

## **Relaciones Resolución/Escala en imágenes satelitales y mapas**

Reinaldo Estrada Estrada, Fundación Antonio Núñez Jiménez de la Naturaleza y el Hombre

La relación entre la resolución de una imagen (óptica, VNIR) y la escala máxima de trabajo (o la más correcta o eficiente) que se puede obtener de ella al imprimirla, puede analizarse de varias maneras.

Según (Hengl T., 2006), de quien hemos tomado la idea básica y forma de este artículo, hay 6 diferentes métodos o elementos que hay que tener en cuenta a la hora de hacer aproximaciones para definir la correlación resolución/escala más adecuada o eficiente, ellos son:

- 1. RESOLUCIÓN Y CONCEPTOS CARTOGRÁFICOS**
- 2. RESOLUCIÓN Y POTENCIA DE CÓMPUTO**
- 3. RESOLUCIÓN Y POSICIONAMIENTO GPS**
- 4. RESOLUCIÓN Y SENSORES REMOTOS**
- 5. RESOLUCIÓN Y PUNTOS DE MUESTREO**
- 6. RESOLUCIÓN Y ANÁLISIS DE TERRENO (TERRAIN ANALYSIS)**

A los que nos gustaría sumar un séptimo elemento “**RESOLUCIÓN Y ELEMENTOS PRAGMÁTICOS**” que a veces guían la relación resolución/escala como son la existencia de escalas ya predefinidas a trabajar y/o imágenes predeterminadas (únicas accesibles, comparación con mapas preexistentes, etc.) así como otras de este mismo corte como la experiencia de trabajo preexistente, los software utilizados, el tener en cuenta la necesidad de procesos de limpieza tipo Majority y Sieve (ENVI), el facilismo y la costumbre e incluso el desconocimiento de principios como los aquí expuestos; que como decíamos al principio a veces guían el establecimiento de la correlación resolución/escala

Por motivo de que solo los dos primeros conceptos fueron relevantes para el trabajo realizado en la confección del “Mapa (BD-SIG) de vegetación natural y seminatural de Cuba v.1 sobre Landsat ETM 7 SLC-OFF Gap Filled, circa 2011” (Estrada R, 2013) y para la presentación del mismo como base de una tesis Doctoral, este trabajo solo tratará sobre ellos.

### **RESOLUCIÓN Y CONCEPTOS CARTOGRÁFICOS**

De los conceptos frecuencia de Nyquist (Nyquist, 1928) para el procesamiento de señales, Shannon (Shannon, 1949), plantea que la señal original puede ser reconstruida si la frecuencia muestreada es dos veces la frecuencia original, McBratney et al. (McBratney A. M., 2003), quienes sugieren que debe haber al menos 2x2 pixeles para representar el menor objeto redondeado de interés y al menos 2 pixeles para representar el ancho de objetos alargados.

Según (Hengl T., 2006) los conceptos básicos para establecer la relación entre escala y resolución son (Rossiter, 2003):

- 1. Average Size Área, ASA**
- 2. Maximum Location Accuracy, MLA**

1. **Average Size Área, ASA**, o “Promedio del Tamaño del Área” de los polígonos en el terreno (Minimum Legible Delineation, **MLD** o Área Mínima Mapeable), equivale, según los conceptos antes expresados y según Rossiter (Rossiter, 2003) a 4 pixeles.

Por lo anterior y siguiendo a Vink (Vink, 1975), el MLD es 0.25 cm<sup>2</sup> del mapa, por lo que la resolución puede estimarse basada en el número de la escala (**SN**)

$$p \leq \sqrt{\frac{MLD}{4}} = \frac{\sqrt{SN^2 \times 0.000025}}{2} = SN \times 0.0025$$

Donde **p** es el tamaño del pixel y el **MLD** se expresa en m<sup>2</sup>. Esto significa, por ejemplo, que para la escala 1: 50 000, la Delineación Mínima Legible (**MLD**) es 6.25 ha y la adecuada resolución para esta escala es 125 m, lo cual parece muy grueso (Hengl T., 2006), aunque algunas resoluciones mayores, para mapas temáticos, han sido recomendadas (Valenzuela, 1990). (Fig.1)

- 1.1. Así mismo McBratney et al. (McBratney A. M., 2003), plantean que los objetos de menores tamaños en un mapa son normalmente de 1 x 1 mm, por lo que el tamaño del pixel puede ser determinado por la regla  $p = 0,5\text{mm}$  (Fig. 1), la cual puede ser usada como una **regla general universal** en relación a la escala y la resolución (Hengl T., 2006). Otra variante de este razonamiento la proporciona (Chuvieco, 2002) para 4 mm<sup>2</sup> ( $p = 1$ ).

2. Una segunda relación entre la escala cartográfica y la resolución del raster viene dada por la **Maximum Location Accuracy, MLA**, o Localización de Máxima Precisión (Tolerancia Grafica, TG o Error Medio Admisible, EMA (Árias S.I, 2007). Según (Hengl T., 2006) “*el MLA comúnmente oscila entre 0.25 mm hasta un máximo de 0,1 mm del mapa* (Vink, 1975). **Esto proporciona la menor resolución legible posible:**

$$p \geq SN \times 0.00025 \text{ (0.0001)}$$

*Entonces, para la escala 1: 50 000 la menor resolución legible posible es 12.5 m (5 m). (Fig.1). Resoluciones menores a 5m realmente no tienen sentido y ellas serán difíciles de visualizar o imprimir a esta escala de trabajo” (Hengl T., 2006)*

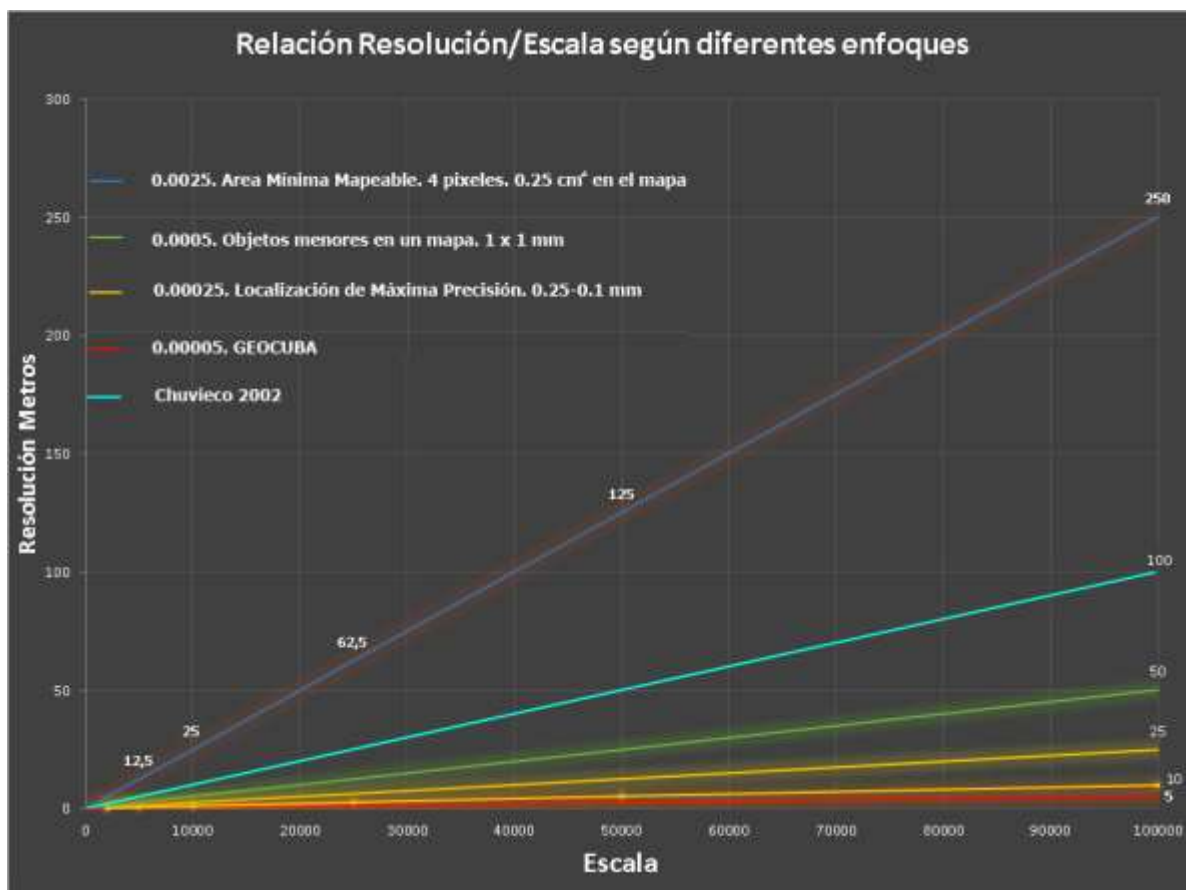
- 2.1. Una variante que sigue este razonamiento se encuentra en la “Metodología para el tratamiento de imágenes de satélite de alta resolución (HRS) para cartografía a grandes escalas” (Árias S.I, 2007), que plantea:

*“..... es necesario tener en cuenta que la unidad mínima de resolución necesaria (UMR) o tamaño del pixel (Resolución) garantice la percepción visual de la información que aporta la imagen en relación con la escala de mapa para la cual se pretende utilizar. En primer lugar se debe tener en cuenta la tolerancia grafica para la escala del mapa. La tolerancia grafica (TG) o error medio admisible (EMA) tiene en cuenta el error que puede cometer el hombre en la percepción visual de un elemento durante su posicionamiento en el mapa, este error se conoce que es 0.2mm (el ojo humano es capaz de percibir una parte de 1mm dividido en cinco partes). La imagen a emplear debe tener un tamaño de pixel que*

garantice este nivel de percepción en relación con la escala del mapa, y que a su vez esté comprendida en al menos dos píxeles según la Teoría de NY quist, de lo anterior se deduce la siguiente tabla que resume el tamaño de píxel necesario para garantizar la interpretación de la información presente en la imagen.”

Escala mapa	EMA (0.2mm a escala) Metros	Tamaño de píxel (UMR) EMA/2 Metros	UMR/2 Al menos dos píxeles
1:2000	0.4	0.20	0.10
1:5000	1	0.50	0.25
1:10 000	2	1	0.50
1:25 000	5	2.5	1.25
1:50 000	10	5	2.50
1:100 000	20	10	5

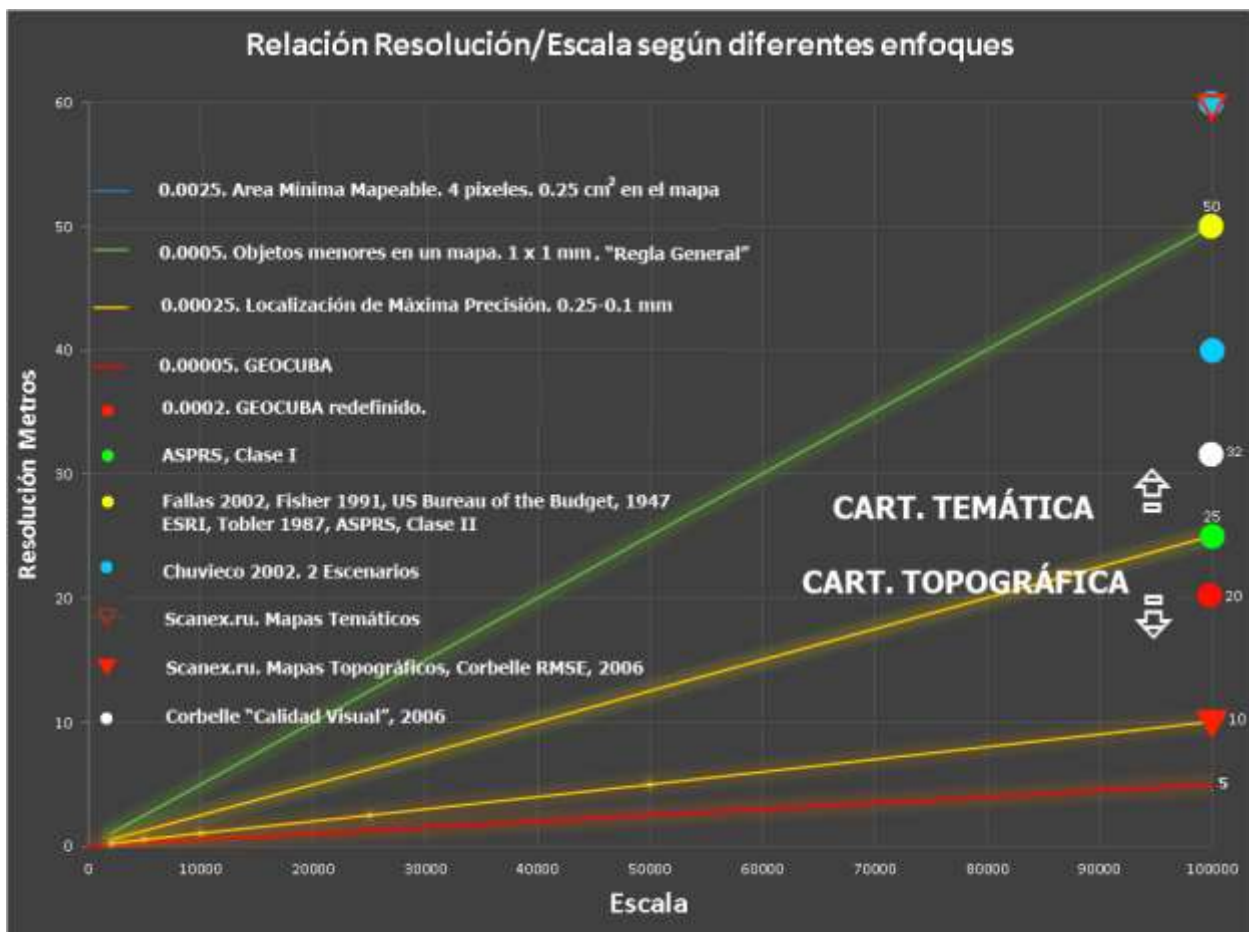
Estos escenarios anteriores se resumen en la siguiente **Fig. 1:**



**Fig. 1.** Las 4 relaciones cartográficas descritas arriba. Tomando como base a (Hengl T., 2006)

Una revisión de la variante GEOCUBA (Árias S.I, 2007), sugiere que se combinan ambos conceptos, cuyos principios se basan en elementos lineales uno (**MLA**) y el otro en elementos areales (**ASA**), algo equivalentes a igualar  $X = X^2$ , lo que conduce a un resultado demasiado ajustado que hace poco eficiente el uso de la correlación resolución/escala en la creación de mapas. En adición podemos citar a (E. Corbelle Rico, 2006): “Existe cierta confusión en cuanto a que la precisión cartográfica convencional se corresponda en el terreno con el error máximo que sería posible detectar en la imagen (casi cuatro veces el RMSE,...): semejante interpretación resultaría en un estándar cuatro veces más estricto que el ASPRS.”

Una redefinición de lo anterior, acompañada de lo que otros varios autores plantean, se detalla en la siguiente figura, que para mayor comprensión se concentra solo en la porción de la Fig. 1 por debajo de los 60 metros de resolución, donde además se expresan las ecuaciones lineales que representan correlaciones que consideramos son las más adecuadas para definir una correlación resolución/escala más eficiente desde el punto de vista del aprovechamiento cartográfico entre imágenes y mapas, tanto para mapas topográficos como para mapas temáticos, dentro de los principios de RESOLUCIÓN Y CONCEPTOS CARTOGRÁFICOS (Hengl T., 2006), sin menospreciar otras ecuaciones de correlación que pudieran derivarse de los restantes enfoques.



**Fig. 2.** Relación Resolución/Escala según diferente enfoques. Las referencias nuevas con respecto a la Fig. 1 se plotean solo como referencia a la escala 1: 100 000, en el entendido que representan la intersección de las ecuaciones lineales de cada enfoque con la accisa referente a la escala 1: 100 000.

Por el orden de la leyenda en la **Fig. 2**, las referencias nuevas a los enfoques son:

**GEOCUBA redefinido:** Propuesta de redefinición de lo planteado por (Árias S.I, 2007).

**ASPRS:** Estándar propuesto por la Sociedad de Fotogrametría y Sensores Remotos de los Estados Unidos de América. (ASPRS, 1990) (Merchant, 1987). Se grafican los estándares de precisión para las clases I y II (0,25 y 0,50 mm), pues la clase III sobrepasa al gráfico (0,75mm). La clase II coincide con la “**regla general universal**” (Hengl T., 2006).

**Fallas 2002:** Normas y estándares para datos geoespaciales. 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. 2002. (Fallas, 2002). Coincide con la “**regla general universal**” (Hengl T., 2006).

**Fisher 1991:** Fisher, P.F. 1991. Spatial data sources and data problems. (Fisher, 1991). En (Fallas, 2002). Coincide con la “**regla general universal**” (Hengl T., 2006).

**US Bureau of the Budget, 1947: NMAS,** National Map Accuracy Standard. Estándares de cartografía analógica de los Estados Unidos de América. Estos estándares fueron emitidos por la Oficina de Presupuesto de los Estados Unidos de América en 1947 y son todavía utilizados en dicho país. (US Bureau of the Budget, 1970). En (Fallas, 2002). En este caso se grafica el establecido para escalas menores a 1: 20 000 (0,508 mm, 90 % CE, Error Circular), pues el determinado para las escalas mayores a 1: 20 000 sale fuera de este gráfico (0,846 mm, 90 % CE). Coincide con la “**regla general universal**” (Hengl T., 2006).

**ESRI:** Páginas de ESRI. (Nagi, 2010). Coincide con la “**regla general universal**” (Hengl T., 2006).

**Tobler 1987:** (Tobler, 1987). En (Nagi, 2010). Coincide con la “**regla general universal**” (Hengl T., 2006).

**Chuvieco 2002:** Extrapolado en versiones lineales por el autor, de las conferencias en Power Point de Emilio Chuvieco, complementarias al texto Teledetección Ambiental del mismo autor. Universidad de Alcalá. 2002. (Chuvieco, 2002). La variante de área mínima de 4 mm<sup>2</sup> (p =1)

**Scanex.ru Mapas Temáticos:** Sitio web de la compañía ScanEx. Variante para mapas Temáticos recomendado por esta compañía. (ScanEx. Image Resolution and Map Scales, 2014)

**Scanex.ru Mapas Topográficos:** Sitio web de la compañía ScanEx. Variante para mapas Topográficos recomendado por esta compañía. (ScanEx. Image Resolution and Map Scales, 2014). Son los estándares más restrictivos encontrados que consideramos correctos.

**Corbelle RMSE 2006:** En base a (E. Corbelle Rico, 2006), partiendo de la calidad geométrica o precisión de imágenes de alta resolución, para RMSE bajos (en relación al tamaño del pixel y en concreto de 1m para QuickBird), extrapolado en el presente trabajo a restantes tamaños de pixeles por el autor. Son los estándares más restrictivos encontrados que consideramos correctos, aunque (E. Corbelle Rico, 2006) también plantea para este caso de RMSE de 1m para QuickBird: *“De modo particular, en algún caso en que el error geométrico fuese menor sería posible utilizar escalas ligeramente mayores, sabiendo que aun en ese caso la imagen impresa resultante contaría con una calidad visual satisfactoria.”*

**Corbelle Calidad Visual 2006:** En base a (E. Corbelle Rico, 2006), partiendo de lograr una adecuada calidad visual al imprimir, con 3,14 pixeles por milímetro a 300 dpi (**80 ppi a 300 dpi, no confundir ambos conceptos**), extrapolado en el presente trabajo a restantes tamaños de pixeles por el autor.

En esta Fig. 2, la curva amarilla de **Maximum Location Accuracy, MLA**, correspondiente a  $p \geq SN \times 0.0001$  consideramos representa la correlación mínima o más precisa hasta la cual se puede aplicar razonablemente la relación Resolución/Escala, más allá de la cual, como norma general, no es eficiente la aplicación de la relación. Así mismo esta curva de **Maximum Location Accuracy, MLA**, pero correspondiente a  $p \geq SN \times 0.00025$  (ó 0,0002) representa la zona límite aproximada entre cartografías temáticas y topográficas (pues representa el límite superior de las **correlaciones basadas en la precisión**), sin que esta última correlación constituya un muro totalmente preciso e inamovible.

## RESOLUCIÓN Y POTENCIA DE CÓMPUTO

Siguiendo con Hengl (Hengl T., 2006), la resolución también puede ser relacionada con el tamaño del área y la capacidad de procesamiento de los equipos de cómputo. Plantea que “...*aunque podemos insistir en usar la resolución más fina posible, el tiempo de cálculo se incrementará exponencialmente (cúbicamente) con el número total de píxeles en el mapa* (McBratney A. , 1998). *Esto significa que la resolución necesita estar en correspondencia con las capacidades de cómputo y el tiempo necesario para completar el trabajo. Siguiendo la popular ley de Moore* (Moore, 1965) (Moore, 1975), (Lagacherie, 2005) *discutieron la relación entre la resolución y la capacidad de cómputo de las computadoras estándares y descubrieron la siguiente relación gruesa entre el tamaño de la imagen y el año que transcurre:*

$$\text{Log}_{10}(m) = 0.14 \times (Y - 1955)$$

Donde  $\text{Log}_{10}(m)$  es el logaritmo del tamaño de la imagen en píxeles y Y es el año que transcurre.”

De acuerdo a esta fórmula, el tamaño estándar de una imagen en el año 2011 es  $10^{7.84}$  (unos 70 millones de píxeles) y para el 2014 que transcurre es de  $10^{8.26}$  (unos 190 millones de píxeles).

Volviendo a (Hengl T., 2006), “.....*la resolución también puede ser estimada dividiendo el tamaño del área de estudio por el número de píxeles que la computadora puede manejar*”

Por ejemplo, si el tamaño del área es de 110 000 km<sup>2</sup> y la computadora puede manejar 70 millones de píxeles (2011), puede trabajarse con resoluciones de unos 16 metros o más.

Sin embargo, en la realización entre 2010 y 2011 del “Mapa (BD-SIG) de vegetación natural y seminatural de Cuba v.1 sobre Landsat ETM 7 SLC-OFF Gap Filled, circa 2011” (Estrada R, 2013), para la citada extensión de 110 000 Km<sup>2</sup> (aproximadamente), con máquinas I3, 4GB de RAM, el manejo de una imagen Landsat, que como promedio circundan los 60 millones de píxeles, o el manejo de los productos vectoriales de ella derivados; se hacía extraordinariamente lento (operaciones de decenas de minutos o varias horas) cuando se trabajaba con la suma de 5 o 6 imágenes en el software Mapinfo, aun cuando estos productos habían sido repixelados a 60 metros para facilitar el procesamiento. La insostenibilidad de tales demoras provoco el cambio al software ArcGis (ver “**RESOLUCIÓN Y ELEMENTOS PRAGMÁTICOS**” comentada al inicio), quien demostró mucha mejor velocidad de operaciones, incluso para todo el territorio nacional, aunque ya en los casos de este nivel de procesamiento de todo el territorio nacional con los ya mentados píxeles de partida a 60 m, áreas

mínimas de 1.5 ha y base de datos de alrededor de 500 000 objetos, nuevamente los tiempos de operaciones volvieron a oscilar hacia los varios minutos, en ocasiones decenas de ellos, siendo la simple visualización del mapa entre unos 15 a 20 segundos. En total el trabajo de puro procesamiento GIS\_PDI luego del proceso Gap Filled, tuvo una duración de aproximadamente un año de trabajo de un especialista (estimado de la suma total de los tiempos parciales de todos los participantes).

La aparente contradicción entre los planteado por (Hengl T., 2006) y el caso de (Estrada R, 2013), puede deberse a varios motivos, desde los conceptos de “computadoras estándares” hasta el “tiempo de cálculo “de (Hengl T., 2006), pues según (Gonzalez, 2012) las expectativas de tiempo de “simple visualización de un mapa en ArcGis, oscila entre los 1 y 2 segundos”. Y ya que todos los ejemplos de (Gonzalez, 2012) se basan en procesadores Xeon, entonces parece bastante obvio que no debemos estar usando los mismos conceptos ni computadoras.

Queremos finalizar citando parte de las conclusiones de (E. Corbelle Rico, 2006): *“En las últimas décadas se ha producido una generalización del trabajo con productos cartográficos digitales, generalmente integrados en sistemas de información geográfica, que reduce la dependencia respecto del uso de productos en papel y prácticamente lo limita a la presentación de resultados finales. En concordancia con esta situación, la tendencia actual en relación con productos cartográficos digitales como la imagen de satélite es hacer referencia a su precisión planimétrica mediante alguno de los estimadores estadísticos disponibles y evitar la mención de una escala de representación concreta. Para aquellos usuarios que deseen disponer de una escala recomendada existen diversos estándares cartográficos que pueden ser utilizados (NMAS, ASPRS). Estos estándares, basados en la calidad geométrica de la imagen, son –al menos en el caso de imágenes de alta resolución– más restrictivos que los condicionantes de calidad visual.”*

## BIBLIOGRAFÍA

- Árias S.I, I. M. (2007). Metodología para el tratamiento de imágenes de satélite de alta resolución (HRS) para cartografía a grandes escalas. *GEOCUBA*, 37.
- ASPRS, A. S. (1990). Specifications and Standards Committee. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 56, no. 7, 1068-1070.
- Chuvieco, E. (2002). Teledetección Ambiental. *Presentacion de Power Point. Capitulo 4*.
- De By, R. (2001). *Principles of Geographical Information Systems*. . Enschede: ITC Educational Text book Series.
- De Mers, M. (2001). GIS Modeling in Raster. *GIS & Remote Sensing*, 208.
- E. Corbelle Rico, M. G. (2006). La escala cartográfica de la imagen de satélite. Caso particular de las imágenes Ikonos y QuickBird. *Revista de Teledetección*, 26: 18-24.
- Estrada R, M. G. (2013). Mapa (BD-SIG) de vegetación natural y seminatural de Cuba v.1 sobre Landsat ETM 7 SLC-OFF Gap Filled, circa 2011. *IV Congreso sobre Manejo de Ecosistemas y Biodiversidad*.
- Fallas, J. (2002). *Normas y Estandares para datos geoespaciales*. Heredia, Costa Rica: Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre y Escuela de Ciencias ambientales .
- Fisher, P. (1991). Spatial data sources and data problems. En M. D. J., *Geographic Information Systems: Principles and Applications*. (págs. 175-189.). Longman, London: Goodchild M. F. and Rhind, M. F.(Eds).
- Gatrell, A. (1991). Concepts of space and geographical data. En P. G. Longley, *Geographic Information Systems, firsted* (págs. 119-134). West Sussex: Wiley.
- Gonzalez, A. (4 de 10 de 2012). *Performance de la Plataforma ArcGIS*. Obtenido de [www.gpsglobalcontrol.com.co/blog/performancedelaplataformaarcgis](http://www.gpsglobalcontrol.com.co/blog/performancedelaplataformaarcgis)
- Hengl T. (2006). Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences* 32, 1283 -1298.
- Lagacherie, P. M. (2005). Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. En P. M. Lagacherie, *Proceedings of the Global Workshop on Digital Soil Mapping*. (págs. 1-15). Montpellier.
- McBratney, A. (1998). Some considerations on methods for spatially aggregating and disaggregating soil information. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 50, 51–62.
- McBratney, A. M. (2003). On digital soil mapping. *Geoderma*117 (1–2), 3-52.



- Merchant, D. (1987). Spatial accuracy specification for large scale topographic maps. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 53(7), 958-961.
- Moore, G. E. (1965). Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics Magazine*, 4.
- Moore, G. E. (1975). Progress in digital integrated electronics. *IEEE*.
- Nagi, R. (12 de Dic de 2010). *On map scale and raster resolution*. Obtenido de <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2010/12/12/on-map-scale-and-raster-resolution/>
- Nyquist, H. (1928). Certain Topics in Telegraph Transmission Theory. *Transactions of the A. I. E. E.*, 617–644,.
- Rossiter, D. G. (2003). Methodology for Soil Resource Inventories. *ITC Lecture Notes SOL.27*, 110.
- Rossiter, D. G., Hengl, T. (2002). Rossiter, D. G., Hengl, T., 2002. Technical note: Creating geometrically-correct photo-interpretations, photomosaics, and base maps for a project GIS. Technical Report, ITC, Department of Earth System Analysis ,Enschede, The Netherlands, 29 pp. *Technical Report, ITC*, 29.
- ScanEx. *Image Resolution and Map Scales*. (17 de Julio de 2014). Obtenido de <http://www.scanex.ru/en/monitoring/default.asp?submenu=cartography&id=det>
- Shannon, C. (1949). Communication in the presence of noise. . *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* 37 (1), 10-21.
- Tobler, W. (1987). Measuring Spatial Resolution”, , Beijing, pp. 12-16. *Proceedings, Land Resources Information Systems Conference.*, (págs. 12-16). Beijing, pp. . .
- US Bureau of the Budget. (1970). United States National Map Accuracy Standards. Release 1204.
- Valenzuela, C. B. (1990). Selection of appropriate cell sizes for thematic maps. *ITC Journal* 3, 219-224.
- Vink, A. (1975). *Land Use in Advancing Agriculture, vol. X*. New York: Springer.