

Dinámica temporal del NDVI del bosque y pastizal natural en el Chaco Seco de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina

The temporal dynamic of NDVI, of forest and grassland in the Chaco Seco of Santiago Del Estero province, Argentina

Hugo Raul Zerda¹
Jose Luis Tiedemann²

Resumen

Mediante imágenes mapas del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) derivados del SPOT 4-*Vegetation*, se analizó la dinámica interanual y mensual de muestras de bosque nativo y pastizal natural de la provincia de Santiago del Estero, Argentina. Los resultados, muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) para ambas coberturas, en la dinámica interanual y mensual. La actividad fotosintética del bosque se muestra superior a la del pastizal natural, analizada a partir de las curvas de NDVI. La dinámica del bosque y del pastizal natural, sigue el modelo regional de precipitaciones, alcanzando mayores valores de NDVI, durante la estación húmeda estival (Octubre-Mayo) y menores valores de NDVI, durante la estación seca invernal (Junio-Septiembre). El bosque presentó mayor estabilidad que el pastizal natural, ante variaciones en las precipitaciones y temperatura, esperable por la mayor diversidad de especies en los bosques, y especialmente por las leñosas de raíces más profundas. La curva NDVI del pastizal natural, muestra sensibilidad al efecto de las elevadas intensidades de radiación en el verano, evapotranspiración y sequías; y debido a la mayor eficiencia del sistema radicular para el aprovechamiento del agua disponible, responde de manera inmediata ante las precipitaciones.

Palabras clave: NDVI; SPOT 4-*Vegetation*; Chaco Seco; bosque; pastizal natural; monitoreo; fenología.

1 Dr. en Cs. Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Avenida Belgrano (sur) 1912, (cp 4200), Capital, Santiago del Estero, Argentina, TEL: 0385-509550/fax: 543854509555, E-mail: hzerda@unse.edu.ar

2 Ing. Zoot., M. Sc. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales, Av. Belgrano (sur) 1912, G4200ABT, Santiago del Estero Capital, Argentina. E-mail: mann@unse.edu.ar

Abstract

The interannual and monthly dynamic of samples of forest and grassland from Santiago del Estero province, Argentine Republic, was analyzed through maps of vegetation of normalized difference (NDVI) index derived from Vegetation/SPOT4 sensor. The results demonstrate that both covers, interannual and monthly dynamic mentioned before, have significant differences ($p < 0.05$). The photosynthetic activity of the forest is superior compared with the one of the grassland, analyzed from the NDVI curves. The forest and the grassland dynamic, follows the regional precipitation pattern, reaching higher values from NDVI, during the summer humid season (October–May) and lower values of NDVI, during the winter dry season (June–September). The forest has a greater stability than the grassland under variations in precipitations and temperature, as a consequence of a greater diversity of species that compose it, especially woody species with deep roots. The grassland NDVI curve shows sensibility to the effects of the high intensities of summer radiation, evapotranspiration and droughts, and it responds immediately under precipitation events, due to the great efficiency of the radicular system in order to get the water available.

Key words: NDVI; SPOT 4-*Vegetation*; dry Chaco; forest; grassland; monitoring; fenology.

Introducción

Los sensores remotos tuvieron y tienen un rol fundamental en el desarrollo de investigaciones sobre coberturas vegetales a diferentes escalas (JUSTICE et al., 1985). De acuerdo con Townshend et al. (1985), solo es posible el monitoreo del comportamiento de la vegetación y su estacionalidad, si se dispone de datos derivados de sensores remotos sobre bases temporalmente regulares.

El nuevo sensor SPOT 4-*Vegetation*, fue desarrollado específicamente para realizar estudios de vegetación y obtener muestras temporalmente oportunas y espacialmente precisas de la vegetación (MAYAUX et al., 2000).

Los índices de vegetación han sido ampliamente utilizados para derivar atributos funcionales y biofísicos de las coberturas vegetales (TUCKER, 1979). Esto se debe a

su elevada correlación con variables, como la biomasa verde o el índice de área foliar, y por ello con la tasa de fotosíntesis, lo que permite utilizarlos como una herramienta para la discriminación de la vegetación (TUCKER et al., 1985).

El índice más utilizado para el procesamiento de datos satelitales, en especial para el monitoreo de vegetación, es el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), Tucker (1979). En su relación con los parámetros físicos, el NDVI fue utilizado para el monitoreo de la vegetación, y su comportamiento ante las fluctuaciones climáticas a escalas globales (TOWNSHEND et al., 1987), continentales (TUCKER et al., 1985; JUSTICE et al., 1985) y regionales (NICHOLSON et al., 1990; WANG et al., 2003). La gran utilidad del NDVI, para el monitoreo de sequías y sus relaciones con las

precipitaciones, se debe a la estrecha relación que existe entre el vigor de la vegetación verde y la disponibilidad de humedad del suelo, especialmente en zonas áridas y semiáridas (TUCKER et al., 1985; JUSTICE et al., 1985; NICHOLSON et al., 1990).

De esta manera, para comprender la relación entre el NDVI, de coberturas específicas y las variables climáticas, en especial con las precipitaciones, debe tomarse en cuenta la estacionalidad de la vegetación, debido a que el impacto de la disponibilidad de agua sobre la vegetación cambia considerablemente entre diferentes periodos fonológicos de la vegetación (WANG et al., 2001).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar la dinámica interanual y mensual del NDVI, de las coberturas bosque y pastizal natural de Santiago del Estero mediante una base de datos correspondiente al periodo 1999 al 2002.

Materiales y métodos

La provincia de Santiago del Estero se ubica en el Distrito chaqueño occidental (CABRERA, 1976). La provincia se localiza entre 25°40' y 30°30' de latitud Sur, y entre 61°40' y 65°10' de longitud Oeste, y posee una superficie de 145.758 km².

El tipo climático es semiárido BShW, según la clasificación climática de Köepen. La precipitación en la provincia presenta un gradiente que varía entre 750-800mm en el este, 550mm en el centro y 450mm en el extremo sudoeste, incrementándose nuevamente en el extremo noroeste hasta casi 800mm. La evapotranspiración anual se ubica entre los 900-1.100mm, con déficit hídrico todo el año, en un promedio de 550mm. La isoterma de los 47°C cubre a la provincia, siendo la

media anual histórica de 27,7° C (TORRES BRUCHMANN, 1981). La magnitud y distribución de la precipitación y la temperatura en el año, caracterizan el ambiente, con marcado período seco en invierno que se prolonga hasta el inicio de primavera, y lluvias mayormente en el verano (Figura 1).

La comunidad clímax de los bosques xerofíticos de Santiago del Estero (Figura 2), se caracteriza por un estrato arbóreo superior conformado por dos especies principales, el quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis lorentzii*) y el quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*). De menor altura, otras especies arbóreas como el itín (*Prosopis kuntzei*), el mistol (*Zizyphus mistol*), la brea (*Cercidium australis*), Tala (*Celtis sp.*), el Algarrobo blanco (*Prosopis alba*), el Algarrobo negro (*Prosopis nigra*), el Guayacán (*Caesalpinea paraguariensis*), el Chañar (*Geoffroea decorticans*), sombra de toro (*Jodina rombifolia*). De menor porte aún, especies arbustivas altas, como: Garabato macho (*Acacia furcatispina*), Garabato blanco (*Acacia praecox*), Garabato hembra (*Mimosa detinens*), el Churqui (*Acacia caven*), la Tusca (*Acacia aroma*), el Vinal (*Prosopis rusciolia*), y el Atamisqui (*Capparis atamisquea*), entre otras. El estrato menor, con gramíneas como *Setaria gracilis* y *Digitaria sanguinalis*, y bromeliáceas (ARGENTINA, 2004). Sobre el pastizal natural (Figura 2), Renolfi (1992) indica que su estructura es la más simple de todas las unidades de vegetación chaqueña, de origen edáfico o pirógeno, posee un estrato herbáceo dominante, con una gramínea típica dominante, el Aibe (*Elionorus muticus*), y géneros asociados como *Bothriochloa*, *Schizachyrium*, *Heteropogon*, *Pappophorum*, *Eragrostis*, *Chloris*, *Paspalum*, son las principales productoras de biomasa.

El NDVI es una combinación aritmética que permite resaltar los contrastes en la respuesta de los patrones espectrales

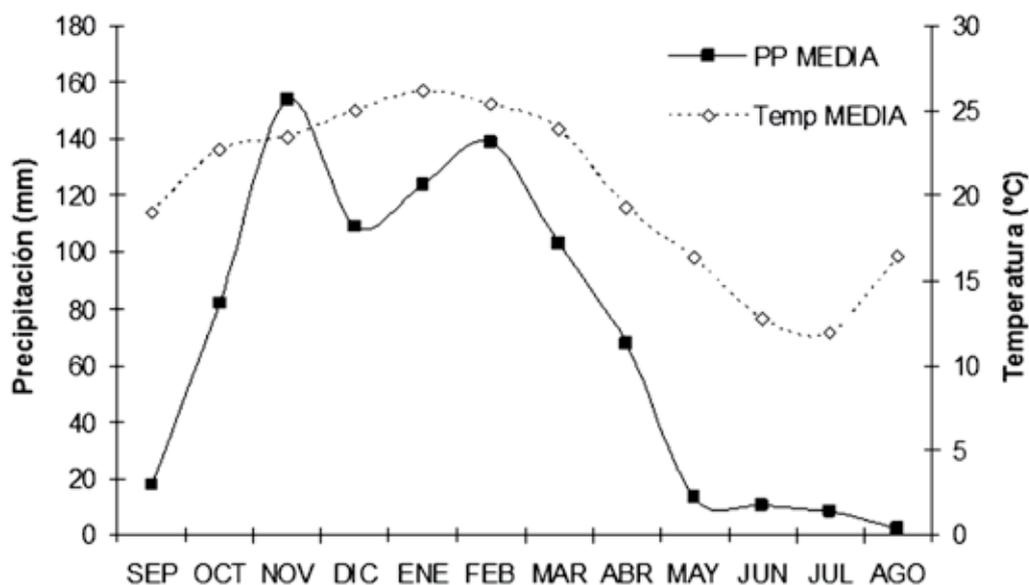


Figura 1. Distribución de la precipitación media mensual (PP MEDIA) y temperatura media mensual (Temperatura MEDIA) de la Ciudad Capital de la provincia de Santiago del Estero, período 1999-2002

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional Argentino

de la vegetación en las porciones roja (λ^{RED} = 0,58 - 0,68 μm) e infrarroja cercano (λ^{NIR} = 0,725 - 1,1 μm) y se deriva mediante la siguiente ecuación: $NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED)$. Los mapas de NDVI, utilizados en este estudio provienen del *Flemish Institute for Technological Development*, perteneciente al *Global Vegetation Monitoring Project*, disponibles en <http://free.vgt.vito.be/>. Debido a la gran variación diaria que puede sufrir el NDVI (STÖCKLI; VIDALE, 2004), se utilizaron de composiciones decádicas del índice de vegetación de diferencia normalizada, estandarizados a 8 bits, captados mediante el sensor SPOT 4-*Vegetation*. Este sensor posee una baja resolución espacial (1 km x 1 km), y una resolución temporal decádica, la que permite estudiar variaciones climáticas mensuales e interanuales (LHERMITTE et al., 2004). Su ancho de cobertura es de 2250 km, su resolución geométrica (IFOV) de 1,15 in

nadir, con una superposición de píxeles menor a 0,5 km (MAYAUX et al., 2000).

El área de estudio se delimitó mediante una máscara binaria de la Provincia de Santiago del Estero. No obstante, en la etapa del procesamiento de síntesis de los datos originales se elimina la mayoría de los píxeles con nubes, algunos mapas tuvieron contaminación residual y fallas en la calibración de los detectores en sentido de las columnas. Para evitar este último efecto, todos los mapas de la serie fueron controlados visualmente.

Para captar la dinámica temporal de las coberturas bosque y pastizal natural, se determinaron áreas que mantuvieron el mismo tipo de cobertura durante el periodo analizado (áreas invariantes). La validación de cada cobertura se realizó mediante análisis visuales de imágenes TM-LANDSAT5 y ETM+ LANDSAT7 de diversas fechas, y la base satelital en el nivel de alta resolución espacial de *Google Earth*. La tabla 1, resume

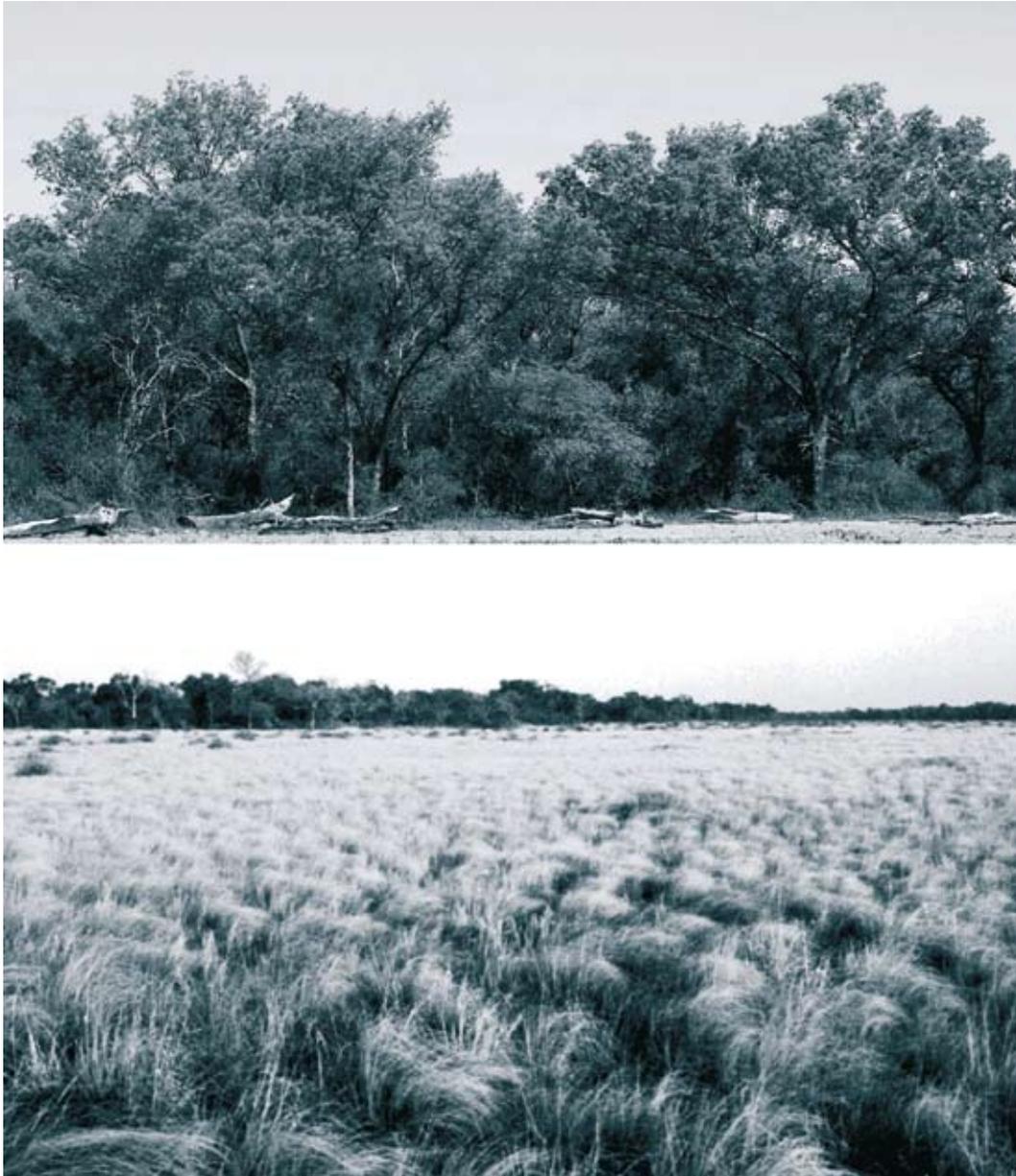


Figura 2. Un perfil típico de los bosques xerofíticos chaqueños de múltiples estratos (arriba) y de un pastizal natural (abajo)

las características y ubicación de las áreas invariantes utilizadas; aquí es importante citar que el tamaño de las áreas de bosque y pastizal obedece a la fragmentación actual del paisaje.

La dinámica temporal, interanual y mensual de las coberturas, se estudió mediante

el análisis de varianza, ajustándose el modelo de parcelas divididas a las mediciones repetidas en el tiempo, por cumplir con la condición de Huynh-Feldt ($\epsilon = 0.49$). En este modelo, el factor tratamiento se asocia a las unidades experimentales de mayor tamaño, y el factor

Tabla 1. Características de las áreas de control

Cobertura	Superficie seleccionada (km ²)	Numero mínimo <i>píxeles</i> muestreados	Coordenadas (Longitud, Latitud)
Bosque	12	8	-61.751958, -25.686871
Bosque	28	8	-62.164156, -27.012787
Bosque	16	8	-63.970065, -28.540999
Bosque	18	8	-64.169540, -28.623799
Bosque	17	8	-63.717310, -28.988532
Pastizal	12	8	-61.758799, -28.988533
Pastizal	12	8	-63.816591, -25.974630
Pastizal	20	8	-62.108206, -26.978829
Pastizal	16	8	-62.371403, -29.529340

tiempo a las sub-parcelas, los sujetos o unidades anidadas dentro del factor principal constituyen el término error para el factor tratamiento. El número de muestras n para el bosque y el pastizal natural se determinó mediante la metodología propuesta por Fitzpatrick-Lins (1981), siendo el mínimo $n= 8$ *píxeles*.

La tasa de incremento y decremento estacional de cada cobertura se determinó mediante la siguiente ecuación: $\Delta\text{NDVI} = (\text{NDVI}_2 - \text{NDVI}_1) / (T_2 - T_1)$. Para determinar ambas tasas se consideraron los meses con los valores mínimos y máximos de la curva de NDVI. Para la tasa de incremento se consideró el NDVI de diciembre como el NDVI 2, y el NDVI de septiembre como el NDVI 1, siendo la diferencia en tiempo $T_2 - T_1 = 120$ días. De manera similar, para la segunda tasa de incremento de la curva, se consideró el NDVI de abril como NDVI 2, y el NDVI de diciembre como NDVI 1, siendo la diferencia en tiempo $T_2 - T_1 = 150$ días. Para determinar la tasa de decremento, se consideró el NDVI de agosto como NDVI 2, y el NDVI de abril como NDVI 1, siendo la diferencia en tiempo $T_2 - T_1 = 150$ días.

La variabilidad temporal, interanual y mensual del NDVI, se determinó mediante el Coeficiente de Variación (CV), siendo el $\text{CV} = (\text{Desvío Standard} / \text{Media}) * 100$.

Resultados y discusiones

Dinámica interanual del NDVI

Se determinó que existen diferencias interanuales altamente significativas entre las dos coberturas ($p < 0,0001$). El bosque tuvo una mayor estabilidad anual (CV. 12%) con respecto al pastizal natural (CV. 14%). El bosque presentó una mayor actividad fotosintética anual (NDVI=192), superior en un 15,4% a la del pastizal natural (NDVI=141) (Figura 3). Se determinó que existen diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) en la dinámica interanual del bosque. La dinámica del bosque fue similar en los años 1999 y 2001 y se diferenciaron de la serie el año 2000 y 2002. El año 2000 se caracterizó por su menor promedio (NDVI=203) y por su gran variación (CV. 14%), por el contrario, el año 2002 se diferenció del resto por su mayor promedio (NDVI=212) y una mayor estabilidad (CV. 11%) (Figura 3).

Se determinó que existen diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) en la dinámica interanual del pastizal natural. Su dinámica natural fue similar en los años 2001 y 2002 y se diferenciaron de la serie 1999 y 2000. El año 2000 se caracterizó por su mayor promedio (NDVI=196) y por su

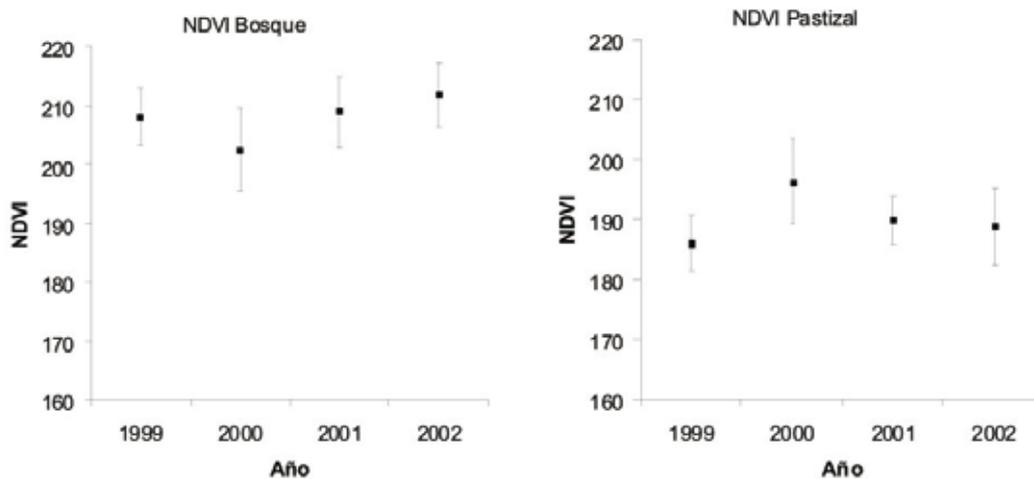


Figura 3. Dinámica interanual, del NDVI, del bosque y del pastizal natural en el período 1999-2002 (escala 8 bits), con sus correspondientes valores de CV%

gran variación, (CV. 14%), por el contrario 1999, se caracteriza por su menor promedio (NDVI=186) y una mayor estabilidad (CV. 9%) (Figura 3). Respecto de las variaciones en los resultados, Minetti (2007) determinó mediante índices de tendencias regionales de sequías, que la región de estudio tuvo un período con excesos hídricos desde 1999 a 2003; lo que estaría de acuerdo con los valores medios de precipitación anual acumulada de 829 mm, del período analizado.

Dinámica mensual del NDVI

Los perfiles de NDVI (Figura 4), muestran que las dos coberturas responden a la dinámica estacional regional, definida en una estación húmeda estival, con predominio de valores elevados de NDVI; mientras que presenta una estación seca invernal, con predominio de valores bajos de NDVI, para ambas coberturas. Otros estudios citan patrones similares para formaciones vegetales de zonas semiáridas de Brasil, como en la Caatinga (ESPIG et al., 2006) y coberturas

vegetales del Noroeste de Minas Gerais (LIESENBERG et al., 2006).

Se determinaron diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) entre la dinámica mensual del NDVI del bosque y la del pastizal natural para los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y enero. A su vez, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambas coberturas ($p > 0,05$) en los meses diciembre, febrero, marzo y abril.

La dinámica de las coberturas es un reflejo de la marcada estacionalidad en la región. Las principales diferencias se dieron durante la primavera, parte del verano (enero) y en el invierno. Durante septiembre, ambas coberturas se diferenciaron en el promedio de NDVI, sin embargo tuvieron similares coeficientes de variación. Las principales diferencias se dieron en octubre, en donde el NDVI medio del bosque superó en un 11,5%, al del pastizal, teniendo una gran variación (CV. 18%) (Figura 4). A partir de septiembre, ambas coberturas iniciaron un período de crecimiento exponencial que se

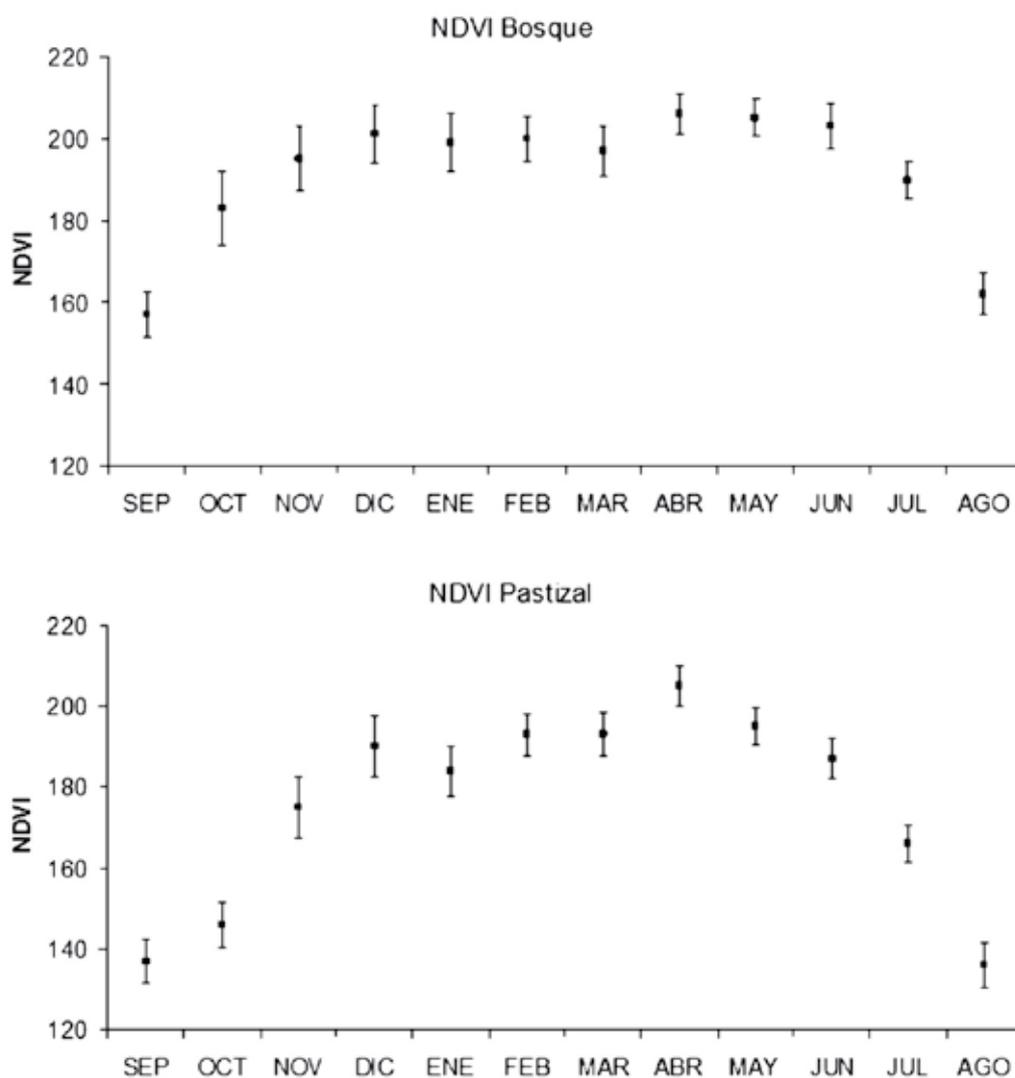


Figura 4. Dinámica mensual del NDVI del bosque y del pastizal natural en el período 1999-2002 (escala 8 bits), con sus correspondientes valores de CV%

prolonga hasta diciembre, alcanzando tasas incrementales similares de 0,4 NDVI/día. La respuesta exponencial coincide con el comienzo de la estación lluviosa y con la salida del periodo seco de la región, y concuerda con los resultados de Nicholson et al. (1990), quienes afirman que formaciones vegetales de ambientes áridos responden de manera clara e inmediata ante eventos

de precipitaciones, evidenciada en picos de NDVI. Similares respuestas obtuvieron Wang et al. (2003) especialmente después de periodos secos.

Durante el verano, la única diferencia estadística entre las coberturas se dio en enero ($p < 0,0001$). Durante ese periodo, diciembre a marzo inclusive, el pastizal natural tuvo una tasa de crecimiento de 0,17

NDVI/día, mientras que para el bosque fue de 0,06 NDVI/día. La dinámica del pastizal en el verano se caracterizó por la presencia de picos de baja y alta de NDVI; los de baja, en enero y marzo, estarían asociados a la elevada intensidad de la radiación solar, evapotranspiración y déficit hídrico, que pudo afectar la tasa de fotosíntesis (Figuras 1 y 4). Esto está de acuerdo con los resultados obtenidos con Wang et al. (2003), que indica que el NDVI está negativamente correlacionado con las temperaturas máximas del verano. Considerando que la región estudiada se encuentra en el denominado polo de calor de Sudamérica (TORRES BRUCHMANN, 1981), los picos de alta, de diciembre y febrero, podrían estar relacionados a la gran adaptación a periodos de estrés hídrico del pastizal natural, ya que responde con elevada eficiencia ante eventos de precipitaciones. Este sería el mismo comportamiento observado por Nicholson et al. (1990). Los resultados de Wang et al. (2001) reafirmarían este efecto, observando fuertes correlaciones asociadas con discretos eventos de precipitaciones, precedidos por periodos de relativa sequía. Los resultados son consistentes con estrategias adaptativas desarrolladas por especies nativas para el uso eficiente del agua, como pastizales nativos, anuales o perennes con raíces profundas, o bosques nativos que poseen un efecto *buffer* ante fluctuaciones climáticas, debido a la predominancia de especies perennes leñosas de raíces profundas (WANG et al., 2003).

Las dos coberturas alcanzaron, durante el otoño, específicamente en abril, similares valores máximos de NDVI, y coeficientes de variación (Figura 4). Durante esta estación, la provincia de Santiago del Estero presenta condiciones climáticas óptimas para el desarrollo de la vegetación función de la

temperatura y la humedad disponible en el suelo. Según los resultados, se evidencia que el pastizal natural es el más beneficiado por tales condiciones, en especial por la temperatura.

Durante el invierno, ambas coberturas decrecen a partir de junio, llegando a sus valores mínimos en agosto y la dinámica de las dos coberturas en estos meses es similar, según sus coeficientes de variación (Figura 4). El pastizal natural decrece más rápidamente, a una tasa de $-0,5$ NDVI/día, mientras que el bosque lo hace a una tasa de $-0,3$ NDVI/día. Durante este periodo, el bosque mantiene una actividad fotosintética hasta fines de junio, aún con temperaturas bajas y falta de precipitaciones. Este comportamiento podría asociarse con la diversidad de especies que conforman el bosque santiagueño; esta continuidad de una mínima actividad fotosintética durante la estación seca en ambientes áridos también fue detectada por Nicholson et al. (1990). Estos autores atribuyeron esta mínima actividad, a la presencia de especies siempre verdes o semi-siempre verdes en el bosque, que mantienen una tasa fotosintética mínima durante la estación seca. El pastizal natural, se hiela ante las primeras heladas y disminuye rápidamente su NDVI.

Conclusiones

El índice de vegetación de diferencia normalizada derivado del sensor SPOT 4-*Vegetation* es un sensible y preciso indicador, que posibilitó la detección y monitoreo de la dinámica temporal de dos de las principales coberturas vegetales de la provincia Santiago del Estero.

La dinámica interanual y mensual del NDVI del bosque y del pastizal natural son significativamente diferentes. La

potencialidad para la producción de biomasa verde, tanto interanual como mensual del bosque fue superior a la del pastizal natural.

El modelo regional de precipitaciones incide en la dinámica del bosque y del pastizal natural, tomando valores elevados de NDVI, durante la estación húmeda estival (octubre-mayo) y valores bajos de NDVI durante la estación seca invernal (junio-septiembre).

El bosque, según la dinámica del NDVI, presenta una mayor estabilidad, con respecto al pastizal natural, ante las variaciones estacionales de precipitaciones y temperaturas, debido posiblemente a la mayor diversidad de especies que lo componen (efecto *buffer*).

El pastizal natural sufre los efectos de las condiciones locales, con elevadas intensidades de radiación, evapotranspiración y sequías, que afectan su actividad fotosintética

y productividad de biomasa verde. Esta cobertura respondería de manera inmediata ante las precipitaciones, lo que es esperable por la gran eficiencia del sistema radicular en el uso del agua de las especies que lo conforman.

Debido al carácter exploratorio del presente trabajo, el mismo puede considerarse una base para la comprensión de la fenología foliar a gran escala. Deberían estudiarse además, otras fuentes de variación, como los tipos de suelos, el grado de cobertura, efectos de actividades como el pastoreo y el aprovechamiento forestal.

Agradecimientos

Por el asesoramiento en el análisis estadístico, al Dr. Carlos López, profesor de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Referencias

- ARGENTINA. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. **Atlas de los bosques nativos argentinos**, Dirección de Bosques, Proyecto BIRF 4085-AR, 2004. p. 244.
- CABRERA, A. L. Regiones Fitogeográficas Argentinas. **Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería**. 2 Ed. Tomo II. Fascículo I. Acme S.A.C.I., Buenos Aires. Argentina, 1976. 85 p.
- ESPIG, S. A.; SOARES, J. V.; SANTOS, R. J. Variações Sazonais do EVI e NDVI em áreas do semi-árido brasileiro. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS A ENGENHARIA FLORESTAL, 7., 17-19 de out. 2006, Curitiba-Parana, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 234-239, 2006.
- FITZPATRICK-LINS, K. Comparison of Sampling Procedures and Data Analysis for a Land-use and land-cover map. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 47, p. 343-351, 1981.
- JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G.; HOLBEN, B. N.; TUCKER, C. J. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 6, p.1271-1318, 1985.

LHERMITTE, S.; VERBESSELET, J.; NACKAERTS, K.; COPPIN, P. Segmentation of vegetation-soil-climate complexes for south Africa based on SPOT Vegetation time series. In: **International Users Conference, Belgium**, 24-26 march, 2004. Disponible en: <<http://www.vgt.vito.be/vgtapen/pages/home.htm>>. Acceso: 17 dez. 2007.

LIESENBERG, V.; PONZONI, J. F.; GALVÃO, L. S. Análise da dinâmica sazonal de índices de vegetação do sensor Modis em algumas fitofisionomias do bioma cerrado. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS A ENGENHARIA FLORESTAL, 7., 2006, **Anais...** Curitiba-Paraná, Brasil, 17-19 de Outubro, 2006. p. 234-239.

MAYAUX, P.; GOND, V.; BARTHOLOÉ, E. Mapping the Forest-Cover of Madagascar with SPOT-4 Vegetation data. In: **Vegetation, Land Surface Mapping, Centre National D'études Spatiales**, Lake Maggiore, Italy, 3-6 april, 2000. Proceedings, p. 183-188.

MINETTI, L. J. **Tendencia regional de sequías del Noroeste Argentino**. Disponible en: <http://www.labclisud.com.ar/Portada_indice.asp>. Acceso: 17 dez. 2007.

NICHOLSON, S. E.; DAVENPORT, L. M.; MALO, A. R. A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa, using Normalized Difference Vegetation Index from NOAA AVHRR, **Climatic Change**, v. 17, p. 209-241, 1990.

RENOLFI, R. F. **Los pastizales de la Región Chaqueña**. En: Jornadas de Actualización Técnica en Producción Bovina en Áreas de Secano de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina, p. 17-26, 1992.

STÖCKLI, R.; VIDALE, P. L. European plant phenology and climate as seen in a 20-year AVHRR landsurface parameter dataset. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, p. 3303-3330, 2004.

TORRES BRUCHMANN, E. Climatología General y Agrícola de la Provincia de Santiago del Estero. Universidad Nacional de Tucumán-FAZ, Tucumán, Argentina, 1981.

TOWNSHEND, J. R. G.; JUSTICE, C. O.; KALB, V. Characterization and classification of South American land cover types using satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, p. 1189-1207, 1985.

TUCKER, J. C. Red and Photographic infrared lineal combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Enviroment**, v. 8, p. 127-150, 1979.

TUCKER, J. C.; TOWNSHEND, J. R. G.; GOFF, T. E. African land-cover classification using satellite data. **Science**, v. 227, n. 4685, p. 369-375, 1985.

WANG, J.; PRICE, K. P.; RICH, P. M. Spatial patens of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, p. 3827-3844, 2001.

_____. Spatial patens of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. **International Journal of Remote Sensing**, v. 11, p. 2345-2364, 2003.