

Citar como:

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.

Patrones Fenológicos de Vegetación de Los Llanos del Orinoco, Venezuela, a través de Análisis de Series de Tiempo de Imágenes NOAA.

Eulogio J. Chacón-Moreno.

*Centro de Investigaciones Ecológicas de Los Andes Tropicales (CIELAT) Facultad de Ciencias
Universidad de Los Andes Mérida (5101), Venezuela*

Resumen

Utilizando imágenes multitemporales de NOAA-AVHRR y a través del índice de vegetación (NDVI) se ha logrado establecer los patrones fenológicos de producción y crecimiento para los principales ecosistemas de los Llanos del Orinoco: sabanas estacionales, sabanas hiperestacionales, sabana semiestacionales, agricultura con riego, agricultura sin riego, bosques de galería, y el bosque húmedo tropical como control externo. Para ello se han procesado 58 imágenes de NDVI-NOAA con el fin de seleccionar 10 áreas de muestreo de valores de NDVI. Una vez seleccionadas y colectados los valores de NDVI para las 58 imágenes se procedió a analizar cada ecosistema seleccionado utilizando un método gráfico de análisis de series de tiempo. Los principales resultados obtenidos son: Los patrones de variación fenológicos de los ecosistemas corresponden con la estacionalidad climática de las áreas estudiadas. La mayoría de los cambios y variaciones específicas para cada ecosistema son explicadas en base a las características funcionales y estructurales de cada ecosistema. Los resultados obtenidos pueden servir para el proceso y clasificación de las imágenes con el objeto de elaborar mapas temáticos de área de estudio.

Palabras clave: Imágenes satelitarias NOAA-AVHRR, Llanos del Orinoco, Índice de vegetación NDVI, ecosistemas de sabana, series de tiempo.

Introducción

Los Llanos del Orinoco es uno de los ecosistemas de sabana mas estudiados en América, cubren un área aproximada de 500.000 Km² y se localizan sobre la cuenca sedimentaria del río Orinoco en Venezuela y Colombia, además constituyen la mayor extensión de sabana al Norte de Sudamérica. En Venezuela los Llanos del Orinoco ocupan 1/3 del territorio. Los Llanos del Orinoco presentan un gran número de ecosistemas de los cuales los más importantes y predominantes son las sabanas estacionales, las sabanas hiperestacionales, las sabanas semiestacionales, los bosques de galería, y los bosques semiestacionales. Cada uno de ellos se caracteriza entre otras cosas por la presencia de un patrón fenológico de producción y crecimiento el cual está asociado con la estacionalidad climática del área, por lo cual el ritmo de producción de biomasa verde para cada ecosistema dependerá de las condiciones ambientales principalmente el régimen climático (Monasterio y Sarmiento 1976; Sarmiento 1990). Estos procesos productivos pueden ser controlados y analizados a través del uso de imágenes de satélite las cuales ofrecen una visión temporal y espacial de la cobertura y desarrollo de la vegetación (Hobbs 1989; Running 1989). Las imágenes multitemporales de baja resolución NOAA-AVHRR procesadas para la obtención del índice de vegetación (NDVI) revelan la respuesta fenológica de la vegetación de Llanos del Orinoco (Aronoff 1993; Hobbs 1989; Running 1989; Menenti et al. 1991; Azzali y Menenti 1999) El objetivo del presente trabajo es determinar a través del análisis de series de tiempo de imágenes NOAA los patrones fenológicos de los principales ecosistemas de Los Llanos del Orinoco.

Metodología

Datos

Los datos primarios utilizados en este trabajo son 54 imágenes NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) de sensor AVHRR (Advanced very high resolution radiometer). Estas imágenes fueron obtenidas del proyecto Global land 1-Km del Programa Internacional Biofera-Geosfera a través de la Internet, luego de haber sido procesadas según el estándar para AVHRR, corregidas geométrica y radiométricamente, resumidas en imágenes de composición de 10 días y calculado el índice de vegetación normalizado y diferenciado (NDVI). Descripción detallada de los procedimientos de procesamientos de estas imágenes son encontradas en Eidenshink y Faundeen (1998) y Sabins (1986). Los valores de NDVI utilizados en este trabajo fueron ajustados utilizando la siguiente ecuación:

$$NDVI_{actual} = (NDVI_{original} * 100) + 100$$

Métodos de análisis

El análisis de series de tiempo es una herramienta de investigación que permite generar modelos de comportamiento y patrones temporales de la variabilidad del crecimiento, ciclos de crecimiento y asociación estacional de la vegetación (Menenti et al. 1991; Azzali y Menenti 1999). En el presente trabajo se utilizó un análisis sencillo de la variabilidad fenológica y estacional de la vegetación. Utilizando como base del estudio el hecho que el NDVI es un estimador del vigor y productividad de la vegetación se detectaron los cambios en la fenología y dinámica de la vegetación monitoreando la variabilidad temporal del NDVI en los principales ecosistemas de los Llanos del Orinoco.

Para el estudio del patrón y dinámica fenológica se seleccionaron áreas conocidas donde se localizan ecosistemas siguiendo la definición dada por Sarmiento (1984). Los principales ecosistemas son: sabanas estacionales, sabanas hiperestacionales, sabanas semiestacionales, bosques de galería, bosques semiestacionales, agricultura con riego y agricultura de cultivos anuales sin riego. Las áreas seleccionadas para cada ecosistema fueron escogidas considerando el tipo de ecosistema mas frecuente en cada subregión o unidad principal de los Llanos (Tabla 1). Las principales subregiones de los Llanos del Orinoco son determinadas sobre la base de las características geológicas y geomorfológicas, (Sarmiento 1983; Acevedo y Silva 1985): Llanos de piedemonte, Llanos eólicos, Llanos sobre Mesas y Planicies aluviales.

Las imágenes fueron procesadas y desplegadas utilizando ILWIS (Integrated Land and Water Information System) el cual es un Sistema de Información Geográfica que procesa y analiza información espacial en formato Raster y Vectorial. Para cada área de ecosistema seleccionado se colectaron grupos de pixeles (mas de 30) de las 54 imágenes utilizando ILWIS, los valores de NDVI para cada grupo de pixeles fueron almacenados en una hoja de cálculo para su análisis, en la figura 1 se presenta el esquema metodológico de selección de pixeles.

Los valores de NDVI para cada imagen y para cada área de muestreo fueron manipulados estadísticamente y calculados los siguientes parámetros: promedio (AVG), valores máximos y mínimos, desviación estándar e intervalo de confianza. Los valores promedios, máximos y mínimos de NDVI para cada área de muestreo de los diferentes ecosistemas fueron desplegados en una gráfica cuyo eje x muestra la secuencia temporal de las imágenes en orden cronológico y el eje y los valores de NDVI.

Cada una de las gráficas para cada tipo de ecosistema fue analizada eliminando aquellas imágenes que mostraban valores de NDVI muy bajos que indican problemas de la imagen y que no siguen un patrón definido de cambios (Groten 1993a, 1993b); también son

eliminadas aquellas imágenes las cuales mostraban valores diferentes a 1 en las áreas de control (agua) que deberían mostrar el valor 1 para NDVI. Además de este análisis fueron chequeadas cada una de las 58 imágenes de manera visual para descartar aquellas que presentaron problemas radiométricos no detectados en la selección de píxeles. Una vez realizada esta operación de limpieza se ajustaron los puntos de las gráficas a una curva de tendencia tipo media móvil con período 2, obteniendo los modelos de variación fenológica para cada ecosistema.

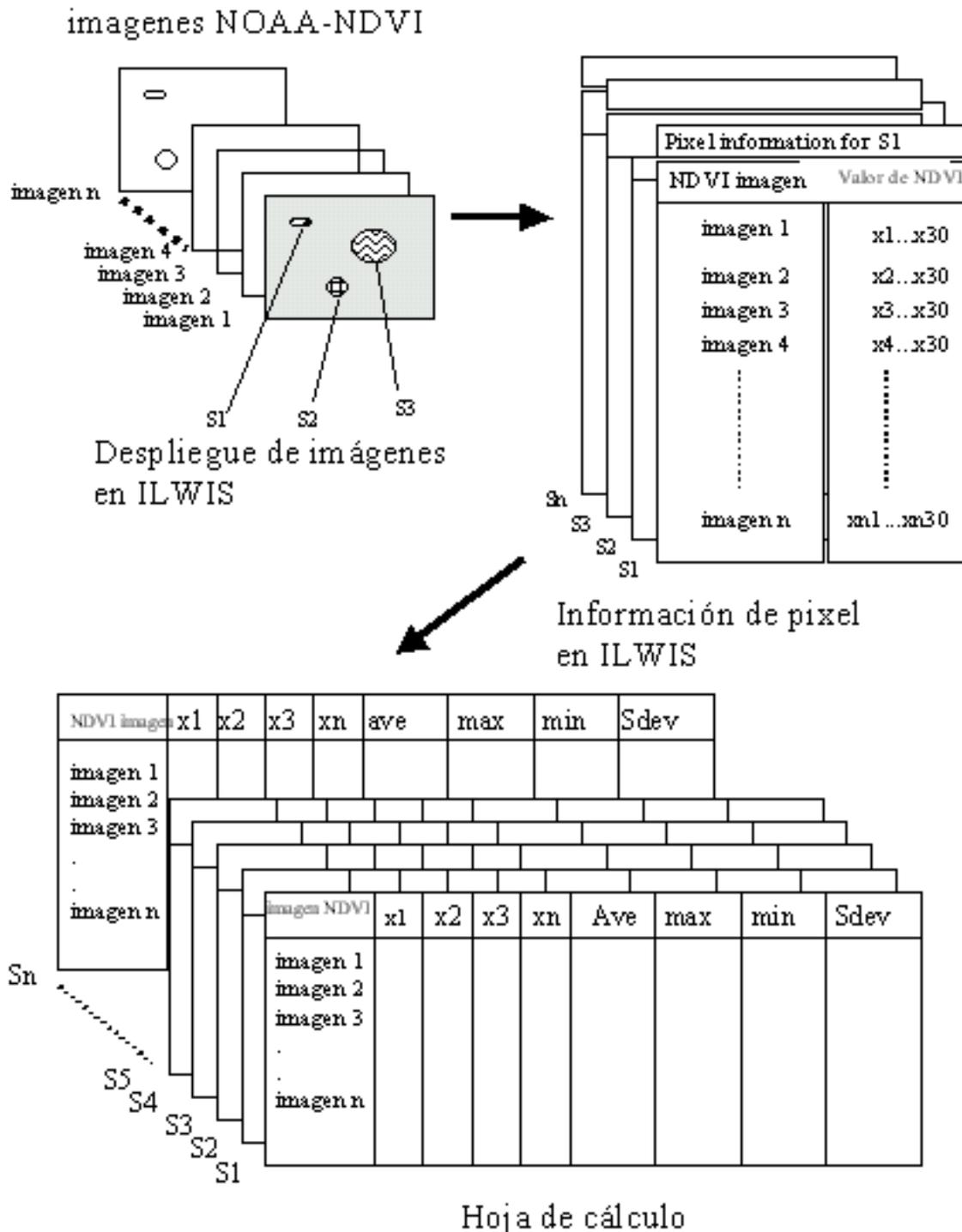
Tabla 1. Representación de los ecosistemas en cada subregión

SUBREGION	Bosque de Galería	Bosque húmedo tropical	Bosque estacional	Sabana estacional	Sabana hiperestacional	Sabana semiestacional	Agricultura de riego	Cultivos de estación
Piedemonte	P		P	PP			P	PP
Mesas	P			PP	P		P	P
Llanura Aluvial	P		P	P	PP	P	PP	P
Llanura eólica	P			P	P			
Fuera de Llanos		P(*)						

Donde P= presente; PP= presente y predominante; (*) = Utilización del Bosque húmedo tropical para comparación

Tabla 1. Representación de los ecosistemas en cada subregión SUBREGION Bosque de Galería Bosque húmedo tropical Bosque estacional Sabana estacional Sabana hiperestacion al Sabana semiestacion al Agricultura de riego Cultivos de estación Piedemonte

Figura 1. Esquema metodológico del análisis de series de tiempo



Resultados y Discusión

1. Áreas de muestreo seleccionadas

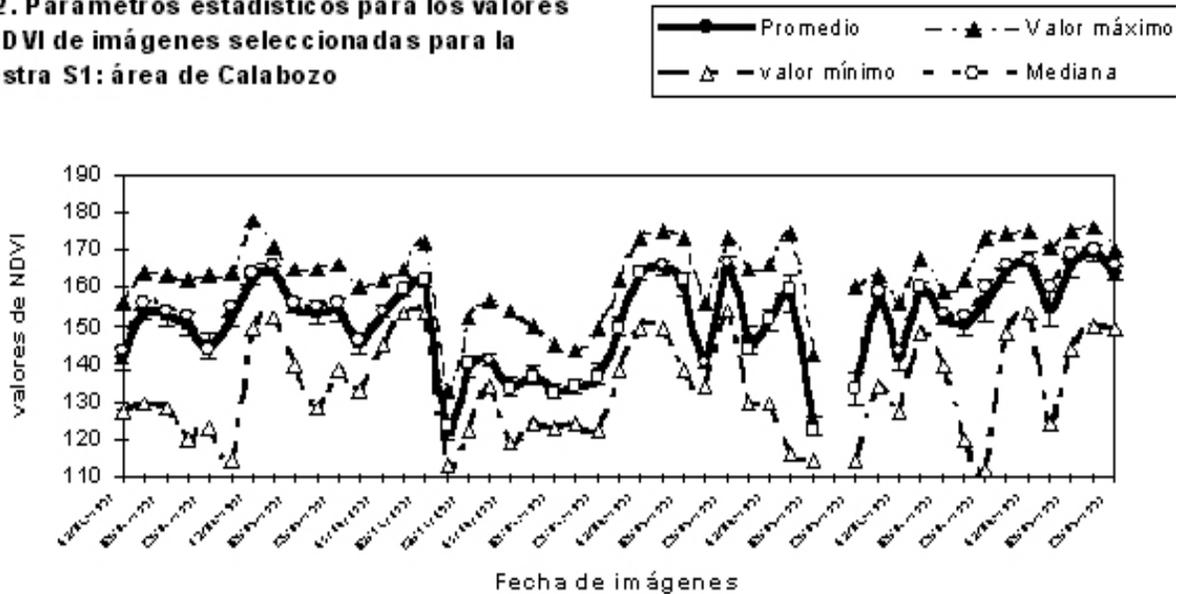
En la tabla 2 se presenta la descripción de las áreas seleccionadas para cada tipo de ecosistema, la información sobre las características del área son resumidas a partir de información detallada en Sarmiento (1983, 1984); Sarmiento y Monasterio (1971, 1975); Sarmiento et al. (1971a, 1971b); Silva et al. (1971); Monasterio et al. (1971); Ramia (1959); Chacón-Moreno (1991). La localización de algunas áreas está basada en información derivada de mapas (Huber y Alarcon 1988; MARNR 1983) y conocimiento personal del área de estudio.

Cod	Nombre de localidad	Ecosistema	Características	Localización
S1	Cultivos de arroz con riego, Calabozo	Agricultura con riego	Cultivos irrigados sobre una gran extensión de tierra. Agricultura intensiva. Sabana aluvial cerca del área de Mesas	Lat: 8.45 Lon: -67.50
S2	Bordes de los ríos Orinoco y Meta	Bosque de galería	Bosques de galería a lo largo de los bordes de los principales ríos y cursos de agua	Lat: 7.00 Lon: -67.20
S3	Área sobre Mesas I	Sabana estacional	Sabanas arboladas con matas sobre Mesas	Lat: 8.60 Lon: -67.20
S4	Área sobre Mesas II	Sabanas estacional e hiperestacional	Áreas de sabana con palmas, se inunda durante la estación de lluvias. Localizado sobre Mesas en áreas bajas.	Lat: 8.6 Long: -67
S5	Esteros de Camaguan	Sabana semiestacional	Esteros (gramíneas) con palmas. Ubicado sobre llanuras aluviales. Algunos bosques semiestacionales	Lat: 8 Long: -67
S6	Sabanas Inundables de Apure	Sabana hiperestacional	Áreas de sabana que se inundan durante períodos de 3 a 4 meses durante lluvias. Localizada sobre llanuras aluviales de desborde. Relieve de banco, bajío y estero.	Lat: 7.5 Lon: -69.
S7	Áreas de piedemonte	Sabanas estacionales y áreas disturbadas	Sabana arbolada sobre terrazas bajas. Áreas de cultivo y pastoreo extensivo. Localizadas sobre el piedemonte andino	Lat: 8.5 Lon: -70
S8	Planicies altas en los Llanos de Colombia	Sabana estacional e hiperestacional	Mesas cerca del río Meta	Lat: 4 Lon: -72.5
S9	Selva de Guayana	Bosque húmedo tropical	Diferentes áreas en los Edos. Bolívar y Amazonas. Valores altos de NDVI	Lat: 5...7 Lon: -64 ...-67
S10	Control	Agua	Áreas con ríos y embalses	Varias localidades

2. Análisis gráfico y selección de imágenes

La figura 2 muestra los datos no corregidos de valores de NDVI estadísticamente procesados correspondientes a la muestra S1 (área de Calabozo). En esta figura ya fueron eliminadas 8 imágenes cuyo control (agua) no tiene cero (0) como valor. La gráfica muestra que las curvas de variación del NDVI no son continuas y presentan caída con valores anómalos. Las imágenes correspondientes a estos valores fueron eliminadas de la gráfica. Por otro lado observamos que los valores máximos están más cercanos a los valores promedios, sin embargo no entran dentro del intervalo de confianza.

Fig. 2. Parámetros estadísticos para los valores de NDVI de imágenes seleccionadas para la muestra S1: área de Calabozo

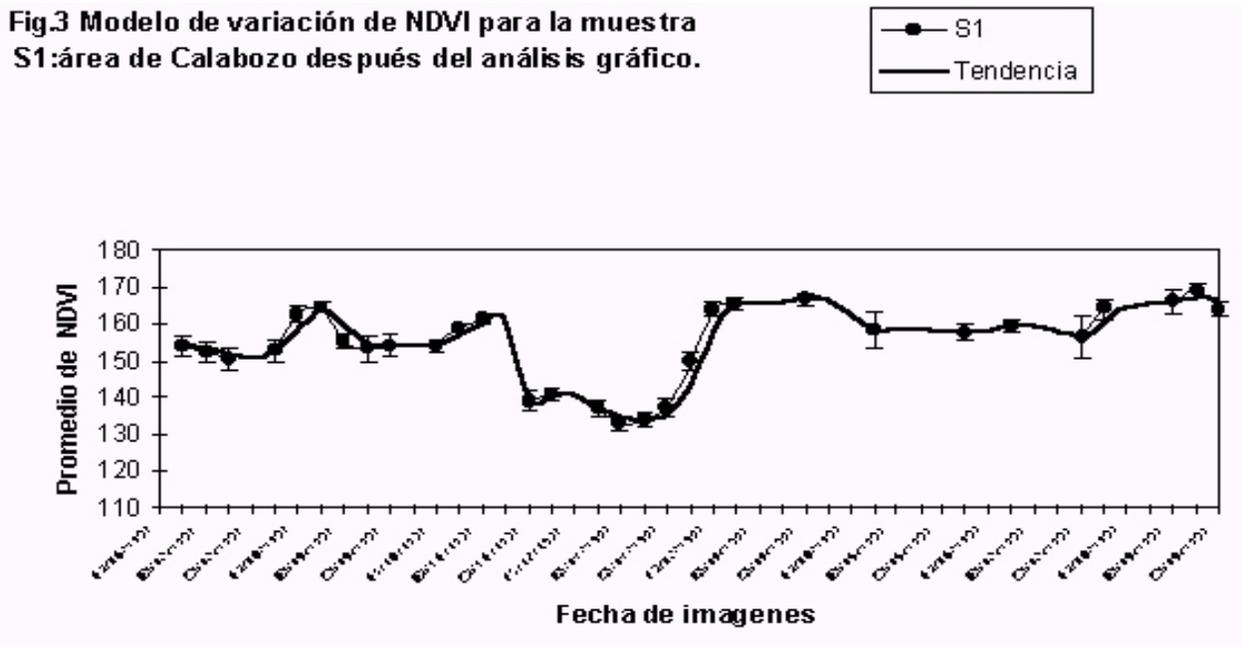


En la figura 3 se presenta el modelo de variación del NDVI para la muestra S1 una vez realizada la eliminación de las imágenes causantes de ruido, también se observa la línea de tendencia usando el tipo de promedio móvil. En esta gráfica se observa con mejor claridad la variabilidad temporal del ecosistema agrícola durante las diferentes estaciones climáticas. La línea de tendencia se ajusta muy bien a los puntos y permite completar y llenar los vacíos dejados por las imágenes eliminadas.

3. Análisis de series de tiempo

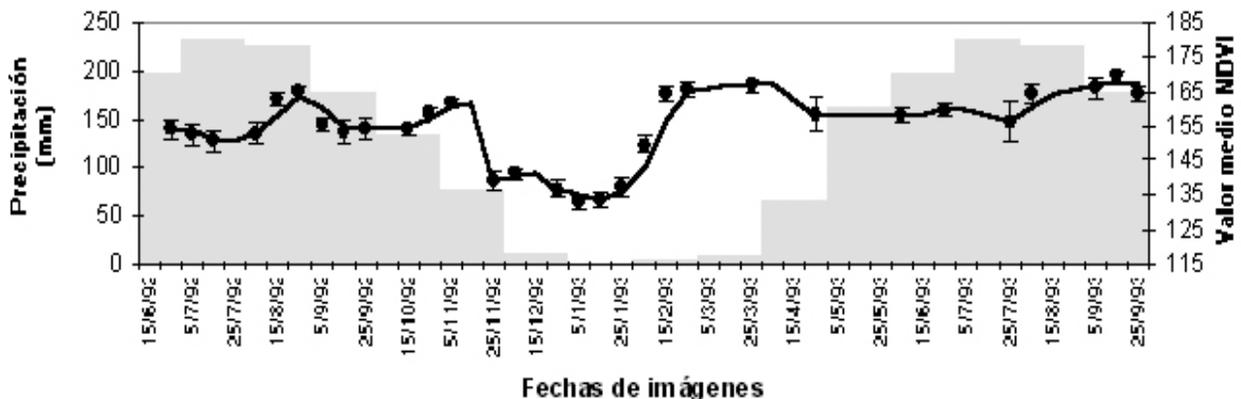
En las figuras 4a-4h se presentan los modelos de variación fenológica basados en los valores de NDVI para las distintas localidades seleccionadas y correspondientes a los diferentes ecosistemas señalados. En cada gráfico se muestra la variación estacional de la precipitación de la estación más cercana al área de estudio, para las figuras 4a, 4b y 4c se utilizaron los datos de la estación de Calabozo; para las figuras 4d y 4e se utilizó la estación de San Fernando de Apure y para las figuras 4f y 4g se utilizó la estación Barinas; para el gráfico 4h se utilizaron los datos para la selva húmeda tropical.

Fig.3 Modelo de variación de NDVI para la muestra S1: área de Calabozo después del análisis gráfico.



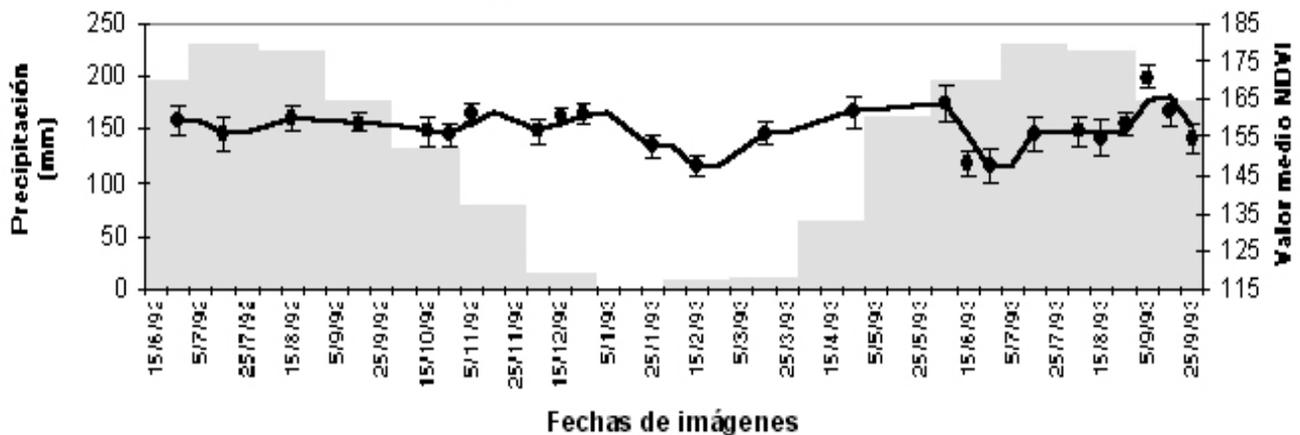
En la figura 4a se observa claramente una tendencia asociada a la estacionalidad de las lluvias; en el primer período de lluvias (de Junio 92 a Noviembre 92) los valores de NDVI se mantienen alrededor de 155, pero justo después cuando los valores de precipitación disminuyen ocurre también una disminución de los valores de NDVI indicando la finalización del cultivo y/o preparación de la tierra para nuevas cosechas de arroz. En la mitad del período seco ocurre un incremento considerable de valores de NDVI que seguramente están asociados con un nuevo período de cultivo que se beneficia del agua por riego ya que la precipitación es mínima en este período. Para el resto del período los valores se mantienen altos como los observados para 1992. Este patrón de variación fenológica indica un proceso continuo de desarrollo del cultivo a excepción de una parte en la época seca.

Figura 4a: S1 Agricultura con riego



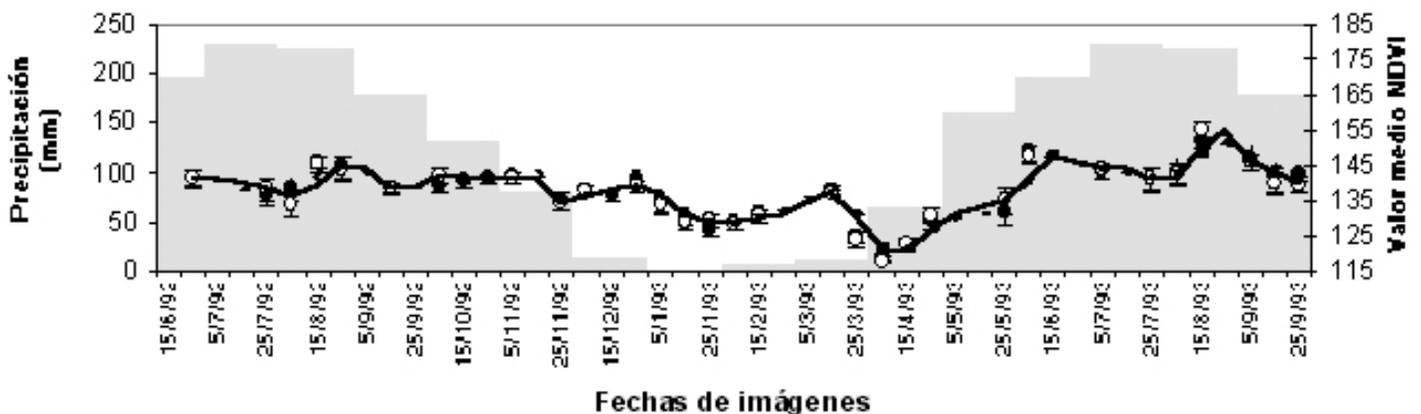
En la figura 4b se presenta el modelo de variación para el bosque de galería, se observa que los valores de NDVI durante el año 92 son estables y por encima de 155, y se presenta una disminución de dichos valores en la mitad del período seco, pero no es tan marcado como lo observado en la figura 4a para la misma fecha. Al inicio del período de lluvias los valores se incrementan nuevamente, sin embargo a mediados del período de lluvias los valores disminuyen probablemente por la inundación que sufren estos bosques que interfiere con la emisión de radiación y por consiguiente en los valores de NDVI. Luego del máximo de lluvias los valores se incrementan nuevamente.

Figura 4b: S2 Bosque de galería



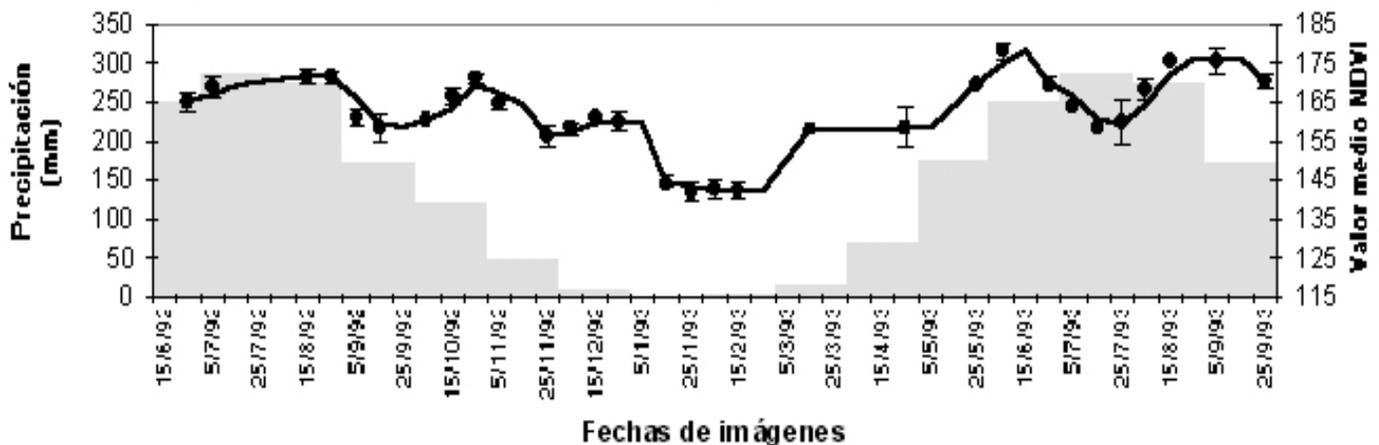
La figura 4c muestra los patrones de variación para las sabanas estacionales e hiperestacionales ubicadas sobre Mesas. Ambas curvas presentan valores y tendencias similares, razón por la cual se analizan de manera conjunta. Los valores registrados para estas áreas son los más bajos observados. Los valores van decreciendo lentamente a medida que disminuyen las precipitaciones hasta finales de la época seca e inicios de la estación de lluvias cuando se observan los valores mínimos. Es posible que esta disminución de los valores se deba a que durante este período es normal y frecuente la ocurrencia de fuegos en la sabana que eliminen toda la cubierta vegetal, por lo tanto los valores disminuyen. Inmediatamente después los valores se incrementan durante la estación de lluvias, mostrando el mismo patrón que para el año 92.

Figura 4c: S3 y S4 Sabanas estacionales e hiperestacionales sobre Mesas



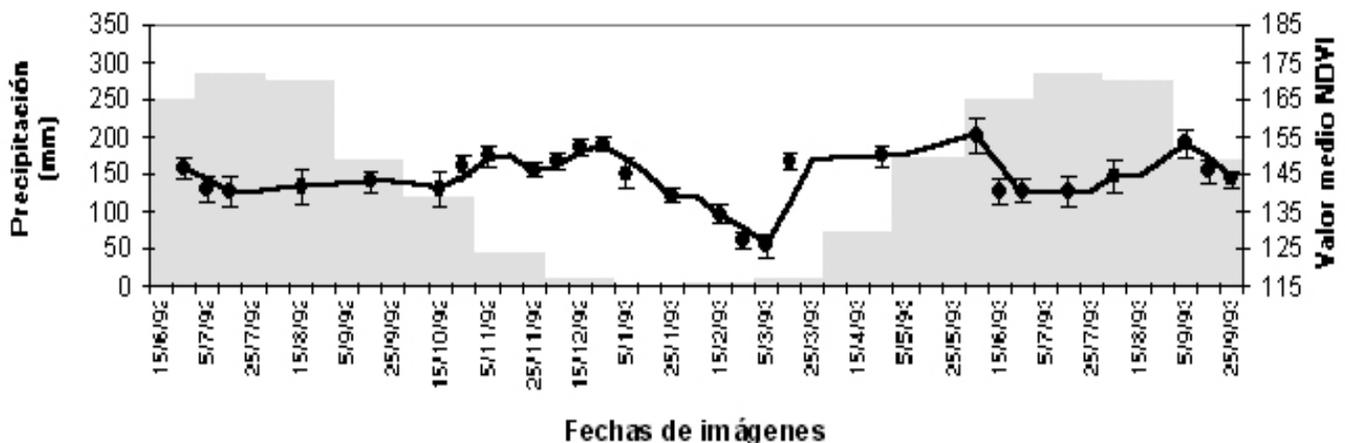
En la figura 4d se observa el patrón fenológico para la sabana semiestacional, donde se presentan valores relativamente altos durante la estación de lluvias (1992 y 1993) sin embargo en la mitad de estos períodos se observa una disminución de los valores probablemente debido al proceso de inundación cuando el agua interfiere la emisión de radiación de la vegetación que sobresale por encima del nivel de agua. También se observa claramente que la vegetación verde se mantiene durante buena parte de la estación seca y los valores mínimos registrados en la época seca no son inferiores a 140. Los valores en general son bastante altos con relación a los demás ecosistemas, lo cual refleja su alta productividad asociada a la vegetación de gramíneas de metabolismo C4 y con disponibilidad de recursos (agua) durante todo el año.

Figura 4d: S5 Sabana semiestacional (estero Camaguan)



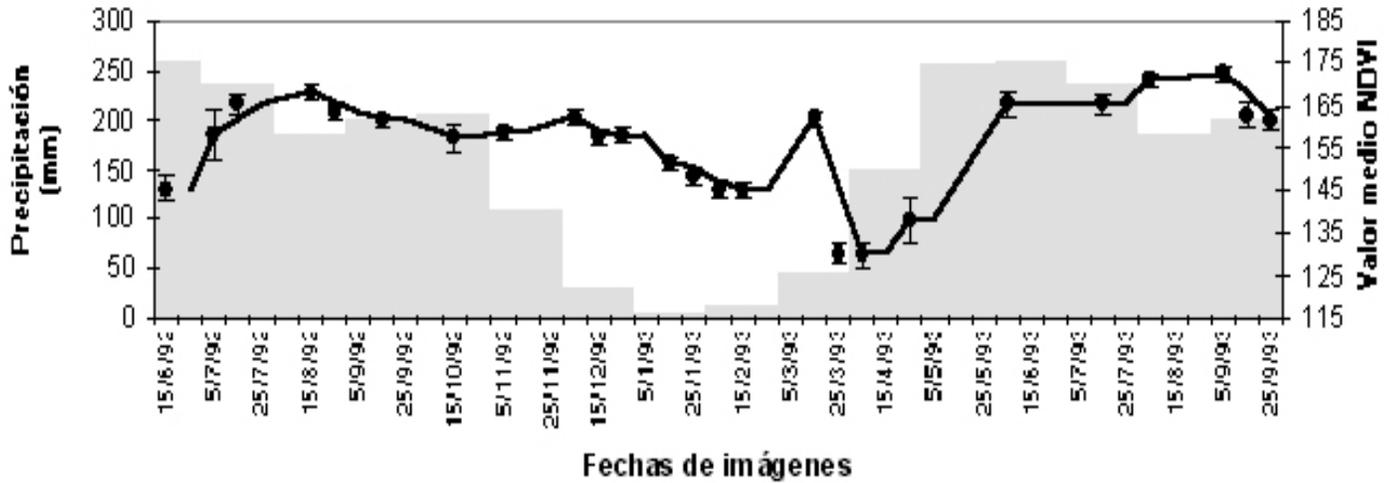
En la figura 4e se muestra el ritmo de variación fenológico para la sabana hiperestacional. Se observa que en general los valores son mas bajos que los observados en la sabana semiestacional. Durante la estación de lluvias los valores son altos mostrando incrementos al inicio y fin de la estación de lluvias cuando la disponibilidad de agua es mayor ya que las áreas no están inundadas, mientras que en el medio de la estación de lluvias estos ecosistemas permanecen inundados disminuyendo la capacidad productiva debido al estrés por exceso de agua. A finales de la estación seca se observa igualmente una disminución de los valores de NDVI ocasionados por la falta de agua en el suelo para mantener la productividad (estrés por déficit de agua en el suelo).

Figura 4e: S6 Sabana hiperestacional (Apure)



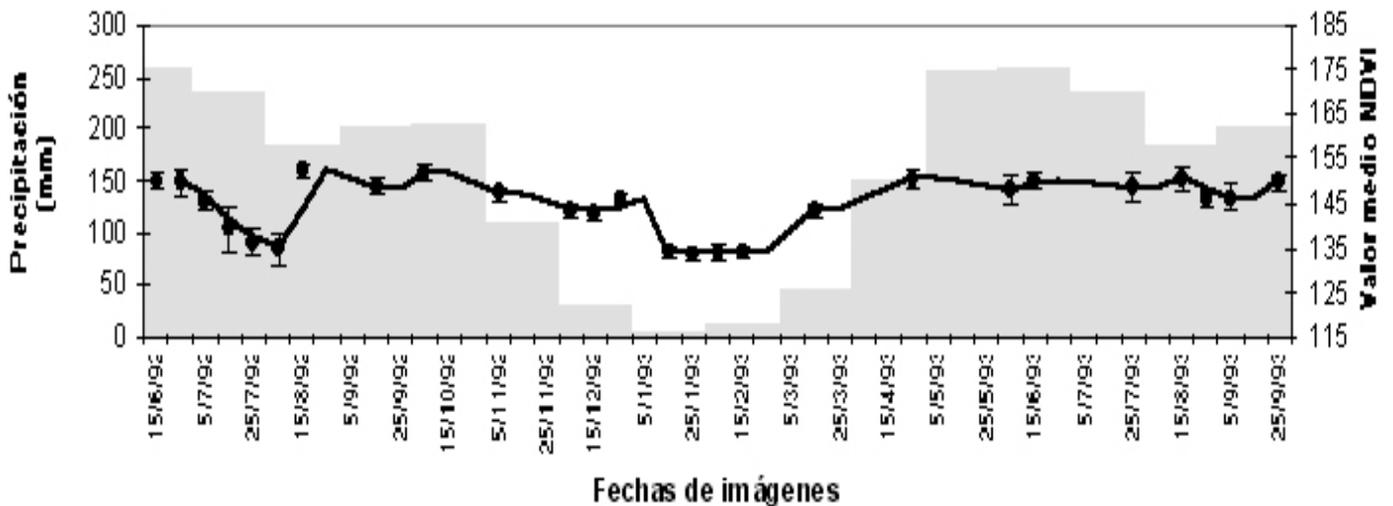
La figura 4f muestra un patrón de variación fenológico muy bien asociado con los cambios estacionales de precipitación, donde los valores mas altos corresponden a la estación de lluvias y disminuyen durante la estación seca. Un detalle a resaltar en esta figura es el aumento sobresaliente de valores a finales de la estación seca y luego la caída inmediatamente después, lo cual puede deberse a la permanencia de cultivos agrícolas en esta fecha y/o a quemas ocurridas luego de un corto período de crecimiento al inicio de las lluvias.

Figura 4f: S7 Sabana estacional y cultivos agrícolas



La figura 4g muestra un patrón muy similar al observado para el mismo tipo de ecosistemas en las Mesas venezolanas, lo cual indica que el comportamiento fenológico de las sabanas sobre planicies altas en Colombia tienen igual variación o patrón productivo asociado a los cambios estacionales de la precipitación.

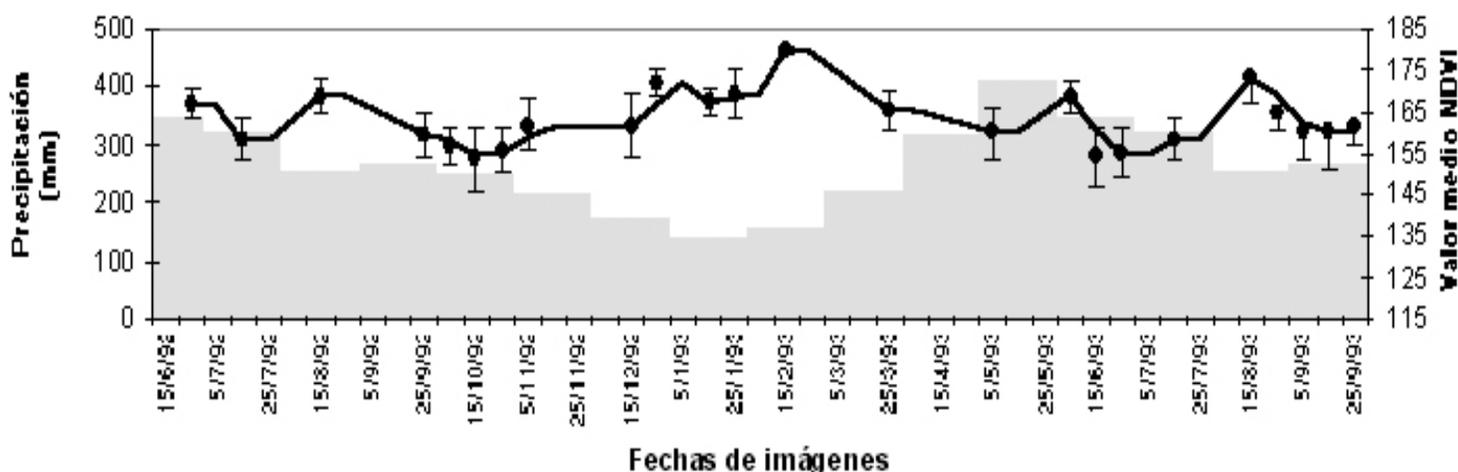
Figura 4g: S8 Sabanas sobre Mesas en Colombia



La última gráfica (4h) muestra el patrón de variación para el bosque húmedo, presentando valores altos durante todo el año, y a diferencia de los ecosistemas de sabana muestra los mayores valores de NDVI durante la época seca.

Las curvas de variación del patrón fenológico presentadas para los diferentes ecosistemas muestran una estrecha relación con las características descritas por Sarmiento (1983, 1990), Sarmiento *et al.* 1971, Silva *et al.* 1971, Chacón-Moreno (1999), donde la distribución anual de la precipitación genera condiciones de disponibilidad de agua que dependen entre otras cosas de las características geomorfológicas de las áreas donde se desarrollan estos ecosistemas y al tipo de manejo de las reservas de agua al abastecer los agroecosistemas durante la estación seca desfavorable.

Figura 4h: S9 Bosque húmedo tropical (Guayana)



Conclusiones

En este trabajo se ha podido utilizar el índice de vegetación (NDVI) para reconocer patrones de variabilidad temporal de la vegetación a través del procesamiento de imágenes NOAA utilizando un Sistema de Información Geográfica para coleccionar la información de los valores de NDVI de las distintas áreas seleccionadas.

Luego de un proceso de limpieza de las curvas de variación del NDVI eliminando las imágenes con problemas, se detecta un patrón de variación en cada ecosistema que se relaciona e interpreta con los cambios estacionales de la precipitación durante el período de tiempo estudiado.

Un conocimiento previo sobre las características y funcionamiento de los ecosistemas seleccionados es necesario para la correcta interpretación de los modelos de variación fenológica obtenidos. Así la interpretación de variaciones (disminución) de los valores de NDVI durante la estación de lluvias cuando esperaríamos mayor vegetación verde son explicados en varios de estos ecosistemas por los procesos de inundación, como en el caso de las sabanas hiperestacionales. Por otro lado valores altos de NDVI durante la estación seca indican la presencia de vegetación verde y en plena producción para ecosistemas como la sabana semiestacional que permanece con disponibilidad de agua de forma natural en esta época y los agroecosistemas con suplemento adicional de agua (riego).

La interpretación de estos patrones de variación fenológica pueden servir para la selección y clasificación de imágenes con la finalidad de elaborar mapas ecológicos cuyas unidades representen los diferentes ecosistemas mas predominantes del área de estudio y las características mas sobresalientes sobre su estructura y función como elementos del paisaje.

Agradecimientos

La presente investigación fue financiada a través del proyecto C-706-95-01-C de Eulogio Chacón , por lo tanto se agradece al CDCHT, de la Universidad de Los Andes, por el financiamiento otorgado. Agradezco al International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC) por la colaboración en la investigación de este proyecto y agradezco especialmente al Dr. Jan de Leeuw por las sugerencias realizadas en el transcurso de la investigación. El presente trabajo forma parte del capítulo 3 de la Tesis Doctoral de Eulogio Chacón, en preparación.

Bibliografía

Acevedo, M. and Silva, J, 1985. Proyecto Orinoco-Apure. Información Ambiental y Ecológica sobre los Llanos del río Orinoco. MARNR, Dirección General Sectorial de Planificación y Ordenación del Ambiente.

Aronoff, S. 1993. Geographic Information System: A management perspective. WDL Publications, Canada.

Azzali, S. and Menenti, M. 1999. Mapping isogrowth zones on continental scale using temporal Fourier analysis of AVHRR-NDVI data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 1(1): 9-20.

Chacón-Moreno, E. 1991. Vegetación y Flora de la Sabanas venezolanas. En BIOMA-MARNR (eds.). *Plan de Ordenación y Manejo del Parque Nacional Santos Luzardo*. Tomo I. Capítulo 3.2.1, pp 38-82. Caracas - Venezuela.

Chacón-Moreno, E. 1999. Ecological diversity in the Llanos del Orinoco, Venezuela. A landscape ecological approach. Ecological model of the hydric dynamics and vegetation relationship in flooded savanna. Tesis Doctoral, en preparación.

Groten, S.M.E. 1993a. From monitoring to management - experiences from NOAA-NDVI application research in semi-arid Africa. Proc int symp operationalization of remote sensing. Enschede, 4:15-26.

Groten, S.M.E. 1993b. Earth observation for ecologic hazard mitigation and prevention. ITC journal. 1993-4.

Hobbs, R.J. 1989. Remote Sensing of Spatial and Temporal Dynamics of Vegetation. In Hobbs, R.J. and Mooney, H.A. (eds). Remote Sensing of Biosphere Functioning. Ecological Studies 79. Springer-Verlag, Berlin.

Huber, O. and Alarcón, C. 1988. Mapa de vegetación de Venezuela, Escala 1:2.000.000. Editorial Arte, S.A., Caracas.

Eidenshink J.C. and Faundeen, J.L. 199?. The 1-Km AVHRR Global Land data set: First satages in implementation. U.S. Geological Survey, EROS Data Center, Sioux Falls, South Dakota 57198, U.S.A.

MARNR. 1983. Venezuela en Mapas. Departamento de Cartografía Temática. División de Mapas. Caracas.

Menenti, M., Azzali, W., Verhoef, W. And Van Swol, R. 1991. Mapping Agro-Ecological

Zones and Time Lag in Vegetation Growth by means of Fourier Analysis of Time Series of NDVI Images. Rep 32, DLO-Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands, 46 pp.

Monasterio, M., Sarmiento, G. y Silva, J. 1971. Reconocimiento ecológico de los Llanos Occidentales. III. El sur del Estado Barinas. *Acta Cient. Venezolana* 22(5): 153-169.

Monasterio, M. and Sarmiento, G. 1976. Phenological strategies of plant species in the tropical savanna and the semi-deciduous forest of the Venezuelan Llanos. *Journal of Biogeography* 3: 325-356.

Ramía, M. 1959. *Las Sabanas de Apure*. Ministerio de Agricultura y Cria. Dirección de Recursos Naturales Renovables. Caracas.

Running, S.W. 1989. Estimating Terrestrial Primary Productivity by Combining Remote Sensing and Ecosystem Simulation. In Hobbs, R.J. and Mooney, H.A. (eds). *Remote Sensing of Biosphere Functioning*. Ecological Studies 79. Springer-Verlag, Berlin.

Sabins, F.F. 1987. *Remote Sensing. Principles and Interpretation*. W.H. Freeman and Company, New York

Sarmiento, G. (Ed.) 1990. *Las sabanas americanas. Aspecto de su biogeografía, ecología y utilización*. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana. Caracas - Venezuela.

Sarmiento, G. 1983. The savannas of Tropical America. In F. Bourlière (Ed.), *Tropical Savannas*. Elsevier Pu. Co. Amsterdam pp 245-288.

Sarmiento, G. 1984. *The Neotropical Savannas*. Harvard University Press. Cambridge.

Sarmiento, G. y Monasterio, M 1971. Ecología de las sabanas de América Tropical. I. Análisis macroecológico de los Llanos de Calabozo, Venezuela. *Rev. Geogr.* 21: 5-38.

Sarmiento, G. and Monasterio, M. 1975. A critical consideration of the environmental conditions associated with the occurrence of Savanna Ecosystems in Tropical America. In F. Golley and E. Medina (Eds.), *Tropical Ecological Systems*. Springer-Verlag New York Inc. pp 223-250.

Sarmiento, G., Monasterio, M. and Silva, J. 1971a. Reconocimiento ecológico de los Llanos Occidentales. I. Las unidades ecológicas regionales. *Acta Cient. Venezolana*. 22(2): 52-59.

Sarmiento, G., Monasterio, M. and Silva, J. 1971b. Reconocimiento ecológico de los Llanos Occidentales. IV. El oeste del Estado Apure. *Acta Cient. Venezolana*. 22: 170-180.

Silva, J., Monasterio, M. y Sarmiento, G. 1971. Reconocimiento ecológico de los Llanos Occidentales. II. El norte del Estado Barinas. *Acta Cient. Venezolana*. 22(2): 60-70.