

Comparación y ajuste en zonas agrícolas de índices de vegetación derivados de Landsat-8 y Sentinel-2

Tello, J. ⁽¹⁾, **Gómez-Báguena, R.** ⁽²⁾, **Casterad, M. A.** ⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geografía y Ordenación de Territorio, Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, España. joaquintz@gmail.com

⁽²⁾ Unidad de Suelos y Riegos (asociada a EEAD-CSIC), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, Avda. Montañana 930, Zaragoza, España. rgomezba@aragon.es, acasterad@aragon.es

Resumen: La integración entre múltiples sensores es indispensable para el uso complementario de imágenes de diferentes satélites en la obtención de series temporales de índices de vegetación, herramienta muy utilizada para la identificación y seguimiento de cultivos. En este trabajo se analiza la relación existente entre los índices de vegetación NDVI, SAVI y VARI derivados de imágenes Landsat-8 y del reciente Sentinel-2, y se muestran las ecuaciones de ajuste entre ambos satélites obtenidas para zonas agrícolas. Para ello se utilizan cuatro parejas de imágenes con las que, mediante gráficos de dispersión, funciones de ajuste y test estadísticos se determinará la relación existente. Aunque los valores de los índices obtenidos con un satélite u otro no son muy diferentes, si se aprecian estadísticamente diferencias significativas que aconsejan el ajuste cuando los índices de vegetación se calculan usando reflectividades derivadas de los productos Landsat-8 nivel L1T y Sentinel-2 nivel 1C. Se recomienda completar el estudio con más parejas de imágenes para conseguir unas funciones de ajuste más robustas.

Palabras clave: Landsat, Sentinel, ajuste, NDVI, SAVI, VARI.

Comparison and adjustment in agricultural areas of vegetation indexes derived from Landsat-8 and Sentinel-2

Abstract: *Interrelationship between multiple sensors is essential for the complementary use of images from different satellites to obtain time series of vegetation indexes, tool used for the identification and monitoring of crops. This paper examines the relationship between the NDVI, SAVI and VARI vegetation indexes derived from Landsat-8 images and recent Sentinel-2, and shows the calibration equations between both satellites obtained for agricultural areas. Four pairs of images are used to determine this relationship by means of graphs of dispersion, adjustment functions and statistical test. Although the values of the indexes obtained with one satellite or other are not very different, there are statistically significant differences that advise the calibration when the vegetation indexes are calculated using reflectance derived from Landsat-8 L1T and Sentinel-2 level 1C products. It is recommended to complete the study with more pairs of images for more robust calibration functions.*

Keywords: *Landsat, Sentinel, adjustment, NDVI, SAVI, VARI.*

1. INTRODUCCIÓN

Cada vez es mayor el número de sistemas satelitales de observación de la Tierra y por tanto mayor la información a disposición de los usuarios. La aplicación conjunta de los datos de teledetección adquiridos desde diferentes satélites y sensores es muy relevante y eficaz en la obtención de series temporales de datos: reduce las limitaciones existentes en cuanto a problemas de nubosidad y tiempo de revisita proporcionando mayor cobertura y una serie de datos más continua. Un ejemplo son las series temporales de índices de vegetación, muy utilizadas para el seguimiento espacio-temporal de la dinámica de la cubierta vegetal a escala global, construidas a partir de imágenes de satélites de alta resolución temporal (Gómez *et al.*). Sin embargo, estas aplicaciones utilizan mayoritariamente imágenes de satélites de baja resolución espacial, poco operativas en la identificación y seguimiento de cultivos a escala de parcela y explotación agraria, donde se exige mayor resolución.

Los recientes satélites Sentinel-2 en combinación con Landsat, en ambos casos con imágenes de libre disposición, aumentan las posibilidades de tener series temporales de datos con mayores resoluciones espaciales y más densas, ampliando las posibilidades de su uso en agricultura.

Sin embargo, los datos de diferentes sensores no son directamente comparables por lo que la construcción de las series temporales a partir de ellos requiere de un ajuste previo (Steven *et al.*, 2003). Con el objetivo de determinar hasta qué punto son compatibles Landsat-8 y Sentinel-2 en la construcción de series temporales de índices de vegetación para la identificación y seguimiento de cultivos en zonas agrícolas, se analiza la relación existente entre índices de vegetación derivados de las imágenes de ambos satélites y se obtienen las ecuaciones de ajuste correspondientes para su aplicación en zonas agrícolas. Concretamente se examinan los índices NDVI, SAVI y VARI.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materiales utilizados

El estudio que se presenta se enmarca dentro de un proyecto de investigación en el que se efectuó, durante las campañas agrícolas de 2015 y 2016, el seguimiento fenológico de cultivos en la zona regable de La Violada, regadío localizado en el valle medio del Ebro en la provincia de Huesca (España). Por ello, la zona escogida en este trabajo para la obtención de información espectral corresponde a una porción territorial alrededor de dicha zona regable (Figura 1).

Dado que las series temporales de índices de vegetación suelen usarse habitualmente en el seguimiento fenológico de la vegetación, se eligen para el trabajo tres índices: el NDVI, Índice de vegetación de la diferencia normalizada, por ser el índice más conocido y utilizado en series temporales para seguimiento de la vegetación; el SAVI, Índice de vegetación ajustado al suelo, para minimizar los efectos del suelo en la respuesta de la vegetación; y el VARI, Índice de vegetación resistente a la atmósfera, para evitar los problemas de saturación a valores altos de índice que presentan los dos índices anteriores.

Los análisis se realizan con imágenes Landsat-8 (nivel de procesamiento L1T, calibradas radiométricamente y ortorectificadas) adquiridas del servidor de descarga del USGS (<http://glovis.usgs.gov/>) e imágenes Sentinel-2 (nivel de procesamiento 1C reflectancia *Top-of-Atmosphere* ortorectificada) del servidor Sentinels Scientific Data Hub del programa Copernicus de la ESA (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>).

La elección de estos productos se debe a la no disponibilidad en el momento de la realización del trabajo de productos Sentinel-2 de reflectancia en la superficie (nivel 2A, reflectancia *Bottom-of-Atmosphere* ortorectificada) y la provisionalidad de los productos Landsat-8 SR (*surface reflectance*). Se buscaron aquellas parejas de imágenes Landsat-8 y Sentinel-2 de fechas coincidentes o muy próximas y que estuvieran libres de nubes. Las cuatro parejas de imágenes seleccionadas fueron:

- Landsat 26/08/2015 y Sentinel 26/08/2015
- Landsat 12/03/2016 y Sentinel 12/03/2016
- Landsat 25/06/2016 y Sentinel 23/06/2016
- Landsat 12/08/2016 y Sentinel 12/08/2016

2.2. Tratamiento de las imágenes y obtención de índices de vegetación

Todas las imágenes están disponibles corregidas geométricamente. Las imágenes Sentinel proporcionan reflectividad en el techo de la atmósfera (TOA) mientras que las Landsat se tuvieron que corregir radiométricamente y convertir a reflectividad mediante el modelo simplificado indicado en Chuvieco (2010). Para obtener información sobre la reflectividad en la superficie terrestre se procedió en ambos casos a aplicar el mismo tipo de a la corrección atmosférica, el método del objeto oscuro (Chávez, 1996). No se utilizaron las herramientas de procesamiento específicas de Sentinel para asegurar el mismo procedimiento de corrección.

De las imágenes ya corregidas se obtuvieron los tres índices de vegetación mencionados

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}; \quad VARI = \frac{G - R}{G + R - B};$$

$$SAVI = \left(\frac{NIR - R}{NIR + R + L} \right) (1 + L)$$

donde, NIR es la reflectancia en la región del infrarrojo cercano, R la reflectancia en el rojo y B la reflectancia en el azul; el factor L de ajuste del suelos en el índice SAVI se consideró 0,5.

2.3. Comparación, relación y ajuste de los índices de vegetación

Apoyándose en composición color de las imágenes, se eligieron transectos sobre diferentes zonas agrícolas tanto de regadío como de secano (Figura 1). En total se cogieron 54 puntos de muestreo.

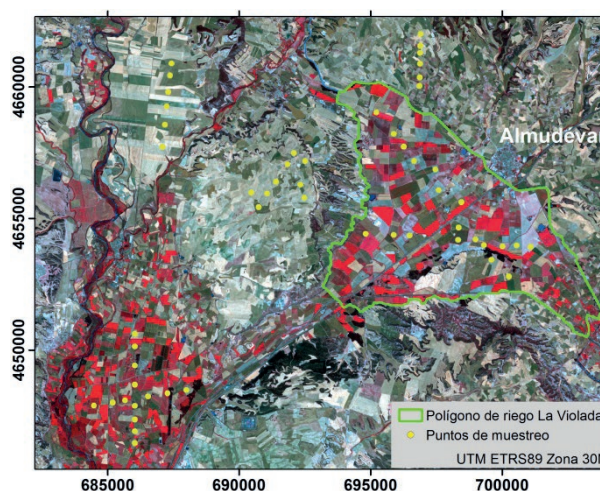


Figura 1. Ubicación de los transectos elegidos para las calibraciones sobre imagen Sentinel (RGB 843) de 23 de junio de 2016.

A partir de una capa *shapefile* puntual de los transectos se extraen, según el procedimiento mostrado en la Figura 2, los valores de los índices de vegetación de las diferentes parejas de imágenes en los puntos elegidos. Dada la diferente resolución espacial de las imágenes, píxel de 30×30 m en Landsat y de 10×10 m Sentinel, se saca el valor medio de cada índice a partir de 4 píxeles de Landsat y 36 de Sentinel, considerándose así una superficie representativa e igual en ambos casos. Previamente se ajustan perfectamente las imágenes de ambos satélites para que los píxeles casen exactamente.

Antes de proceder a la comparación entre sensores se depuraron los datos obtenidos para no incluir en el análisis los puntos con valores anómalos, “outliers”. Generalmente son puntos en los que los píxeles elegidos para determinar el valor del índice de vegetación no corresponden en su totalidad a una misma cobertura. El procedimiento seguido para la eliminación de estos puntos se muestra en la Figura 2.

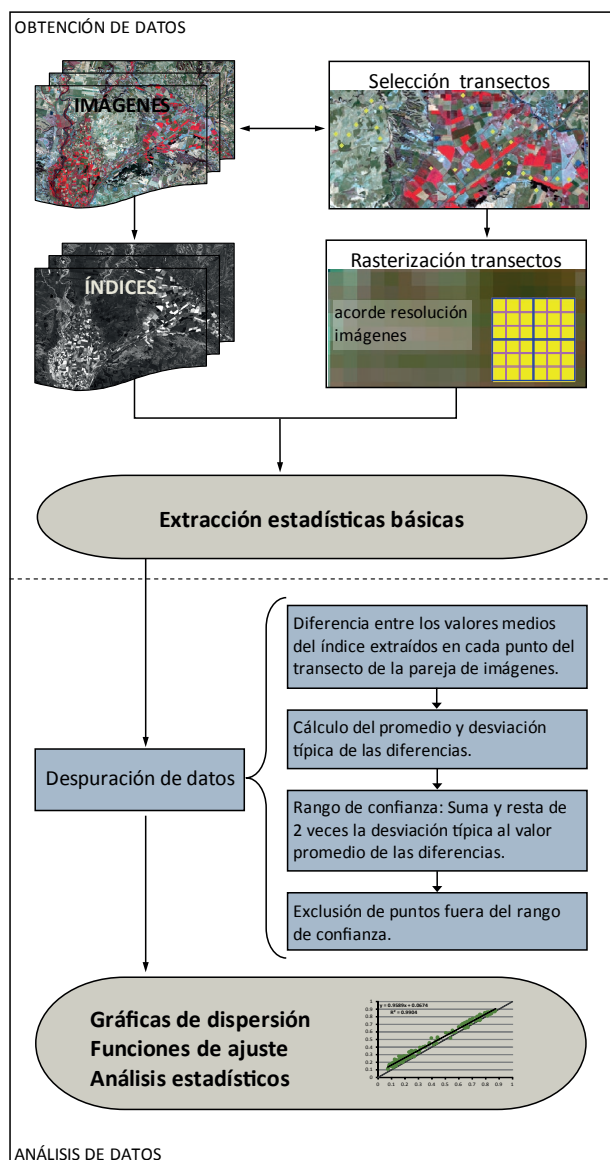


Figura 2. Esquema de la metodología seguida para el ajuste entre sensores.

La comparación y relación entre índices obtenidos de cada sensor se realiza a partir de gráficos de dispersión, funciones de ajuste y dos análisis estadísticos, el test estadístico de regresión y el test T de Student para dos muestras relacionadas, para determinar si hay o no relación y diferencias significativas entre los dos sensores que requieran un ajuste al usarlos conjuntamente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 3, se muestran para los tres índices estudiados las relaciones y ecuaciones de ajuste entre Sentinel-2 a Landsat-8.

A simple vista se puede observar que las líneas de ajuste obtenida entre sensores para los índice NDVI y SAVI está ligeramente por encima de la línea 1:1. Esto quiere decir que en un mismo píxel el valor de índice NDVI y SAVI en Landsat estaría por encima del valor en Sentinel. En el caso del NDVI las diferencias entre sensores son más acusadas en los valores bajos del índice que en los altos,

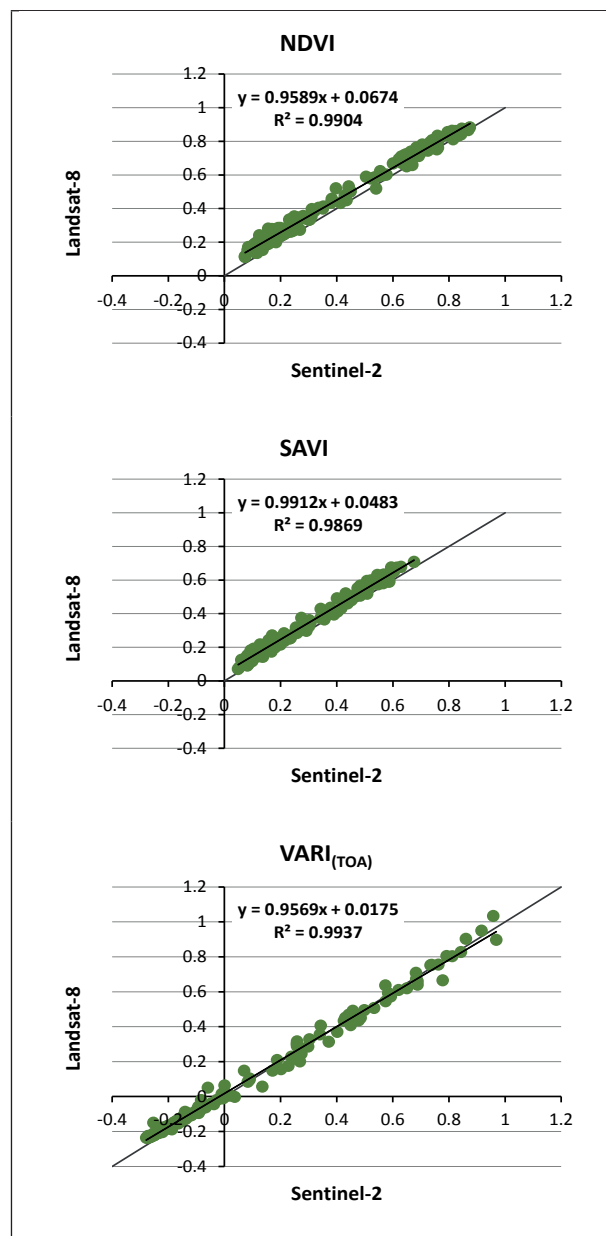


Figura 3. Relación entre índices de vegetación de Landsat-8 y Sentinel-2.

sin embargo en el caso de SAVI la línea de ajuste va más paralela a la línea 1:1.

En cuanto al VARI, se detectan en las imágenes Landsat algunos píxeles con valores anómalos de este índice. Los valores del índice que se obtienen en las parcelas de cultivos son diferentes a los que se encuentran en trabajos similares consultados en la bibliografía (Gitelson *et al.* 2002; Viña *et al.*, 2004; Jiménez-Muñoz *et al.* 2009). Estas discrepancias son acusadas sobre todo cuando el cultivo presenta un gran desarrollo vegetativo, llegando en ocasiones a superar el valor 1. Además las discrepancias son mayores con las imágenes Landsat que con las de Sentinel. El índice, así calculado, impide obtener un ajuste adecuado para la combinación de datos de los dos sensores. Dado que VARI se diseñó, entre otros, para eliminar las perturbaciones atmosféricas

(Gitelson *et al.*, 2002) se prueba a realizar los ajuste a partir de los datos de reflectividad en el techo de la atmósfera ($VARI_{TOA}$). Se consigue así un buen ajuste lineal, prácticamente coincidente con la línea 1:1 (Figura 3). En el caso de NDVI y SAVI los ajustes con reflectividad TOA son muy similares a los anteriormente obtenidos y presentados en la Figura 3.

Para los tres índices el ajuste lineal es bueno (coeficientes de determinación R^2 del 99%) comprobándose, como era esperable, que sí existe una relación estadísticamente significativa (nivel de confianza del 95%) entre índices de Landsat y Sentinel.

Sin embargo, el test T-Student para dos muestras relacionadas indica que sí hay diferencias significativas al nivel de confianza del 95% entre Landsat y Sentinel para los tres índices, por lo que debería aplicarse un ajuste antes de utilizarlos conjuntamente.

Llama la atención que para el $VARI_{TOA}$ el test de medias emparejadas señale que hay diferencias significativas entre los dos sensores y, sin embargo, la aplicación de la función de ajuste no suponga cambios en los valores del índice de Sentinel al ser prácticamente la recta igual a la 1:1. La naturaleza de los datos (valores, escasa dispersión, error típico...) llevan a este hecho.

4. CONCLUSIONES

La comparación de los índices de vegetación obtenidos de los satélites Landsat-8 y Sentinel-2 en el área de estudio muestra que los valores de NDVI y SAVI de Landsat-8 generalmente están por encima de los de Sentinel-2, no así los de $VARI_{TOA}$ que prácticamente se sitúan sobre la recta 1:1.

El test estadístico T de Student para dos muestras relacionadas indica que hay diferencias significativas para un nivel confianza 95% para los NDVI, los SAVI y los $VARI_{TOA}$ entre Landsat y Sentinel.

Por tanto, a la vista de los resultados, se aconseja el ajuste de los índices antes de generar una serie temporal de datos con NDVI, SAVI o $VARI_{TOA}$. La ampliación futura del estudio con un mayor número de parejas de imágenes dotará de ecuaciones de ajuste más robustas.

Serán necesarios nuevos estudios para valorar la necesidad o no de ajuste cuando se utilicen otros productos distintos a los presentados en este trabajo.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de actividades desarrolladas en el proyecto AGL2013-48728-C2-2-R.

6. BIBLIOGRAFÍA

Chávez, P.S. 1996. Image-based atmospheric corrections—revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 1025-1036.

Chuvieco, E. 2010. *Teledetección ambiental*, 3ª edición revisada, Barcelona, Editorial Ariel 2010.

Gitelson, A., Kaufman Y., Stark, R., Rundquist, D. 2002. Novel algorithms for remote sensing estimation of vegetation fraction. *Remote Sens. Environ.*, 80(1), 76-87.

Gómez, C., White J.C., Wulder M.A. 2016. Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 116, 55-72.

Jiménez-Muñoz, J.C., Sobrino, J.A., Plaza, A., Guanter, L., Moreno, J. Martínez, P. 2009. Comparison between fractional vegetation cover retrievals from vegetation indices and spectral mixture analysis: Case study of PROBA/CHRIS data over an agricultural area. *Sensors*, 9, 768-793.

Steven, M.D., Malthus, T.J., Baret, F., Xu, H, Chopping, M.J. 2003. Intercalibration of vegetation indices from different sensor systems. *Remote Sensing of Environment* 88, 412-422

Vina, A., Gitelson, A.A., Rundquist, D.C., Keydan, G., Leavitt, B., Schepers, J. 2004. Monitoring maize (*Zea mays* L.) phenology with remote sensing, *Agron. J.*, 96, 1139-1147.