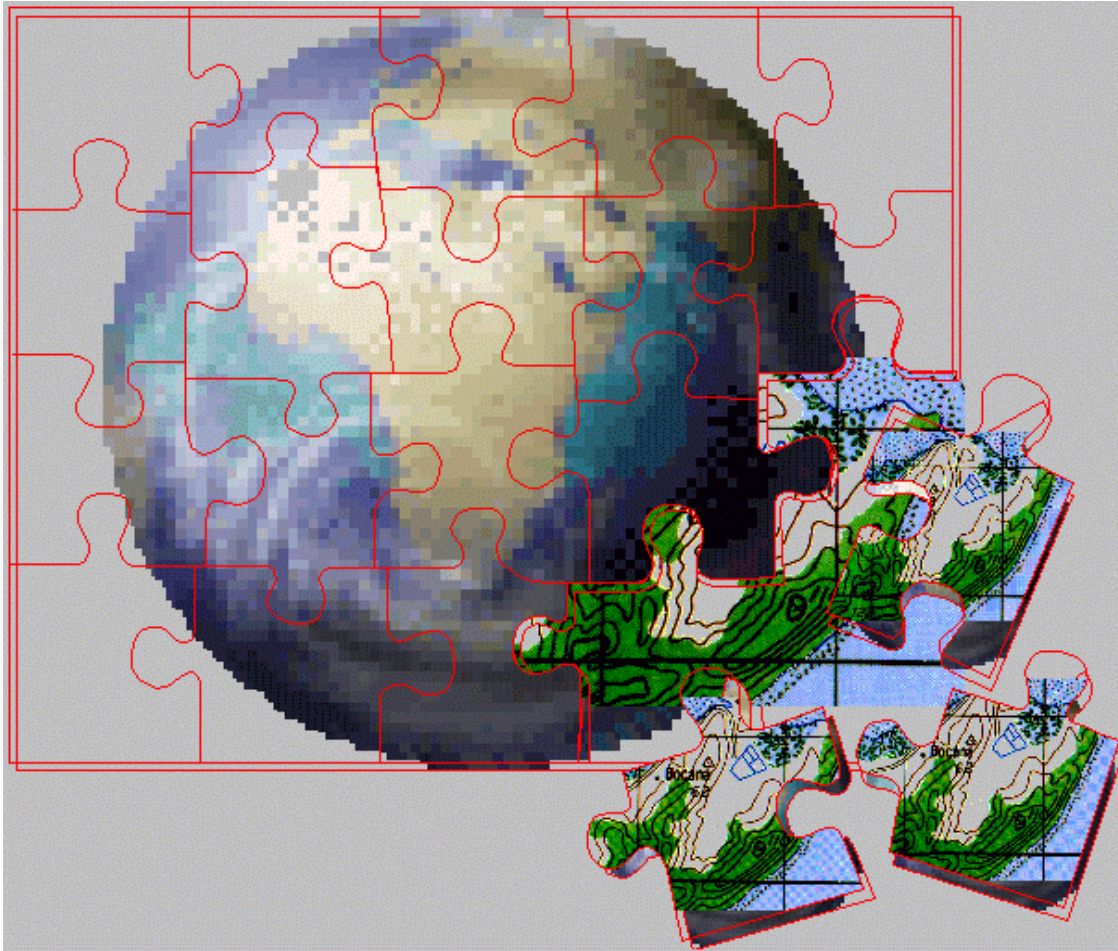




SISTEMAS INTEGRADOS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

CONCEPTOS BÁSICOS DE CARTOGRAFÍA



Jorge Fallas

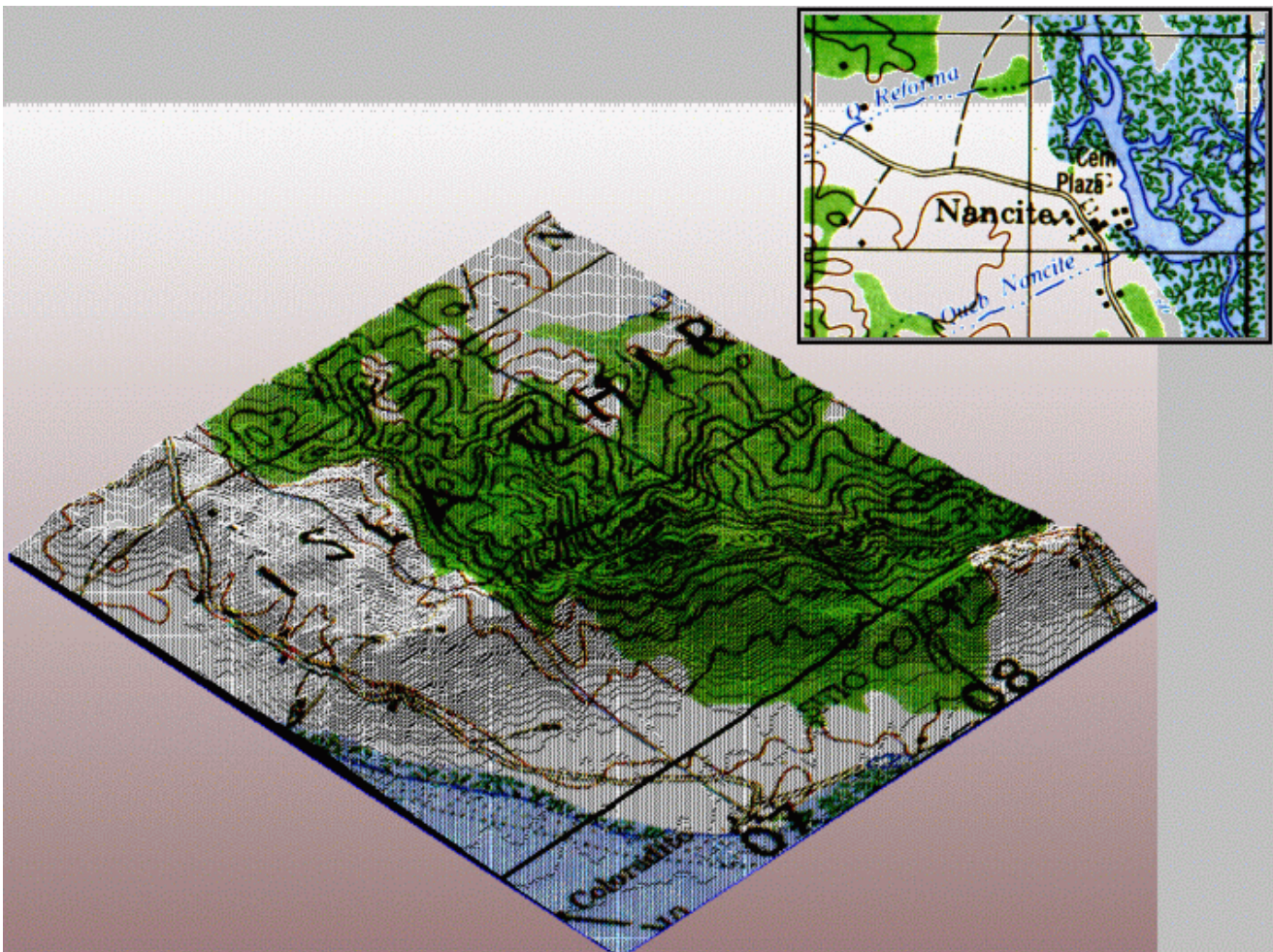
Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica

**Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre y Escuela de Ciencias Ambientales.
Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica.**

Email: jfallas@racsa.co.cr WWW.una.ac.cr/ambi/telesig/index.htm

2003

CONCEPTOS BÁSICOS DE CARTOGRAFÍA



INDICE

INTRODUCCIÓN	1
LOS MAPAS Y SUS PROPIEDADES	1
Concepto de escala: mostrando el mundo en una hoja cartográfica	3
Calculando la escala de un mapa	6
GENERALIZACIÓN: EFECTO DE LA ESCALA EN LA REALIDAD	9
LOS MAPAS Y SU CLASIFICACIÓN	15
Mapas generales, base o topográficos	15
Mapas cuantitativos de superficie	16
VARIABLES GEOESPACIALES	18
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE VARIABLES GEOESPACIALES	20
UTILIZANDO MAPAS EN ANÁLISIS CUANTITATIVO	21
MAPEO ASISTIDO POR COMPUTADORAS Y ANÁLISIS GEOESPACIAL	23
BIBLIOGRAFÍA	24

INTRODUCCIÓN

Los mapas son posiblemente una de las bases de datos más utilizadas en nuestros días. El turista que recorre un nuevo país o localidad, el edafólogo que realiza un estudio de suelos, el político que desea conocer la distribución de la población mayor a 18 años; todos requieren de mapas en diferentes escalas y grados de complejidad. En un mapa es posible asociar una localidad con múltiples fenómenos naturales y humanos. EL mapear el objeto de estudio (Ej. distribución de tipos de vegetación o suelos, isoyetas, etc) es esencial para entender tanto su distribución espacial como las interrelaciones entre dicha variable y su ambiente. Es difícil imaginar a un especialista en recursos naturales del siglo XXI sin un conocimiento apropiado de la cartografía digital y sus áreas de aplicación.

Aun cuando los mapas son esenciales para representar la realidad y sus relaciones espacio-temporales, no debemos olvidar que son solamente una aproximación de la realidad y como tales no están exentos de distorsiones o errores geométricos (Aranoff, 1989; Burrough, 1986). La palabra error se utiliza en el contexto estadístico y por lo tanto un mapa exacto es aquel que representa fielmente la realidad. La distorsión geométrica en los mapas es el resultado de representar una superficie curvilínea como la Tierra en una lámina de papel plana.

Los cartografía general y temática es una de las fuentes más importantes de datos para los Sistemas de Información Geográfica; por esta razón dedicamos el presente fascículo a explorar algunos conceptos básicos de cartografía.

LOS MAPAS Y SUS PROPIEDADES

La cartografía ha desempeñado un papel fundamental a lo largo de la historia de la Humanidad. En el Siglo XX los mapas aunados a la tecnología de los sistemas de información geográfica son excelentes herramientas que nos permiten comparar, escoger y tomar decisiones basados en información actualizada e integral. En los fascículos tres y cuatro estudiaremos cómo integrar la información utilizando un SIG; sin embargo por el momento veamos cómo se originó el arte-ciencia de elaborar mapas.

Tolomeo es considerado el padre de la cartografía y de la geografía. En el siglo II perfeccionó los métodos para la medición de ángulos y distancias y adoptó un sistema de localización basado en una cuadrícula de coordenadas ortogonales.

La palabra cartografía tiene su origen en los vocablos *charta* del Latín que significa papel que sirve para comunicarse o carta y *grapho* del griego que significa descripción, estudio o tratado. La cartografía es la rama del grafismo que se ocupa de los métodos e instrumentos utilizados para exponer y expresar ideas, formas y relaciones en un espacio bi o tridimensional. La cartografía parte del principio de que los seres vivos, los fenómenos físicos y sus interrelaciones ocurren en un contexto temporal y espacial y que por lo tanto es posible mapearlos.

Un *mapa* es la **representación gráfica a una escala reducida de una porción de la superficie terrestre que muestra sólo algunos rasgos o atributos de la realidad**. En este sentido el mapa es un sustituto de la porción de la superficie terrestre que deseamos estudiar. El mapa también puede definirse como un instrumento analógico diseñado para el registro, cálculo, exposición, análisis y, en general, la comprensión de los hechos geográficos y de sus relaciones espaciales. Su función es representar visualmente una imagen. Tres de las características más importantes de los mapas son su control geodésico y su precisión horizontal y vertical, los cuales responden a los estándares utilizados en cada país.

Desde un punto de vista geométrico los mapas pueden concebirse como una representación bidimensional de la superficie terrestre que nos muestra atributos tales como distancias, direcciones,

tamaños y formas. Los mapas son elaborados normalmente para mostrar la distribución espacial de uno o más fenómenos geográficos. Por ejemplo, un mapa puede mostrarnos la distribución de calles y avenidas en un área urbana, el número de lapas rojas (*Ara macao*) por hectárea en el Pacífico Central o la densidad de población por distrito de la provincia de Heredia.

En el mapa hacemos uso de signos convencionales para representar detalles de la superficie terrestre que dada la escala del mapa no es posible dibujar utilizando sus formas y proporciones reales (Ej. tamaño y forma de escuelas y puentes en un mapa 1:50.000). Los mapas son elaborados en muy diferentes estilos y escalas y cada uno de ellos cumple una función específica. Sin embargo para facilitar su uso todos deben poseer ciertos elementos comunes (cuadro 1). La omisión de cualquiera de estos elementos reduce su utilidad.

Cuadro 1: Elementos esenciales en un mapa

Título:

El título expresa la esencia del mapa o sea su tema principal. Debe incluir el área o zona geográfica que representa y el objeto de estudio. Por ejemplo, Vías de comunicación de Costa Rica ó Distribución de avistamientos de lapa roja (*Ara Macao*) en el Pacífico Central de Costa Rica.

Fecha de los datos:

Los mapas son representaciones estáticas de un fenómeno temporal y por lo tanto debe indicarse claramente la fecha en que fueron recolectados los datos.

Fecha de publicación del mapa: Día, mes y año en que se publica el mapa.

Leyenda:

En los mapas se utilizan símbolos, tramados, colores o tonos de gris para expresar cantidades, gradientes o proporciones (Ej. número de escuelas por distrito, precipitación media anual, etc). Aún cuando algunos símbolos se explican por sí mismos es necesario incluir una leyenda explicativa en una esquina del mapa.

Proyección y datum:

La proyección y el datum son dos atributos del mapa que definen sus características y propiedades geométricas. Esta información es esencial para referenciar y posteriormente manipular un mapa utilizando un sistema de información geográfica.

Escala:

Indique la escala gráfica y/o numérica de su mapa.

Autor(a)/Fuente:

Indique si usted es el autor o si la información utilizada para elaborar el mapa proviene de otra fuente. Recuerde que usted debe dar crédito al autor(es) de la información original.

Algunas otras formas de representar la realidad para usos específicos son:

Plano: Los planos representan a gran escala, una porción reducida de la superficie terrestre y son elaborados por topógrafos. A diferencia de los mapas, los planos, no requieren de la utilización de símbolos; ya que los objetos o rasgos del terreno son expresados utilizando sus formas y dimensiones reales. Otra diferencia con los mapas es que no requieren de un control geodésico.

Carta: La carta es una representación del espacio marítimo o aéreo y es utilizada con fines de navegación (Ej. cartas náuticas y aeronáuticas). El diseño de las cartas tiene como fin facilitar su lectura por parte del navegante y por esta razón no todas tienen la misma escala. Dependiendo de su uso resaltarán estructuras tales como aeropuertos (aéreos y náuticos), ciudades, carreteras, líneas férreas, encalladeros, topografía, etc.

Concepto de escala: mostrando el mundo en una hoja cartográfica

Ya hemos mencionado que el mapa es una representación a escala del mundo real. Por esta razón es esencial dominar el concepto de escala para entender y utilizar correctamente las relaciones espaciales (Ej. distancia y tamaño) que nos muestran los mapas.

La escala expresa la razón de ampliación o reducción entre una distancia en el mapa y una distancia equivalente en el terreno.

El conocer la escala de un mapa nos permite medir distancias, determinar áreas y realizar comparaciones entre diferentes objetos. Dada la naturaleza esférica de la Tierra, la escala no puede representarse sin errores o sea la escala no es constante a lo largo y ancho del mapa. Sin embargo cuando el área representada es pequeña las distorsiones son lo suficientemente pequeñas como para que el mapa sea aceptado como libre de errores. En algunos sistemas de referencia como el UTM y otros basados en la proyección Transversal de Mercator se requiere de un *factor de escala*. Este factor refleja el hecho de que no es posible transformar una superficie esférica en una plana sin encoger o alargar los elementos que se encuentran sobre ella. El factor de escala es igual a:

FE: escala verdadera / escala principal o nominal

Para mapas de gran escala basados en la proyección Transversal de Mercator el valor de FE para una zona de 6° puede variar entre 0.99960 y 1.00158.

La escala puede expresarse de la siguiente manera (Robinson, Sale and Morrison, 1978):

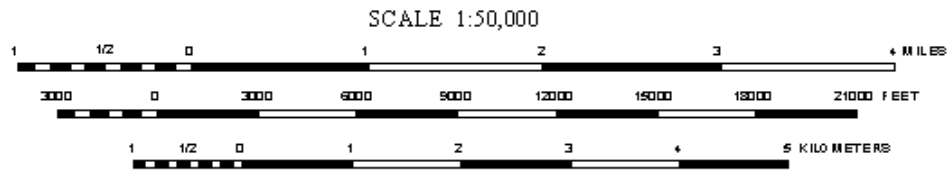
Escala numérica: Es una fracción o razón como se muestra a continuación en donde el numerador se denomina **modulo** y el denominador **fracción representativa**:

1:10 000 1/10 000

En ambos casos la escala se lee *uno en diez mil* y su interpretación es la siguiente:

una unidad de distancia en el mapa (Ej. 1 mm ó 1 cm) equivale a 10 000 unidades en el terreno (Ej. 10000 mm ó 10 000 cm).

Escala gráfica lineal: Este tipo de escala se expresa como una línea o una barra que se ubica en la carátula explicativa del mapa. La línea se subdivide en segmentos de igual longitud para indicar la distancia en el mapa. El error máximo permisible al elaborar la escala gráfica es de 0,127 mm. La escala gráfica es útil cuando se desea reducir o ampliar un mapa ya que la relación de escala se mantiene.



En el cuadro 2 y la figura 1 se muestra la relación entre escala del mapa, la distancia en metros y el área en metros cuadrados representada por un centímetro en el mapa. Los elementos de la realidad se representan en los mapas mediante líneas, puntos, polígonos, colores, y tramados. Los tamaños relativos con que se representan los objetos en el mapa definen si la escala es pequeña o grande. Por ejemplo, si dibujamos Centroamérica en una hoja tamaño carta, la escala del mapa es pequeña; ya que representamos una gran superficie en una pequeña área. Por otra parte, si representamos los límites de una parcela de una hectárea en la misma hoja, entonces la escala será grande.

En los mapas de pequeña escala la realidad se representa de una forma muy simplificada o generalizada. La escala debe seleccionarse considerando los elementos de la realidad (puntos, líneas y polígonos) que se desean representar en el mapa. Por otro lado los mapas de gran escala, aunque también representan la información en forma selectiva, permiten mostrar la realidad en una forma más detallada. En general, no existe un límite entre los términos *grande*, *mediano* y *pequeño* cuando se aplica a la escala de un mapa. Sin embargo en aplicaciones cartográficas se considera que un mapa a una escala de 1:50 000 o menor (Ej. 1:25 000) es de gran escala y que por encima de dicho valor (Ej. 1:100 000) es de pequeña escala.

Cuadro 2 : Relación entre escala del mapa, distancia y área representada por un centímetro en el mapa.

Escala	Dist. representada por 1cm m	Area representada por 1 cm ² m ²	Hás.
1: 1 000	10	100	0,01
1: 2 000	20	400	0,04
1: 10 000	100	10 000	1,00
1: 20 000	200	40 000	4,00
1: 25 000	250	62 500	6,25
1: 50 000	500	250 000	25,00
1: 100 000	1 000	1 000 000	100,00
1: 200 000	2 000	4 000 000	400,00
1: 500 000	5 000	25 000 000	2500,00
1:1 000 000	10 000	100 000 000	10 000,00

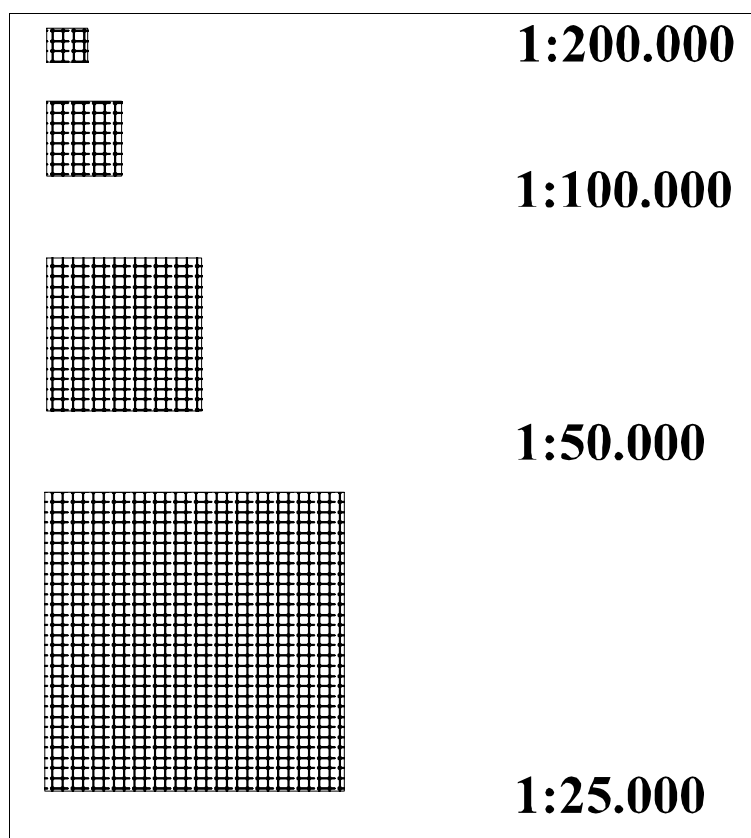


Fig. 1: Área equivalente requerida para representar 1 Km² a diferentes escalas.

Calculando la escala de un mapa

Para determinar la escala de un mapa o plano con escala desconocida debe procederse de la siguiente manera :

1. Seleccione dos puntos prominentes en el mapa (Ej. cruce de carreteras, unión de dos ríos, etc.) y mida la distancia entre dichos puntos utilizando una regla o un escalímetro.
2. Determine la distancia en metros o kilómetros entre los puntos seleccionados en el paso anterior. Esta información puede obtenerse de otro mapa de escala conocida o directamente del terreno.
3. Calcule la escala del mapa utilizando la siguiente relación:

ESCALA=distancia en el terreno (m) entre distancia en el mapa (mm)

Por ejemplo si la distancia entre los dos puntos en el mapa es 10 mm y la distancia en el terreno es de 1.000 metros; la escala es:

ESCALA = 10mm / 1.000.000mm

ESCALA = 1 / 100.000 y por lo tanto la escala del mapa es 1:100 000.

La escala también permite determinar áreas, perímetros, longitudes y otras variables derivadas a partir de dichas observaciones como se observa en el cuadro 2 y las figuras 2 a 5.

Cuadro 2 : La escala y sus usos en el análisis de cartográfico.

ESCALA Y SUS USOS

Distancia en el mapa: Dist. en el terreno/Fracción representativa

Distancia en el terreno: Dist. en el mapa* Fracción representativa

Cálculo de áreas

El área de un polígono puede determinarse utilizando una red de puntos con un espaciamiento de "X" mm y la siguiente ecuación:

$$A = E^2 * 0,0000(X * X) * N$$

en donde: E es la fracción representativa del mapa (Ej. 10.000, 50.000), N el número de puntos dentro del área de interés y A el área en m². Aquellos puntos que toquen el límite del área de estudio se contarán como 0,5 unidades. Si desea expresa el área en hectáreas divide el resultado entre 10.0000 (1 ha=10.000 m)

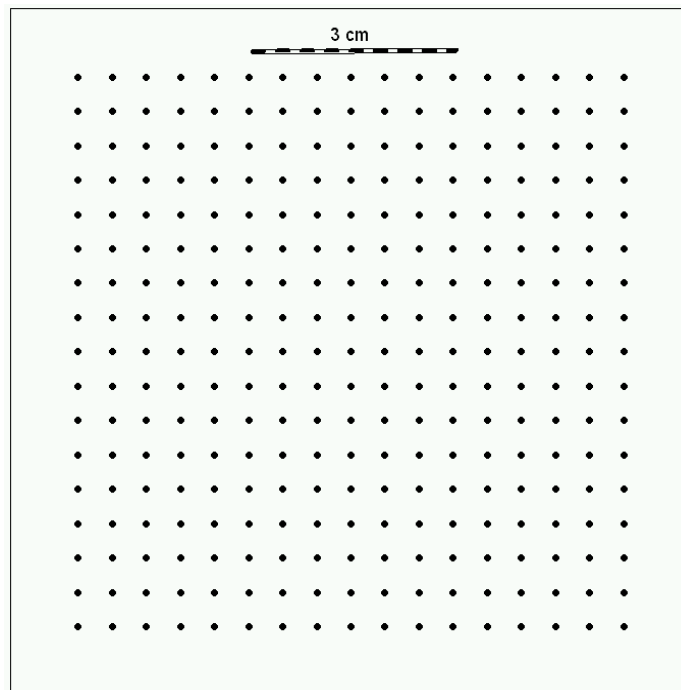


Figura 2: Malla de puntos

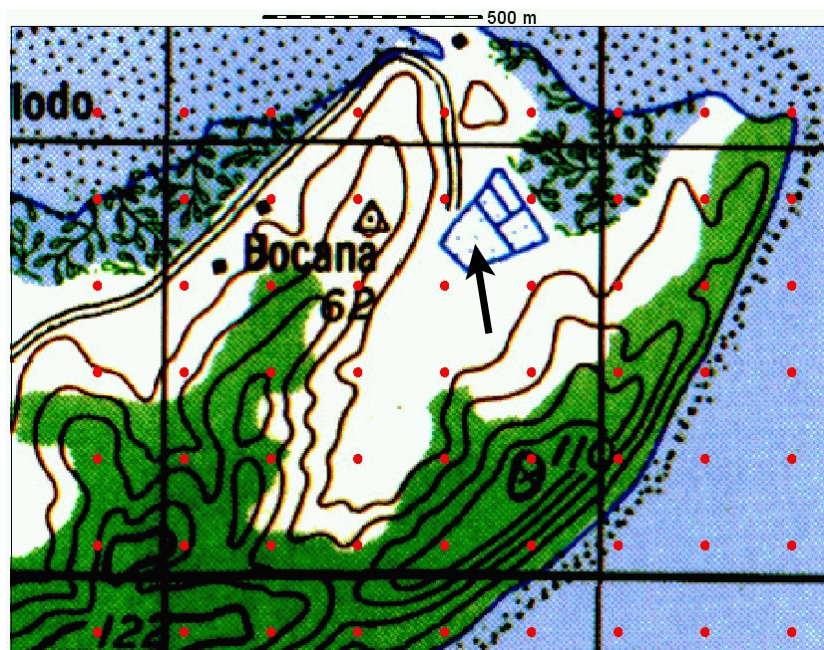


Figura 3: Malla de puntos con un espaciamiento de 200 m. El cuadrado del centro tiene un área de 100 has (1km*1km). Si usted desea conocer el área de dicho cuadrado solo tiene que contar el número de puntos contenido en el mismo. En este caso 25; cada punto representa 4has y por tanto el área es 100 hectáreas. ¿Qué pasaría si se desea estimar el área de la salina? (indicada por la flecha).

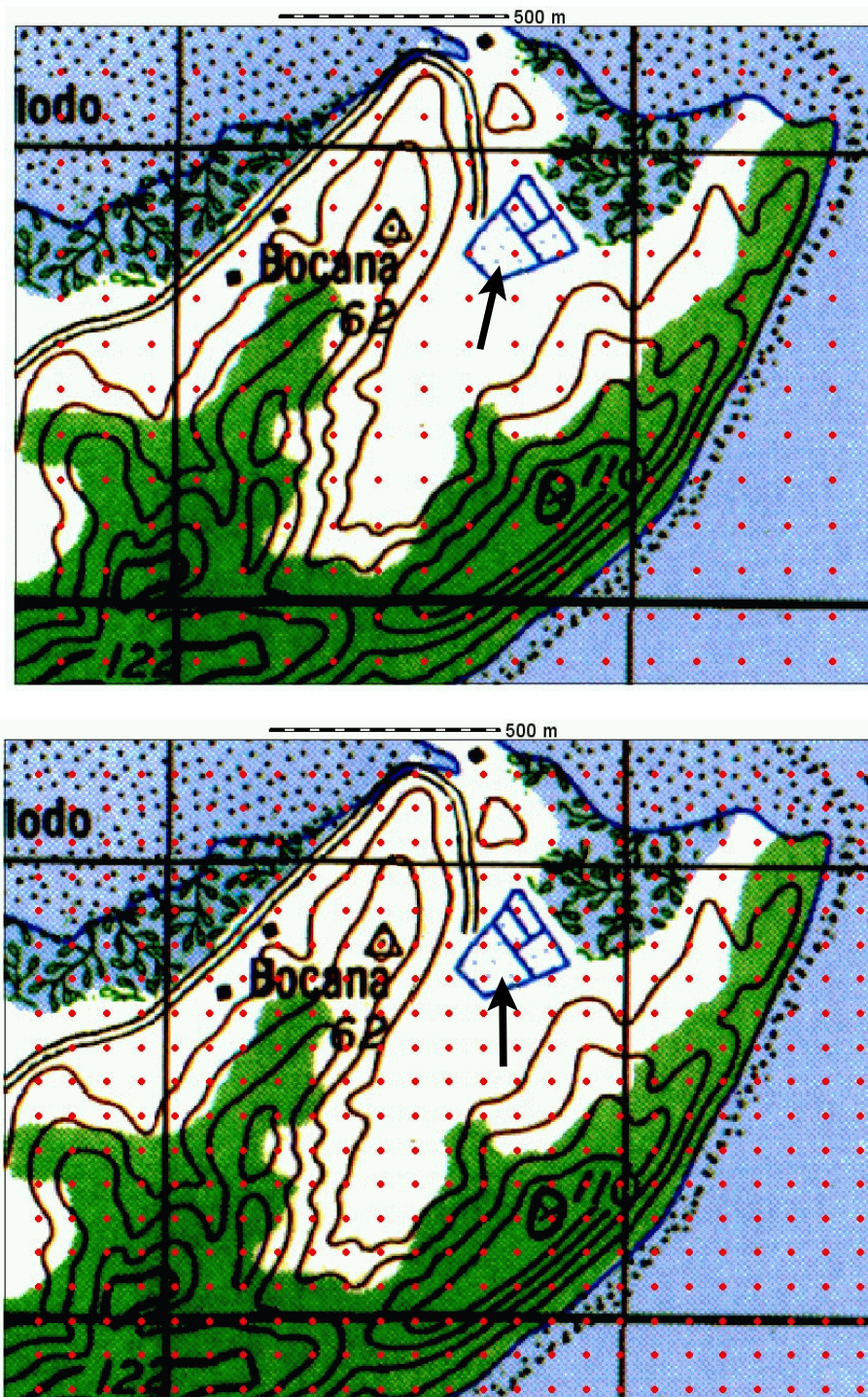


Figura4: Malla de puntos con un espaciamento de 100 y 75 metros, respectivamente. El cuadrado del centro tiene un área de 100 has (1km*1km). Cuente el número de puntos para cada imagen y determine el área. ¿Qué pasaría si se desea estimar el área de la salina? (indicada por la flecha). Nota: el área estimada con ArcView es de 2.98 has.

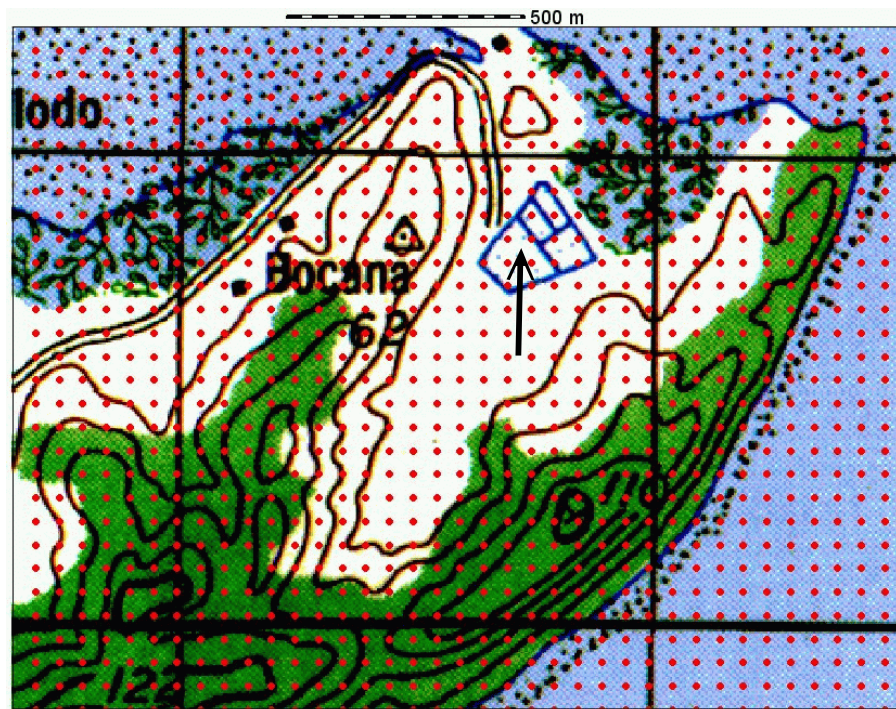


Figura 5: Malla de puntos con un espaciamiento de 50 metros. El cuadrado del centro tiene un área de 100 has (1km*1km). Cuente el número de puntos para cada imagen y determine el área. ¿Qué pasaría si se desea estimar el área de la salina? (indicada por la flecha). **Nota:** el área estimada con ArcView es de 2.98 has.

GENERALIZACIÓN: EFECTO DE LA ESCALA EN LA REALIDAD

Al observar un mapa debemos reconocer que representa la realidad, sin embargo no es la realidad. La escala representa el valor por el cual reducimos el tamaño de lo que se desea mapear. Al seleccionar la escala estamos definiendo el grado de generalización que aplicaremos a nuestro objeto de estudio. La generalización cartográfica está en función de cuatro elementos (Muehrcke and Muehrcke, 1992; Robinson, Sale and Morrison, 1978):

1. Simplificación

El concepto de simplificación involucra el determinar lo esencial o importante de los datos a cartografiar, eliminando los detalles que no interesan y en algunos casos exagerando las características que deseamos resaltar. Por ejemplo, una carretera de 20 metros de ancho estará representada por una línea de 0,6mm de ancho en un mapa a escala 1:25.000; por 0,2mm en un mapa a escala 1:100.000 y por una línea prácticamente invisible a una escala 1:500.000.

Un objetivo de la simplificación cartográfica es adaptar los rasgos y características del mundo real a la escala elegida del mapa, manteniendo cuanto sea posible los fenómenos representados en el mapa. Por esta razón los datos a representar en el mapa deben seleccionarse cuidadosamente. Recordemos que el área disponible para representar la realidad en un mapa es función de la escala y que la diferencia en áreas entre dos escalas es una función del cuadrado de la diferencia en escalas. Por ejemplo, la diferencia lineal entre un mapa a escala 1:50.000 y otro a escala 1:200.000 es 4, sin embargo la diferencia en términos de área es de 16 veces. Las figuras 6 y 7 muestran la silueta de la isla Chiriquí a escalas 1:50.000

y 1:1.000.000. Otro efecto de la generalización es que los límites o bordes de los elementos en los mapas no coinciden a diferentes escalas. La figura 8 muestra un segmento del mapa de Costa Rica a escalas 1:1.000.000 y 1.3.000.000. La discrepancia entre los elementos es de aproximadamente 1.2Km.

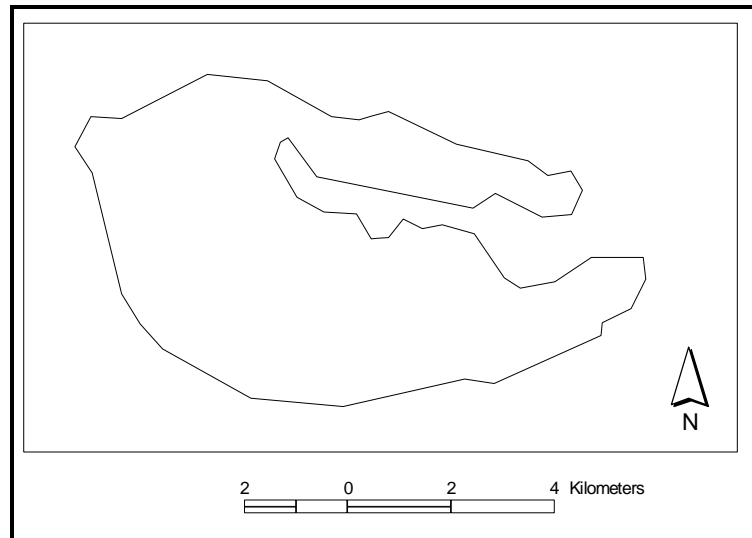


Fig. 6: Efecto de la generalización. Silueta de la isla Chira a escala 1:1.000.000. Fuente: Digital Chart of The World. ESRI, 1993.

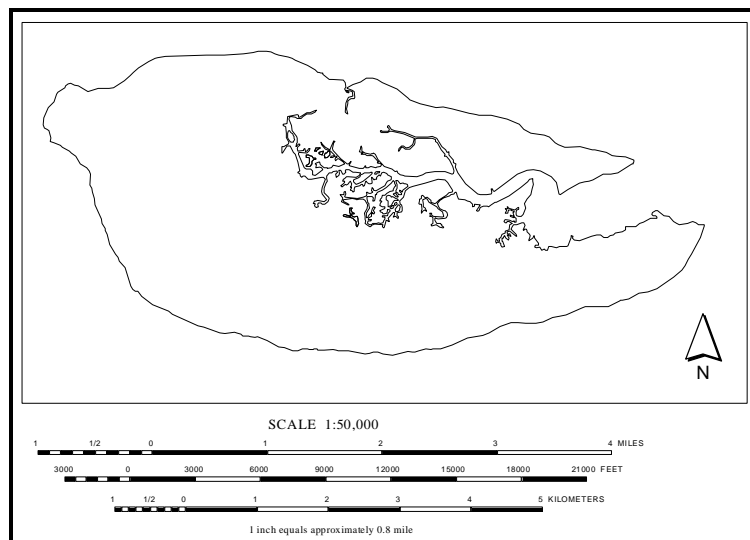


Fig.7: Silueta de la isla Chira. Escala 1:50.000. Fuente: Hoja Berrugate, Instituto Geográfico Nacional. 1989.

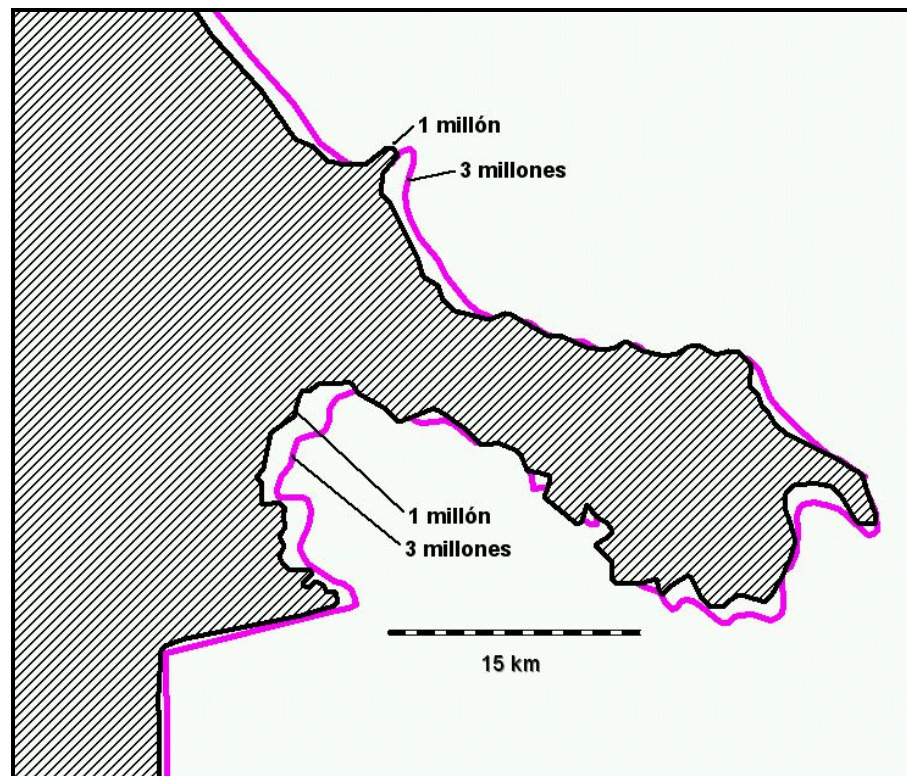


Figura 8: Efecto de la escala en el contorno de Costa Rica. Fuente: ESRI, Digital Chart of the World.

2. Clasificación

La clasificación consiste en agrupar los datos utilizando una escala de medición y un conjunto de criterios. Por ejemplo, podemos designar a las vías terrestres como *carreteras* y a los cuerpos de agua como *lagos*. Los datos numéricos pueden reducirse utilizando estadísticos tales como el promedio o la desviación estándar. Un método común de clasificar variables cualitativas consiste en agrupar los datos en categorías. Por ejemplo los usos del suelo pueden clasificarse como tierras agrícolas, bosques y áreas urbanas (Fig.9).

3. Simbolización

La simbolización consiste en asignar diversos tipos de signos a la información que hemos simplificado y clasificado (Fig. 10). Por ejemplo, se puede utilizar un punto para representar una ciudad o a un pueblo y una pala y un pico para representar un área minera. El objeto de la simbolización es comunicar al lector la información contenida en el mapa.

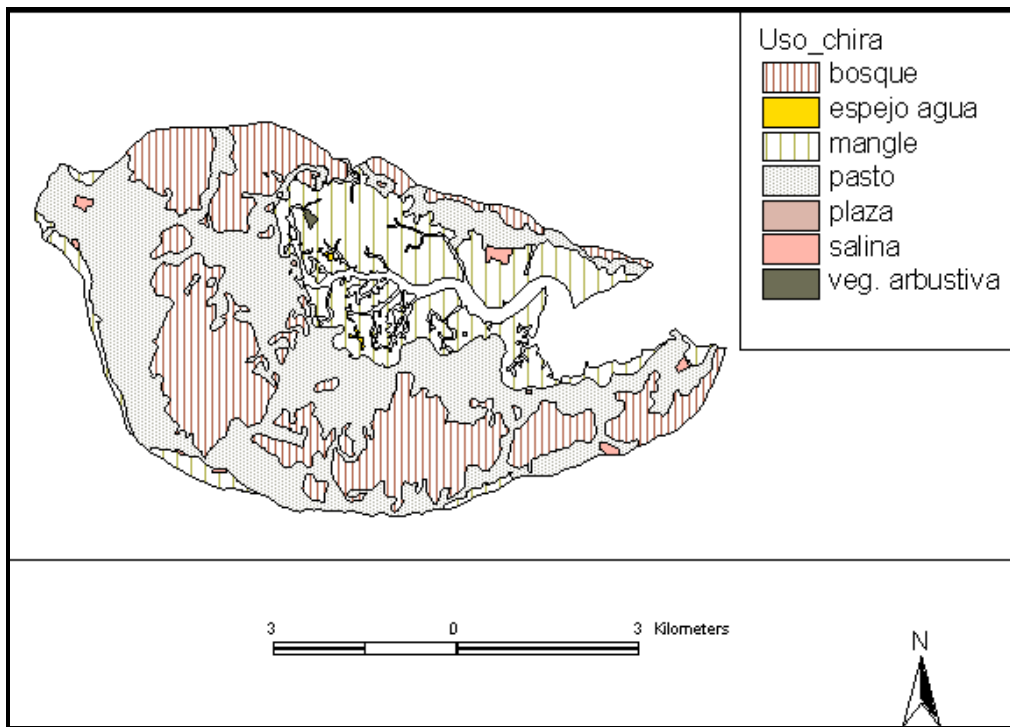


Figura 9 : Clasificación del uso-cobertura de la isla Chira. Fuente: Basado en cartografía del IGN; hoja Berrugate, escala 1: 50.000 de 1989.

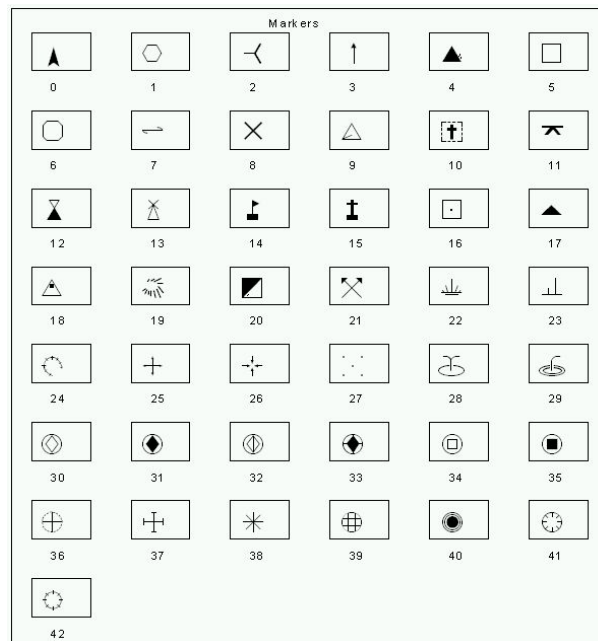


Figura 10: Librería de símbolos típica de un software de SIG.

4. Inducción

La inducción es el proceso mediante el cual analizamos la información contenida en el mapa. Por ejemplo a partir de las observaciones puntuales de precipitación es posible elaborar un mapa de isoyetas, el cual provee mayor información que las observaciones puntuales.

El mapa final es una mezcla de los factores anteriores y depende de los siguientes aspectos:

Objetivo del mapa: EL objetivo del mapa expresa la razón o finalidad por la cual se elaboró. Por ejemplo está el mapa dirigido a niños, adultos, ó cartógrafos? En qué ambiente se utilizará el mapa? Por ejemplo es un mapa de referencia para estudios detallados ó se utilizará por unos cuantos segundos en una conferencia para ilustrar un aspecto específico de la presentación.

Escala: La escala es la relación entre el mundo real y su representación en el mapa. Cuanto menor sea la escala del mapa mayor será el grado de generalización necesario para representar el mundo real y por lo tanto menor será su contenido de información.

Limitaciones gráficas: Para lograr el objetivo de comunicar de manera eficiente la información contenida en el mapa el cartógrafo utiliza uno o más de los siguientes elementos gráficos básicos:

color, tono, tamaño, forma, espaciado, orientación y localización de los elementos gráficos.

Por ejemplo una línea que sea el doble de otra será percibida como tal por el lector, sin embargo un círculo cuya área sea el doble de otro será percibido como más pequeño de lo que es en realidad.

El detalle con que se presentan los datos en el mapa es una función de la calidad de la información utilizada para elaborarlo y debe reflejarse en el grado de generalización utilizado. El ofrecer mayor detalle que el permitido por la información original transmite al lector una idea de exactitud y confianza más allá de la que los datos originales permiten. Al elaborar nuevos mapas a partir de cartografía ya existente debemos recordar que para mantener la calidad y la exactitud del material original siempre debe compilarse de mapas de gran escala (ej. 1:25.000) a mapas de pequeña escala (ej. 1:50.000).

El efecto de la **generalización cartográfica** es la pérdida de detalle en la forma y el tamaño propios de las líneas o polígonos a mapear. Cuanto mayor sea la escala mayor será el grado de detalles que mostrará el mapa y por lo tanto mayor será su exactitud geométrica. Para clarificar el concepto de generalización cartográfica utilizaremos como ejemplo a la ciudad de Heredia expresada en tres diferentes escalas: 1:10.000, 1:50.000 y 1:200.00 (Fig. 11).

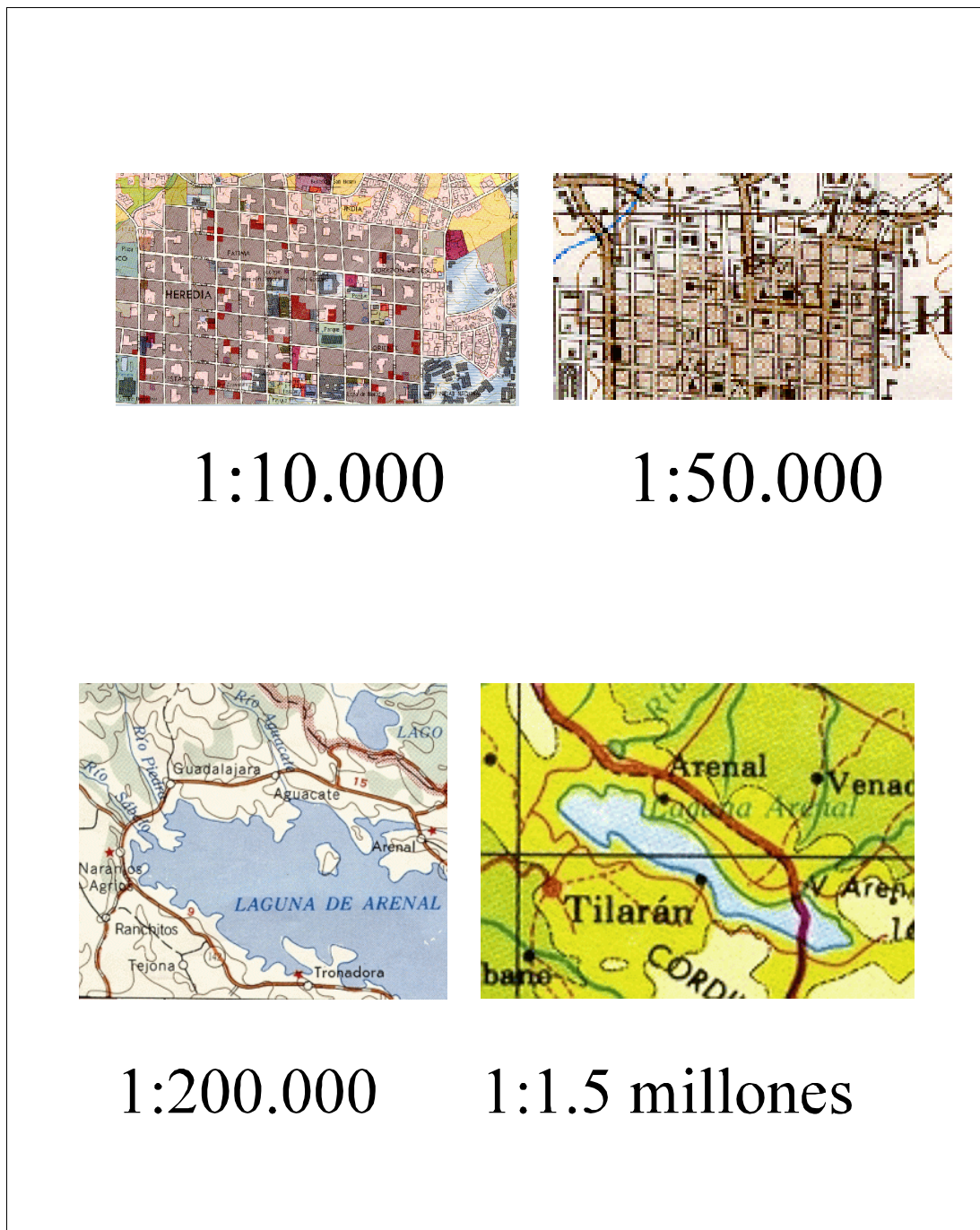


Fig. 11: Efecto de la generalización en el grado de detalle que muestra el mapa. Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

En el primer caso (1:10.000) es posible observar con claridad las calles y avenidas de la ciudad; en el segundo caso (1:50.000) las carreteras y ríos son representados como líneas sobredimensionadas; a escala 1:200.000 se observan los rasgos generalizados del embalse arenal y finalmente a escala 1.5 millones se observa la laguna arenal como un polígono sin ningún grado de detalle. Una consecuencia de la generalización es que al ampliar un mapa no es posible obtener más detalle del presente en el mapa

original. En otras palabras dado el mapa de Heredia a escala 1:50 000 no es posible lograr el detalle del área urbana cuando se amplie a escala 1:10.000.

LOS MAPAS Y SU CLASIFICACIÓN

La información contenida en los mapas es muy diversa, sin embargo puede clasificarse de la siguiente manera (Robinson, Sale and Morrison, 1978):

Mapas generales, base o topográficos

Los mapas generales muestran diversos atributos de un área geográfica y su función es ubicar al lector en su área de trabajo (Fig. 12). Los mapas topográficos son un ejemplo de mapas de uso general ya que muestran tanto detalles planimétricos como altimétricos de una determina zona. Elementos típicos de estos mapas son: carreteras, elevaciones, ríos, lagos y asentamientos humanos. Su elaboración es mediante métodos y técnicas fotogramétricas de alta precisión. En Costa Rica, los mapas topográficos de uso más frecuentes son 1:10.000, 1:25.000, 1:50.000 y 1:200.000.

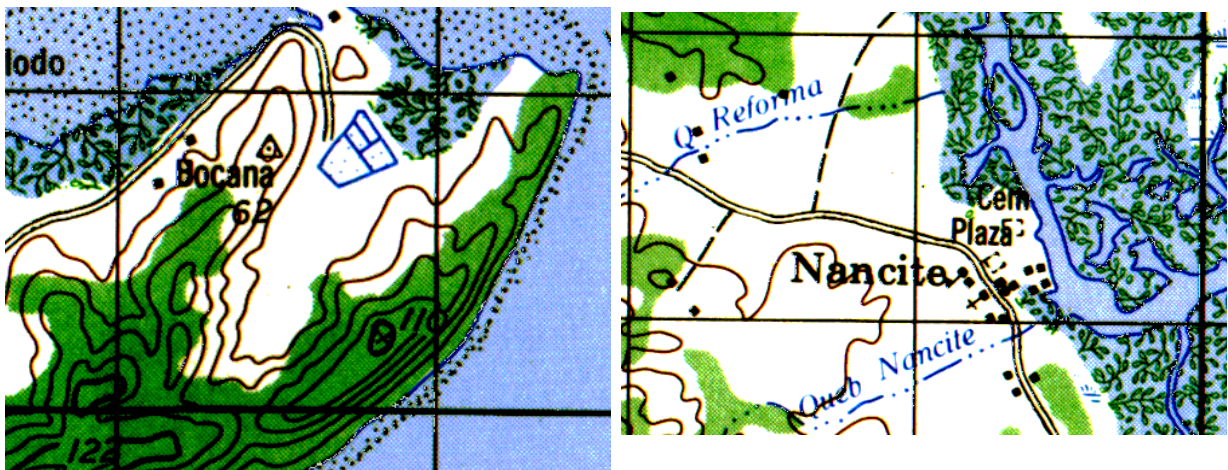


Figura 12: Segmentos de la hoja Berrugate del IGN-CR. Isla, Chira. Golfo de Nicoya. Este mapa permite ubicar tanto elementos naturales tales como ríos, bosques, manglares como elementos culturales (Ej. plaza, poblados, templo católico. También pueden observarse las curvas de nivel.

Mapas cualitativos

Estos mapas expresan variables de carácter nominal u ordinal y normalmente se utilizan para representar características del paisaje tales como uso-cobertura del suelo, geología, geomorfología o suelos.(Fig.13).

Mapa 4.4: Cobertura boscosa para 1996/97 y su distribución por cuenca hidrográfica.

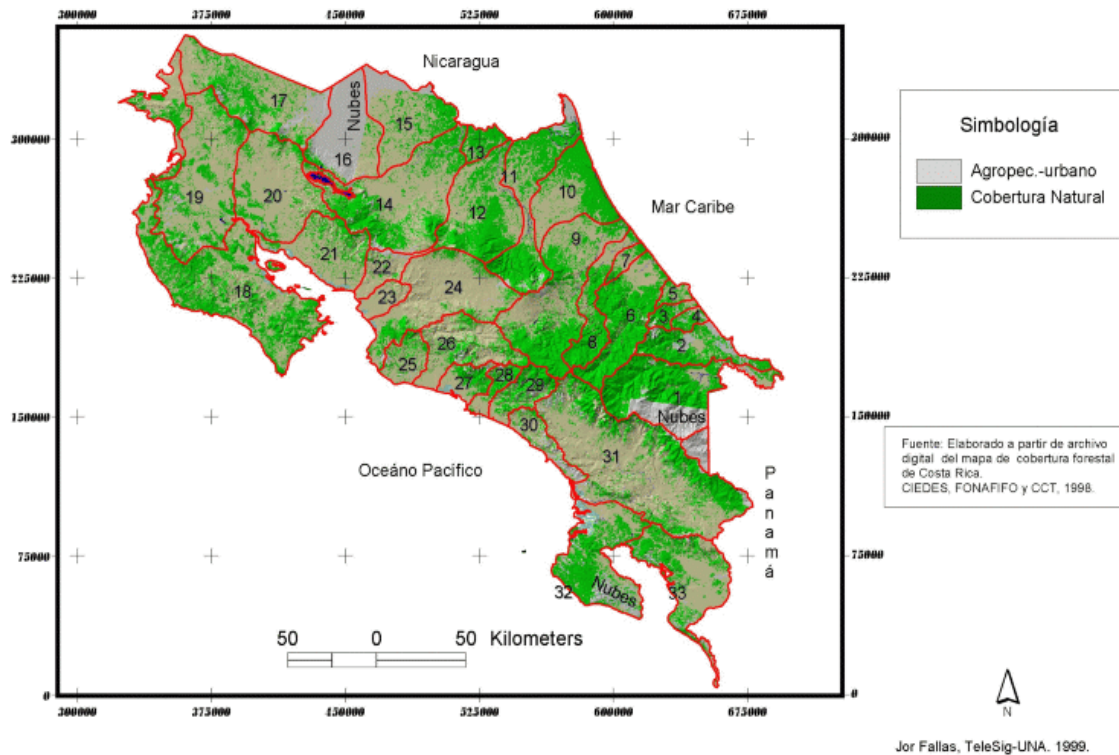


Fig. 13: Cobertura boscosa de Costa Rica para 1996/97. Las líneas rojas indican el límite de las principales cuencas de Costa Rica.

Mapas cuantitativos de superficie

Los mapas cuantitativos de superficie proporcionan tanto información cuantitativa del fenómeno es estudio, como sobre su distribución espacial. La información puede mapearse utilizando líneas de igual valor denominadas isopletas, isoaritmas o isolíneas ó valores medios por unidad de área (coropletas).

Los mapas *coropléticos* muestran valores por unidad de área y se utilizan frecuentemente con unidades administrativas tales como fincas, distritos, cantones, provincias o países (unidades estadísticas). Los mapas coropléticos exhiben las características del área en forma simple y concisa y tienen como objetivo transmitir una impresión concreta de la realidad a partir del mapa (Fig. 14).

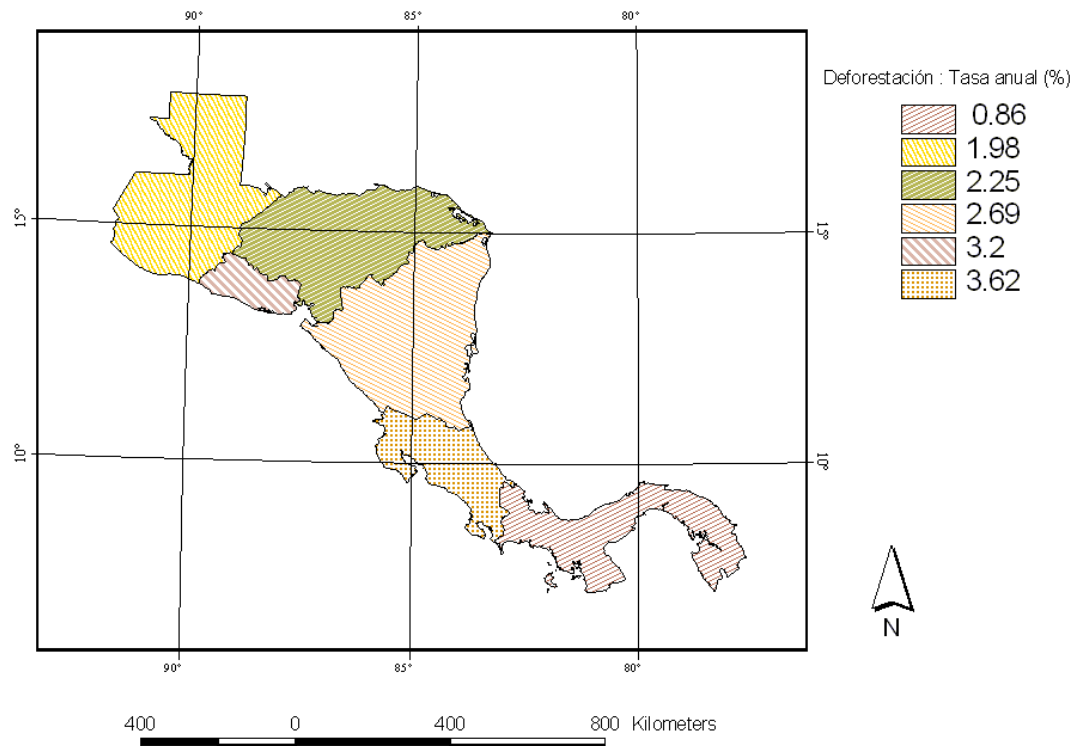


Fig. 14: Tasa de deforestación anual (%) para el periodo 1981-1985 en Centroamérica. Fuente: Elaborado a partir de datos de ESRI, 1992.

Los mapas *isopléticos* se elaboran a partir de puntos o centros de observación y muestran líneas con un valor constante. El valor de cada línea es estimado utilizando técnicas estadísticas tales como la interpolación lineal, el inverso cuadrático de la distancia ó Kriging y su trazado puede hacerse manualmente o asistido por programas de computación (Ej. Surfer, 1994) o módulos específicos en los sistemas de información geográfica (Ej. Interpol e Intercon en IDRISI). (Fig. 15). Cuando se elaboren mapas que muestren densidades por unidad de superficie o relaciones entre atributos (Ej. porcentaje de bosque por distrito) debe ponerse especial cuidado en la distribución espacial de la variable a mapear. El investigador debe asegurarse mediante un sistema de muestreo apropiado que los valores puntuales a partir de los cuales se realiza la interpolación representan a cabalidad la realidad.

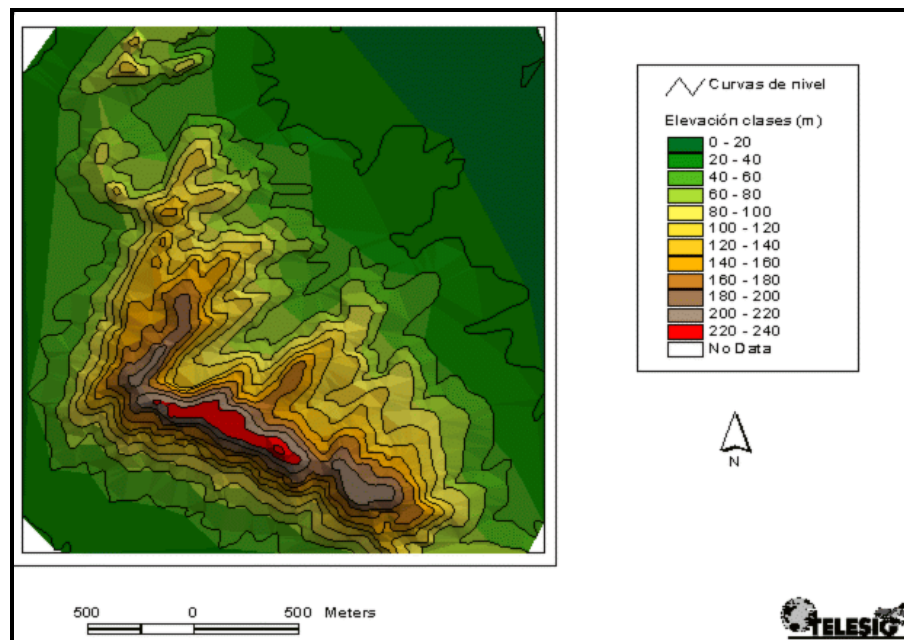


Fig. 15: Visualización en perspectiva de la topografía de una porción de la isla Chirra, Golfo de Nicoya, Costa Rica.

En resumen, los mapas *generales o temáticos* deben utilizarse en forma conjunta y seleccionarse en función de su uso; ya que es prácticamente imposible lograr una comunicación eficiente utilizando en forma aislada los elementos de cada uno de ellos. Los mapas son considerados por especialistas de diversas áreas del saber como un excelente medio para organizar, analizar y expresar datos y conceptos.

VARIABLES GEOESPACIALES

Cualquier fenómeno terrestre, ya sea material (Ej. una carretera) o no material (Ej. una tradición religiosa o cultural) ocurre en el tiempo y en el espacio y por lo tanto puede cartografiarse. Los fenómenos geográficos pueden clasificarse en cuatro categorías: puntuales, lineales, de área y de volumen (Muehrcke and Muehrcke, 1992 ; Robinson, Sale and Morrison, 1978).

? datos puntuales

El *dato puntual* es aquel cuya existencia está estrechamente relacionada con una localidad o punto individual. Por ejemplo, un pozo de agua, una torre y una intersección entre dos carreteras son ejemplos naturales de datos puntuales. A un nivel de abstracción superior también pueden considerarse como datos puntuales a una ciudad o la densidad de población de una zona. Aunque en ambos casos las variables ocupan una superficie prevalece el concepto de representación puntual. Los datos puntuales son adimensionales.

? datos lineales

La característica básica de los datos lineales es su unidimensionalidad. La dirección y longitud son los atributos que nos permiten determinar las funciones lineales. Una línea telefónica, una tubería de agua potable, o la línea costera son ejemplos de datos lineales.

? datos areales

Las áreas o superficies son de naturaleza bidimensional y pueden representar tanto variables tangibles como abstractas. La religión de un país o de una región; el tipo de clima y el tipo de vegetación son ejemplos de datos areales.



Fig.16:Uso-cobertura (área) y elementos lineales (vías) percibidos a través de una foto aérea.

? datos volumétricos

Los datos volumétricos son tridimensionales y expresan una cantidad que se extiende por encima o por debajo de una superficie de referencia o nivel base (Ej. volumen de agua en un lago). Algunas variables volumétricas pueden ser abstractas como por ejemplo la densidad de población de una ciudad o de un país.

La clasificación final de una variable geográfica dependerá del aspecto o atributo que se quiera resaltar. Por ejemplo, la ciudad de Heredia puede clasificarse como un fenómeno puntual, si deseamos enfatizar su ubicación con respecto a San José. También podemos clasificarla como una superficie si nos referimos a aspectos administrativos o limítrofes o como un volumen si deseamos referirnos a su precipitación anual en metros cúbicos.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE VARIABLES GEOESPACIALES

La distribución espacial de una variable se evalúa desde la perspectiva de su continuidad en una determinada superficie. Así 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. En este caso se dice que la variable o fenómeno es discreto o discontinuo. Por otra parte, variables tales como temperatura y elevación son continuas; ya que cualquier punto en el área de estudio posee un valor para dichos atributos (no existen áreas vacías o sin la presencia de la variable).

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 es una variable uniforme porque los cambios no son bruscos, sino más bien graduales. Por otra parte, fenómenos tales como la distribución del uso de la tierra (Figs. 17 y 18) y las estadísticas socioeconómicas cambian bruscamente de una clase a la otra y por lo tanto se dice que son no uniformes. Al igual que para las variables geográficas, la tendencia espacial puede clasificarse en forma uniforme ó no uniforme dependiendo del aspecto que se quiera resaltar. Por ejemplo, la densidad de una especie por Km² (dato volumétrico) puede clasificarse como una distribución de tipo continua e irregular ó como una distribución uniforme, dependiendo del aspecto que se desee enfatizar.



Fig.17 : Patrones espaciales. A. Planicie de inundación de un río. B. Arboles aislados. C. Pastos.

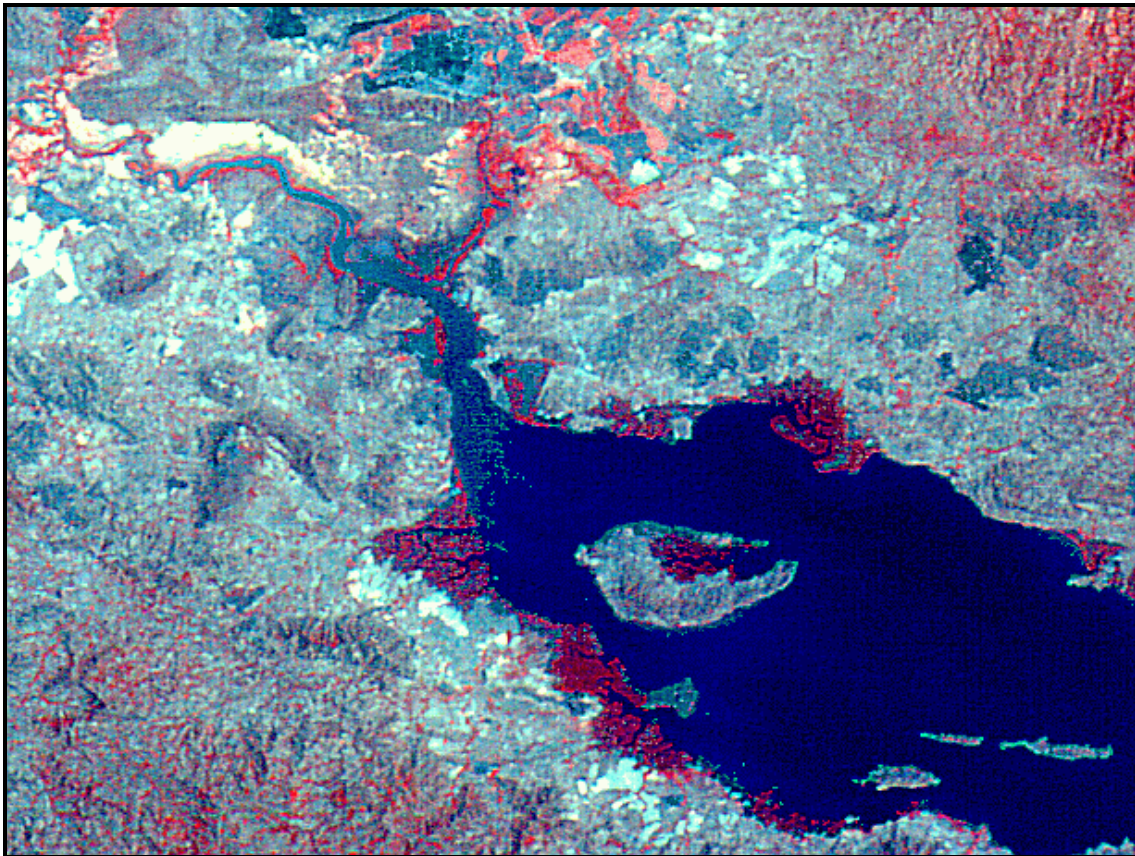


Fig. 18: Patrón del paisaje visualizado a través de una composición en falso color del Mapeador Temático de Landsat. Bajo tempisque y golfo de Nicoya. Época seca (marzo).

UTILIZANDO MAPAS EN ANÁLISIS CUANTITATIVO

La segunda mitad del siglo XX se ha caracterizado por una abundante producción de información cartográfica. Esta bonanza de información favoreció el estudio de la distribución espacial de muy diversos elementos y características del paisaje natural y antrópico. El proceso se inició con el inventario de los recursos existentes en diferentes partes del mundo: observar, clasificar y registrar las características del paisaje en estudio; actividad que todavía persiste en nuestros días.

A pesar de la disponibilidad de información el estudio cuantitativo a nivel cartográfico no fue posible por las siguientes razones:

- ? Alto volumen de datos a analizar
- ? Ausencia de observaciones cuantitativas
- ? Ausencia de procedimientos matemáticos para describir la variabilidad espacial en forma cuantitativa

- ? En las décadas de los años 30 y 40 se dan los primeros pasos para desarrollar estadísticos apropiados para resolver problemas espaciales
- ? La ausencia de computadoras impidió el desarrollo de aplicaciones prácticas

A partir de los años 60³, con la disponibilidad de computadoras digitales se inició el desarrollo de aplicaciones en el área de análisis espacial y mapeo temático cuantitativo. La información espacial y su análisis numérico es necesario en diversas áreas y disciplinas de las ciencias naturales y sociales; veamos algunos ejemplos:

- # Ciencias de la tierra: manejo de recursos naturales renovables y no renovables.
- # Planificación urbana y regional: estudios de ocupación del suelo y ordenamiento territorial; optimización de redes de distribución de agua, electricidad, teléfono.
- # Ingeniería civil: planificar rutas, canales y estudio de costos.
- # Salud pública: diseño de sistemas de asistencia social y distribución espacial de enfermedades.
- # Educación: ubicación óptima de centros de educación.
- # Defensa civil: diseño de planes de emergencia y evacuación.
- # Mercadeo: distribución de población y relación con mercados potenciales.
- # Policía: distribución espacial de diferentes tipos de delitos.

Las primeras bases de datos cartográficos (mapas y en algunos casos la memoria o descripción que le acompañaba) se expresaban en forma analógica; o sea utilizando papel o algún otro medio como películas (polímeros) y la información era comunicada mediante tramados y colores.

Las bases de datos analógicas (mapas) tienen las siguientes características:

- # Volumen de información tiene que reducirse o clasificarse; el efecto es una pérdida de detalle.
- # El mapa debe dibujarse con gran precisión y su presentación (diagramado) debe ser muy claro y altamente comunicativo.
- # La información de áreas extensas se representa utilizando un mosaico. Usualmente el área de interés puede estar contenida en tres o más mapas.
- # Una vez creado el mapa es difícil y costosa su actualización y/o modificación.
- # El mapa impreso es un documento estático.

- # Es difícil realizar un análisis cuantitativo con la información representada en un mapa.
- # Es difícil extraer información específica o parcial de un mapa general. Ej. caminos o curvas de nivel de un mapa topográfico.
- # La información expresada en el mapa se desactualiza en poco tiempo.

En resumen, podemos decir que el mapa es una percepción instantánea de una persona de una disciplina específica (Ej. Mapa de distribución de inundaciones en 1984). La necesidad de complementar la información obtenida por sensores remotos, trabajo de campo y cartografía existente dio origen a los sistemas de información geográfica.

MAPEO ASISTIDO POR COMPUTADORAS Y ANÁLISIS GEOESPACIAL

En los años 60's y 70's como respuesta a la disponibilidad de información cartográfica nacieron dos formas de utilizar dicha información: la evaluación y planificación de recursos naturales y la evaluación del uso de la tierra. Esta aproximación metodológica puso de manifiesto la necesidad de realizar una evaluación integral y desde una perspectiva multi disciplinaria. Los enfoques utilizados fueron:

1. Método " Gestalte "

El objetivo de este método es encontrar unidades naturales en el ambiente que puedan ser reconocidas, descritas y mapeadas a partir de la interacción de la totalidad de las variables en estudio.

2. Inventario integrado de recursos

En este caso existen varias escuelas de pensamiento como las representadas por el ITC de Holanda, la División de Recursos Terrestres del Reino Unido, y el Sistema de Inventario de Tierras de Australia.

Aun cuando la aproximación metodológica era válida, los resultados generados con dichos estudios tenían las siguientes limitantes :

- # Los resultados son muy generales para algunas aplicaciones específicas. Al abarcar todos los elementos del paisaje no se realizaban estudios de aspectos específicos. Por ejemplo, no se hacía un estudio detallado de suelos o de asociaciones vegetales.
- # Una vez completados los mapas era difícil extraer información para un atributo específico del paisaje (Ej. suelo de origen sedimentario).
- # En la práctica el enfoque teórico derivó en la producción de mapas mono temáticos pero sin la integración deseada. Por ejemplo se elaboraron mapas de uso del suelo, edafología, geología, geomorfología, etc.

Los usuarios en el campo de los recursos naturales reconocieron la necesidad de integrar la información segregada y dispersa en un sólo mapa para obtener una visión global del área en estudio.

McHarg (1969), arquitecto paisajista de los Estados Unidos, utilizó en 1966 la técnica de sobreposición de mapas con la ayuda de una mesa de luz. Este rústico sistema le permitió combinar varios niveles de información para una misma área. El resultado fue la integración deseada de

información. En 1963, Howard T. Fischer, arquitecto y planificador urbano de los Estados Unidos utilizó una computadora y el programa SYMAP ("SYmagraphic MAPping System") para imprimir mapas simples utilizando una cuadrícula y valores para cada una de las celdas. El programa deriva su nombre del vocablo Griego *Symagein* que significa "*juntar*". Este programa además incluía módulos para analizar datos y generar mapas coropléticos y de isolíneas utilizando técnicas de interpolación (Burrough,1986).

El equipo de investigadores del Laboratorio de Gráficos Computarizados de la escuela de posgrado en Diseño Gráfico de Harvard, dirigido por Howard T. Fisher, desarrolló programas tales como GRID e IMGRID (Coppock, and Rhind 1991). Estos programas permitían realizar en el computador lo que McHarg había hecho utilizando transparencias y una mesa de luz. Aunque estos primeros programas no permitían realizar funciones y operaciones adicionales a las realizadas por McHarg manualmente, sí lo hacían en forma más rápida y el procedimiento era repetible por otros investigadores. Este último aspecto, *repetibilidad*, es esencial para la validación de resultados en el proceso de planificación y monitoreo de recursos naturales. Estas primeras experiencias marcaron el nacimiento de lo que hoy se conoce como Sistemas de Información Geográfica, tema que tratamos en el próximo fascículo.

BIBLIOGRAFÍA

Aranoff, S. 1989. Geographic information systems: a management perspective. WDL Publications, Ottawa, Canada.

Bugayevskiy, L. M. and Snyder, J. P. 1995. Map projections. A Reference Manual. Taylor& Francis. UK. 328p.

Burrough, P.A. 1986. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Monographs on Soil and Resources Survey N0.12., Oxford University Press. 193p.

Coppock, J.T. and Rhind, D.W. 1991. The history of GIS. En. Maguire D.J. ; Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (eds). Geographical Information Systems: principles and applications. Longman, London, pp.21-43.

ESRI. 1994. Map Projections. Georeferencing spatial data. Redlands, CA. USA.

ESRI. 1993. Digital Chart of the World for use with ARC /INFO. Data dictionary. Redlands, CA. USA.

ESRI. 1992. Arc World 1:3M. User's guide and data reference. Redlands, CA. USA.

McHarg, I. L. 1969. Design with nature. Doubleday, New York.

McKnight, T. L. 1984. Physical Geography A Landscape Appreciation .Printice-Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, USA. Pp.22-33.

Muehrcke, P.C. and Muehrcke, J. O.1992. Map Use. Reading, analysis interpretation.Third Ed. Madison, Wisconsin,USA. 631p.

Robinson, A; Sale, R. and Morrison, J. 1978. Elements of cartography. Fourth Ed. John Wiley and Sons. New York, USA. 448p.