
Zonificación basada en la respuesta de ecosistemas a oscilaciones climáticas

Gandini Marcelo Luciano¹; Lara Bruno Daniel^{1,2}; Scaramuzzino Rosa¹

¹Facultad de Agronomía de Azul, UNICEN

²Becario C.I.C. Provincia de Buenos Aires

Facultad de Agronomía de Azul, UNICEN. República de Italia 780. 7000. Azul, Buenos Aires.

mgandini@faa.unicen.edu.ar

Gandini, M. L., Lara, B. D. & Scaramuzzino, R. (2014). Zonificación basada en la respuesta de ecosistemas a oscilaciones climáticas. *Revista Estudios Ambientales*, 2 (2), 4-24.

Recibido: 3 de abril de 2014

Publicado: 30 de diciembre de 2014

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue realizar una zonificación de la provincia de Buenos Aires, Argentina, utilizando cambios en la dinámica de su cobertura vegetal provocados por oscilaciones climáticas. Se usaron datos de 19 variables bioclimáticas actuales (décadas 1950 a 2000), otras provenientes de predicción de cambio climático según el Modelo WCCM3 (cambio global CO₂x2), e imágenes satelitales Terra Modis (serie temporal 2000-2010; 23 imágenes por año) y Spot vegetation (serie temporal 2008-2010; 12 imágenes por año) con el índice de verdor (NDVI), calculado por las respectivas agencias espaciales. Las imágenes vegetation se clasificaron en aquellas provenientes de años “el niño”, neutros o “la niña”, y se co-registraron con las capas raster de variables bioclimáticas. Los datos se analizaron mediante correlaciones canónicas, definiendo como una de las matrices, a la diferencia entre los parámetros bioclimáticos actuales y los predichos por el el Modelo WCCM3, y otra de las matrices, con los valores de NDVI de tres series de datos, correspondientes a los tres estados climáticos mencionados. Posteriormente, utilizando una fuente de datos independiente como las imágenes Modis se realizaron ajustes de los datos de NDVI a las regiones delimitadas. Sobre la base de los resultados de los análisis multivariados se delinearon zonas de comportamiento homogéneo en las tres variables canónicas (92 % de correlación explicada). El análisis canónico arrojó un r de 0,92440 [$\chi^2(450)=1334e2$ p<0,0001] con autovalores 0,85 ; 0,80; y 0,64 para los tres primeros ejes canónicos. Las variables que obtuvieron mayor carga sobre los ejes de correlación fueron: máxima temperatura del mes más cálido, mínima del mes más frío y el rango anual de temperaturas. En el caso de los valores de NDVI, los meses niño aportaron mayor correlación. Los resultados obtenidos mediante el ajuste de los valores de NDVI al Modelo Timesat, muestran un comportamiento diferente de las distintas zonas en varios de sus parámetros apoyando la subdivisión realizada.

Palabras clave: Modis, imágenes de vegetación, análisis multivariado, ENOS

ABSTRACT

The aim of this study was to conduct a zoning of the province of Buenos Aires, Argentina, using changes in the dynamics of its vegetation cover caused by climatic

oscillations. Layers consisting in data of 19 bioclimatic variables (decades 1950 to 2000); bioclimatic variables in a climate change prediction by the model WCCM3 (CO₂x2 global change); satellite images Terra MODIS and SPOT Vegetation greenness (NDVI) images were stored in a raster geographical information system (GIS); last consisting in a time series of 2008-2010 (12 images per year), calculated by their respective space agencies. Multivariate correlation was evaluated between climate changes predicted by global model WCCM3 and the observed climate changes by the effect of El Niño Southern Oscillation (ENSO). Geographical coherence of these correlations was visually analyzed exporting "factorial scores" product of the analysis, and then tracing the boundaries of areas on the computer screen. Subsequently, using a separate data source as MODIS NDVI; by means of the model Timesat where analyzed 7 or 8 months -depending on the case- in those years of greatest environmental contrasts, as events "El Niño "(Jun2002-March2003) neutral (July2005-Feb2006) and "La Niña" (Aug2008-Feb2009). Later was performed an ecologically homogeneous zoning using three canonical variables accounting 92 % correlation explained. The canonical analysis yielded an r of 0,92440 [χ^2 (450) = 1334e2 p <0.0001] with eigenvalues 0,85, 0,80, and 0,64 for the first three canonical axes. The variables having higher loading were: maximum temperature of the warmest month, minimum coldest month and the annual range of temperatures. For NDVI values, months provided greater correlation were from Niño. The results obtained with Timesat indicate that the different zones behave differentially, supporting the main working hypothesis.

Keywords: Modis, images of vegetation, multivariate analysis, ENSO

INTRODUCCIÓN

La regionalización, zonificación, o agrupamiento de objetos en el espacio, es una herramienta útil para la organización, visualización, y síntesis de información contenida en datos espaciales de origen multivariado (Long et al., 2010). La regionalización geográfica puede ser definida como el agrupamiento de áreas contiguas, más precisamente unidades espaciales básicas -UEB-, en regiones que son diferentes de su entorno. Esto implica que las áreas dentro de una región tienen algo en común que sirve para agruparlas, y además poseen suficiente diferencia del entorno como para

separarlas de éste. En general, la regionalización se basa en la interpretación de la distribución espacial de las variables de interés, aplicada a conjuntos de datos geográficos (Ng y Han, 2002). Ejemplos de regionalización con objetivos similares al de este trabajo incluyen la delimitación de ecozonas (Schultz, 2005), regiones de flujo (Hargrove et al 2003), dominios ambientales (Leathwick et al., 2003; Coops et al., 2009) y regiones geológicas espacialmente explícitas (Harff y Davis, 1990), clima (Fovell y Fovell, 1993) o agricultura (Lark, 1998).

Galopin (1982) es pionero en analizar las posibilidades de dividir el espacio en regiones mediante métodos multivariados. Según este autor, una metodología objetiva para la regionalización es la subdivisión del área de estudio en Elementos Ambientales Unitarios (EAU) y un posterior agrupamiento o clasificación de los mismos mediante técnicas de análisis multivariado. Para el análisis de los datos existen varias técnicas multivariadas aplicables a la regionalización como Análisis de Componentes Principales, Análisis de Factores, Análisis de Agrupamiento (Cluster) y otros. A partir de cada una de éstas se obtienen distintos resultados (Nathan y McMahon, 1990), por lo que la elección de la técnica apropiada es de gran importancia para obtener resultados coherentes a los objetivos planteados.

Host et al. (1996) realizan una primera aproximación al desarrollo de clasificaciones de ecosistemas usando análisis de componentes principales, pero definen los límites de clasificación de una forma arbitraria (usando los límites de mapas escala 1:250.000). Esta decisión puede llevar a que se subestime o sobrestime la varianza de variables que luego son usadas para definir los límites dentro de ecosistemas regionales.

Los mapas ecológicamente definidos representan hipótesis acerca de los factores que controlan la estructura y el funcionamiento del ecosistema; por otro lado, al establecerse una jerarquía de variables, es posible plantear hipótesis de manejo y predecir los resultados mediante modelos analíticos (Hughes y Larsen, 1988; Nathan y Mc. Mahon, 1990; Beran et al., 1990).

Cada paisaje incluye un mosaico de factores que determinan la distribución espacial de la respuesta dinámica de los agroecosistemas (Andersson y Sivertun, 1991). Por otra parte, el hombre influye sobre ésta, modificando la cobertura vegetal y la infiltración de los suelos con sus prácticas agrícolas.

El objetivo de este trabajo consistió en dividir el espacio de la provincia de Buenos Aires en unidades ecológicamente homogéneas y describir su comportamiento. Por otro lado, se intenta proveer de herramientas que sean útiles a los tomadores de decisiones al momento en que tengan que proponer alternativas de gestión y administración de los recursos naturales de la zona en cuestión. Pero, precisamente, que esas decisiones se hagan sobre un fehaciente e integral conocimiento del ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Adquisición de datos

En este paso se adquirieron todas las capas de información necesarias para la regionalización, las que consistieron (luego de una evaluación de disponibilidades) en mapas de 19 variables bioclimáticas actuales (décadas 1950 a 2000). Estas variables provienen de la combinación de datos de temperatura y precipitaciones a saber: Temperatura (T) media anual, Rango medio mensual de temperatura, Isotermalidad, Estacionalidad de la temperatura, Temperatura máxima del mes más cálido, Mínima del mes más frío, Rango anual de Temperatura, T media de la estación más húmeda, T media de la estación más seca, T media de la estación más cálida, T media de la estación más fría, Precipitación (Pp) anual, Pp del mes más húmedo, Pp del mes más seco, Estacionalidad de Pp, Pp de la estación más húmeda, Pp de la estación más seca, Pp de la estación más cálida, y Pp de la estación más fría. Para más detalles ver Hijmans et al. (2005).

Además se contó con imágenes satelitales históricas y actuales de distintas fuentes, y capas raster provenientes de la predicción de cambio climático según el Modelo WCCM3 (cambio global CO²x2; Govindasamy, 2003); este modelo se basa en que hay un aumento de la energía global, producto del cambio en la composición de la atmósfera y por lo tanto un cambio en la circulación general de la misma. Basado en estos cambios energéticos, simula los valores de temperatura y precipitación globales, suponiendo una duplicación del CO₂ en la atmósfera.

Los datos fueron analizados para 3 estados ENOS (El Niño Oscilación Sur) 2002-2003: Niño; 2004-2005: Neutro y 2008-2009: Niña; como una manera de incorporar los extremos de variación climática ocurridos durante esta serie de tiempo.

Ingreso de los datos a un Sistema de Información Geográfica

En esta etapa se ingresaron los datos, ajustando y corrigiendo sistemas de coordenadas y proyecciones de las distintas fuentes: las agencias espaciales y los repositorios de datos SIG del modelo WCCM3; el SIG IDRISI Taiga como base (Eastman, 2009) y Quantum GIS.

Tratamiento de los datos mediante análisis multivariado

En base al objetivo definido, se decidió utilizar un análisis de correlaciones Canónicas, (Gandini y Castellar, 2011) usando como variables abióticas la diferencia entre los valores predichos por el Modelo WCCM3 y los actuales, de 19 variables bioclimáticas, provenientes de las bases de datos mundiales de Hijmans et al. (2005). De esta manera se intenta una zonificación en base a las correlaciones de la dinámica de la cobertura vegetal, con cambios ambientales.

Los valores de las variables “actuales” fueron comparados con los datos simulados por Govindasamy (2003) para el cambio climático al año 2030, utilizándose la diferencia de las mismas para realizar la zonificación.

Por otro lado se obtuvieron imágenes Terra Modis (Serie temporal 2000-2010; 23 imágenes por año) y Spot Vegetation (Serie temporal 1998-2010; 12 imágenes por año). Con las segundas se analizó el efecto de las variaciones climáticas por efecto del fenómeno “El Niño”, y se decidió utilizar los años 2002-2003, 2005-2006, y 2008-2009 como representativas de los estados más relevantes de la docena de años considerada.

Validación de zonas ecológicamente homogéneas por variación del NDVI durante la última década

Utilizando una fuente de datos independiente como las imágenes Modis se realizaron ajustes de los datos de NDVI a las regiones delimitadas, mediante el Modelo Timesat (Elklundh y Jönsson, 2009; Jönsson y Elklundh, 2002, 2004) y se analizaron los años

de mayores contrastes ambientales, como eventos “El Niño” (2002-2003) Neutros (2005-2006) y “La Niña” (2008-2009).

Los parámetros extractados a partir del modelo fueron:

- ✓ Duración: es la diferencia en días entre el valor del inicio y el fin de una estación de crecimiento.
- ✓ Índice de Productividad: es la superficie comprendida entre la función de ajuste y el nivel medio de los mínimos de cada estación de crecimiento. Es una integral y representa la productividad integrada de la vegetación fotosintéticamente activa de los ecosistemas analizados.
- ✓ Inicio de estación de crecimiento: es el punto en el tiempo de la función de ajuste que ha incrementado su valor en un 20 %, con respecto a la distancia que existe entre el punto mínimo izquierdo y el punto máximo de la curva ajustada (Eklundh y Jönson, 2009).

RESULTADOS

Aspectos Metodológicos

El resultado del análisis de correlaciones canónicas, se puede observar espacialmente, en sus primeras tres variables dependientes (aquellas que provienen del NDVI) e independientes (las provenientes de variables bioclimáticas) en la Figura 1.

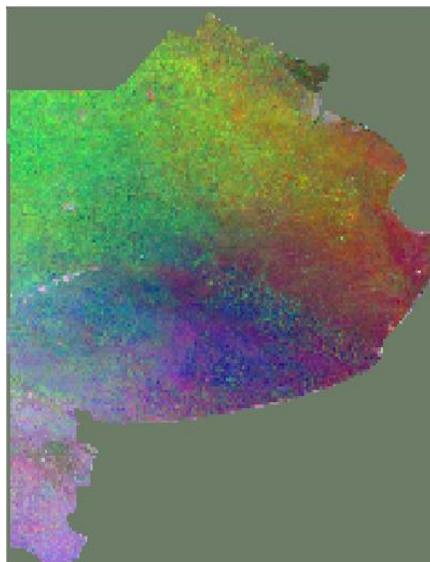


Figura 1a. Imagen compuesta de los tres primeros ejes canónicos de variables: índice verde (variables dependientes).

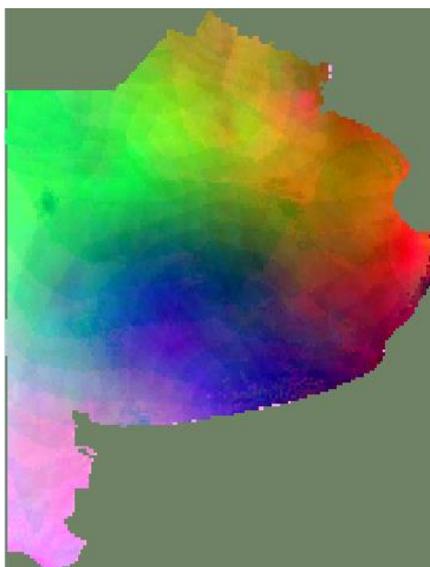


Figura 1b. Imagen compuesta de los tres primeros ejes canónicos de variables: variables bioclimáticas (independientes)

Sobre la base de los resultados de los análisis multivariados se delinearon zonas de comportamiento homogéneo en las tres variables canónicas (92 % de correlación explicada) (Tabla 1 y Figura 2). El análisis canónico arrojó un r de 0,92440

[$\chi^2(450)=1334$ $p<0,0000$ con Autovalores 0,85 ; 0,80; y 0,64 para los tres primeros ejes canónicos.

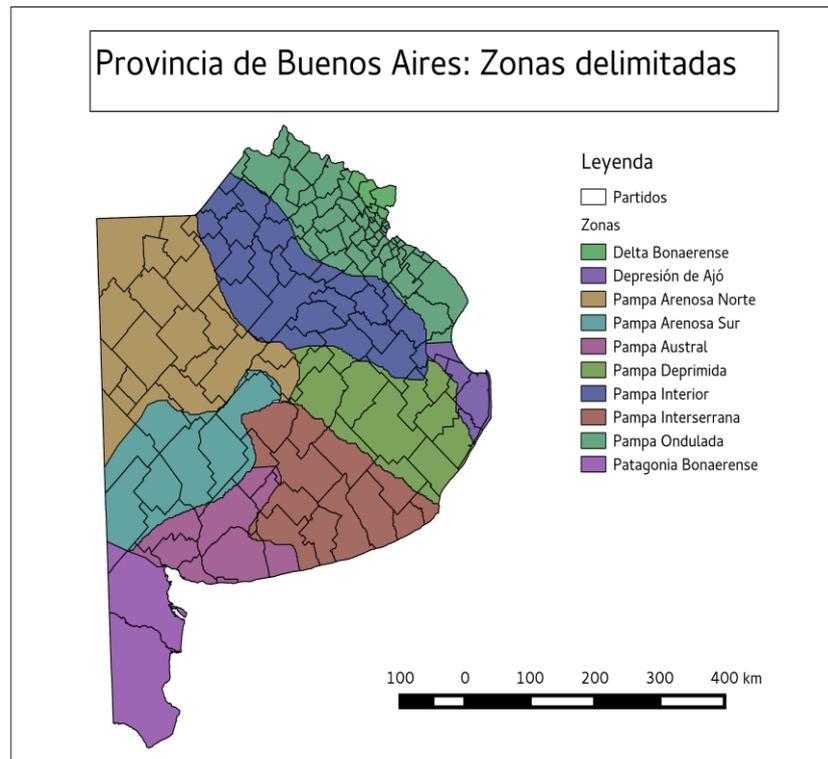


Figura 2. Zonas delimitadas y nombres definidos. Se intentaron mantener los nombres dados por autores anteriores a la fecha (ver texto).

La comparación con resultados de regionalizaciones anteriores, indica una similitud importante entre aquellas realizadas por los fitogeógrafos y algunos de los límites encontrados. Frenguelli (1941), Parodi (1964), Cabrera (1968), Soriano y otros (1991); principalmente utilizan además de las comunidades vegetales los datos macroclimáticos como temperaturas medias anuales y/o precipitaciones para explicar las diferencias entre regiones. Moscatelli (1991) realiza una subdivisión similar a la efectuada por este proyecto, basándose en suelos y clima regional, pero con ausencias como la región del delta bonaerense, y dando mayor peso a las zonas serranas y deprimidas lacunares.

Tabla 1. Resumen de análisis canónico. NDVI: eje de variables provenientes de valores de índice verde. Bioclimáticas: eje de variables bioclimáticas.

	NDVI	Bioclimáticas
Nº variables	25	18
Varianza extraída	90,4 %	100,0 %
Redundancia total	55,5 %	53,6 %

Por otro lado, una zonificación en base a geomorfología y morfogénesis (Solbrig y Morello, 1997) presenta la mayor similitud, pero con una gran diferencia: las zonas serranas de Ventania y Tandilia desaparecen en el mapa realizado en este trabajo. Esto puede ser explicado por el uso actual de la tierra de las zonas aledañas a las cadenas serranas. La explotación del suelo por distintos tipos de usos agrícolas llega a cubrir el pedemonte en su totalidad, homogeneizando el paisaje, y dejando sin cobertura vegetal solamente los afloramientos rocosos. De esta manera, al utilizarse el comportamiento del NDVI como variable principal, a esta escala resulta imposible discriminar estos ambientes.

Por último, Viglizzo et al. (2005) zonifican en base a los mismos parámetros que Parodi (1964) definiendo menor cantidad de zonas, y utilizando los partidos como elementos ambientales unitarios, consiguiendo un menor detalle que el autor citado. Este hecho lleva a desconocer el hecho de que existen partidos de la provincia con grandes diferencias ambientales como por ejemplo, los que contienen el piedemonte de las sierras de Tandilia como Olavarría, Azul, Tandil, y Balcarce principalmente.

Validación de la subdivisión regional

Se analizaron para este objetivo diferentes parámetros de la curva de crecimiento anual de la vegetación: Inicio de la temporada de crecimiento, punto medio, duración y productividad, de cada pixel, usando datos del índice verde, de una serie temporal de imágenes Modis 2000-2010.

Los resultados del ajuste de los modelos matemáticos indican un comportamiento diferencial de las distintas subregiones (Figuras 3,4 y 5).

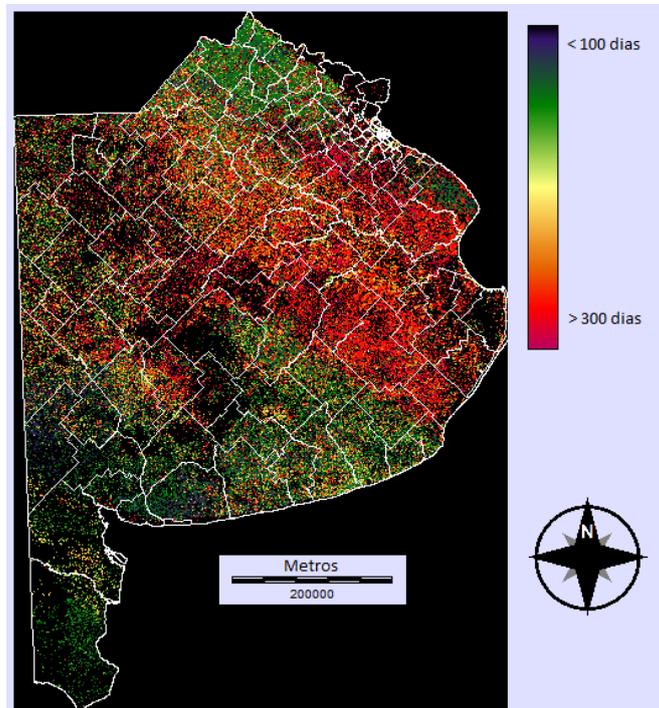


Figura 3a. Duración de la temporada de crecimiento durante "El Niño" (2002-2003).

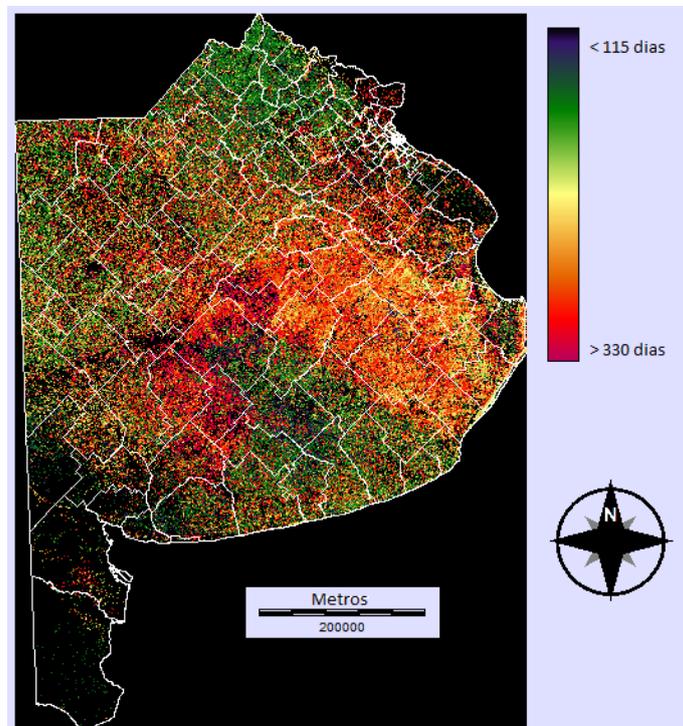


Figura 3b. Duración de la temporada de crecimiento durante estado neutro (2004-2005).

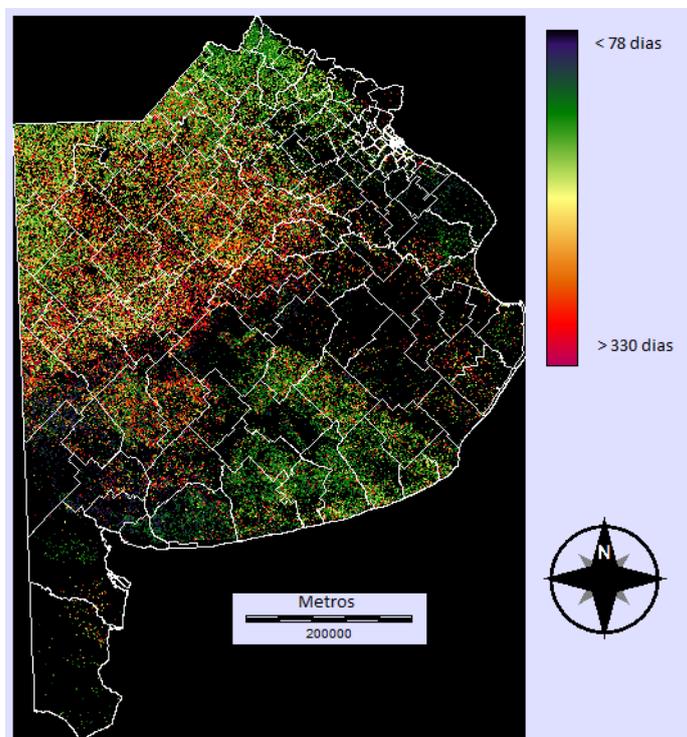


Figura 3c. Duración de la temporada de crecimiento durante estado "La Niña" (2008-2009).

Principalmente se observan variaciones muy marcadas en la respuesta de los ecosistemas en años de diferentes estados de la Oscilación Sur (ENSO) o sea años de Niño, Niña o Neutros.

En cuanto a la duración de la temporada de crecimiento (Figura 3 a, b, y c) se observa que abarca 16 imágenes (aproximadamente 256 días) existe un acortamiento significativo en el delta bonaerense en el año "El Niño" debido a la altura del río Paraná que afectaría la vegetación dejándola bajo agua, efecto que puede verse también en la depresión de Ajó. El aumento de la altura del agua ya fue reportado por otros autores como responsable de una disminución en los valores de NDVI (Kandus et al, 2011) Este comportamiento validaría la creación de las dos nuevas zonas propuestas.

Es de notar también un efecto positivo del crecimiento vegetal principalmente en la zona denominada "Patagonia bonaerense" y en la "Pampa Austral" comparado con otros estados climáticos (Neutro, Niña), efecto que puede explicarse por el corrimiento de las isoyetas (Viglizzo et al., 2005); de esta manera se soporta la creación de una nueva zona como la "Pampa Austral".

En cuanto a la tendencia general de la duración de la temporada de crecimiento (Figura 3), se observa que en el año neutro, la duración de la temporada es mayor (280 días aproximadamente) en toda el área de estudio comparada con los eventos ENSO.

Cabe destacar el estado de reposo debido a la sequía, observado durante el año “Niña” en la “Pampa Deprimida” en el cual no se observa un crecimiento significativo de la vegetación a la escala de trabajo.

En cuanto al inicio de las temporadas de crecimiento (Figura 4 a, b, y c), se observa claramente mayores valores al Norte de la provincia, principalmente relacionada con el comienzo de la temporada agrícola, aprovechando el período libre de heladas más prolongado. Por otro lado, durante el evento “Niño”, el crecimiento se retrasa en la “Pampa Arenosa” principalmente por las inundaciones ocurridas esos años. Durante “La Niña” La diferencia entre la zona Norte y la “Pampa Interserrana” es casi imperceptible, debido a la gran cantidad de heladas y la baja cantidad de agua en el perfil del suelo, que obligaron a retrasar la siembra de cereales (Villar y Censig, 2010).

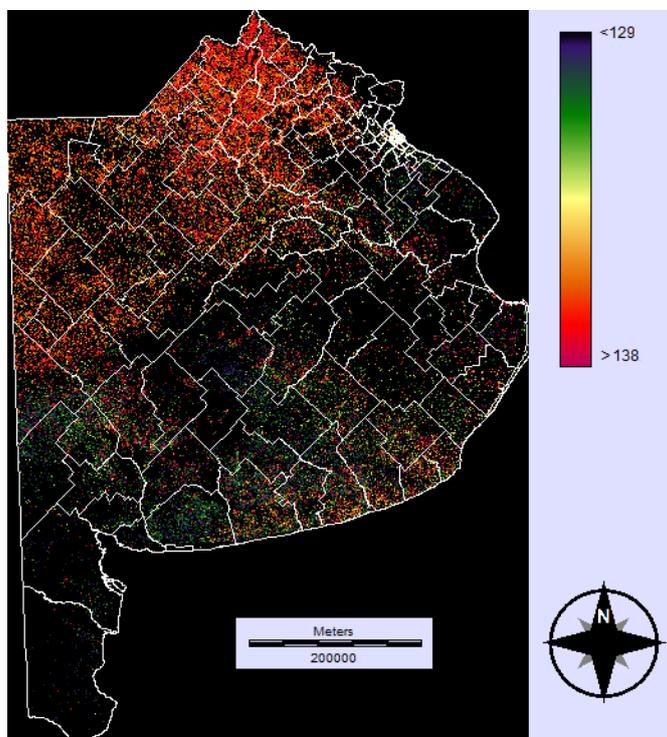


Figura 4a. Inicio de la temporada de crecimiento en año “El Niño” (día juliano 2002-2003).

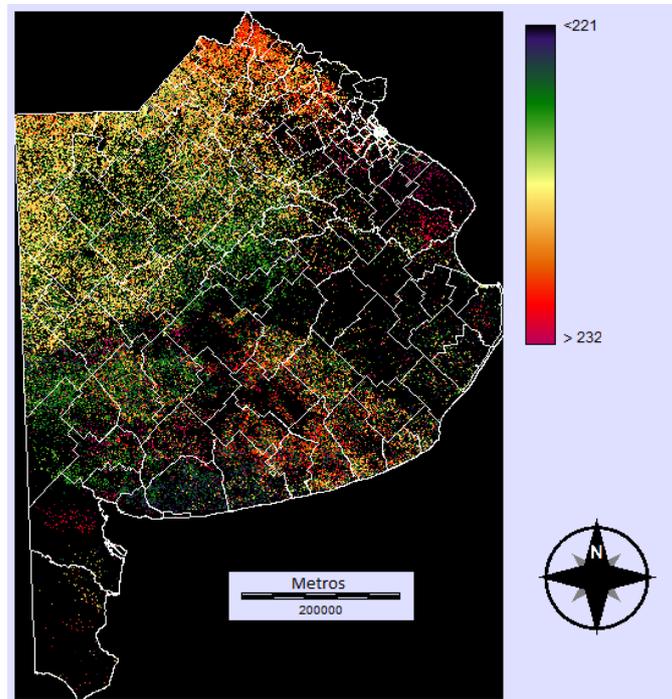


Figura 4b. Inicio de la temporada de crecimiento en estado neutro (día juliano 2004-2005).

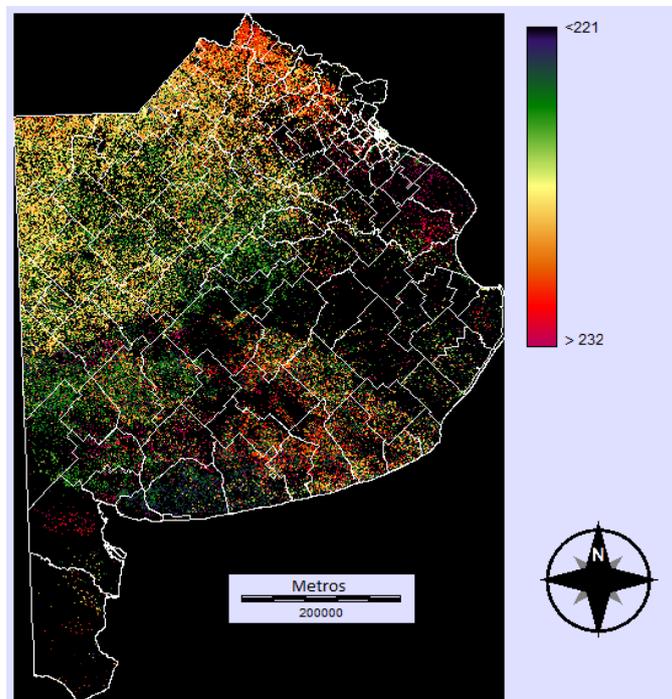


Figura 4c. Inicio de la temporada de crecimiento en año "La Niña" (día juliano 2008-2009).

En el caso de la productividad, las zonas que presentan mayores variaciones son las de “Patagonia Bonaerense” y la “Pampa deprimida”, dos zonas con alta actividad ganadera de acuerdo con Moscatelli (1991). Cabe aclarar en este punto que el cálculo de productividad se refiere a la integral del NDVI durante el año, por lo que en zonas de uso ganadero como las citadas, es evidente que existió productividad vegetal pero fue instantáneamente consumida por el ganado, produciéndose una alta presión sobre los pastizales. En el otro extremo, en el caso del período “Niño” La productividad primaria no pudo ser aprovechada por la producción ganadera, observándose una gran acumulación de biomasa.

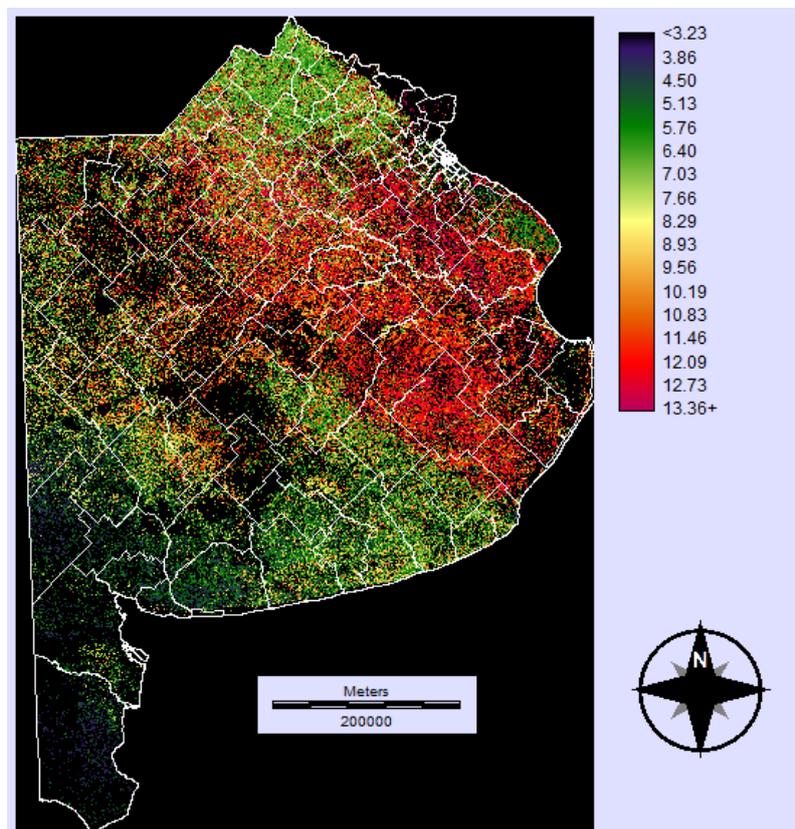


Figura 5a. Índice de productividad primaria en año “El Niño” (2002-2003).

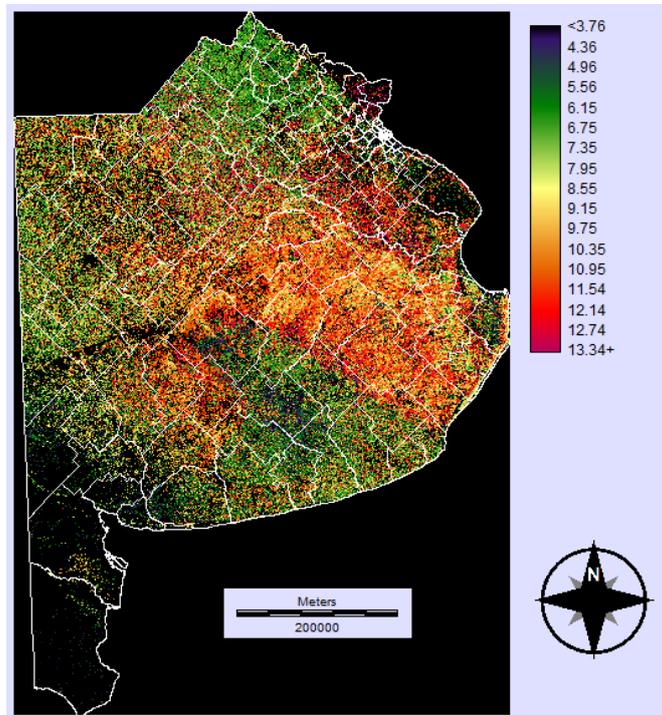


Figura 5b. Índice de productividad primaria en estado neutro (2004-2005).

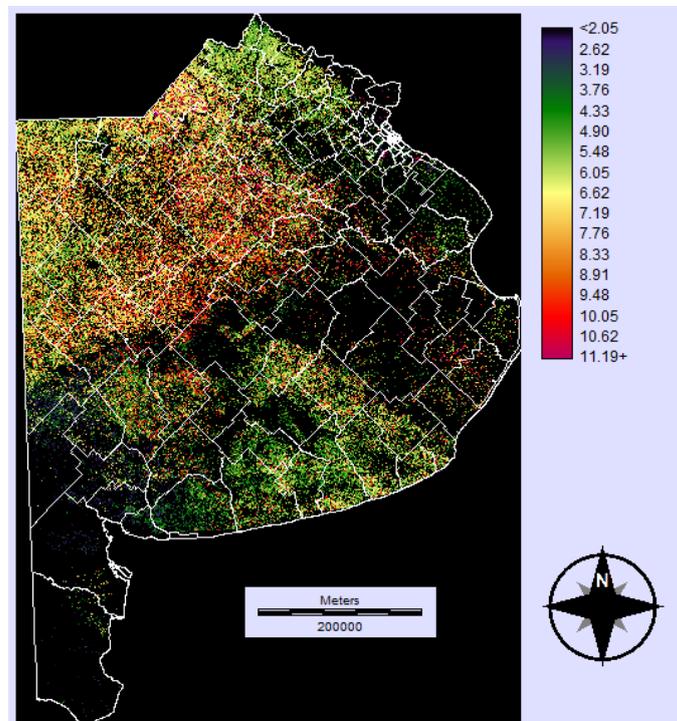


Figura 5c. Índice de productividad primaria en año "La Niña" (2008-2009).

Discusión

Existe una similitud entre los límites de algunas zonas de este trabajo, y diferentes regionalizaciones delineadas durante el siglo pasado, aun siendo la presente realizada por una metodología totalmente diferente e independiente a las anteriores. Este hecho nos lleva a confirmar además los supuestos de trabajo planteados, como el hecho de que la cobertura vegetal, tanto natural como artificial (Cultivos) está respondiendo a nivel regional a forzantes principales como la temperatura y las precipitaciones, en sus diferentes expresiones como parámetros bioclimáticos.

Con respecto a la validación de los resultados, queda pendiente un análisis más profundo, pero deja entreverse que las zonas delimitadas, tienen una respuesta diferencial a los factores bioclimáticos a lo largo de año, lo que afirma la hipótesis principal de trabajo.

En cuanto a la aplicabilidad de los resultados de validación, queda en evidencia que un análisis funcional como el realizado, puede ser usado para predecir resultados de campañas agrícolas, definir políticas de uso de la tierra, así como regionalizar subsidios a distintos tipos de producciones, o simplemente realizar recomendaciones generales a nivel regional, basándose en predicciones del clima a corto plazo.

CONCLUSIONES

En nuestro caso el uso de 19 variables bioclimáticas y sus diferencias temporales favoreció el proceso de zonificación y la identificación de nuevas regiones, como la “Depresión de Ajó” y la “Pampa Austral”. En este sentido el trabajo realizado se considera superior a los disponibles hasta el momento principalmente por cuatro causas:

- ✓ La delimitación de un mayor número de regiones asegura una mayor homogeneidad al momento de la planificación agroproductiva provincial.
- ✓ La metodología utilizada, en base a la dinámica del índice verde, asegura un comportamiento similar en cuanto a productividad primaria de los agroecosistemas involucrados.
- ✓ El análisis de la dinámica tiene en cuenta factores como el uso actual de la tierra y la respuesta a los cambios climáticos (inundaciones y sequías) como

los que afectaron a la provincia en épocas cercanas en el tiempo, provocados por el ENOS.

- ✓ El uso de los valores de diferencia de los parámetros bioclimáticos asegura una delimitación de regiones que se comportarán homogéneamente frente a cambios climáticos.

Por otro lado, la validación de la zonificación realizada por medio de índices dinámicos como los provenientes de Timesat, aparece como una interesante alternativa, en la que la dinámica de los ecosistemas puede usarse como herramienta.

AGRADECIMIENTOS

Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires: Aportó Hardware y software necesario para el procesamiento, e insumos varios por un subsidio especial del año 2010-2011.

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires: Logística, servicios y sueldos de los profesionales involucrados en el proyecto.

Por otra parte, se agradece a todos los equipos de trabajo que crean software de libre acceso (Ubuntu, Quantum GIS, Multispec, etc.), a la agencia espacial Europea por las imágenes Vegetation, principalmente a VITO (Bélgica) y al Servicio Geológico de los estados Unidos (USGS) por las imágenes Modis.

Además agradecemos muy especialmente a los revisores anónimos, que nos ayudaron a mejorar nuestro reporte.

BIBLIOGRAFÍA

- Andersson L. y Sivertun A. 1991. A GIS supported method for detecting the hydrological mosaic and the role of man as a hydrological factor. *Landscape Ecology* 5(2) 107-124.
- Beran M. A., Brilly, M., Beckery, A. y Bonacci, O. (ed.). 1990. Regionalization in Hydrology. IAHS, publicación N° 191. 260 págs.
- Cabrera, A. 1968. *La vegetación de la Provincia de Buenos Aires. En: Flora de la Provincia de Buenos Aires.* Colección Científica INTA 4(1): 101-134

-
- Coops, N. C., Wulder, M. A. y Iwanicka, D. 2009. An environmental domain classification of Canada using earth observation data for biodiversity assessment. *Ecological Informatics* 4: 8-22.
 - Eastman, J. R. 2009. IDRISI 16: The Taiga Edition (Worcester, MA: Clark University).
 - Eklundh, I. y Jönsson, P., 2009, Timesat 3.0 Software Manual, Lund University, Sweden.
 - Fovell, R. G. y Fovell, M. Y. C. 1993 Climate zones of the conterminous United States defined using cluster analysis. *Journal of Climate* 6: 2103–2135
 - Frenguelli, J. 1941. Rasgos principales de Fitogeografía Argentina. *Revista Museo La Plata*. Argentina. Nueva serie. Botánica 3: 65-181
 - Gandini, M. L. y Castellar, C. 2011. *Last La Niña Affects Agroecological Systems of Argentine Pampas*. 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment The GEOSS Era: Towards Operational Environmental Monitoring.
 - Gallopín, G. C. 1982. Una metodología multivariable para la regionalización ambiental-I. Bases Metodológicas. *Ecología Argentina* 7: 161-76.
 - Govindasamy, B., Duffy, P. B. y Coquard, J. 2003. High-resolution simulations of global climate, part 2: effects of increased greenhouse cases. *Climate Dynamics* 21: 391-404.
 - Harff, J. y Davis, J. C. 1990. Regionalization in geology by multivariate classification. *Mathematical Geology* 22: 573–588.
 - Hargrove, W. W., Hoffman, F. M. y Law, B. E. 2003. New analysis reveals representativeness of the AmeriFlux network. *Eos Trans. AGU*, 84(48): 529-535.
 - Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P.G. y Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
 - Host, G. E., Polzer, P. L., Mladenoff, K. J., White, M.A. y Crow, T.R. 1996. A quantitative approach to developing regional ecosystem classifications. *Ecological Applications* 6 (2): 608-618.
 - Hughes, R. M. y Larsen, D. P. 1988. Ecoregions: an approach to surface water protection. *Journal Water Pollution Control Federation* 486-493.

-
- Jönsson, P. y Eklundh, L. 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. y Eklundh, L. 2004. Timesat - a program for analyzing time-series of satellite sensor data. *Computers and Geosciences* 30: 833-845.
 - Kandus, P., Minotti, P. y Borro, M. 2011. *Contribuciones al conocimiento de los humedales del Delta del Río Paraná: herramientas para la evaluación de la sustentabilidad ambiental*. Compilado por Patricia Kandus; Priscilla Minotti; Marta Borro. - 1a ed. - San Martín: Universidad Nacional de Gral. San Martín. UNSAM Edita, 2011
 - Lark, R. M. 1998. Forming spatially coherent regions by classification of multi-variate data: an example from the analysis of maps of crop yield. *International Journal of Geographical Information Science* 12: 83-98
 - Leathwick, J. R., Overton J. M. y McLeod, M. 2003. An environmental domain classification of New Zealand and its use as a tool for biodiversity management. *Conservation Biology* 17: 1612-1623
 - Long, J., Trisalyn, N. y Wulder M. 2010. Regionalization of Landscape Pattern Indices Using Multivariate Cluster Analysis. *Environmental Management* 46:134-142
 - Moscatelli, G. 1991. *Los suelos de la Región pampeana* 1-76. En: Barsky, O. El desarrollo agropecuario pampeano. INDEC-INTA-IICA. Grupo Editor Latinoamericano. 1-804
 - Nathan, R. J. y McMahon, T.A. 1990. Identification of Homogeneous Regions for the purposes of Regionalisation. *Journal of Hydrology* 121: 217-238.
 - Ng, R. T. y Han, J. 2002. Clarans: "a method for clustering objects for spatial data mining". *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 14: 1003-1016.
 - Parodi, L.R. 1964. Las regiones fitogeográficas argentinas. Pp. 1-14 in *ipse* (ed.), Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería, vol. 2. Buenos Aires: ACME.
 - Schultz, J. 2005. *The ecozones of the world*. Springer-Verlag, Berlin. 252 págs.
 - Solbrig, O. y Morello, J. 1997. *Reflexiones generales sobre el deterioro de la capacidad productiva de la pampa Húmeda Argentina*. 1- 28. En: Morello, J. y Solbrig, O. Eds. ¿Argentina granero del mundo: hasta cuándo? Orientación Gráfica Editora. 171-183.

- Soriano, A., León, R. J. C., Sala, O. E., Lavado, R. S. y Deregibus, V.A. 1991. Rio de la Plata Grasslands. En: Copeland, RT (Ed.), *Ecosystems of the World. Natural Grasslands, Introduction and Western Hemisphere*. Elsevier, New York, 367-407.
- Viglizzo, E., Frank, F. Y Carreño, L. 2005. Situación Ambiental En Las Ecorregiones Pampa Y Campos Y Malezales. En: Situación Ambiental Argentina. 261-278 En: Brown, A., Martínez Ortiz, U., Acerbi, M., Corcuera, J., (Eds.), Situación ambiental Argentina 2005, tercera edición Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, pp. 261–269
- Villar, J. y Cencig, G. 2010. *Secuencias agrícolas: recurso para mejorar el uso del agua y la productividad del suelo*. INTA-Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información Técnica Cultivos de Verano. Campaña 2010. Publicación Miscelánea N° 118