XVI SIMPOSIO INTERNACIONAL SELPER 2014

La Geoinformación al Servicio de la Sociedad

Memorias

Sociedad Latinoamericana en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial Capítulo Colombia

30 AÑOS

Medellín, Colombia
29 de Septiembre al 3 de Octubre de 2014

ANÁLISIS DE SERIES MULTITEMPORALES DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN EN LA DETECCIÓN DE CAMBIOS DE COBERTURA: MÉTODO DE REGRESIÓN DE CUANTILES

Lina María Estupiñán-Suárez [a,b,c]

[a] Investigadora Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH)

[b] ITC Departamento de Ciencias de Observación de la Tierra, Universidad de Twente

[c] Departamento de Geografía, Universidad de Lund

Calle 72 No. 12-65 Piso 7

lestupinan@humboldt.org.co , lina.biologia@gmail.com

El establecimiento de especies arbustivas es una de las causas de cambios de cobertura, y corresponde a una de las etapas sucesionales en el establecimiento de los boques naturales. Sin embargo también se puede observar en tierras degradadas o abandonadas. La vegetación perenne se establece el dosel se densifica y los pastos son remplazados generándose así una nueva cobertura. Hasta ahora, la detección de este proceso se ha llevado a cabo usando imágenes satelitales de alta resolución. En este estudio se desarrolló una metodología para la detección de la expansión de especies arbustivas basada en el análisis de cuantiles del índice normalizado y diferenciado de vegetación NDVI de imágenes del sensor MODIS (2001-2012) producto MOD13Q1 (250m). El objetivo del estudio fue diferenciar entre arbustos (vegetación perenne y siempre verde) y vegetación anual, por tal razón se buscó un periodo de estudio que realzara las diferencias restringiéndose los datos a los valores

observados en verano (mínNDVI) en el área este estudio (Cadíz, España), donde se han observado procesos de abandono y degradación. Se observó un valor de detección de 0.82 en las áreas sujetas al establecimiento y expansión de especies arbustivas y un porcentaje correcto de clasificación (PCC) de 0.77.

Palabras clave: arbustos, cambios de cobertura, modis, multitemporales, NDVI, pastos.

ANALYSIS OF VEGETATION INDEX TIME SERIES TO DETECT LAND COVER CHANGE CAUSED BY BUSH ENCROACHMENT BASED ON QUANTILE LINEAR REGRESSIONS

Lina María Estupiñán-Suárez [a, b, c]

[a] Researcher at Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH)

[b] ITC Earth Observation Science Department, University of Twente

[c] Department of Geography, Lund University

Calle 72 No. 12-65 Piso 7

lestupinan@humboldt.org.co , lina.biologia@gmail.com

Encroachment is an ecological succession process where perennial plants such as bushes and trees replace annual vegetation. In general, bushes establishment increases and the canopy

tends to close. This process leads to gradual changes in land cover. Until now, bush encroachment detection using remote sensing has required high spatial resolution. This study developed a method which uses moderate spatial resolution time series of MODIS-NDVI 250m from 2001 to 2012 and performs quantiles analysis. It pursued to differentiate between bushes (evergreen perennial cover) and annual vegetation cover. For that purpose, the assessed dataset was constrained to the three NDVI composites that hold the lowest NDVI values (min.NDVI) for each year. The study area was the province of Cadiz (Spain) where land degradation and land abandonment has increased, two of the major causes of encroachment. The findings revealed that the potential use of minimum NDVI to detect bush encroachment. The method shows an accuracy of 0.77 (percentage of correct classified PCC) and its bush encroachment detection is 0.82 (Sensitivity). It is concluded that this is a robust approach for bush encroachment detection and has potential application in surveying large areas where species invasion is occurring and also to monitor restoration areas.

Key words: Bush encroachment, land cover change, modis, multitemporal, NDVI, grasslands

Introducción

Los cambios de cobertura son una de las razones principales de pérdida de biodiversidad, y pueden ocurrir de manera abrupta o gradual Verbesselt *et al.* (2010). Los principales cambios abruptos se deben a proyectos urbanos residenciales y de infraestructura, agricultura o a desastres naturales (Butchart *et al.* 2010, Pereira et al. 2010, Ellis 2011). Los cambios

graduales están asociados a cambios en la vegetación, y ocurren a escalas de tiempo que coinciden con la dinámica del ecosistema; generalmente presentan cambios en la composición florística (McGlynn & Okin 2006, Oldeland *et al.* 2010).

El monitoreo de vegetación está relacionado con el uso de sensores remotos e índices de vegetación, y tiene como objetivo la detección de áreas en procesos de deforestación, incendios, cultivos y cosechas de tierras agrícolas entre otros (Lunetta *et al.* 2006, De Bie *et al.* 2008). El índice de vegetación más usado es el índice normalizado y diferenciado de vegetación NDVI (Ecuación 1) oscila entre -1 y 1, valores positivos indican áreas fotosintéticamente activas mientras que valores negativos muestran, nubes, zonas con hielo, agua o suelos desnudos (Taiz & Zeiger 2010, Weier & Herrin 2011). Adicionalmente, el NDVI varía entre especies y tipos de vegetación por lo cual puede ser usado para el estudio y caracterización entre ecosistemas (Soudani *et al*. 2012, Hmimina *et al.* 2013).

Por otro lado, la detección de cambios graduales, como el establecimiento de especies perennes (siempre verdes) en zonas abiertas, está más relacionado a análisis locales e imágenes con alta resolución espacial. La evaluación de metodologías para la detección de cambios graduales implementando imágenes de baja resolución espacial pero alta resolución temporal implica el desarrollo de nuevas técnicas y ejercicios de minería de datos.

Un análisis novedoso en ecología fue el uso de regresión de cuantiles desarrollado por Koenker & Bassett (1978) para comparar la variable respuesta en su propio gradiente, es un análisis semiparamétrico que asume distribución no normal pero usa estadísticas paramétricas para determinar los parámetros del modelo. Posteriormente, Cade & Noon (2003) utilizan está técnica para evaluar el cambio de la variable mediante el cambio de

pendientes y Sankaran *et al.* (2005) lo aplica para explicar la relación de control entre el crecimiento del dosel y zonas con menos de 650mm de precipitación en las sabanas africanas.

El presente estudio se centra en (i) el uso de imágenes multitemporales del espectroradiometro de resolución espacial moderada (MODIS), el cual cuenta con un resolución espacial de 250m tamaño de pixel pero alta resolución temporal, y busca (ii) resaltar las diferencias de NDVI entre vegetación perenne y anual (3) restringiéndose temporalmente a la época de mayores diferencias la cual corresponde al verano.

La metodología y los resultados expuestos en este documento hacen parte del trabajo de Estupiñán-Suarez (2013), es uno de los componentes del documento original donde se encuentran explicados a mayor profundidad.

Metodología

Zona de estudio

El área de estudio incluye casi toda la provincia de Cádiz y una pequeña área del suroccidente de Málaga, las dos provincias pertenecen a la región de Andalucía. Cádiz tiene un área total de 744.00 ha, de las cuáles 188.138 ha son áreas forestales, 185.138 ha son zonas de cultivo y 141.876 pastos (Consejería de Agricultura y Pesca 2003). Presenta una alta variabilidad en el relieve, con montañas en el centro y nororiente de la provincia, y extensas planicies en el occidente (Candau *et al*. 2002). La mayor parte de vegetación perenne se encuentra en los parques naturales Los Acornocales, Sierra de las Nieves y Del Estrecho. Cádiz se caracteriza por altos niveles de biodiversidad debido a su topografía, posición geográfica, zona de

transito entre Europa y África, y es considerado como zona estratégica para la conservación (Perez-Tris & Santos 2004, Diputación de Cádiz 2012). Sin embargo, algunas zonas están bajo una alta presión, se encuentran zonas degradadas con pobre regeneración vegetal, desertificación y en menor medida abandono de algunas áreas (Moreno-Rueda & Pizarro 2007, Jordán López *et al.* 2008, Consejería de Medio Ambiente 2010). Las áreas mencionadas anteriormente son susceptibles al establecimiento de especies perennes.

El construyó una máscara a partir de Corine 2006 donde se seleccionaron las clases de interés, zonas naturales y pastizales, y se excluyeron áreas urbanas y de cultivos por ser susceptibles a altos procesos de transformación.

Adquisición de las imágenes y preprocesamiento

El producto MOD13Q1 de MODIS fue ordenado en la página de EOSDIS de la NASA http://reverb.echo.nasa.gov para un periodo de enero de 2001 a septiembre de 2012. Las imágenes están en proyección Sinusoidal, datum WGS84 y esferoide WGS84. El índice de vegetación NDVI se encuentra almacenado en la banda 1 y es una composición de 16 días, el tamaño del pixel es 250m. La banda 1 de todas las imágenes fue importada en ERDAS IMAGINE 2013, posteriormente se compilaron en un stack en orden cronológico y se recortaron al área de estudio. Los valores de NDVI se convirtieron a una escala de 0 a 255 como lo indica la ecuación 2, para ser corridos en el logaritmo de clasificación más adelante. El stack de imágenes fue corregido y procesado en TIMESAT 3.1 para evitar ruido y valores atípicos (Jönsson & Eklundh 2004, de Bie *et al*. 2011, Srivastava 2011).

Regresión Cuantílica:

Teniendo en cuenta que las diferencias entre vegetación perenne y anual son más marcadas en verano, el periodo de análisis seleccionado para el estudio de los cuantiles fue de julio a septiembre es decir 3 composiciones por año y para un total de 36 datos en 12 años por cada pixel.

El análisis de regresión de cuantiles se realizó en R 2.14.2 usando el paquete 'QuantReg' desarrollado por Koenker (2006). Se evaluaron los cuartiles 0.25, 0.33, 0.5, 0.66 y 0.75, lo cauntiles 0.25, 0.5 y 0.75 se seleccionaron por ser los más usados, también llamados cuartiles. Los cuantiles 0.33 y 0.66 corresponden al tercer y sexto año los cuales se consideraron relevantes en el análisis.

Se compararon dos grupos, pixeles con cambio y sin cambio y se evaluó si la pendiente presente en cada uno de estos pixeles era significativa usando el paquete 'QuantReg' en R. Posteriormente se comparó las diferencias entre cuantiles del mismo grupo usando el Test ANOVA (Koenker 2006). Los supuestos para correr el test de ANOVA también se evaluaron. Previamente se realizaron los test de varianza de errores Stunderized Breush-Pagan (1979), se calculó la correlación de los residuales con la estadística de Durbin-Watson (1971) y finalmente distribución residual de los errores con el Test de Shapiro Wilk (Royston 1995, Quinn & Keough 2005).

Datos de Calibración y Validación

El set de calibración se construyó a partir de la visualización de imágenes en Google™ earth, en total se obtuvieron 17 pixeles con incremento de vegetación arbustiva llamados pixeles

con Cambios y 17 pixeles que se mantuvieron constantes o pixeles con No Cambio. Los tiempos de captura de la imagen y los proveedores son Digital Globe (marzo o agosto 2003) y Geoeye imagery (agosto 2005 y julio 2011) (Figura 2).

Ortofotos e imágenes aéreas de la zona disponibles en la página web de la Junta de Andalucía http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/portada/ [recuperda en septiembre de 2011] fueron usadas para la construcción del set de datos para la validación. Las imágenes siempre son tomadas en verano y corresponden a los años 2001, 2006 y 2010. El set de datos consta de 17 pixeles con Cambio y 35 pixeles con No Cambio.

Resultados

Se obtuvieron los perfiles de NDVI corregidos en TIMESAT 3.1, en la figura 3 se observa perfiles de pastizales, cultivos y bosques para los cinco primeros años (2001-2006). Después de obtener los datos corregidos, se seleccionaron los valores de NDVI correspondiente a verano y se evaluó si las pendientes eran significativas para pixeles con Cambio y no Cambio. (Figura 4)

Al hacer el análisis de supuestos para el ANOVA se encontró que los errores tenían homogenización en la varianza ($F=0.55$, $d.f.=36,13$), que los residuales no estaban correlacionados (estadístico de Durbin-Watson = 1.98) y que los residuales tenían distribución normal (Shapiro-Wilk = 0.98) como se observa en la tabla 1.

La distribución y el grado de significancia de la pendiente para los grupos con Cambio y No Cambio se presenta en la Figura 5. Se observa que los cuantiles inferiores, 0.25, 0.33 y 0.5, son los más informativos al mostrar diferencias en la distribución de los resultados entre los dos grupos. Pixeles con cambio se agrupan entre valores de 0 y 0.05 (p=0.2479) mientras

que pixeles con No Cambio no presentan ningún patrón de agrupamiento (p=0.00041, n=17) según lo demuestra el test de ANOVA.

Después de realizar el análisis de diferencias dentro de los grupos, se realizó el Test de Kruskal Wallis en el cual se determinó que los cuantiles 0.25, 0.33 y 0.5 presentan diferencias significativas, y por lo tanto son los más informativos (Tabla 2).

Finalmente se calculó el valor de número de pixeles correctamente clasificados (PCC), y la Sensibilidad (Se.) y la Especificada (Es.) del método usando los datos de Validación. Se considera que valores mayores a 0.75 reflejan una buena detección del método (Tabla 3).

Discusión de Resultados

El uso de imágenes satelitales para la detección de cambios de coberturas ha sido estudiado ampliamente (Coppin *et al. 2014*). Los resultados arrojados en este estudio coincide con lo encontrado por Stellmes *et al.* (2010) quién reportó que la baja resolución espacial es compensada por alta resolución temporal. La detección de cambios abruptos como deforestación, inundaciones, e instalación de paneles solares ha sido objeto de estudio por diferentes autores (de Bie *et al.* 2008, Srivastava 2011). Otras aplicaciones, son las demostradas por Khan *et al.* (2010) quiénes usando información multitemporal de NDVI generaron insumos para enriquecer el mapa de uso de la tierra con información actualizada de coberturas. En Andalucía, zona que incluye el área de estudio, se han realizado investigaciones para la detección de cambios de cobertura usando imágenes SPOT y una metodología desarrollada en ITC llamada CoverCAM (Ali 2014).

La implementación del análisis de regresión de cuantiles es conveniente para evaluar el incremento de especies perennes en zonas abiertas y pastizales, a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS, no obstante se ve limitado a zonas que presentan periodos muy secos en el año ya que el análisis se centra en las diferencias de actividad fotosintética entre la vegetación perenne, siempre verde, y la vegetación anual, la cual pierde todos los pigmentos y generalmente queda como hierba seca o heno. Lo anterior está de acuerdo con lo encontrado por Cade & Noon (2003), quienes reconocen el potencial de la regresión de cuantiles en el estudio de procesos ecológicos donde el número de variables es limitado.

Esta investigación encontró que los cuantiles 0.33 y 0.5 permiten detectar el incremento de vegetación perenne en zonas abiertas o de pastizales, los dos presentan un PCC de 0.77, aunque la sensibilidad del método es mayor para el cuartil 0.5 (Se=0.82) y la especificidad es mayor para el cuantil 0.33 (0.8) por lo cual se recomienda verlos en conjunto. Las estadísticas descritas anteriormente demuestran la potencialidad del método.

Cabe resaltar que al ser esta una metodología novedosa requiere de estudios complementarios que profundicen en los criterios para la selección del periodo de tiempo que va a ser evaluado; en este caso particular correspondió a los meses de julio, agosto y septiembre elegidos por ser los meses más secos en el año. Sin embargo, criterios adicionales podrían enriquecer la selección de la época de estudio y aumentar el número de datos disponibles para el análisis. Asimismo se recomienda implementar esta metodología en otras áreas de estudio con el fin de evaluar si es extrapolable a otras regiones o ecosistemas.

La importancia de los resultados encontrados radica en que pueden ser aplicados a escalas regionales a partir de imágenes de libre acceso, en comparación con otros metodologías en las cuales se usa imágenes de alta resolución temporal (McGlynn & Okin 2006, Oldeland *et al.* 2010). Además, es un tema que toma cada vez más relevancia por estar relacionado con la pérdida de hábitat y a su vez con la pérdida de biodiversidad (Plenninger 2006). Para Cadiz el equilibrio entre pastizales y vegetación perenne garantiza la permanencia de dehesas las cuales mantienen la mayor diversidad biológica de la zona (Plieninger & Wilbrand 2001, Díaz *et al.* 2003, Consejería de Medio Ambiente 2010).

Conclusiones

La evaluación de cambios graduales de cobertura usando imágenes satelitales exige la búsqueda de periodos de tiempo donde las diferencias son máximas. Es así como la restricción del periodo de tiempo de análisis a una época determinada, como el verano, incrementó las diferencias entre vegetación perenne y anual y permitió encontrar diferencias significativas entre los grupos con Cambios y No Cambios a partir del análisis multitemporal del NDVI y de imágenes con alta resolución temporal y baja espacial como MODIS.

El método de regresión cuantílica demostró ser conveniente para el análisis de cambios graduales de cobertura en Cádiz. Los cuantiles 0.33 y 0.5 son los que permiten la discriminación acertada entre zonas con Cambio y No Cambio. Gracias a la significancia de los resultados el método debe ser analizado en otras áreas de estudio para tener certeza en su implementación, extrapolación e incluso automatización cuando se evalúen áreas a escalas regionales.

Agradecimientos

A Erasmus Mundus, la Comunidad Europea y su programa de Ciencias de la Geoinformación y Observación de la Tierra para el Modelamiento y el Manejo Ambiental GEM, bajo el cual se realizó este estudio. Igualmente, al departamento de Geografía de la Universidad de Lund y a ITC, departamento de la Universidad de Twente.

Bibliografía

Ali, A. (2014). Hyper-Temporal Remote Sensing of Land Cover Mapping and Monitoring. Tesis para obtener el título de doctor. Facultad de Ciencias de la Geoinformacion y Observación de la Tierra ITC, Universidad de Twente. Enschede, Países Bajos. p 128.

Butchart, S.H.M, Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J., Almond, R., Baillie, R. *et al.* (2010) Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science,* 328(5982), 1164-1168.

Cade, B. S., & Noon, B. R. (2003). A gentle introduction to quantile regression for ecologists. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1, 412-420.

Candau, P., Carrasco, M., A. M. Pérez Tello, G. M. F.J., & J. Morales. (2002). Aerobiología en Andalucía: estación de Cádíz (2000-2001). *Rea,* 7, 43-48.

Consejería de Agricultura y Pesca. (2003). Anuario de Estadísticas Agrarias y Pesqueras de Anadalucía. Junata de Anadalucía. Viceconsejería Servicio de Publicación y Divulgación. Sevilla.

Consejería de Medio Ambiente. (2010). Medio Ambiente en Anadalucía. Informe 2010. Junta de Anadalucía.

Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys B., & Lambin E., (2004). Review Article. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing,* 25(9), 1565–1596.

de Bie, C. A. J. M., Khan, M. R, Smakhtin, V. U., Venus, V., Weir, M. J. C., & Smaling, E. M. A. (2011). Analysis of multi-temporal SPOT NDVI images for small-scale land-use mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 32, 6673-6693.

de Bie, C. A. J. M., Khan, M. R., Toxopeus, A. G., Venus, V., & Skidmore, A. K. (2008). Hypertemporal image analysis for crop mapping and change detection. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing 2008.

Diputación de Cádiz. (2012). Diputación de Cádiz, La Provincia [versión electrónica] http://www.dipucadiz.es/opencms/opencms/dipucadiz/provincia/ Recuperado el 23 de agosto de 2012.

Durbin, J. & Watson, G. S. (1971). Testing for serial correlation in least squares regression.III. *Biometrika*, 58, 1-19.

Ellis, E. (2011). Anthropogenic transformation of the terrestrial biosphere. *Philosophical Translation of the Royal Society. A.*, 369, 1010–1035

Estupiñán-Suarez, L.M. (2014). Analysis of NDVI time series to detect bush encroachment: A case st|udy in Cadiz (Spain) assessing three different methods on the basis of minimum NDVI. Tesis para obtener el título de Master en Ciencias. Facultad de Ciencias de la Geoinformacion y Observación de la Tierra ITC, Universidad de Twente. Enschede, Países Bajos. p 128.

Hmimina, G., Dufrêne, E. , Pontailler, J. Y., Delpierre, N., Aubinet, M., Caquet, B. de Grandcourt, A., Burban, B., Flechard, C., Granier, A., Gross, P., Heinesch, B., Longdoz, B., Moureaux, C., Ourcival, J. M., Rambal, S., Saint André, L., & Soudani, K. (2013). Evaluation of the potential of MODIS satellite data to predict vegetation phenology in different biomes: An investigation using ground-based NDVI measurements. *Remote Sensing of Environment*, 132, 145-158.

Jönsson, P. & L. Eklundh. (2004). TIMESAT—a program for analyzing time-series of satellite sensor data. *Computers & Geosciences*, 30, 833–845.

Jordán López, A., Martínez-Zavala, L., González Peñalosa, F. A., & Bellifante Crocci, N. (2008). Cambios de uso del suelo en la costa de la provincia de Cádiz durante la segunta mitad del siglo XX (1956-2003).. Centro de Estudios Andaluces. Consejería de Presidencia. Junta de Anadalucía. 18p.

Koenker, R. (2006). Quantile regression in R: A vignette. The Comprehensive R Archive Network. CRAN R project [versión electrónica] http://cran.r-project.org/web/packages/quantreg/vignettes/rq.pdf.

Koenker, R., & Bassett, G. (1978). Regression quantiles. Econometrica: *journal of the Econometric Society*, 33-50.

Lunetta, R. S., Knight, J. F., Ediriwickrema, J., Lyon, J. G., & Worthy, L. D. (2006). Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote Sensing of Environment*, 105, 142-154.

McGlynn, I. O., & Okin, G. S. (2006). Characterization of shrub distribution using high spatial resolution remote sensing: Ecosystem implications for a former Chihuahuan Desert grassland. *Remote Sensing of Environment*, 101, 554-566.

Moreno-Rueda, G., & Pizarro, M. (2007). Snake species richness and shrulands correlate with the short-toed eagle (Circaetus gallicus) in south-eastern Spain. *Annales Zoologici Fennici*, 44, 314-320.

Oldeland, J., Dorigo, W., Wesuls, D., & Jürgens, N. (2010). Mapping Bush Encroaching Species by Seasonal Differences in Hyperspectral Imagery. *Remote Sensing*, 2, 1416-1438.

Pereira, H. M., Leadley, P. W., Proença, V., Alkemade, R., Scharlemann, J. P., Fernandez-Manjarrés, J. F., Araujo, M., Balvaner, P., Boggs, R., Cheung, W., Chini, L., Cooper, H., *et al*. (2010). Scenarios for global biodiversity in the 21st century. *Science*, 330(6010), 1496-1501.

Perez-Tris, J., & Santos, T. (2004). El estudio de la migración de aves en España: trayectoría histórica y perspectivas de futuro. *Ardeola* 51,71-89.

Plieninger, T. (2006). Habitat loss, Fragmentation, and Alteration – Quantifying the Impactof Land-use Changes on a Spanish Dehesa Landscape by Use of Aerial Photography and GIS. *Landscape Ecology*, 21, 91-105.

Plieninger, T., & Wilbrand, C. (2001). Land use, biodiversity conservation, and rural development in the dehesas of Cuatro Lugares, Spain. *Agroforestry Systems*, 51, 23-34.

Quinn, G. P., & Keough, M. (2005). Experimental Design and Data Analysis for Biologist. First edition. Fourth Printing. edition. Cambridge University Press, U. K. Cambridge.

Royston, P. (1995). Remark AS R94: A Remark on Algorithm AS 181: The W-test for Normality. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 44, 547-551.

Sankaran, M., Hanan, N.P., Scholes, R.J., Ratnam, J., Augustine, D. J., Cade, B.S., Gignoux. J., Higgins, S.I., Le Roux, X., Ludwig, F., Ardo, J., Banyikwa, F., Bronn, A., Bucin, G., Caylor, K., Coughenour, M.B., Diou, A., Ekaya, W., Feral, C.J., February, E.C., Frost, P.G.H., Hiernaux, P., Hrabar, H., Metzger, K.L., Prins, H.H.T, Ringrose, S., Sea, W., Tews, J., Worden, J., & Zambatis, N. (2005). Determinants of woody cover in African savannas. *Nature*, 438, 846-849.

Soudani, K., Hmimina, G., Delpierre, N., Pontailler, J. Y., Aubinet, M., Bonal, D., Caquet, B., de Grandcourt, A., Burban, B., Flechard, C., Guyon, D., Granier, A., Gross, P., Heinesh, B., Longdoz, B., Loustau, D., Moureaux, C., Ourcival, J. M., Rambal, S., Saint André, L., & Dufrêne, E. (2012). Ground-based Network of NDVI measurements for tracking temporal dynamics of canopy structure and vegetation phenology in different biomes. *Remote Sensing of Environment*, 123, 234-245.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). Photosynthesis: The Light Reactions. Page 782 Plant Physiology. Sinauer Associates, Inc.

Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G., & Culvenor, D. (2010). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 114, 106-115.

Weier, J., & Herrin, D. (2011). Measuring vegetation (NDVI & EVI). NASA Earth Observatory [versión en línea]

http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_1.php.

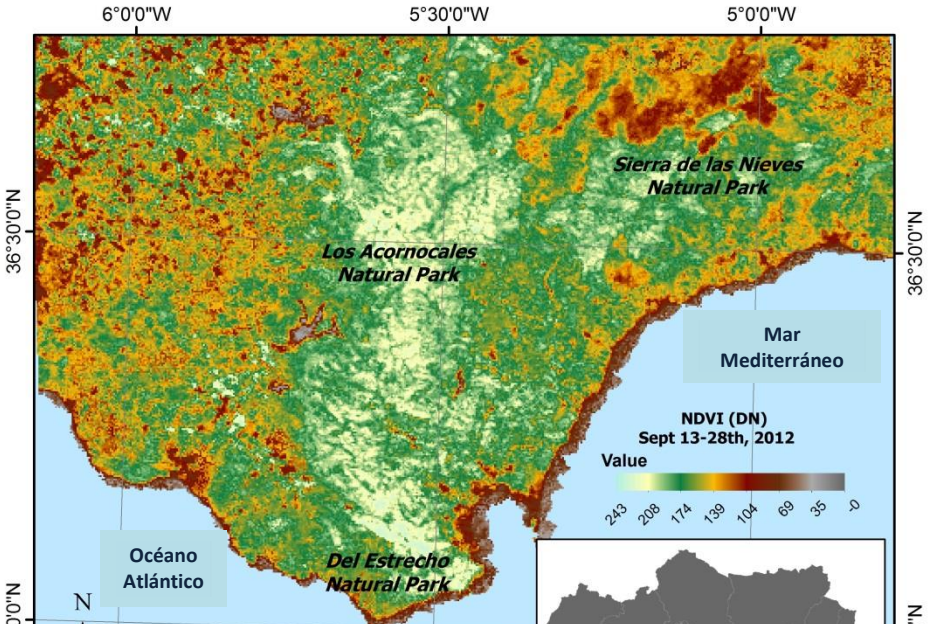

Figura 1. Zona de estudio: Cádiz–España (Tomado de Estupiñán-Suárez 2013)

Figura 2. Imágenes consecutivas usadas con incremento de cobertura perene (ejemplo set de calibración)

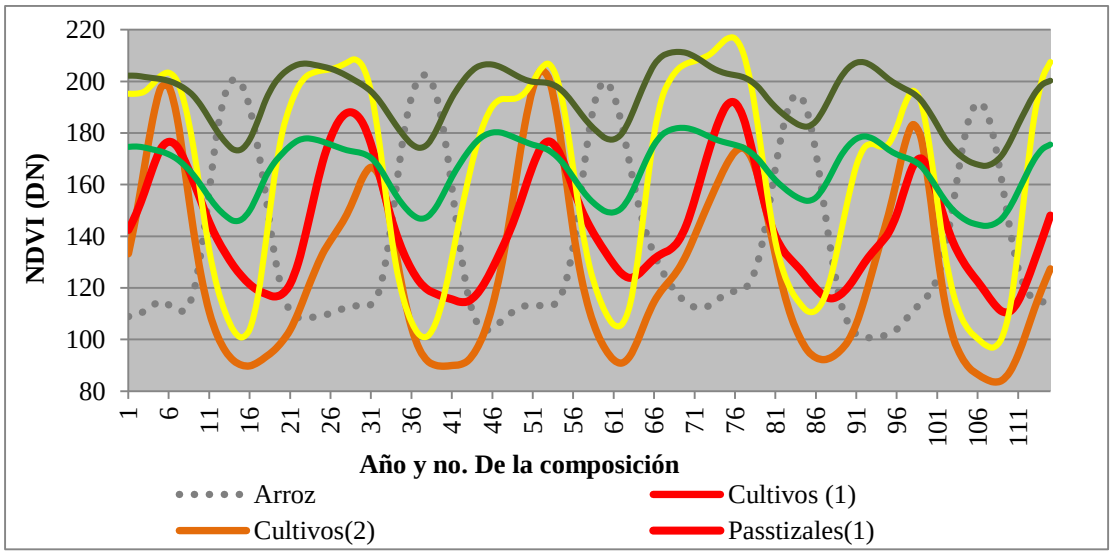

Figura 3. Perfiles de NDVI de diferentes clases detectadas en Cádiz.

a. b.

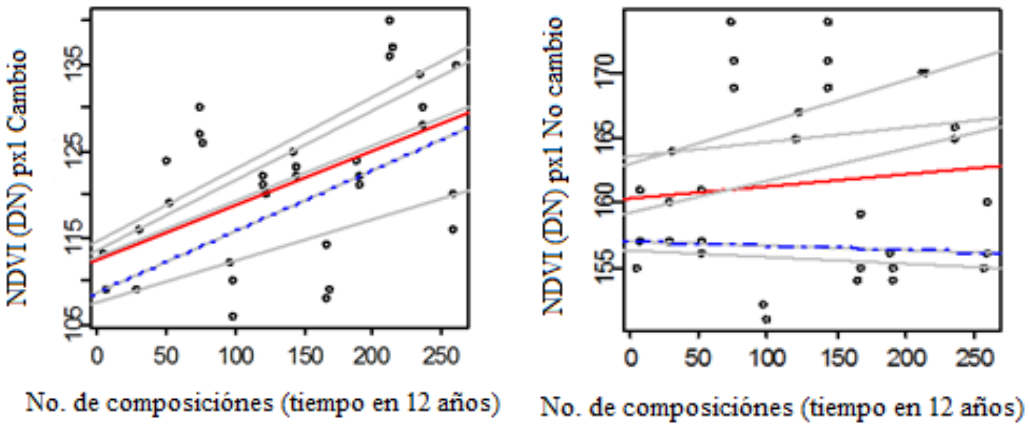

Figura 4. Análisis de relación de cuantiles.

En el eje X está el tiempo de 0 a 271, donde 1 es la primera imagen analizada Enero 2001 y 271 la última imagen correspondiente a septiembre de 2012. En el eje Y los valores de NDVI reescalados a DN. La línea roja es la regresión linear estándar. La línea punteada azul es la regresión con el cuantil 0.33. Las líneas grises representan el análisis con otros cuantiles. a. Pixeles con Cambio b. Pixeles con No Cambio

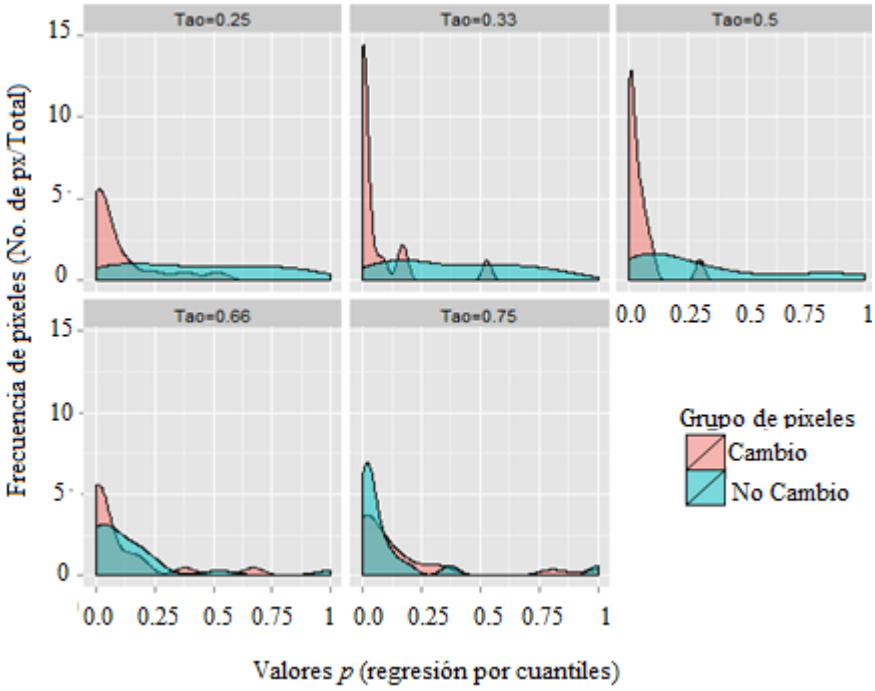

Figura 5. Distribución de frecuencias de valores *p* para los cuántiles (Tao) evaluados. Los valores *p* corresponden a la significancia de la pendiente para el grupo de pixeles con Cambio y No Cambio.

Ecuación (1)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Donde NDVI es el Índice Normalizado y Diferenciado de Vegetación

NIR la Reflecatancia en el infrarojo cercano y RED la reflentancia en rojo

Ecuación (2)

$$DN = 0.02125MVC - NDVI + 42.5$$

Donde DN son números digitales, NDVI es el Índice Normalizado y Diferenciado de Vegetación y MVC el máximo valor de la composición. Los coeficientes 0.02125 y 42.5 han sido calculados con información proveniente de MODIS

Tabla1. Análisis estadístico de supuestos de normalidad para el test de calibración. d.f: Grados de libertad

Test de Stunderized Breush-Pagan			
d.f.	Estadístico	Valor *p*	Conclusión
1	0.55	0.92	No hay diferencia significativa en la varianza de los errores
Estadístico de Durbin-Watson			
Criterio		Estadístico	Conclusión
No hay correlación si el valor oscila entre 1.5 y 2.5		1.74	Los residuales no están correlacionados
Test de Shapiro-Wilk			
d.f.	Estadístico	Valor *p*	Conclusión
51	0.98	0.72	Se asume distribución normal de los residuales

Tabla 2. Comparación entre el grupo con Cambio y No Cambio para todos los cuantiles. Test de Kruskal-Wallis.

Cuantil	Valor *p*	Conclusión
0.25	0.00018	Existe diferencia significativa entre el grupo de Cambio y No Cambio
0.33	0.00007	Existe diferencia significativa entre el grupo de Cambio y No Cambio
0.5	0.00061	Existe diferencia significativa entre el grupo de Cambio y No Cambio
0.66	0.24850	No existe diferencia significativa entre el grupo de Cambio y No Cambio
0.75	0.86320	No existe diferencia significativa entre el grupo de Cambio y No Cambio

Tabla 3. Medida de precisión de la detección de incremento de vegetación perenne en los cuantiles informativos. PCC: porcentaje correcto de clasificación. Se: Sensibilidad. Es:Especificidad

	Cuantiles		
Criterio	0.25	0.33	0.5
PCC	0.63	0.77	0.77
Se	0.41	0.71	0.82
Es	0.74	0.80	0.74