

## NORMAS Y ESTANDARES PARA LA COMUNIDAD DE USUARIOS DE SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA EN COSTA RICA

Jorge Fallas G.<sup>1</sup>

### RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIGs) se han convertido en uno de los segmentos de mayor crecimiento en la industria de la computación. La abundancia de software y de usuarios hace necesario que se establezcan estándares para asegurar la calidad de los datos y el intercambio de información entre usuarios. La tendencia en el uso de los SIGs es que se conviertan en una herramienta para usuarios generalistas (ej. banqueros, biólogos, forestales, ingenieros, etc.); los cuales no están interesados en intrincados procedimientos para intercambiar datos. Aun cuando el tema de los estándares es muy amplio, en el presente artículo se discuten aquellos aspectos relacionados con la exactitud de los atributos y de la geométrica de los elementos manejados en el SIG.

1. Director, Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (TeleSig). Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre y Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional. Heredia. Email: Jgamboa@irazu.una.ac.cr

## SUMMARY

Geographic Information Systems (GIS) have become a well-established sector in the computer industry of the 90s. Worldwide, there are as many users of the technology as GIS packages in the market, each group interacting almost independently and using its own set of standards or no standards at all. GIS is a decision making tool used by different users (from biologist to business man to engineers). Standards are essential to promote data use and sharing among the scientific, academic and public communities. This paper addresses the issue of standards from two viewpoints: positional accuracy and attribute accuracy.

## 1. INTRODUCCION

La exactitud o fidelidad es un concepto que puede utilizarse para evaluar la calidad de la información contenida en un mapa analógico o digital. Dado que en el país no existen normas al respecto, en el presente artículo se analizan los criterios cuantificables de los procedimientos propuestos por el Grupo de Trabajo del Comité Nacional de Estándares en Datos Cartográficos Digitales de los Estados Unidos (DCDSTF, 1988) y se propone adoptarlos como criterios técnicos en la elaboración de bases de datos georreferenciadas. De acuerdo con estos principios el estándar o norma debe documentar tres aspectos: *exactitud geométrica*, *veracidad en la clasificación*, *consistencia lógica* y *totalidad de la información*. A continuación discutimos cada criterio.

## 2. EXACTITUD GEOMETRICA

La exactitud geométrica puede evaluarse desde dos perspectivas: exactitud relativa y absoluta. La *exactitud geométrica relativa* es aquel valor que expresa un sesgo en la medición realizada aun cuando los resultados preservan las relaciones espaciales locales. La exactitud relativa puede ser aceptable para algunos usuarios, sin embargo, es inaceptable para aquellos que requieren de una exactitud basada en un registro geodésico. Este término es de uso frecuente en la comunidad de los cartógrafos. La exactitud relativa puede expresarse como la *desviación estándar* con respecto al promedio del conjunto de puntos evaluados (Chrisman, 1991). La *exactitud geométrica absoluta* es aquel valor que expresa la cercanía de una medición con el valor verdadero. Este término es utilizado con mayor frecuencia en disciplinas tales como la geodesia, la topografía y la fotogrametría (Chrisman, 1991). La exactitud absoluta se expresa como el *error medio cuadrático* (RMS) con respecto a cero. La exactitud geométrica absoluta dependerá de la *resolución del mapa o imagen*, la cual expresa la distancia mínima que puede ser medida. Es común aceptar como resolución mínima en aplicaciones cartográficas y fotogramétricas a un objeto con una dimensión de 2,5 mm. La resolución impone un límite inferior en la exactitud que puede

obtenerse. Por ejemplo, en una foto 1:35.000, en teoría podríamos delinear objetos cuyo tamaño en el terreno exceda los 88 metros.

Apoyados en una de las definiciones de *calidad* utilizadas en la ingeniería industrial —*la calidad de un producto está en función de su utilidad para el usuario*— se recomienda reportar los resultados de la evaluación realizada de la exactitud del mapa producido; esto le permitirá al usuario evaluar su calidad y, además, decidir si el mapa cumple con los estándares establecidos por su institución o su proyecto. Este principio (*reporte de calidad*) fue adoptado en 1988 por el *Grupo de Trabajo del Comité Nacional de Estándares en Datos Cartográficos Digitales de los Estados Unidos* e incluido en los estándares nacionales para el intercambio de datos cartográficos digitales (DCDSTF, 1988). El concepto de reporte de calidad también se encuentra presente en las propuestas de estándares de los británicos y los franceses, entre otros países (Chrisman, 1991).

Los estándares de la *Sociedad de Fotogrametría y Sensores Remotos de los Estados Unidos* (ASPRS, 1989) establecen que el *error absoluto de aquellas localizaciones utilizadas para evaluar la exactitud de un producto* (ej. mapa) debe ser *al menos un tercio de la exactitud esperada* del producto a ser evaluado. Por ejemplo, si deseamos evaluar la exactitud de los mapas 1:50.000 de Costa Rica debemos utilizar puntos de control con un error máximo de ubicación de 13,96 m (asumiendo un estándar de 0,846 mm a escala del mapa).

Tradicionalmente la evaluación de la exactitud geométrica se ha realizado utilizando la red geodésica de primer orden, sin embargo, con la introducción de los receptores de Posicionamiento Global por Satélite (PGS) es posible determinar la posición de objetos en el terreno con errores que van desde centímetros hasta unos cuantos metros y, por lo tanto, no se requiere de la red geodésica primaria para realizar dicha evaluación.

Desde el punto de vista del usuario de un SIG el estándar impone *varias limitaciones* de tipo práctico, en cuanto a la asignación de un error global a un determinado mapa. Por ejemplo, el estándar asume que los puntos a evaluar están bien definidos tanto en el mapa como en el terreno (ej. esquina de una cuadra en un área urbana); sin embargo, en áreas rurales no siempre es posible cumplir con este requisito. Esto conduce a dos aproximaciones para asignar un error global al mapa. La primera asume que el error calculado para los *puntos bien definidos* aplica a la totalidad del mapa. La segunda asume que el error total será igual al error mínimo determinado utilizando los *puntos bien definidos*, más el error de aquellos puntos con dificultades de ubicación tanto en el mapa como en el terreno.

A continuación se presentan los estándares en efecto en los Estados Unidos para Cartografía analógica (Bureau y Budget, 1947).

## 2.1 Exactitud en la posición horizontal

### i. Mapas con escalas mayores a 1:20.000

Para aquellos mapas con una escala superior a 1:20.000 no más de un 10% de los puntos evaluados deben exceder un error horizontal de 0,508 mm a escala del mapa. Los puntos que se seleccionen para la evaluación deben estar claramente definidos tanto en el mapa como en el terreno (ej. esquina de una cuadra). Si se aplica este estándar a los mapas 1:10.000 de Costa Rica, de 100 puntos seleccionados sólo 10 podrían tener un error horizontal superior a los 5,08 metros. Para mapas de gran escala los errores planimétricos permisibles son los expuestos en el cuadro 1 (Merchant, 1987).

### ii. Mapas con escalas inferiores a 1:20.000

Para mapas con una escala inferior a 1:20.000 (ej. 1:50.000) el error permisible es de 0,846 mm a escala del mapa. Para la serie 1:50.000 de Costa Rica esto equivale a 42,30 m y para la serie 1:200.000, 169,2 m.

El tamaño necesario de la muestra para determinar el error horizontal promedio del mapa puede obtenerse utilizando la siguiente fórmula (Cochran, 1977):

$$n = Z_{(1-\alpha/2)}^2 * (S/\sqrt{n})^2 / e^2 \quad (1)$$

en donde Z es el valor de la tabla de distribución normal para un nivel de confianza determinado (1- $\alpha$ ),  $S/\sqrt{n}$  es el error estándar de cuadrado medio (RMS), n el tamaño de la muestra y «e» el error máximo permisible (ej.  $\pm 5$  m).

**Cuadro 1: Errores planimétricos máximos permisibles para mapas de escalas 1:100 a 1:20.000.**

Escala del mapa	RMS promedio permisible (m)
1:100	0,025
1:200	0,050
1:500	0,125
1:1.000	0,250
1:50.00	1,250
1:10.000	2,500
1:20.000	5,000

Fuente: Merchant, 1987.

Por ejemplo, si se desea obtener un error máximo de  $\pm 0,5$  m a un nivel de confianza de 95% ( $\alpha = 0,05$ ) para un set de datos con un error estándar de 3 m, requeriríamos 52 puntos de observación.

$$n = (1,96)^2 (3)^2 / (0,5)^2 = 51,4$$

Una vez estimado el valor del RMS se puede calcular su intervalo de confianza de la siguiente manera:

$$\text{RMS} \pm Z_{(1-\alpha/2)} * (S/\sqrt{n}) \quad (2)$$

Para determinar el número de puntos requeridos para estimar el error estándar del RMS ( $\alpha_s$ ) se utilizan las siguientes ecuaciones (Shaw and Wheeler, 1994):

$$\alpha_s = S / (2n)^{0,5} \quad (3)$$

y el tamaño de muestra requerido para estimar su variabilidad es:

$$n = Z^2 (\alpha_s)^2 / 2 e^2 \quad (4)$$

Por ejemplo, para un error estándar de 3 m, un error máximo permisible de  $\pm 0,5$  m y un nivel de confianza de 95% ( $\alpha = 0,05$ ) requeriríamos 26 puntos de observación.

$$n = (1,96)^2 (3)^2 / 2 (0,5)^2$$

Cuando la pregunta que se quiere responder es si el mapa cumple con lo establecido en la norma cartográfica nacional (ej. el RMS es igual o inferior a la norma), podemos utilizar la aproximación normal de la distribución binomial (Snedecor y Cochran, 1980) para calcular el tamaño de la muestra.

$$n = Z^2 (p*q) / E^2 \quad (5)$$

en donde: p: porcentaje esperado de aciertos  
q: porcentaje esperado de errores (100-p)  
E: error máximo permisible (%)  
Z: valor de la distribución normal estandarizada para un alfa determinado. Por ejemplo, para un nivel de confianza del 95% ( $\alpha = 0,05$ ) el valor de Z es 1,96

$$p = n_c / N \quad (6)$$

en donde:  $n_c$ : número de puntos con un error inferior o igual al máximo permitido, y  
N: número total de observaciones

La varianza de «p» es:

$$S^2 = (p \cdot q) / n \quad (7)$$

en donde: q: 1-p, proporción de desaciertos

Por ejemplo, para un mapa con un error esperado de 10%, un error máximo permisible de 5% y un nivel de confianza del 95% ( $Z = 1,96$ ), tenemos que el tamaño de la muestra debe ser:

$$n = (1,96)^2 \cdot (90 \cdot 10) / (5)^2 = 138 \text{ puntos de observación}$$

Una vez realizado el muestreo, el intervalo de confianza para  $p$  puede calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$p \pm Z (1-\alpha/2) \cdot (p \cdot q) / n^{0,5} \quad (8)$$

Cuando se desee calcular el límite de confianza inferior (indicativo del error de comisión) debe utilizarse la siguiente fórmula:

$$P_1 = p - Z(1-\alpha) \cdot (p \cdot q) / n^{0,5} + 1/(2n) \quad (9)$$

en donde: p = proporción de puntos clasificados correctamente

q = proporción de puntos clasificados incorrectamente (1-p)

n = tamaño de la muestra

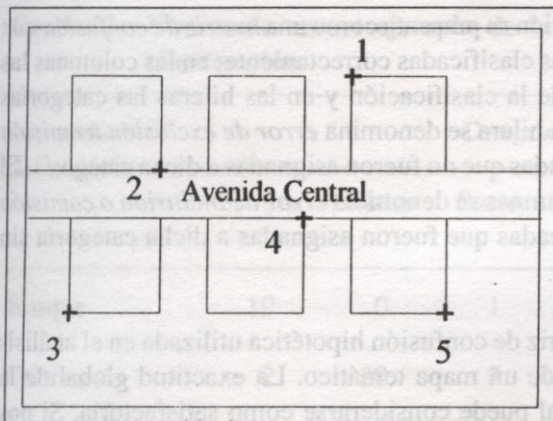
El valor  $1/(2n)$  se denomina *corrección por continuidad* y su uso es recomendado por Snedecor y Cochran (1980) para mejorar la exactitud de la aproximación normal.

La figura 1 ilustra la selección de 4 puntos bien definidos en un ambiente urbano y el cuadro 2 el cálculo del error medio cuadrático.

### 3. VERACIDAD EN LA CLASIFICACION DE LOS ATRIBUTOS

Los atributos son propiedades que poseen un determinado elemento geométrico del mapa (ej. línea, punto, polígono). Por ejemplo, una línea puede ser un río permanente, una línea de ferrocarril o una carretera. Estas variables se cuantifican a un nivel de medición nominal y de intervalo y, por lo tanto, el error no puede evaluarse en términos de la desviación estándar o del error cuadrático medio (RMS).

Los estándares cartográficos de los Estados Unidos no hacen referencia al nivel de veracidad requerido por los atributos representados en el mapa (Fisher, 1991). Por ejemplo, el estándar no requiere que al menos un 90% de las carreteras que aparecen



**Figura 1. Selección de puntos para evaluación de la exactitud geométrica.**

**Cuadro 2: Cálculo del error medio cuadrático para 5 puntos bien definidos.**

	COORDENADAS						
	Mapa		PGS		Error (m)		
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	Posición
Punto 1	512	490	510	487	2	3	3,6
Punto 2	250	350	248	352	2	-2	2,0
Punto 3	130	160	133	163	-3	-3	3,0
Punto 4	450	290	452	289	-2	1	2,2
Punto 5	640	160	644	161	-4	-1	4,1

$RMS_{x,y} = [\sum(X-X')^2 + (Y-Y')^2]^{0.5}/n$ : Donde X y Y son las posiciones del objeto en el mapa y X' y Y' su posición real en la superficie terrestre; n es el número de muestras.

$RMS_{x,y}$  2,98 m Desviación estándar del error promedio (S): 0,89 m

Para X el RMS es:  $[\sum(X-X')^2/n]^{0.5} = 2,7$  m

Para Y el RMS es:  $[\sum(Y-Y')^2/n]^{0.5} = 2,1$  m

Error máximo = (Valor de tabla Z\* S/ $\sqrt{n}$ ) + error promedio

Para un nivel de confianza del 95% el valor de Z es 1,96 y el error máximo esperado sería 3,7 m

como asfaltadas en el mapa posean realmente dicha característica o que un 85% de los nombres de las localidades sean los correctos. En estos casos la variable es clasificada correcta o incorrectamente. Las categorías clasificadas erróneamente pueden ordenarse posteriormente, de acuerdo con su grado de disimilitud con respecto a la identidad verdadera de la clase. Por ejemplo, es más grave clasificar pasto como bosque, que bosque secundario temprano como bosque secundario avanzado.

(1) Para evaluar la exactitud de una clasificación es necesario, al igual que en el caso anterior, utilizar una fuente de información de mayor exactitud que el material a

evaluar. El resultado de esta evaluación se presenta como una *matriz de confusión* que expresa en su diagonal las categorías clasificadas correctamente; en las columnas las categorías asignadas por el autor de la clasificación y en las hileras las categorías verdaderas. El error asociado a cada hilera se denomina *error de exclusión u omisión* y representa aquellas áreas muestreadas que no fueron asignadas a dicha categoría. El error asociado a cada una de las columnas se denomina *error de inclusión o comisión* y representa aquellas áreas muestreadas que fueron asignadas a dicha categoría sin pertenecer a ella.

El cuadro 3 presenta una matriz de confusión hipotética utilizada en el análisis de la exactitud de la clasificación de un mapa temático. La exactitud global de la clasificación fue de un 86%, la cual puede considerarse como satisfactoria. Si nos interesara analizar con mayor detalle la exactitud con que hemos clasificado los cultivos, el cuadro nos indica que el analista acertó en un 87%, lo cual puede considerarse nuevamente como muy satisfactorio. Tanto la exactitud de la clasificación general (86%) como la de los cultivos (87%) muestran que los atributos o clases del mapa son muy confiables. Sin embargo, si analizamos la *exactitud del usuario* para la categoría cultivos observamos que es de sólo un 80%; esto indica que aunque un 87% de las áreas de cultivos han sido identificadas correctamente, solamente un 80% de dichas áreas en el mapa son realmente cultivos. Este ejemplo ilustra la importancia de analizarse tanto la exactitud global del mapa, como la exactitud del analista y del usuario. La *exactitud del usuario* (*error de omisión o de exclusión*) es importante, pues señala al usuario el error esperado al utilizar el mapa en el campo. La exactitud global de la clasificación sólo considera los aciertos en diagonal y descarta la información suministrada por los errores de comisión y omisión. Esta limitante puede eliminarse usando un estadístico multivariado discreto como el índice de concordancia Kappa o un análisis normalizado de la matriz de confusión.

Bajo el supuesto de una distribución binomial para cada categoría y utilizando una aproximación normal de la distribución binomial, puede calcularse un intervalo de confianza para cada categoría empleando las siguientes ecuaciones:

$$\mu = (1/n) \sum x_i \quad (10)$$

en donde:  $\mu$ : representa la probabilidad ( $p$ ) de que cada muestra haya sido correctamente clasificada, y

$x_i$ : las muestras correctamente clasificadas del total de las observaciones ( $n$ )

La varianza de  $p$  es  $S^2 = p(1-p)$ ; en donde  $p$  es la proporción de muestras correctamente clasificadas. El intervalo de confianza para  $p$  es:

$$\mu \pm Z(1-\alpha/2) * ((p) * (1-p/n))^{0.5} \quad (11)$$



**Cuadro 3: Matriz de error: ejemplo de la evaluación de la exactitud de la clasificación.**

Interpretación del usuario	Categorías reales				Total	Exactitud del usuario %
	Bosque	Cultivo	Pasto	Urbano		
Bosque	19	0	1	0	20	95
Cultivo	2	20	3	0	25	80
Pasto	1	2	30	1	34	88
Urbano	0	1	2	10	13	77
Total	22	23	36	11	92	
Exactitud del clasificador %	86	87	83	91	Exactitud global de la clasificación 86%	

Error de comisión		Error de omisión	
Exactitud del clasificador/analista		Exactitud del usuario	
Bosque:	19/22 = 86%	Bosque:	19/20 = 95%
Cultivo:	20/23 = 87%	Cultivo:	20/25 = 80%
Pasto:	30/36 = 83%	Pasto:	30/34 = 88%
Urbano:	10/11 = 91%	Urbano:	10/13 = 77%

La técnica de análisis anterior es esencialmente descriptiva; por lo que a continuación utilizaremos el estimador de Kappa (K), para evaluar la exactitud de la clasificación de los atributos en el mapa (Congalton et al., 1983). El estimador K incluye tanto información sobre la concordancia global de la clasificación como sobre los errores de omisión y comisión indicados por el producto de los subtotales marginales de las columnas e hileras.

$$\bar{K} = \frac{N \sum X_{ii} - \sum (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum (X_{i+} * X_{+i})} \quad (12)$$

en donde:  $\Sigma$ : indica la sumatoria desde la hilera 1 hasta la r en la matriz  
 $X_{ii}$ : señala el número de observaciones en la hilera i y la columna I  
 $X_{i+}$  y  $X_{+i}$ : muestran las sumas marginales de la hilera i y la columna I, respetivamente y  
 $N$ : marca el número total de observaciones

El intervalo de confianza para K puede estimarse utilizando la aproximación de la varianza para muestras grandes (Bishop et al., 1975):

$$S(\bar{K}) = \frac{1}{N} - \frac{\theta_1 (1-\theta_1)}{(1-\theta_2)} + \frac{2(1-\theta_1)(2\theta_1(\theta_2-\theta_3))}{(1-\theta_2)^3} + \frac{(1-\theta_1)^2(\theta_4-4\theta_2^2)}{(1-\theta_2)^4} \quad (13)$$

en donde:

$$\theta_1 = \frac{\Sigma X_{ii}}{N} \quad \text{sumatoria desde } i = 1 \text{ hasta } i = r \text{ (hileras)}$$

$$\theta_2 = \frac{\Sigma X_{i+} * X_{+i}}{N^2} \quad \text{sumatoria desde } i = 1 \text{ hasta } i = r \text{ (hileras)}$$

$$\theta_3 = \frac{\Sigma \left( \frac{X_{ii} * X_{i+}}{N} + \frac{X_{+i}}{N} \right)}{N} \quad \text{sumatoria desde } i = 1 \text{ hasta } i = r \text{ (hileras)}$$

$$\theta_4 = \frac{\Sigma \left( \frac{X_{ij}}{N} + \frac{X_{j+}}{N} + \frac{X_{+i}}{N} \right)^2}{N} \quad \text{sumatoria desde } i = 1 \text{ hasta } i = r \text{ (hileras)} \\ \text{y desde } j = 1 \text{ hasta } j = c \text{ (columnas)}$$

El promedio y la varianza de K permiten realizar las siguientes inferencias estadísticas:

1. Probar por la significancia estadística de la clasificación; o sea para un nivel de significancia dado ¿es la clasificación mejor que una asignación aleatoria de clases a los polígonos o pixeles de una imagen o mapa?

2. Dadas dos estimaciones independientes de  $K$  ¿son las dos matrices de clasificación estadísticamente diferentes a un nivel de significancia dado? El estadístico de prueba es el siguiente (Cohen, 1960):

$$Z \sim \frac{K_1 - K_2}{(S_1^2 + S_2^2)^{0.5}} \quad (14)$$

La prueba se realiza bajo el supuesto de que el tamaño de la muestra es grande (normalmente  $N \geq 30$ ) y que  $K$  es asintóticamente normal. El valor crítico de  $Z$  se obtiene de la tabla de distribución normal estandarizada. Utilizando esta aproximación normal es posible comparar un conjunto de matrices y, además, determinar cuál método de clasificación (ej. supervisada vs. no supervisada; uso de fotos color vs. uso de fotos blanco y negro, etc.) es superior o cuál set de datos (ej. época seca vs. época lluviosa) provee una mayor exactitud en la clasificación.

Al igual que para la exactitud horizontal y vertical tampoco existe en Costa Rica un estándar que establezca cuál debe ser la exactitud de los atributos indicados en el mapa. Por esta razón, y a modo de ejemplo, se presentan los cuadros 4 y 5, los cuales resumen los estándares utilizados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos y por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos para sus mapas de cobertura/ocupación del suelo y edafológicos, respectivamente.

A pesar de existir estándares, la gran mayoría de los mapas publicados no cumplen con los mismos y en algunos casos ni siquiera incluyen información al respecto. Esto es válido tanto para los mapas producidos en países en vías de desarrollo (ej. Costa Rica, Uganda, Kenia, Tailandia) como en países desarrollados (ej. planos catastrales y mapas en Estados Unidos e Inglaterra) (Fisher, 1991). Los principales factores que impiden el uso de los estándares no son de índole técnica sino más bien de naturaleza económica y de logística. La mayoría de los proyectos de mapeo disponen de recursos limitados y, por lo tanto, se pone mayor énfasis en cubrir el área de estudio y en producir el mapa en el tiempo requerido que en la evaluación de la exactitud del material producido.

En ausencia de estándares explícitos, en la mayoría de los mapas, se recurre a convenciones para expresar cualitativamente la incertidumbre de la información mapeada. Por ejemplo, en los mapas 1:50.000 de Costa Rica el sistema de drenaje se muestra como líneas continuas de color azul, para indicar ríos permanentes y como líneas discontinuas, para indicar ríos intermitentes. Los mapas geológicos y geomorfológicos también utilizan líneas discontinuas para señalar que no se tiene certeza total sobre la ubicación del atributo o elemento del paisaje mapeado.

**Cuadro 4: Estándar utilizado para los mapas de cobertura y ocupación del suelo por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (Fuente: Anderson et al., 1976).**

1. La exactitud en la clasificación de categorías de uso y cobertura del suelo debe ser de al menos un 85%.
2. Las categorías mapeadas deben tener un nivel de exactitud similar.
3. La exactitud debe mantenerse entre intérpretes y períodos de análisis.

**Cuadro 5: Estándar utilizado para los mapas de suelos del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Fuente: SCS 1984, citado por Fisher, 1991).**

1. Hasta un 25% de los pedones pueden pertenecer a una categoría diferente a la especificada en el mapa, siempre y cuando esto no imponga mayores riesgos en el manejo de suelos.
2. Hasta un 10% de los pedones pueden pertenecer a una categoría diferente a la especificada en el mapa, cuando el error de clasificación imponga riesgos severos en el manejo de suelos.
3. Ninguna categoría de suelo debe ocupar más de un 10% del área en la unidad mapeada.

**3.1 Factores a considerar en la evaluación de la exactitud de la clasificación**

La matriz de confusión o el índice K permiten evaluar la exactitud de nuestra clasificación, sin embargo, no brindan información sobre la calidad y veracidad de la información utilizada en el proceso. A continuación discutimos cinco aspectos que deben considerarse al evaluar la exactitud de la clasificación (Congalton, 1991):

**A. Obtención de datos de campo**

Los datos de campo se consideran como el estándar o valor real con el cual comparamos nuestra clasificación. De esta afirmación se desprende que si estos datos no presentan suficiente calidad y resolución la evaluación será sesgada. Por ejemplo, si utilizamos categorías derivadas de fotos aéreas como *información real*, debemos

asegurarnos que esta clasificación esté libre de errores. En algunos casos también es posible usar mapas previamente elaborados como material de referencia; y por igual en este caso nuestra evaluación dependerá de la veracidad del autor del mapa. Esta es un área compleja y hasta la fecha ha recibido limitada atención. Cada evaluación de exactitud es particular y, por lo tanto, para asegurar su éxito el investigador debe conocer su área de trabajo y determinar, basado en las limitaciones o facilidades de que disponga, la técnica de trabajo que le permita obtener la información de más alta calidad, al menor costo y en los plazos requeridos por el proyecto.

El detalle con que se colecta la información de campo dependerá del detalle de la clasificación que se desee verificar. Por ejemplo, para evaluar la exactitud de una clasificación que distingue entre bosque, pasto, cuerpos de agua y áreas urbanas sólo es necesario determinar si los polígonos seleccionados en la muestra poseen o no dichas características. Por el contrario, si deseamos clasificar los bosques por su cobertura de copa es preciso medir dicha variable en una serie de parcelas para determinar un valor medio de cada área muestreada y posteriormente compararla con el valor indicado en el mapa.

### **B. Sistema de clasificación**

El sistema de clasificación empleado para subdividir el área de estudio en unidades de menor tamaño responde a los objetivos del estudio y puede partir de sistemas preestablecidos como el de Anderson et al. (1976), o diseñarse para responder a las características del área de estudio. A continuación se presentan algunos criterios que deben utilizarse al diseñar o seleccionar una clave de clasificación:

1. El sistema de clasificación debe ser mutuamente excluyente y comprender la totalidad de las categorías de uso y cobertura presentes en el área de estudio.
2. Cuando sea posible debe utilizarse un sistema de clasificación jerárquico. Este sistema permite reagrupar categorías con gran facilidad y, a la vez, mantener la lógica de la clasificación. El reagrupar o generalizar clases es una forma de cumplir con un estándar de clasificación preestablecido. Por ejemplo, si no fuera posible separar jaragua con arbustos de jaragua con vegetación herbácea, ambas clases se reagruparían como jaragua con arbustos y vegetación arbustiva.
3. Utilizar indicadores naturales para distinguir entre clases. Por ejemplo, es fácil diferenciar en el terreno entre pasto con arbustos y pasto sin arbustos; sin embargo, es más difícil separar pasto con cobertura de arbustos entre 0-25% y pasto con cobertura de arbustos entre 26 y 50%. Finalmente, recordar que antes de empezar el proceso de clasificación se debe tener una clara definición de cada una de las categorías. Cuanto más compleja sea la clasificación mayor será el esfuerzo requerido para su verificación en el campo y mayor será el nivel de error de la clasificación.

### C. *Autocorrelación espacial de los errores*

La autocorrelación espacial es equivalente a la autocorrelación en series estadísticas no espaciales (ej. en la estación lluviosa un día lluvioso es seguido por otro día lluvioso). En el caso de una variable de naturaleza espacial la presencia, ausencia o el valor esperado de una variable afecta la presencia, ausencia o el valor esperado de la misma variable en un área vecina. Congalton (1988a) obtuvo para un área agrícola, una de pastos y otra de bosques autocorrelaciones estadísticamente significativas en el patrón de errores a distancias inferiores o iguales a 30 píxeles para imágenes MSS de Landsat. El patrón de autocorrelación de los errores en el terreno agrícola exhibía grandes bloques a consecuencia del gran tamaño de los campos agrícolas; en el caso de los pastos, la mezcla de grandes extensiones de pasto y de pequeñas áreas de bosques generaron un patrón de errores lineal y finalmente en los bosques el patrón fue el menos compacto y el más lineal. El patrón lineal es causado por errores de clasificación en los bordes de las diferentes categorías de uso y cobertura. La implicación práctica de estos resultados es que la autocorrelación en los errores afecta tanto el tamaño de la muestra como el método utilizado para su selección.

### D. *Tamaño de la muestra*

La definición del tamaño de la muestra es un tema clásico en el análisis estadístico tradicional y es un área que ha recibido gran atención en el análisis de clasificaciones derivadas de sensores remotos. Cada observación tiene un costo y, por lo tanto, su número debe ser el mínimo que satisfaga los requerimientos estadísticos del análisis de exactitud y, a la vez, que sea económicamente viable.

Diversos autores (Van Genderen y Lock, 1977; Hay, 1979; Hord y Brooner, 1976; Congalton, 1988b) han publicado ecuaciones y guías para la selección del tamaño de la muestra. Las ecuaciones propuestas están basadas en la distribución binomial o en la aproximación normal de la distribución binomial y se basan en la proporción de muestras correctamente clasificadas (ej. píxeles, conglomerados o polígonos) y un error permisible. Cuando la matriz de confusión presenta muchas categorías se requiere de un gran número de muestras para evaluar su exactitud. Por ejemplo, para una matriz de 20 columnas por 20 hileras se necesitan al menos 400 muestras para obtener al menos una observación por celda. Las ecuaciones también pueden utilizarse para estimar el tamaño requerido de la muestra para evaluar la exactitud de la clasificación de una determinada categoría. La principal limitante de las ecuaciones es que no fueron diseñadas para considerar la confusión entre categorías.

Dadas las limitaciones de las fórmulas estadísticas, Congalton (1991) recomienda obtener al menos 50 muestras por tipo de cobertura o de uso del suelo. Y cuando el área sea muy grande (ej. superior a 350.000 hectáreas) o el número de categorías sea superior a 12 el tamaño de la muestra por categoría debe incrementarse a 75 ó 100.

Dado que el objetivo del tamaño de la muestra es reflejar la importancia y complejidad del área a muestrear, es perfectamente válido aumentar el tamaño de la muestra en aquellas áreas de mayor variabilidad o de mayor importancia en detrimento de áreas menos variables o menos importantes. Por ejemplo, pueden ubicarse menos muestras en plantaciones forestales, cuerpos de agua o pastos (áreas menos variables).

#### E. Esquema de muestreo

Una vez determinado el número requerido de muestras para lograr un error predeterminado debemos decidir cuál esquema de muestreo utilizar para seleccionar las muestras. La investigación realizada por diversos autores (Hord y Brooner, 1976; Ginevan, 1979; Fitzpatrick-Lins, 1981, Congalton, 1988b) indica que el muestreo simple al azar (sin reemplazo) y el estratificado al azar brindan resultados satisfactorios. En general, el muestreo simple al azar tiende a submuestrear aquellas áreas pequeñas a menos que el tamaño de la muestra sea muy grande y, por lo tanto, es preferible utilizar un muestreo estratificado al azar.

Al seleccionar el esquema de muestreo debemos considerar los supuestos bajo los cuales opera el índice que deseamos evaluar. Por ejemplo, el índice Kappa asume un modelo de muestreo multinominal y sólo el muestreo simple al azar cumple con este supuesto. El efecto de otros esquemas de muestreo sobre la veracidad de los datos es desconocido.

Otra consideración práctica en el esquema de muestreo es que en la mayoría de los casos es posible realizar dos veces el trabajo de campo. La primera vez para entrenar al clasificador (ej. fotointérprete o computadora) y la segunda para obtener la información necesaria para evaluar la exactitud de la clasificación. Por esta razón se puede efectuar el muestreo en dos fases. En la primera, puede utilizarse un muestreo sistemático para coleccionar información que pueda emplearse tanto en la fase de entrenamiento como en la de evaluación de errores de clasificación. Una vez elaborado el mapa se usa un muestreo estratificado al azar para lograr muestras adicionales para cada estrato.

#### 4. CONSISTENCIA LOGICA

En la sección anterior hemos discutido los procedimientos utilizados para evaluar la exactitud de los atributos en un mapa temático. Sin embargo, también es preciso evaluar su *consistencia lógica*, una vez que se ha incorporado a la base de datos digital. Las bases de datos en un SIG se originan a partir de información digital (ej. imágenes de satélite) o de digitar información analógica (ej. mapas); y, por lo tanto, es necesario usar un procedimiento que detecte errores, tales como polígonos abiertos o sin etiquetas, líneas discontinuas y similares. Por ejemplo, en la cartografía tradicional esta labor la lleva a cabo el cartógrafo o un evaluador independiente, quien

colorea cada polígono o línea para asegurarse que no existen errores. En un SIG esta labor la efectúa una rutina de computación, basada en la información topológica de cada polígono. Sin embargo, siempre es necesario que el responsable de la base de datos realice pruebas independientes para asegurar la consistencia lógica de las coberturas. Por ejemplo, puede realizarse una prueba de punto en polígono para cerciorarse que los ríos se encuentren en sus planicies de inundación o que los peces se hallen en cuerpos de agua.

## **5. TOTALIDAD DE LA INFORMACION**

La *totalidad de la información* es el tercer componente en los estándares para datos cartográficos digitales propuestos para los Estados Unidos (DCDSTF, 1988). Este componente del estándar verifica que la totalidad de la información contenida en el material fuente fue incluida en la base de datos digital. Por ejemplo, al digitar un mapa con 100 parcelas, el SIG creará una base de datos donde ubica cada parcela. Para asegurarse que la totalidad de las parcelas han sido registradas puede observarse el número de registros en la base de datos. Cualquier diferencia entre el número de parcelas reales y las reportadas por la base de datos se cataloga como un error. Otro aspecto a evaluar como parte de este componente del estándar es la veracidad de las unidades mínimas mapeables y los anchos mínimos estipulados en la documentación que acompaña al mapa temático.

## **6. REPORTE DE LOS RESULTADOS**

Cuando el mapa ha sido evaluado y cumple con los estándares horizontales y verticales debe indicarse en la leyenda del mapa. Si el mapa es evaluado pero no cumple con los estándares debe omitir toda información al respecto en la leyenda.

## **7. ERRORES, ESTANDARES Y CALIDAD DE LA INFORMACION EN UN SIG**

Las líneas anteriores y el cuadro N° 6 demuestran que tanto los mapas analógicos como los digitales son menos que perfectos y que los errores son parte integral de nuestro quehacer cotidiano. Las herramientas y los procedimientos mencionados en el texto aun cuando no eliminan los errores, sí permiten planificar el trabajo de tal forma que su valor se mantenga entre límites de tolerancia aceptables para un determinado uso. Por lo tanto, ¿cuál debe ser la actitud hacia los errores, minimizar su importancia, establecer estándares según los criterios de nuestra disciplina o simplemente ignorarlos? A pesar de los avances logrados en el área de los SIGs todavía el concepto de error no está presente en la mayoría de sus usuarios ni en sus bases de datos (Chrisman, 1991). Sin embargo, la utilidad de la información digital dependerá cada vez más de su calidad y, por lo tanto, es esencial establecer normas y procedimientos que permitan al usuario precisar si un determinado conjunto de datos cumple con las normas de calidad que requiere su proyecto o uso particular.



## 8. DOCUMENTANDO LAS BASES DE DATOS

La elaboración de una base de datos cartográfica digital es una tarea que consume un alto porcentaje del tiempo y de los recursos humanos en cualquier proyecto. Por esta razón su documentación debe ser tan detallada como sea posible para asegurar su confiabilidad y uso en el futuro. A continuación se ofrece, a manera de ejemplo, una lista de los diferentes aspectos que deben documentarse (Chang et al., 1992; Fulton, 1992; Hewitt et al., 1992; Wright y Yee, 1992):

**Tema:** indica el nombre que recibe el mapa. Se sugiere elaborar previamente una lista normalizada de coberturas temáticas; esto facilitará la comunicación tanto entre instituciones como entre usuarios de una misma institución.

**Descripción:** breve descripción del mapa o cobertura.

**Referencia:** ¿de dónde se obtuvo el mapa? Debe proveerse suficiente información para que cualquier otra persona pueda tener acceso a los datos originales. Esta es una etiqueta similar a una ficha bibliográfica.

**Fuente de información:** indicar persona y dirección de la institución que puede contactarse para adquirir una copia de la información original. Incluir número de teléfono, fax, email, etc.

**Revisión:** código que expresa la última fecha en que fue modificado o actualizado el mapa.

**Ubicación:** descripción cartográfica de la localización de la cobertura. Debe, en lo posible, utilizarse material cartográfico oficial (ej. mapas del Instituto Geográfico Nacional).

**Ubicación del archivo:** ruta completa que indica la ubicación del archivo en la computadora o servidor.

**Escala:** escala máxima a la cual los datos pueden imprimirse sin incurrir en imprecisiones. La cobertura de menor resolución espacial (ej. menor escala) normalmente define la exactitud de la base de datos; sin embargo, diferentes mapas pueden imprimirse a distintas escalas dependiendo de sus propias restricciones.

**Exactitud horizontal:** exactitud del sistema de coordenadas (ejes X y Y) utilizado para crear la base de datos (ej.  $\pm 10$  m,  $\pm 50$  m, etc.). El valor dependerá de la exactitud del material original y del procedimiento (método y características del equipo) usado para ingresar los datos a la base de datos (ej. digitalizador, barredor, etc.).

**Fecha:** fecha de cada cobertura (ej. mapa de uso del suelo, marzo 1992); en caso de ser válida para un período indicar fechas inicial y final.

**Cuadro 6: Errores comunes en el uso de un SIG.**

<i>Etapa del proceso</i>	<i>Fuentes de error</i>
Adquisición de información	Errores de campo, errores existentes en los mapas fuente, errores en el análisis de imágenes derivadas de sensores remotos.
Insumo de los datos	Errores de digitalización (error de máquina y error humano). Errores de generalización en los elementos a digitar (ej. límites que aparecen como exactos en el mapa pero que en la realidad son difusos).
Almacenamiento de los datos	Precisión numérica inapropiada para los datos en uso (ej. utilizar precisión simple (7 cifras significativas) vs. doble precisión con 16 cifras significativas).
Manipulación de la información	Propagación de errores al combinar dos o más mapas. Errores en la delimitación de los límites de los polígonos. Uso inadecuado de las escalas de medición.
Generación de productos	Selección de escalas inapropiadas para imprimir mapas. Errores asociados con el medio utilizado para imprimir los mapas. Errores asociados con el equipo utilizado para imprimir mapas.
Aplicación de resultados	Interpretaciones incorrectas de los datos. Uso inadecuado de los resultados por desconocimiento o formación de los lectores.

**Nivel de acceso:** código que indica el estatus de acceso de cada cobertura (ej. restringido, público, limitado: requiere autorización del administrador de la base de datos, etc.).

**Palabras claves:** elabore una lista de palabras claves y asigne a cada cobertura aquellas que mejor describan su contenido.

**Áreas de aplicación:** indicar lista de áreas potenciales en las que se espera utilizar la base de datos. Además, cada vez que se use una cobertura debe indicarse el área de

aplicación (ej. modelos de evaluación de hábitat para fauna terrestre, modelos hidrológicos, cartografía, etc.).

**Limitaciones:** documentar cualquier limitación aplicable a la base de datos o a cualquiera de sus coberturas (ej. el mapa de uso del suelo fue elaborado con fotos aéreas sin rectificación geométrica).

**Bases de datos relacionadas:** listar otras bases de datos de interés para el usuario de una determinada cobertura o área de interés (ej. base de datos sobre archivos climáticos, producción anual de fincas, tasas de erosión, localizaciones de especies de fauna, etc.).

## 9. BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. 1989. Interim accuracy standards for large scale line maps. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 55: 1038-1040.
- ANDERSON, J.R.; HARDY, E.E.; ROACH, J.T. and WITMER, R.E. 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensing data. Professional Paper 964. USGS, Reston, USA. 28 pp.
- ARONOFF, STAN. 1975. The minimum accuracy value as an index of classification accuracy. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 51(1): 99-111.
- ASPRS. 1989. Interim accuracy standards for large-scale maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 55: 1038-1040.
- BISHOP, Y.; FIENBERG, S. and HOLLAND, P. 1975. Discrete multivariate analysis-Theory and Practice. MIT Press, Cambridge, MA. 575 pp.
- BRAMDEMBERGER, A.J. and GHOSH, S.K. 1985. The world's topographic and cadastral mapping operation. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 51(4): 437-444.
- BUREAU and BUDGET. 1947. National Map Accuracy Standards. U.S. Government Office, Washington D.C.
- CAMPHELL, J. 1981. Spatial autocorrelation effects upon the accuracy of supervised classification of land cover. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 47(3): 355-363.
- CHANG, J.C.; D'ANTONI, J.M. and PETERSON, C.B. 1992. Geographic information system application development for utility infrastructure systems. In: *Geographic Information Systems (GIS) and Mapping. Practices and Standards*. Johnson, A.I., Petterson, C.B. and Furton, J.L. (eds.). ASTM STP 1126. American Society for Testing and Materials, Philadelphia. EUA, pp. 76-84.
- CHRISMAN, N.R. 1991 The error component in spatial data. In: Maguire, D.J., Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (eds.). *Geographical Information Systems: principles and applications*. Congman, London, pp. 165-174, Vol. I.

- COCHRAN, W.G. 1977. Sampling techniques. Third Edition. New York. Willey and Sons, p. 51.
- COHEN, J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educ. Psychol. Measurement*. 20(1): 37-46.
- CONGALTON, R.G. 1991. A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environ.* 37: 35-46.
- CONGALTON, R.G. 1988a. Using spatial autocorrelation analysis to explore errors in maps generated from remotely sensed data. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 54(5): 587-592.
- CONGALTON, R.G. 1988b. A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 54(5): 593-600.
- CONGALTON, R.G.; ODERWALD, R.G. and MEAD, R.A. 1983. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate statistical techniques. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 49(12): 1671-1678.
- CURRAN, P.J. and WILLIAMSON, H.D. 1986. Sample size for ground and remotely sensed data. *Remote Sensing of Environ.* 20(5): 31-41.
- DCDSTF. 1988. The proposed standard for digital cartographic data. *The American Cartographer*. 15: 9-140.
- FISHER, P.F. 1991. Spatial data sources and data problems. In: Maguire, D.J., Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (eds.). *Geographic Information Systems: principles and applications*. Longman, London, pp. 175-189.
- FITZPATRICK-LINS, K. 1981. Comparison of sampling procedures and data analysis for a land use and land cover map. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 47: 343-351.
- FORD, G.E. and ZANELLI, C.I. 1985. Analysis and quantification of errors in the geometric correction of satellite images. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 51(11): 1725-1734.
- FULTON, J.L. 1992. Development of spatial data guidelines and standars. Spatial data set documentation to support hydrologic analysis in the U.S. Geological Survey. In: *Geographic Information Systems (GIS) and Mapping. Practices and Standards*. Johnson, A.I., Petterson, C.B. and Furton, J.L. (eds.). ASTM STP 1126. American Society for Testing and Materials, Philadelphia. EUA, pp. 30-37.
- GINEVAN, M.E. 1979. Testing land-use map accuracy: another look. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 45(10): 1371-1377.
- HAY, A.M. 1979. Sampling designs to test land-use map accuracy. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 45(4): 529-533.
- HEWITT, M.J.; STONE H.F. and STOMECKER, E.T. 1992. Overview of the use of formulation of geographic information systems (GIS) standards within the U.S. Environmental Protection Agency. In: *Geographic Information Systems (GIS) and Mapping. Practices and Standards*. Johnson, A.I., Petterson, C.B. and Furton, J.L. (eds.). ASTM STP 1126. American Society for Testing and Materials, Philadelphia. EUA, pp. 45-52.
- HORD, R.M. and BROONER, W. 1976. Land use map accuracy criteria. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 42(5): 671-677.

- HUDSON, W. and RAMM, C. 1987. Correct formulation of the Kappa coefficient of agreement. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 53(4): 421-422.
- JOHNSON, A.I.; PETTERSON, C.B. and FURTON, J.L. (eds.). 1992. *Geographic Information Systems (GIS) and Mapping. Practices and Standards*. ASTM STP 1126. American Society for Testing and Materials, Philadelphia. EUA.
- KENNEDY, S. 1989. The small number problem and the accuracy of spatial databases. In: Goodchild M.F. and Gopal, S. (eds.). *Accuracy of spatial data databases*. Taylor & Francis, London, pp. 187-196.
- MACEACHREN, A.M. 1985. Accuracy of thematic maps, implications of choropleth symbolization. *Cartographica*. 21(1): 38-58.
- MAFFINI, G.; ARNO, M. and BITTERLICH, W. 1989. Observations and comments on the generation and treatment of error in digital GIS data. In: Goodchild, M.F. and Gopal, S. (eds.). *Accuracy of spatial data databases*. Taylor & Francis, London, pp. 55-67.
- MERCHANT, D.C. 1987. Spatial accuracy specification for large scale topographic maps. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 53(7): 958-961.
- NEWCOMER, J.A. and SZAJGIN, J. 1984. Accumulation of thematic map error in digital overlay analysis. *The American Cartographer*. 11(1): 58-62.
- PRISLEY, S.P.; GREGOIRE, T.G. and SMITH, J.L. 1989. The mean and variance of area estimates computed in an arc-node geographic information system. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 55(11): 1601-1612.
- ROSENFELD, G.H. 1986. Analysis of thematic map classification error matrices. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 52(5): 681-686.
- ROSENFELD, G.H. 1982. Sample design for estimating change in land use and land cover. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 48(5): 793-801.
- ROSENFELD, G.H. 1981. Analysis of variance of thematic mapping experiments data. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 47(12): 1685-1692.
- ROSENFELD, G. and FITZPATRICK-LINS, K. 1986. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 52(2): 223-227.
- ROSENFELD, G.; FITZPATRICK-LINS, K. and LING, H. 1982. Sampling for thematic map accuracy testing. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 48(1): 131-137.
- SCS. 1984. *Technical specifications for line segment digitizing of detailed survey maps*. Government Printing Office, Washington, D.C.
- SHAW, G. and WHEELER, D. 1994. *Statistical techniques in geographical analysis*. 2nd. Ed. Great Britain, John Wiley & Sons. 359 pp.
- SNEDECOR and COCHRAN. 1980. *Statistical methods*. 7th. Ed. Iowa. The Iowa University Press. 499 pp.
- STORY, M. and CONGALTON, R. 1986. Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 52(3): 397-399.

- UNITED STATES NATIONAL MAP ACCURACY STANDARDS. 1970. US Bureau of the Budget Release 1204, Appendix, Part 800, chapter 1.
- VAN GENDEREN, J.L. and LOCK, B.F. 1977. Testing land-use map accuracy. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 43(9): 1135-1137.
- VAN GENDEREN, J.L.; LOCK, B.F. and VASS, P.A. 1978. Remote sensing: statistical testing of thematic map accuracy. *Remote sensing of environment*, vol. 7: 3-14.
- VITEK, J.D.; WALSH, S.J. and GREGORY, M.S. 1984. Accuracy in geographic information systems: an assessment of inherent and operational errors. *Proceedings, PECORA IX Symposium*, 296-302.
- WALSH, S.J.; LIGHTFOOT, D.R. and BUTLER, D.R. 1987. Recognition and assessment of error in geographic information systems. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 53(10): 1423-1430.
- WELCH, R.; JORDAN, T.R. and EHLERS, M. 1985. Comparative evaluations of the geodetic accuracy and cartographic potential of Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper image data. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 51(11): 1799-1812.
- WRIGHT, R.A. and YEE, M. 1992. Addressign data standars: The Northwest Land Information System Network. In: *Geographic Information Systems (GIS) and Mapping. Practices and Standards*. Johnson, A.I., Petterson, C.B. and Furton, J.L. (eds.). ASTM STP 1126. American Society for Testing and Materials, Philadelphia. EUA, pp. 71-75.