

## **SUBDIVISIÓN DE PAISAJES BASADA EN ASPECTOS FUNCIONALES DE LA PAMPA DEPRIMIDA**

### **FUNCTIONAL SUBDIVISION OF LANDSCAPES IN THE FLOODING PAMPA**

Lara B.<sup>1,2\*</sup> & M. Gandini<sup>1</sup>

#### **RESUMEN**

La vegetación es uno de los indicadores más importantes a la hora de evaluar los cambios en los ecosistemas. A menudo, esta información es útil para determinar paisajes homogéneos, esenciales a la hora de planificar un sistema sustentable. El objetivo del presente trabajo fue realizar una subdivisión de paisajes en la Pampa Deprimida mediante el análisis de aspectos funcionales de la vegetación obtenidos a partir de percepción remota. Se utilizó una serie de 11 años del índice normalizado de vegetación (NDVI) obtenido a partir del sensor TERRA/MODIS. Estos datos fueron ajustados a un modelo matemático en TIMESAT, lo que permitió la extracción de variables estacionales en temporadas de crecimiento de estados El Niño, Neutro y La Niña (períodos 2002-2003, 2004-2005 y 2008-2009, respectivamente). Posteriormente, se realizó un Análisis de Componentes Principales el cual arrojó un 85,65 % de varianza explicada en sus primeros tres componentes, posibilitando la distinción de cuatro paisajes con comportamientos fenológicos diferentes. El Pajonal Ganadero-Agrícola es el de mayor extensión con valores de productividad y temporadas de crecimiento elevados; el Flechillar Agrícola-Ganadero se caracteriza por tener bajos valores máximos de NDVI y valores altos de productividad. Los paisajes Agrícola del Sur y Ecotono Agrícola-Ganadero poseen un comportamiento similar con cortas temporadas de crecimiento, altos valores máximos de NDVI y baja productividad, pero en el paisaje Agrícola del Sur la temporada de crecimiento es más prematura.

**PALABRAS CLAVE:** MODIS, Paisajes, Pampa Deprimida, TIMESAT.

#### **ABSTRACT**

The vegetation is one the most important indicators of changes in ecosystems. Often this information is useful for determining homogeneous landscapes, essential when planning a sustainable system. The aim of this study was to perform a subdivision of landscapes in the Flooding Pampa by analyzing functional aspects of vegetation obtained by means of remote sensing. We used a series of 11 year normalized difference vegetation index (NDVI) obtained from the sensor TERRA/MODIS. These data were fitted to a mathematical model in TIMESAT, which enabled the extraction of seasonal growing season variables in states "El Niño", Neutral and "La Niña" (periods 2002-2003, 2004-2005 and 2008-2009, respectively). Subsequently, we performed a Principal Component Analysis which showed a 85.65% variance explained in the first three components, enabling the distinction of four different landscapes with phenological behaviors. The Tall-tussock grass range and agricultural landscape has the largest values of productivity and high growth seasons, the agricultural and range "flechillar" is characterized by low maximum values of NDVI and high levels of productivity. The landscapes Southern agricultural and ecotone agricultural and range have a similar behavior with short growing seasons, high maximum values of NDVI and low productivity, but in the Southern agricultural landscape the growing season is premature.

**KEY WORDS:** MODIS, Landscapes, Flooding Pampa, TIMESAT.

1 Laboratorio de Investigación y Servicios en Teledetección de Azul – FAA – UNCPBA  
\*bruno.lara@faa.unicen.edu.ar

2 Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

## INTRODUCCIÓN

Las imágenes satelitales del índice normalizado de vegetación (NDVI) asociadas en series temporales permiten la obtención de información acerca del desarrollo fenológico de la vegetación. Normalmente esta información es útil para analizar las características estructurales y funcionales de la cobertura de la tierra a nivel regional y global, cuestión de suma importancia para complementar el conocimiento acerca de los ciclos globales de la energía y de la materia. Al mismo tiempo, la utilización de series de tiempo brinda datos sobre los cambios en la distribución espacial de las zonas bio-climáticas, indicando variaciones en los patrones de los cambios de uso de la tierra (Eklundh & Jönsson, 2009).

Por otro lado, la subdivisión en regiones homogéneas a partir del uso del análisis multivariado utilizando variables extraídas de las series de NDVI permite el planteo de hipótesis de manejo y predecir sus resultados mediante modelos analíticos (Hughes & Larsen, 1988; Nathan & Mc. Mahon, 1990; Beran *et al.*, 1990), más aún cuando el criterio de la regionalización se basa en aspectos dinámicos y de importancia agroecológica.

El objetivo de este trabajo es realizar una subdivisión de paisajes en la Pampa Deprimida mediante el análisis de aspectos funcionales de la vegetación obtenidos a partir de percepción remota.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Basados en una regionalización agroproductiva de la provincia de Buenos Aires realizada recientemente (Figura 1) (disponible en: <http://www.zonasbsas.com.ar>) se enfatizó el análisis sobre la Pampa Deprimida. Esta zona se caracteriza por la presencia de una planicie de escasa pendiente y microrrelieves conformados por pequeñas lomas y cubetas (Tricart, 1973), donde los suelos predominantes son hidrohalmórficos. La vegetación natural está compuesta principalmente por pastizales de distintas características y el sistema productivo es preferentemente ganadero, aunque en los últimos años se evidencia un aumento considerable de la

actividad agrícola (Cañibano *et al.*, 2004).

### Datos Satelitales

Se utilizó una serie temporal de imágenes de 11 años del producto MOD13Q15 (LPDAAC, 2006). El mismo consta de composiciones de 16 días con los valores calculados de NDVI, obteniéndose 23 imágenes por año las cuales poseen una resolución espacial de 250 metros. Para mantener diferentes condiciones ambientales sin poseer demasiada información redundante se escogieron las temporadas de crecimiento 2002-2003 (El Niño), 2004-2005 (Neutro) y 2008-2009 (La Niña). Para la identificación de los distintos periodos del ENSO (El Niño Oscilación Sur) se utilizó el Índice de Oscilación Sur (SOI), obtenidos a partir del Australian Bureau Of Meteorology (BOM, 2002).

### Procesamiento de datos y extracción de variables estacionales

Los datos fueron ajustados a una función matemática de Gauss asimétrica (Jönsson & Eklundh, 2004). La función que representa este modelo es la siguiente:

$$g(t; x_1; x_2, \dots, x_5) = \begin{cases} \exp \left[ - \left( \frac{t - x_1}{x_2} \right)^{x_3} \right] & t > x_1 \\ \exp \left[ - \left( \frac{x_1 - t}{x_4} \right)^{x_5} \right] & t < x_1 \end{cases}$$

Donde determina la posición del máximo o mínimo con respecto a la variable independiente tiempo; mientras que los pares  $x_2$  y  $x_4$  y el restante  $x_3$  y  $x_5$  determinan la curtosis de la función en la mitad derecha e izquierda, respectivamente.

Una vez realizado el ajuste, se extrajeron una serie de variables estacionales de la vegetación (Jönsson & Eklundh, 2002) (Figura 2) de los años ENSO mencionados previamente. Posteriormente se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) y utilizando los escores factoriales del análisis, se desplegó en la pantalla una nueva imagen fruto del análisis con los primeros tres componentes de mayor varianza explicada. Interpretando visualmente la homogeneidad espacial, se digitalizaron en pantalla los paisajes observados. No se presentan las tablas de cargas por tratarse de un análisis cen-

trado en la respuesta individual de los píxeles de terreno, y no de las variables.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los primeros tres componentes arrojaron una varianza explicada del 85,65% (32,24%, 28,69% y 24,72%, respectivamente). De esta manera, se obtuvo un mapa donde se trazaron los diferentes paisajes mediante interpretación visual (Figura 3). Las cargas de las variables en los tres ejes de mayor varianza (Figura 4) sustentan el uso de los años con eventos climáticos ENSO para la obtención de las respuestas de la vegetación frente a diferentes condiciones ambientales.

En lo que respecta a los diferentes paisajes encontrados, el Flechillar Agrícola-Ganadero se caracteriza por tener temporadas de crecimiento extensas aunque su comienzo es tardío con respecto a los demás paisajes. Presenta bajos valores máximos de NDVI (0,68) pero con valores altos de productividad, o sea que la curva de crecimiento anual no tiene picos importantes probablemente debido al consumo animal, pero ocupa un rango amplio de meses. Los paisajes Agrícola del Sur y Ecotono Agrícola-Ganadero poseen un comportamiento bastante similar, con cortas temporadas de crecimiento, altos valores máximos de NDVI (0,78) y bajas productividades en ambos paisajes. En este caso la interpretación del comportamiento es que se trata de sistemas con altos disturbios, y épocas de verdor muy restringidas (cultivos anuales). La diferencia encontrada radica en el momento del inicio del crecimiento de la vegetación, siendo más prematuro en el paisaje Agrícola del Sur. Este comportamiento es característico de aquellas zonas con actividades agrícolas, las cuales se han expandido en los últimos años (Cañibano *et al.*, 2004).

El paisaje Pajonal Ganadero-Agrícola es el de mayor extensión en la Pampa Deprimida y está constituido principalmente de comunidades naturales de *Paspalum quadrifarium* inmersos en una matriz de pastos cortos (Lara & Gandini, 2011). Es la región que presenta la temporada de crecimiento más extensa y con los valores más altos de productividad primaria neta, aunque los valores máximos de NDVI son medios (0,73). El pajonal es una de las comunidades naturales de mayor extensión de la Pampa Deprimida (Vervoort, 1969) donde se ve claramente que

ha sido desplazado por otro tipo de coberturas y/o usos de la tierra debido al manejo del hombre.

## CONCLUSIONES

La utilización de series temporales de imágenes de NDVI, en este caso del sensor MODIS, con el análisis conjunto de modelos matemáticos, brindan la capacidad para obtener información acerca de los procesos que operan a escala regional.

Por otro lado, el uso de variables fenológicas como los parámetros de dinámica de la vegetación (ej: inicio de temporada, productividad, etc; Jönsson & Eklundh, 2002) permite encontrar paisajes con un comportamiento homogéneo frente a distintas condiciones ambientales, elementos esenciales a la hora de predecir cambios y en la planificación productiva sustentable

## BIBLIOGRAFÍA

- BOM (Australian Bureau Of Meteorology) 2002. Glossary. SOI. On line at: <http://www.bom.gov.au/climate/glossary/soi.shtml>.
- Cañibano M.A., M. Gandini & M. Sacido. 2004. Evaluación de la intensificación del uso de la tierra, en la cuenca del Arroyo del Azul, Buenos Aires, Argentina. Actas del XI Simposio Latinoamericano de percepción remota. Santiago, Chile.
- Eklundh L. & P. Jönsson. 2009. Timesat 3.0 Software Manual, Lund University, Sweden.
- Jönsson P. & L. Eklundh. 2002. Seasonality extraction and noise removal by function fitting to time-series of satellite sensor data, IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing. 40(8) 1824-1832.
- Jönsson P. & L. Eklundh. 2004. Timesat - a program for analyzing time-series of satellite sensor data, *Computers & Geosciences*. 30: 833-845.
- LPDAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center). 2006. U.S. Geological Survey. Sioux Falls, South Dakota, USA.
- Lara B. & M. Gandini. 2011. Biogeografía de islas en fragmentos de pajonal del Paisaje Ariel (Azul, Buenos Aires, Argentina). *Rev. Asoc. Argent. Ecol. Paisajes* 2: 1-8.

Tricart J. 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. Colección Científica XII, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires. pp. 202.

getales de la Depresión del Salado (Provincia de Buenos Aires). La vegetación de la República Argentina. Serie Fitogeográfica 7, INTA. Buenos Aires. pp 262.

Voorvoorst F.B. 1967. Las comunidades ve-

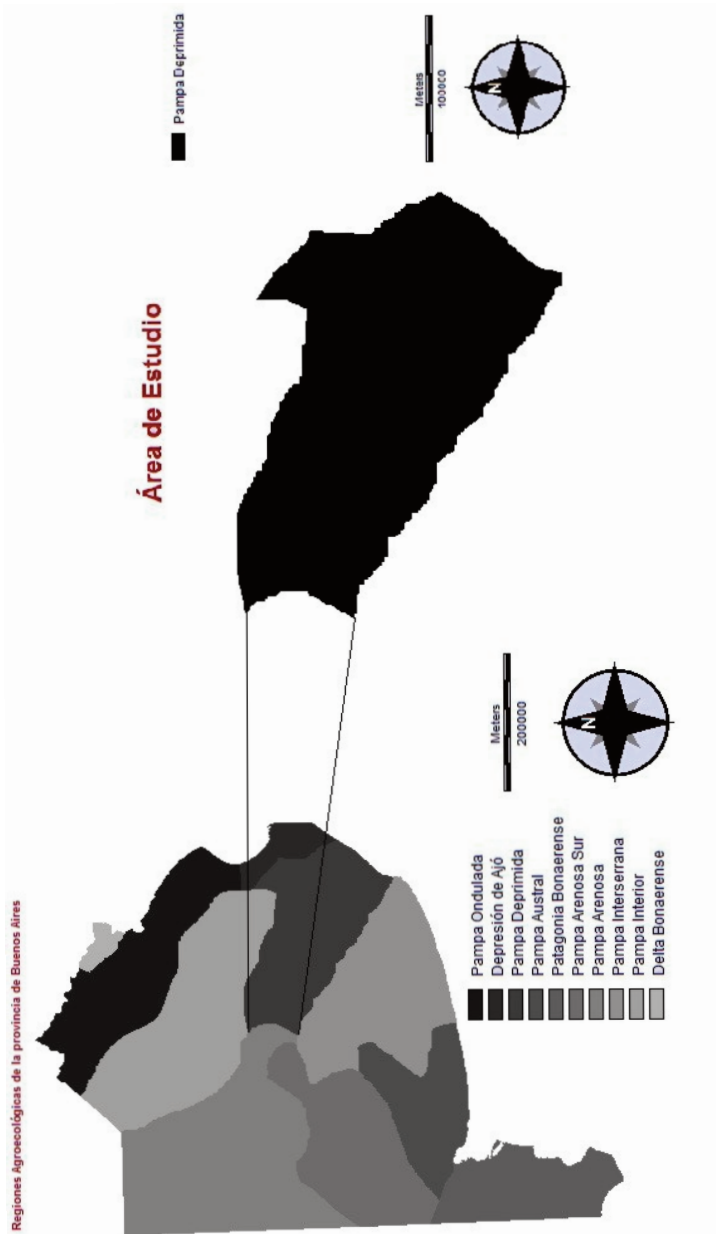
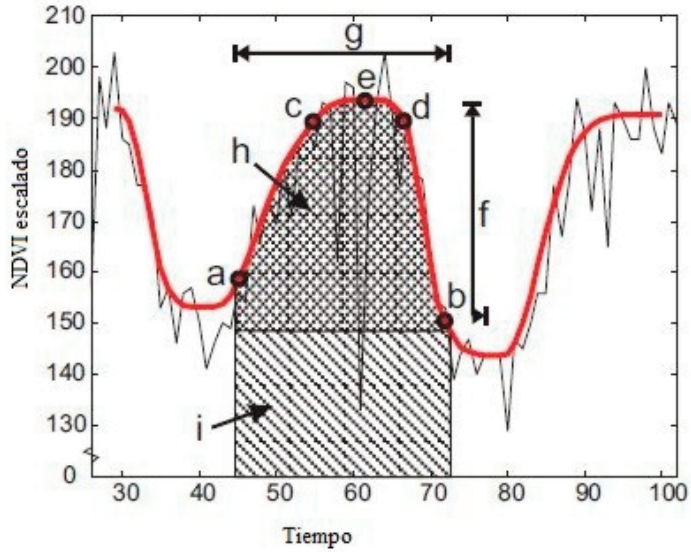
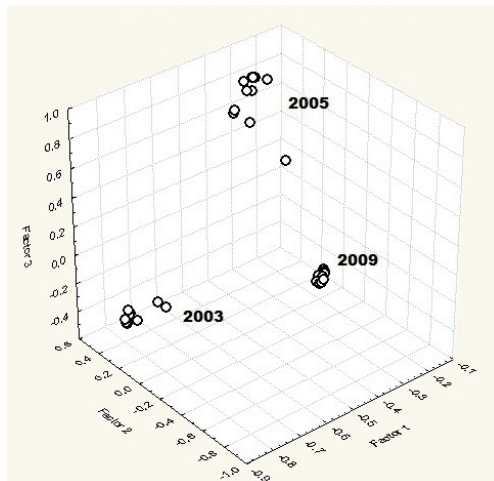


Figura 1. Área de estudio  
Figure 1. Study area.



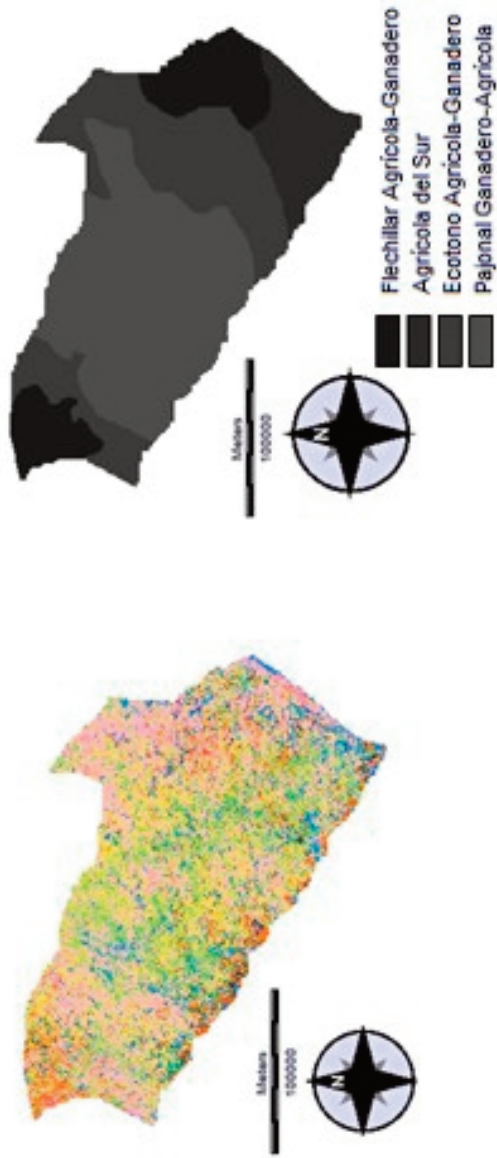
**Figura 2.** (a) y (b) marcan el inicio y fin de la temporada, respectivamente. (c) y (d) dan el nivel al 80%. (e) muestra el valor máximo. (f) da la amplitud estacional y (g) la duración de la temporada. (h) e (i) son las integrales que muestran el efecto acumulativo de la vegetación en la temporada.

**Figure 2.** (a) and (b) mark, respectively, start and end of the season. Points (c) and (d) give the 80 % levels. (e) displays the point with the largest value. (f) displays the seasonal amplitude and (g) the seasonal length. (h) and (i) are integrals showing the cumulative effect of vegetation during the season.



**Figura 4.** Cargas de las variables originales. Para la facilitación en la lectura se asociaron las variables por año.

**Figure 4.** Loads of the original variables. Facilitation in reading variables were associated annually.



**Figura 3.** Paisajes de la Pampa Deprimida. Composición color de los escores factoriales de los tres primeros componentes principales.

**Figure 3.** Landscapes in the Flooding Pampa. Color composite image of factor scores of the three first principal components.