

**LA DINÁMICA DE LA VEGETACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO
EN AMÉRICA LATINA BASADA EN TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN**

Dynamics of vegetation to climate change in Latin America based remote sensing techniques

Ponencia presentada en el I Congreso Internacional de Investigación en Educación
II Jornada Divulgativa de Producción Intelectual de Profesores e Investigadores de la Facultad de
Ciencias de la Educación- UC.

Universidad de Carabobo. Naguanagua, Venezuela 17al 19 octubre 2016

Jorge Luis Millano Tudarey¹
Franklin Javier Paredes Trejo²

^{1,2}Universidad Nacional Experimental de los Llanos, Occidentales Ezequiel
Zamora, Estado Barinas, Venezuela.

Correo-e: ¹jmillanopostgrado@gmail.com, ²franklinparedes75@gmail.com

Resumen

El uso de la teledetección se ha incrementado en los últimos tiempos para examinar los cambios del funcionamiento de los ecosistemas. La incidencia del cambio climático en la variabilidad de la vegetación demanda ser comprendida mundialmente, especialmente en América Latina por los ecosistemas que le caracterizan. El objeto de esta ponencia es reseñar y analizar información hemerobibliográfica actual sobre la dinámica de la vegetación en América Latina con el empleo de técnicas de teledetección, específicamente basada en series temporales del Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI), en el marco del cambio climático. Dicho análisis puede lograr en el individuo la comprensión de la complejidad del ambiente y la aprehensión de conocimientos, valores y prácticas para participar en la gestión sustentable del ambiente, en combinación de una educación formal, no formal e informal que le ayudará al pensamiento crítico y la adopción de decisiones en pro del desarrollo sustentable.

Palabras clave: Dinámica de vegetación, cambio climático, NDVI, América Latina.

Abstract

The use of remote sensing has increased in recent times to examine changes in the functioning of ecosystems. The incidence of climate change in the variability of vegetation needs to be understood worldwide, especially in Latin America because of the ecosystems that characterize it. The purpose of this paper is to review and analyze current hemerobibliographic information on the dynamics of vegetation in Latin America with the use of remote sensing techniques, specifically based on time series of the Vegetation Index of Normalized Difference (NDVI), within the framework of the climate change. This analysis can achieve in the individual the understanding of the complexity of the environment and the apprehension of knowledge, values and practices to participate in the sustainable management of the environment, in combination of a formal, non-formal and informal education that will help critical thinking and the adoption of decisions in favor of sustainable development.

Keywords: Vegetation dynamics, climate

change, NDVI, Latin America.

Recibido: 30/11/2016

Enviado a árbitros: 31/06/2017

Aprobado: 05/12/2017

Introducción

La vegetación es uno de los elementos más importantes del ciclo hidrológico y un componente determinante de la biodiversidad circunscrita en un área geográfica. Su interacción con el clima y su relación con el cambio climático, es de interés mundial (Hall *et al.*, 1991). Estos fenómenos varían los patrones espaciales y temporales de la vegetación, así como el flujo de energía, reciclaje de nutrientes y las interacciones entre las especies y sucesión. Por ello, la dinámica de la vegetación demanda ser comprendida en todo el mundo, especialmente en América Latina por los ecosistemas que le caracterizan para garantizar el manejo sustentable de los mismos, sobre todo en el elemento ambiental suelo, con énfasis en la conservación del patrimonio forestal, en la gestión integral de los recursos hídricos y en el aprovechamiento, manejo y conservación de la diversidad biológica.

Es importante señalar que, el uso de la teledetección se ha incrementado en los últimos tiempos para examinar los cambios del funcionamiento o la actividad de los ecosistemas, lo cual es de utilidad para la gestión de áreas protegidas (Duro *et al.*, 2007). Para ello, se emplean índices espectrales con el fin de evaluar las respuestas ecológicas ante los cambios ambientales. Uno de ellos, el más utilizado para estos análisis, es el Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) (Paruelo, 2008), el cual tiene un amplio uso en fines ecológicos, ya que es un buen estimador de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación (fPAR) (el control principal de las ganancias de carbono:

Monteith, 1981) y la productividad primaria (Paruelo *et al.*, 1997), las cuales, simultáneamente, suministran información sobre la actividad del ecosistema (Virginia y Wall, 2001). Las series temporales de NDVI con alta resolución temporal; por ejemplo: Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), Moderate Resolution Imaging Spectroradiometry (MODIS), entre otros, permiten monitorear diferentes indicadores relacionados con la dinámica de la intercepción de radiación por parte de la vegetación terrestre, tales como la variabilidad anual y estacional del verdor vegetal, la fenología del ecosistema, y la estabilidad, con los que se caracterizan y monitorean diferentes aspectos del funcionamiento de los ecosistemas (Alcaraz *et al.*, 2008).

El NDVI ha sido correlacionado con ciertos parámetros biofísicos de la vegetación tales como: el índice de área foliar, la biomasa de hojas verdes, y la actividad fotosintética de la hoja (Curran, 1980). Este índice se desarrolló tanto para la medición de la cantidad y el estado de la vegetación verde sobre el suelo, como para la normalización de las propiedades del sensor, la topografía y el terreno relacionado con la iluminación (Rouse *et al.*, 1974). El uso del NDVI se ha acrecentado en indagaciones o investigaciones de pequeña escala y en los estudios de cambios globales en la vegetación, por su fácil interpretación.

Dichos estudios han permitido detectar el estado del vigor vegetal sobre extensos espacios, revelando fenómenos de amplio rango de acción. Los beneficios que ofrecen los satélites de alta resolución, hacen posible que este rastreo pueda realizarse casi en tiempo real, lo que permite afrontar la vigilancia de eventos muy fugaces, así como la previsión de desastres. En tal sentido, Chuvieco (1995), asevera que fenómenos como el progreso de la desertización en África, las pérdidas forestales en la Amazonia o el seguimiento de áreas vegetales en América, pueden ser estudiados con éxito gracias a este índice.

El objeto de esta ponencia es reseñar y analizar información hemerobibliográfica actual sobre la dinámica de la vegetación en América Latina basada en información derivada de sensores remotos, específicamente las series temporales del NDVI, en el marco del cambio climático. Dicho análisis podría permitir que cada ser humano que tenga acceso a él, adquiera, por una parte, conocimientos acerca del cambio climático, la reducción del riesgo de desastres y la biodiversidad; y por la otra, vislumbre aptitudes, actitudes y valores indispensables para cambiar su estilo de vida adoptando acciones en pro del desarrollo sustentable, tal como lo promueve la Educación para el Desarrollo Sostenible propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2012).

Análisis de la información

Modulación del verdor de la vegetación por la Oscilación Meridional de El Niño (ENSO)

El estudio de la variabilidad de la vegetación, con datos extraídos de satélites en regiones tropicales semiáridas, ha cobrado importancia en el modelaje del clima y monitoreo de la dinámica de la vegetación inducida por El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) a escala interanual (Cramer y Fischer, 1996). Al respecto, Barbosa *et al.* (2006) comprobaron que los cambios del suelo en los ecosistemas naturales al nordeste de Brasil, obedecen tanto a las perturbaciones del ENSO como a la intervención antropogénica de la tierra. Dichos ecosistemas son particularmente susceptibles a las variaciones climáticas, la disponibilidad de agua, la producción primaria total y la degradación del ambiente presentes en ellos (Barbosa, 1998).

Estos autores notaron que el verdor de la vegetación fluctuó de manera ascendente y descendente en un período de 7 y 8 años, respondiendo a los períodos de lluvia y sequía extrema prolongados, resultados éstos que podrían asociarse a los efectos temporales y espaciales de la

variabilidad del clima y al uso del suelo; infiriéndose que la variabilidad de la vegetación de esta región brasilera depende de los periodos de sequía, el contenido de humedad del suelo y las actividades humanas.

Variabilidad estacional y temporal del verdor de la vegetación

La evaluación de la relación causa-efecto entre la frecuencia y la duración de las sequías meteorológicas y los cambios temporales en el verdor de la vegetación, también se ha realizado utilizando el NDVI. Un estudio de Carrao *et al.* (2013), en tierras de cultivo de secano en América Latina, reveló que el ciclo agrícola a escala regional se corresponde más con eventos de sequía a corto plazo que se producen previo al período de crecimiento de la vegetación, que con sequías a largo plazo; este interesante rasgo puede servir de información primaria para predecir los impactos de un déficit de precipitación en la variabilidad estacional del verdor de la vegetación.

Deducciones análogas fueron encontradas en un estudio sobre la fenología de los ecosistemas de sabana en la región de los Llanos del Orinoco, Venezuela, basado en el análisis de sus patrones temporales, realizado por Chacón (2004). Las diferencias en la fenología entre los ecosistemas reflejaron estar muy correspondidas con los escenarios climáticos ambientales, especialmente al de lluvias estacionales, por lo que la fenología de cada ecosistema se pudo explicar en base a la disponibilidad de agua.

En general, las grandes oscilaciones y el crecimiento de la vegetación en los ecosistemas de sabanas en los Llanos del Orinoco, se relacionan con el período de lluvias, mientras que la disminución de los valores de NDVI está asociada con el período seco. Estos hallazgos tienen alguna similitud con los de Iglesias *et al.* (2010), quienes analizaron la dinámica estacional e

interanual del NDVI en tres bosques nativos de zonas áridas argentinas encontrando que la magnitud de los atributos que reflejan la dinámica del NDVI difirió en los distintos sitios de acuerdo a la disponibilidad de agua; además, evidenciaron el comportamiento estacional de la vegetación ante las variaciones del NDVI, cuyos atributos fueron mayores en la reserva natural más húmeda, lo cual se reflejó en una correlación entre los valores de precipitaciones y el NDVI. En los tres sitios de estudio, el NDVI mostró una marcada estacionalidad para todos los años hidrológicos estudiados, indicando una cobertura de vegetación activa durante todo el año. Dicha estacionalidad hídrica, concuerda con los valores mayores y crecientes del NDVI.

La evolución temporal del NDVI va de la mano con la variación interanual del crecimiento de la vegetación en respuesta a los factores térmico e hídrico, en zonas con condiciones climatológicas estacionales (Hill y Donald, 2003). En este contexto, De La Casa y Ovando (2006) establecieron la posibilidad de utilizar el NDVI para explicar el inicio del ciclo de lluvias en la provincia de Córdoba, Argentina, en cinco lugares de la región. Observaron que, en ciertos años, el aumento inicial del NDVI se originó sin la ocurrencia de eventos de lluvia, porque la vegetación creció, en un principio, a expensas del agua acumulada del suelo. Esto concuerda con los resultados de Barbosa *et al.* (*op. cit.*), Chacón (*op. cit.*) e Iglesias *et al.* (*op. cit.*) previamente reseñados.

El análisis de la variabilidad de la vegetación a través de imágenes satelitales, se ha establecido como una técnica apropiada para el conocimiento y la gestión de áreas protegidas (Mildrexler *et al.*, 2007; Duro *et al.*, *op. cit.*). Alcaraz *et al.* (*op. cit.*), evaluaron cambios en el promedio anual, la estacionalidad, y la inestabilidad de la dinámica temporal de la capacidad fotosintética de la vegetación a través del NDVI, en las áreas protegidas de Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú, Paraguay y Venezuela (Sudamérica). Las áreas protegidas de

Paraguay, Bolivia y Argentina revelaron el mayor porcentaje de su superficie con cambios negativos en el promedio anual de NDVI; mientras que Colombia, Ecuador y Brasil mostraron cambios positivos dentro de sus áreas protegidas. En suma, esta investigación mostró: 1) la utilidad del NDVI para analizar cambios en el funcionamiento ecosistémico de áreas protegidas; 2) las políticas de conservación de la biodiversidad en estas áreas, no pueden basarse en situaciones estáticas debido a que el funcionamiento de sus ecosistemas varía en diferentes aspectos; y, 3) los aciertos logrados suministran información meritoria para establecer prioridades en el aprovechamiento, manejo y conservación de la diversidad biológica.

Hoy en día, los bosques de mangle representan uno de los ecosistemas tropicales costeros más amenazados. Son ecosistemas complejos y dinámicos por su abundante diversidad biológica y productividad, y desempeñan un papel fundamental en la protección de la línea de costa, la prevención de inundaciones, el mantenimiento de la calidad del agua y la recarga de agua de los mantos freáticos (Manson *et al.*, 2003). Berlanga y Ruiz (2007), estudiaron las tendencias de cambio del bosque de mangle del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava en México. En el análisis, este ecosistema mostró tendencias de cambio negativas, sujeto a varias perturbaciones de origen natural y antropogénico provocando su disminución, aunado a una tasa de deforestación media anual estimada en 0.64 %, la más alta registrada hasta el momento del estudio. Los investigadores relacionaron evidencias de perturbación de la cobertura de manglar con la apertura de un canal para conectar una laguna con el océano Pacífico y el posterior proceso de erosión del mismo, pero las mayores tasas de deforestación y disminución del paisaje, coinciden con el incremento de infraestructuras tales como canales, bordes, estanquería y caminos construidos sobre los humedales. Estas asociaciones concuerdan con el aumento en las tasas de deforestación y disminución de los valores del NDVI.

Monitoreo de áreas quemadas

En materia de incendios, por más de 20 años se ha utilizado el sensoriamiento remoto para monitorear áreas quemadas (Pereira *et al.*, 1999). En México cada año se reportan grandes incendios forestales los cuales causan la deforestación de amplias extensiones de bosques templados, selvas tropicales y matorrales, favoreciendo el calentamiento global (Ressl *et al.*, 2009). Con base a estas consideraciones, Manzo y López (2013) ejecutaron un estudio para identificar las áreas quemadas en la región sureste de México para el año 2008 utilizando el NDVI. Los resultados examinaron el patrón de distribución espacial y temporal de las áreas quemadas e identificaron las zonas de atención prioritaria en materia de incendios. El inicio y dispersión de los incendios en diferentes coberturas forestales se imputa no sólo al uso tradicional del fuego en las prácticas agrícolas y pecuarias (Ochoa y González, 2000), sino también a la presencia de fenómenos meteorológicos como los huracanes que generan gran cantidad de material vegetal combustible (López *et al.*, 1990), aunado a los periodos prolongados de sequía e incrementos de temperatura, ocasionados por la presencia del ENSO (Rowel y Moore, 2000). La contribución más importante de esta investigación, es el monitoreo de amplias áreas quemadas de manera sistemática, suministrando información espacial y temporal de mucho provecho para elaborar programas de reforestación y vigilancia de quemas agropecuarias.

Por último, Van Leeuwen *et al.* (2013) demostraron que el aumento de la demanda del agua y la sequía, conjuntamente con la variabilidad del clima y el cambio de uso del suelo, han perturbado los patrones de crecimiento de la vegetación y el funcionamiento del ecosistema en

Argentina, Bolivia, Chile, Paraguay, Uruguay, y partes de Perú y Brasil, junto a las montañas de los Andes. Resultados íntimamente relacionados con todo lo reseñado con anterioridad. Las tendencias negativas en la productividad se mostraron en las zonas áridas y semiáridas y en los tipos de vegetación subhúmedas en Argentina, en el norte de Chile, en el noroeste de Uruguay y el sudeste de Bolivia. Las tendencias positivas en la productividad fueron observadas en el bosque templado y áreas agrícolas de Chile y en áreas subhúmedas y húmedas de Brasil, Bolivia y Perú. El estudio mostró una temporada más larga de crecimiento de la vegetación en el sur de Chile y Argentina; en contraste con el centro de Argentina, donde se detectó una temporada corta de crecimiento. A groso modo, el ENSO tiene un significativo impacto en la productividad de la vegetación y fenología en el sureste y el noreste de Argentina, centro y sur de Chile y Paraguay.

Para finalizar este análisis, podría afirmarse que no basta con adentrarse en la adquisición y manejo de conocimientos para la comprensión de la complejidad del ambiente. Unido al arte de aprender a conocer y a hacer, debe estar el propósito y la convicción de ser y vivir juntos, en armonía con la madre Tierra y de todos los seres vivos, dentro de los criterios de equilibrio ecológico, de respeto y amor tanto a la Tierra como a la comunidad de vida y de solidaridad hacia las generaciones futuras. Pero esto no se engendra automáticamente, resulta de un proceso integrado de educación que transforme nuestras mentes y nuestros corazones para hacernos capaces de cambiar el modo de vivir y volvernos sustentables, ecológicos, convencidos de la necesidad de romper paradigmas ante el riesgo global inminente, tal como plantea Boff (2012, p. 1): “Cada ser debe prestar su colaboración a fin de proteger la Tierra, salvar la vida humana y nuestro proyecto planetario. Por lo tanto, el momento ecológico debe atravesar todos los saberes”.

En suma, esto es educar para transformar y estamos urgidos en cambiar. Educación y cambio pone de manifiesto el valor de la protección y conservación del ambiente, en un tratado de vida, guía para el ejercicio de la sustentabilidad.

Consideraciones finales

En el ámbito de la teledetección, el uso del NDVI en el estudio de la dinámica de la vegetación ha cobrado vigor para modelar el clima y monitorear la respuesta de la vegetación ante el cambio climático global. Por consiguiente, el monitoreo de la dinámica vegetal en los ecosistemas podría conducir a una mejor comprensión de la variabilidad espacio-tiempo en las regiones tropicales semiáridas. Además, es importante evaluar los impactos del ENSO en las estadísticas de línea de base para el cálculo de la sequía meteorológica e incluso en la estimación de verdor relativo de la vegetación, con énfasis en las zonas de cultivo de secano en América Latina.

No obstante, las actividades antropogénicas y los fenómenos climáticos son elementos determinantes de la variabilidad de la vegetación en los ecosistemas naturales presentes en América Latina. Por tanto, el estudio de la dinámica de la vegetación ante el cambio climático puede lograr en el individuo y en la colectividad misma, la comprensión de la complejidad del ambiente y la aprehensión de conocimientos, valores y prácticas para participar responsable y eficazmente en la en la gestión sustentable del ambiente, apoyado en la combinación de una educación formal, no formal e informal que le ayudará al pensamiento crítico, la elaboración de hipótesis de cara al futuro y la adopción colectiva de decisiones en pro del desarrollo sustentable.

En definitiva, es necesaria una nueva ética que incluya a todos los seres vivos para la convivencia con miras a la sustentabilidad. La educación fomenta actitudes y comportamientos

compatibles con esta nueva ética y transforma la vida del ser humano para dar fe de sus convicciones, conocimientos y prácticas necesarias en la gestión sustentable del ambiente.

Referencias

Alcaraz, D., Baldi G., Durante, P. y Garbulsky, M. (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., (1998). *Spatial and temporal analysis of vegetation index derived from AVHRR-NOAA and rainfall over Northeastern Brazil during 1982–1985*. Master degree dissertation in RemoteSensing (in Portuguese). Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, Brazil.

Barbosa, H., Huetea, A. y Baethgen, W. (2006). *A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil*. *Journal of AridEnvironments* 67: 288–307.

Berlanga, C. y Ruiz, A. (2007). *Análisis de las tendencias de cambio del bosque de mangle del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava, México*. Una aproximación con el uso de imágenes de satélite landsat. *Universidad y Ciencia*, 23 (1): 29.

Boff, L. (2012). *Sustentabilidad y Educación*.

Recuperado: www.leonardoboff.wordpress.com/2012/05/10/sustentabilidad-y-educacion/

- Carrao, H., Sepulcre, G., Horion, S. y Barbosa, P. (2013). *A multitemporal and non-parametric approach for assessing the impacts of drought on vegetation greenness: a case study for Latin America*. *E A R Se L eProceedings*, 12(1): 8-24.
- Chacón, E. (2004). *Mapping savanna ecosystems of the Llanos del Orinoco using multitemporal NOAA satellite imagery*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5, 41–53.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial* (2^a ed.). Ediciones RIALP S.A., Madrid, España. Pp. 305-307.
- Cramer, W. y Fischer, A. (1996). *Data requirements for global terrestrial ecosystem modeling*. In: Walker, B., Steffen, W. (Eds.), *Global Change and Terrestrial Ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 529–565.
- Curran, P. (1980). *Multispectral photographic remote sensing of vegetation amount and productivity*. In: *Proceedings of the Fourteenth International Symposium on Remote Sensing of the Environment*. Ann Arbor, MI, pp. 623–637.
- 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.
- Duro, D., Coops, N., Wulder, M. y Han, T. (2007). *Development of a large area biodiversity monitoring system driven by remote sensing*. *Progress in Physical Geography*, 31(3): 235-260.

- Hall, F., Botkin, D., Strebel, D., Woods, K. y Goetz, S. (1991). *Large-scale patterns of forest succession as determined by remote sensing*. Ecology, 72: 628-640.
- Hill, M. y Donald, G. (2003). *Estimating spatio-temporal patterns of agricultural productivity in fragmented landscapes using AVHRR NDVI time series*. RemoteSens. Environ. 84: 367-384.
- Iglesias, M., Barchuk, A. y Grilli, M. (2010). *Dinámica estacional e interanual del NDVI en bosques nativos de zonas áridas argentinas*. Revista de Teledetección, 34: 44-54.
- López, J., Keyes, M., González, A., Cabrera, E. y Sánchez, O. (1990). *Los incendios de Quintana Roo: ¿catástrofe ecológica o evento periódico?* Ciencias y Desarrollo, 91, 43-57.
- Manson F., Loneragan N. y Phinn S. (2003). *Spatial and temporal variation in distribution of mangroves in Moreton Bay, subtropical Australia: a comparison of pattern metrics and change detection analyses based on aerial photographs*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 56: 1-14.
- Manzo, L. y López, J. (2013). *Detección de áreas quemadas en el sureste de México, utilizando índices pre y post-incendio NBR y BAI, derivados de compuestos MODIS*. GeoFocus (Artículos), nº 13-2, Pp. 66-83.
- Mildrexler, D., Zhao, M., Heinsch, F. y Running, S. (2007). *A new satellite-based methodology for continental-scale disturbance detection*. Ecological Applications 17 (1):235–250.
- Monteith, J. (1981). *Climatic variation and the growth of crops*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 107:749-774.

- Ochoa, S. y González, M. (2000). *Land use and deforestation in the highlands of Chiapas, Mexico*. *Applied Geography*, 20, 17-42.
- Paruelo, J. (2008). *La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos*. *Ecosistemas* 17 (3):4-22.
- Paruelo, J., Epstein, H., Lauenrothy, W. y Burke, W. (1997). *ANPP estimates from NDVI for the Central Grassland Region of the U.S.* *Ecology* 78, 953–958.
- Pereira, J., Sá, A., Sousa, A., Silva, J., Santos, T. y Carreiras, J. (1999). *Spectral characterization and discrimination of burnt areas*. In Chuvieco (Ed.): *Remote sensing of large wildfires in the European Mediterranean basin*, pp. 123-138. Madrid, Springer.
- Ressl, R., López, G., Cruz, I., Colditz, R., Schmidt, M., Ressler, S. y Jiménez, R. (2009). *Operational active fire mapping and burnt area identification applicable to Mexican Nature Protection Areas using Modis and NOAA-AVHRR direct readout data*. *Remote Sensing of Environment*, 113: 1113 - 1122.
- Rouse, J., Haas, R., Schell, J. y Deering, D. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, NASA SP-351, Third ERTS-1 Symposium*, vol. 1. NASA, Washington, DC, pp. 309–317.
- UNESCO. (2012). *Educación para el Desarrollo Sostenible*. Libro de consulta. Recuperado: www.unesdoc.unesco.org/images/0021/002167/216756s.pdf
- Virginia, R. y Wall, D. (2001). *Principles of Ecosystem function*. In: Levin, S.A. (ed.) *Encyclopedia of Biodiversity*, pp. 345-352. Academic Press, San Diego, USA.

Van Leeuwen, W., Hartfield, K., Miranda, M. y Meza, F. (2013). *Trends and ENSO/AAO driven variability in NDVI derived productivity and phenology alongside the Andes Mountains*. Remote Sensing 5, 1177-1203.

Jorge Luis Millano Tudare:

Ingeniero Civil (LUZ). Licenciado en Comunicación Social mención Desarrollo Social (UNICA). Magister en Ingeniería Ambiental (UCAB). Candidato a Doctor en Ambiente y Desarrollo (UNELLEZ). Profesor Asociado de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales. Miembro del Grupo para Investigaciones sobre Cuencas Hidrográficas y Recursos Hidráulicos (UNELLEZ-VIPI). Acreditado en el Programa de Estímulo a la Innovación e Investigación (PEII) Nivel A-2.

Franklin Javier Paredes Trejo:

Ingeniero Agroindustrial (UNELLEZ). Magister en Ingeniería Ambiental (UCAB). Doctor en Ingeniería (UC). Profesor Titular de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales. Miembro del Grupo para Investigaciones sobre Cuencas Hidrográficas y Recursos Hidráulicos (UNELLEZ-VIPI). Acreditado en el Programa de Estímulo a la Innovación e Investigación (PEII) Nivel C.