

## COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE NORMALIZACIÓN RADIOMÉTRICA RELATIVA.

A. Mateu, L.A. Ruiz

[almasan@topo.upv.es](mailto:almasan@topo.upv.es)

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica. Universitat Politècnica de Valencia. Camino de Vera, s/n. 46022 Valencia.

### RESUMEN

Los métodos más utilizados en la normalización de los valores radiométricos de imágenes, tanto en mosaicos como en series multitemporales, se fundamentan en transformaciones lineales de sus histogramas. En este trabajo se evalúan y comparan algunos de ellos, además de los tipos de muestra empleados para obtener la transformación y para su evaluación. Analizando los resultados en dos ensayos, uno sobre mosaicos aéreos y el otro sobre imágenes de satélite adquiridas en diferentes fechas, se comprueba que el método *adaptativo bilineal* es preferible en imágenes que presentan elevada frecuencia espacial, mientras que el método de *regresión simple* lo es para imágenes más homogéneas. Los tipos de muestras *invariantes* resultan los más apropiados en ambos casos.

### ABSTRACT

Most of the image radiometric normalization methods are based on lineal transformations of the histograms. In this work, some of them are compared and evaluated. Two different tests were performed, one of them over aerial mosaics and the other over a temporal serie of satellite images. The adaptive bilinear is a more reliable method for high spatial frequency images, while the simple regression based method yields a better performance for homogeneous images. The best results are obtained using *no-change* sampling method.

**Palabras clave:** normalización radiométrica, mosaicos, pseudoinvariantes.

### INTRODUCCIÓN

En el proceso de adquisición de imágenes de satélite y aéreas son numerosos los factores que afectan a la respuesta radiométrica, como las variables de iluminación, la absorción y dispersión atmosférica, la ganancia y el desfase del sensor, etc.. Este problema se acusa especialmente en la realización de mosaicos digitales a partir de fotografías aéreas y en los estudios multitemporales con imágenes de satélite, donde no sólo cambian las características de iluminación, transmisión y toma, sino que también existen modificaciones en los elementos del paisaje, debidas a causas tanto naturales como artificiales.

En términos generales, el problema de la diferencia radiométrica entre dos fotografías se suele resolver mediante la corrección lineal de los histogramas (Yuan y Elvidge 1996), modificando el contraste y el brillo. Estas correcciones responden a transformaciones lineales del tipo:

$$x_k = a_k x_{0k} + b_k$$

donde "k" representa la banda espectral o componente de color, "a" el contraste y "b" el

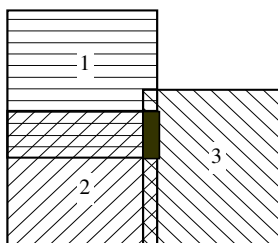
incremento de brillo, siendo "x<sub>0</sub>" la intensidad del pixel y "x" el valor de intensidad corregido.

Los objetivos de este estudio son:

- La evaluación y comparación de algunos de los métodos de normalización basados en transformaciones lineales del histograma, analizando los resultados para mosaicos aéreos y para series temporales de imágenes de satélite.
- La comparación de los tipos de muestras utilizados para el cálculo de la ecuación de transformación.

### MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizaron dos ensayos, el primero sobre tres fotografías aéreas en color con un área de solape común, las cuales se digitalizaron y se les aplicó un posterior remuestreo para la obtención de ortofotos. La resolución final obtenida fue de 0.704 metros de tamaño del pixel. La figura 1 muestra la disposición de la zona de solape común a las tres ortofotografías.



**Figura 1.-** Posición relativa de las ortofotos, indicando el solape utilizado en el ensayo 1.

En el 2º ensayo se utilizaron dos imágenes de satélite de la misma zona, pero con fechas de toma y sensores diferentes. La imagen de referencia fue tomada por el sensor IRS LISS-III en junio de 1996, y la imagen a la cual se le aplicaron las transformaciones por el sensor TM de Landsat en junio de 1987. Se compararon dos a dos las bandas correspondientes al verde, rojo e infrarrojo cercano de ambos sensores.

Para realizar el estudio se seleccionaron los siguientes *tipos de muestras* de ambas imágenes para la aplicación de los métodos de normalización:

- La imagen *completa*, formada por todos los píxeles que la componen.
- Las zonas *invariantes*, que son las llamadas *No-change* (Elvidge *et al.* 1995), y está formada por todos los píxeles interiores a una franja que envuelve a la recta de unión entre los centros de los *clusters* dominantes que aparecen en el diagrama de dispersión de las dos imágenes. De esta forma se seleccionan los píxeles que deben su variación radiométrica únicamente a las condiciones de toma y no a la variación temporal de la zona. Ésta puede considerarse la selección más objetiva.
- Las zonas *pseudoinvariantes*, que corresponden a aquellas que, por criterios más subjetivos, se puede considerar que no han variado. Se tuvieron en cuenta dos criterios, uno *específico*, consistente en la selección de zonas muy localizadas y con una similitud radiométrica en su entorno, y otro, más general o *global*, por el que se seleccionaron zonas más amplias que globalmente puede considerarse que no han variado.

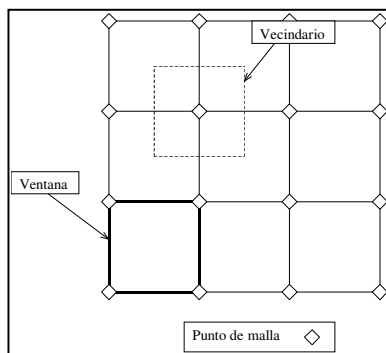
Los *métodos de normalización* estudiados fueron los siguientes:

- *Ajuste lineal* de los valores *máximo y mínimo* de la imagen que se va a normalizar con respecto a la de referencia.
- *Ajuste lineal* en función de la *media* y la *desviación típica*, mediante el cual se consigue que las características estadísticas de los valores de intensidad de la imagen corregida sean iguales a las de la imagen que se toma como de referencia.
- *Regresión simple* global de las dos imágenes. Los coeficientes para la normalización se obtienen mediante el algoritmo de los mínimos cuadrados.
- *Adaptativo bilineal* (Pratt, 1991) Se divide la imagen en *ventanas*, conectadas entre ellas por *puntos de malla*. Sobre cada uno de estos puntos de calcula la recta de regresión en función de la media y desviación típica de un determinado *vecindario* del punto. El ajuste final aplicado a cada píxel se calcula mediante interpolación bilineal de los cuatro puntos de malla que lo rodean (figura 2).

Para evaluar los diferentes métodos se consideró el error medio cuadrático (Yuan y Elvidge 1996), definido como:

$$EMC = \frac{1}{|Escena|} \sum (x_i - y_i)^2$$

siendo “ $x_i$ ” el nivel de gris del píxel “ $i$ ” de la imagen modificada e “ $y_i$ ” el de la imagen de referencia. El denominador de la expresión representa el número total de píxeles de la escena, el EMC puede variar si se toma en consideración una muestra parcial en lugar de la imagen completa. Este error indica cuánto se diferencia la imagen resultante de la imagen que se toma como referencia.



**Figura 2.** Esquema del método de interpolación adaptativo bilineal.

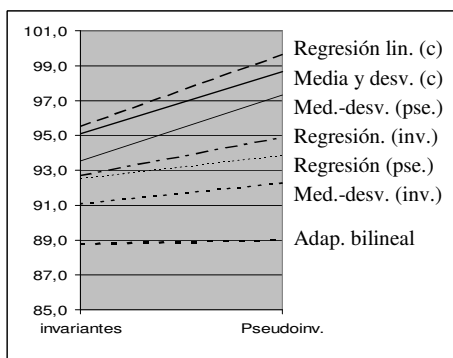
## RESULTADOS

La tabla 1 recoge los errores cuadráticos medios de los dos ensayos. En la primera columna se indican los métodos de normalización y, entre paréntesis, los tipos de muestreo empleados en el cálculo de la recta de normalización, y en la primera fila se indican los distintos tipos de muestreo utilizados en la evaluación.

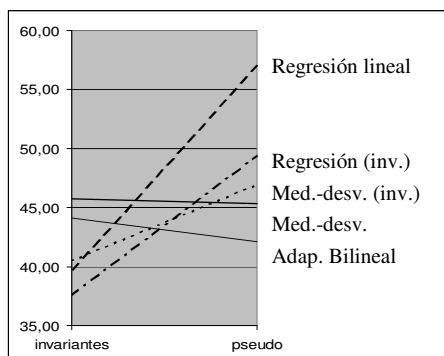
En el primer ensayo, los mejores resultados se obtienen siempre con el método adaptativo bilineal, con ECM próximos a 89, excepto cuando se utiliza la imagen completa como muestra. Dentro de este método, el tamaño de la ventana de 34 x 34 píxeles produce mejores resultados que 80 x 80, aunque la tendencia general de ambas es la misma. El método del máximo y mínimo es el más ineficaz, tal y como se esperaba. Puede apreciarse una considerable disminución del error al utilizar muestras invariantes o pseudoinvariantes con respecto a la imagen completa, aunque no hay diferencias entre las dos primeras.

En el método de la media y desviación típica se observan diferencias más claras que en el de regresión. El orden de menor a mayor error obtenido, en función de las muestras es: invariantes, pseudoinvariantes e imagen completa. La muestra de invariantes es más objetiva, en ella se seleccionan las zonas que no han variado y quedan mejor representadas las variaciones generales de iluminación.

Los tipos de muestreo en el cálculo del ECM basados en invariantes producen menor error que los basados en pseudoinvariantes (figura 3).



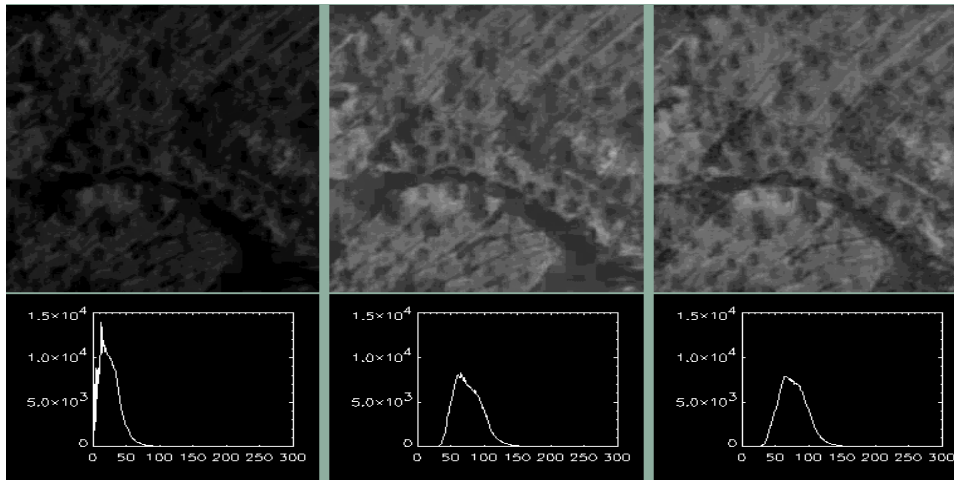
**Figura 3.** Comparación de los resultados del ensayo 1 para el solape 1-3. Tipos de muestras: invariantes (inv), pseudoinvariantes (pse), imagen completa (c).



**Figura 4.** Comparación de resultados del ensayo 2

**Tabla 1.** Valores medios de los EMC en los dos ensayos. Las columnas representan los tipos de muestreo utilizados en la evaluación, distinguiendo entre pseudoinvariantes específico (A) y global (B). Entre paréntesis se indica el total de píxeles de las muestras. Las filas representan los métodos de normalización el tipo de muestreo.

Métodos de normalización.	Ensayo 1.				Ensayo 2.		
	Invariantes (427857)	Pseudoinv. A (46758)	Pseudoinv. B (256210)	Completa (865644)	Invariante (52289)	Pseudoinv (9461)	Completa (90601)
Máximo y mínimo	111.9	111.6	111.6	2369.5	69.7	67.7	576.9
Media y desviación	95.1	99.0	98.6	733.8	45.7	45.3	265.8
“ invariante	91.1	92.2	92.3	1404.9	40.5	47.0	241.4
“ pseudoinv.A	93.4	98.4	-	685.3	49.0	47.8	284.1
“ pseudoinv.B	93.5	-	97.3	750.5	-	-	-
Regresión lineal	95.5	100.0	99.6	666.1	39.7	56.9	221.5
“ invariante	92.7	95.0	94.9	831.1	37.6	49.4	226.0
“ pseudoinv.A	92.6	94.2	-	865.4	41.3	46.8	237.0
“ pseudoinv.B	92.6	-	93.9	869.6	-	-	-
Adap.bilineal (34X34)	88.8	88.8	89.0	618.7	44.1	42.1	272.5
Adap. bilineal (80X80)	89.9	90.1	90.5	657.7	44.5	43.5	277.4
Valor medio	94,3	96,6	96,4	950,2	45,8	49,6	289,2



**Figura5.** Comparación visual de la normalización adaptativa bilineal sobre la banda del rojo del solape 1-2, ensayo 1. De izquierda a derecha: imagen 1. imagen 1 normalizada. imagen 2.

En el segundo ensayo (tabla 1 y figura 4), realizado sobre imágenes de satélite, el máximo error sigue obteniéndose con el método de máximo y mínimo. Para evaluar los otros tres métodos debemos remitirnos a los diferentes muestreos para el cálculo del error. Los métodos adaptativos presentan un comportamiento similar al del primer ensayo, siendo también determinante el tamaño de la ventana.

Existen diferencias apreciables entre el error obtenido con las muestras pseudoinvariantes y con las invariantes. Esto puede deberse a que las diferencias de paisaje entre las dos imágenes que se comparan sean importantes y no sean captadas al seleccionar las muestras pseudoinvariantes. Los errores así calculados dependerán, por tanto, de errores en la selección.

Observando el error calculado mediante la muestra de invariantes se aprecia que es menor en el método de regresión que el de media y desviación típica. Las imágenes de este ensayo presentan menor frecuencia espacial, más homogeneidad, por lo que la compensación por mínimos cuadrados será más eficiente.

En general se obtiene que el método menos adecuado para la normalización es el de máximo y mínimo. En función de los tipos de imágenes se deben plantear el método a elegir. Así, para imágenes homogéneas sin grandes cambios de iluminación es preferible la regresión lineal, mientras que para imágenes con mayor contraste el

adaptativo bilineal. Es preferible utilizar muestras invariantes para el cálculo de la transformación.

En cuanto a los tipos de muestras utilizadas para el cálculo del EMC, los menores errores se obtienen con las muestras de invariantes. El empleo de la imagen completa es inapropiado, tanto para el cálculo de la transformación como para la evaluación de resultados.

#### BIBLIOGRAFÍA

Elvidge, C.D., Yuan, D., Weerackoon, R.D. and Lunnetta, R.S., 1995. Relative radiometric normalization of Landsat Multispectral Scanner (MSS) data using an automatic scattergram-controlled regression. *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, 61 (10):1255-1260.

Pratt, W.K., 1991. Digital image processing. Ed. John Wiley & Sons.

Yuan, D., Elvidge, C.D., 1996. Comparison of relative radiometric normalization techniques. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sensing* 51, 117-126

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa Estudio Atlas S.L. el apoyo prestado en el desarrollo de los programas.