

# Evaluación multitemporal de métodos de corrección topográfica mediante el uso de imágenes sintéticas multiespectrales

Sola, I., González-Audícana, M., Álvarez-Mozos, J., Torres, J.L.

<sup>1</sup> Dpto. de Proyectos e Ingeniería Rural. ETSIA. Universidad Pública de Navarra. Edificio de Los Olivos. Campus Arrosadía s/n 31006 Pamplona.

---

**Resumen:** En este trabajo se presentan los resultados de la evaluación multitemporal de varios métodos de corrección topográfica (TOC), cuya bondad se determina de forma cuantitativa mediante el uso de imágenes sintéticas multiespectrales simuladas para diferentes fechas de adquisición a lo largo del año. Para cada fecha se generan dos imágenes sintéticas, una considerando el relieve real (imagen SR), y otra el relieve horizontal (imagen SH). Las imágenes SR se corrigen utilizando distintos TOC y estas imágenes corregidas se comparan con la corrección ideal (imagen SH) mediante el índice de similitud estructural (SSIM). Los valores de SSIM nos permiten evaluar la eficacia de cada corrección para distintas fechas, es decir, para distintos ángulos de elevación solar.

**Palabras clave:** corrección topográfica, multitemporal, imagen sintética, multiespectral, SSIM.

## Multitemporal evaluation of topographic correction methods using multispectral synthetic images

**Abstract:** This paper presents a multitemporal evaluation of topographic correction (TOC) methods based on synthetically generated images in order to evaluate the influence of solar angles on the performance of TOC methods. These synthetic images represent the radiance an optical sensor would receive for different periods of the year considering the real topography (SR image), and considering the relief completely horizontal (SH image). The comparison between the corrected image obtained applying a TOC method to a SR image and the SH image of the same area, i.e. considered the ideal correction, allows assessing the performance of each TOC algorithm, quantitatively measured through the Structural Similarity Index (SSIM).

**Key words:** topographic correction, multitemporal, synthetic image, multispectral, SSIM.

---

## 1. Introducción

La irradiancia incidente en un punto concreto de la superficie terrestre depende de los ángulos acimutal y cenital del sol, así como de la pendiente y orientación del terreno, factores todos ellos que determinan el ángulo de incidencia solar ( $\gamma_i$ ), formado por la dirección del sol y la normal a la superficie

en el terreno. Diferencias en este ángulo, o lo que es lo mismo en la iluminación solar, normalmente ocasionan variaciones en los valores de radiancia registrados por los sensores remotos dentro de áreas con el mismo tipo de cubierta y mismas propiedades biofísicas y estructurales (Soenen *et al.*, 2005). Este hecho puede afectar negativamente a la utilidad de la información espectral para diferentes

\* Autor para la correspondencia: [ion.sola@unavarra.es](mailto:ion.sola@unavarra.es)

aplicaciones, tales como la cartografía de usos del suelo (LU/LC) o la estimación de parámetros biofísicos, cuando la zona muestra un relieve abrupto (Tokola et al., 2001). El objetivo de los métodos de corrección topográfica (TOC) es compensar estas diferencias de radiancia entre laderas en solana y en umbría.

En las últimas décadas se han propuesto numerosos métodos TOC para minimizar o atenuar el efecto de la topografía en la radiancia global que llega hasta el sensor. Estos métodos pueden agruparse en dos grandes categorías: Los métodos empíricos, que no requieren de datos auxiliares (Svoray y Carmel, 2005), y los métodos semi-empíricos que requieren el cálculo del ángulo de incidencia solar en cada punto, y por lo tanto, precisan de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de la misma resolución que la imagen a corregir (Riaño et al., 2003). Aunque algunos autores han obtenido resultados aceptables utilizando métodos de corrección topográfica empíricos (Gu et al., 1999; Svoray y Carmel, 2005; Gao y Zhang, 2009), en la mayor parte de los casos, los resultados han sido mejores cuando se han empleado métodos semi-empíricos que tienen en cuenta las condiciones de iluminación, es decir, el ángulo de incidencia solar (Teillet et al., 1982; Civco, 1989; Soenen et al., 2005; Baraldi et al., 2010).

No obstante, a día de hoy no se ha alcanzado un consenso en cuanto a qué método es más adecuado. De hecho, existen diferentes estrategias para evaluar la calidad de estas correcciones, tales como: (1) Evaluación visual de la desaparición de la apariencia de relieve en las imágenes de satélite, (2) Análisis de la variación en la pendiente de la regresión lineal obtenida al comparar las imágenes de reflectancia en el terreno y la reflectancia normalizada con el coseno del ángulo de incidencia, (3) Análisis de la variación de la homogeneidad en las clases de cubierta vegetal, (4) Resultados de la clasificación y precisión antes y después de la normalización topográfica, (5) Mejoras en la predicción de parámetros biofísicos. No obstante, no existe un criterio estandarizado y objetivo que nos permita evaluar cada uno de los métodos TOC empleados. Es por ello que recientemente se ha propuesto una metodología para generar imágenes sintéticas (Sola et al., 2014) bajo diferentes condiciones de adquisición, como herramienta para la evaluación de la corrección topográfica. Utilizando esta metodología,

se aborda en este estudio una evaluación multitemporal y multibanda de varios TOC.

## 2. Evaluación de métodos TOC mediante imágenes sintéticas

### 2.1. Imagen sintética real (SR)

Una imagen sintética es aquella en la que el nivel digital de cada píxel representa la radiancia que registraría un sensor procedente de cubiertas con un determinado valor de reflectividad, bajo unas condiciones de adquisición concretas, geométricas y temporales.

El proceso para simular una imagen sintética, propuesto por Sola et al. (2014) para imágenes pancromáticas, ha sido adaptado para simular también imágenes multispectrales. Este proceso consta de dos fases. En la primera de ellas, se obtiene la imagen de irradiancia global para cada banda espectral para una fecha y hora concretas. En la segunda fase se genera la radiancia que captaría el sensor en el techo de la atmósfera.

En primer lugar, es necesario estimar la irradiancia global horizontal en cada banda, ( $E_{e,g}$ ), es decir, la cantidad total de radiación directa y difusa que llega a la superficie de la tierra, en condiciones de cielo claro y en ausencia de relieve. Entre los modelos existentes para estimar esta  $E_{e,g}$  a partir de sus componentes directa y difusa hemos escogido los modelos de Page (1996) y Dumortier (1998), validados en 25 test sites de Europa como parte del proyecto SATEL-LIGHT, con una buena correlación entre valores medidos y estimados bajo condiciones de cielo claro.

La topografía de la superficie terrestre no es plana, siendo necesario considerar las características geométricas y topográficas específicas del área de estudio. Para calcular la irradiancia global en plano inclinado ( $E_{\beta,g}$ ), es necesario tener en cuenta no solo la irradiancia que llega de forma directa ( $E_{\beta,s}$ ), calculada aplicando la ley del coseno a la irradiancia directa horizontal, sino también la que es reflejada por las laderas adyacentes ( $E_{\beta,r}$ ), calculada a partir de las reflectividades e irradiancias de las laderas circundantes, así como la irradiancia difusa dispersada por la atmósfera ( $E_{\beta,a}$ ), obtenida mediante el modelo de Hay (Hay y McKay, 1985).

En una segunda fase, hay que considerar la configuración del sensor, la reflectividad de las cubiertas, la transmisividad atmosférica y la radiancia difusa ascendente para cada una de las bandas. Con todo ello se obtiene finalmente una imagen multiespectral de radiancia simulada.

## 2.2. Imagen sintética horizontal (SH)

El mismo proceso descrito en la sección anterior se aplica para generar una imagen sintética horizontal, con la diferencia de que en este caso no se calcula la irradiancia en plano inclinado ya que no interviene el relieve. De esta forma obtenemos la imagen que captaría el sensor si la topografía fuese completamente plana. Esta imagen se utiliza como referencia para evaluar el comportamiento de cada uno de los métodos TOC aplicados a las imágenes SR generadas para distintas fechas y ángulos de elevación solar.

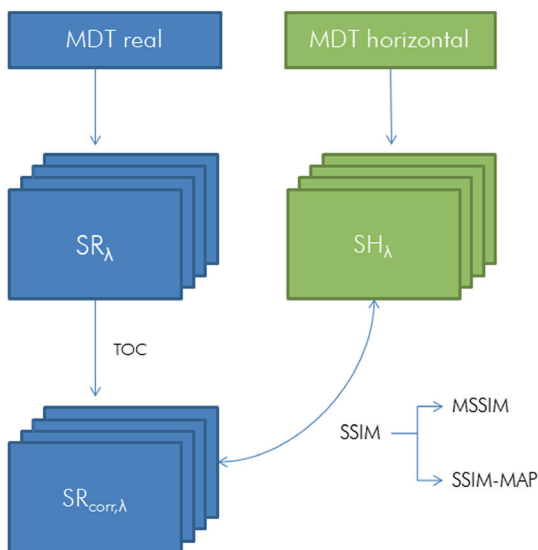
## 2.3. Índice SSIM

La imagen sintética SH corresponde a la corrección ideal que debería llevar a cabo un TOC, ya que carece por completo de efecto topográfico. Es por ello que se ha propuesto la comparación de las imágenes corregidas topográficamente frente a esta situación ideal como estrategia para testar la bondad de las correcciones realizadas (Sola *et al.*, 2014).

Tal y como se observa en la Figura 1, las imágenes SR correspondientes a cada una de las bandas espectrales se obtienen a partir de un MDT real de la zona, y posteriormente se les aplica una corrección TOC. Estas imágenes sintéticas corregidas son comparadas con sus correspondientes SH obtenidas a partir de un MDT horizontal. Para realizar esta comparación se emplea el índice de similitud estructural (SSIM) propuesto por Wang *et al.* (2004), como versión mejorada del *Image Quality Index* propuesto por Wang *et al.* (2001). Este índice universal es un método para medir la similitud entre dos imágenes, tomando una de ellas como referencia (en este caso la SH) y consta de tres componentes (comparación de luminancia, distorsión del contraste y similitud estructural) y por tanto proporciona una medida de similitud más completa que otros índices estadísticos tales como el *Mean Squared Error* (MSE) o el *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR), tal y como observan Wang *et al.* (2004), y que engloba la información proporcionada por otros índices estadísticos como el *Root Mean Squared Error* (RMSE) o el coeficiente de determinación  $R^2$  (Sola *et al.*). El SSIM alcanza valores entre -1 y 1, indicando los valores próximos a 1 una mayor similitud entre imágenes. Esto nos permite por un lado cuantificar la calidad de la corrección topográfica medida mediante el índice medio (MSSIM) entre la imagen SR corregida topográficamente y la imagen de referencia SH, así como evaluar espacialmente la corrección realizada a partir de las imágenes de SSIM, conocidas como SSIM-MAPs.

## 3. Algoritmos TOC

A lo largo de las últimas décadas se han propuesto multitud de métodos para corregir los efectos de la topografía en imágenes de satélite, pudiendo dividirse estos métodos en dos tipos en base a su comportamiento, ya sea lambertiano (isotrópico) o no-lambertiano (anisotrópico). En este trabajo se han seleccionado únicamente 4 métodos TOC, ya que el objetivo del artículo no es evaluar algoritmos de corrección topográfica, sino testar la nueva metodología para evaluar la calidad de los mismos. Los cuatro métodos TOC se han escogido por ser frecuentemente empleados en la literatura y por sus diferencias en cuanto a los principios en que se basan, que es de suponer proporcionen resultados diferentes. En primer lugar hemos escogido el método del Coseno, de tipo lambertiano, propuesto por



**Figura 1.** Esquema de la metodología para evaluar algoritmos TOC basada en imágenes sintéticas reales (SR) y horizontales (SH).

Smith *et al.* (1980) y mejorado por Teillet (1982) al ser ampliamente empleado pese a que no tiene en cuenta la irradiancia difusa y tiende a sobre corregir las laderas umbrías, tal y como numerosas publicaciones han demostrado (Law y Nichol, 2004; Twele *et al.*, 2006). Para corregir este problema el propio Teillet propuso dos métodos semi-empíricos que suelen ofrecer mejores resultados. Éstos son el método Corrección C, que añade un coeficiente C para reducir el efecto de sobre corrección que introduce el método del Coseno, y el Empírico-Estadístico, que emplea la pendiente y la ordenada de la regresión lineal entre radiancia e iluminación para corregir la imagen original. Ya por último, se ha incluido en este estudio el método SCS+C, propuesto por Soenen *et al.* (2005) específicamente para corregir el efecto topográfico en zonas forestales.

**Tabla 1.** Ecuaciones de los métodos TOC.

TOC	ECUACIÓN
Coseno	$L_{corr} = L \frac{\cos(\theta_s)}{\cos(\gamma_i)}$
Corrección C	$L_{corr} = L \frac{\cos(\theta_s) + C}{\cos(\gamma_i) + C}$
SCS+C	$L_{corr} = L \frac{\cos(\theta_s) + C}{\cos(\gamma_i) \cdot \cos(\beta) + C}$
Empírico-Estadístico	$L_{corr} = L - (A + B \cdot \cos(\gamma_i)) + L_{med}$

donde L es la radiancia original de cada banda,  $\theta_s$  es el ángulo cenital solar,  $\gamma_i$  es el ángulo de incidencia solar,  $\beta$  es la pendiente del terreno, A y B son respectivamente la ordenada y pendiente de la regresión entre el coseno de  $\gamma_i$  y la radiancia, C es un parámetro de corrección,  $L_{med}$  es la radiancia media en cada banda y  $L_{corr}$  es la radiancia corregida topográficamente.

#### 4. Caso de estudio

Se ha escogido una zona montañosa del pirineo navarro, con una extensión de 15x15 km., donde predominan los hayedos y robledales. Con el fin de analizar diferentes condiciones de iluminación solar, se han generado imágenes sintéticas correspondientes a 4 fechas distintas (Tabla 2) para las cuales el ángulo de elevación solar oscila desde los 21 hasta los 64°. Para cada fecha se han simulado

cuatro bandas espectrales correspondientes a las longitudes de onda del verde (500-590 nm), rojo (610-680 nm), infrarrojo cercano (780-890 nm) e infrarrojo medio (1.580-1.750 nm), considerando tanto el relieve real de la zona (imágenes SR) como un relieve totalmente horizontal (SH).

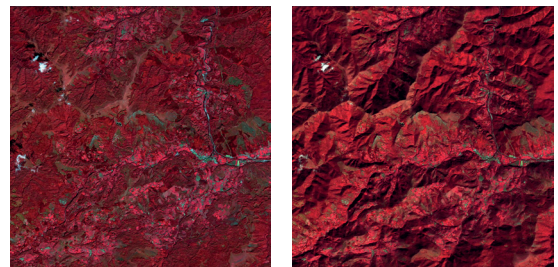
**Tabla 2.** Fecha, hora y ángulos solares considerados.

	1	2	3	4
Fecha	15 mar	15 jun	15 ago	15 dic
Hora (UTC)	10:45	10:45	10:45	10:45
Azimuth (°)	150,0	133,0	141,1	161,5
Elevación (°)	40,8	64,3	55,8	21,7

Como datos de partida se han empleado un MDT con resolución espacial de 5 m/píxel, y las reflectividades del terreno obtenidas a partir de la información presente en una imagen multispectral captada por el sensor SPOT5. Para ello se han transformado los valores digitales de una imagen de la zona a valores de reflectividad espectral y se han corregido atmosférica y topográficamente, empleando los métodos de Chávez y de corrección C respectivamente, por su sencillez y fácil aplicación. Se han considerado unas condiciones de cielo claro y un ángulo cenital del sensor de 12°, valor típico en la geometría de adquisición de esta plataforma.

A continuación se muestran como ejemplo las imágenes simuladas para el mes de marzo, donde el efecto del relieve es pronunciado pero no tan extremo como en la imagen de diciembre, simulada para un ángulo de elevación solar de tan sólo 21°.

Como se observa en la composición RGB de la Figura 2.b., la irradiancia en plano inclinado introduce un efecto topográfico evidente, mientras que la Figura 2.a. muestra la imagen simulada que captaría el sensor en ausencia de relieve.



**Figura 2.** Imágenes sintéticas de marzo a) SH b) SR



## 5. Resultados y discusión

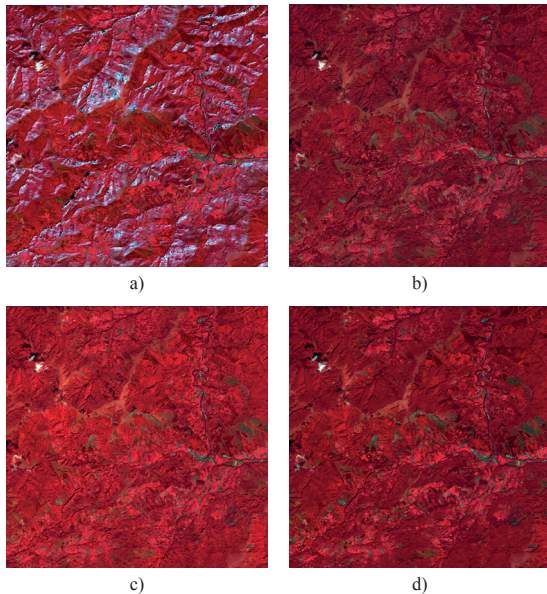
Se han corregido las 4 bandas de las imágenes sintéticas SR de las diferentes fechas empleando los mencionados TOC, obteniendo como resultado las imágenes corregidas, así como los índices SSIM medios (MSSIM) y los SSIM-MAP para las 4 bandas espectrales, y para las 4 fechas consideradas, con el fin de analizar el comportamiento de los distintos algoritmos en distintas fechas, con distintos ángulos de elevación solar.

En la Figura 3 se observa la composición RGB de las cuatro imágenes corregidas del mes de marzo. En la Figura 3.a. se aprecia claramente la sobre-corrección de laderas poco iluminadas producida por el método del Coseno, problema ampliamente descrito en la literatura (Vanonckelen *et al.*, 2013). Por el contrario, una evaluación visual preliminar de los tres TOC restantes refleja una corrección adecuada del efecto del relieve, muy similar en los tres casos.

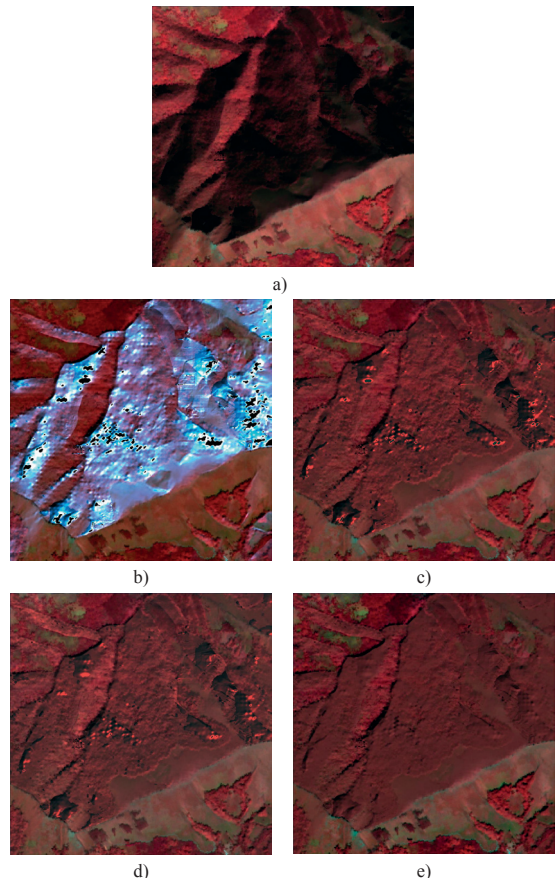
Si analizamos una zona con un relieve muy abrupto, y con laderas en umbría, donde los TOC se suelen comportar peor, las diferencias entre éstos se hacen más notorias, especialmente en las imágenes simuladas de marzo y diciembre. En la Figura 4.b. se observa, de nuevo, la sobrecorrección muy

pronunciada de las laderas en umbría producida por el método del Coseno. Del mismo modo, en las figuras 4.c. y 4.d. se aprecian problemas en algunas zonas en las que no llega nada de irradiación directa, problemas que parecen solventarse de forma más adecuada con el método Empírico-Estadístico.

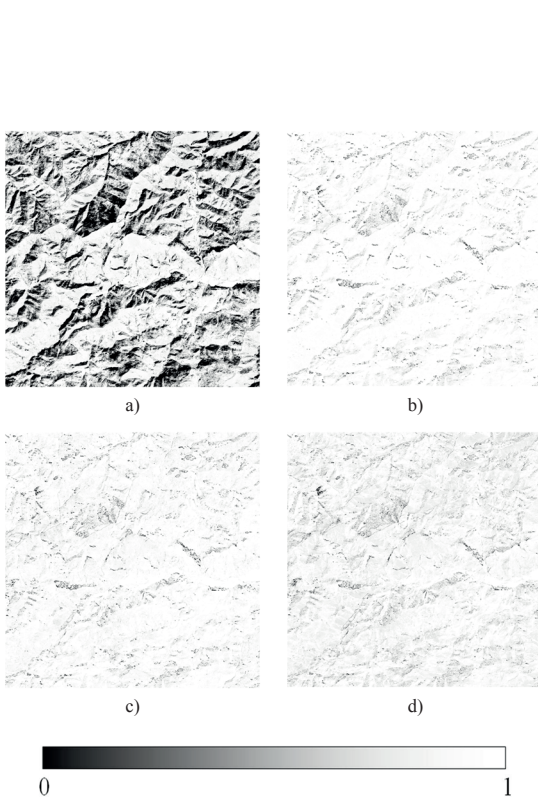
La Figura 5 muestra los SSIM-MAP de estas mismas correcciones, en este caso para la banda 2 (rojo). Las zonas más oscuras, correspondientes a laderas en sombra en la imagen original, muestran la sobrecorrección que se produce en el método del Coseno, dando lugar a valores de SSIM muy bajos, al estar muy lejos de la corrección ideal. En contraste, los tres métodos restantes dan valores de SSIM muy elevados lo largo de toda la imagen, señal de una corrección adecuada, como se aprecia visualmente en las figuras 4.b., 4.c. y 4.d.



**Figura 3.** Imagen sintética de marzo corregida a) Método Coseno b) Método de Corrección C c) Método SCS+C d) Método Empírico-Estadístico.



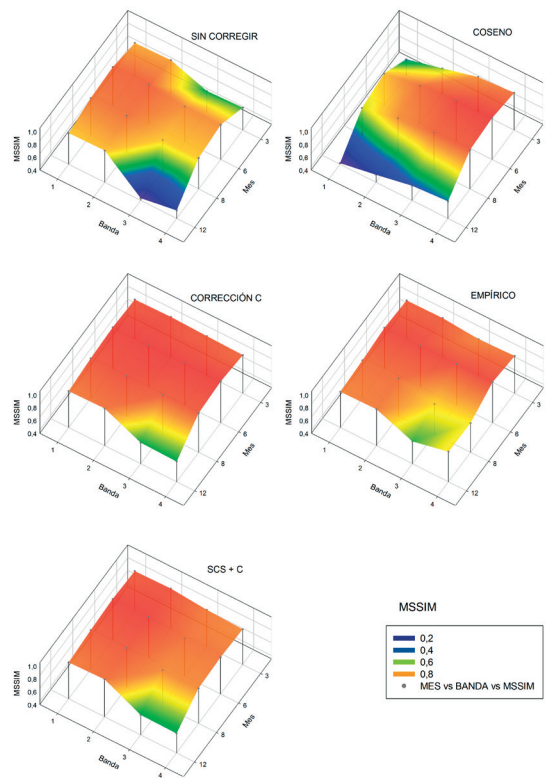
**Figura 4.** Zona de detalle problemática en imagen sintética de marzo a) Imagen SR sin corregir b) Método Coseno c) Método de Corrección C d) Método SCS+C e) Método Empírico-Estadístico.



**Figura 5.** SSIM-MAP de la banda 2 corregida para el mes de marzo **a)** Método Coseno **b)** Corrección C **c)** Método SCS+C **d)** Método Empírico-Estadístico.

En la Figura 6 se muestra el comportamiento de cada uno de los métodos a través del índice SSIM medio o MSSIM. Un MSSIM próximo a 1 indica una buena corrección, de manera que se observa, como era de esperar, una corrección mejor en los meses de verano, cuando el efecto topográfico es menor, para todos los TOC.

Coincidiendo con estudios previos (Ghasemi *et al.*, 2013) la Figura 6 muestra una corrección poco satisfactoria del método del Coseno, especialmente en las bandas del visible (banda 1 y banda 2). Las diferencias entre los otros tres métodos son mínimas, siendo el método más adecuado el Corrección C. Del mismo modo se observa, tal y como era de esperar, que todos los métodos TOC corrigen mejor el efecto del relieve bajo condiciones favorables, como son los meses estivales de junio y agosto, si bien es cierto que el efecto del relieve es menor en



**Figura 6.** Valores de MSSIM obtenidos con cada TOC para las 4 bandas y 4 fechas consideradas. En el eje de meses, 0 y 12 corresponden al mes de diciembre.

estos casos y por tanto hay menos que corregir que, por ejemplo, en el mes de diciembre.

En condiciones muy extremas, asociadas a laderas en umbría, donde no llega prácticamente irradiancia solar y por lo tanto, radiancia al sensor, es difícil poder aplicar una corrección TOC ya que apenas hay información espectral que recuperar. No obstante, el comportamiento general de los métodos TOC es satisfactorio, y en todo caso mejor que una imagen sin corregir, exceptuando el método del Coseno, cuyas limitaciones han quedado demostradas por varios autores anteriormente (Gu y Gillespie, 1998).

En la tabla 3 se observan los valores de MSSIM una vez realizada la media entre los resultados de las cuatro bandas espectrales simuladas para cada fecha. Tal y como se observaba en la Figura 5, es el método de corrección C el que mejor corrige las imágenes de marzo, junio y agosto. Al contrario,

**Tabla 3.** Valores de MSSIM medios de las 4 bandas para cada fecha y TOC.

Imagen	Mar.	Jun.	Ago.	Dic.
Sin TOC	0,778	0,921	0,880	0,635
Coseno	0,795	0,941	0,891	0,508
Corrección C	0,961	0,995	0,966	0,797
Empírico-Estadístico	0,937	0,984	0,876	0,835
SCS+C	0,938	0,958	0,931	0,791

en diciembre es el método Empírico-Estadístico el mejor posicionado, aunque ninguno de los métodos TOC logra corregir de forma adecuada el severo efecto topográfico presente en la imagen original de este mes.

## 6. Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten afirmar que el procedimiento basado en imágenes sintéticas resulta de utilidad para evaluar de forma objetiva el comportamiento de los métodos TOC bajo diferentes condiciones de adquisición. El índice MSSIM y las imágenes SSIM-MAP, conjuntamente, han demostrado ser una herramienta útil para evaluar de forma cuantitativa y objetiva el comportamiento de los métodos de corrección topográfica.

La evaluación multitemporal abordada en este trabajo pone de manifiesto que no hay método que corrija de forma totalmente satisfactoria el efecto topográfico cuando el ángulo de elevación solar es menor a 30°, especialmente en las bandas del IR medio e IR cercano. Del mismo modo, y como otros autores han señalado previamente (Richter *et al.*, 2009), no hay un método que se comporte mejor bajo todas las condiciones, siendo las diferencias mínimas entre algunos de éstos.

No obstante sería aconsejable realizar un análisis más extenso de la metodología empleada, aplicada a más zonas, fechas y con más algoritmos TOC. Igualmente, sería interesante validar el procedimiento para generar imágenes sintéticas, comparando éstas con imágenes reales adquiridas bajo las mismas condiciones.

## Bibliografía

- Baraldi, A., Gironda, M., Simonetti, D., 2010. Operational Two-Stage Stratified Topographic Correction of Spaceborne Multispectral Imagery Employing an Automatic Spectral-Rule-Based Decision-Tree Preliminary Classifier. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 48(1): 112-146. doi:10.1109/TGRS.2009.2028017
- Civco, D.L. 1989. Topographic Normalization of Landsat Thematic Mapper Digital Imagery. *Photogramm. Eng. Remote S.*, 55: 1303-1309.
- Dumortier, D. 1998. The satellight model of turbidity variations in Europe. *Report for the 6<sup>th</sup> Satel-Light meeting*. Freiburg, Germany.
- Gao, Y.N., Zhang, W.C. 2007. Variable Empirical Coefficient Algorithm for removal of topographic effects on remotely sensed data from rugged terrain. *In Proc.: IGARSS 2007*, July 23-27, Barcelona, Spain, pp. 4733-4736. doi:10.1109/IGARSS.2007.4423917
- Ghasemi, N., Mohammadzadeh, A., Reza Sahebi, M. 2013. Assessment of different topographic correction methods in ALOS AVNIR-2 data over a forest area. *International Journal of Digital Earth*, 504-520. doi:10.1080/17538947.2011.625049
- Gu, D., Gillespie, A. 1998. Topographic Normalization of Landsat TM Images of Forest Based on Subpixel Sun-Canopy-Sensor Geometry. *Remote Sensing of Environment*, 64(2), 166-175. doi:10.1016/S0034-4257(97)00177-6
- Hay J.E., Mckay, D.C. 1985. Estimating solar irradiance on inclined surfaces: a review and assessment of methodologies. *International Journal of Solar Energy*, 3(4-5), 203-240. doi:10.1080/01425918508914395
- Law, K.H., Nichol, J. 2004. Topographic correction for differential illumination effects on IKONOS satellite imagery. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inform. Sci.*, pp. 641-646.
- Page, J. 1996. Algorithms for the Satellight programme. *Technical Report for the 2<sup>nd</sup> SATEL-LIGHT meeting*. June, 1996, Bergen, Norway.
- Riano, D., Chuvieco, E., Salas, J., Aguado, I. 2003. Assessment of different topographic corrections in Landsat-TM data for mapping vegetation types. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 41(5): 1056-1061. doi:10.1109/TGRS.2003.811693
- Richter, R., Kellenberger, T., Kaufmann, H. 2009. Comparison of topographic correction methods. *Remote Sensing*, 1(3): 184-196. doi:10.3390/rs1030184
- Smith, J.A., Lin, T.L., Ranson, K.J. 1980. The Lambertian Assumption and Landsat Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 46(9): 1183-1189



- Soenen, S.A., Peddle, D.R., Coburn, C.A. 2005. SCS+C: A modified sun-canopy-sensor topographic correction in forested terrain. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(9), 2148-2159. doi:10.1109/TGRS.2005.852480
- Sola, I., González-Audícana, M., Álvarez-Mozos, J., Torres, J.L. 2014. Synthetic images for evaluating Topographic Correction Algorithms. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 52(3): 1799-1810. doi:10.1109/TGRS.2013.2255296
- Svoray, T., Carmel, Y. 2005. Empirical method for topographic correction in aerial photographs. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, 2(2): 211-214. doi:10.1109/LGRS.2005.846012
- Teillet, P.M., Guindon, B., Goodenough, D.G. 1982. On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 8(2): 84-106.
- Twele, A., Kappas, M., Lauer, J., Erasmi, S. 2006. The effect of stratified topographic correction on land cover classification in tropical mountainous regions *ISPRS Comm. VII Symp.*, 8-11 May, Enschede, The Netherlands, pp. 432-437.
- Tokola, T., Sarkeala, J., Van Der Linden, M. 2001. Use of topographic correction in Landsat TM-based forest interpretation in Nepal. *International Journal of Remote Sensing*, 22(4): 551-563. doi:10.1080/01431160050505856
- Vanonckelen, S., Lhermitte, S., Van Rompaey, A. 2013. The effect of atmospheric and topographic correction methods on land cover classification accuracy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 24(10): 9-21. doi:10.1016/j.jag.2013.02.003
- Wang, Z., Bovik, A.C. 2002. A Universal Image Quality Index. *IEEE Signal Process. Lett.*, 9(3): 81-84. doi:10.1109/97.995823
- Wang, Z., Bovik, A.C., Sheikh, H.R., Simoncelli, E.P. 2004. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(4): 600-612. doi:10.1109/TIP.2003.819861