestra el cuadro de diálogo de la ventana de información para el polígono número siete (ID 7) de la capa fincas_dueños.shp tal y como se visualiza en gvSIG, ArcView GIS Y Quantum GIS. Nuevamente, existe una gran similitud en la interfaz gráfica de ambos programas.

Simbolizar atributos

Los datos tabulares le permiten al usuario del SIG familiarizarse con las características de las capas de geodatos mediante su representación cartográfica, análisis y administración. La simbolización y posterior visualización de los atributos es una de las funciones de un SIG que lo distinguen de otros programas que gestionan tablas. A continuación se describen los métodos de simbolización presentes en la mayoría de los programas de SIG actuales.

A. Categorías

Esta opción de simbolización es apropiada para visualizar variables nominales y ordinales como categorías de uso-cobertura de la tierra, tipo de suelo y clases de profundidad del suelo u otro atributo no numérico de un elemento geométrico.

gvSIG

Atributo	Valor
ID	7
CODIGO	Finca_7
CEDULA_PRO	3-235-895
NOMBRE	Pedro
PRIMER_APE	Valverde
SEGUNDO_AP	Cruz
CELULAR	87654321
Area	133260.839624
Perimetro	1415.495553

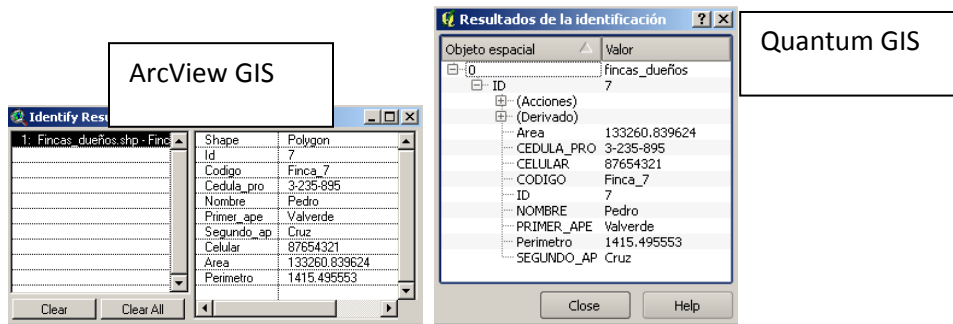


Figura 15: Uso Ventana de información en gvSig, ArcView GIS y Quantum GIS. Fuente: elaboración propia.

Símbolo único

El software utiliza el mismo color, tramado o símbolo para visualizar todos los elementos de la capa de geodatos (puntos, líneas, polígonos) (Fig.16). Por ejemplo, usted puede visualizar todos los puntos que representan poblados utilizando un círculo de color negro o todos los distritos de Costa Rica de color gris. Este método de simbolización es poco informativo y es el que utiliza el programa por defecto cuando usted adiciona una capa de geodatos vectorial.

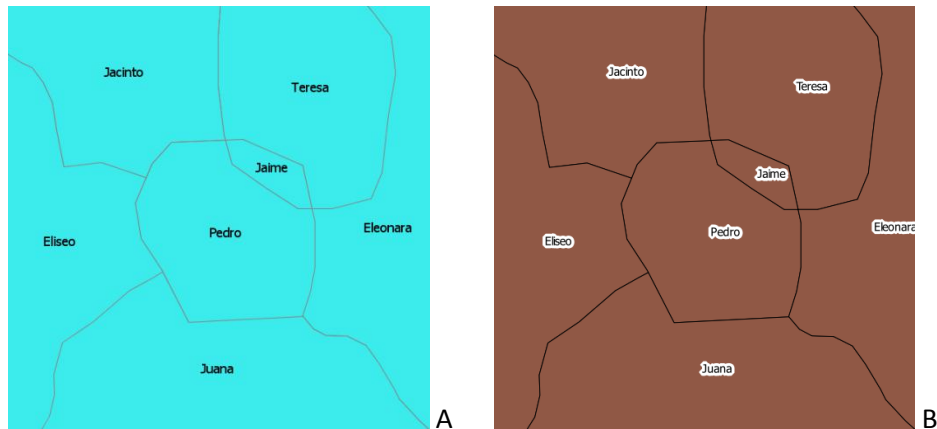


Figura 16: Visualización de capa de geodatos utilizando un símbolo único. A. gvSig, B. Quantum GIS. Fuente: elaboración propia.

Valores o atributos únicos

El software utiliza un símbolo, color o tramado predefinido (paleta) para visualizar cada una de las categorías o atributos que conforman la capa de geodatos (Fig. 17). El método es más informativo que el de símbolo único; sin embargo no se recomienda visualizar más que 15 categorías.

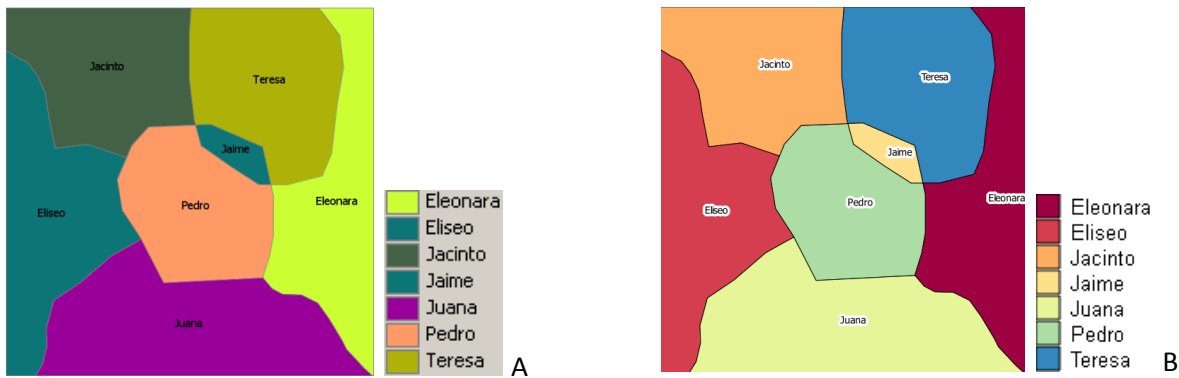


Figura 17: Visualización de capa de geodatos utilizando valores o atributos únicos. A. gvSIG, B. Quantum GIS. Fuente: elaboración propia.

B. Cantidades

Esta opción de simbolización se utiliza con variables cuantitativas tales como área, número de árboles/ha, pendiente y elevación. Por ejemplo, es posible representar la temperatura media anual de Costa Rica como un gradiente que va desde azul (frío) hasta rojo (muy caliente), pasando por amarillos y naranjas que representarían temperaturas intermedias. Se recomienda no utilizar más de 15 clases o categorías.

Intervalos

La gradación de color es apropiada para simbolizar variables cuantitativas continuas y discretas tales como área, precipitación, temperatura, pendiente, ingreso y población. Se recomienda utilizar un máximo de 15 categorías. Los intervalos pueden calcularse utilizando clases o intervalos iguales, naturales (método de Jenks), cuantiles y desviación estándar.

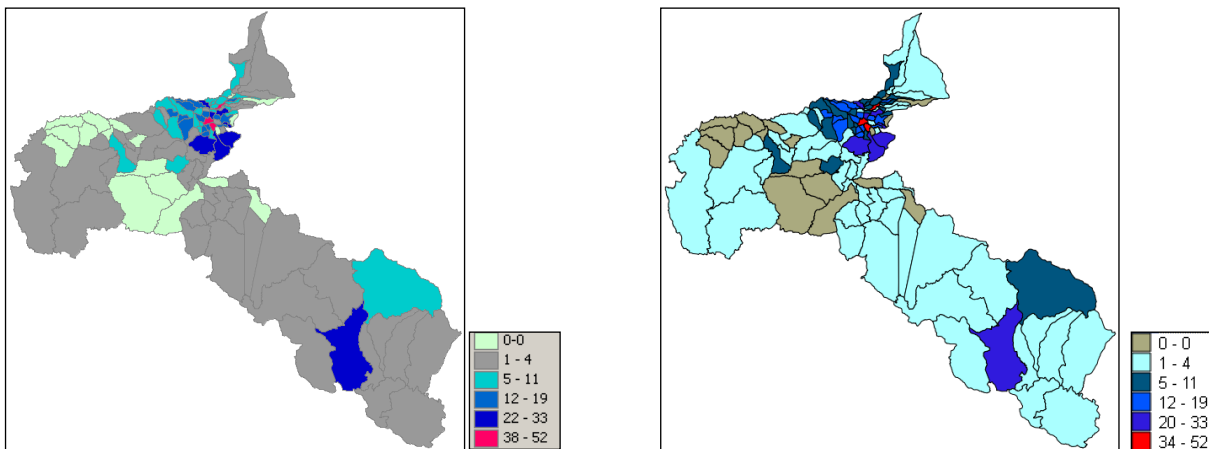


Figura 18: Visualización de capa de geodatos utilizando clases o intervalos. A. gvSIG, B. Quantum GIS. Fuente: elaboración propia.

Densidad de puntos

Este método de simbolización debe utilizarse con polígonos. El valor de la variable a simbolizar es convertido a una densidad (cantidad por unidad de área). Por ejemplo, si usted tiene un mapa de inundaciones por distrito, la frecuencia de inundaciones es convertida en “n” puntos, los cuales se distribuyen en el área del polígono de manera aleatoria (Fig. 19).

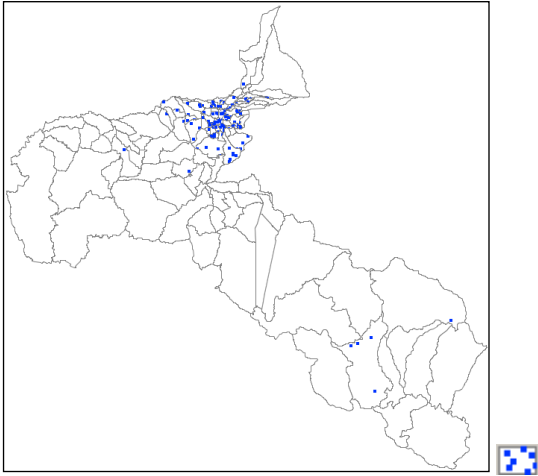


Figura 19: Visualización de capa de geodatos utilizando densidad de puntos. Cada punto equivale a cinco inundaciones. gvSIG. Fuente: elaboración propia.

Símbolos graduados

Muestra valores cuantitativos de los elementos de la capa utilizando un símbolo (e.g. círculo, cuadrado, rombo) cuyo tamaño es proporcional a la cantidad que representa. Por ejemplo, la población por distrito puede utilizarse para simbolizarlos utilizando cinco clases. gvSIG ofrece clases o intervalos iguales, naturales o cuantiles.

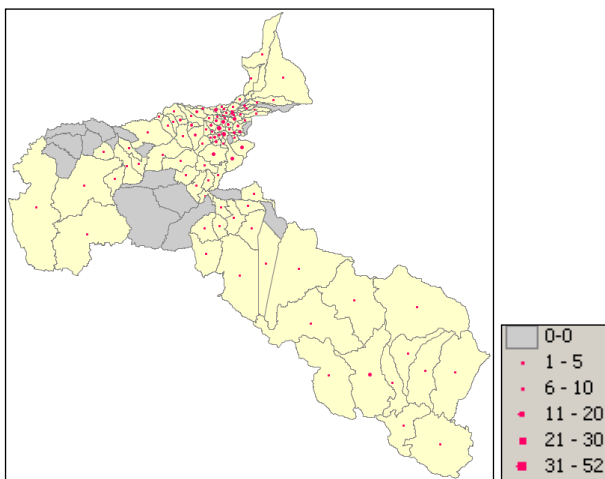
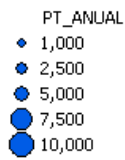


Figura 20: Visualización de capa de geodatos utilizando símbolos graduados. gvSIG. Fuente: elaboración propia.

Símbolos proporcionales



Representa cantidades a través del tamaño del símbolo mostrando valores exactos. El tamaño del símbolo es proporcional a la magnitud de la variable mapeada; sin embargo las clases solo brindan una idea general de la distribución de la variable. Por ejemplo, las estaciones pluviométricas pueden simbolizarse utilizando círculos proporcionales a la cantidad de precipitación. Este método es apropiado para simbolizar polígonos. El tamaño de los símbolos puede modificarse utilizando la ventana digitando el tamaño del símbolo más pequeño y del símbolo más grande.

Métodos de clasificación para símbolos graduados e intervalos

Los métodos más frecuentes utilizados por los diferentes programas de SIG para clasificar variables cuantitativas son:

- **Manual:** Usted elige el límite de las clases que desea utilizar.
- **Intervalos iguales:** Usted elige el número de clases que desea utilizar (e.g. 5 clases).
- **Cuantiles:** Usted elige el número de cuantiles en que desea dividir el set de datos (e.g. 3, 4, 5). Los cuantiles dividen el set de datos en “n” grupos con igual número de observaciones por grupo. Por ejemplo, si utilizamos 4 cuantiles, cada grupo tendrá el 20% de las observaciones.
- **Clases naturales-Método de Jenkis:** El programa utiliza el método de optimización de Jenks para determinar el número de clases en que deben dividirse los datos. Este método de clasificación minimiza la variabilidad al interior de cada clase y maximiza la variabilidad entre clases. El método es apropiado para datos normales.
- **Desviación estándar:** El límite entre clases es determinado utilizando múltiplos de la desviación estándar del set de datos.

Gráficos

Usted puede utilizar gráficos de pasteles, barras/columnas y barras compuestas para simbolizar cualquiera de los atributos cuantitativos de su capa de geodatos.

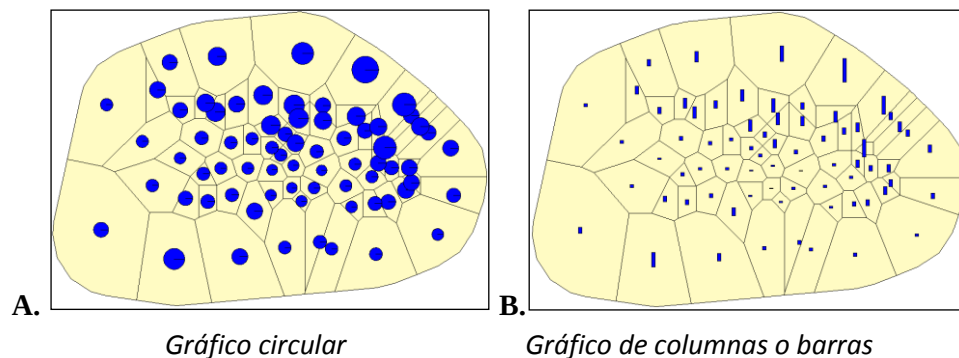


Figura 21: Visualización de capa de geodatos utilizando gráficos de pasteles (A) y de columnas o barras (B). Fuente: elaboración propia.

Atributos múltiples

Usted puede simbolizar simultáneamente una variable cualitativa (e.g. tipo de bosque) y una variable cuantitativa (e.g. pendiente, elevación).

Seleccionar y analizar atributos de una capa de geodatos

Los valores de los registros asociados a una capa de geodatos o a una tabla independiente se pueden utilizar para realizar consultas y análisis tanto de naturaleza espacial como estadístico. La figura 22, ilustra el resultado de la consulta: seleccionar segmentos de carretera (registros) que cumplen con la condición Tipo= “tierra”. El campo “tipo” posee solo dos atributos: lastre y tierra. Una vez seleccionados los registros de interés es posible realizar cálculos estadísticos para los campos numéricos. Antes de realizar una consulta a la tabla usted se debe asegurar que posea el atributo de interés y que además el tipo de dato sea el correcto (ver cuadro 8).

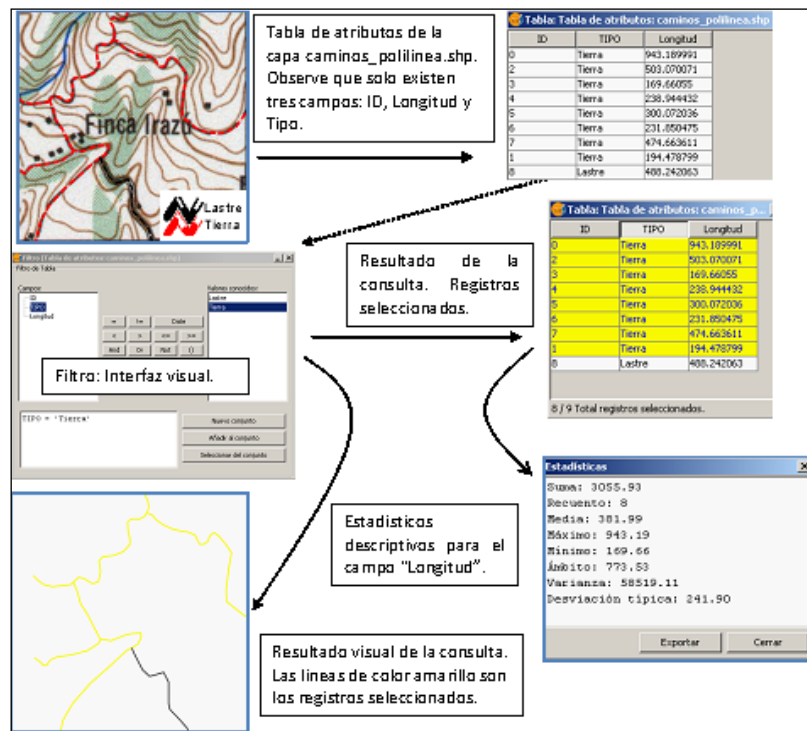


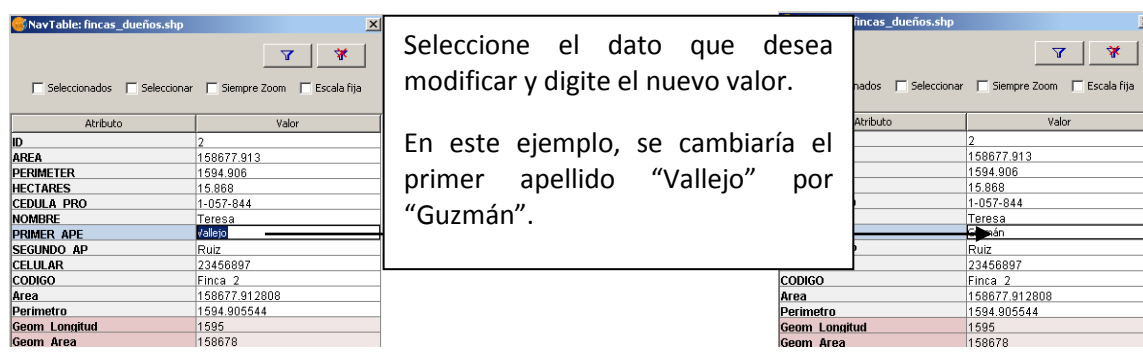
Figura 22: Resultado de la consulta: seleccionar segmentos de carretera (registros) que cumplen con la condición Tipo= “tierra”. Fuente: elaboración propia.

Actualizar atributos de una capa de geodatos

La utilidad de las tablas de atributos en un SIG está estrechamente relacionada con su veracidad, lo cual implica poseer datos actualizados. Sin embargo, con el paso del tiempo toda base de datos se desactualiza; por ejemplo, una finca puede cambiar de dueño o los cultivos pueden cambiar de un año a otro. Nadie está interesado en utilizar información desactualizada para tomar decisiones y por esta razón toda base de datos debe editarse con cierta frecuencia.

La edición de las tabla de atributos puede hacerse en el entorno de SIG o utilizando programas externos como gestores de bases de datos, Excel y hasta editores de texto. Al 2012, todos los programas de SIG proveen herramientas para editar tanto los atributos de entidades asociadas a capas de geodatos como los de tablas externas. La figura 23 ilustra el uso de la herramienta “NavTable” del programa gvSIG para cambiar el valor de un campo y la función “modificar estructura de la tabla” para eliminar varios campos de una tabla asociados a una capa de geodatos. Aun cuando estas herramientas poseen la opción de deshacer la edición, por razones de seguridad, se recomienda siempre trabajar con una copia del archivo.

La edición de atributos utilizando “NavTable” o una herramienta equivalente es apropiada para realizar cambios rápidos en unas pocas entidades (registros); sin embargo cuando se deben hacer cambios mayores es recomendable utilizar un programa de gestión de bases de datos o aún Excel. “NavTable” permite cambiar cualquiera de los valores de la tabla y eliminar registros, pero no permite crearlos. También permite copiar valores de otras aplicaciones como Excel, Word o el bloque de notas y pegarlos en un campo de la tabla. Al pegar valores, asegúrese de que son del mismo tipo.



Seleccione el dato que desea modificar y digite el nuevo valor.

En este ejemplo, se cambiaría el primer apellido “Vallejo” por “Guzmán”.

Atributo	Valor
ID	2
AREA	158677.913
PERIMETER	1594.906
HECTARES	15.868
CEDULA_PRO	1-057-844
NOMBRE	Teresa
PRIMER_APE	Vallejo
SEGUNDO_AP	Ruiz
CELULAR	23456897
CODIGO	Finca_2
Area	158677.912808
Perimetro	1594.905544
Geom Longitud	1595
Geom Area	158678

ID	AREA	PERIMETER	HECTARES	CODIGO	CEDULA_PRO	NOMBRE	PRIMER_APE	SEGUNDO_AP	CELULAR	Area	Perimetro
2	158677.913	1594.906	15.868	Finca_2	1-057-844	Teresa	Vallejo	Ruiz	23456897	158677.912...	1594.905544
7	133260.84	1415.496	13.326	Finca_7	3-235-695	Pedro	Valverde	Cruz	87654321	133260.839...	1415.495553
3	16520.19	581.215	1.652	Finca_3	3-568-697	Jaine	Vallejo	Ruiz	33579869	16520.189753	581.214712
1	157594.064	1688.616	15.758	Finca_1	1-057-845	Jacinto	Sevilla	Valverde	65432189	157594.06427	1688.61645
6	168379.794	2228.218	16.838	Finca_6	3-658-125	Eliseo	Bello	Cruz	56789432	168379.793...	2228.217666
5	208841.577	2246.217	20.884	Finca_5	8-587-697	Juana	Valverde	Cruz	12345678	208841.577...	2246.217198
4	156735.623	2460.92	15.674	Finca_4	8-658-974	Eleonara	Valverde	Cruz	36987542	156735.622...	2460.919516

0 / 7 Total registros seleccionados.

Tabla original

Figura 23A: Uso de la herramienta “NavTable” del programa gvSIG para cambiar el valor de un campo en una tabla. Una vez cerrada la sesión de edición, los cambios son permanentes. Fuente: elaboración propia.

Editor de campos

Puede añadir, borrar o renombrar los campos:

Nombre del campo	Tipo	Tamaño	Precisión decimal	Valor por defecto
ID	Integer	11	0	
AREA	Double	16	6	
PERIMETER	Double	16	6	
HECTARES	Double	16	6	
CODIGO	String	25	0	
CEDULA_PRO	String	9	0	
NOMBRE	String	8	0	
PRIMER_APE	String	8	0	
SEGUNDO_AP	String	8	0	
CELULAR	Integer	8	0	
Area	Double	13	6	
Perimetro	Double	13	6	

Nuevo campo
Renombrar Campo
Borrar campo

Se desea eliminar los campos AREA, PERIMETER Y HECTARES de la tabla de atributos. Para borrarlos, solo debe marcarlos y luego hacer un clic sobre “Borrar campo”.

Tabla: Tabla de atributos: fincas_duenos.shp

ID	CODIGO	CEDULA_PRO	NOMBRE	PRIMER_APE	SEGUNDO_AP	CELULAR	Area	Perimetro
2	Finca_2	1-057-844	Teresa	Vallejo	Ruiz	23456897	158677.912...	1594.905544
7	Finca_7	3-235-895	Pedro	Valverde	Cruz	87654321	133260.839...	1415.495553
3	Finca_3	3-568-897	Jaime	Vallejo	Ruiz	33579869	16520.189753	581.214712
1	Finca_1	1-057-845	Jacinto	Sevilla	Valverde	65432189	157584.06427	1688.61645
6	Finca_6	3-658-125	Eliseo	Bello	Cruz	56789432	168379.793...	2228.217666
5	Finca_5	8-587-697	Juana	Valverde	Cruz	12345678	208841.577...	2246.217198
4	Finca_4	8-658-974	Eleonara	Valverde	Cruz	36987542	156735.622...	2460.919516

0 / 7 Total registros seleccionados.

Figura 23B: Uso de la herramienta “NavTable” del programa gvSIG para eliminar varios campos de una tabla. Una vez cerrada la sesión de edición, los cambios son permanentes. Fuente: elaboración propia.

Relación y asociación de tablas

Como ya se mencionó, una base de datos es en esencia un conjunto de tablas utilizadas para organizar registros y los valores de sus respectivos atributos. Cada tabla está formada por filas o registros únicos en la base de datos; en tanto que las columnas o campos representan los atributos de cada registro. Ahora bien, si las tablas son independientes ¿cómo mantener el orden en la bases de datos? La respuesta es utilizando claves. Cada tabla de la base de datos debe tener una o más columnas designadas como clave principal. El valor de esta clave tiene que ser único para cada registro en la base de datos. Cuando usted utiliza un sistema de gestión de base de datos esta tarea se facilita pues una vez que usted elige y digita el valor de una clave principal el sistema hará cumplir la unicidad de la misma (no permite que dos registros tengan el mismo valor). La mayoría de las bases de datos son capaces de generar sus propias claves primarias. Por ejemplo Microsoft Access (RecordID) y ArcGIS (OID, Id o FID), pueden crear un identificador único para cada registro en una tabla. Este método aunque eficiente, tiene la limitante de que no tiene ningún significado fuera del sistema de base de datos.

La selección de una clave primaria es una de las principales decisiones que debe hacerse en el diseño de una nueva base de datos. La restricción más importante es que la clave elegida debe ser única. Por ejemplo, debe preguntarse ¿es posible que dos registros en el pasado, presente o futuro pueden compartir el mismo valor para un atributo?, si la respuesta es “sí” su elección no es correcta y debe buscar otro atributo como clave. Algunos ejemplos de claves principales son:

- ✓ número de cédula: el número de cédula es único para cada ciudadano.
- ✓ Código único asignado a un producto
- ✓ Número de chasis de un automotor

- ✓ Campo RecordID creado por Microsoft Access. Este es un campo que incrementa automáticamente cada vez que crear un nuevo registro.

Las pautas para el diseño de bases de datos indican que la misma debe organizarse utilizando varias tablas, cada una enfocada en un tema específico, en lugar de una tabla grande que contenga todos los campos requeridos por el usuario. Esto evita la duplicidad o redundancia de atributos innecesarios en la base de datos, pues el dato se almacena sólo una vez en la tabla. Y cuando se necesite información sobre un atributo que no se encuentra en la tabla actual se puede vincular a otra tabla utilizando el campo designado como clave.

El software de SIG y en general las principales bases de datos permiten relacionar y asociar registros de una tabla con los registros de otra tabla a través de un campo común, denominado clave primaria o principal y otro externa. La clave se denomina compuesta o concatenada cuando consta de dos o más atributos. Estas asociaciones son usualmente temporales aunque si se utiliza una geobase de datos las mismas pueden declararse como permanentes.

Claves externas

Las claves externas se utilizan para crear relaciones entre tablas que comparten relaciones naturales en la base de datos. Por ejemplo, las fincas poseen dueños y los dueños tienen atributos personales. En una base de datos se crearía una tabla sobre fincas y otra sobre propietarios; sin embargo no tendría sentido que la primera poseyera además de sus atributos (e.g. área, perímetro) los atributos de sus dueños. En su lugar, se puede crear una relación entre las dos tablas utilizando una clave primaria y otra externa.

Supongamos que la tabla de propietarios utiliza el campo “cédula” como clave principal. Para crear una relación entre las dos tablas, se añade una nueva columna a la tabla de fincas llamado “cédula” en la cual se digita la cédula de cada dueño y se designa como una clave externa que hace referencia a la tabla de dueños (Fig. 24). El sistema de gestión de bases de datos hará cumplir la integridad referencial, asegurando que todos los valores en la columna de propietarios de la tabla de dueños tengan sus correspondientes entradas en la tabla de fincas. En este caso no existe la restricción de unicidad en la clave externa; ya que un dueño puede poseer más de una finca; aunque lo opuesto es válido, o sea, una finca solo puede tener un dueño. Del mismo modo es posible que algún nombre que aparece como dueño no tenga ninguna finca en la zona de estudio.

Las uniones pueden ser de uno a uno o de uno a muchos. En el primer caso cada registro de la tabla fuente tiene un homólogo en la tabla receptora. Por ejemplo, cada una de las tablas tiene 100 registros. En el segundo caso un registro de la tabla fuente se une a dos o más registros de la tabla destino (Fig. 25). Por ejemplo, una tabla que describe los códigos de una capa de uso-cobertura puede tener solo siete registros o clases de uso-cobertura y se une a una capa de geodatos que contiene 200 registros (e.g. polígonos).

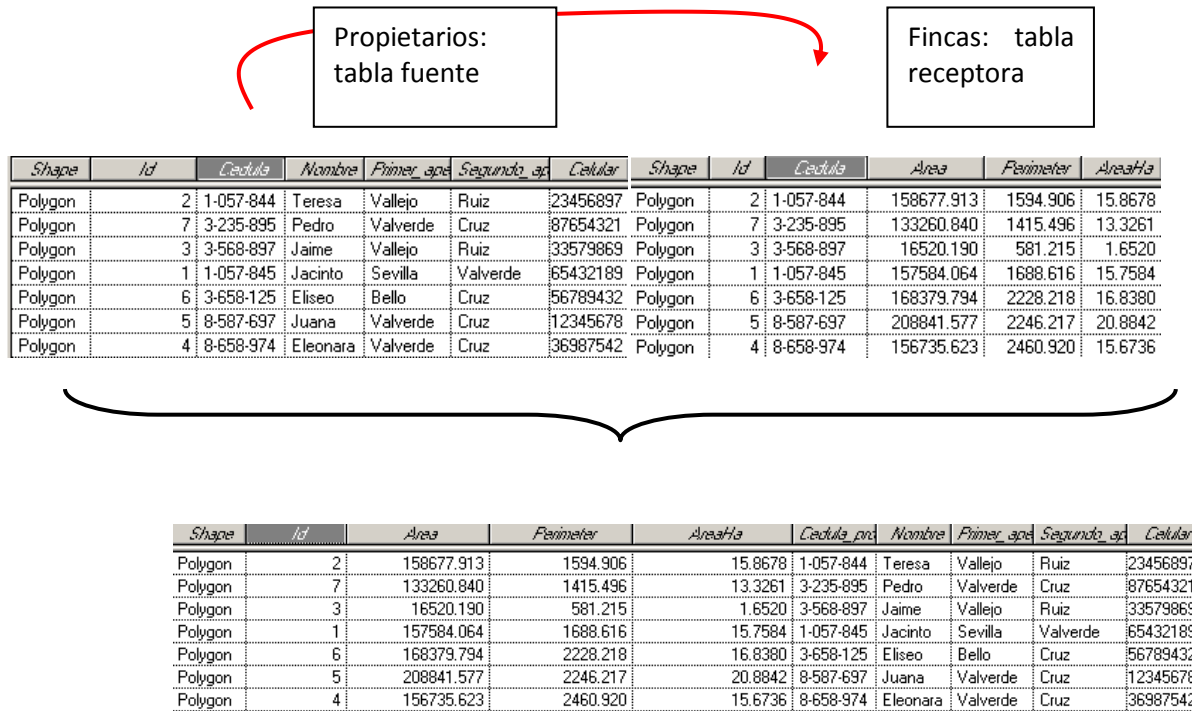


Figura 24: Ilustrar de unión de tablas. La tabla de la capa de fincas adquiere de manera temporal los atributos de la tabla “propietarios”. Fuente: elaboración propia.

Attributes of uso_chira							
	FID	Shape *	AREA	USO	PERIMETER	RECNO	HECTARES
	0	Polygon	1710080	bosque	9558.64978	1	171.008
	1	Polygon	16333000	pasto			
	2	Polygon	1324080	bosque			
	3	Polygon	198006.526855	bosque			
	4	Polygon	41602.679932	pasto			
	5	Polygon	120123.597412	pasto			
	6	Polygon	3076320	mangle			
	7	Polygon	80338.764893	mangle			
	8	Polygon	63530.431885	bosque			
	9	Polygon	14019.3479	pasto			
	10	Polygon	2512.781738	pasto			

Attributes of uso_desc		
	OID	USO
	0	bosque
	1	espejo agua
	2	mangle
	3	pasto
	4	plaza
	5	salina
	6	veg_arbustiva

Figura 25: Relación de uno a muchos. El campo “uso” es utilizada como campo común entre ambas tablas. Fuente: elaboración propia.

Normalmente, usted unirá una tabla de datos independiente a una capa de geodatos a partir del valor de un campo existente en ambas tablas. El nombre del campo no tiene que ser el mismo, aunque sí el tipo de datos; una números a números y cadenas de caracteres a cadenas de caracteres. Si las capas del mapa no comparten un campo común, puede unirlas utilizando una unión espacial, la cual une los atributos de dos capas basada en la ubicación de las entidades de las capas. Este tema lo trataremos en la sección de geoprocetamiento del presente capítulo.

2.3. Geoprocesamiento: De Geodatos a GeoInformación

El geoprocesamiento es un término que engloba tres aspectos fundamentales de un SIG: automatización de procedimientos, análisis geoespacial y modelado de aspectos de la vida real. La mayoría de las tareas que usted realiza en un SIG son, hasta cierto punto, repetitivas y por lo tanto es deseable utilizar métodos y procedimientos de trabajo que permitan automatizar, documentar y posteriormente compartir los pasos o procedimientos como parte de un flujo de trabajo (Fig. 26).

Por más complejos que parezcan los procedimientos, en realidad son una secuencia lógica y concatenada de operaciones que nos permiten analizar de manera automatizada las complejas relaciones espaciales que caracterizan a los entes o elementos de la realidad. Cada herramienta está diseñada para realizar una operación que puede parecer sencilla, pero esencial, al analizar geodatos, como el cambio de proyección de un set de geodatos, agregar o borrar un registro en una tabla o crear una zona de amortiguamiento alrededor de elementos geométricos. Esta ventaja del SIG computarizado también puede convertirse en una trampa mortal si el usuario no tiene claridad de lo que hace o si selecciona capas de datos erróneas, recuerde que el software solo ejecuta lo que usted le solicita.

Las tareas a automatizar puede ser tan simples como transformar un conjunto de geodatos de un formato a otro o tan complejas como modelar las relaciones espaciales de fenómenos naturales como el ciclo hidrológico, la productividad de una finca, la trayectoria esperada de un incendio forestal o el cálculo de rutas óptimas de distribución en una red de transporte. Las herramientas de geoprocesamiento permiten automatizar los flujos de trabajo, proporcionando un entorno de trabajo eficiente y un mecanismo para combinar una serie de operaciones y procesos en una secuencia lógica que facilita el análisis y la toma de decisiones.

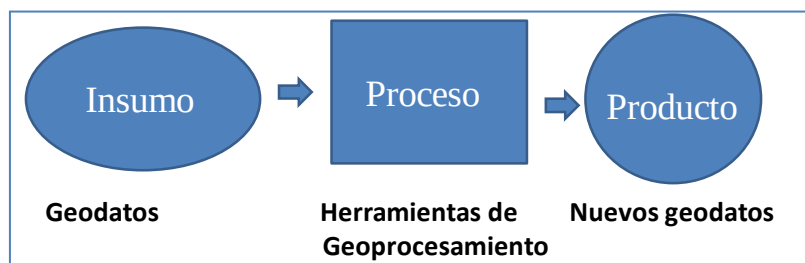


Figura 26: Concepto de flujo de trabajo. Fuente: elaboración propia.

El análisis geoespacial consiste, entonces, en utilizar software, geodatos, la computadora, procedimientos y operadores geoespaciales (fórmulas matemáticas) con el fin de responder a preguntas de naturaleza espacial ya sea de forma individual o como parte de un modelo que describe una situación particular del mundo real. El objetivo del geoprocesamiento es crear nuevos geodatos, los cuales deben ser interpretados y evaluados por el usuario final. En la práctica, el análisis geoespacial es un proceso interactivo que requiere de revisiones en cada paso, lo cual permite retroalimentar el proceso con nuevas ideas, procedimientos y conocimientos. La calidad de los resultados depende de la veracidad de los geodatos utilizados, los métodos de análisis seleccionados y el conocimiento temático del usuario y en menor grado del software utilizado. Algunas preguntas típicas de un análisis geoespacial son:

- ¿Cuál es el agroservicio más cercano a mi casa?
- ¿Cuáles casas se encuentran en un radio de 100 m con respecto a la ubicación de una ruta de fumigación aérea?
- ¿Cuál es el uso-cobertura mi finca?
- ¿Dónde y cuánto se regeneró de bosque entre 1992 y 2005 en mi finca?
- ¿Cuál es la localidad optima para plantar una variedad “X” de cultivo?
- ¿Cómo se dispersará un plaguicida en el aire ó en un cuerpo de agua?
- ¿Cuál es la relación entre tipo de suelo, niveles de fertilizante, precipitación, temperatura, humedad relativa y productividad en un cultivo dado?

El uso exitoso de las herramientas que ofrece un software de SIG, dependen de:

- ☺ Definir con claridad sus objetivos y las preguntas que desea responder.
- ☺ Organizar los geodatos/datos requeridos en su estudio.
- ☺ Definir la metodología de análisis y expresarla visualmente como un diagrama de flujo (modelo geoespacial).
- ☺ Ejecutar su modelo geoespacial utilizando las mejores herramientas que le provee el software.
- ☺ Analizar e interpretar los resultados de su modelo (hacer gráficos, simbolizar y visualizar las nuevas capas, realizar pruebas estadísticas). Evaluar la verosimilitud de sus resultados.
- ☺ Listar sus principales conclusiones, documentar sus resultados y proponer acciones que deben ponerse en práctica.
- ☺ Socializar sus resultados, conclusiones y recomendaciones.
- ☺ Crear metadatos.

Para realizar un análisis geoespacial, los entes del mundo real (e.g. ríos, montañas, distritos, cuencas, fincas) deben transformarse en una *clase de elemento (Feature class)* o en un archivo ráster. Este tema se trató con profundidad en el capítulo previo, por cuanto ahora solo se indicará que el primero es un conjunto de elementos geográficos con la misma geometría (punto, línea ó polígono) que comparten los mismos atributos y el mismo sistema de referencia; en tanto que el segundo es una matriz rectangular georreferenciada. Estos elementos pueden almacenarse en una geobase de datos, como *shapefiles*, como coberturas ó en otros formatos propios de los geodatos (e.g. DWG, DXF) o en como una capa ráster.

2.3.1. Extraer

El verbo extraer hace referencia a poner algo fuera del lugar donde estaba contenido o a sacar de una cosa alguna de las partes que la componen o constituyen³. En una capa de geodatos significa obtener uno o más de sus elementos geométricos o si trabajamos con una tabla seleccionar y extraer alguno de sus registros. Esta operación se utiliza como parte de un proceso de análisis o cuando se está preparando un subconjunto de los elementos que conforman la base de geodatos. Por ejemplo, usted posee una capa con 1000 fincas, sin embargo solo desea trabajar con dos de ellas o posee una copia de la base de datos de los segmentos censales de Costa Rica para el

³ <http://www.rae.es/rae.html>

año 2000 pero está requiere los datos de Santa Ana. A continuación se describen las operaciones de cortar, dividir y seleccionar registros de una tabla.

Recortar (*Clip*)

Esta operación permite recortar puntos, líneas ó polígonos de una capa utilizando un polígono de otra capa (Fig. 27). La tabla de la nueva capa mantiene los atributos de la capa de insumo.

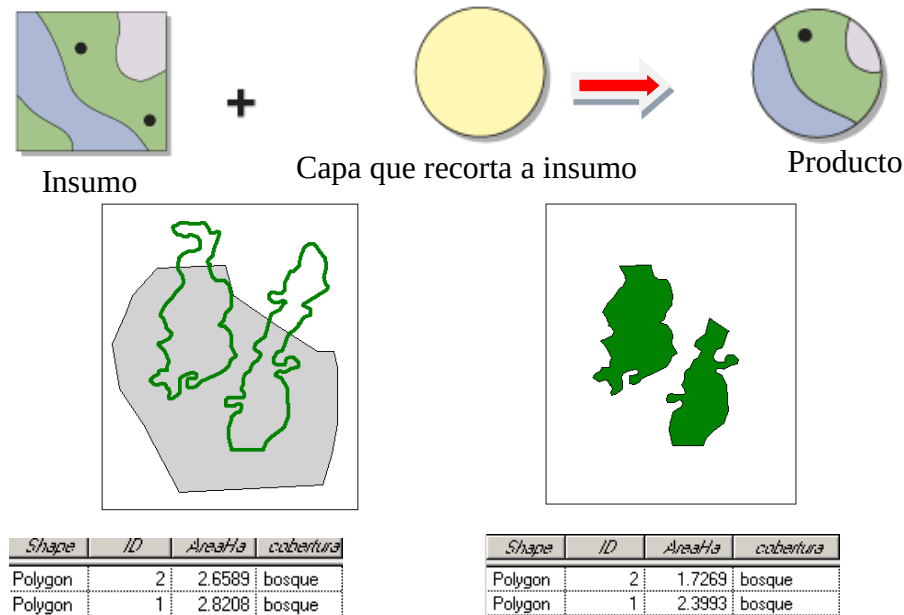


Figura 27: La operación recortar permite extraer puntos, líneas o polígonos de una capa utilizando un polígono de otra capa. El ejemplo muestra la extracción del bosque que se encuentra en la finca de Juan. Fuente: elaboración propia.

Dividir

Esta herramienta permite dividir o segregar los elementos de una capa de geodatos en “n” subsets utilizando un campo de texto con valores únicos en otra capa de polígonos. La capa insumo puede ser de puntos, líneas ó polígonos en tanto que la “capa de recorte” debe ser de polígonos. La operación crea “n” archivos correspondientes a cada uno de los “nombres” o valores únicos en el campo de texto del polígono utilizado para recortar la capa de insumo (Fig. 28). Dependiendo del software utilizado, las capas creadas por la operación tienen topología. La tabla de las nuevas capas mantienen los atributos de la capa de insumo.

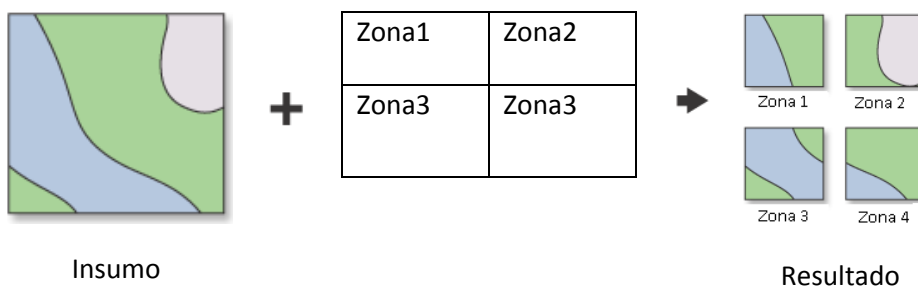


Figura 28: La herramienta segregar permite dividir una capa de geodatos en “n” subsets utilizando un campo de texto con valores únicos en otra capa de polígonos. Fuente: elaboración propia.

Seleccionar registros de una tabla

La operación extraer registros de una tabla opera de manera similar a la selección por atributos con la diferencia de que los registros seleccionados son guardados en una nueva tabla (Fig.29). La misma funcionalidad puede lograrse seleccionando los registros de interés y luego guardando la tabla con otro nombre.

FID	Shape *	AREA	USO
0	Polygon	1710080	bosque
1	Polygon	16333000	pasto
2	Polygon	1324080	bosque
3	Polygon	198006.526855	bosque
4	Polygon	41602.679932	pasto
5	Polygon	120123.597412	pasto
6	Polygon	3076320	mangle
7	Polygon	80338.764893	mangle
8	Polygon	63530.431885	bosque

Tabla insumo

SQL

(búsqueda por atributos)

"USO" =
'bosque'

OID	AREA	USO
0	1710080	bosque
1	1324080	bosque
2	198006.526855	bosque
3	63530.431885	bosque
4	8070.350586	bosque
5	106732.965332	bosque
6	5614.301758	bosque
7	13083.688721	bosque
8	169668.575439	bosque

Tabla producto

Figura 29: Selección de registros de una tabla. Fuente: elaboración propia.

2.3.2. Análisis de superposición

El operando sobreponer es uno de las más utilizadas en análisis geoespacial. El mundo real está conformado por una serie de capas espacialmente entrelazadas (e.g. ríos, carreteras, uso-cobertura); sin embargo en el entorno informático del SIG cada elemento forma parte de una capa independiente y es precisamente esta operación la que permite integrar dichas capas para responder a la pregunta "¿qué está encima de qué?" como se muestra a continuación:

- ☺ ¿Cuántas propiedades se encuentran en la zona de protección de un río?
- ☺ Usted mapea las áreas con pendiente mayor a 50% y luego desea saber ¿qué proporción de la finca posee dicha pendiente?
- ☺ ¿Cuántas casas se encuentran en un radio de 500 m de una planta de agroquímicos?
- ☺ ¿Cuáles casas con personas mayores a 75 años se encuentran a una distancia menor de 500 m de una estación de combustible?
- ☺ ¿Cuántos kilómetros de carretas cruzan por áreas boscosas?
- ☺ La municipalidad del cantón "X" desea actualizar el mapa de uso cobertura de 1990 con datos de uso-cobertura del 2010.

Para responder estas preguntas los primeros cartógrafos y analistas ambientales creaban mapas en hojas de plástico transparente que superponían utilizando una mesa de luz como se ilustra en la figura 30. Debido a que la superposición genera información valiosa fue una de las primeras funciones desarrolladas en el SIG.

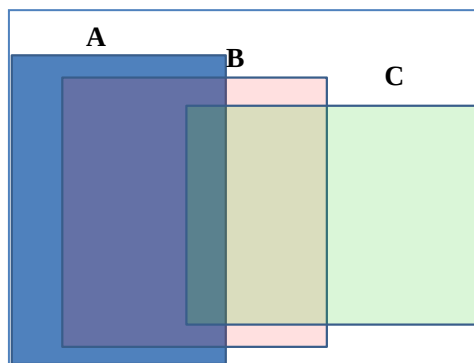


Figura 30: Concepto de superposición utilizando tres capas de geodatos transparentes: A, B y C. La capa A traslapa parcialmente con las capas B y C. La capa B traslapa parcialmente con las capas A y C y la capa C traslapa parcialmente con las capas B y A. Fuente: elaboración propia.

Métodos de superposición

La superposición de capas de geodatos puede dividirse en dos grandes grupos: el primero, basado en entidades vectoriales (puntos, líneas o polígonos) y el segundo en archivos tipo ráster. Aunque no existe una clasificación estricta de aplicaciones que deban realizarse con uno u otro método, es frecuente utilizar la superposición ráster en tareas como la ubicación de una localidad que reúna determinados criterios. Otro aspecto a considerar es el formato original de los geodatos; por ejemplo, si ocho de diez capas requeridas para un análisis se encuentran en formato ráster, lo más prudente es realizar el trabajo utilizando este formato. Recuerde que indistintamente del formato original de los geodatos siempre es posible cambiarlo (e.g. de vector a ráster y viceversa).

Superposición de entidades (vectorial)

En todo proceso de superposición de entidades intervienen tres capas de geodatos: la de entrada o insumo, la de superposición y la de salida. La función superposición divide las entidades de la capa de entrada donde hacen contacto con las entidades de la capa de superposición, creando nuevos elementos donde se intersecan los elementos; sin modificar las capas originales. Tanto los atributos de las entidades de la capa de superposición como de la capa de entrada se asignan a las nuevas entidades en la capa de salida.

En un sistema vectorial se asume que cada polígono representa una superficie cuyos límites pueden definirse con exactitud en el terreno. Este supuesto puede ser correcto para mapas político-administrativos o planos catastrales pero poco razonable para datos de naturaleza probabilística como los de suelos, geología o para aquellos que presentan un gradiente como precipitación y temperatura. Por lo tanto, el producto de todo proceso de superposición debe evaluarse cuidadosamente y considerando las limitaciones de los datos de insumo.

Polígonos ficticios

Uno de los problemas más serios de la superposición de dos o más capas vectoriales es la creación de polígonos ficticios; los cuales reciben este nombre por poseer un área muy pequeña comparada con el tamaño de los polígonos de insumo y por ser alargados. El origen de dichos polígonos puede ser la no coincidencia espacial en los límites de las diferentes capas de geodatos utilizadas en un proyecto o simplemente el producto del cruce de las diferentes capas de geodatos (Fig. 31). Esto puede notarse fácilmente si usted sobrepone cualquiera de los mapas de uso cobertura de la tierra de Costa Rica y el mapa geológico o el de subgrupos de suelos.

El problema de los polígonos ficticios puede resolverse disolviéndolos después de realizar la operación de superposición. Para esto usted debe elegir el tamaño mínimo de polígono que desea conservar y luego utilizando el software de SIG disolver los polígonos cuya área es menor a la seleccionada en los polígonos vecinos. Otra opción es configurar su programa para que al realizar una operación de sobreposición automáticamente disuelva los polígonos ficticios. En cualquiera de los casos debe tener cuidado de seleccionar el área mínima apropiada de tal forma que elimine los polígonos muy pequeños pero mantenga los que tienen sentido geográfico.

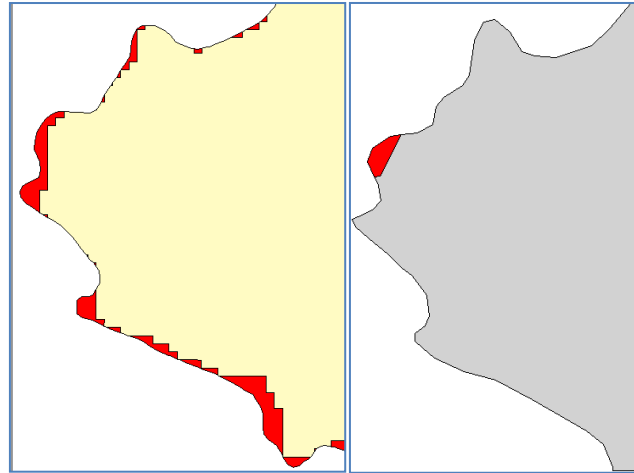


Figura 31: Polígonos ficticios. El tamaño medio de los polígonos en el mapa de la izquierda es de 0,28 ha en tanto que para el segundo es de 0,73 ha. El área mínima del polígono dependerá de la escala del mapa y del grado de detalle que tenga sentido preservar en el producto final. Fuente: elaboración propia.

En un sistema ráster el tamaño de la celda (resolución) establece el límite superior de la resolución geoespacial de la base de datos y por lo tanto no se tiene un equivalente de polígonos ficticios; aunque si puede presentarse un efecto denominado “sal y pimienta” o celdas aisladas inmersas en zonas homogéneas. En este caso la solución es utilizar un filtro disolver el pixel aislado en su entorno y de esta manera generalizar la capa de geodatos.

La solución ideal a estos problemas de datos es utilizar fuentes de igual calidad, sin embargo esto no es siempre posible y por tanto la solución práctica es utilizar las herramientas que ofrece el software de SIG para ajustar los límites entre capas de geodatos. Esta decisión tendrá implicaciones importantes en la integridad de la base de datos y dado que no existe una regla general que pueda aplicarse, se debe documentar y justificar la decisión adoptada.

Superposición de mallas o matrices regulares (ráster)

En una base de geodatos de malla o matriz regular cada celda hace referencia a la misma ubicación geográfica; lo cual permite combinar los atributos de varias capas en una sola capa. El software actual no requiere que todas las capas tengan la misma resolución, aunque por razones técnicas sí es algo deseable. Normalmente, cada celda posee un valor numérico para el atributo que representa (e.g. elevación), lo que le permite combinarse matemáticamente con otras capas y asignar un nuevo valor a cada celda en la capa de salida. En el presente libro

no se trata este tema, por cuanto se recomienda al lector utilizar el manual de su software de SIG para profundizar en este aspecto de la superposición.

Traslape vectorial

A diferencia del método manual, la operación de traslapar en un SIG automatizado es mucho más que recubrir una capa con otra; ya que el producto hereda los atributos de las entidades que forman parte de la superposición como se muestra en la figura 32. En este caso la capa uno puede representar propiedades (polígonos), la capa dos zonas inestables (polígonos) y la capa tres áreas inundables (polígonos). El nuevo set de datos (polígono) sintetiza espacialmente la coincidencia de las tres condiciones. Los polígonos se dividen donde cruzan un límite de uno o más polígonos y se crean nuevos polígonos.

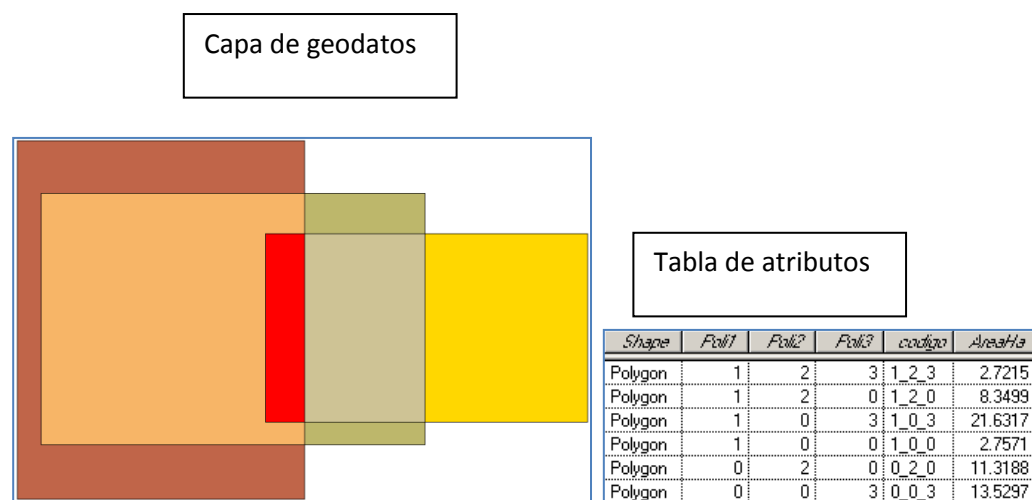


Figura 32: Concepto de superposición utilizando tres capas de geodatos poli1, poli2 y poli3. Las capas 1, 2 y 3 se traslapan parcialmente; así como las capas 1-2 y 1-3. La tabla de atributos muestra el área para cada una de las combinaciones. Fuente: elaboración propia.

En un entorno de SIG, el termino sobreponer se utiliza para referirse a una serie de procedimientos que permiten superponer varias clases de entidad (e.g. líneas y polígonos) para unir (combinar), borrar, modificar o actualizar entidades geométricas, produciendo una nueva capa de geodatos; la cual aporta nueva información. Existen seis tipos de operaciones de superposición (cuadro 12), las cuales implican la unión de dos capas existentes de entidades en un conjunto único para identificar sus relaciones espaciales.

Cuadro 12: Operaciones de sobreposición.

Operación	Capa de Insumo	Capa de traslape	Descripción
Borrar	Cualquiera	Polígono	Borra elementos de una capa utilizando un polígono de otra capa.
Identidad	Polígono	Polígono	Crea una nueva capa de geodatos que contiene la capa de insumo más los elementos de la capa identidad que intercepten la capa de insumo.
Interceptar	Cualquiera	Polígonos	Crea una nueva capa de geodatos a partir de los elementos que se interceptan en ambas capas de geodatos. Se heredan los atributos de ambas capas.
Unión	Polígono	Polígono	Crea una nueva capa de geodatos a partir de dos o más

			capas de insumo. Se heredan los atributos de ambas capas.
Actualizar	Polígono	Polígono	Crea una nueva capa de geodatos a partir de la superposición de dos capas de polígonos y la utilización de manera concatenada de las operaciones cortar y pegar.
Unión geoespacial	Cualquiera	Cualquiera	Esta operación permite determinar la proximidad (distancia euclidiana) entre dos o más elementos de capas de geodatos de puntos, líneas y polígonos.

Fuente: elaboración propia.

Borrar elementos de una capa

La operación borrar elementos permite borrar puntos, líneas o polígonos de una capa utilizando polígonos de otra capa. La figura 33 se ilustra el resultado de borrar los parches de bosque que se encuentran en la finca de Juan.

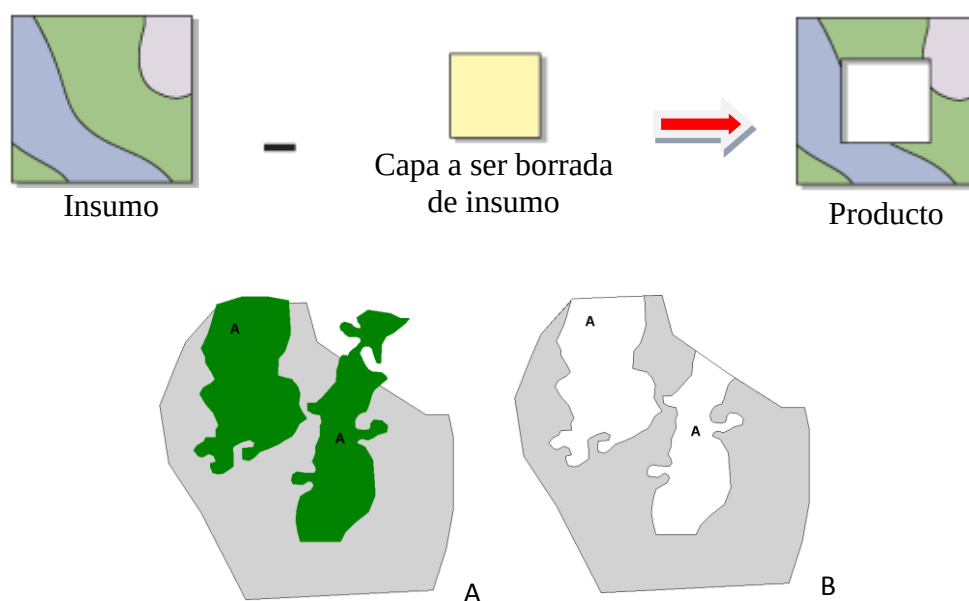


Figura 33: Ejemplo de operación borrar. La sección derecha (A) muestra las dos capas de geodatos: el bosque de color verde y la finca de Pedro de color gris. En la sección B se observa el resultado de la operación borrar. Fuente: elaboración propia.

Identidad

Esta operación crea una nueva capa de geodatos que contiene la capa de insumo más los elementos de la capa identidad que intercepten con la capa insumo (Fig. 34). La capa insumo puede contener puntos, líneas o polígonos; en tanto que la capa identidad debe ser de polígonos. Si su programa de SIG crea una capa con elementos múltiples se recomienda convertirlos a elementos simples. La nueva capa de geodatos contiene todas las características de la capa de insumo más la de aquellos elementos del tema identidad que se superponen con el tema de insumo. Esta operación no es conmutativa como puede observarse en la figura 34 y por lo tanto cuando se utilice se debe tener claridad en cuanto a cuál capa es insumo y cuál identidad.

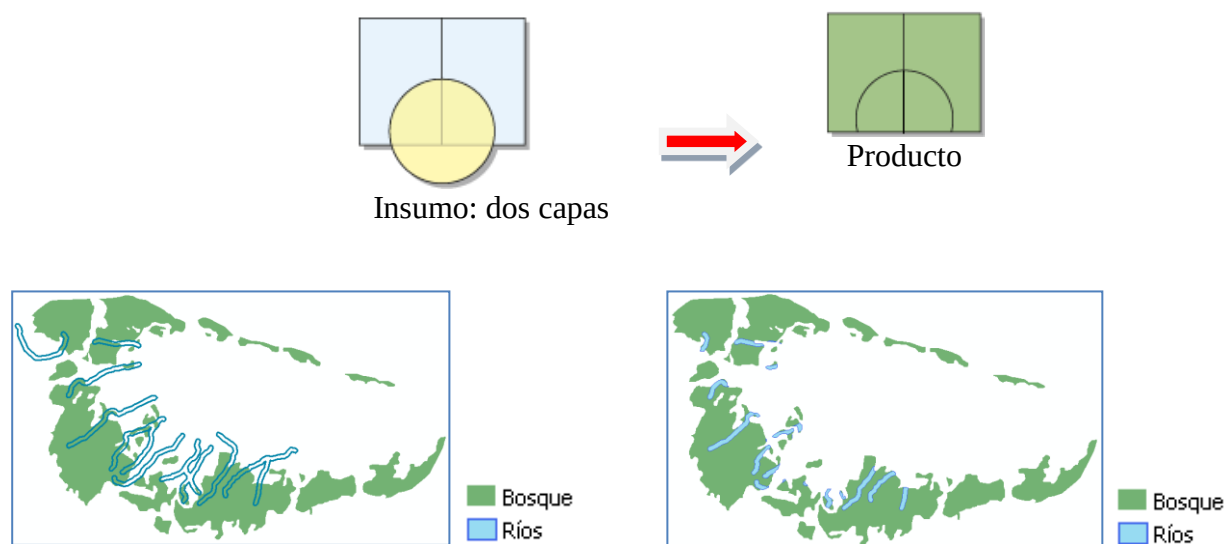


Figura 34: Ejemplos de la operación identidad. El bosque es la capa “insumo” y los ríos la capa “identidad”. La nueva capa contiene los elementos de la capa insumo más aquellos de la capa identidad que interceptan con la capa insumo. Fuente: elaboración propia.

Interceptar

El operando interceptar crea una nueva capa de geodatos a partir de los elementos que se interceptan en dos capas de insumo; en la lógica Booleana corresponde a la operación “Y”. La nueva capa hereda los atributos de ambas capas de insumo. Usted puede interceptar dos capas de polígonos, una capa de líneas y otra de polígonos o una capa de puntos y otra de polígonos. Si su programa de SIG crea una capa con elementos múltiples se recomienda convertirlos a elementos simples.

Interceptar polígonos

Esta operación es similar a la de extraer con la diferencia de que en este caso la nueva capa de geodatos hereda los atributo de las capas de insumo. La figura 35 ilustra la interceptación de la capa “finca de Juan” con la capa “bosque”. El producto es el área común de ambas capas.

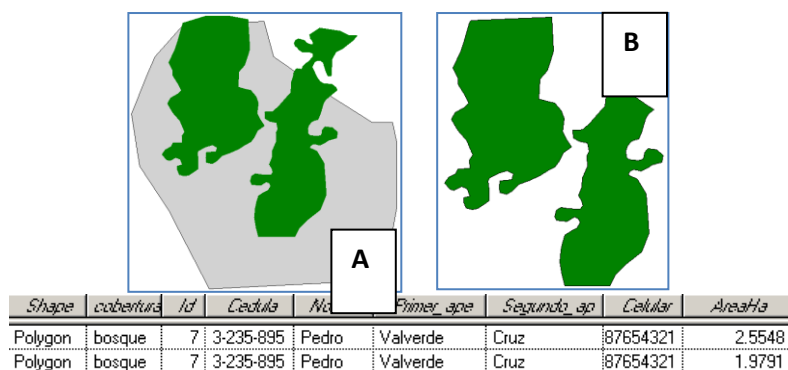


Figura 35: Ejemplo de operación interceptación. La sección derecha (A) muestra las dos capas de geodatos a interceptar (bosque y finca de Pedro). En la sección B se observa el resultado de la operación. Fuente: elaboración propia.

Interceptar línea y polígono

En la sección 2.3.1 se mencionó que una de las limitaciones de la operación interceptar línea y polígono como parte de la función "selección por ubicación" es que no es posible individualizar los segmentos de línea que interceptan a los polígonos. Esta limitante puede subsanarse utilizando la operación superposición de línea y polígono de la función de superposición.

Suponga que usted tiene dos capas de geodatos: caminos y uso-cobertura de la tierra (A) (Fig. 36) y que desea saber cuáles segmentos de carretera interceptan con un parche de bosque. La figura 43B muestra el resultado de la operación. Observe que en este caso, el software creó un segmento de línea cada vez que la carretera interceptó a un polígono y heredó los atributos del polígono. Una vez concluido el análisis de intercepción es posible responder a otras preguntas como: ¿Cuántos y cuál es la longitud de los segmentos de carreteras que cruzan por parches de bosque? La respuesta es: siete segmentos y su longitud total es de 594, 2 metros.

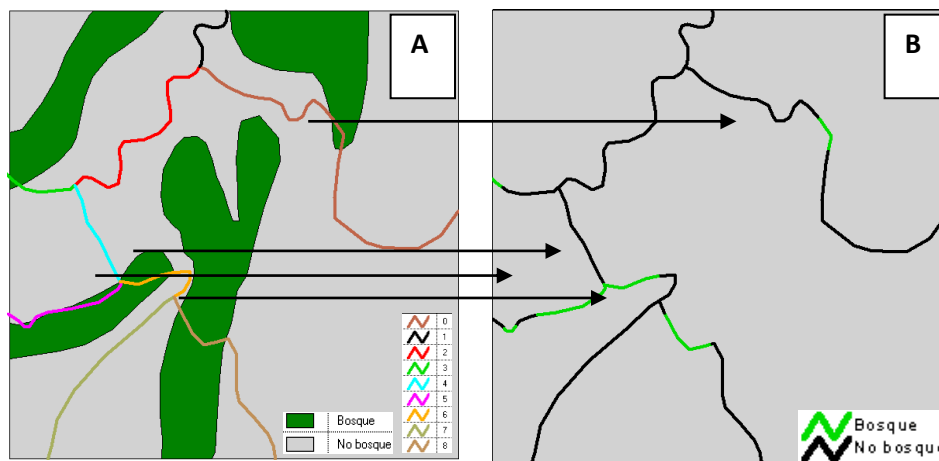


Figura 36: Ejemplo de operación interceptar línea y polígono. La sección derecha (A) muestra las dos capas de geodatos a interceptar (uso-cobertura y carreteras). En la sección B se observa el resultado de la operación. Fuente: elaboración propia.

Interceptar puntos y polígono

La funcionalidad de la operación superponer puntos y polígonos es similar a la descrita para líneas y polígonos. La nueva capa de geodatos contiene los puntos que interceptan con los polígonos, heredando sus atributos como se observa en la figura 37.

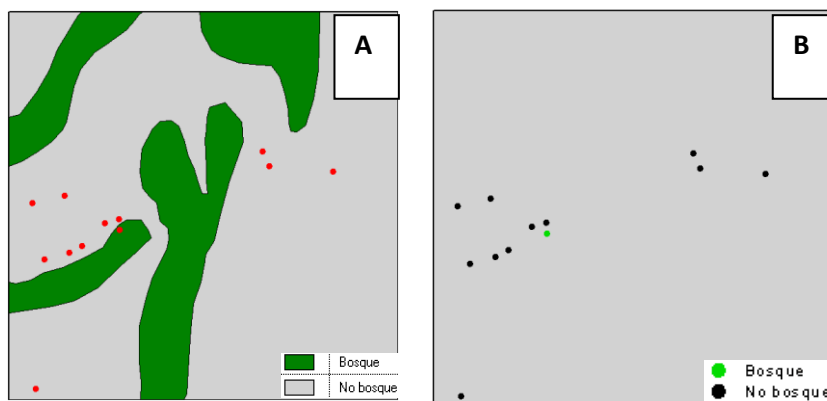


Figura 37: Interceptar punto y polígono. La sección derecha (A) muestra las dos capas de geodatos a interceptar (uso-cobertura y casas). En la sección B se observa el resultado de la operación. Fuente: elaboración propia.

Unión de polígonos

La unión de polígonos permite crear una nueva capa de geodatos a partir de dos capas de insumo (Fig. 38) y equivale al operador Booleana “O”. A diferencia de interceptar, la nueva capa contiene todos los elementos de las capas de insumo. Si su programa de SIG crea una capa con elementos múltiples se recomienda convertirlos a elementos simples.

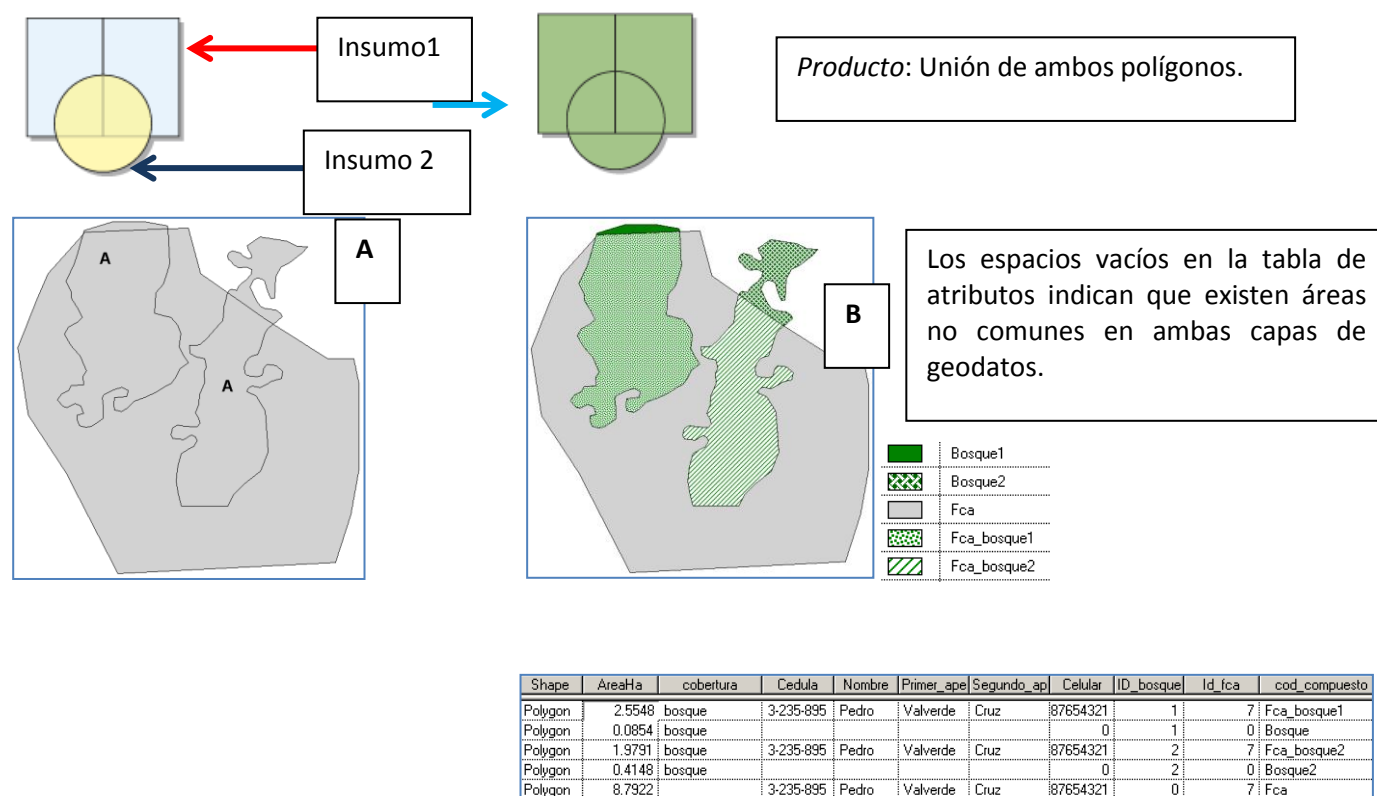


Figura 38: Ejemplo de operación unión. La sección derecha (A) muestra las dos capas de geodatos a unir (bosque y finca de Pedro). En la sección B se observa el resultado de la operación. Fuente: elaboración propia.

Actualizar polígonos de capa existente

Esta función crea una nueva capa de geodatos a partir de la sobreposición de dos capas de polígonos y la utilización de manera concatenada las operaciones cortar y pegar (Fig. 39). La primera capa actúa como base o receptor y la segunda como fuente. Tanto la capa a actualizar como la capa insumo deben poseer al menos un campo en común. Por ejemplo, se puede actualizar una capa de uso-cobertura en la cual una porción ha pasado de bosque a pasto ó de pasto a bosque secundario. Observe que en la figura 46 los campos correspondientes al registro del polígono id=2 están vacíos ya que al actualizar el polígono de la finca de Pedro se adicionó todo el polígono del parche de bosque; aunque no se encontrara totalmente en su propiedad.

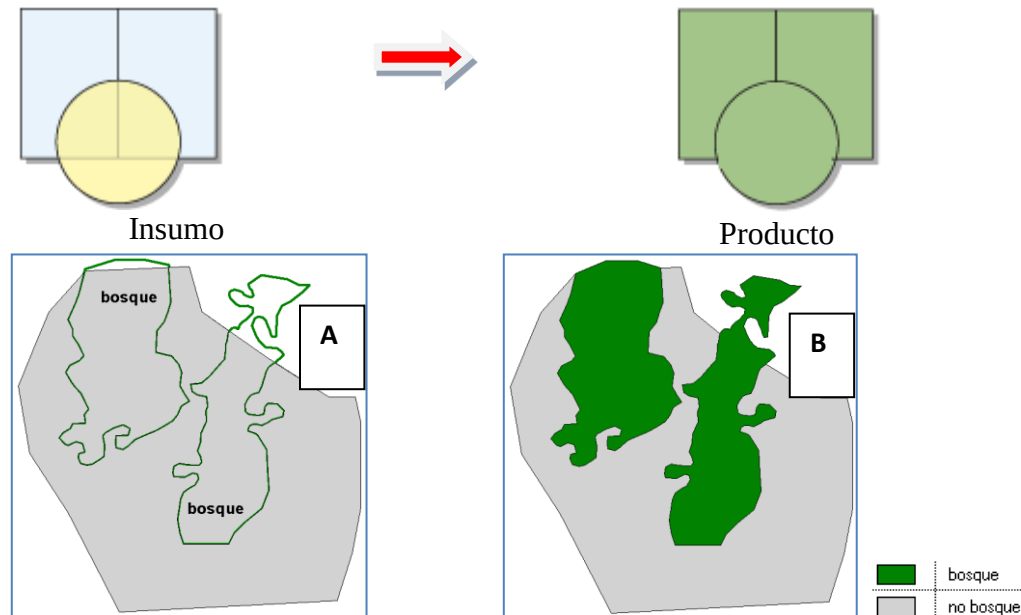


Tabla de atributos

Shape	Id	Cedula	Nombre	Primer_ap	Segundo_ap	Catular	cobertura	AreaHa
Polygon	7	3-235-895	Pedro	Valverde	Cruz	87654321	no bosque	8.7810
Polygon	1	3-235-895	Pedro	Valverde	Cruz	87654321	bosque	2.6277
Polygon	2					-9	bosque	2.3939

Figura 39: Ejemplo de función actualizar polígono. La sección derecha (A) muestra las dos capas de geodatos a unir (bosque y finca de Pedro). En la sección B se observa el resultado de la operación. Fuente: elaboración propia.

2.4. Análisis de proximidad

En el lenguaje cotidiano un “vecino” es alguien cercano, contiguo, inmediato, lindante, o próximo y lo asociamos con los conceptos de cercanía y vecindad. En geometría, el concepto de vecindad se define como la existencia de un espacio (región) vacía alrededor de un punto. En general, dos puntos son vecinos si no hay ningún punto “entre ellos”, o, dicho de otra forma, si “el espacio entre ellos está vacío”. Geométricamente, el vecino más próximo o cercano es aquel que dado un conjunto “S” de “n” puntos en un plano y dado un punto “q”, se encuentre a la menor distancia de “q” (Fig. 40). La solución a esta incógnita es sencilla cuando tenemos un grupo de puntos y un único punto para el cual deseamos encontrar su vecino más cercano. Sin embargo, se complica cuando tenemos dos conjuntos de puntos “S” y “P”, cada uno n_s y n_p elementos. Cada programa de software puede utilizar un

algoritmo diferente para determinar cuál es el vecino más cercano y por tanto es posible que para algunos sets de datos los resultados sean diferentes. Si usted está interesado en profundizar sobre el tema le recomiendo los trabajos de Abellanas (2009) y Micó (1996).

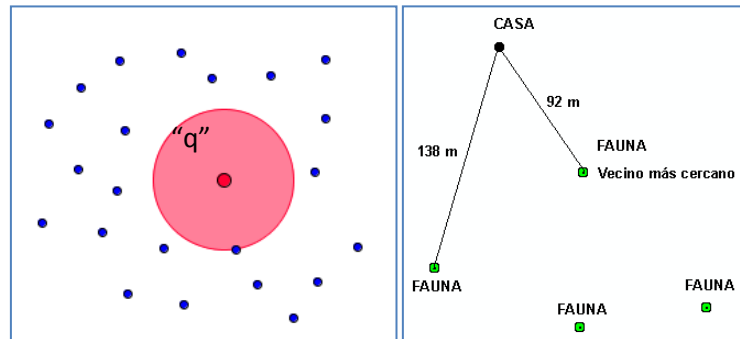


Figura 40: El vecino más próximo o cercano es aquel punto que se encuentra en un círculo con centro en “q” cuyo radio crece a partir de cero. El registro de fauna más cercano a la casa es aquel ubicado a 92 m ya que el siguiente registro está a 138 m. Fuente: elaboración propia.

Algunos ejemplos de preguntas que pueden responderse utilizando las herramientas de proximidad son:

- ¿Qué tan cerca está la chancera del camino?
- ¿Cuántos y cuáles caminos de la finca se encuentran a menos de 50 metros de un curso de agua?
- ¿Cuál es la distancia lineal entre bodega de agroquímicos y la casa?
- ¿Cuántas escuelas se encuentran en un radio de 500 metros de una estación de combustible?
- ¿Cuál es la distancia entre casas y la quebrada más cercana?
- ¿Cuál es la ruta más corta entre mi casa y la finca?

En función del tipo de geodato utilizado, el concepto de vecindad o proximidad es expresado y cuantificado de manera diferente en sets de datos vectoriales y rásteres; sin embargo las herramientas más comunes son:

- Selección por ubicación: Los elementos son seleccionados en una capa de geodatos dependiendo de su cercanía o superposición a un elemento en la misma capa de geodatos o en otra capa de geodatos. Esta herramienta no crea nuevas características o atributos.
- Elemento más cercano: Calcula la distancia entre cada punto de una capa de datos y la línea o el punto más cercano en otra capa de datos.
- Distancia entre puntos (matriz de distancia): Crea tabla que contiene identificador, distancia y dirección de cada punto de una capa de datos con respecto a los puntos de otra capa de datos.
- Crear áreas búfer: Crea área alrededor de un punto, línea o polígono a partir de una distancia definida por el usuario:
- Polígonos de Thiessen: Crea polígonos de Thiessen a partir de un set de datos de puntos.

2.4.1. Selección por ubicación (consulta espacial)

La operación selección por ubicación consiste en determinar cuáles registros (elementos) de una capa “A” se traslapan o se encuentran a una distancia especificada de los elementos de la misma capa ó de otra capa “B”. Cuando existe una coincidencia espacial, el software selecciona los elementos de la capa A; sin transferir ningún

atributo a dichos elementos. La relación geoespacial permitida (e.g. contiene, vecino más cercano, está contenido en) está determinada por la geometría de la capa de entrada (punto, línea, polígono) así como por la operación geoespacial elegida.

Selección de elementos de una capa de geodatos

De las posibles opciones de análisis disponibles para seleccionar un elemento de una capa de geodatos de puntos, líneas o polígonos, posiblemente la de mayor utilidad son la de contigüidad (que está tocando a otra cosa. <http://www.rae.es>) y adyacencia (situado en la inmediación o proximidad de algo. <http://www.rae.es>). La operación puede aplicarse a la totalidad de los registros de una capa o a un subconjunto de la misma.

Seleccionar polígonos en la misma capa

A continuación se ilustra cómo seleccionar un polígono de bosque en una capa existente (Fig. 41A) para luego determinar ¿cuáles polígonos están en contacto con dicho parche de bosque? Observe que “en contacto” es equivalente a decir que son contiguos o sea que la distancia que los separa es cero. El resultado de la búsqueda se muestra en la figura 41C; los polígonos de color amarillo están en contacto con el parche de bosque previamente seleccionado.

Ahora ilustraremos el uso del concepto de adyacencia. Supongamos que ahora usted desea saber cuáles elementos de la capa de geodatos están a una distancia de 180 metros del parche de bosque seleccionado. La respuesta se observa en la figura 41D. La tabla de atributos (41E) nos indica que tenemos un parque de bosque y el polígono de no bosque que está en contacto con el parche de bosque previamente elegido.

Los conceptos y criterios de búsqueda ilustrados en la figura 41 también aplican a búsquedas con puntos y líneas. Por ejemplo, podríamos preguntarnos: ¿Existe algún río en un radio de 100 metros del perímetro de la finca? o ¿cuántos árboles se encuentran a una distancia 50 metros de una casa?

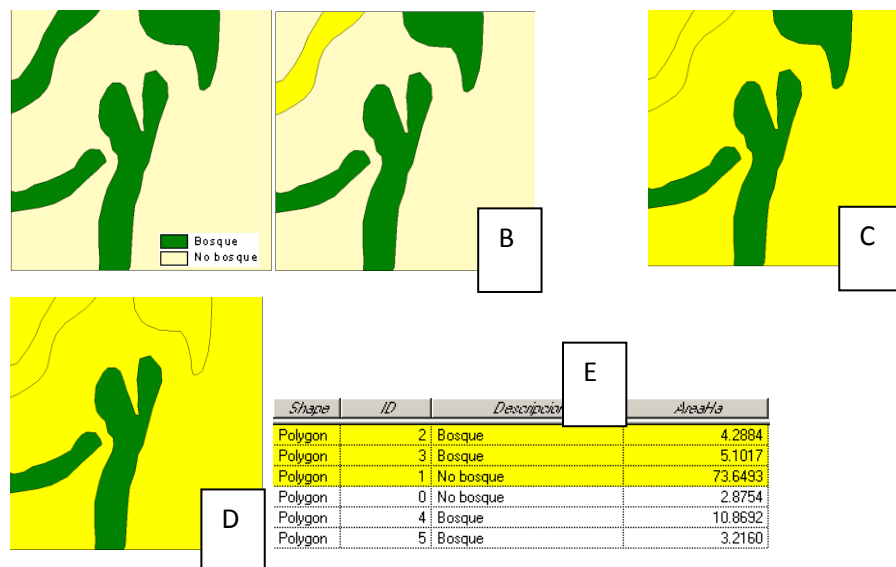
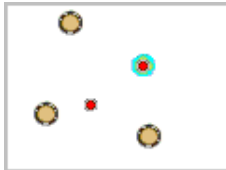


Figura 41: Selección de polígonos de una capa de geodatos existente utilizando los conceptos de contigüidad y adyacencia. Los polígonos seleccionados se muestran de color amarillo. Fuente: elaboración propia.

Selección de elementos de dos capas de geodatos

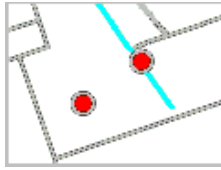
Al igual que con la búsquedas de elementos en una capa, cuando se utilizan dos capas, la búsqueda puede realizarse utilizando la totalidad de los elementos o un subconjunto de los mismos. A continuación se listan los operadores geoespaciales disponibles como parte de la selección por ubicación.

Intercepta: Dada una de insumo (A) y otra capa de referencia (B), el software selecciona los elementos de la capa insumo que intercepta con los elementos de la capa referencia (B) (Fig. 42).

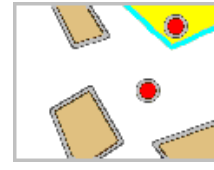


Punto intercepta a otro punto

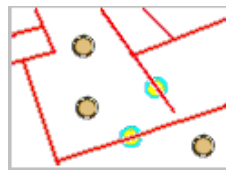
(Punto duplicado).



Punto intercepta a una línea



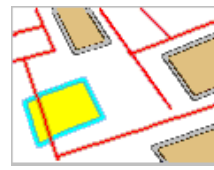
Punto intercepta a un polígono.



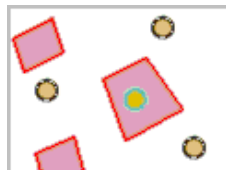
Línea intercepta a un punto



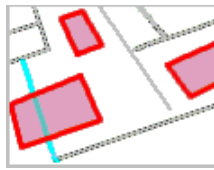
Línea intercepta a otra línea



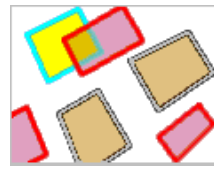
Línea intercepta a un polígono.



Polígono intercepta a un punto



Polígono intercepta una línea



Polígono intercepta a otro polígono.

Figura 42: Elementos que interceptan con puntos, líneas y polígonos. El elemento interceptado cambio de color.
Fuente: Basado en www.esri.com.

Ejemplo: Línea intercepta a un polígono

Suponga que usted tiene dos capas de geodatos: ríos (A) y uso-cobertura de la tierra (B) (Fig. 43) y desea saber cuáles parches de bosque interceptan con un río. La figura 43C muestra el resultado de la búsqueda si utilizamos la opción “polígono intercepta una línea”; sin embargo el resultado no es el deseado; ya que el programa seleccionó todos aquellos polígonos de la capa B que interceptan con la capa A. Usted puede observar que entre los polígonos seleccionados se encuentra un parche de bosque. La solución es seleccionar primero los parches de bosque (selección por atributos) (Fig. 43D) y luego utilizar nuevamente la opción “polígono intercepta una línea” pero ahora indicándole al programa que utilice para la búsqueda espacial solo los polígonos previamente seleccionados.

El resultado de esta búsqueda se muestra en la figura 43E. Observe que ahora el software seleccionó solo el parche de bosque ubicado en la esquina superior derecha, el cual efectivamente intercepta (parcialmente) con el río. Una limitante de esta operación es que puede seleccionar un polígono con solo que un vértice de otro polígono lo intercepte. Si usted desea saber si el río está contenido en su totalidad por el polígono debe utilizar la opción “contiene completamente”.

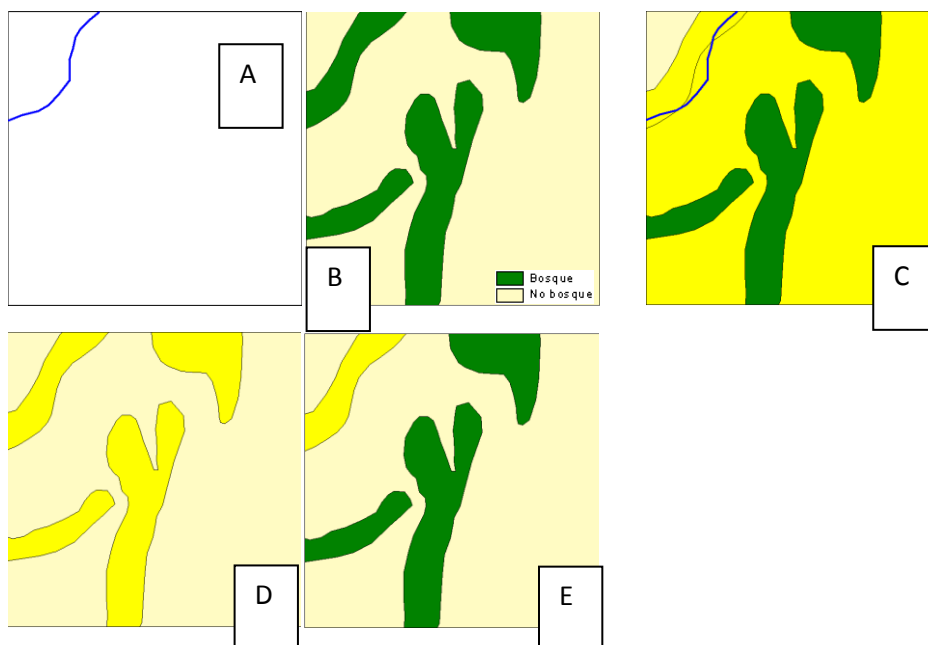


Figura 43: Selección de polígonos de una capa de geodatos que interceptan a polígonos de otra capa de geodatos. Uso de los conceptos de contigüidad y adyacencia. Los polígonos seleccionados se muestran de color amarillo. Fuente: elaboración propia.

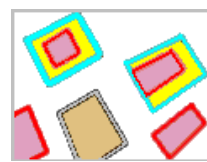
Contiene (contiene completamente): Dada una capa de insumo de tipo polígono (A) y otra capa de referencia (B), el software selecciona los elementos de la capa A que contiene a los elementos de la capa referencia (B) (Fig. 44). La expresión “contiene” no equivale a “contiene complemento” o “completamente contenido por” como se verá posteriormente.



Polígono contiene a un punto.



Polígono contiene a líneas



Polígono contiene a otro polígono.

Figura 44: Elementos que contienen a puntos y líneas. El elemento seleccionado cambia de color. Fuente: Basado en www.esri.com.

Ejemplo: Polígono contiene puntos

Suponga que usted tiene dos capas de geodatos: casas (A) (Fig.45A) y uso-cobertura de la tierra (Fig.45B) y desea saber cuáles polígonos contienen casas. La figura 45C muestra el resultado de la búsqueda. Las casas se

encuentran tanto en áreas de bosque como de pasto. Esta operación es lo mismo que buscar los polígonos que contienen o completamente contienen casas.

Ejemplo: Polígono contiene líneas

Ahora, suponga que usted desea saber si algún polígono de la figura 45B contiene completamente a alguna carretera (Fig.45D). El resultado de la búsqueda se muestra en la figura 45G. Si observamos la figura 45E pareciera que ningún polígono contiene completamente a ninguna de las carreteras; sin embargo si simbolizamos el tema de carreteras por segmento (Fig. 45F), observamos que efectivamente que el polígono “no bosque” contiene completamente el segmento de carretera dos.

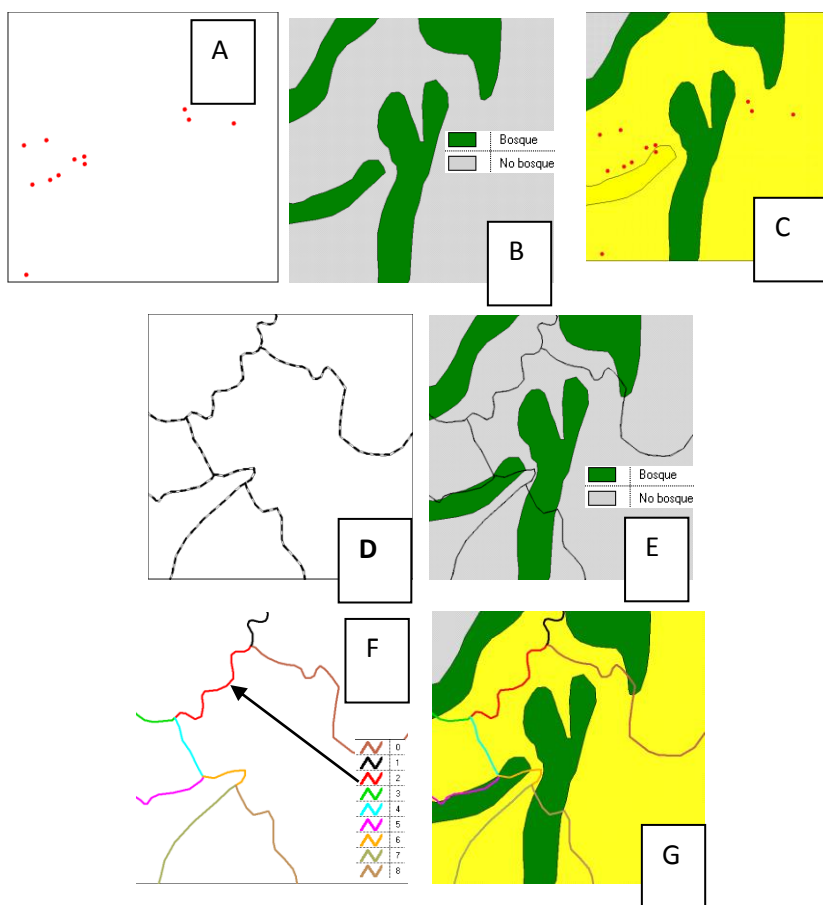


Figura 45: El polígono “no bosque” contiene el segmento dos de la red de carreteras y por lo tanto dicho polígono es seleccionado (color amarillo). Fuente: elaboración propia.

Está dentro de o contenido por: Dada una capa de insumo (A) y otra capa de referencia tipo polígono (B), el software selecciona los elementos de la capa insumo contenidos en los elementos de la capa referencia (B) (Fig. 46). Por ejemplo, usted puede estar interesado en saber si algún segmento de carretera está contenido en un polígono como se ilustra en la figura 47. El resultado de la búsqueda se muestra en la figura 47E. Si observamos la figura 47C pareciera que ninguna carretera está completamente contenida en algún polígono; sin embargo, si la simbolizamos las carreteras por segmento como se muestra en la figura 47D, notamos que efectivamente el segmento dos se encuentra contenido completamente por el polígono “no bosque”.



Puntos contenidos en polígonos Líneas contenidas en polígonos Polígonos contenidos en polígonos

Figura 46: Selección de elementos que están dentro de (contenidos por) polígonos. Basado en www.esri.com.

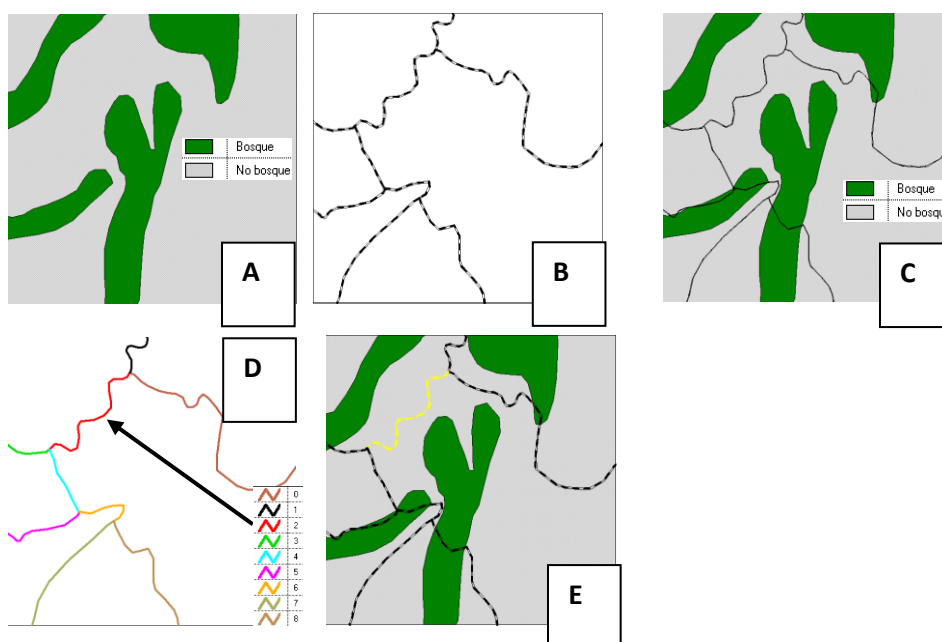
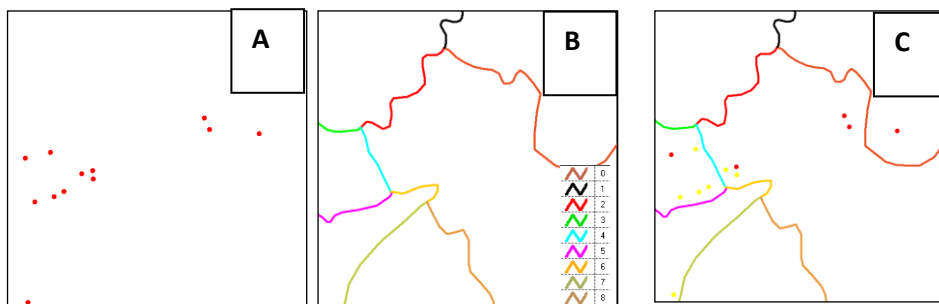


Figura 47: El segmento de carretera dos está completamente contenido por el polígono “no bosque” y por lo tanto es seleccionado. Fuente: elaboración propia.

Elemento se encuentran a una distancia de: Dada una capa de insumo y otra capa de referencia (B), el software selecciona los elementos de la capa de insumo que se encuentra a una distancia especificada de los elementos de la capa referencia (B). La figura 48 (A a C) ilustra el resultado de la búsqueda “casas ubicadas a una distancia máxima de 50 metros de una carretera” y en la figura 34 F se muestra el resultado de la búsqueda “carreteras ubicadas a una distancia máxima de 50 metros de casas”.



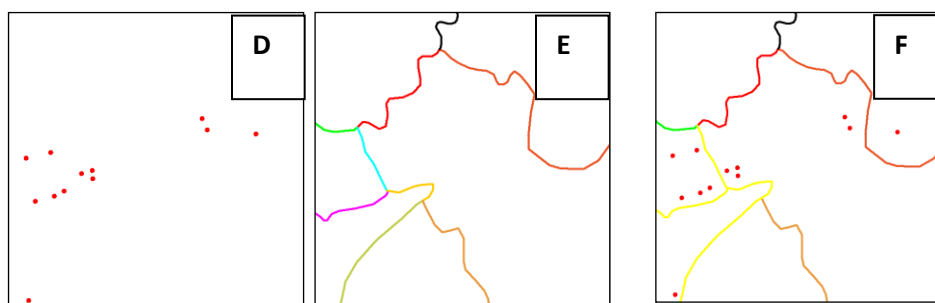


Figura 48: Las casas ubicadas a una distancia máxima de 50 metros de una carretera se muestran en la figura C de color amarillo. Fuente: elaboración propia.

2.4.2. Elemento más cercano (Unión geoespacial)

En los ejemplos previos hemos utilizado los conceptos de contiguo, adyacente y superpuesto para seleccionar elementos de una o dos capas de geodatos. A continuación se explicará cómo determinar la distancia mínima que separa a los elementos de una capa “A” (fuente) con respecto a los elementos de una capa “B” (destino). Esta función se denomina unión geoespacial y permite responder a la siguiente pregunta: ¿cuál es la distancia mínima que separa a dos elementos geométricos en dos capas de geodatos que comparten un espacio geográfico? Las relaciones espaciales válidas entre puntos, líneas y polígonos se muestran en el cuadro 13.

Cuadro 13: Unión geoespacial: relaciones geométricas válidas para puntos, líneas y polígonos.

Capa fuente	Capa destino	Unión geoespacial
Punto	Punto	Distancia mínima entre puntos. Transfiere los atributos de la capa fuente a la receptora.
Punto	Línea	Distancia mínima entre un punto y un vértice ó nodo de una línea/polilínea. Transfiere los atributos de la capa fuente a la receptora.
Punto	Polígono	No aplicable.
Línea	Punto	Distancia mínima entre un vértice ó nodo de una línea/polilínea y un punto. Transfiere los atributos de la capa fuente a la receptora.
Línea	Línea	La línea fuente contiene totalmente a la línea receptora (ambas líneas son idénticas). Transfiere los atributos de la capa fuente a la receptora.
Línea	Polígono	No aplicable.
Polígono	Punto	Selecciona punto completamente contenido en el polígono y le transfiere los atributos del archivo fuente.
Polígono	Línea	Selecciona línea o segmento de línea completamente contenido en polígono fuente. Transfiere los atributos de la capa fuente a la receptora.
Polígono	Polígono	Valido cuando el polígono destino contiene completamente el polígono fuente. Transfiere los atributos de la capa fuente a la receptora.

Fuente: elaboración propia.

Unión geoespacial: punto a punto

Suponga que usted tiene dos temas de puntos, el primero muestra el sitio de confluencia de ocho ríos a escala 1:50.0000 y el segundo, el sitio de confluencia de los mismos ríos pero a escala 1:25.000 (Fig. 49). Un acercamiento a cualquiera de los puntos permite apreciar que el sitio de confluencia no es el mismo para ambas escalas y entonces surge las preguntas ¿cuál es la distancia mínima, máxima y media entre puntos homólogos?, ¿Es dicha discrepancia aceptable?, ¿Muestran los datos algún patrón?

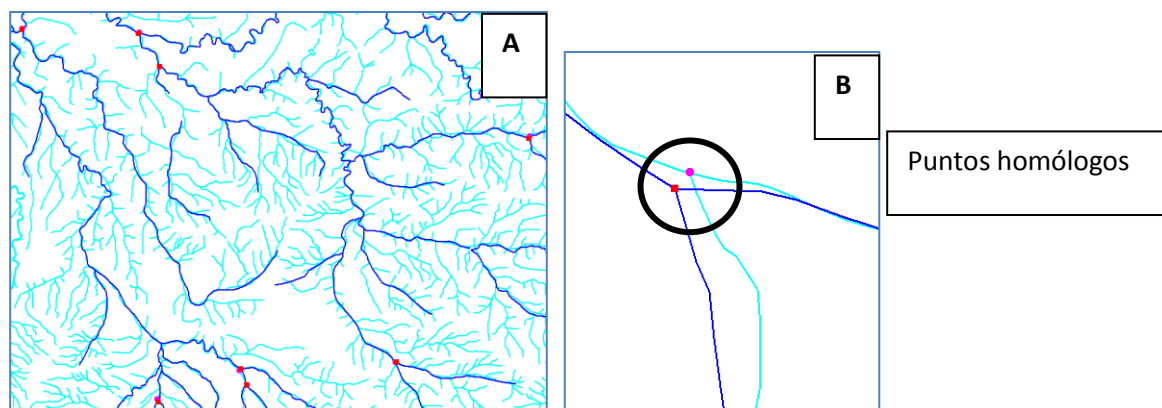


Figura 49: La sección derecha (A) muestra las dos capas de geodatos a unir (bosque y finca de Pedro). En la sección B se observa el resultado de la operación. Fuente: elaboración propia.

En la sección “relación y asociación de tablas” se explicó en qué consiste la unión entre dos tablas, pues bien, la unión geoespacial es un tipo especial de unión, en el cual utilizamos el campo “shape” de ambas capas como campo común. El producto es una tabla que muestra tanto los atributos de la capa fuente como de la destino así como un nuevo campo denominado “distancia”, el cual contiene la distancia que separa a los puntos que se comparan (Fig. 50).

Shape	Id_25	X_coord	Y_coord	Shape	Id_50k	X_coord	Y_coord
Point	0	493331.6878	1094519.6292	Point	0	493336.7740	1094531.2144
Point	1	493048.4905	1095003.3557	Point	1	493039.4391	1094994.0381
Point	2	491385.4785	1095057.7997	Point	2	491392.7438	1095049.4557
Point	3	493301.7719	1089823.0594	Point	3	493319.1513	1089787.3457
Point	4	494457.6166	1090229.8969	Point	4	494487.5190	1090253.0033
Point	5	494564.8798	1090019.7303	Point	5	494565.7905	1090027.9269
Point	6	496668.4645	1090343.6876	Point	6	496679.4440	1090352.5045
Point	7	498568.5999	1093534.4055	Point	7	498555.1503	1093509.6584

Shape	Id_50k	X_coord	Y_coord	Distance	X_coord	Y_coord	Id_25
Point	0	493336.7740	1094531.2144	12.653	493331.6878	1094519.6292	0
Point	1	493039.4391	1094994.0381	12.990	493048.4905	1095003.3557	1
Point	2	491392.7438	1095049.4557	11.064	491385.4785	1095057.7997	2
Point	3	493319.1513	1089787.3457	39.718	493301.7719	1089823.0594	3
Point	4	494487.5190	1090253.0033	37.790	494457.6166	1090229.8969	4
Point	5	494565.7905	1090027.9269	8.247	494564.8798	1090019.7303	5
Point	6	496679.4440	1090352.5045	14.081	496668.4645	1090343.6876	6
Point	7	498555.1503	1093509.6584	28.166	498568.5999	1093534.4055	7

Figura 50: Ejemplo de producto de la operación unión geoespacial de punto a punto. Fuente: elaboración propia.

Una vez determinada la distancia entre puntos homólogos podemos pasar a responder las interrogantes planteadas inicialmente. El análisis estadístico indica que el desplazamiento máximo es de 40 m y el mínimo 8 m, para un rango de 32 m. La distancia media entre puntos es de 20.6 m con desviación estándar de 12.7 m ($C = 62\%$), lo cual permite afirmar que el comportamiento espacial de los datos es muy heterogéneo.

La figura 51 muestra una visión espacial del análisis estadístico tradicional. Ahora no solo sabemos que las diferencias son heterogéneas sino que además podemos observar que los valores mayores se encuentran en los sectores inferior izquierdo y superior derecho; la cual también puede apreciarse en la figura 52, la cual indica que conforme avanzamos de sur a norte las discrepancias disminuyen. En una aplicación real para realizar cualquier afirmación se deben tener al menos 20 o 30 puntos de muestreo.

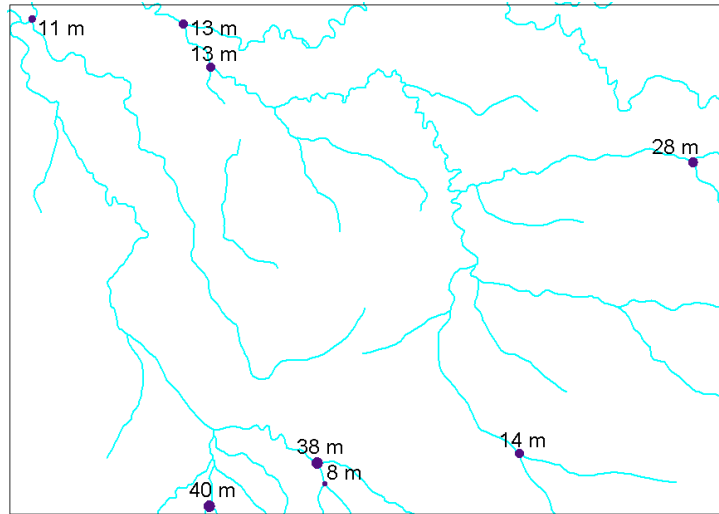


Figura 51: Distribución espacial de discrepancias entre puntos de confluencia de ríos a escala 1:50.000 y 1:25.000. Fuente: elaboración propia.

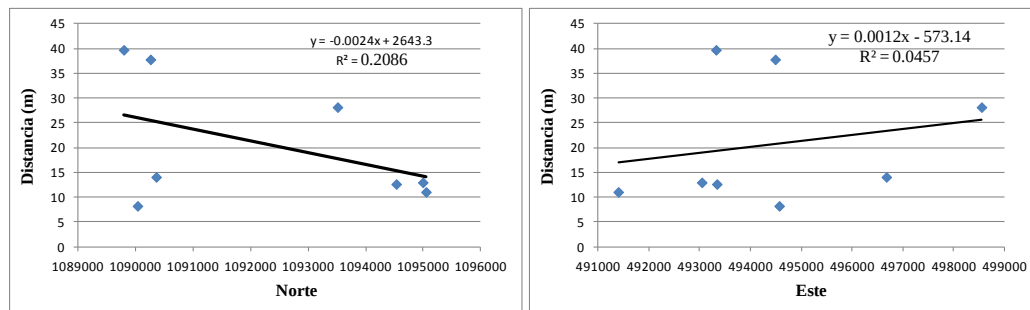


Figura 52: Análisis de regresión para las discrepancias entre puntos de confluencia de ríos a escala 1:50.000 y 1:25.000. Fuente: elaboración propia.

En el presente ejemplo se ha mencionado que el software selecciona el punto o “vecino más cercano” y usted puede preguntarse ¿qué es y cómo lo determina el programa de SIG? A continuación se explicará el proceso de cálculo.

Unión geoespacial: polilíneas a puntos

En este caso el programa determina la distancia mínima entre un vértice del tema de líneas y el punto más cercano (destino) a dicho vértice. La operación ejecutada por el software es similar a la anterior; con la diferencia de que ahora selecciona para cada vértice del tema fuente (polilíneas) el punto más cercano en el tema destino (puntos), le transfiere sus atributos y crea el campo distancia (Fig. 53).

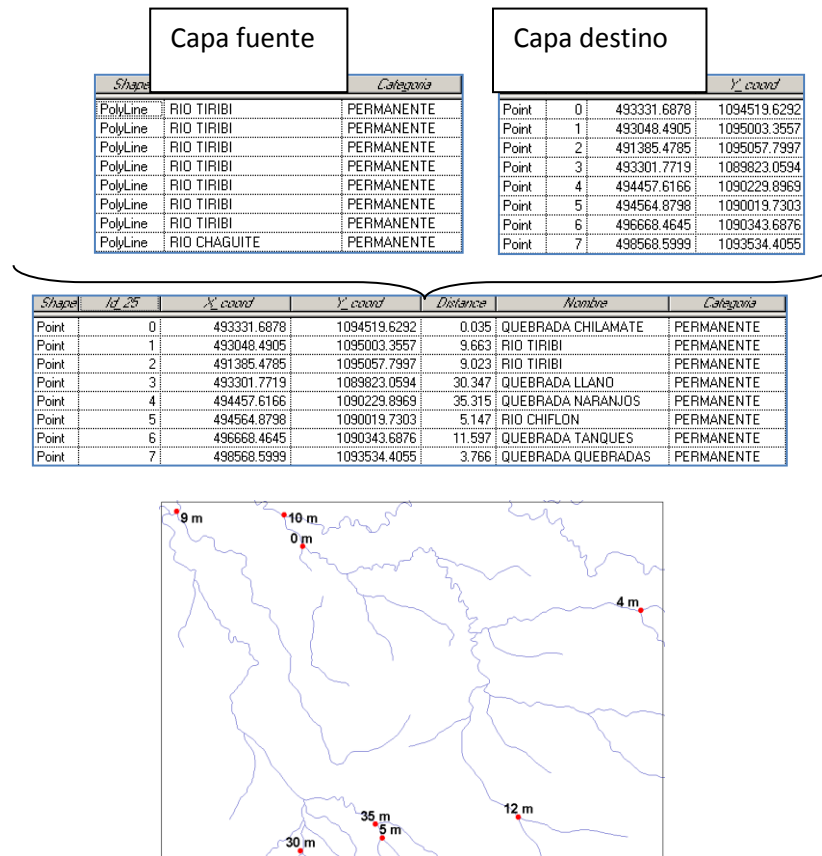
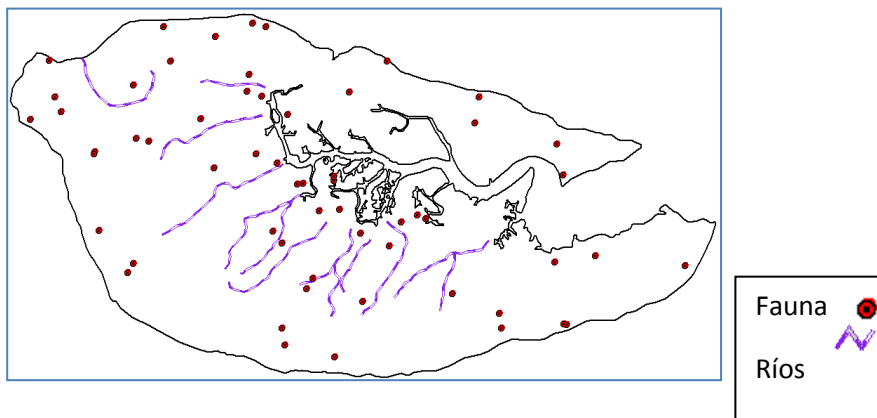


Figura 53: Ejemplo de producto de la operación unión geoespacial de polilínea a punto. Fuente: elaboración propia.

Unión geoespacial de punto a polilínea

El software determina la distancia mínima entre cada punto (temas fuente) y un vértice de la polilínea mas cercana (tema destino) y le transfiere sus atributos y crea el campo distancia (Fig. 54). A continuación se muestra la distancia de la capa *fauna* a la capa *ríos_chira*.



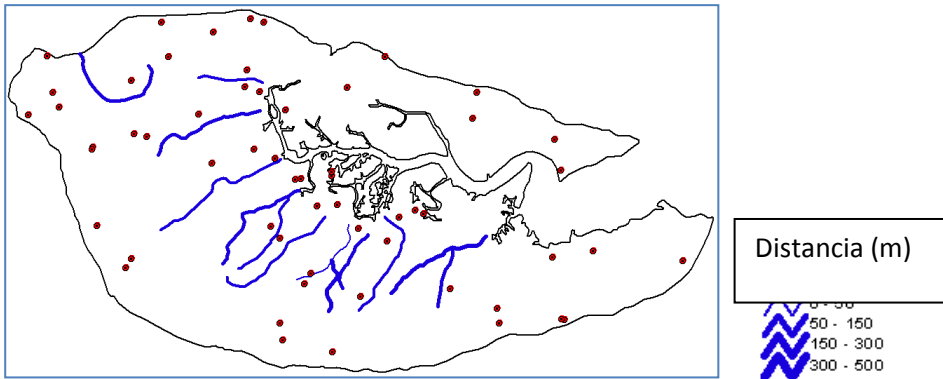


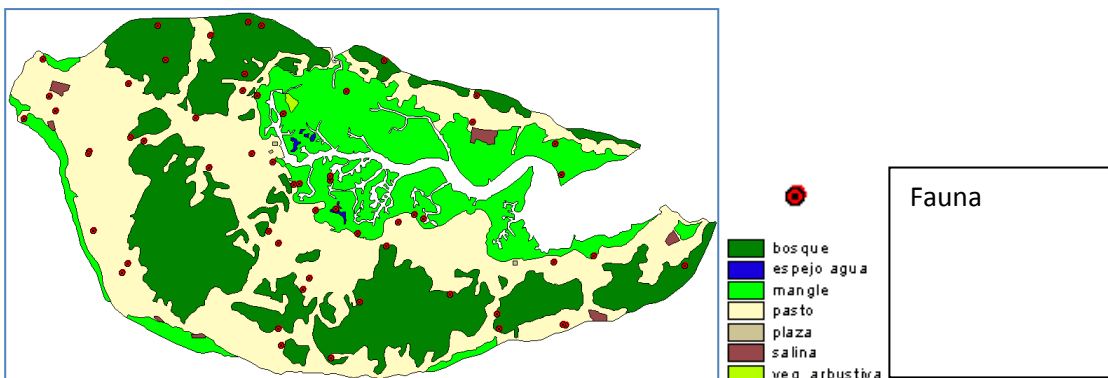
Figura 54: Ejemplo de unión geoespacial de punto a polilínea. Fuente: elaboración propia.

Basado en los resultados se pueden hacer las siguientes preguntas:

1. ¿Exhiben los registros de fauna algún patrón con respecto a su distancia de los cauces?
2. ¿Cuál es la distancia mínima y máxima entre un registro de fauna y un cauce? ¿Cuál es el nombre de los cauces?
3. ¿Cuál es la distancia media entre un registro de fauna y un cauce?

Unión geoespacial de polígono a punto

Dados dos capas de geodatos, una de polígonos y otras de puntos, esta operación permite determinar cuáles puntos se encuentran contenidos en los polígonos. A continuación utilizaremos una capa de uso-cobertura (tema fuente) y otra de registros de fauna (tema destino) para determinar cuántos registros de fauna se encuentran en cada clase de uso-cobertura. El punto debe estar completamente contenido en un polígono para que adquiera sus atributos. Si usted desea realizar una unión de punto a polígono, primero debe convertir el tema de polígonos a polilíneas o a puntos y luego realizar una unión de punto a polilínea o de punto a punto.



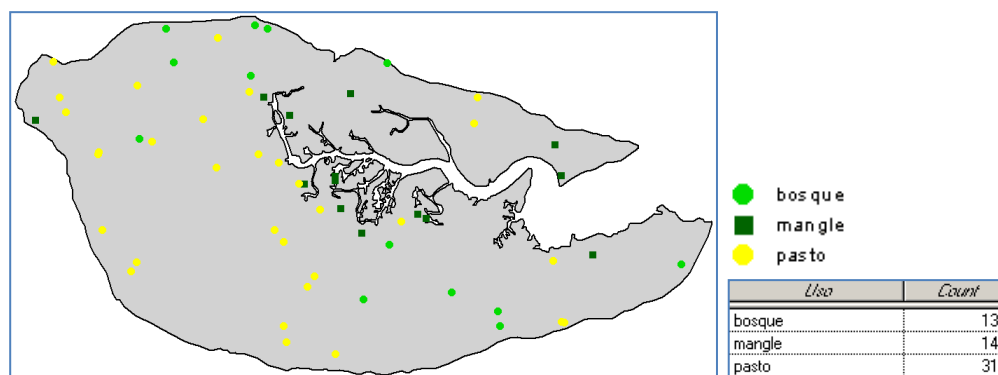


Figura 55: Ejemplo de unión geoespacial de polígono a punto. Fuente: elaboración propia.

2.4.3. Distancia entre puntos (matriz de distancia)

Es una matriz bidimensional que contiene la distancia de cada par de puntos como se muestra en la figura 56. La capa de fauna tiene 58 puntos y la de casas 150 y por lo tanto la matriz contiene 8700 registros.

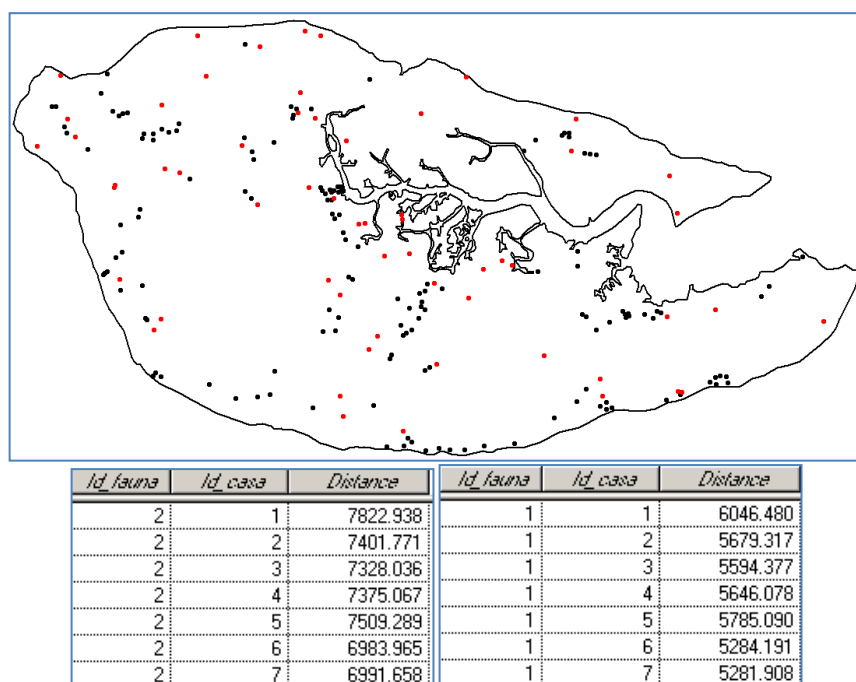


Figura 56: Ejemplo de matriz de distancia para las capas de fauna y casas.

2.4.4. Área de influencia o búfer

El área búfer se define como aquella zona que rodea a un punto, polilínea ó polígono (Fig. 57). Una aplicación típica de esta función es definir áreas de influencia como zonas de protección alrededor de cuerpos de agua.

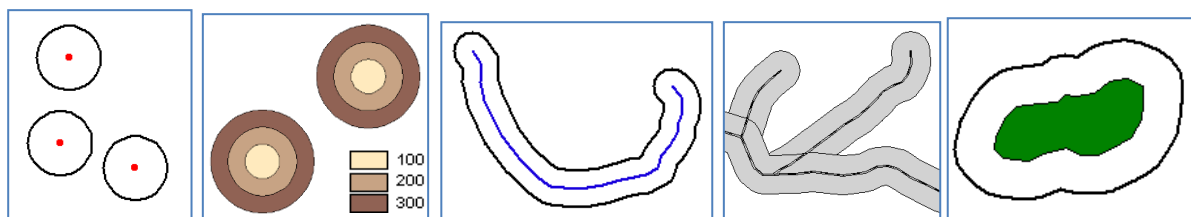


Figura 57: Ejemplo de áreas búfer para puntos, líneas y polígono. Fuente: elaboración propia.

Crear área búfer para un polígono

El búfer es una distancia que se aplica alrededor del perímetro del polígono. Si su valor es positivo (e.g. 100 m) el programa calcula el búfer hacia afuera y si es negativo lo calcula hacia adentro (e.g. -100 m). La distancia también puede indicarse utilizando un campo en la tabla de la capa de geodatos (e.g. usted puede definir diferentes distancias en función del tipo de vía o orden de un cauce) (Fig.58).

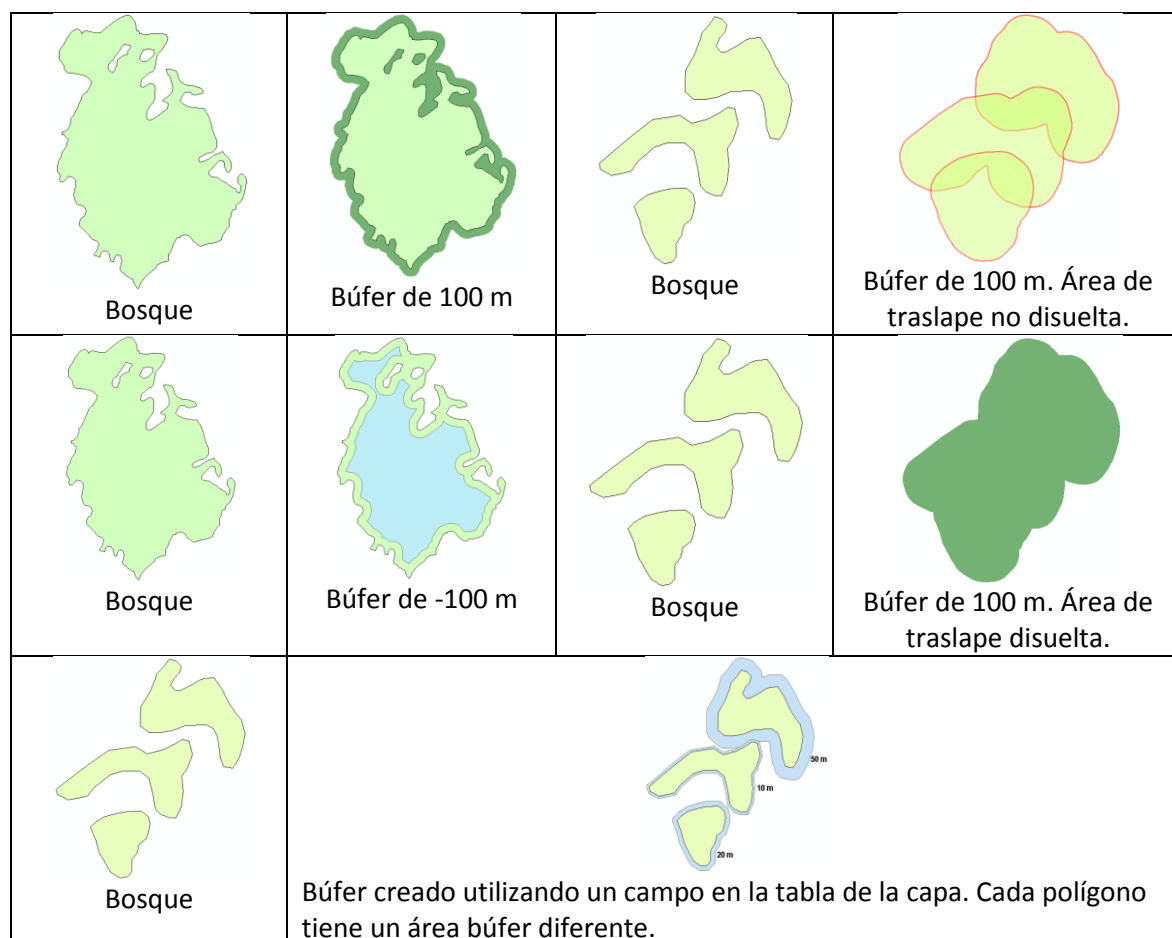


Figura 58: Ejemplos de área búfer para un polígono. Fuente: elaboración propia.

2.4.5. Crear polígonos de Thiessen o de Varonoi

Los polígonos de Thiessen se descubrieron de forma independiente en varios campos de estudio, incluyendo la climatología y la geografía. Su nombre honra al meteorólogo estadounidense Alfred H. Thiessen quien los utilizó para transformar datos puntuales de precipitación en estimaciones de área (Thiessen 1911). También se les

conoce como diagramas de Voronoi (1908), triángulos de Delaunay (1934) y teselación de Dirichlet (1850). En la actualidad se utilizan para determinar áreas de influencia en aplicaciones tan variadas como arqueología, antropología, centros hospitalarios, estaciones de bomberos, centros comerciales, telefonía móvil y análisis de poblaciones de especies vegetales y animales.

EL polígono de Thiessen es uno de los métodos de interpolación más simples, basado en la distancia euclidiana entre puntos. Dado un conjunto de puntos si se conecta cada uno a su vecino más cercano se obtiene una red de triángulos irregulares (TIN, por sus siglas en inglés). Si luego se bisecta perpendicularmente cada segmento de línea de conexión y se crean polígonos con las mediatrices, el resultado será un conjunto de polígonos de Thiessen. El área contenida en cada polígono está más cerca del punto en que se basa el polígono que de cualquier otro punto en el conjunto de datos.

A partir de los puntos, el software crea triángulos irregulares y luego traza bisectrices perpendiculares a las caras de cada triángulo. Los puntos donde las bisectrices se tocan forman los vértices del polígono de Thiessen. El límite externo de los polígonos puede definirse agregando un área búfer alrededor los puntos. Los polígonos de Thiessen se utilizan con frecuencia para generalizar un conjunto de mediciones utilizando el criterio de área más cercana en lugar de los métodos tradicionales de interpolación espacial.

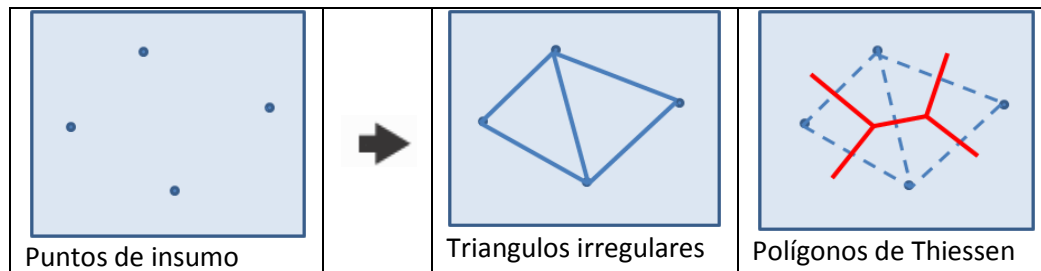
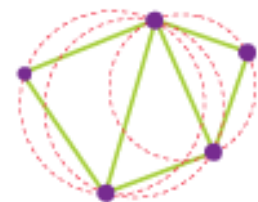


Figura 59: Creación de polígonos de Thiessen a partir de una capa de puntos. Fuente: elaboración propia.

La triangulación de *Delaunary*⁴ es una técnica utilizada para crear una malla de triángulos contiguos que no se traslapan a partir de un set de puntos. Cada triángulo circunscribe círculos que no contienen ningún punto del set de datos.

A continuación se ilustra la creación de polígonos de Thiessen utilizando datos de precipitación de 71 estaciones ubicadas en la cuenca del río Grande de Tárcoles.



⁴ Matemático Ruso (Boris Nikolaevich Delaunay). http://en.wikipedia.org/wiki/Boris_Delaunay; <http://www.cs.uu.nl/geobook/interpolation.pdf>

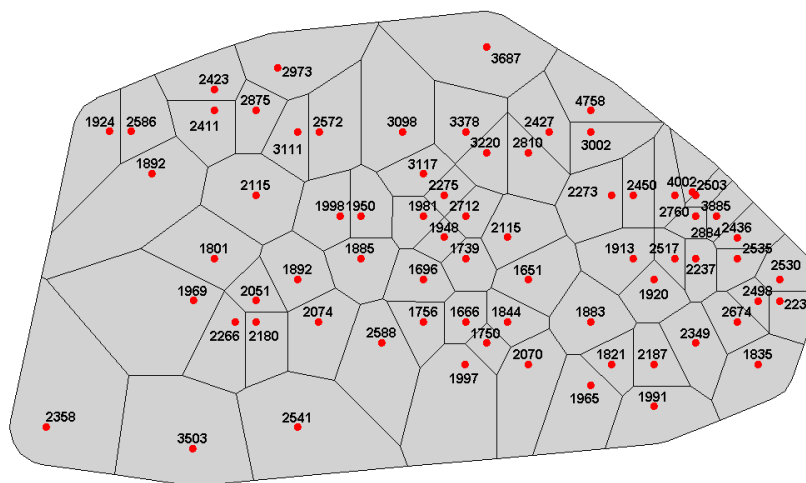


Figura 60: Polígonos de Thiessen creados a partir de 71 estaciones. Cuenca del río Grande de Tárcoles. Valores en milímetros por año. Fuente: elaboración propia.

2.5. Cartografía automatizada

A los seres humanos nos fascinan los mapas y por lo tanto ningún proyecto de SIG está completo si no se elabora, imprime y publica uno o más mapas. A diferencia de sus predecesores de los años 70s, los programas de SIG actuales tanto privativos como libres ofrecen una excelente gama de herramientas para crear productos de alta calidad visual y con un gran poder de comunicación. En un mapa se utilizan signos convencionales para representar detalles de la superficie terrestre que dada la escala del producto no es posible dibujar utilizando sus formas y proporciones reales (e.g. tamaño y forma de escuelas y puentes en un mapa 1:50.000). Los mapas son elaborados en muy diferentes estilos, escalas, colores y cada uno cumple una función específica. Sin embargo para facilitar su uso todos deben poseer los elementos comunes expuestos en la sección 1.5. “Propiedades de los mapas” del capítulo dos. La omisión de cualquiera de estos elementos reduce su utilidad.

El software de SIG interacciona con el usuario desde el monitor o mediante la impresión de tablas y mapas. El grado de sofisticación y calidad de los productos generados está en función los objetivos, software y periféricos utilizados. Otro aspecto importante es la calidad del papel o material utilizado para realizar las impresiones. Los resultados también pueden almacenarse en formato digital (cuadro 14), visualizarse en un monitor, imprimirse o exportarse a otros programas para su posterior procesamiento.

En el área de ciencias (e.g. naturales, exactas) se enfatiza la rigurosidad científica que debe caracterizar a todo estudio e informe. Sin embargo, poco o nada se ha hecho en cuanto a la comunicación y diseño eficiente de nuestros productos gráficos. La sociedad moderna está inmersa en mundo de colores y formas y muchas decisiones responden al impacto de dichos elementos a nivel subconsciente. Esta afirmación no pretende desmeritar la rigurosidad científica sino más bien incorporar los avances en otras áreas a nuestro quehacer diario. El módulo de composición cartográfica de un SIG permite lograr ambos objetivos. Por un lado, utilizamos colores y diseños atractivos para atraer la atención del interlocutor y por otro presentamos datos de gran rigurosidad científica. Recordemos que un mapa o diagrama puede ser más efectivo que un voluminoso informe cuando se trata de comunicar una idea o un concepto. El ser humano tiene mayor capacidad para interpretar y relacionar elementos en una imagen que en un texto o tabla estadística.

El SIG, aunque también permite generar datos tabulares y gráficos, es insuperable en su capacidad de crear mapas altamente explicativos y comunicativos. El componente de cartografía computarizada del SIG enfatiza la recuperación, clasificación y simbolización de los datos, y por tanto su objetivo primario es optimizar su visualización. Sin embargo, esta misma característica (ser atractivos) puede convertirse en una trampa para el tomador de decisiones si el mensaje que se transmite es erróneo o confuso. Recordemos que el producto generado es tan bueno como la calidad de los insumos utilizados para crearlo.

Una vez creado el mapa (Fig. 61), usted puede imprimirlo en su oficina utilizando inyectores de tinta o impresoras láser de alta resolución (e.g. 700 y más puntos por pulgada-dpi) o exportarlo con un formatos gráfico para luego incluirlo en un informe, publicarlo en la Web, utilizarlo en otro programa, compartirlo con otros usuarios vía Internet o enviarlo a un centro de impresión especializado (Cuadro 14). Un viejo adagio reza "una foto vale por mil palabras" y en el caso de la cartografía podríamos decir "un mapa vale mil páginas".

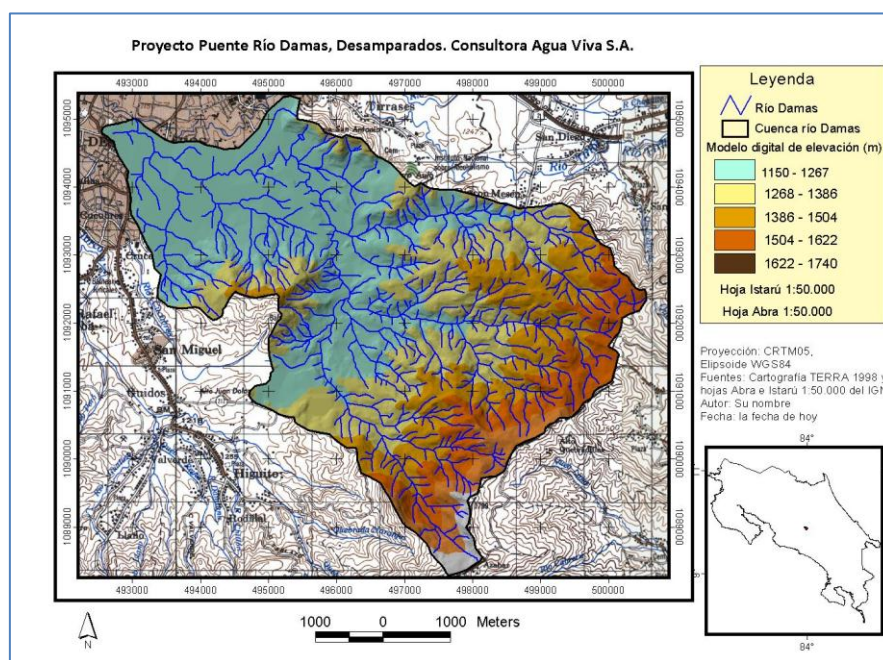


Figura 61: Diseño cartográfico. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 14: Formatos de exportación a archivos gráficos.

Formato	Descripción
*.WMF Windows Metafile	Formato vectorial nativo de Windows. Pueden utilizarse tanto con tramados como con colores sólidos.
*.AI Adobe Illustrator	Formato vectorial de Adobe Illustrator.
*.CGM Computer Graphics Metafile	Vectorial y raster, acepta color hasta 24bit. Tamaño de archivo medio. Tramados son exportados como colores sólidos. Definido por ISO/IEC 8632
*.EPS Encapsulated PostScript	Formato compuesto (Puede incluir vectores e imágenes). Archivo puede imprimirse en cualquier impresora con un módulo PostScript. No ofrece opciones de cambio de resolución (dpi, puntos por pulgada).
*.JPG, *.JPEG y sus	Formato comprimido de uso común en el ambiente gráfico. Usted puede

variaciones <i>Photographic Group</i>	<i>Joint Experts</i>	definir la resolución (dpi, puntos por pulgada) y la calidad de la imagen (compresión). Es un formato comprimido con pérdida de calidad.
*.bmp <i>Windows Bitmap</i>		Mapa de bits de Windows (Imagen). El contenido del archivo puede ser monocromo, 4-bit, 8-bit y 24-bit. No acepta algunos tramados. Se le puede aplicar compresión sin pérdidas, aunque no todos los programas son compatibles con dicha compresión.
*.png <i>Portable Network Graphics</i>		Formato gráfico libre con compresión sin pérdida de calidad. Ofrece paletas de 8 bits (paleta optimizada), 24 y 48 bits. En escala de grises puede distinguir 8 y 16 bits (65536 tonos de grises).
*.tif y *.tiff <i>Tagged Image File Format, Formato de archivo de imágenes con etiquetas.</i>		Formato de archivo utilizado en la industria de la impresión para guardar imágenes de gran tamaño. Permite almacenar imágenes en blanco y negro, en colores verdaderos (hasta 32 bits por píxel) y también indexar imágenes utilizando una paleta.

Fuente: elaboración propia.

3 Modelación o simulación de escenarios utilizando un SIG

Un modelo es una representación simplificada de la realidad o de un proceso que nos permite entender las interrelaciones entre sus componentes o elementos. De la definición se deduce que la versión de la realidad que reproducimos a través de un modelo contiene solo algunos elementos y propiedades del sistema original que se estudia y que su complejidad es sustancialmente menor. Uno modelo se construye a partir de una base de conocimiento de la realidad con el fin de estudiar el comportamiento de un objeto, mecanismo o proceso del mundo real. Algunos consejos prácticos para crear o utilizar un modelo son:

1. El modelo puede entenderse como un sistema cuyos componentes (i.e. partes e interrelaciones) se han reducido a una número manejable con el fin de simplificar el sistema real pero a la vez es adecuado para representar los componentes reales.
2. El modelo debe establecer una relación simétrica con la realidad o sea debe existir una relación, al menos parcialmente reversible, entre los elementos y procesos del modelo y los de la realidad. Esto permite aprender sobre la realidad a través del modelo.
3. Se debe conocer la realidad o proceso a modelar con el fin de seleccionar las variables o factores y procesos relevantes para el problema y establecer una detallada descripción de sus relaciones funcionales.
4. Se debe evitar sobredimensionar o saturar el modelo. El principio de parsimonia indica que se deben utilizar el mínimo de variables o procesos requeridos para responder a la pregunta planteada. Se debe evitar utilizar variables correlacionadas y procesos redundantes.
5. La calidad de las propiedades emergentes de un modelo puede valorarse sometiendo una parte de los resultados a una verificación experimental que, aunque sólo puede ser parcial, servirá de orientación sobre la magnitud de los errores derivados del modelo y puede permitir la introducción de correcciones. El contraste experimental puede servir, por tanto, no sólo como método de control de calidad sino también como mecanismo de realimentación para realizar ajustes, tanto en los elementos que componen el modelo como en las relaciones que se establecen entre ellos.
6. El modelo representa la realidad utilizando un subset de variables y procesos y por ende todo resultado o producto posee un error inherente; el cual puede minimizarse pero no eliminarse. Datos de buena calidad y directamente relacionados con el tema a modelar así como herramientas de

simulación apropiadas propician productos de calidad. Otra medida para reducir el error es aumentar el número de variables y procesos en el modelo, lo cual desde luego también aumenta su complejidad, tiempo de ejecución y costo. Lo recomendable es buscar un compromiso entre la complejidad del modelo y el error aceptable en los resultados.

7. El resultado o producto de todo modelo debe someterse a un proceso de control de calidad interno (i.e. verificar supuestos y legitimidad de procesos simulados) y externo (i.e. verificación independiente); el cual permitirá evaluar y entender la magnitud y distribución de los errores asociados al modelo y a la vez servir como un mecanismo de realimentación para introducir ajustes o correcciones tanto en los elementos que componen el modelo como en las relaciones que se establecen entre ellos.

Para ilustrar la aplicación de algunos de los aspectos citados previamente, el cuadro 15 describe, en términos generales, el procedimiento a seguir para crear un modelo que permita estimar la erosión hídrica laminar y en surcos en terrenos agrícolas, forestales y en áreas de construcción.

Cuadro 15: Tareas requeridas para crear un modelo empírico para estimar erosión del suelo.

Tareas	Descripción
Definir el concepto o procesos a modelar.	Se desea modelar el proceso de erosión hídrica (laminar y en surcos).
Definir el alcance del modelo.	El modelo debe simular la erosión en terrenos agrícolas, forestales y en áreas de construcción.
Establecer las restricciones aplicables tanto a la construcción del modelo como a su aplicación.	El modelo debe crearse a partir de un set mínimo aceptable de variables y procesos. Su aplicación está restringida a Costa Rica.
Expresar en forma de diagrama los componentes, procesos y productos del modelo.	La figura 62 ilustra la conceptualización del proceso de erosión.
Codificar el modelo en algún lenguaje de programación.	Ver por ejemplo RUSLE2 en la presente sección del capítulo.
Ajustar ecuaciones matemáticas que relacionaran las variables seleccionadas con la cantidad de suelo erosionado.	Este paso requiere trabajo de campo o experimental.
Validación del modelo.	La validación del modelo incluye una etapa interna (calcular errores) y otra externa (aplicación).

Fuente: elaboración propia.

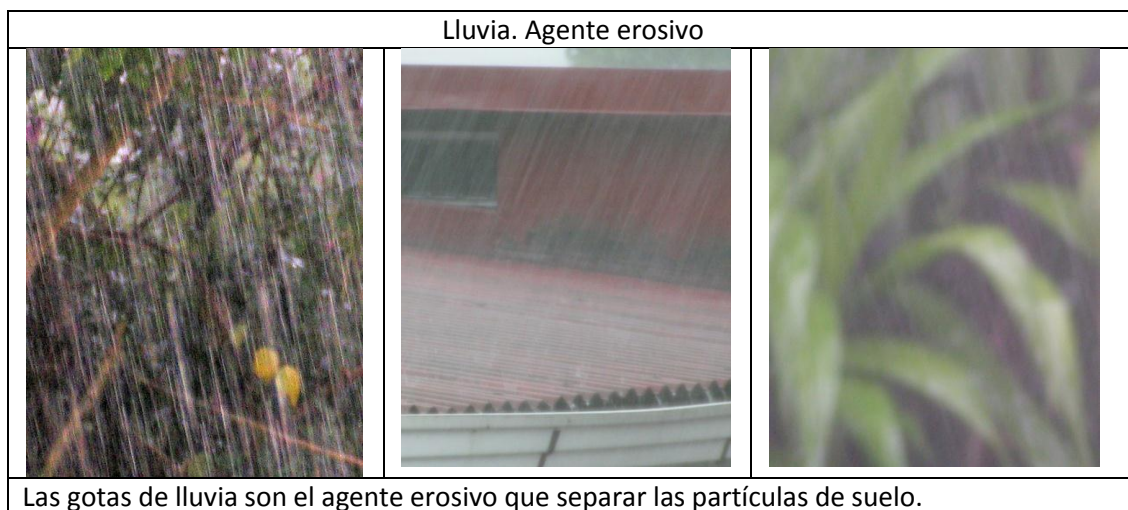
Definición y alcance del modelo: La erosión hídrica es el resultado de la interacción de un conjunto de procesos que culminan con la desagregación y movilización de las partículas de suelo. Para que se presente la erosión se requiere de un agente erosivo, un sustrato sobre el cual dicho agente ejerce su acción y un entorno o área. El modelo a crear debe simular la erosión laminar y en surcos en terrenos agrícolas, forestales y áreas en construcción.

- Erosión laminar. Suelo arrastrado por del movimiento difuso de la escorrentía superficial.
- Erosión en surcos. Suelo movilizadado por el flujo de agua concentrada en forma de pequeños surcos.

Conceptualización teórica del modelo

Al observar las imágenes que se presentan en la figura 62 y analizar los resultados de la investigación realizada hasta la fecha (USDA-Agricultural Research Service 2008, Foster 2005), es posible describir la erosión hídrica como el resultado de la interacción de cuatro sistemas físicos, a saber (Fig. 63):

1. *Cobertura*. Intercepta la lluvia, lo cual reduce la velocidad e impacto de las gotas de lluvia.
2. *Clima*. De las variables climáticas, la precipitación es la mejor candidata porque la lluvia actúa como el agente erosivo.
3. *Suelo*. Sustrato sobre el cual actúa el agente erosivo. En ausencia de cobertura (e.g. vegetación) la separación de las partículas de suelo depende de la mayor o menor resistencia que ofrezca a la acción del agente erosivo, lo que se conoce como erodabilidad.
4. *Topografía*. Tanto el gradiente como la longitud de la pendiente son importantes en la formación de escorrentía y en el proceso de erosión laminar y en surcos.



Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

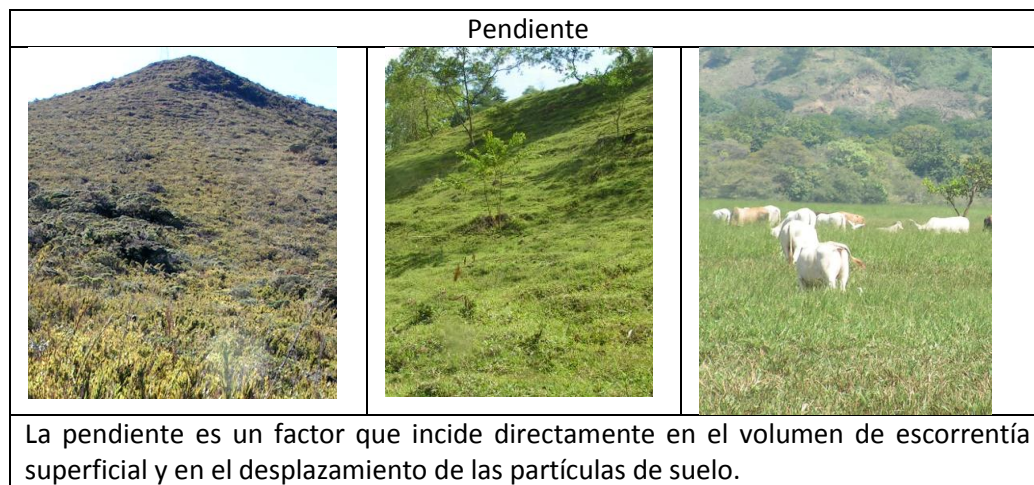


Figura 62: Componentes, procesos y variables que intervienen en la erosión hídrica. Fotografías propias. Fuente: elaboración propia.

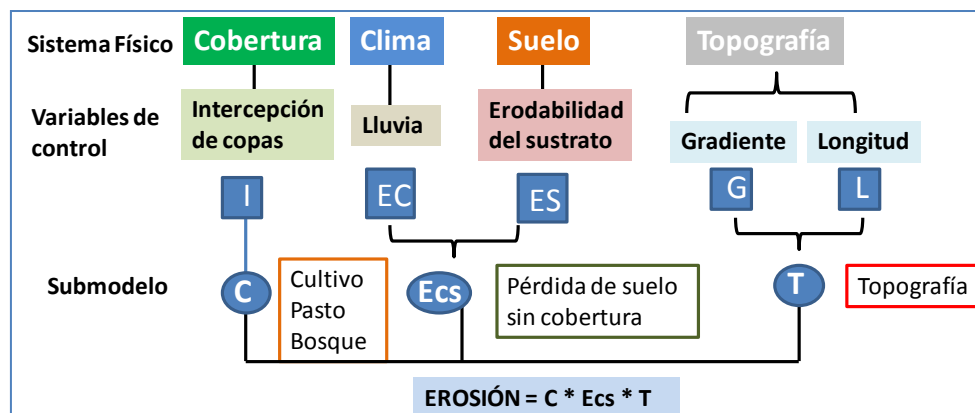


Figura 63: Modelo conceptual de los componentes, procesos y variables que intervienen en la erosión hídrica. Elaboración propia.

Una vez creadas las ecuaciones que describen cuantitativamente la relación entre las variables predictoras y la erosión de suelo, se puede utilizar un software de SIG para realizar estimaciones a nivel de finca, cuenca hidrográfica o sitio de construcción (Fig. 64). El comportamiento esperado del modelo para las variables control es el siguiente:

1. A mayor precipitación mayor erosión. La lluvia es el agente erosivo, por lo tanto cuanto más lluvia reciba el sitio mayor oportunidad existe de que las gotas de agua desagreguen y desprendan la partículas de suelo.
2. A menor cobertura de vegetación mayor erosión. La vegetación (u otra cobertura) protege la superficie del suelo del impacto de las gotas de lluvia, evitando la desagregación y desprendimiento de las partículas de suelo.
3. Suelos muy erodables exhibirán mayor erosión. Si el suelo ofrece poca resistencia a la acción de golpeteo de las gotas de lluvia, este se desagregará y desprenderá con mayor facilidad.
4. A mayor pendiente mayor erosión. La pendiente es un agente modificador que incide en escorrentía superficial, la cual a su vez moviliza las partículas de suelo desprendidas por el golpeteo de las gotas de lluvia.
5. A mayor longitud de pendiente mayor erosión. Una vez que se inicia el proceso de escorrentía la capacidad o competencia de la corriente para movilizar partículas dependerá de la velocidad del agua. Pendientes empinadas favorecen un mayor transporte de partículas en tanto que áreas planas y depresiones favorecen la deposición de material.



Figura 64: El modelo creado para predecir erosión debería permitir estimar la tasa de pérdida de suelo (e.g. Ton/año) en terrenos agropecuarios, forestales y en sitios de construcción. Fuente: elaboración propia.

Modelos y SIG

El SIG fue diseñado para responder a preguntas de naturaleza fundamentalmente geoespacial y su capacidad de análisis y modelaje de procesos espaciales es su principal fortaleza. Tres preguntas pueden ilustrar este aspecto:

- ¿Cuáles ha sido la tasa de cambio de uso de la tierra en Costa Rica 1986 y 2012?

- ¿Cuál sería el impacto sobre la biodiversidad de Costa Rica si la temperatura media anual incrementara en $1,7^{\circ}\text{C}$?
- ¿Cuál es la probabilidad de que durante la temporada de huracanes del 2012 se afecten los cultivos de arroz de la Zona Sur de Costa Rica?

Estas preguntas representan aspectos tales como ubicación, condición geoespacial, tendencia en el tiempo y en el espacio, análisis de rutas y patrones y modelado de escenarios futuros. Como podrá apreciarse dichas interrogantes son válidas para un ingeniero agrónomo, un edafólogo, un hidrólogo, un planificador ó un especialista en economía ecológica. Las herramientas para crear modelos cartográficos y simular escenarios es uno de los aspectos más poderosas y versátiles de un SIG. El análisis estadístico se basa en modelos, los cuales a su vez están estructurados a partir de variables y operadores lógicos, aritméticos y trigonométricos. Un modelo cartográfico utiliza geodatos como insumo y genera geodatos como producto en contraposición con los valores puntuales generados por un modelo matemático tradicional. Por ejemplo, si la variable C es una función lineal de A y B (e.g. $C = A + B$), tendríamos que sumar el valor de las variables A y B para determinar el valor de C. De igual forma en el modelado cartográfico asistido por computadora podemos adicionar las capas A y B y obtener la capa C (Fig. 65). Sin embargo en este caso las variables están representadas por superficies y no por valores puntuales. En un SIG los operadores primitivos (e.g. suma, resta, multiplicación, unión, intercepción) generan funciones más complejas como el análisis de proximidad, rutas y superposición. En resumen, un modelo cartográfico permite integrar las operaciones y funciones de un SIG.



Figura 65: Uso de operaciones matemáticas en un SIG. Fuente: elaboración propia.

Análisis y modelado utilizando geodatos

A finales de la década de los 60's McHarg (1969) introdujo la técnica de superposición de capas de geodatos como un medio de aplicar los conceptos de análisis cartográfico a la planificación del paisaje a nivel local y regional. Una de las desventajas del método propuesto por McHarg era su laboriosidad y en algunos casos su imprecisión al sobreponer mapas analógicos manualmente.

El análisis geoespacial utilizando computadoras resolvió esta limitante en la década de los 70's. Sin embargo, no fue realmente hasta la década de los 80's que el método se convirtió en una herramienta operacional y popular en diferentes disciplinas a nivel mundial. Aun cuando el software de SIG ofrece un medio eficiente y preciso para

procesar y analizar grandes volúmenes de datos, su utilización es todavía limitada en los procesos de planificación, diseño y monitoreo ambiental y agronómico en Costa Rica.

La tecnología SIG es un área del conocimiento relativamente nueva que provee los medios (equipo, soporte informático, métodos, procedimientos) requeridos por el profesional para modelar geoespacialmente sus decisiones. En algunos sentidos, el SIG, es similar a los métodos cartográficos convencionales que utilizaban lápices, planímetros, curvímetros y acetatos para sobreponer y analizar manualmente la coincidencia espacial entre mapas. Pero por otro lado, es un conjunto de herramientas versátiles y poderosas que el profesional puede utilizar para dar respuesta a preguntas muy variadas y mucho más complejas.

Por ejemplo, utilizando el mismo set de datos el especialista en manejo de vida silvestre puede evaluar sitios potenciales para la repatriación de especies faunísticas considerando elementos como la extensión y el tipo de cobertura, proximidad a carreteras, visibilidad y conectividad entre parches. El silvicultor, por su parte, puede evaluar la adaptabilidad potencial de una o más especies forestales, basado en sus requerimientos ecológicos y el agrónomo puede diseñar su sistema de producción considerando los requerimientos del cultivo y utilizando técnicas agronómicas que minimicen su impacto ambiental. Esta capacidad de análisis y versatilidad es lo que diferencia a un SIG asistido por computadora del análisis cartográfico convencional.

Distribución espacial de variables geoespaciales

Por definición, toda variable se caracteriza por su variabilidad, la cual estadísticamente es expresada por una distribución. Un SIG permite analizar no solo la variación intrínseca de una variable sino que también visualizar y cuantificar su variación espacial. La distribución espacial de una variable expresa su continuidad o discontinuidad en una superficie. Por ejemplo, un edificio, una ciudad y un volcán están definidos por ciertos atributos y por su localización o posición geográfica. Las áreas adyacentes carecen de dicho fenómeno geográfico y por lo tanto se dice que la variable o fenómeno es discreto o discontinuo. Por otra parte, variables como temperatura y elevación son continuas; ya que cualquier punto en el espacio posee un valor para dichos atributos o sea no existen áreas vacías o sin la presencia de la variable (Fig. 66).

Otra característica de las distribuciones espaciales es su tendencia o patrón en el espacio; el cual se clasifica como uniforme y no uniforme. Por ejemplo, la temperatura del aire varía entre San José y Cartago y puede clasificarse como una variable uniforme porque los cambios no son bruscos, sino más bien graduales. Por otra parte, fenómenos tales como la distribución del uso-cobertura de la tierra (Fig. 66) y las estadísticas socioeconómicas cambian bruscamente de una clase a la otra y por lo tanto se dice que son no uniformes (Fig. 66).

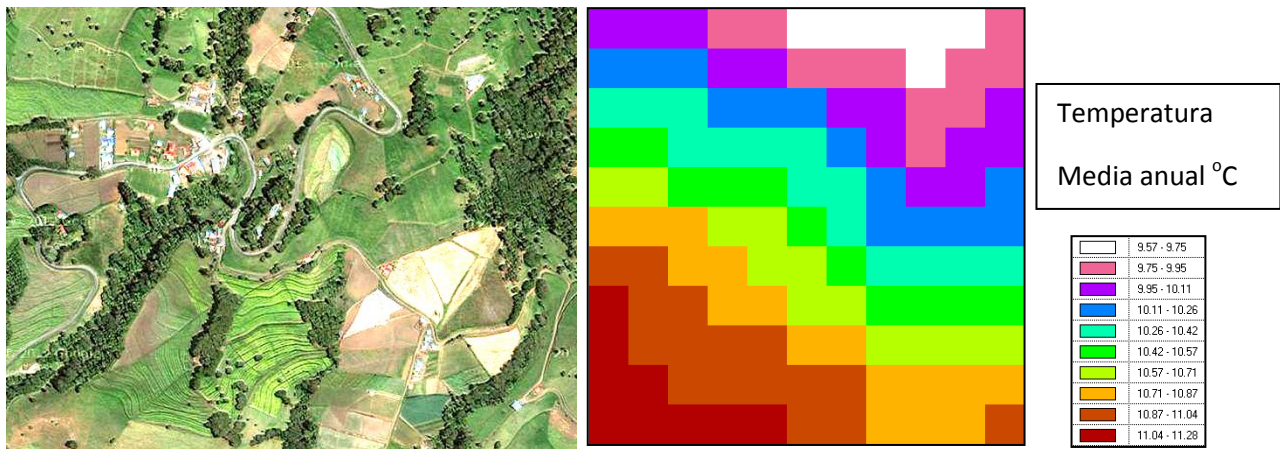


Figura 66: La distribución espacial de una variable expresa su continuidad o discontinuidad en una superficie. A. Uso-cobertura de la tierra: variable discontinua. B: Temperatura: variable continua. Fuente: elaboración propia.

Modelo de idoneidad

El propósito de un modelo de idoneidad es valorar el grado de aptitud o idoneidad (e.g. inapropiado, regular, bueno, muy bueno, excelente) de un espacio geográfico para cumplir con un set de requerimientos particulares. Este es uno de los modelos más simples, antiguos y todavía en uso en el mundo del SIG porque puede integrar tanto geodatos cuantitativos como cualitativos. Uno de sus principales supuestos es que el analista puede mapear todas las variables de interés y que cada variable puede medirse o convertirse a una escala de medición ordinal. Aun cuando estos modelos tienen su propio mérito en el área de los SIG tienen las siguientes debilidades:

- ▶ El resultado del modelo depende de la integridad y calidad de los mapas temáticos utilizados en el análisis. Es frecuente que el analista no posea datos de todos los factores que inciden en su modelo o que los mismos no posean la escala deseada. Por ejemplo, unas capas de datos puede estar a escala 1:250.000, otras a escala 1:50.000 a aun 1:200.000.
- ▶ Cuando se trabaja con variables nominales (e.g. formaciones geológicas, órdenes de suelo), la jerarquización o evaluación es subjetiva (criterio de experto) y en algunos casos es casi imposible asignarle a un espacio geográfico una categorías de medición (e.g. excelente, muy bueno, bueno, regular, inapropiado). El sistema de medición ordinal permite reclasificar datos de un nivel más complejo a otro menos complejo; por ejemplo, la precipitación puede agruparse en tres clases: excesiva, adecuada y escasa; sin embargo la amplitud de cada clase requiere también de la valoración de un experto o de una extensa revisión de literatura.
- ▶ La jerarquización es estática y no representa con exactitud las variaciones ambientales extremas o de grandes extensiones. Para mitigar esta limitante tendríamos que desarrollar un sistema con una gran cantidad de categorías jerárquicas, esto resuelve un problema pero crea otro ¿cómo asignar cada sitio a una de estas categorías?
- ▶ La asignación final de clases de aptitud o idoneidad puede estar influenciada fuertemente por una de las variables de control que conforman el modelo. Por ejemplo, en la metodología de

capacidad de uso de la tierra de Costa Rica, la pendiente es uno de los factores que tiene gran peso o importancia al definir la clase de capacidad de uso mayor de la tierra.

- Dado que el modelo es implementado mediante la combinación o traslape de capas temáticas, con frecuencia, el producto de estos modelos tiene poca concordancia con la realidad.

Algunas preguntas típicas de pueden responderse con estos modelos son:

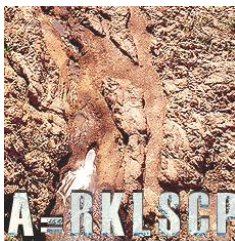
- ¿Cuál es la mejor zona para ubicar un relleno sanitario o para depositar sedimentos en un programa de dragado?
- ¿Cuál es la capacidad de uso de la tierra de la una finca?
- ¿Cuál es el índice de fragilidad ambiental del cantón de Montes de Oca de San José?
- ¿Cuáles es el índice de desarrollo humano del cantón de Pérez Zeledón?
- ¿Cuál es el potencial de la cuenca de generar contaminación no puntual o difusa como función del uso del suelo?

Modelos empíricos

Los modelos empíricos son, después de los de aptitud o idoneidad, los de uso más frecuente en aplicaciones en el campo de los recursos naturales y ambiente. En estos modelos el analista desarrolla una serie de relaciones estadísticas entre variables predictoras (normalmente descriptores del paisaje) y una variable dependiente. En la creación de un modelo pueden utilizarse datos generados para un estudio particular o utilizar datos obtenidos en áreas similares. Dada la incertidumbre asociada a la extrapolación de datos, lo recomendable es producir sus propios datos.

El software de SIG provee los medios para realizar mediciones espaciales como distancia, área, abundancia y diversidad paisajística. Esto datos pueden ser exportados a un programa estadístico para su posterior análisis conjuntamente con los datos colectados por el analista de su objeto de estudio (e.g. localizaciones de una especie X, productividad de un cultivo). Algunos programas de SIG incluyen un módulo estadístico con capacidad de realizar análisis de regresión, diagramas de dispersión, correlación geoespacial y análisis más complejos como estadística multivariada y redes neuronales. Algunos modelos de uso frecuente en agricultura, ambiente y recursos naturales son:

USLE y RUSLE



La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es un modelo multiplicativo propuesto por Wischmeier y Smith en 1978 que estima la erosión laminar y en surcos causada por la precipitaciones y la escorrentía superficial. La última versión denominada “Revised Universal Soil Loss Equation, Version 2” (RUSLE2) de junio 2005 puede descargarse de http://fargo.nserl.purdue.edu/rusle2_dataweb/. Los parámetros del modelo son:

$$A = R K L S C P$$

Donde, A es la pérdida de suelo en toneladas por hectárea, R es el factor de erosividad de la lluvia, K es un factor de erodabilidad del suelo, L es el factor de longitud de pendiente, S es el factor de inclinación de la pendiente, C es el factor de cobertura de suelo y P es el factor relacionado con las prácticas de manejo del cultivo.

TOPMODEL (Catchment Water Discharge and Soil Water)

Este es un modelo distribuido de precipitación-escorrentía que simula los flujos hidrológicos (infiltración, exceso de flujo superficial, flujo de saturación superficial, flujo subsuperficial, evapotranspiración y el enrutamiento de cauce) a escala de cuenca hidrográfica. La idea primaria del modelo es que debe ser lo suficientemente simple como para que pueda ser modificado por el usuario, de modo que las predicciones se ajusten, en la medida de lo posible, a sus percepciones sobre cómo funciona la cuenca. La popularidad del programa está relacionada con su simplicidad estructural y parsimonia en sus parámetros.

$$S_i = S + m \{ \lambda - \ln(\alpha / \tan \beta)_i - (\delta - \ln(K_i)) \}$$

El modelo asume una tasa de recarga espacialmente uniforme y una respuesta del subsuelo cuasi-estable, lo cual permite obtener una función que relaciona el almacenamiento local de la humedad del suelo o la profundidad de la tabla de agua con el índice topográfico de la cuenca ($\ln(\alpha / \tan \beta)$). El programa es gratuito y puede descargarse de: http://www.es.lancs.ac.uk/hfdg/freeware/hfdg_freeware_top.htm.

Comentarios finales

Los Sistemas de Información Geográfica nacen a principios de los años sesenta con la creación del Sistema de Tierras de Canadá. Es interesante que este primer SIG tuviera como objetivo promover la conservación y uso racional de los recursos naturales de dicho país. La segunda experiencia fue desarrollo en los Estados Unidos y tenía como objetivo resolver problemas de transporte urbano.

Desde sus primeros días, las aplicaciones SIG han sido muy variadas, sin embargo desde el punto de vista del ingreso total generado por la comunidad de usuarios de SIG, el sector Servicios (Electricidad, agua, alcantarillado, telecomunicaciones) y las aplicaciones urbanas han sido las más importantes.

Durante los años setenta los trabajos en el área de SIG se dirigieron a resolver retos en el área de cartografía computacional (Burrough y Mcdonell 1998). En el período de los ochentas, los SIG ganaron aceptación en el mercado y prácticamente todas las instituciones en el campo de los recursos naturales y ambiente empezaron a utilizar dicha tecnología. La década del noventa presenció un auge en el uso de sistemas que operaban en microcomputadoras y en la proliferación de una gran cantidad de compañías que proveían software en el área de SIG. Y finalmente la primera década del siglo XXI, el SIG se ha convertido en una herramienta de trabajo sumamente poderosa pero a la vez tan común como un procesador de texto o una hoja de cálculo; sin embargo todavía no se ha resuelto el tema de la capacitación y adopción de la tecnología por parte de las pequeñas y medianas empresas así como por el sector gubernamental. Para el sector agropecuario esto es una desventaja, pues por su misma naturaleza, la mayor parte de sus actores son pequeños y medianos y no tienen la capacidad económica ni técnica para incursionar en estas tecnologías por sus propios medios.

A pesar del comentario anterior, en Costa Rica se ha observado un incremento tanto en el número de sistemas instalados como en el número de publicaciones y aplicaciones desarrolladas durante los últimos veinte años. Por otro lado, también se ha registrado un elevado número de fracasos en cuanto a mantener los sistemas saludables y productivos. En la década del noventa, se concebía al SIG como un software asociado a una computadora y una

impresora que frecuentemente era donado como parte de un proyecto de cooperación pero que no era adoptado como un aspecto clave de la institución y por ende, una vez finalizado el proyecto el SIG dejaba de existir. Otro aspecto que limitó y todavía limita la expansión del SIG a nivel nacional es la ausencia de normas y estándares y de mecanismos transparentes para el intercambio de datos y conocimiento. Para romper con el ciclo de “probar y desechar” es necesario que el SIG se convierta en una herramienta de uso cotidiano en la institución y la agroempresa costarricense.

4. Ejercicio de autoevaluación (geodatos_cap4)

1. Utilizando la capa Istaru_crtm05.img y un software de SIG, realice las siguientes tareas:
 - a. Dibuje once puntos (casas).
 - b. En la tabla de atributos cree un campo denominado "descripción" y digite casa.
 - c. Calcule las coordenadas Este y Norte de cada punto.
 - d. Digite dos polilíneas (río y una carretera).
 - e. En la tabla de atributos cree un campo denominado "descripción" y digite río y camino, respectivamente.
 - f. Calcule la longitud en metros de cada polilínea.
 - g. Digite tres polígonos de bosque.
 - h. En la tabla de atributos cree un campo denominado "descripción" y digite bosque.
 - i. Calcule el área de cada polígono.
2. Liste los archivos que conforman el formato "shape" de ESRI.
3. ¿Cuál es la diferencia entre una tabla, un atributo, un campo y un registro?
4. ¿Qué es una entidad? Liste cinco ejemplos.
5. Liste las principales tareas que pueden realizarse con una tabla de atributos.
6. Liste y describa las propiedades de los campos del archivo codigos_cartoterra.dbf.
7. Utilizando un software de SIG y la capa de geodatos "Thiessen_tarcoles.shp" simbolice la capa utilizando:
 - a. Color o símbolo único.
 - b. Valor único (campo Ppt_anual)
 - c. Gradiente de color (campo Ppt_anual)
 - d. Grafico de barra (campo Ppt_anual)
 - e. Densidad de puntos (campo Ppt_anual)
8. ¿Cuál campo utilizaría usted para unir las siguientes tablas?

Río Segundo
 Río Tibas
 Río Uruca
 Río Zanjón

f. ¿Cuál cuenca recibe el mayor volumen de agua de lluvia anual? ¿Por qué?

13. Utilizando las imágenes Mss_1975_03_03_crtm05.img y Tm5_14enero_2001_crtm05.img, ilustre visualmente la expansión de la ciudad de Heredia.

14. Utilizando un software de SIG, une las capas "Thiessen_tarcoles.shp" y Distritos_sj_crtm05.shp.

a. ¿Existen polígonos ficticios en la capa "Thiessen_distritos_sj.shp"?

b. ¿Cuántos distritos poseen un valor de precipitación igual a cero?

c. ¿A qué se deben estos valores iguales a cero?

d. Edite la tabla y asígneles a dichos valores de precipitación el -99 (no datos).

15. Realice una unión geoespacial entre las capas "vertices_union_rios50k.shp" y "vertices_union_rios25k.shp".

a. Simbolice los resultados utilizando el campo distancia. Utilice cinco clases naturales.

b. ¿Muestran las discrepancias algún patrón espacial?

16. Elabore una capa de polígonos de Thiessen para la variable precipitación anual (mm) utilizando la capa "pt_cuenca_tarcoles.shp"

17. Utilizaría usted el modelo descrito en la páginas 60 a 63 bajo las siguientes condiciones:

- Finca agrícola con cárcavas (suelo arrastrado por el agua que al generar cárcavas; estas suelen comenzar en forma de surcos).
- Nivelación de terrenos en sitio de construcción.
- Erosión en bancos de quebrada.
- Erosión Eólica o deflación Pérdida del suelo debido al efecto erosivo del viento el arrastre de los materiales edáficos arrancados

Respuestas

1. R/

A, b y c: Ver archivo casas.shp

D, e y f: Ver archivo polilineas.shp

G, h e i: Ver archivo poligonos.shp

2. R/ *.shp, *.shx y *.dbf.

3. R/.

Tabla: Conjunto de datos organizados en filas y columnas. Cada fila representa un registro único y cada columna un campo del registro. Las filas y columnas se intersecan para formar celdas, que contienen un

valor concreto para un campo en un registro.

Atributo: Característica no espacial de una entidad geográfica en el SIG, normalmente almacenado en una tabla y vinculado a una entidad geométrica mediante un identificador único o clave. Por ejemplo, los atributos de una finca podrían incluir su propietario, nombre, área registral y colindantes.

Campo: Cada una de las columnas de la tabla; almacena el valor de un atributo único.

Registro: Cada una de las filas de una tabla.

4 R/ Una entidad es una característica geográfica del mundo real que comparte tanto la geometría como los atributos.

Ejemplos: Finca, parcela, río, cantón, tanque de agua, bodega

5 R/ Visualizar atributos

Simbolizar atributos

Seleccionar elementos o registros

Editar campos, registros y valores de atributos

6 R/

CODIGO : Number, Decimal [Field_decimal; Prec. = 16.6]

OBJ_MEX : String, Char [Field_char; Prec. = 254.0]

OBJ_CR : String, Char [Field_char; Prec. = 254.0]

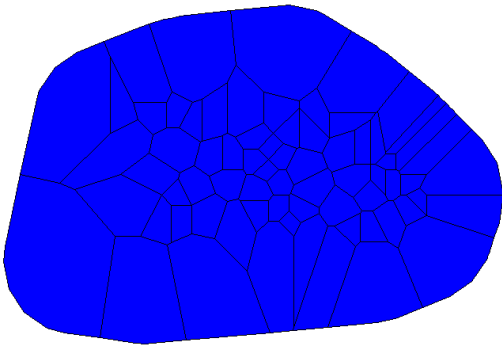
TEMA : String, Char [Field_char; Prec. = 254.0]

COBERTURA : String, Char [Field_char; Prec. = 254.0]

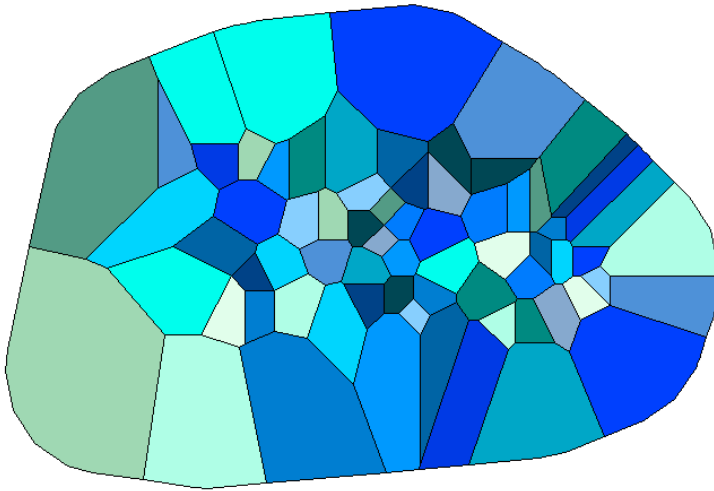
ELEMENTO : String, Char [Field_char; Prec. = 254.0]

7 R/ Ver archivo Thiessen_tarcoles.shp

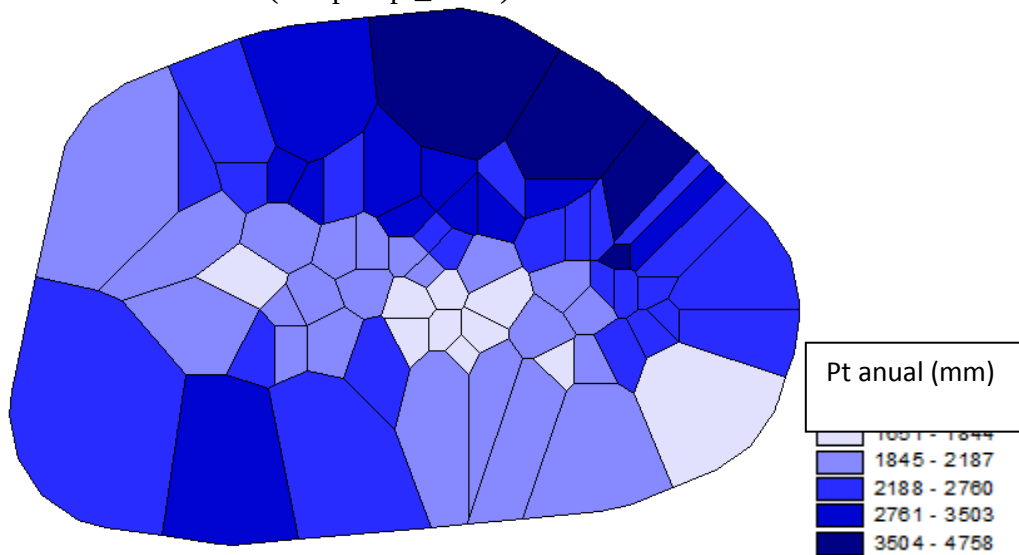
a. Color o símbolo único.



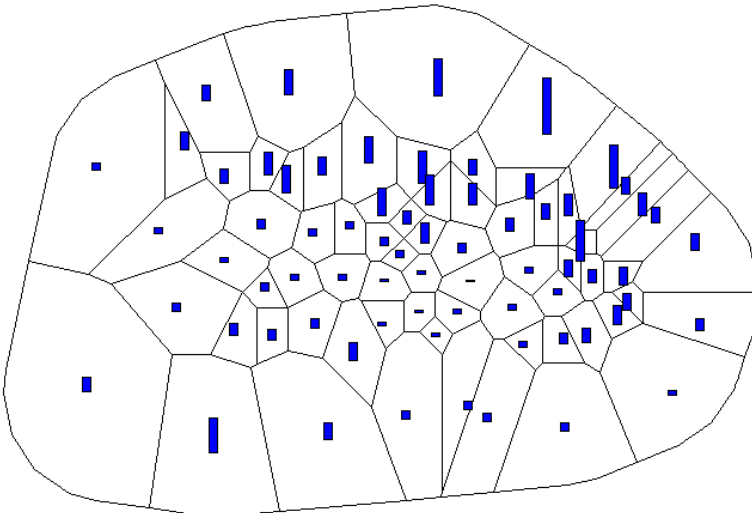
b. Valor único (campo Ppt_anual)



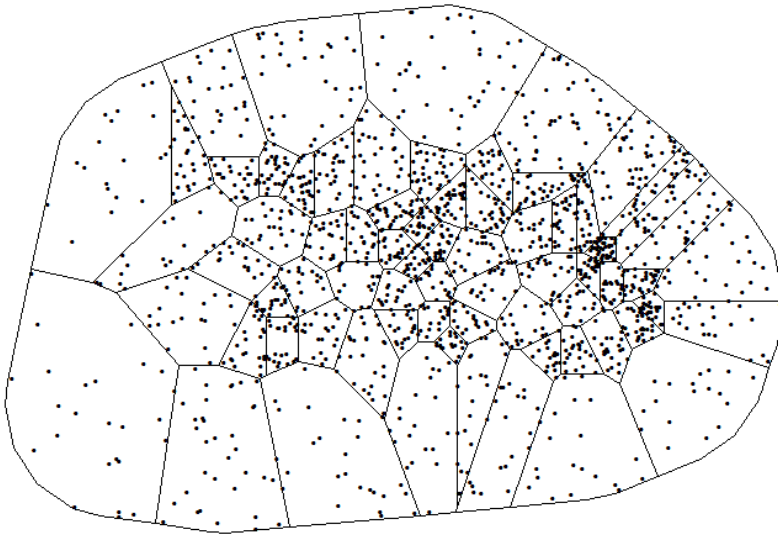
c. Gradiente de color (campo Ppt_anual)



d. Grafico de barra (campo Ppt_anual)



e. Densidad de puntos (campo Ppt_anual)



Cada punto representa 100 mm

8 R/ El campo código ya que es común a ambas tablas

9 R/

codigo	usosuelo
2	espejo agua
3	mangle
4	pasto
5	plaza
6	salina
7	veg. arbustiva
1	bosque
1	bosque
1	bosque
1	bosque
1	bosque
1	bosque
1	bosque
1	bosque
1	bosque

10 R/ El geoprocetamiento es un término que engloba tres aspectos fundamentales de un SIG: automatización de procedimientos, análisis geoespacial y modelado de aspectos de la vida real.

11 R/ Ver capa recortar_cuencas_tarcoles_thiessen.shp.

12a R/ Ver capa intercep_cuencas_tarcoles_thiessen.shp

12b R/ La primera no contiene las cuencas.

La diferencia se debe a que la operación recortar no transfiere ningún atributo a la capa que se recorta; en tanto que la operación superposición extrae las áreas comunes de los archivos que se traslapan manteniendo los atributos de ambas capas.

12c R/ Todos los registros son seleccionados.

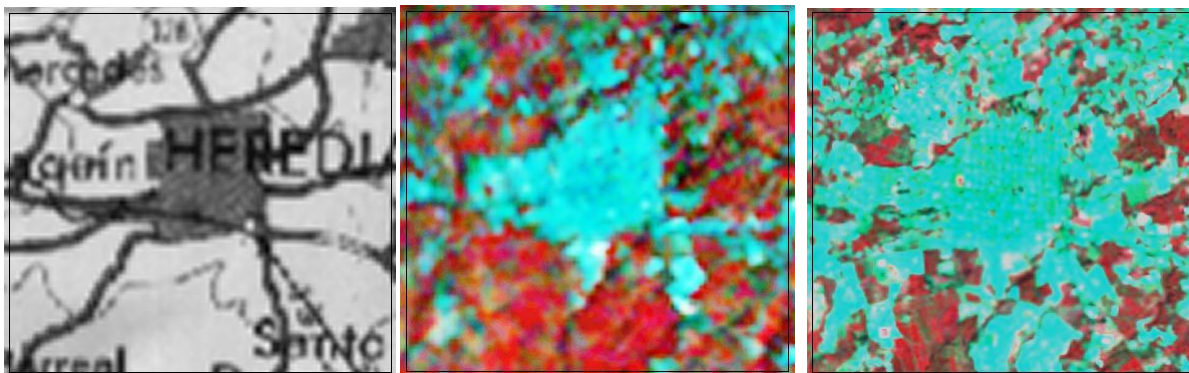
12d R/

San José R/ 1883 mm año
 Heredia R/ 2115 mm año
 Alajuela R/ 1981 mm año
 Cerro Tablazo R/ 1991 mm
 Santo Domingo R/ entre 1651 y 913

12e R/ Ver hoja de Excel intercep_cuencas_tarcoles_thiessen.xlsx

12f R/ Río Ciruelas. La cuenca del río Ciruelas no es la que recibe la mayor cantidad de precipitación anual, sin embargo sí es la que posee mayor área y dado que el volumen de lluvia recibido por la cuenca es una función de área * volumen de lluvia, esto explica que sea la cuenca con el mayor volumen de agua captado al año.

13 R/



Heredia 1:200.000

Heredia 1971

Heredia 2001

14a

R/ Dado que Goicochea es el distrito más pequeño (54. 78 ha) se pueden considerar como polígonos ficticios a todos aquellos menor que 55 ha.

14b

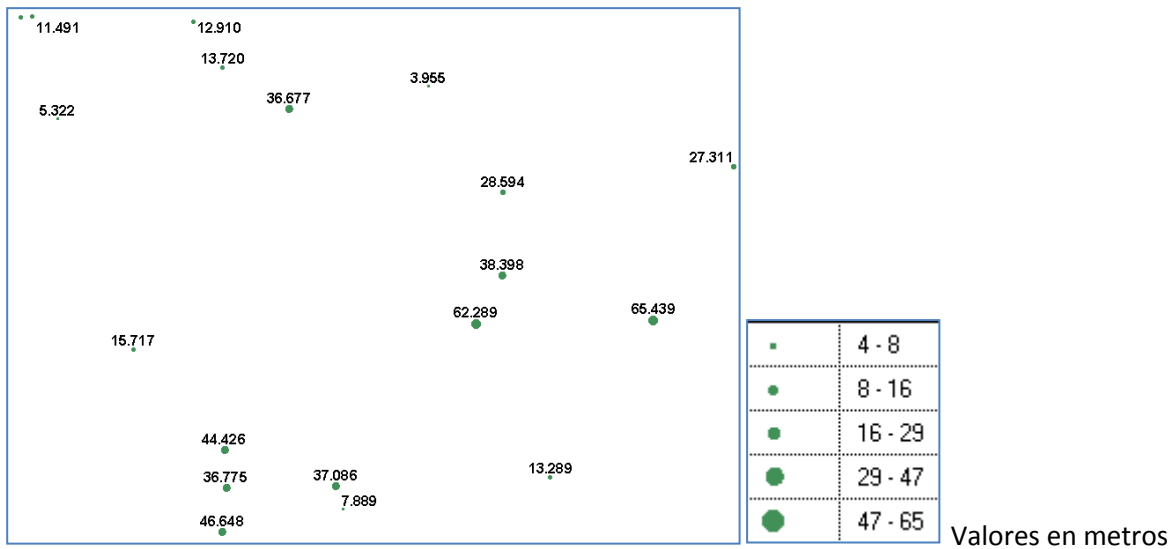
R/ 34.

14c R/ La capa de polígonos de Thiessen no cubre la totalidad de los distritos de San José.

14d R/Ver la tabla de la capa "Thiessen_distritos_sj_1.shp".

15 R/ Ver capa vert25K_vert50k.shp.

15a R/



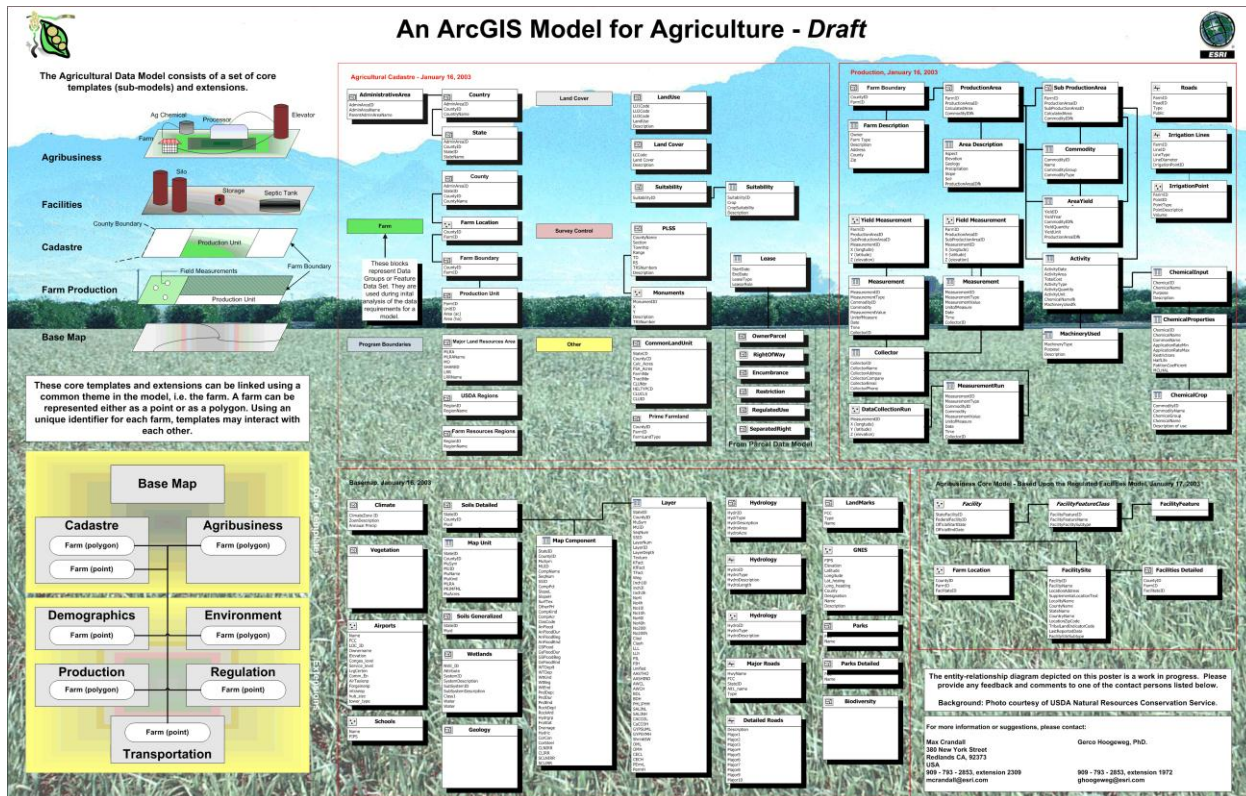
15b R/ Las graficas del archivo vert25k_vert50k.xlsx indican que el valor de la discrepancia aumenta en el sentido del eje este y disminuye en el sentido del eje norte.

16R/ Ver capa Thiessen_tarcoles.shp.

17 a, 17c y 17 c R/ La respuesta es no, el modelo solo debe utilizarse para estimar erosión laminar y en surcos.

17 b R/ La respuesta es sí, el modelo puede utilizarse tanto en terrenos agrícolas, forestales como en sitios de construcción.

Anexo 1



Modelo de datos para el sector agropecuario.

Fuente:

http://downloads.esri.com/support/datamodels/Agriculture/AGDM_Poster.gif.

Nota: usted puede descargar modelos de <http://support.esri.com/en/downloads/datamodel>

Referencias

- Abellanas M. 2009. Sobre la vecindad geométrica. Boletín de la Sociedad "Puig Adam" de Profesores de Matemáticas, nº 82:38-52. Disponible en <http://www.dma.fi.upm.es/mabellanas/trabajos/vecindadgeo.pdf>. Visitado 8 de junio 2012
- Beard, Kate. 1998. Detecting and Evaluating Errors by Graphical Methods, NCGIA Core Curriculum in GIScience. Disponible en: http://www.ncgia.ucsb.edu/education/curricula/giscc/units/u099/u099_f.html. Visitado 10 junio 2012.
- Burrough, P. A., Mcdonell, R.A. 1998. Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, New York.
- Calvo Nestor Alberto . Generación de mallas tridimensionales por métodos duales. Tesis Doctoral en Ingeniería de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral. 2005. Disponible en <http://3dmeshing.tripod.com/> Visitado 8 junio 2012.
- DeLaune, Mike. 2003. XTools 9/15/03. 2003. Disponible en: www.esri.com/arcscripts.
- ESRI. 1998. Shapefile Technical Description. An ESRI White Paper—July 1998. 28p. Disponible en <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>. Visitado 10 junio 2012.
- Dissmeyer, G.E. and G.R. Foster. 1980. A guide for predicting sheet and rill erosion on forest land. Technical Publication SA-TP-11. USDA-Forest Service-State and Private Forestry-Southeastern Area. 40 pp. (Technical report). Disponible en <http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64080530/RUSLE/sheetrillerosion.pdf>. Visitado 8 junio 2012.
- Foster George R. 2005. Draft Science Documentation Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE2). National Sedimentation Laboratory USDA-Agricultural Research Service Oxford, Mississippi. USDA-Agricultural Research Service Washington, D.C. Disponible en ftp://fargo.nserl.purdue.edu/pub/RUSLE2/RUSLE2_Program_File/RUSLE2_Science_Doc.pdf
- Foster, G.R., Renard, K.G., Yoder, D.C., McCool, D.K. and Weesies. G.A. 1999. RUSLE User's Guide. Soil and Water Cons. Soc. 173 pp. Disponible en <http://www.tucson.ars.ag.gov/unit/publications/PDFfiles/1135.pdf>. Visitado 8 junio 2012.
- García Rodríguez José L. and Giménez Suárez Martín C. 2010. Comparison of mathematical algorithms for determining the slope angle in GIS environment. Aqua-LAC - Vol. 2 - Nº 2: pp.78-82 Disponible en http://www.unesco.org.uy/phi/aqualac/fileadmin/phi/aqualac/GarciaRodriguez_et_al_p78-82.pdf. Visitado 8 junio 2012.
- gvSIG Association. 2011. gvSIG Desktop 1.11 Manual de usuario.703 p. Disponible en http://downloads.gvsig.org/download/gvsig-desktop/dists/1.11.0/docs/gvSIG-1_11-man-v1-es.pdf. Visitado 8 junio 2012.

Haining, Robert and Wise, Stephen. 1997. Exploratory Spatial Data Analysis, NCGIA Core Curriculum in GIScience. Disponible en: http://www.ncgia.ucsb.edu/education/curricula/giscc/units/u128/u128_f.html. Visitado 8 junio 2012.

Heuvelink, Gerard B.M. 1998. Uncertainty Propagation in GIS. NCGIA Core Curriculum GIScience. Disponible en http://www.ncgia.ucsb.edu/education/curricula/giscc/units/u098/u098_f.html. Visitado 8 de junio 2012.

Lancaster University. Environmental Science Department. TOPMODEL: The Rainfall-Runoff Model. Lancaster University. Disponible en:

URL: http://www.es.lanacs.ac.uk/hfdg/freeware/hfdg_freeware_top.htm. Visitado 10 junio 2012.

Micó Andrés María Luisa. 1996. Algoritmos de búsqueda de vecinos más próximos en espacios métricos. Tesis doctoral. Departamento de Sistemas Informáticos y Computación. Universidad Politécnica de Valencia, 1 de Marzo de 1996. 159p. <http://www.dsic.upv.es/docs/bib-dig/tesis/etd-10272003-000620/Tesis.pdf>. Visitado 8 junio 2012.

Migliaccio K. W., Srivastava P. 2007. Hydrologic components of watershed-scale models. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Vol. 50(5): 1695-1703. Disponible en <http://trec.ifas.ufl.edu/kwm/documents/Migliaccio-Srivastava.pdf>. Visitado 8 junio 2012.

Moreno Durán José Luis y Ordóñez Perez Sergio. Diagramas de Voronoi de alcance limitado. 2009. Proyecto de graduación en Ingeniería Informática. 116p. Disponible en: <http://www-ma2.upc.edu/~geoc/DVALon/MemoriaDVALon.pdf>. Visitado 8 junio 2012.

Nyerges Timothy L. and Golledge Reginald G. 1997. Asking Geographic Questions. NCGIA Core Curriculum in GIS, National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara, Unit 007. Disponible en, http://www.ncgia.ucsb.edu/education/curricula/giscc/units/u007/u007_f.html. Visitado 8 junio 2012.

Quantum GIS Development Team. 2011. Quantum GIS. User Guide. Version 1.7.0 'Wroclaw'. 207p. Disponible en http://download.osgeo.org/qgis/doc/manual/qgis-1.7.0_user_guide_en.pdf. Visitado 9 junio 2012.

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A. and Porter, J.P. 1991. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. J. Soil and Water Conservation 46(1):30-33.

Renard, K.G. and Ferreira. V.A. 1993. RUSLE model data base sensitivity. J. Environ. Qual., 22:458-466.

Renard, K.G., Foster, G.R., Yoder, D.C., and McCool. D.K. 1994. RUSLE revisited: Status, questions, answers, and the future. J. Soil and Water Conservation. 49(3):213-220.

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. and Yoder, D.C., coordinators. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Dept. of Agriculture, Agric. Handbook No. 703, 404 pp. Disponible en <http://ddr.nal.usda.gov/dspace/bitstream/10113/11126/1/CAT10827029.pdf>. Visitado 8 junio 2012.

Schut Peter H. 1998. Natural Resources Data, DRAFT. NCGIA Core Curriculum in GIScience. Disponible en http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u090/u090_f.html. Visitado 8 junio 2012.

Thiessen, Alfred H. 1911. Precipitation averages for large areas. Mon. Wea. Rev., 39, 1082–1089. Disponible en <http://docs.lib.noaa.gov/rescue/mwr/039/mwr-039-07-1082b.pdf>. Visitado 8 octubre 2012.

USDA-Agricultural Research Service. 2008. DRAFT USER'S REFERENCE GUIDE Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE2). United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service Washington, D.C. May 15, 2008 431p. Disponible en http://www.ars.usda.gov/sp2UserFiles/Place/64080510/RUSLE/RUSLE2_User_Ref_Guide.pdf. Visitado 10 junio 2012.

Veregin Howard. 1998. Data Quality Measurement and Assessment, NCGIA Core Curriculum in GIScience. Disponible en http://www.ncgia.ucsb.edu/education/curricula/giscc/units/u100/u100_f.html. Visitado 8 de junio 2012.

Wischmeier, W.H., and D.D. Smith. 1978. Prediction Rainfall Erosion Losses: A Guide To Conservation Planning. USDA Agricultural Handbook No. 537. U.S. Department of Agriculture. Disponible en http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64080530/RUSLE/AH_537.pdf. Visitado 8 de junio 2012.

Zhan F. Benjamin. 1998. Representing Networks, NCGIA Core Curriculum in GIScience. Disponible en <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u064/>. Visitado 8 junio 2012.