

Análisis multitemporal del Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación (NDVI) en Cuba

Multitemporal analysis of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in Cuba

Marlon E. Cobos Cobos^{1,*}, Daryl D. Cruz Flores² y Majela Hernández Rodríguez³

Recibido: septiembre 2015 Aceptado: diciembre 2015

Numerosas investigaciones se han desarrollado para describir y evaluar las características de la vegetación. En la actualidad existe la tendencia a caracterizar la estructura, diversidad y composición de los bosques a través del comportamiento espectral de la vegetación (e.g. Agrawal & al. 2003, Feeley & al. 2005, Adam & al. 2009, Mansour & al. 2012, Gitelson & al. 2015). Los índices de vegetación permiten conocer este comportamiento en base a la relación de los valores de reflectividad entre las bandas rojo e infrarrojo (rojo-620 a 750 nm; infrarrojo-750 nm en adelante) (Gilabert & al. 1997). Además, estos índices brindan información relacionada con la vegetación y minimizan la influencia de las perturbaciones debidas al suelo y a las condiciones atmosféricas (Tun-Dzul & al. 2008).

Uno de los índices más usados para estudiar las características de la vegetación es el Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación (NDVI, por sus siglas en inglés) (Vercher & al. 2004), descrito por Rouse & al. (1974). El NDVI está correlacionado con la biomasa de las plantas y es una de las estimaciones disponibles más directas de productividad del ecosistema (Box & al. 1989, Reed & al. 1994, Cramer & al. 1999). Esta relación está dada porque aunque la clorofila refleja el color verde (500-600 nm) (Azcón-Bieto & Talón 2000), esta tiene típicamente dos picos de absorción en el espectro visible, uno en la región espectral de la luz azul (400-500 nm) y otro en la roja (600-700 nm). No obstante, las células vegetales han evolucionado para dispersar la radiación solar en la región espectral del infrarrojo cercano (Gilabert & al. 1997). La reflexión en la región roja es baja debido a la absorción de la clorofila. La región infrarroja, en cambio, muestra una reflexión alta debido a la difusión por parte de las estructuras de las células de las hojas. Por lo tanto, la vegetación aparece relativamente oscura en la región de radiación fotosintética activa y relativamente brillante en el infrarrojo cercano (Eastman 2012).

El NDVI ha sido empleado, por ejemplo, en el análisis de relación de la riqueza de especies de aves y mariposas con la productividad de la vegetación (Seto & al. 2003), y en la correlación de la temperatura atmosférica con los cambios de verdor de la vegetación (Gensuo & Epstein 2003). Su utilidad en las evaluaciones y el monitoreo de cobertura global de la vegetación ha sido satisfactoriamente explotada en las últimas dos décadas (Huete & Liu 1994, Leprieur & al. 2000, Hansen & al. 2013, van Lierop & al. 2015). Además, ha sido empleado como un estimador de la heterogeneidad de la vegetación (Rocchini & al. 2004) que, junto a la productividad primaria, es útil en la predicción de los patrones de riqueza de especies de plantas (Mittelbach & al. 2001, Benayas & Scheiner 2002). Aunque muchos de estos estudios se han realizado a gran escala, debido a la disponibilidad de imágenes satelitales de cada vez mayor resolución, los análisis regionales e incluso locales son una realidad en el presente.

En Cuba, hasta el siglo XVI, el bosque semicaducifolio cubría la mayor parte del archipiélago. La reducción de este y otros tipos de cobertura vegetal ocurrió principalmente por actividades antrópicas dentro de las que destacan la agricultura y ganadería extensiva (Herrera 2007). Como resultado, la superficie de vegetación natural se redujo a un 14 % del territorio nacional. Sin embargo, en las últimas décadas se ha observado un aumento de la cobertura vegetal debido a las acciones de reforestación que se han emprendido (Rosete & al. 2011). No obstante, existe poca información sobre la dinámica de los cambios que sufre la cobertura vegetal en el país. Una de las formas más efectivas de evaluar los cambios históricos en las propiedades de la cobertura vegetal a gran escala es mediante el uso del NDVI. Por ello, el presente estudio tuvo como objetivo la evaluación de la variabilidad del Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación en Cuba, durante el periodo 2003-2013.

Este trabajo se realizó en todo el territorio de Cuba (Figura 1) y se utilizaron 30 capas del NDVI del sensor MODIS. Estas capas son el promedio de 16 días consecutivos de este índice, las cuales poseen una

¹Departamento de Biología Animal y Humana, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, Cuba. ²Subdirección de Zoología, Instituto de Ecología y Sistemática, Cuba. ³Departamento de Biología Vegetal, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, Cuba. *Autor para correspondencia (e-mail: manubio13@gmail.com).

resolución espacial de 500 m. Estos escenarios correspondieron a los meses de febrero (temporada seca) y agosto (temporada lluviosa) de todos los años desde 2003 hasta 2012, y a todos los meses del año 2013. Se crearon 1000 puntos aleatorios con base en un mapa de la superficie terrestre del archipiélago cubano. Se extrajeron los valores del índice de todos los escenarios para todas las unidades de muestreo. Los valores del NDVI de las unidades de muestreo que correspondieron a cuerpos de agua fueron eliminados, debido a que no aportan información sobre la vegetación. Todo este procesamiento se realizó con el programa ArcGis 9.3.

Para identificar las diferencias anuales del NDVI en el periodo 2003-2013 se compararon los valores medios del NDVI en los meses de febrero y agosto. Además, se realizó una comparación de las medias de este índice entre todos los meses del año 2013, con la finalidad de explorar su variación anual.

De manera general los valores de NDVI se mantuvieron estables durante los 11 años evaluados para el mes de agosto, a diferencia de febrero donde existió mayor variabilidad (Figura 2A). Se observó que en todas las comparaciones los valores de NDVI en febrero (temporada seca) fueron menores que los de agosto (temporada lluviosa). El valor medio del índice para todos los meses de febrero fue 0,18 ($\pm 0,01$ DE), con un mínimo de 0,001 y un máximo de 0,29; mientras que para agosto, el promedio fue de 0,22 ($\pm 0,003$ DE) y fluctuó entre 0,002 y 0,29. En 2005 se observó la mayor diferencia del índice entre los dos meses evaluados y en el mes de febrero de ese año

se presentó el valor promedio mínimo de NDVI. Por otro lado, al analizar los meses del año 2013 (Figura 2B), marzo mostró los valores mínimos de NDVI. El valor del índice en enero fue aproximadamente 0,20, disminuyó al mínimo en marzo y luego tendió a aumentar hasta llegar al máximo en octubre. A partir de este mes los valores volvieron a disminuir.

Según Tun-Dzul & al. (2008) los valores del NDVI son menores en la temporada seca debido al comportamiento caducifolio de las especies. Esto podría explicar los resultados obtenidos en el presente estudio, puesto que, aunque en la actualidad la mayor parte del territorio cubano está cubierta por vegetación secundaria, algunas de las especies características de estas formaciones son un remanente del bosque semicaducifolio. Además, el mes de febrero comúnmente presenta menor cantidad de lluvias que agosto. Según Díaz (1988), en la estación lluviosa, de mayo a octubre, se registran el 80% de las precipitaciones totales anuales (1375 mm), mientras que en la época de seca se registra el otro 20% (344 mm). Algunos autores han encontrado, a lo largo de las temporadas, relación directa entre la cobertura del dosel observada en campo y la fenología foliar de las especies (ésta, a su vez, asociada con la variación del NDVI) (Hoare & Frost 2004, Feeley & al. 2005). Por lo que los resultados obtenidos aquí son coherentes con los esperados acorde a la información existente en otras regiones del mundo.

Un resultado curioso es que aunque los valores medios comparados muestren diferencias considerables, los valores mínimos y máximos presentaron alta similitud

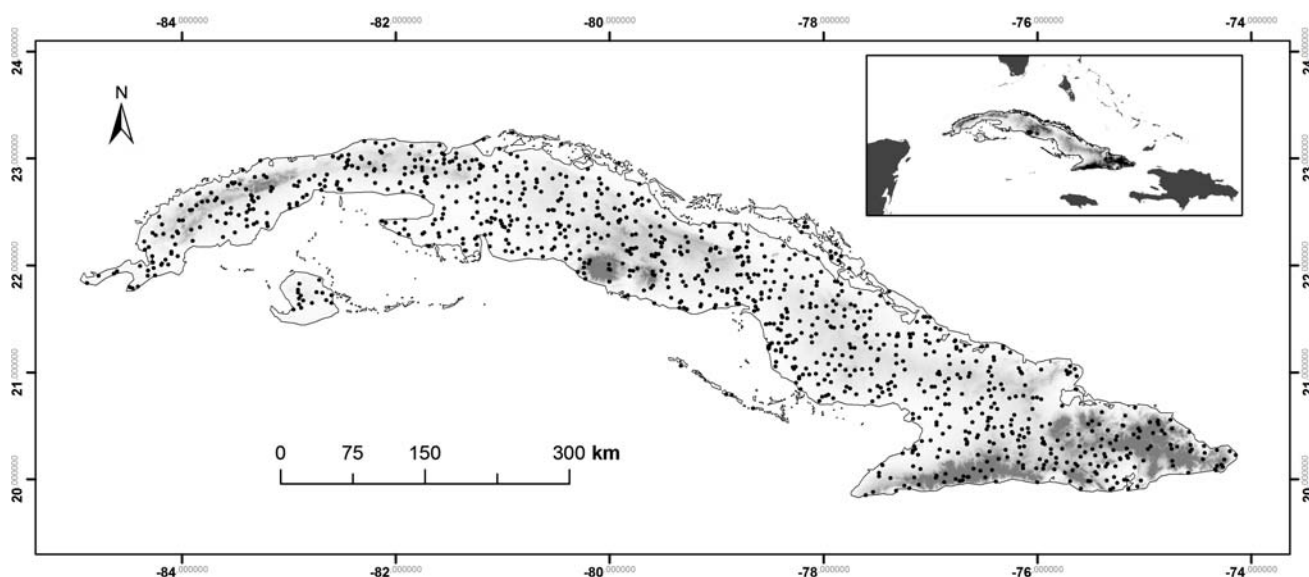


Fig. 1. Ubicación de las unidades de muestreo aleatorias (puntos negros) utilizadas para extraer los valores del Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación (NDVI). Las áreas sombreadas representan las mayores elevaciones.

Fig. 1. Location of the random sample units (black dots) used to extract the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) values. Shaded areas represent the main elevations.

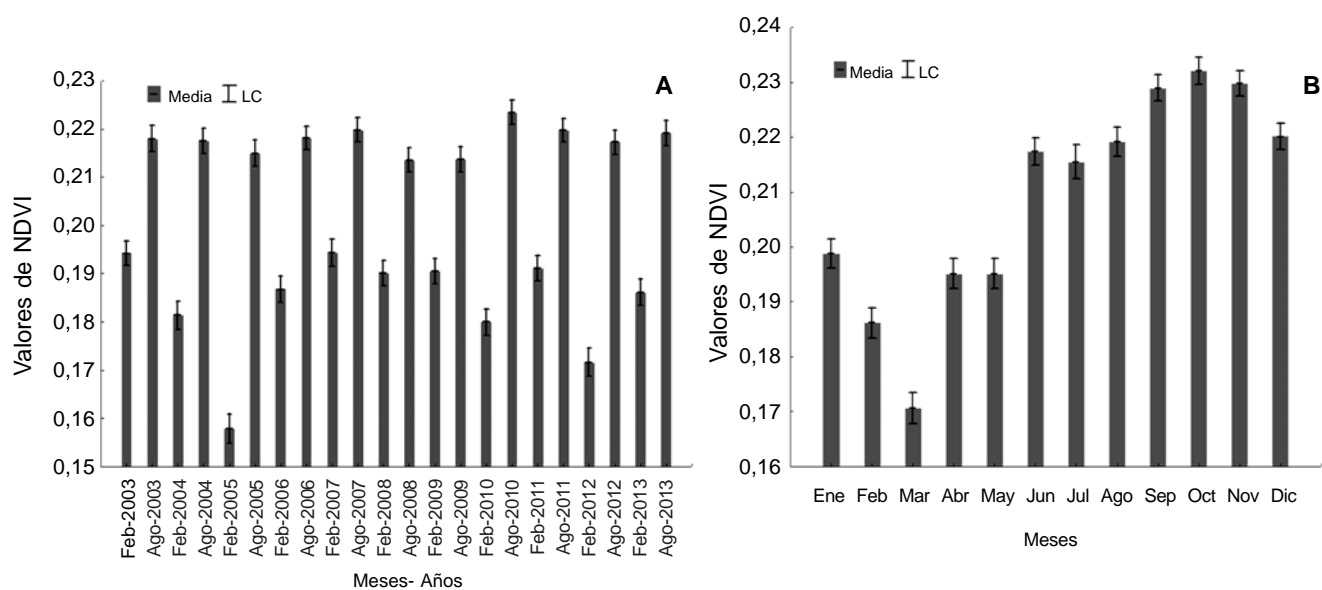


Fig. 2. Variación multitemporal del Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación (NDVI) en Cuba. A. Variación durante 11 años en un mes de estación seca (febrero) y uno de estación lluviosa (agosto). B. variación anual durante el año 2013. LC = Límites de confianza al 95%.

Fig. 2. Multitemporal variation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in Cuba. A. Variation during 11 years, in a month of dry station (February) and one of rainy station (August). B. Annual variation during the year 2013. LC = Confidence Limits to 95%.

(febrero 0,001 – 0,29; agosto 0,002 – 0,29). Esto podría deberse a dos motivos. Primero, en Cuba existen regiones que, por sus características climáticas (relacionadas principalmente con la altitud y las corrientes atmosféricas que los afectan), presentan estabilidad en sus características durante todo el año (e.g., bosque nublado, bosque siempreverde). Por lo tanto, debido a la estabilidad de la vegetación, algunos sectores no presentarían variación de su NDVI (alto) en función de la estación (i.e., seca y lluviosa). Por otro lado, en este estudio se consideraron áreas que no están necesariamente cubiertas por vegetación, lo cual explicaría los estables bajos valores del índice en los dos periodos estacionales considerados. Esto concuerda con lo mencionado por Tun-Dzul & al. (2008), que manifiestan que el valor del NDVI puede variar en función del uso de suelo, estación fenológica, situación hídrica del territorio y ambiente climático de la zona.

Los cambios del NDVI a pequeña escala temporal se han relacionado con los cambios en las precipitaciones, mientras que a mayor escala la temperatura parece ser el factor de mayor influencia (Meng & al. 2011). Por esta razón, se podrían asociar las fluctuaciones del NDVI durante el año 2013, a las variaciones mensuales de las precipitaciones. Asimismo, la variabilidad del índice en el mes de febrero durante los 11 años analizados puede relacionarse con características inusuales del clima, como la generación de frentes fríos que ocasionalmente vienen acompañados de periodos de lluvias. Por el contrario, la estabilidad de los valores de NDVI en agosto pudiera indicar poca fluctuación en las condiciones climáticas.

El NDVI está relacionado directamente a propiedades importantes de la vegetación, como su capacidad fotosintética. Variaciones en este índice podrían ser tomadas como indicadores de procesos degenerativos de hábitat y por tanto de la estabilidad de los ecosistemas. De igual forma, los estudios de cambios multitemporales de la vegetación permiten encontrar zonas donde se deben focalizar los esfuerzos de conservación, principalmente en aquellos ecosistemas con elevadas proporciones de endemismos (Monteagudo & al. 2014). Esto, unido a un análisis riguroso de la distribución de las áreas protegidas en el país, permitirá trazar estrategias de conservación más convenientes a nivel paisajístico y medidas como la reestructuración de los límites de las áreas, la propuesta de creación de nuevas áreas y la dirección de los esfuerzos de reforestación, podrán ser mejor fundamentadas. Además, este tipo de información podría tomar importancia al momento de monitorear la evolución y respuesta de los bosques ante amenazas globales como el cambio climático, y aportaría de esta manera a otros esfuerzos ya realizados en Cuba (para más información de este tema ver Álvarez & Mercadet 2011). Por lo tanto, el conocimiento de la tendencia histórica de este y otros índices relacionados a la cobertura vegetal, puede ser un factor importante a tomarse en cuenta al momento de proponer medidas de conservación a gran o mediana escala en este país.

AGRADECIMIENTOS

A D. Denis por facilitarnos las capas de NDVI del satélite MODIS, con las cuales se realizó el presente análisis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adam, E., Mutanga, O. & Rugege, D. 2009. Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review. *Wetl. Ecol Manag.* doi 10.1007/s11273-009-9169-z
- Agrawal, S., Joshi, P., Shukla, Y. & Roy, P. 2003. Spot-Vegetation multi temporal data for classifying vegetation in South Central Asia. *Curr. Sci. India* 84(11): 1440-1448.
- Álvarez, A. & Mercadet, A. 2011. El sector forestal cubano en el cambio climático. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba.
- Azcón-Bieto, J. & Talón, M. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. McWrrall-Hill Interamericana.
- Benayas, J. M. R. & Scheiner, S. M. 2002. Plant diversity, biogeography y environment in Iberia: patterns y possible causal factors. *J. Veg. Sci.* 13: 245-258.
- Box, E. O., Holben, B. N. & Kalb, V. 1989. Accuracy of the AVHRR vegetation index as a predictor of biomass, primary productivity and net CO₂ flux. *Vegetation* 80: 71-89.
- Cramer, W., Kicklighter, D. W., Bondeau, A., Moore, B., Churkina, C., Nemry, B., Ruimy, A. & Schloss, A. L. 1999. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): overview y key results. *Global Change Biol.* 5: 1-15.
- Díaz, L. R. 1988. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. En: Gutiérrez, G. O., Sánchez, E. A., Hernández, J. R., Propin, E., Díaz, L. R., Rojo, E. L. & al. (ed.). Instituto Cubano de la Academia de ciencias de Cuba.
- Eastman, J. R. 2012. IDRISI Selva. Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. Clark University.
- Fairbanks, D. & Mcwire, K. 2004. Patterns of floristic richness in vegetation communities of California: Regional scale analysis with multi-temporal NDVI. *Global Ecol. Biogeogr.* 13(3): 221-235.
- Feeley, K. J., Gillespie, T. & Terborgh, J. 2005. The utility of spectral índices from lysat ETM+ for measuring the structure y composition of tropical dry forests. *Biotropica* 37(4): 508-519.
- Gensuo, J. J. & Epstein, H. E. 2003. Greening of arctic Alaska, 1981–2001. *Geophys. Res. Lett.* 30(20): 1-4.
- Gilbert, M. A., González-Piqueras, J. & García-Haro, J. 1997. Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección* 8: 35-45.
- Gitelson, A. A., Peng, Y., Arkebauer, T. J. & Suyker A. E. 2015. Productivity, absorbed photosynthetically active radiation, and lightuse efficiency in crops: Implications for remote sensing of cropprimary production. *J. Plant Physiol.* 177: 100-109.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., & Townshend, J. R. G. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342: 850-853
- Herrera, P. 2007. Flora y Vegetación. En: González, H. & Larramendi J.A. (ed.). Biodiversidad cubana, Ediciones Polymita, Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Hoare, D. & Frost, P. 2004. Phenological description of natural vegetation in Southern Africa using remotely-sensed vegetation data. *Appl. Veg. Sci.* 7: 19-28.
- Huete, A. R. & Liu, H. 1994. An error y sensitivity analysis of the atmospheric- y soil-correcting variants of the NDVI for the MODIS-EOS. *IEEE T. Geosci. Remote.* 32: 897-905.
- Leprieur, C., Kerr, Y. H., Mastorchio, S. & Meunier, J. C. 2000. Monitoring vegetation cover across semi-arid regions: Comparison of remote observations from various scales. *Int. J. Remote Sens.* 21: 281-300.
- Mansour, K., Mutanga, O. & Everson, T. 2012. Remote sensing based indicators of vegetation species for assessing rangeland degradation: Opportunities and challenges. *Afr. J. Agric. Res.* 7(22): 3261-3270
- Meng, M., Ni, J. & Zong, M. 2011. Impacts of changes in climate variability on regional vegetation in China: NDVI-based analysis from 1982 to 2000. *Ecol. Res.* 26: 421-428.
- Mittelbach, G. G., Steiner, C. F., Scheiner, S. M., Gross, K. L., Reynolds, H. L., Waide, R. B., Willig, M. R., Dodson, S. I. & Gough, L. 2001. What is the observed relationship between species richness y productivity? *Ecology* 82: 2381-2396.
- Monteagudo, D., Salinas-Gutiérrez, J. L. & Martínez, M. A. 2014. Relaciones biogeográficas de Papilionidae, Pieridae y Nymphalidae (Lepidoptera: Papilionoidea) en el bosque mesófilo de montaña de México. *Entomotropica* 29(1): 29-37.
- Reed, B. C., Brown, J. F., VyerZee, D., Lovely, T. R. W. J., Merchant, J. W. & Ohlen, D. O. 1994. Measuring phenological variability from satellite imagery. *J. Veg. Sci.* 5: 703-714.
- Rocchini, D., Chiarucci, A. & Loiselle, S. A. 2004. Testing the spectral variation hypothesis by using satellite multispectral images. *Acta Oecol.* 26: 117-120.
- Rosete, S., Pérez, J., Ricardo, N. E. & Sánchez, O. 2011. Bosques de Cuba. Editorial Científico-Técnica. La Habana, Cuba.
- Rouse, J. W. Jr., Haas, R. H., Deering, D. W., Schell, J. A. & Harlan, J. C. 1974. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation. Nasa/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, MD.
- Seto, K. C., Fleishman, E., Fay, J. P. & Betrus, C. J. 2003. Linking spatial patterns of bird and butterfly species richness with Landsat TM derived NDVI. *Int. J. Remote Sens.* 25(20): 4309-4324.
- Tun-Dzul, F., Vester, H., Durán, R. & Schmook, B. 2008. Estructura arbórea y variabilidad temporal del NDVI en los "Bajos inundables" de la Península de Yucatán, México. *Polibotánica* 25: 69-90.
- van Lierop, P., Lindquist, E., Sathyapala, S. & Franceschini, G. 2015. Global forest area disturbance from fire, insect pests, diseases and severe weather events. *Forest Ecol. Manag.* 352: 78-88.
- Vercher, A., Camacho-de Coca, F. & Meliá, J. 2004. Influencia de la geometría de adquisición en el NDVI. *Revista de Teledetección* 21: 95-99.