

Caracterización del comportamiento fenológico de las coberturas vegetales en un sector de la Pampa Deprimida (Argentina): una aproximación utilizando series temporales de NDVI

Characterization of land surface phenology of land cover types on the Flooding Pampa (Argentina): an approach using NDVI time series

Bruno Lara^{1(*)}
Marcelo Gandini²

Resumen

En la Pampa Deprimida los trabajos que analizan la dinámica y el funcionamiento de la vegetación se realizan en una escala de mayor detalle y en tiempos cortos. La teledetección ha facilitado el estudio de la dinámica y comportamiento fenológico de la vegetación a partir de índices espectrales específicos, capaces de abarcar diferentes escalas espacio-temporales. Los objetivos de este trabajo son analizar y caracterizar la dinámica fenológica de las coberturas vegetales más representativas de la Pampa Deprimida mediante el análisis de series temporales de NDVI del sensor MODIS. Se utilizó una serie temporal de 253 imágenes de NDVI de las estaciones de crecimiento 2000-2011 las cuales fueron ajustadas en TIMESAT. Este ajuste permitió extraer un conjunto de atributos fenológicos de importancia ecológica: inicio y fin de la estación de crecimiento, duración de la estación de crecimiento, valor y momento del máximo NDVI y la integral anual de la curva de NDVI. Las curvas anuales de crecimiento típicas para cada una de las coberturas presentaron patrones similares, con el inicio de las estaciones de crecimiento en agosto y el final entre mayo y junio, el momento de mayor actividad fotosintética se dio en marzo. Una característica común fue la disminución del NDVI a comienzos de enero, relacionado con las sequías estivales que se producen en la región. En la matriz del paisaje se observó una caída significativa del NDVI acumulado en el período 2000-2011, lo que podría indicar una sobre-utilización por parte del ganado. La metodología aquí empleada complementa las características

-
- 1 Prof. Cs. Biológicas; M. Sc.; Becario Doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de la provincia de Buenos Aires; Laboratorio de Investigación y Servicios en Teledetección de Azul (LISTA), Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires; Dirección: República de Italia 780, Azul, Buenos Aires, Argentina; E-mail: brunolara73@gmail.com. (*) Autor para la correspondencia.
 - 2 Dr. en Biología; Director del Laboratorio de Investigación y Servicios en Teledetección de Azul; Docente de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires; Dirección: República de Italia 780, Azul, Buenos Aires, Argentina. E-mail: mgandini@faa.unicen.edu.ar

Recebido para publicação em 06/10/2014 e aceito em 15/12/2015

Ambiência Guarapuava (PR) v.12 n.4 p. 765 - 783 Set./Dez. 2016 ISSN 2175 - 9405
DOI:10.5935/ambiencia.2016.04.01

fisonómico-estructurales y su comportamiento fenológico lo que permite abordar en mayor profundidad el análisis de la heterogeneidad funcional y temporal a escala de paisaje.

Palabras clave: MODIS; teledetección; pastizal; TIMESAT; fenología; dinámica de la vegetación.

Abstract

In the Flooding Pampa, studies analyzing the dynamics and functioning of vegetation are done on a scale of greater detail and in a short time. Remote sensing has enabled the study of the dynamics and land surface phenology from specific spectral indices capable to cover different spatial and temporal scales. The aims of this study are to analyze and characterize the phenological dynamics of land cover types most representative on the Flooding Pampa using MODIS NDVI time series. We used a NDVI time series of 253 images from 2000-2011 growing seasons and then were fitted in TIMESAT. This fitting allowed us to extract a set of ecologically important phenological attributes: start and end of the growing season, length of the growing season, value and time of maximum NDVI and annual integrated NDVI curve. The typical annual curves for each land cover type had similar growth patterns, with the start of the growing season in August and end in May-June, the peak of photosynthetic activity was in March. A common feature was a decrease of NDVI in early January because of summer droughts that are prevalent in the region. At landscape matrix, a significant decrease in NDVI accumulated in the period 2000-2011 was observed, which may indicate an over-use by livestock. The methodology used here complements the physiognomic-structural and phenological characteristics allowing a better approach in the analysis of functional and temporal heterogeneity at landscape scale.

Key words: MODIS; remote sensing; grassland; TIMESAT; phenology; vegetation dynamics.

Introducción

En Argentina existen numerosos mapeos regionales de comunidades vegetales e inventarios florísticos (BATISTA et al., 1988; BURKART et al., 1998; CABRERA, 1976; LEÓN et al., 1979; VERVOORST, 1967), aunque la mayoría de ellos son estáticos. En general, en la región los trabajos

que abordan la dinámica de la vegetación lo hacen a una escala de mayor detalle y en tiempos relativamente cortos, evaluando la abundancia de los tipos de plantas o su fisonomía (LATERRA; MACEIRA, 1996; LATERRA et al., 1998; LATERRA, 2003; MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974; PARUELO et al., 2004; PERELMAN et al., 2003; PERELMAN et al., 2005). En

este sentido, el uso de series temporales de imágenes satelitales brinda la posibilidad de monitorear la dinámica de la vegetación a diferentes escalas espacio-temporales.

La teledetección ha revolucionado la comprensión de la Tierra como un sistema complejo e integrado, lo cual ofrece una gran capacidad para predecir cambios en el clima, cambios en el uso/cobertura de la tierra y demás problemáticas ambientales que afectan a la sociedad en la actualidad. Normalmente, el uso de la teledetección suele estar asociado a las descripciones de tipos de uso/cobertura de la tierra, caracterizando la heterogeneidad del paisaje y su patrón espacial (CABELLO; PARUELO, 2008; McGARIGAL et al., 2005; PARUELO, 2008). Sin embargo, la utilización de información proveniente de sensores remotos brinda la capacidad de obtener y describir diferentes aspectos funcionales de los ecosistemas (ALCARAZ-SEGURA et al., 2009; LARA; GANDINI, 2013b; PARUELO, 2008;), los cuales pueden mejorar la clasificación en unidades (o tipos) funcionales de ecosistemas, como así también estimar distintos atributos del comportamiento fenológico de la vegetación (EKLUNDH; JÖNSSON, 2009; IVITS et al., 2013; PARUELO et al., 2001).

El análisis de los atributos del comportamiento fenológico de la vegetación involucra evaluar diferentes aspectos del intercambio de materia y energía entre la biota y la atmósfera (ALCARAZ-SEGURA et al., 2009; PARUELO et al., 2001) y su estudio mediante sensores remotos posee algunas ventajas sobre el uso tradicional de variables estructurales: por un lado, reflejan una respuesta más rápida frente a los disturbios y por el otro, permiten la caracterización cualitativa y cuantitativa de los servicios ecosistémicos (secuestro de

carbono, balance hidrológico, etc.). Otra gran ventaja en la utilización de esta clase de atributos es que resultan más sencillos de ser monitoreados a escalas diferentes y bajo la utilización de un protocolo común (ALCARAZ-SEGURA et al., 2009).

En este contexto, varios índices espectrales derivados de las imágenes satelitales están vinculados a variables funcionales del ecosistema como la evapotranspiración y la productividad primaria neta (DI BELLA et al., 2000; PARUELO et al., 1997). En particular, el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) es uno de los más utilizados ya que es un estimador lineal de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación y su mapeo permite describir los patrones regionales de productividad primaria neta y los diferentes atributos del comportamiento fenológico a partir de la curva anual de crecimiento (ALCARAZ-SEGURA et al., 2009; EKLUNDH; JÖNSSON, 2009; JÖNSSON; EKLUNDH, 2002, 2004; LARA; GANDINI, 2013b; PARUELO et al., 1997; PARUELO et al., 2001; VÁZQUEZ et al., 2013). De esta manera, el NDVI se ha empleado en la caracterización de unidades funcionales de ecosistemas (ATZBERGER; EILERS, 2011; GANDINI et al., 2012; IVITS et al., 2013; LARA; GANDINI, 2013b; PARUELO et al., 2001), en el mapeo de la heterogeneidad de paisajes (ALI et al., 2013; BARRAZA et al., 2013) y su relación con variables climáticas (MELENDEZ-PASTOR et al., 2010; VAN LEEUWEN et al., 2013; YANG et al., 2012).

Recientemente en la región se han analizado los cambios de cobertura en los últimos 40 años a escala de paisaje, la representatividad espacial del mosaico

de comunidades en un sector de llanura típico y la asociación entre la topografía y la principal comunidad natural de la región (LARA; GANDINI, 2013a; LARA; GANDINI, 2014; VERCELLI et al., 2013). Sin embargo, no se ha evaluado la dinámica de las principales coberturas vegetales de la Pampa Deprimida, caracterizando el comportamiento fenológico de cada una de ellas. Los objetivos del presente trabajo son analizar y caracterizar la dinámica fenológica de las coberturas vegetales más representativas en la Pampa Deprimida a partir de los distintos atributos obtenidos de series temporales de NDVI.

Materiales y métodos

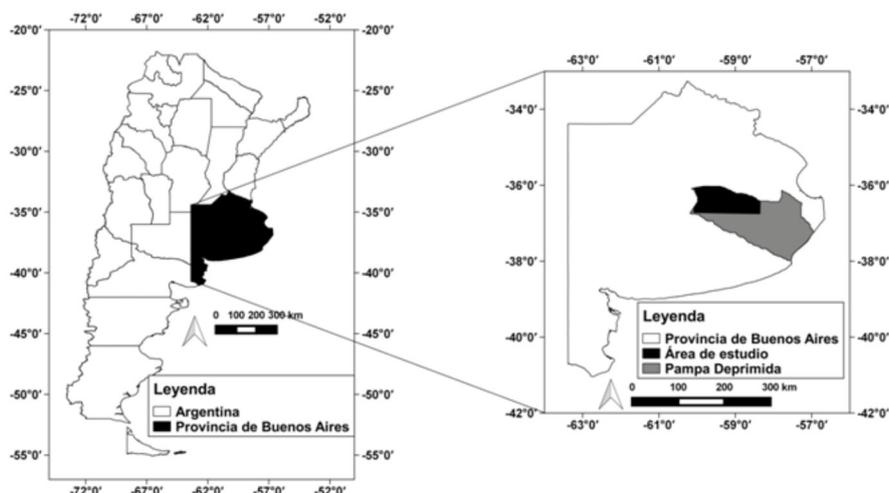
Características del área de estudio

De acuerdo a la regionalización realizada por Gandini et al. (2012) basada en criterios agroecológicos, el área de

estudio se sitúa en la Pampa Deprimida y comprende un área de 3860,7 km² (Figura 1). Esta zona agroecológica se destaca por la presencia de parches de pajonal de *Paspalum quadrifarium* de gran extensión y en buen estado de conservación (HERRERA et al., 2009; LARA; GANDINI, 2013a; LARA; GANDINI, 2014) y comprende gran parte de los municipios de Rauch, Azul, Las Flores, Tapalqué, Alvear, Pila y Ayacucho. Se trata de una depresión muy amplia, pero con una muy escasa pendiente que oscila entre 0,025 y 0,5%, lo que dificulta el drenaje y promueve la generación de un sistema de tipo endorreico o arreico (IHLLA, 2003).

Según Köppen (1918), el clima es templado húmedo, con una temperatura media anual de 13,9 °C, siendo 6,3 °C la del mes más frío y 21,2 °C la del mes más cálido. El régimen de precipitaciones presenta una distribución normal, con una media de 850,4 mm entre 1911 y 1980 y de 970 mm entre 1980 y 2000, producto de un ciclo húmedo

Figura 1 - Localización del área de estudio



Fuente: Lara, B.; Gandini, M. (2016).

a partir de la década de 1980, siendo la intensidad de lluvias mayor en el período primavera-estival (IHLLA, 2003). En lo referente a los suelos, su material corresponde a finos sedimentos de origen volcánico que fueron depositados a finales del Pleistoceno y Holoceno (TRICART, 1973). Predominan los suelos hidro-halomórficos (Natracuoles y Natracualfes) con horizontes A muy poco desarrollados y horizontes Bt arcillosos, sódicos y cercanos a la superficie. Además, es muy frecuente hallar un horizonte petrocálcico (tosca) a una profundidad de 50-80 cm, lo que imposibilita el uso agrícola en algunos sectores (INTA, 1977).

La Pampa Deprimida se caracteriza por ser esencialmente ganadera, dedicada a la cría y re-cría de ganado vacuno. Sin embargo, durante los últimos 40 años la expansión de la frontera agrícola ha sido notoria en suelos mejor drenados, debidos principalmente al cultivo de soja. De esta manera, el incremento en el número de cabezas de ganado se produce en un área cada vez menor, reflejándose en una mayor presión de pastoreo sobre el pastizal natural (información verbal)³. Por ejemplo, estimaciones realizadas por el INTA Cuenca del Salado (datos no publicados) mencionan que la superficie agrícola ha superado las 800.000 ha, al mismo tiempo que el número de cabezas de ganado ha alcanzado más de 6,5 millones, con picos de 1,47 cabezas/ha.

Coberturas vegetales analizadas

Las coberturas vegetales utilizadas en el presente trabajo son el pajonal de *Paspalum quadrifarium* (paja colorada),

³ Información dada por el Ing. Agr. Horacio de Dominis en Facultad de Agronomía (Azul, Argentina) en marzo de 2014.

matriz de pastos cortos y pasturas cultivadas, debido a que ellas son las que poseen una mayor representatividad en el área de estudio. El pajonal de paja colorada es un pastizal dominado total o parcialmente por *Paspalum quadrifarium*, que alcanza matas densas de 1 a 1,5 m de altura (FRANGI, 1986; VERVOORST, 1967). En general, se encuentra en forma de mosaico alternando con la matriz de pastos cortos, que se corresponde con un conjunto de comunidades de bajo porte conformadas por especies nativas y exóticas tales como *Phyla canescens*, *Conyza bonariensis*, *Juncus imbricatus*, *Plantago lanceolata*, *Oxalis* sp., *Cypella herbertii*, *Cirsium vulgare*, *Carduus acanthoides*, *Lolium perenne*, *Cynodon dactylon*, entre otras (VERVOORST, 1967). Teniendo en cuenta su mayor receptividad ganadera con respecto al pajonal maduro, es frecuentemente utilizado como fuente de forraje para el ganado vacuno. La matriz de pastos cortos puede corresponder a un estado sucesional de cultivos o pasturas abandonadas y también de pajonales quemados y sobrepastoreados.

Por otro lado, las pasturas cultivadas suelen ser parte del sistema de rotación de cultivos. Es común encontrarlas también en suelos no aptos para el desarrollo de cultivos, conformando grandes parcelas o intersembradas en zonas de pastizales naturales. Las especies más comunes son *Festuca* sp., *Agropyron* sp. y en menor medida, *Lotus* sp. y *Trifolium* sp. (RODRÍGUEZ; JACOBO, 2012).

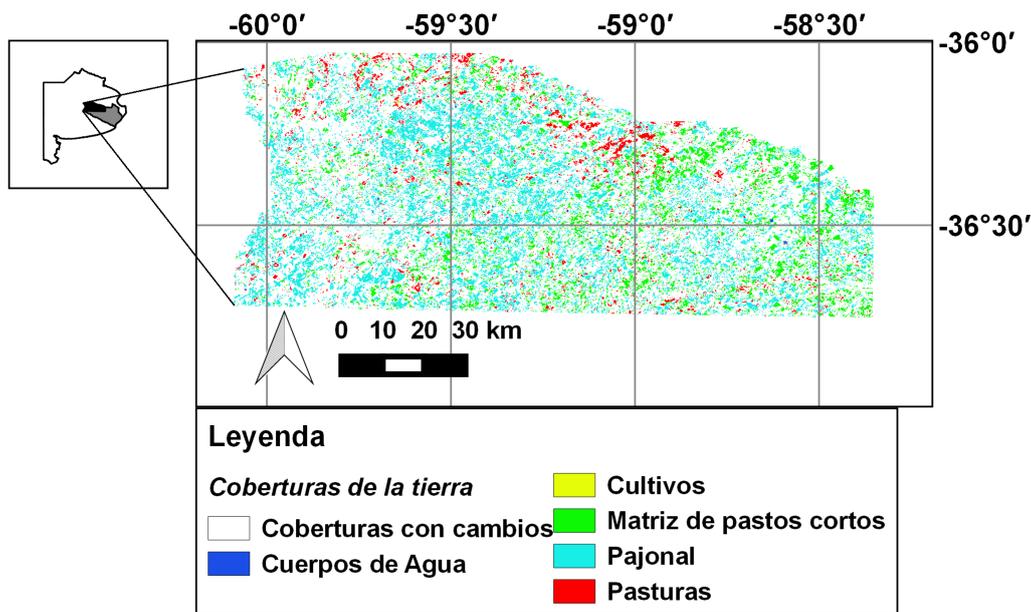
Para la identificación de las coberturas mencionadas se utilizaron clasificaciones realizadas para los años 2000 y 2011 en el área de estudio (LARA; GANDINI, 2014). Estas clasificaciones poseen una muy buena precisión con bajos porcentajes de desacuerdos en cantidad y ubicación, lo que asegura la

confiabilidad de los datos (PONTIUS; MILLONES, 2011). Teniendo en cuenta que los cambios en el área ocurren lentamente (HERRERA et al., 2005), a partir de estas dos clasificaciones se mapearon las coberturas que

se mantuvieron sin cambios (Figura 2), sobre las que se analizaron las características de su comportamiento fenológico.

Se utilizó el NDVI del producto MODIS con una resolución espacial

Figura 2 - Mapeo de coberturas estables para el período 2000 y 2011 en el área de estudio



Fuente: Lara, B.; Gandini, M. (2016).

de 250 m (MOD13Q1). Este producto integra imágenes de NDVI cada 16 días utilizando tres tipos de procesamiento diferentes: *Maximum value composite* (MVC), *Constrained View angle-maximum Value Composite* (CV-MVC) y *Bidirectional Reflectance Distribution Function Composite* (BRDF-C), lo que depende del número y calidad de observaciones (DIDAN; HUETE, 2006). Para el análisis se utilizaron las escenas desde el día juliano 177 (año 2000) hasta el día juliano 161 (año 2011), resultando un total de 253 imágenes.

Las series temporales de NDVI para cada una de las coberturas fueron ajustadas

utilizando el software TIMESAT v.2.3 (JÖNSSON; EKLUNDH, 2004). El algoritmo empleado para el ajuste fue el filtro de Savitzky-Golay el cual se basa en ajustes polinómicos locales. Para cada valor $y_i, i=1,2,\dots,N$ se ajusta un polinomio cuadrático $f(t)=c_1+c_2t+c_3t^2$ para todos los $2n+1$ puntos en una ventana móvil y se reemplaza el valor y_i con el valor del polinomio en la posición t_i . El resultado de este procedimiento es una curva suavizada adaptada a los valores de la porción superior (ya que en general el ruido en el NDVI está sesgado negativamente), manteniendo máximos y mínimos relativos (JÖNSSON; EKLUNDH, 2004). Además,

el procedimiento de ajuste permite obtener una serie continua completando los datos entre las composiciones de 16 días sobre la cual es posible estimar diferentes atributos del comportamiento fenológico.

Siguiendo a Clark et al. (2010), a partir de la información de la confiabilidad de los datos de cada uno de los píxeles (banda pixel reliability; MOD13Q1) se utilizaron ponderaciones para cada punto en la serie de tiempo: a los valores 0 (buen dato) se le dio un peso de 1, valores 1 y 2 (datos marginales, nieve o hielo) tuvieron un peso de 0,5 y a los valores 3 (cobertura nubosa) se les dio un peso mínimo de 0,1.

Para el análisis de las coberturas se utilizó una superficie de 31,25 ha de cada una de ellas. A partir de estas curvas se extrajeron los diferentes atributos del comportamiento fenológico de cada una de las coberturas analizadas para cada estación de crecimiento: inicio de la estación de crecimiento (INI), fin de la estación de crecimiento (FIN), duración de la estación de crecimiento (DUR), momento del valor máximo de NDVI (tMAX), valor máximo de NDVI (vMAX) y la integral anual de la curva de NDVI (INTEG) la cual está definida por el área de la región entre la serie ajustada y los niveles mínimos izquierdo y derecho (JÖNSSON; EKLUNDH, 2004). Estos atributos tienen un significado ecológico y son importantes para el monitoreo del funcionamiento de los ecosistemas y comunidades, por ejemplo el inicio y el final de la estación de crecimiento están relacionados a las épocas de comienzo de la actividad fotosintética y de la culminación, respectivamente, el valor máximo de NDVI se relaciona a la máxima capacidad fotosintética del ecosistema y/o comunidad, la duración de la estación de crecimiento se relaciona a la variación intra-

anual de la intercepción de la luz y el flujo de carbono, la integral anual de la curva de NDVI es un muy buen estimador de la fracción de radiación fotosintéticamente activa y, por ende, de la productividad primaria neta (ALCARAZ-SEGURA et al., 2009). Siguiendo a distintos autores (CLARK et al., 2010; TIEDEMANN et al., 2012; VÁZQUEZ et al., 2013) se consideró como inicio de la estación de crecimiento cuando el NDVI alcanzó un incremento del 20% por encima del NDVI mínimo y, por consiguiente, el final de la temporada de crecimiento cuando el NDVI disminuyó y alcanzó un valor superior al 20% del NDVI mínimo. Los diferentes atributos fenológicos se compararon mediante pruebas de t para muestras independientes con un nivel de significancia del 95%.

Por otro lado, se calcularon las tendencias temporales del NDVI acumulado para el período 2000-2011 de las distintas coberturas analizadas mediante la prueba no paramétrica de Mann-Kendall. Esta prueba analiza la existencia de una tendencia temporal monótona de un atributo basado en el estadístico tau de Kendall, a través de la suma de la cantidad de veces que un año particular tiene un valor más alto o más bajo que cualquier año anterior (HELSEL; HIRSCH, 2002). Se estableció para la prueba un alfa de 0,05, donde pendientes con un p-valor menor a 0,05 fueron consideradas significativas.

Resultados y discusión

Curvas de NDVI típicas

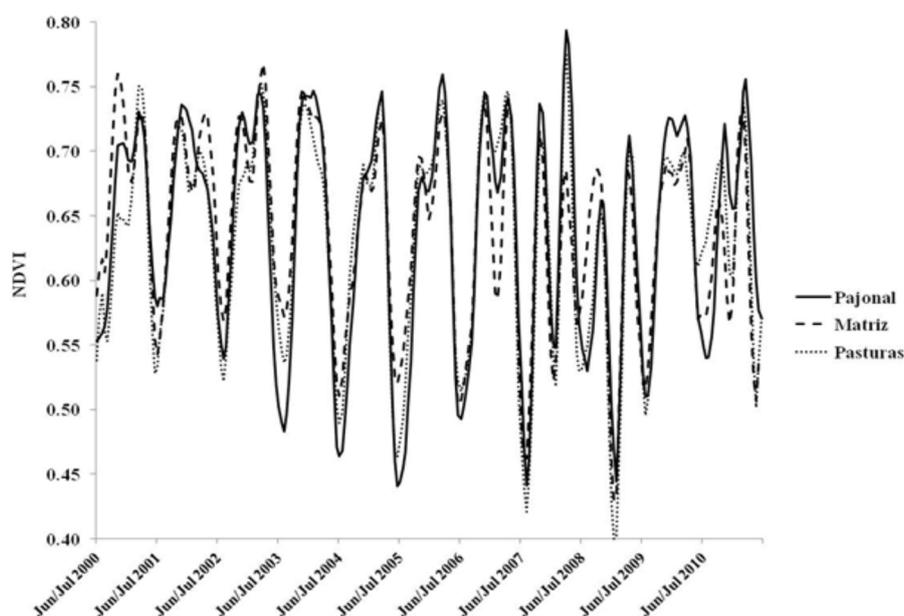
El comportamiento histórico del NDVI de las diferentes coberturas analizadas en este trabajo para el período 2000-2011 se muestra en la figura 3. Es muy notoria la

variación entre estaciones de crecimiento lo que se ve reflejado en los desvíos de atributos como la duración de la estación de crecimiento y el final de la estación de crecimiento.

No existen en la región trabajos que aborden la dinámica y caracterización fenológica de las comunidades más representativas desde una perspectiva paisajística y a gran escala. A partir del

filtrado de los datos de las imágenes de NDVI se obtuvieron las curvas anuales típicas de crecimiento del pajonal, la matriz de pastos cortos y las pasturas cultivadas (Figura 4). Las curvas anuales de crecimiento se caracterizan por ser bimodales, con un máximo relativo a finales de la primavera (octubre-noviembre) y un máximo absoluto a fines del verano y comienzos del otoño

Figura 3 - Comportamiento histórico del NDVI para las coberturas más representativas de la Pampa Deprimida en el período entre 2000 y 2011 contemplando las distintas estaciones de crecimiento



Fuente: Lara, B.; Gandini, M. (2016).

(marzo); además, de un marcado descenso del NDVI en el verano (principios de enero) lo cual ha sido descrito a escala de potrero en diversos establecimientos de la Pampa Deprimida (CAUHÉPÉ; HIDALGO, 2005; RODRÍGUEZ; JACOBO, 2012). En general, el pajonal presenta bajos valores de NDVI durante el invierno y comienza a recuperarse rápidamente a principios de septiembre, donde supera los valores de NDVI de las demás coberturas (lo mismo

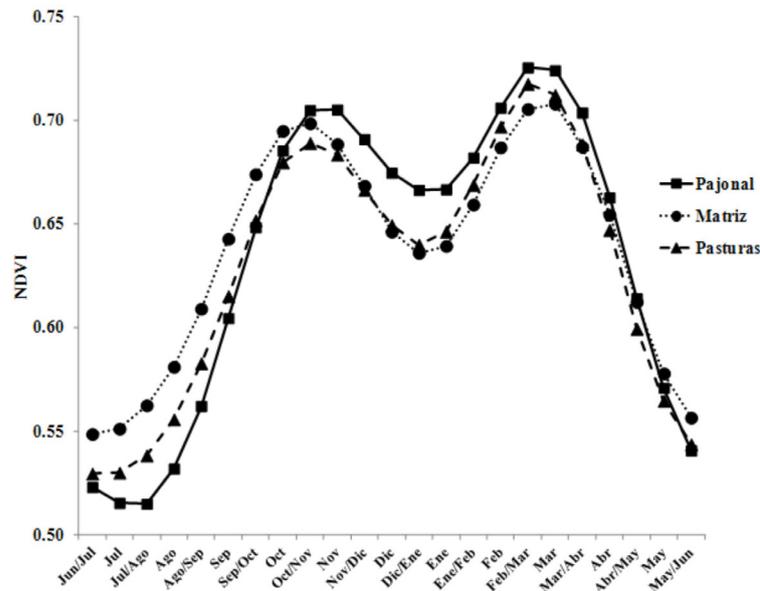
ocurre a fines de marzo). Por otro lado, las pasturas presentan un comportamiento característico de las especies que son sembradas en la zona (RODRÍGUEZ; JACOBO, 2012), comenzando el crecimiento con altos valores de NDVI en el invierno y comienzos del otoño, marcado por una abrupta caída en la temporada estival. Con respecto a la matriz de pastos cortos, posee un comportamiento mixto de las coberturas antes mencionadas. Presenta valores de

NDVI similares al pajonal en otoño-invierno, aunque su respuesta en la temporada estival se asemeja a la de las pasturas.

La caída abrupta del NDVI en el mes de enero estaría relacionada con las sequías estivales que se producen en la zona. Esto es, debido a las elevadas temperaturas del verano y nivel de evapotranspiración los suelos con menor capacidad de almacenaje de agua sufren un déficit hídrico que afecta el normal desarrollo de la vegetación, en este caso pastizales (PAZOS; MESTELAN, 2002). Teniendo en cuenta que la escasa cantidad de suelos bien drenados y con una buena capacidad de almacenaje de agua en la Pampa Deprimida ya han sido transformados a un uso netamente agrícola (LARA; GANDINI, 2014), las coberturas

de pastizales, ya sean naturales o cultivados se ven relegadas a suelos de capacidad limitada de retención hídrica. Por este motivo, es un fenómeno común la sequía estival sobre estas comunidades, lo que conduce a una baja en la señal del NDVI en esta época. A diferencia de la matriz de pastos cortos y las pasturas cultivadas, el pajonal no presenta una disminución del NDVI tan abrupta en la temporada estival ya que su estructura y aspecto bi-estratificado actúa como un reservorio natural de las lluvias caídas en invierno y primavera, disminuyendo considerablemente la evapotranspiración (VERVOORST, 1967), lo que se refleja en un mantenimiento del verdor en la comunidad en comparación con otras coberturas (Figura 4).

Figura 4 - Curvas anuales promedio de NDVI para las coberturas más representativas de la Pampa Deprimida en el período entre 2000 y 2011. Obsérvese la caída en los valores del NDVI en el mes de enero provocado por la sequía estival



Fuente: Lara, B.; Gandini, M. (2016).

Comportamiento de los atributos fenológicos de las coberturas vegetales de la Pampa Deprimida

A partir del ajuste de las series temporales de NDVI se extrajeron los atributos del comportamiento fenológico de cada cobertura para el período analizado. Los promedios para el período global se muestran en la tabla 1.

Para la matriz de pastos cortos, el inicio de la estación de crecimiento fue el 6 de agosto con una variación de 24 días entre estaciones de crecimiento, el final de la estación de crecimiento fue el 11 de

junio con una variación de 52 días. Alcanzó su pico máximo de verdor en promedio el 14 de marzo, con una variación de 40 días entre estaciones de crecimiento (Tabla 1). Con respecto a las pasturas cultivadas, su inicio de la estación de crecimiento fue el 28 de agosto, variando 30 días entre estaciones de crecimiento; el final de la estación de crecimiento se dio el 8 de junio con una desviación de 33 días entre estaciones de crecimiento. En general, el 3 de marzo alcanzó su pico de crecimiento con una variación entre estaciones de 40 días (Tabla 1).

Tabla 1 - Atributos fenológicos obtenidos a partir de las curvas de NDVI de las coberturas analizadas en la Pampa Deprimida

Cobertura	INI	FIN	DUR	tMAX	vMAX	INTEG
Pajonal de <i>P. quadrifarium</i>	15/08 ± 40 días	14/05 ± 128 días	273 ± 104 días	22/03 ± 76 días	0,69 ± 0,24	12,4 ± 4,7
Matriz de pastos cortos	06/08 ± 24 días	11/06 ± 52 días	310 ± 56 días	14/03 ± 40 días	0,78 ± 0,04	13,1 ± 4,0
Pasturas cultivadas	28/08 ± 30 días	08/06 ± 33 días	284 ± 24 días	03/03 ± 40 días	0,75 ± 0,05	14,0 ± 3,5

Fuente: Lara, B.; Gandini, M. (2016).

Nota: INI: Inicio de la estación de crecimiento. FIN: Fin de la estación de crecimiento. DUR: Duración de la estación de crecimiento. tMAX: Momento del valor máximo de NDVI. vMAX: Valor máximo de NDVI. INTEG: Integral anual de la curva de NDVI.

Para el pajonal de *Paspalum quadrifarium*, el inicio de la estación de crecimiento fue el 15 de agosto con una variación entre estaciones de 40 días, el final del crecimiento fue el 14 de mayo con una muy amplia variabilidad entre estaciones de crecimiento de 128 días. El momento de mayor actividad fotosintética del pajonal (pico máximo de NDVI) también tuvo una amplia variabilidad entre estaciones de crecimiento de 76 días, ocurriendo en promedio el 22 de marzo (Tabla 1).

Las duraciones de las temporadas de crecimiento resultaron de 310 días (± 56 días), 284 días (± 24 días) y 273 días (± 104 días) para la matriz de pastos cortos, las pasturas cultivadas (*Festuca* sp. y *Agropyron* sp., principalmente) y el pajonal de *Paspalum quadrifarium*, respectivamente (Tabla 1). Nuevamente se aprecia la gran dispersión que tiene la comunidad nativa de la región con respecto a la duración de su temporada de crecimiento anual, relacionada con la variabilidad del final de la temporada

de crecimiento entre estaciones. No se encontraron diferencias significativas para estos atributos fenológicos entre las distintas coberturas analizadas.

Con respecto a los valores máximos de actividad fotosintética (valor máximo de NDVI -vMAX-), no se encontraron diferencias significativas entre coberturas (Tabla 1). Los índices máximos encontrados fueron 0,78, 0,75 y 0,69 para la matriz de pastos cortos, las pasturas cultivadas y el pajonal, respectivamente. En general, estos valores máximos de NDVI no presentaron oscilaciones entre diferentes estaciones de crecimiento, a excepción del pajonal de *Paspalum quadrifarium* que presentó una desviación de 0,24 (Tabla 1). La integral anual promedio de la curva de NDVI (INTEG), un muy buen estimador de la fracción de radiación fotosintéticamente activa y de la productividad primaria neta, tampoco presentó diferencias significativas entre las coberturas analizadas.

La inexistencia de diferencias significativas en los atributos fenológicos de las coberturas vegetales de mayor representatividad de la región se debe a su similar comportamiento anual (Figura 4), el cual se mantiene muy homogéneo a lo largo del año. Al mismo tiempo, la ausencia de estas diferencias significativas podría estar relacionada con la escala de observación y análisis del problema (LECHNER et al., 2012) ya que en la región los pastizales presentan una gran heterogeneidad espacial y temporal (VERVOORST, 1967) lo que suele dificultar la identificación de píxeles puros de cada una de las coberturas en imágenes de media resolución (HERRERA et al., 2009; LARA; GANDINI, 2013a; LARA; GANDINI, 2014). A medida que

ampliamos la escala de observación (menor resolución espacial), se pierde capacidad de discriminación dentro de la heterogeneidad interna de las comunidades y/o ecosistemas pero adquieren relevancia los patrones y procesos que operan a una escala regional (LECHNER et al., 2012), por ejemplo los relacionados a atributos funcionales como los que se trató en este trabajo.

Los resultados aquí obtenidos también ponen de manifiesto la dicotomía o diferentes paradigmas en torno al mapeo regional mediante el uso de imágenes satelitales. Por un lado, la clasificación basada en aspectos fisonómicos-estructurales de las comunidades o conjunto de comunidades (clases de coberturas) (ARGAÑARAZ; ENTRAIGAS, 2011; HERRERA et al., 2005; HERRERA et al., 2009; LARA; GANDINI, 2013a; LARA; GANDINI, 2014) y la clasificación basada en aspectos funcionales o de "comportamiento" (clases o tipos funcionales de ecosistemas y/o comunidades) (ALI et al., 2013; ATZBERGER; EILERS, 2011; BARRAZA et al., 2013; GANDINI et al., 2012; GONZÁLEZ LOYARTE et al., 2010; LARA; GANDINI, 2013b; PARUELO et al., 2001; PARUELO, 2008; VÁZQUEZ et al., 2013). IVITS et al. (2013) articulando estas metodologías obtuvieron una clasificación de unidades funcionales de ecosistemas de Europa mucho más robusta que la subdivisión original en eco-zonas, por lo que consideramos que ambas metodologías o enfoques deben ser complementarias para lograr una mayor comprensión acerca de la heterogeneidad espacial, funcional y temporal de los paisajes estudiados. Asimismo, el empleo de variables como el NDVI permite

explorar las variaciones dentro de cada comunidad y ecosistema en espacio y tiempo (SOUTHWORTH et al., 2004).

Sobre otro tipo de pastizal en la provincia argentina de La Pampa, Vázquez et al. (2013) obtuvieron valores similares a los encontrados en este trabajo de fecha de comienzo y fin de la estación de crecimiento utilizando el NDVI derivado de imágenes MODIS, el cual también está íntimamente vinculado a las precipitaciones de la zona. Por otro lado, Tiedemann et al. (2012) utilizando el NDVI del sensor SPOT-VEGETATION (1 km de resolución espacial) encontraron en Santiago del Estero duraciones en las estaciones de crecimiento de los pastizales similares a las duraciones en la Pampa Deprimida, aunque con fechas de inicio y fin de la estación de crecimiento disímiles, probablemente debido a las grandes diferencias en los regímenes de precipitación y temperatura (la media anual de la precipitación es la mitad y la temperatura media anual es el doble con respecto a la Pampa Deprimida). Al mismo tiempo, estos autores no encontraron diferencias significativas entre el bosque chaqueño y el pastizal nativo en varios atributos importantes que caracterizan el comportamiento fenológico.

Utilizando imágenes de NDVI del sensor SPOT-VEGETATION en el monitoreo de la fenología para Sudamérica, Atzberger y Eilers (2011) han obtenido resultados congruentes para la Pampa Deprimida con los aquí encontrados respecto del momento de la máxima actividad fotosintética (fecha del máximo NDVI), el cual se da durante el mes de marzo. En cambio, Paruelo et al. (2001) hallaron que la fecha de mayor actividad fotosintética para el tipo funcional Ce11

(coincidente geográficamente con la Pampa Deprimida) se corresponde al mes de noviembre, mediante el uso del NDVI de NOAA-AVHRR (8 km de resolución espacial). Si bien en el presente trabajo se encontró que el momento de mayor actividad fotosintética se da en marzo, también existe un pico de actividad a fines de noviembre (Figura 4); posiblemente la mayor escala de análisis de Paruelo et al. (2001) no permitió apreciar ese segundo y mayor pico anual de actividad fotosintético en la zona de la Pampa Deprimida, el cual es característico de sus principales comunidades y ha podido ser identificado en este trabajo con imágenes MODIS.

Van Leeuwen et al. (2013), con el objetivo de analizar las tendencias y la variabilidad fenológica derivada de datos de NDVI de NOAA-AVHRR para gran parte de Sudamérica, obtuvieron en la Pampa Deprimida resultados similares a los encontrados en este trabajo: la fecha de inicio de la estación de crecimiento en promedio ocurre en agosto con una variación entre estaciones de 0 a 30 días, y la duración de la temporada de crecimiento presenta una media anual entre 270 y 300 días. La gran similitud de los resultados obtenidos con los de otros investigadores a escalas muy diferentes refleja la existencia de ciertos patrones fenológicos encontrados en el área de estudio que se corresponden con las comunidades de pastizales más representativas de la región. La escala que se ha utilizado en este trabajo resulta óptima para caracterizar patrones funcionales a nivel de paisaje, aunque no reflejaría una clara individualización fisiológico-estructural de sus comunidades.

Con respecto a la comunidad nativa, el pajonal de *P. quadrifarium*, presentó

elevadas variaciones (desvíos) entre estaciones de crecimiento para todos los atributos fenológicos analizados, debido posiblemente a su resistencia y resiliencia ante disturbios como las inundaciones, sequías y a gradientes ambientales como el topográfico (LARA; GANDINI, 2013a; PERELMAN et al., 2005).

Tendencia del NDVI acumulado para el período 2000 – 2011

La tendencia del NDVI acumulado se analizó para cada una de las coberturas en el período 2000 – 2011, mediante la prueba de Mann-Kendall. Tanto para las pasturas cultivadas como para el pajonal, no se encontró una tendencia significativa del NDVI acumulado (Tabla 2). Para la matriz del paisaje, la comunidad denominada “matriz de pastos cortos”, la tendencia del NDVI acumulado para el período 2000 – 2011 mostró una caída significativa (valores de $Z < -1,96$) (Tabla 2). Esta caída podría estar indicando una mayor presión de uso por el ganado. En los últimos 40 años en la región se ha evidenciado un incremento de la superficie ocupada por la matriz de pastos cortos, que constituye la matriz del paisaje y es la principal comunidad que reemplaza al pajonal de *P. quadrifarium* (LARA; GANDINI, 2014). Esta matriz es un tipo de pastizal que se adapta mejor a los requerimientos forrajeros del ganado y está asociado a estrategias de manejo basados en la utilización del fuego y ciclos de cultivos/pasturas que permiten el establecimiento de estados alternativos de pastizales (LATERRA et al., 1998; LATERRA et al., 2003), por lo tanto es esperable que el pastoreo ininterrumpido y con las altas cargas observadas en la última década (información

verbal⁴; RAMAGLIO et al., 2013) la productividad de estos pastizales decaiga.

Tabla 2 - Tendencia del NDVI acumulado para las coberturas de la Pampa Deprimida mediante la prueba de Mann-Kendall para el período 2000 – 2011. Valores de $Z > 1,96$ indican una tendencia positiva y valores de $Z < -1,96$ indican una tendencia negativa ($\alpha = 0,05$)

Cobertura	Z
Pajonal de <i>P. quadrifarium</i>	-1,40
Matriz de pastos cortos	-2,80
Pasturas cultivadas	-0,62

Fuente: Lara, B.; Gandini, M. (2016).

La metodología utilizada en la caracterización de la fenología posee la gran ventaja de ser aplicada en grandes escalas espacio-temporales. Además, los atributos fenológicos tienen un significado biológico ya que capturan las características esenciales de la dinámica del carbono. La disponibilidad mundial de la información captada por los sensores remotos brinda la posibilidad de caracterizar, monitorear y comparar el funcionamiento de comunidades y ecosistemas bajo un mismo protocolo, además de analizar los cambios de cobertura y uso de la tierra (ALCARAZ-SEGURA et al., 2009; BARRAZA et al., 2013; PARUELO et al., 2001).

⁴ Información dada por el Ing. Agr. Horacio de Dominici en Facultad de Agronomía (Azul, Argentina) en marzo de 2014.

Conclusiones

La serie temporal de NDVI derivada del sensor MODIS (producto MOD13Q1) conjuntamente con la utilización de un modelo matemático creado para analizarlas, permitieron caracterizar la dinámica fenológica de las coberturas vegetales más representativas de la Pampa Deprimida a partir de los distintos atributos fenológicos obtenidos de las curvas anuales de crecimiento para el período 2000 - 2011. No se encontraron diferencias significativas en el comportamiento fenológico de las coberturas analizadas, aunque el pajonal de *Paspalum quadrifarium* fue quien presentó una mayor variabilidad entre estaciones de crecimiento en todos los atributos, lo que se refleja en los desvíos de cada uno de los atributos fenológicos.

Por otro lado, la caracterización fenológica de las coberturas analizadas en este trabajo muestra patrones semejantes a los obtenidos por diversos autores a diferentes escalas de análisis, indicando la existencia

de un patrón funcional como respuesta del comportamiento de las comunidades de pastizales de la Pampa Deprimida.

La metodología empleada en este trabajo complementa las características fisonómico-estructurales de las comunidades y su comportamiento fenológico, asegurando mayor robustez en la obtención de los datos. Esta metodología tiene la potencialidad de ser aplicada en cualquier región independientemente de la escala espacio-temporal y sin tener en cuenta las características estructurales, como ya ha sido analizado por diversos autores. Sin embargo, su articulación permite abordar en mayor profundidad el análisis de la heterogeneidad funcional y temporal a escala de paisaje.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, al CONICET y a la SECyT-UNCPBA por el apoyo en este trabajo.

Referencias

ALCARAZ-SEGURA, D.; CABELLO, J.; PARUELO, J. M.; DELIBES, M. Use of descriptors of ecosystem functioning for monitoring a national park network: a remote sensing approach. **Environmental Management**, v.43, p.38-48, 2009.

ALI, A.; DE BIE, C. A.; SKIDMORE, A. K.; SCARROT, R. G.; LYMBERAKIS, P. Mapping the heterogeneity of natural and semi-natural landscapes. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.26, p.176-183, 2013.

ARGAÑARAZ, J. P.; ENTRAIGAS, I. Análisis comparativo entre las máquinas de vectores soporte y el clasificador de máxima probabilidad para la discriminación de cubiertas del suelo. **Revista de Teledetección**, v.36, p.26-39, 2011.

ATZBERGER, C.; EILERS, P. H. C. A time series for monitoring vegetation activity and phenology at 10-daily time steps covering large parts of South America. **International Journal of Digital Earth**, v.4, n.5, p.365-386, 2011.

BARRAZA, V.; GRINGS, F.; SALVIA, M.; PERNA, P.; CARBAJO, A. E.; KARSZENBAUM, H. Monitoring and modelling land surface dynamics in Bermejo River basin, Argentina: time series analysis of MODIS NDVI data. **International Journal of Remote Sensing**, v.34, n.15, p.5429-5451, 2013.

BATISTA, W.; LEÓN, R.; PERELMAN, S. Las comunidades vegetales de un pastizal natural de la región de Laprida, prov. de Buenos Aires, Argentina. **Phytocoenología**, v.16, p.465-480, 1988.

BURKART, S.; LEÓN, R.; PERELMAN, S.; AGNSDEI, M. The grasslands of the flooding Pampa (Argentina): floristic heterogeneity of natural communities of the southern Salado river basin. **Coenoses**, v.13, p.17-27, 1998.

CABELLO, J.; PARUELO, J. M. La teledetección en estudios ecológicos. **Ecosistemas**, v.17, n.3, p.1-3, 2008.

CABRERA, A. **Regiones fitogeográficas argentinas**. En Kugler WF (Ed.). Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería. Tomo 2. 2a edición. Acme. Buenos Aires. Argentina. Fascículo 1. p.1-85, 1976.

CAUHÉPÉ, M.; HIDALGO, L. La Pampa Inundable: el uso ganadero como base de la sustentabilidad social, económica y ambiental. En: OESTERHELD, M.; AGUIAR, M. R.; GHERSA, C. M.; PARUELO, J. M. (Ed.). **La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas**. Un homenaje a Rolando J.C. León. Editorial Facultad de Agronomía. UBA, 2005. p. 403-414.

CLARK, M.; AIDE, M.; GRAU, R.; RINER, G. A scalable approach to mapping annual land cover at 250 m using MODIS time series data: A case study in the Dry Chaco ecoregion of South America. **Remote Sensing of Environment**, v.114, p.2816-2832, 2010.

DI BELLA, C. M.; REBELLA, C. M.; PARUELO, J. M. Evapotranspiration estimates using NOAA AVHRR imagery in the Pampa region of Argentina. **International Journal of Remote Sensing**, v.21, n.4, p.791-797, 2000.

DIDAN, K.; HUETE, A. **MODIS vegetation index products series**. Arizona: Collection 5, change summary. TBRS Lab., The University of Arizona, 2006.

EKLUNDH, L.; JÖNSSON, P. **Timesat 3.0 Software Manual**. Sweden: Lund University, 2009.

FRANGI, J. Sinopsis de las comunidades vegetales y el medio de las Sierras de Tandil. **Bol. Soc. Argent. Bot.**, v.16, n.4, p.293-319, 1986.

GANDINI, M. L.; LARA, B.; SCARAMUZZINO, R.; CASTELLAR, C. Zonificación de la provincia de Buenos Aires, basada en la respuesta de ecosistemas a oscilaciones climáticas. **Trabajos Completos de las I Jornadas Nacionales de Ambiente**, Tandil, Argentina, 2012.

GONZÁLEZ LOYARTE, M.; MENENTI, M.; ROIG, F. Patrones fenológicos de la provincia de Mendoza, Argentina, mediante serie temporal de imágenes NOAA-AVHRR NDVI GAC. **Bol. Soc. Argent. Bot**, v.45, n.3-4, p.343-362, 2010.

HELSEL, D.; HIRSCH, R. **Statistical methods in water resources**. USGS, 2002.

HERRERA, L. P.; GÓMEZ HERMIDA, V.; MARTÍNEZ, G. A.; LATERRA, P.; MACEIRA, N. Remote Sensing Assessment of *Paspalum quadrifarium* Grasslands in the Flooding Pampa, Argentina. **Rangeland Ecology and Management**, v.58, n.4, p.406-412, 2005.

HERRERA, L.; LATERRA, P.; MACEIRA, N.; ZELAYA, K.; MARTÍNEZ, G. Fragmentation status of tall-tussock grassland relicts in the Flooding Pampa, Argentina. **Rangeland Ecology and Management**, v.62, p.73-82, 2009.

IHLA. Instituto de Hidrología de Llanuras. **Sistema de soporte para la gestión eficiente de los recursos hídricos en la llanura bonaerense**. Informe final, 2003.

INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. **La Pampa deprimida**. Condiciones de drenaje de sus suelos. Departamento de suelos del INTA. Publicación no 152. Serie suelos. 1977. 162 p.

IVITS, E.; CHERLET, M.; MEHL, W.; SOMMER, S. Ecosystem functional units characterized by satellite observed phenology and productivity gradients: a case study for Europe. **Ecological Indicators**, v.27, p.17-28, 2013.

JÖNSSON, P.; EKLUNDH, L. Seasonality extraction and noise removal by function fitting to time-series of satellite sensor data. **IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing**, v.40, n.8, p.1824-1832, 2002.

JÖNSSON, P.; EKLUNDH, L. Timesat – a program for analyzing time-series of satellite sensor data. **Computers & Geosciences**, v.30, p.833-845, 2004.

KÖPPEN, W. **Klassifikation der klimate nach temperatur, niederschlag, und jahreslauf**. Petermann's Mitteilungen, v.64, p.193-203, 1918.

LARA, B.; GANDINI, M. Nuevo aporte para la distribución del *Paspaleum* en el centro de la provincia de Buenos Aires. **Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes**, v.4, p.1-12, 2013a.

LARA, B.; GANDINI, M. Subdivisión de paisajes basada en aspectos funcionales de la Pampa Deprimida. **Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam**, v.22, n.2, p.93-98, 2013b.

LARA, B.; GANDINI, M. Quantifying the land cover changes and fragmentation patterns in the Argentina Pampas, in the last 37 years (1974-2011). **GeoFocus (Artículos)**, v.14, p.163-180, 2014.

LATERRA, P. Desde el Paspaleum: bases ecológicas para el manejo de pajonales húmedos con quemas prescriptas. En: KUNST, C. R.; BRAVO, S.; PANIGATTI, J. L. (Ed.). **Fuego en los ecosistemas argentinos**. Santiago del Estero: Ediciones INTA, 2003.

LATERRA, P.; MACEIRA, N. Ecología de pajonales de paja colorada: impacto del fuego sobre la productividad, la biodiversidad y la estabilidad del sistema. En: SARMIENTO, G.; CABIDO, M. (Ed.). **Biodiversidad y funcionamiento de Pastizales y Sabanas en América Latina**. Estado del conocimiento y perspectivas de investigación. Cytel-Cielat, 1996.

LATERRA, P.; VIGNOLIO, O. R.; HIDALGO, L. G.; FERNÁNDEZ, O. N.; CAHUÉPÉ, M. A.; MACEIRA, N. O. Dinámica de pajonales de paja colorada (*Paspalum* spp.) manejados con fuego y pastoreo en la Pampa Deprimida Argentina. **Ecotrópicos**, v.11, n.2, p.141-149, 1998.

LECHNER, A. M.; LANGFORD, W. T.; BEKESY, S. A.; JONES, S. D. Are landscape ecologist addressing uncertainty in their remote sensing data? **Landscape Ecology**, v.27, p.1249-1261, 2012.

LEÓN, R.; BURKART, S.; MOVIA, C. **Relevamiento fitosociológico del pastizal del norte de la depresión del Salado en La vegetación de la república Argentina**. Serie fitogeográfica nº 17. Buenos Aires: INTA, 1979. 90 p.

McGARIGAL, K.; CUSHMAN, S.; REGAN, C. **Quantifying terrestrial habitat loss and fragmentation: a protocol**. University of Massachusetts, 2005.

MELLENDEZ-PASTOR, I.; NAVARRO-PEDREÑO, J.; KOCH, M.; GÓMEZ, I.; HERNÁNDEZ, E. I. Land-cover phenologies and their relation to climatic variables in an anthropogenically impacted Mediterranean coastal area. **Remote Sensing**, v.2, p.697-716, 2010.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1974. 547 p.

PARUELO, J. M. La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. **Ecosistemas**, v.17, n.3, p.4-22, 2008.

PARUELO, J. M.; JOBBÁGY, E. G.; SALA, O. E. Current distribution of ecosystem functional types in temperate South America. **Ecosystems**, v.4, p.683-698, 2001.

PARUELO, J. M.; PIÑEIRO, G.; ALTESOR, A. I.; RODRÍGUEZ, C.; OESTERHELD, M. Cambios estructurales y funcionales asociados al pastoreo en los Pastizales del Río de la Plata. Reunión del Grupo técnico regional del Cono Sur en mejoramiento y utilización de los recursos forrajeros del área tropical y subtropical. **Grupo Campos**, v.20, p.53-60, 2004.

PARUELO, J. M.; EPSTEIN, H. E.; LAUENROTH, W. K.; BURKE, I. C. ANPP estimates from NDVI for the central grassland region of the United States. **Ecology**, v.78, n.3, p.953-958, 1997.

PAZOS, M. S.; MESTELAN, S. A. Variability of depth to tosca in Udolls and soil classification, Buenos Aires province, Argentina. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p.1256-1264, 2002.

PERELMAN, S.; BURKART, S.; LEÓN, C. The role of a native tussock grass (*Paspalum quadrifarium* Lam.) in structuring plant communities in the Flooding Pampa grasslands, Argentina. **Biodiversity and Conservation**, v.12, p.225-238, 2003.

PERELMAN, S.; BATISTA, W.; LEÓN, C. El estudio de la heterogeneidad de la vegetación. Fitosociología y técnicas relacionadas. En: OESTERHELD, M.; AGUIAR, M. R.; GHERSA, C. M.; PARUELO, J. M. (Ed.). **La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas**. Un homenaje a Rolando León. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía, 2005. p. 321-350.

PONTIUS, R. G.; MILLONES, M. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing**, v.32, n.15, p.4407-4429, 2011.

RAMAGLIO, J.; LARA, B.; MESTELAN, S. Avance de la agriculturización en el partido de Azul (Bs. As.). Indicadores que muestran el deterioro de algunas propiedades del recurso suelo. **CIEA**, 2013.

RODRÍGUEZ, A. M.; JACOBO, E. **Manejo de pastizales naturales para una ganadería sustentable en la pampa deprimida**: buenas prácticas para una ganadería sustentable de pastizal: kit de extensión para las pampas y campos. 1ª Edición, Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre Argentina, Aves Argentinas, 2012.

SOUTHWORTH, J.; MUNROE, D.; NAGENDRA, H. Land cover change and landscape fragmentation – comparing the utility of continuous and discrete analyses for a western Honduras region. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.101, p.185-205, 2004.

TIEDEMANN, J.; ZERDA, H.; GRILLI, M.; RAVELO, A. Variabilidad fenológica del bosque y del pastizal nativo en el Chaco Semiárido de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina. **Ambiência**, Guarapuava, v.8, n.1, p.47-60, 2012.

TRICART, J. **Geomorfología de la Pampa Deprimida**. Colección Científica XII, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, 1973. 202 p.

VAN LEEUWEN, W.; HARTFIELD, K.; MIRANDA, M.; MEZA, F.J. Trends an ENSO/ AAO driven variability in NDVI derived productivity and phenology alongside the Andes Mountains. **Remote Sensing**, v.5, p.1177-1203, 2013.

VÁZQUEZ, P.; ADEMA, E.; FERNÁNDEZ, B. Dinámica de la fenología de la vegetación a partir de series temporales de NDVI de largo plazo en la provincia de La Pampa. **Ecología Austral**, v.23, p.77-86, 2013.

VERCELLI, N.; ENTRAIGAS, I.; ARGAÑARAZ, J. P.; SCARAMUZZINO, R.; D'ALFONSO, C. Representatividad espacial de las principales comunidades vegetales en la cuenca baja del arroyo del Azul (Buenos Aires, Argentina). 2013. **Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes**, v.4, n.2, p.92-100, 2013.

VERVOORST, F. B. **Las comunidades vegetales de la Depresión del Salado (Provincia de Buenos Aires)**. La vegetación de la República Argentina. Serie Fitogeográfica 7, INTA. Buenos Aires: 1967. 262 p.

YANG, Y.; XU, J.; HONG, Y.; LV, G. The dynamic of vegetation coverage and its response to climate factors in Inner Mongolia, China. **Stoch. Environ. Res. Risk Assess**, v.26, p.357-373, 2012.