

PATRONES FENOLÓGICOS DE CINCO TIPOS DE COBERTURA EN BOSQUE SECO TROPICAL, SUR-COJEDES, VENEZUELA

(Phenological patterns of five types of coverage in Tropical Dry Forest, southern-Cojedes, Venezuela)

**Jorge Luis Millano-Tudare¹, Franklin Javier Paredes-Trejo¹, Edgar Jaimes², Neida Pineda²,
José G. Mendoza², Yolimar Garcés² e Idánea Pineda²**

¹ Grupo para Investigaciones sobre Cuencas Hidrográficas y Recursos Hidráulicos del Programa de Ingeniería.

UNELLEZ-San Carlos, Cojedes. jmillanopostgrado@gmail.com; franklinparedes75@gmail.com

² Grupo de Investigación de Suelos y Aguas (GISA). ULA-NURR-Trujillo. Venezuela.

jaimes.5060@gmail.com; pineida@ula.ve; jgmendoz@ula.ve

Recibido: 20/01/17 -Aceptado: 12/05/17

RESUMEN

El reverdecimiento de la vegetación puede ser monitoreado desde el espacio a través de satélites. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) es el indicador más utilizado para evaluar la vegetación a través del tiempo y en extensas regiones. Esta investigación tuvo como objetivo identificar los patrones fenológicos de cinco tipos de cobertura en un Bosque Seco Tropical localizado en la parte sur del estado de Cojedes, Venezuela, durante 16 años (02/2000-02/2016), analizando series mensuales de NDVI derivadas del programa Terra-MODIS y estimaciones mensuales de precipitación basadas en el producto 3B42RTv7 difundido por la NASA. Terra-MODIS proporciona imágenes NDVI con una resolución espacial de 250 m con un tiempo de revisita de 8 días. También tienen un pre-procesamiento para correcciones radiométricas, geométricas, interferencias de nubes, cuerpos de agua y aerosoles. Los resultados muestran una respuesta positiva y lineal del verdor de la vegetación a las variaciones estacionales de la precipitación al inicio de la estación lluviosa (abril-mayo), pero fuera de este período la asociación entre el verdor de la vegetación y la lluvia es más débil y su correlación es no lineal. Se concluyó que el NDVI puede ser útil para monitorear la variabilidad temporal de la vegetación y definir unidades ecológicas dominantes dentro del Bosque Seco Tropical.

Palabras clave: Patrones fenológicos, NDVI, verdor de vegetación, precipitación, Cojedes.

SUMMARY

Greening vegetation can be monitored from space through satellites. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is the most widely used indicator to evaluate vegetation over time and over large regions. This research aimed to identify the phenological patterns of five types of cover in a Tropical Dry Forest located in the southern part of the state of Cojedes, Venezuela, for 16 years (02 / 2000-02 / 2016), analyzing monthly series of NDVI derived of the Terra-MODIS program and monthly precipitation estimates based on the 3B42RTv7 product released by NASA. Terra-MODIS provides NDVI images with a spatial resolution of 250 m with an 8-day revisit time. They also have a pre-processing for radiometric, geometric corrections, cloud interference, water bodies and aerosols. The results show a positive and linear response of vegetation to the seasonal variations of precipitation at the beginning of the rainy season (April-May), but outside this period the association between greening up of the vegetation and rainfall is weaker and its

correlation is nonlinear. It was concluded that the NDVI can be useful to monitor the temporal variability of the vegetation and to define dominant ecological units within the Tropical Dry Forest.

Keywords: Phenological patterns, NDVI, vegetation greening, precipitation, Cojedes.

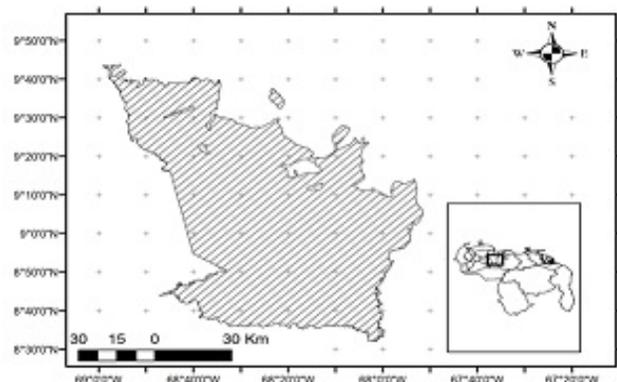
INTRODUCCIÓN

El Índice de Diferencia de Vegetación Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés Normalized Difference Vegetation Index), es el indicador más usado en el monitoreo y la valoración del componente vegetal a lo largo del tiempo sobre amplias superficies de terreno (Alcaraz-Segura *et al.*, 2008; Millano y Paredes, 2016). El NDVI permite inferir el nivel de desarrollo o crecimiento de la vegetación en diferentes regiones al tiempo de proveer información valiosa sobre el efecto de la dinámica del funcionamiento y los patrones debidos a factores físicos, bióticos y perturbaciones antrópicas (Paruelo y Lauenroth, 1998; Gurgel *et al.*, 2003). Comprender la interacción entre la vegetación y el clima, en particular su asociación con el cambio climático global y la desertificación, ha sido un tema de gran interés científico (Hall *et al.*, 1991). Dichos fenómenos alteran la dinámica y funcionamiento de los ecosistemas (Iglesias *et al.*, 2010). La relación entre la precipitación y el NDVI ha sido ampliamente investigada en diferentes ecosistemas áridos y semiáridos (Paruelo y Lauenroth, *op. cit.*; Jobbágy *et al.*, 2002; De la Casa y Ovando, 2006) y especialmente en áreas resguardadas o protegidas (Alcaraz-Segura *et al.*, *op. cit.*); pero no se ha estudiado con suficiente detalle en las planicies de zona de vida Bosque Seco

Tropical. Desde el punto de vista fisiográfico, en la zona sur del estado Cojedes (Venezuela) predomina la zona de vida Bosque Seco Tropical (bs-T), la cual se caracteriza por presentar amplias planicies con una precipitación media anual de 1000 a 1800 mm y una temperatura media anual entre 22 y 29 °C (Ministerio del Poder Popular para el Ambiente [MPPA], 2011, p.96). Esta región se ha visto impactada por eventos pluviométricos extremos, como sequías y lluvias intensas y persistentes, causados en gran medida por el fenómeno océano-atmosférico El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) (Millano *et al.*, 2007; Paredes *et al.*, 2008; Trejo *et al.*, 2016). El objetivo del presente trabajo fue determinar, a partir de series temporales de imágenes satelitales derivadas del programa Terra-MODIS, los patrones fenológicos de cinco tipos de cobertura en el Bosque Seco Tropical de la zona sur del estado Cojedes.

METODOLOGÍA

Unidad de estudio La Unidad de Estudio (UE) abarca gran parte de la región sur del estado Cojedes, entre las coordenadas 68.98° y 67.85° O, y 8.53° y



9.73° N, aproximadamente (Fig. 1). Dentro de esta región, se

Figura. 1. Región Sur del estado Cojedes, y su ubicación relativa con respecto al territorio nacional.

Fuente: Adaptado del MPPA (2011).

seleccionaron cinco tipos de cobertura que se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Localización de los cinco tipos de cobertura analizados en la región sur del estado Cojedes.

Nº	Cobertura	Coordenadas Geográficas	
		Canoa	Regven
P1	Bosque ralo con chaparro	09°37'25,69253N	09°37'14,23644N
		68°41'00,07698°	68°41'06,95671O
P2	Bosque de galería	09°26'59,10307N	09°26'47,64845N
		68°23'53,56994°	68°24'00,41653O
P3	Bosque medio	09°07'49,44321N	09°07'37,99104N
		67°53'23,58688°	67°53'30,37372O
P4	Sabana inundable	08°55'54,28841N	08°55'42,81268N
		68°32'42,38878°	68°32'49,23463O
P5	Matocral	09°00'50,71080N	09°00'39,23712N
		68°34'14,39461°	68°34'21,24672O

Datos

Se usaron series temporales de NDVI para el período 02/2000-02/2016, derivado de la reflectancia superficial del producto estándar Terra - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometry (Terra-MODIS) MOD09Q1, distribuido por la NASA (<http://gimms.gsfc.nasa.gov/download/MODIS>), el cual provee valores de NDVI a una resolución espacial de 250 m con un intervalo temporal de 8 días a lo largo del año. Este producto ha sido previamente corregido radiométricamente, geométricamente y por interferencia de nubes,

cuerpos de agua y aerosoles. Más detalle sobre este producto se encuentra en Whitcraft *et al.* (2015). Las estimaciones de precipitación mensual, expresadas en mm, fueron extraídas del producto satelital 3B42RT versión 7, distribuido por la NASA (<https://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/trmm>). Yong *et al.* (2014) describe en detalle este producto. Para dicho período, cada raster del producto MOD09Q1 fue cortado usando como máscara un archivo shapefile de la UE (Fig.1). Esta tarea se realizó con el software libre SAGA GIS (www.saga-gis.org). De esta forma, se contó con un raster de la unidad de estudio cada 8 días. Estos últimos fueron agregados mensualmente tomando como criterio de agregación, el NDVI máximo a nivel de pixel. Es decir, se obtuvo un raster con el NDVI máximo para cada mes *i* (*i* = 1...12) y año *k* (*k* = 2000...2016). Finalmente, se generaron 214 raster de NDVI máximo (uno por mes). Los valores de NDVI máximo mensual en los puntos listados en la Tabla 1, fueron extraídos del arreglo de 214 raster, resultando por tanto, cinco series temporales mensuales de NDVI máximo. Para estos puntos también se extrajeron las estimaciones de precipitación mensual, aplicando un procedimiento similar al producto 3B42RT. Las series mensuales de NDVI máximo y precipitación fueron usadas en la descripción de los patrones fenológicos. El coeficiente de correlación de Pearson fue usado como indicador de asociación lineal entre ambas variables.

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Variabilidad temporal del NDVI en los cinco tipos de cobertura estudiados

Los patrones mensuales de variabilidad del NDVI a lo largo de la UE para el período 02/2000-02/2016 se muestran en la Fig.2. Las cinco curvas allí trazadas siguen variaciones temporales similares, pero difieren claramente en amplitud. En escala estacional, muestran picos (meses de aumento de NDVI) y valles (meses de disminución de NDVI) en los períodos lluvioso y seco, respectivamente; los picos aparecieron durante julio, agosto, septiembre y octubre; mientras que los valles ocurrieron durante febrero, marzo y abril. Las variaciones en los valores de NDVI entre las curvas reflejan, posiblemente, el efecto de la variabilidad de las precipitaciones en la dinámica de la vegetación, que pudiese ser indicativo de cambios ambientales. Resultado éste que concuerda con los hallazgos de Barbosa *et al.* (2006).

En el Bosque Ralo con Chaparro se observó que los valores del NDVI varían de +0,600 a +0,700 en los meses de transición entre los períodos seco y lluvioso, durante el lluvioso y en los meses de transición entre las estaciones de lluvia y seca, a excepción de enero que tiene un valor de +0,597. Es de resaltar que en noviembre, siendo un mes de transición, el NDVI presenta el máximo valor: +0,700, ocurriendo una disminución considerable de los valores del NDVI durante el período seco (entre +0,400 y +0,500). Esta respuesta sugiere que los

bosques tienden a intensificar su verdor al término del período seco, conservándolo hasta final del año.

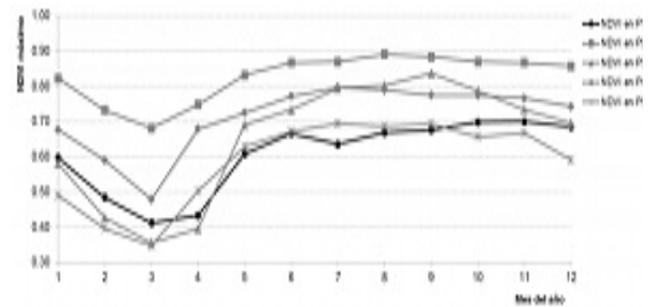


Figura 2. NDVI promediado mensualmente para el período 02/2000-02/2016 en los puntos indicados en la Tabla 1.

Similar comportamiento se observó en el Bosque de Galería. En los meses de transición entre los períodos seco y lluvioso y viceversa, y en el período lluvioso, los valores del NDVI estuvieron entre +0,800 y +0,900, siendo agosto el mes con el valor más alto: 0,891. A diferencia de la cobertura anterior, el NDVI más alto se presenta en el período lluvioso. En los meses transitorios octubre, noviembre y diciembre, prácticamente el NDVI mantuvo su valor. Los valores más bajos de NDVI (entre +0,650 y +0,750) están en el período seco. Los valores NDVI son más altos que los observados en el Bosque Ralo con Chaparro. Esta variación pudiese ser modulada por la disponibilidad de agua en el suelo. Este resultado coincide con los de Chacón (1999).

La tercera cobertura estudiada es el Bosque Medio. Aunque los valores del NDVI son más altos entre mayo y diciembre, lo cual coincide con el Bosque Ralo de Chaparro y el Bosque de Galería (aunque éste incluye a enero), el rango de variabilidad del NDVI es mayor que en las 2

coberturas anteriores: entre +0,650 y +0,850; es decir, 0,1 puntos por encima de aquellos. El valor más alto sucede en septiembre: 0,837, saliendo del período lluvioso. Se observa una disminución muy marcada del NDVI en el período seco: entre +0,350 y +0,450, probablemente debido al déficit de humedad en el suelo; que es donde proviene el agua que sustenta el bosque (estrés por déficit de agua en el suelo).

La Sabana Inundable es la siguiente cobertura. El registro de los valores NDVI guarda estrecha relación con el Bosque de Galería: los NDVI de mayo a diciembre están entre +0,700 y +0,800 con valores muy cercanos entre ellos, julio tiene el más alto registro: +0,796. En el período seco, los valores distan unos de otros entre +0,450 y +0,700, observándose una marcada disminución del NDVI en la mitad de este período (marzo), a diferencia de lo observado en el Bosque de Galería. Los meses de transición registraron valores cercanos a +0,700. El comportamiento observado pudiese estar impulsado por la estacionalidad de la inundación que sufre esta cobertura, resultado éste que vuelve a coincidir con los de Chacón (*op. cit.*).

Por último, el Matorral. Responde diferente a las demás coberturas: los valores de NDVI se mantienen en el período lluvioso aunque hay una ligera disminución (prácticamente despreciable) en la mitad del mismo en agosto. Los meses de transición que siguen a la temporada lluviosa, mantienen el valor del NDVI muy cerca del máximo registrado en julio y septiembre (+0,693), con un repunte en

noviembre que no ocurrió en las otras vegetaciones. El período seco es marcado: los valores NDVI disminuyen notoriamente. Este particular rasgo, pudiese ser atribuido a la intervención humana que suele afectar a este tipo de cobertura (e.g., incendios provocados).

Relación entre el NDVI y la precipitación en los cinco tipos de cobertura estudiados

Como era de esperar, los valores promedios mensuales de NDVI se asocian directamente con la precipitación total mensual en las cinco coberturas analizadas. En otras palabras, los valores de NDVI aumentan con la ocurrencia de las precipitaciones; no obstante, hay meses donde esta asociación es inversamente proporcional; es decir, éstos disminuyen a pesar de la ocurrencia de las lluvias (Tabla 2). Aunque el coeficiente de correlación de Pearson muestra un valor absoluto bajo durante algunos meses en todas las vegetaciones estudiadas, la relación lineal entre estas variables (NDVI y precipitación) es estadísticamente significativa.

Tabla 2. Coeficiente de correlación de Pearson entre la precipitación total mensual y los valores promedios mensuales del NDVI en los cinco tipos de cobertura analizados en la UE para el lapso 02/2000-02/2016.

Nº	Cobertura	Coordenadas Geográficas	
		Canoa	Regven
P1	Bosque ralo con chaparro	09°37'25,69253N 68°41'00,07698°	09°37'14,23644N 68°41'06,95671O
P2	Bosque de galería	09°26'59,10307N 68°23'53,56994°	09°26'47,64845N 68°24'00,41655O
P3	Bosque medio	09°07'49,44321N 67°53'23,58688°	09°07'37,99104N 67°53'30,37372O
P4	Sabana inundable	08°55'54,28841N 68°32'42,38878°	08°55'42,81268N 68°32'49,23463O
P5	Matorral	09°00'50,71080N 68°34'14,39461°	09°00'39,23712N 68°34'21,24672O

* Valores con mayor magnitud para la cobertura mostrada

Las asociaciones positivas con alta magnitud se presentan en las cinco coberturas en abril (salida del período seco), a excepción de Matorral que se registró en febrero (entrada al período seco). El Bosque Medio es la cobertura con la mayor fuerza correlacional, seguida del Bosque Ralo con Chaparro. Es de hacer notar que la Sabana Inundable es la única cobertura que registra un segundo mes con alta correlación directa: mayo. Las asociaciones negativas se notan en el período lluvioso en todas las coberturas y en 2 meses transitorios, de entrada y salida de este período: junio y octubre respectivamente, en la cobertura Matorral. Precisamente, esos 2 meses son los que registran la fuerza correlacional más débil seguida del Bosque Medio, en agosto y noviembre. El Bosque Medio y el Matorral son las coberturas que presentan mayor correlación entre los valores NDVI y la ocurrencia y/o disminución de las lluvias.

A juzgar por los resultados, el verdor de la vegetación responde mejor a la presencia/ausencia de lluvias en el período seco que en el lluvioso. Pero, debe tenerse en cuenta que las propiedades físicas de

los suelos en las locaciones seleccionadas para el análisis de las coberturas, podrían jugar un papel clave en el balance de humedad del suelo. Bajo esta hipótesis, la acción sinérgica precipitación-suelo explicaría en gran medida la variación estacional del verdor de la vegetación.

CONCLUSIONES

El uso del producto NDVI Terra-MODIS facilitó el análisis de patrones de variabilidad temporal de los cinco tipos de cobertura vegetal seleccionadas en esta investigación, detectándose fluctuaciones en los patrones fenológicos asociadas a la estacionalidad de los periodos lluvioso y seco. Dichas coberturas responden distintamente en intensidad ante el aporte de humedad proveniente de las lluvias, lo cual está vinculado a la dinámica edafoclimática del paisaje llanero, donde la secuencia de bancos, bajíos y posiciones intermedias determina diferencias texturales y de drenaje de los suelos, típicas de tales ecosistemas. Los resultados obtenidos contribuirán en la delineación de unidades ecológicas en otras áreas geográficas de los llanos venezolanos.

AGRADECIMIENTOS

Al Grupo de Investigación de Suelos y Aguas (GISA), Núcleo Universitario Rafael Rangel (NURR), Universidad de Los Andes (ULA) con sede en Trujillo, Venezuela; por la asesoría brindada durante la pasantía doctoral, desarrollada por el primer autor, a través del Proyecto de investigación NURR-C-588-15-01-B. A la Prof. Iraida Vivas y el Geo. Julio Mora por proveer la información cartográfica y contribuir con su experticia, a la interpretación de los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaraz-Segura, D., Baldi G., Durante, P. y Garbulsky, M. F. 2008. Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: tres casos de estudio a distintas escalas espaciales, temporales y de gestión. *Ecosistemas*, 17(3): 108-117.
- Barbosa, H.A., Huete, A.R. y Baethgen, W.E. 2006. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. *Journal of Arid Environments* 67: 288-307.
- Chacón, E. 1999. Patrones fenológicos de vegetación de los Llanos del Orinoco, Venezuela, a través de análisis de series de tiempo de imágenes NOAA. Memorias del VII Conferencia Iberoamericana sobre Sistemas de Información Geográfica, Mérida, CD-ROM.
- De La Casa, A. y Ovando, G. 2006. Relación entre la precipitación e índices de vegetación durante el comienzo del ciclo anual de lluvias en la provincia de Córdoba, Argentina. *RIA*, 35(1): 67-85.
- Gurgel, H. C., Ferreira, N. J. y Luiz, A. J. B. 2003. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(1): 85-90.
- Hall, F. G., Botkin, D. B., Strebel, D. E., Woods, K. D. y Goetz, S. J. 1991. Large-scale patterns of forest succession as determined by remote sensing. *Ecology*, 72: 628-640.
- Iglesias, M. R., Barchuk, A. y Grilli, M. P. 2010. Dinámica estacional e interanual del NDVI en bosques nativos de zonas áridas argentinas. *Revista de Teledetección*, 34: 44-54.
- Jobbágy, E. G., Sala, O. E. y Paruelo, J. M. 2002. Patterns and controls of primary production in the Patagonian steppe: a remote sensing approach. *Ecology*, 83(2): 307-319.
- Millano, J. y Paredes, F. 2016. Variabilidad de la Vegetación con el Índice de Diferencia Normalizada (NDVI) en Latinoamérica. *Novum Scientiarum*, 2(4), 33-44.
- Millano, J., Paredes, F. y Vivas, I. 2007. Efecto de la Oscilación Meridional (ENSO) y la temperatura superficial del océano Atlántico sobre la distribución espacio-temporal de las lluvias en el estado Cojedes. *Revista Agrollanía*, 4: 103-116.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente [MPPA]. 2011. Plan de Ordenación del Territorio del Estado Cojedes. Diagnóstico Físico Natural y Socioeconómico. Capítulo I: Caracterización Físico Natural del Estado Cojedes [Datos en CD]. Disponible en Dirección Estadal Cojedes.
- Paredes, F., Millano, J. y Guevara, E. 2008. Análisis espacial de las sequías meteorológicas en la región de los Llanos de Venezuela durante el período 1961-1996. *Revista de Climatología*. Vol. 8: 15-27.
- Paruelo, J. M. y Lauenroth, W. K. 1998. Interannual variability of NDVI and its relationship to climate for North American shrublands and grasslands. *Journal of Biogeography*, 25: 721-733.
- Trejo, F. J. P., Barbosa, H. A., Ruiz, I. Q., y Peñaloza-Murillo, M. A. (2016). Meso Scale Oceanic Atmospheric Circulation Patterns Linked with Severe and Extensive Droughts in Venezuela. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(4), 468-489.
- Whitcraft, A. K., Becker-Reshef, I. y Justice, C. O. 2015. Agricultural growing season calendars derived from MODIS surface reflectance. *Internacional Journal of Digital Earth*, 8(3): 173-197.
- Yong, B., Chen, B., Gourley, J. J., Ren, L., Hong, Y., Chen, X. y Gong, L. (2014). Intercomparison of the Version-6 and Version-7 TMPA precipitation products over high and low latitudes basins with independent gauge networks: Is the newer version better in both real-time and post-real-time analysis for water resources and hydrologic extremes? *Journal of Hydrology*, 508, 77-87.