

ANÁLISIS DE LA FRAGMENTACIÓN DE PASTIZALES EN LA PAMPA DEPRIMIDA (ARGENTINA)

FRAGMENTATION ANALYSIS ON GRASSLANDS OF THE FLOODING PAMPA (ARGENTINA)

Lara B. ^{1,2,*} & M. Gandini ¹

Recibido 29/10/2013
Aceptado 08/04/2014

RESUMEN

Un pastizal típico de la zona central de la provincia de Buenos Aires es el pajonal de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*). Durante los últimos cinco siglos, este pastizal ha sido históricamente utilizado como fuente forrajera para el ganado doméstico. Este uso tradicional, a menudo acompañado por quemas periódicas, impacta directamente en diversos aspectos de la estructura y dinámica del ecosistema a diferentes escalas. La teledetección ha mostrado ser una herramienta poderosa capaz de monitorear los cambios de cobertura a escala regional y evaluar la fragmentación del paisaje. El trabajo se llevó a cabo en la región central de la distribución original del pajonal, situada en la Pampa Deprimida, en la provincia de Buenos Aires (Argentina). Se utilizó una imagen Landsat TM, calibrada y clasificada según el criterio de máxima verosimilitud. Posteriormente, se obtuvieron las principales métricas del pajonal con el software FRAGSTATS 4.1. Se obtuvo una muy buena precisión en la clasificación y la evaluación de las métricas permitió la identificación de un gradiente relacionado con el estado de conservación del pajonal.

PALABRAS CLAVE: análisis de componentes principales, clasificación supervisada, *Paspalum quadrifarium*, teledetección, paisaje, FRAGSTATS

ABSTRACT

The "pajonal" is a typical grassland of the central region of Buenos Aires, a province of Argentina, being dominated by *Paspalum quadrifarium*, a tall-tussock grass. During the past five centuries, this grassland has been used as a feeding resource for domestic cattle. This traditional usage, which is often accompanied by the practice of periodic burning, gives way to impacts on various aspects of ecosystem structure and dynamics at different scales. Remote sensing has proved to be a powerful tool able to monitor land cover changes at regional scale and assess landscape fragmentation. This work was carried out in the central region of the original distribution of "pajonal" in the Flooding Pampa of Buenos Aires province. A Landsat TM image, radiometrically and atmospherically calibrated, was used. The supervised classification of the reconstructed images was done by the maximum likelihood method. Assessment of landscape structure by spatial metrics of "pajonal" grassland was performed by FRAGSTATS 4.1 computer programme. Classification was accomplished with a very good accuracy, and evaluation of key metrics allowed the identification of a gradient related to the "pajonal" conservation condition.

KEY WORDS: principal component analysis, supervised classification, *Paspalum quadrifarium*, remote sensing, landscape, FRAGSTATS

INTRODUCCIÓN

Los pastizales son uno de los biomas más extensos del planeta, según estimaciones realizadas por Sala & Paruelo (1997), se calcula que

35 millones de km² podrían estar cubiertos por estos, lo que equivale a un cuarto de la superficie terrestre continental. Por lo general, son sistemas limitados por la disponibilidad de

¹ Laboratorio de Investigación y Servicios en Teledetección de Azul (LISTA), Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, República de Italia 780, Azul, Buenos Aires, Argentina.

² Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) de la provincia de Buenos Aires.

* bruno.lara@faa.unicen.edu.ar

agua en algún momento del año, con un estrato herbáceo dominado por especies pertenecientes a la familia de las Poáceas (gramíneas). Un tipo de pastizal característico de la Depresión del Salado es el pajonal de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*) también conocido como *Paspaleum* (Vervoorst, 1967). Representa una de las doce comunidades vegetales identificadas para esta zona y constituye un tipo de pastizal caracterizado por la marcada abundancia de *P. quadrifarium*, una gramínea que puede alcanzar matas densas que logran 1 a 1.50 m de altura (Frangi, 1986), y diversas especies acompañantes en proporciones diferentes. Se caracteriza por su distribución en un amplio rango de topografías (Lara & Gandini, 2013a) en las que conforma diferentes unidades de vegetación (Perelman *et al.*, 2003, 2005).

Desde la introducción del ganado doméstico por los colonos europeos y en forma prácticamente ininterrumpida, el pajonal ha sido utilizado como fuente de recurso forrajero. El fuego es utilizado en el periodo invierno-primaveral con el objetivo de aumentar la productividad neta y, así, la receptividad ganadera (Lattera, 2003). La interacción del fuego con el pastoreo vacuno provoca cambios profundos que pueden percibirse a diferentes escalas de análisis (Herrera *et al.*, 2009; Lara & Gandini, 2011). El actual aumento de la actividad agrícola-ganadera en la región (Cañibano *et al.*, 2004; Vazquez *et al.*, 2012) promueve la fragmentación del paisaje, proceso que implica cambios en la composición, configuración y función del paisaje (McGarigal *et al.*, 2005). De esta manera, es importante estudiar la fragmentación del pajonal ya que modifica la composición florística de la comunidad promoviendo el ingreso de especies exóticas, muchas de ellas no palatables (Lattera & Maceira, 1996; Paruelo *et al.*, 2004; Lara & Gandini, 2011), y provoca la pérdida de numerosos bienes y servicios ecosistémicos tales como el secuestro de carbono, recursos genéticos, conservación del suelo, regulación del ciclo hidrológico y mantenimiento de hábitat de diversas especies de aves y mamíferos (Costanza *et al.*, 1997; Sala & Paruelo, 1997; Bilencia & Miñarro, 2004).

Por otro lado, las principales críticas hacia

las métricas que cuantifican la fragmentación de un paisaje son la presencia de altas correlaciones entre ellas y la dificultad de su interpretación (Hargis *et al.*, 1998; Wu & Hobbs, 2002; Li & Wu, 2004; Frohn & Hao, 2006). Así, las técnicas multivariadas se posicionan como herramientas útiles para mejorar la interpretación de los datos y, de esta manera, proponer modelos analíticos (Cushman & McGarigal, 2007; Cushman *et al.*, 2008). Teniendo en cuenta lo mencionado antes, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la fragmentación del pajonal de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*) en un sector representativo de la Pampa Deprimida.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del área de estudio

De acuerdo a una regionalización realizada recientemente basada en criterios agroecológicos (Gandini *et al.*, 2012), el área de estudio se sitúa en la Pampa Deprimida (Fig. 1). Esta zona agroecológica, se destaca por la presencia de parches de pajonal de gran extensión (Herrera *et al.*, 2009; Lara & Gandini, 2013a) que le confiere una dinámica fenológica característica (Lara & Gandini, 2013b). El área ocupa una extensión de 9959,6 km² y comprende parte de los partidos de Rauch, Azul, Las Flores, Tapalqué, Alvear, Pila y Ayacucho. Se trata de una depresión muy ancha, 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 hasta 1980 y de 970 mm entre 1980 y 2000, siendo la intensidad de lluvias mayor en el periodo primavera-estival (IHLLA, 2003). En cuanto 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 hidrohalmórficos (Natracuoles y Natracualfes) con horizontes A muy poco desarrollados y hori-

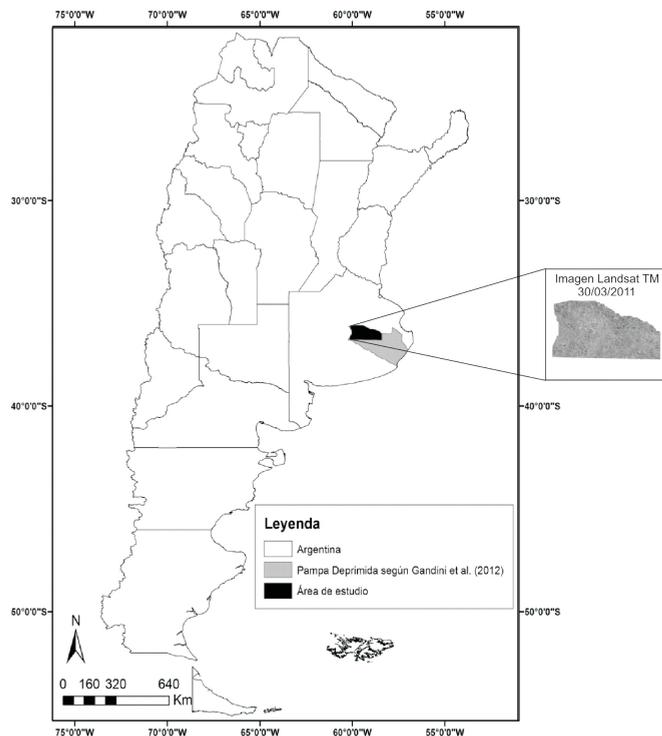


Figura 1. Área de estudio.
Figure 1. Study area.

zontes 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 región 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, debido principalmente al cultivo de soja. De esta manera, el incremento en el número de cabezas de ganado se produce en un área paulatinamente menor, lo que se refleja en una mayor presión de pastoreo sobre el pastizal natural (INTA Cuenca del Salado, com. pers.).

Clasificación de coberturas de la tierra

Se utilizó una imagen Landsat 5 TM adquirida el 30 de marzo de 2011 (Path 225 Row 85). Los niveles digitales (ND) fueron transforma-

dos a valores de reflectividad según Chander *et al.* (2009). Posteriormente, se realizó la corrección debido a los efectos atmosféricos siguiendo el método propuesto por Chavez (1996). Siguiendo trabajos previos (Herrera *et al.*, 2005, 2009; Lara & Gandini, 2013a) se utilizaron las siguientes clases de coberturas: pajonal, matriz de pastos cortos, pasturas, cultivos y cuerpos de agua (Tabla 1). Para la identificación de las mismas se procedió a una clasificación supervisada siguiendo el criterio de máxima verosimilitud. Las áreas de entrenamiento fueron localizadas mediante el uso de un sistema de geo-posicionamiento global (GPS). Los sitios de pajonal y matriz de pastos cortos se localizaron en viajes de campaña durante 2009, 2010

y 2011. Ya que los cambios a lo largo del área de estudio ocurren lentamente –excepto en las áreas agrícolas–, se supone que las condiciones no presentan cambios significativos con respecto a la fecha de adquisición de la imagen satelital (Herrera *et al.*, 2005). Los sitios de entrenamiento de las demás clases de coberturas se localizaron durante la temporada estival de 2011, cercana a la fecha de captura de la imagen Landsat. Una vez obtenida la clasificación, se aplicó un filtro de mediana de 7 x 7 para remover los píxeles aislados (efecto “sal y pimienta”). Para evaluar el resultado de la clasificación se utilizaron las precisiones individuales del usuario (indica la probabilidad de que un píxel clasificado en una clase, represente esa clase sobre el terreno), del productor (indica el porcentaje en el que una clase determinada en el terreno sea clasificada de la misma forma en el mapa), conjuntamente con

Tabla 1. Descripción de las clases de coberturas utilizadas en este trabajo.

Table 1. Description of land cover classes used in this work.

Clases de Coberturas	Descripción
Pasturas (P)	Suelen ser parte del sistema de rotación de cultivos. Donde los suelos no son propicios para los cultivos es común encontrar pastizales naturales intersebrados con <i>Festuca</i> sp., <i>Agropyron</i> sp., <i>Lotus</i> sp., <i>Trifolium</i> sp.
Cultivos (C)	Cultivos anuales como trigo, cebada, maíz, soja y girasol.
Cuerpos de Agua (CA)	Lagunas permanentes o semi-permanentes. También conformado por bajos anegables.
Matriz de Pastos Cortos (MPC)	Pastizal usado normalmente para pastoreo, puede corresponder a un estado sucesional de cultivos o pasturas abandonadas. Especies comunes son: <i>Stipa</i> sp., <i>Melica</i> sp., <i>Mentha</i> sp., <i>Oxalis</i> sp., <i>Phyla</i> sp., <i>Cirsium</i> sp., <i>Cypella</i> sp.
Pajonal (PJ)	Pastizal dominado total o parcialmente por <i>Paspalum quadrifarium</i> . Se presenta en forma de mosaico, alternando con la matriz de pastos cortos.

la precisión global y el índice Kappa (Chuvieco, 1990; Congalton, 1991).

Análisis de la fragmentación

Para la cuantificación de los patrones espa-

ciales del paisaje, dentro del área de estudio se establecieron al azar 10 sub-unidades (ventanas de análisis) de 12 km x 12 km y se analizaron con el software FRAGSTATS 4.1 (McGarigal & Ene, 2012; Fig. 2). Las métricas analizadas y sus unidades se describen brevemente en la Tabla 2, todas ellas (a excepción del porcentaje del paisaje ocupado por cada tipo de cobertura) fueron calculadas para la clase pajonal.

Las métricas elegidas han mostrado ser indicadores útiles y precisos de los aspectos fundamentales de la estructura espacial en distintos tipos de paisajes (McGarigal & Marks, 1995; Matteucci & Silva, 2005). Sin embargo, debido a la alta correlación entre muchas de ellas (Cushman & McGarigal, 2007; Cushman *et al.*, 2008) se realizó un análisis de componentes principales para evaluar la fragmentación del pajonal.

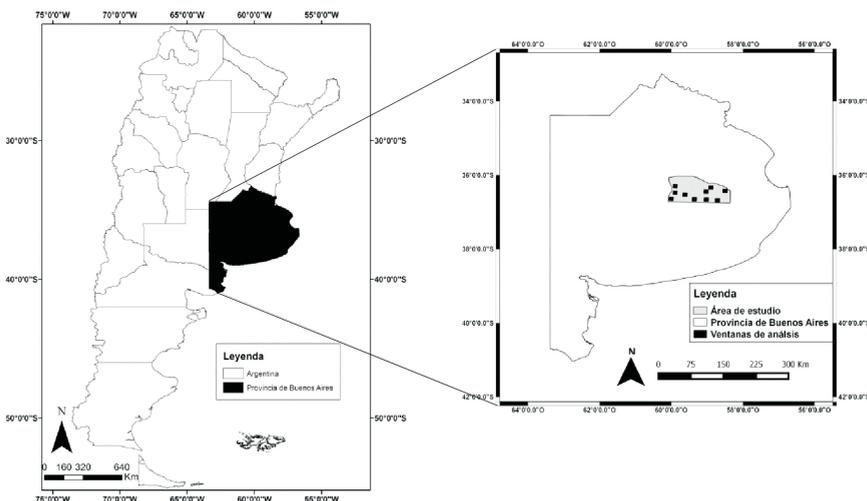


Figura 2. Ventanas de análisis para la obtención de las métricas de paisajes.

Figure 2. Windows analysis to assess landscape metrics.

Tabla 2. Descripción de las métricas de paisajes usadas según McGarigal y Marks (1995).
Table 2. Description of the landscape metrics used according to McGarigal and Marks (1995).

Métrica	Descripción
PLAND	Porcentaje del paisaje comprendido por un tipo de cobertura.
PD	Número total de parches dividido por el área total del paisaje. Se expresa en número por 100 ha.
LPI	Índice de parche mayor: parche más grande dividido por el área total del paisaje (%).
ED	Densidad de borde: suma de las longitudes (m) de todos los segmentos de borde dividido por el área total del paisaje (m), multiplicado por 10.000 (para convertir a ha). Unidades: m.ha ⁻¹
LSI	Índice de forma: igual a 0,25 veces (para ajustar al formato de pixeles) la suma de borde total en el paisaje entre tipos de parches (m), dividido por la raíz cuadrada del área total del paisaje (m ²)
CA	Suma de todas las áreas (m ²) de todos los parches de un tipo de cobertura, dividido por 10.000 (para convertir a ha)
ENN	Distancia euclídea al vecino más cercano: distancia (m) al parche vecino más cercano del mismo tipo, basado en la distancia más corta de borde a borde. Unidades: m
CLUMPY	Índice de agrupamiento: cuantifica la frecuencia con la que distintos parches (de cobertura diferente) aparecen juntos en el mapa.
COHESION	Índice de cohesión de parche: mide la conexión estructural de un tipo de cobertura.
DIVISION	Índice de división del paisaje: probabilidad de que dos pixeles elegidos al azar no estén situados en el mismo parche de la misma cobertura. Cuanto más cercano a 1 se encuentra, el paisaje se considera más fragmentado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clasificación de coberturas de la tierra y composición del paisaje

Se obtuvo una clasificación con una muy buena precisión global (90,9 %) y un alto valor del índice Kappa (0,88). La precisión del usuario fue de 100 %, 99,9 %, 88,4 %, 70,8 % y 92,8 % para cuerpos de agua, cultivos, pasturas, matriz de pastos cortos y pajonal, respectivamente. La precisión del productor fue de 99,9 %, 100 %, 90,1 %, 95,4 % y 69,0 % para cuerpos de agua, cultivos, pasturas, matriz de pastos cortos y pajonal, respectivamente. A pesar de la dificultad de discriminar tipos de pastizales en imágenes de media resolución, los niveles alcanzados de precisión en este trabajo son similares a los encontrados en la bibliografía (Price *et al.*, 2002; Herrera *et al.*, 2005; Demaría *et al.*, 2008; Arga-

ñaraz & Entraigas, 2011; Shi *et al.*, 2012), aunque en la mayoría de ellos utilizan imágenes de la estación seca. En el presente trabajo, se usa una imagen de prácticamente fines de la temporada estival, sugiere la existencia de un mayor rango dinámico en los valores de reflectancia de las diferentes coberturas dado por la mayor actividad fotosintética durante esta temporada, lo que permite una clara separación.

Para el período estudiado la superficie cubierta por pajonal en el área de estudio fue de 4468,2 km² (44,9 % del área de estudio). La superficie cubierta por cuerpos de agua, cultivos, pasturas y matriz de pastos cortos fue de 6,5 km², 111,0 km², 808,8 km² y 4565,1 km², respectivamente (Fig. 3). Si bien es imposible contar con datos fehacientes del estado original del pajonal de *Paspalum quadrifarium* y teniendo

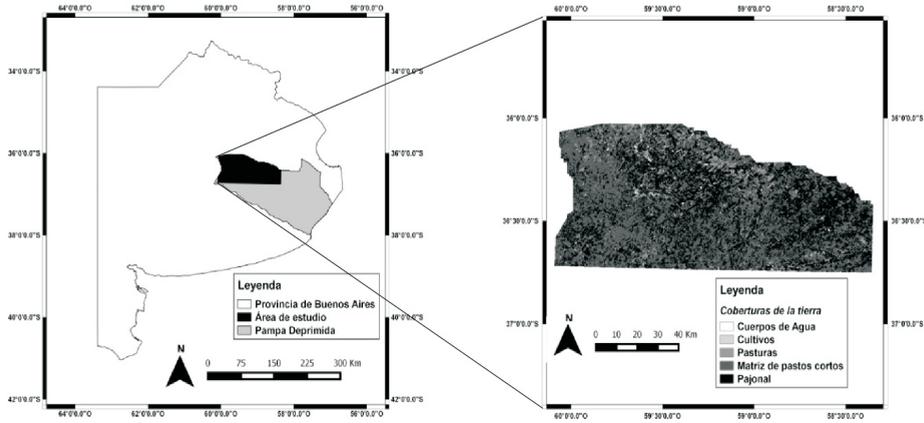


Figura 3. Mapa de coberturas para el área de estudio.
Figure 3. Land cover map for the study area.

en cuenta su continuo uso como fuente de forraje para el ganado desde la colonización europea, podemos afirmar que su superficie ha disminuido notablemente. Relato de numerosos naturalistas (ver en Ameghino, 1884 y Vervoort, 1967) mencionan la dominancia total de esta clase de “pastos duros” en la región que dificultaba el tránsito a caballo y la visibilidad del ganado. En la actualidad, se aprecia que la principal comunidad de reemplazo del pajonal es la matriz de pastos cortos, un pastizal cespitoso y más adaptado al pastoreo vacuno. A diferencia de lo que ha ocurrido en otras regiones de Los Pastizales del Río de La Plata (Soriano *et al.*, 1991; Demaría *et al.*, 2008) donde la frontera agrícola ha provocado el reemplazo de los pastizales naturales, en la Pampa Deprimida esta transformación se debe a una mayor presión sobre los pastizales naturales por actividad del ganado. La prácticamente nula aptitud agrícola de sus suelos por presentar un horizonte calcáreo a escasa profundidad, gran recurrencia de anegamientos y salinidad en superficie no han permitido el avance de la agricultura en esta región (Herrera *et al.*, 2005). De esta manera, los grandes remanentes de pajonal encontrados en este trabajo deberían ser foco de políticas de manejo sustentables y/o conservacionistas por representar relictos fisonómicos y florísticos de la vegetación original que dominaba en la región.

Análisis de la fragmentación

Los dos primeros ejes del análisis de componentes principales explicaron el 82% de la varianza de los datos. El primer eje explica el 68% y se asocia positivamente a PLAND (porcentaje del paisaje), LPI (índice de parche mayor), CA (área media), CLUMPY (índice de agrupa-

Tabla 3. Carga de las métricas en dos ejes (para facilitar la interpretación se omitieron las magnitudes < 0,20).

Table 3. Load factor metrics represented on two axes (loads < 0.20 were not considered in order to facilitate the interpretation of data).

Métrica	Eje 1	Eje 2
PLAND	0.38	---
PD	-0.36	---
LPI	0.35	-0.30
ED	-0.23	-0.50
LSI	-0.37	---
CA	0.37	---
ENN	---	0.53
CLUMPY	0.25	0.44
COHESIÓN	0.28	-0.32
DIVISIÓN	-0.36	---

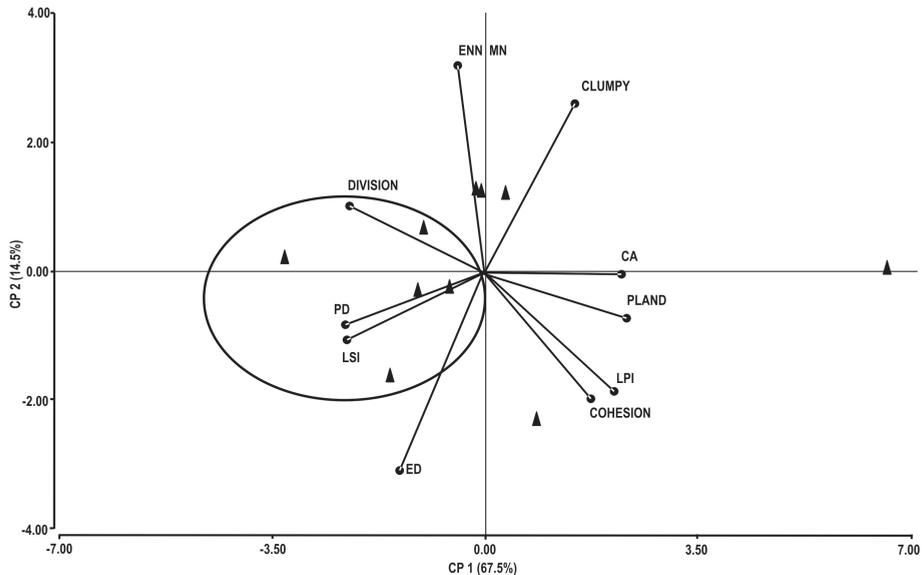


Figura 4. Biplot del ACP. Los triángulos representan las ventanas de análisis. El círculo encierra donde el pajonal se encuentra en mayor estado de fragmentación (coincide con el sector oeste del área de estudio).

Figure 4. Biplot from PCA. Triangles represent analysis windows. The circle encloses an area where the pajonal is found in a greater fragmentation condition (in coincidence with the western sector of the study area).

miento y COHESION (índice de cohesión de parche), y negativamente a ED (densidad de borde), PD (densidad de parches), LSI (índice de forma) y DIVISION (índice de división del paisaje) (Tabla 3). De esta manera, este primer eje se relaciona con la condición de fragmentación del pajonal vinculado a tales índices. Scores positivos representan a pajonales en mejor estado de conservación, mientras que scores negativos representan pajonales con un grado avanzado de fragmentación (Fig. 4). El segundo eje explica el 14% de la varianza de los datos y se asocia positivamente a ENN (distancia euclídea al vecino más cercano) y CLUMPY, y negativamente a LPI, ED y COHESION (Tabla 3); cualquier disposición espacial que presente el pajonal en este segundo eje (scores positivos o negativos) da cuenta de un estado de fragmentación avanzado, es decir, parches aislados, de forma irregular y una elevada densidad de borde (Fig. 4). Por otro lado, la variación encontrada en el primer eje se corresponde con un gradiente

oeste-este de fragmentación del pajonal (Fig. 3 y 4). De esta manera, sería interesante relacionar este gradiente con información de la carga ganadera a nivel de lote u otro disturbio de características antrópicas, ya que se podrían utilizar en la implementación de planes integrales de manejo.

Al igual que otros trabajos, métricas como proporción del paisaje (PLAND), tamaño medio de parche (CA), índice de parche mayor (LPI), densidad de parche (PD) e índice de forma (LSI) resultaron buenos indicadores del grado de fragmentación del pajonal (Demaría *et al.*, 2008; Herrera *et al.*, 2009; Shi *et al.*, 2012; Tovar *et al.*, 2012). Sin embargo, la implementación del análisis de componentes principales contribuyó a solucionar el conflicto de la correlación entre métricas, indicando aquellas que brindan cierta información redundante como por ejemplo PLAND y LPI o PD y LSI, aunque representen distintos aspectos de la estructura y función del

paisaje (McGarigal & Marks, 1995). Sin duda que estos resultados conseguidos facilitan y simplifican la interpretación de las múltiples métricas de paisajes que pueden obtenerse.

A pesar de los esfuerzos por regular la carga ganadera y mejorar la disponibilidad de forraje (Vecchio *et al.*, 2008; Rodríguez & Jacobo, 2012), la implementación de planes de manejo integrales aún continúa siendo uno de los mayores desafíos para la conservación del pastizal natural a escala de paisaje. En la región, prevalecen los establecimientos privados pero el pajonal no está representado en áreas protegidas (ni públicas ni privadas), lo que refuerza la necesidad de implementación de un manejo sustentable a escala de lote y de paisaje que asegure el mantenimiento de los servicios ecosistémicos (Costanza *et al.*, 1997), al mismo tiempo que permita el desarrollo de las actividades productivas. Sin dudas, el análisis aquí presentado debería tomarse como insumo fundamental en la identificación de las áreas prioritarias de conservación, con el complemento del desarrollo de trabajos a otra escala.

CONCLUSIONES

La utilización conjunta de datos provistos por sensores remotos y de métricas de paisajes permitió la evaluación de la fragmentación de la comunidad natural más representativa de la Pampa Deprimida. A pesar de que cubre una gran proporción de la zona, se identificaron áreas en donde se encuentra en un estado avanzado de fragmentación, sobre todo en la región oeste del área de estudio. Este gradiente de fragmentación se encontró gracias al análisis de componentes principales, el cual reflejó la relación entre métricas y facilitó la interpretación de los resultados obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

Ameghino F. 1884. Las secas y las inundaciones en la provincia de Buenos Aires. 5ª edición. Ministerio de Asuntos Agrarios de la provincia de Buenos Aires. 62 p

Argañaraz J.P. & I. Entraigas. 2011. Análisis comparativo entre las máquinas de vectores soporte y el clasificador de máxima probabilidad para la discriminación de cubiertas del suelo. *Rev. Teledetec.* 36: 26-39.

Bilenca D. & F. Miñarro. 2004. Identificación de áreas valiosas de pastizal (AVPs) en las pampas y campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil. 1º ed., Fundación Vida Silvestre. Buenos Aires, Argentina.

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.

Chander G., B.M. Markham & D.L. Helder. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sens. Environ.* 113: 893-903.

Chavez Jr. P. 1996. Image-based atmospheric correction- Revisited and improved. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 2(9): 1025-1036.

Chuvieco E. 1990. Fundamentos de teledetección espacial. Ed. Rialp, S.A. Madrid, España.

Congalton R.G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sens. Environ.* 37: 35-46.

Costanza R., R. D'arget, R. Groot, S. Faber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, T. V. O'Neill, J. Paruelo, R. Sutton & M. Van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.

Cushman, S.A. & K. McGarigal. 2007. Multivariate landscape trajectory analysis: an example using simulation modeling of american marten habitat change under four timber harvest scenarios. *In: Temporal Dimension of Landscape Ecology.* Springer US. pp. 119-140.

Cushman S.A., K. McGarigal & M.C. Neel. 2008. Parsimony in landscape metrics: strength, universality and consistency. *Ecol. Indic.* 8: 691-703.

Demaría R., I. Aguado & D. Steinaker. 2008. Reemplazo y fragmentación de pastizales pampeanos semiáridos en San Luis, Argentina. *Ecol. Austral* 18: 55-70.

Frangi J. 1986. Sinopsis de las comunidades vegetales y el medio de las Sierras de Tandil. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 16(4): 293-319.

Frohn R. & Y. Hao. 2006. Landscape metric performance in analyzing two decades of deforestation in the Amazon Basin of Rondonia, Brazil. *Remote Sens. Environ.* 100: 237-251.

- Gandini M.L., B. Lara, R. Scaramuzzino & C. Castellar. 2012. Zonificación de la provincia de Buenos Aires, basada en la respuesta de ecosistemas a oscilaciones climáticas. I Jornadas Nacionales de Ambiente. Tandil, Argentina.
- Hargis C.D., J.A. Bissonette & J.L. David. 1998. The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. *Landsc. Ecol.* 13: 167-186.
- Herrera L., P. Láttera, N. Maceira, K. Zelaya & G. Martínez. 2009. Fragmentation status of tall-tussock grassland relicts in the Flooding Pampa, Argentina. *Rangeland Ecol. Manag.* 62: 73-82.
- Herrera L.P., V. Gómez Hermida, G.A. Martínez, P. Láttera & N. Maceira. 2005. Remote Sensing Assessment of *Paspalum quadrifarium* Grasslands in the Flooding Pampa, Argentina. *Rangeland Ecol. Manag.* 58(4): 406-412.
- IHLLA. 2003. Sistema de soporte para la gestión eficiente de los recursos hídricos en la llanura bonaerense. Informe final, Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA).
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 1977. La Pampa deprimida. Condiciones de drenaje de sus suelos. Publicación N° 152 Serie suelos. 162 p.
- Köppen W. 1918. Klassifikation der klimare nach temperatur, niederschlag, und jahreslauf. Petermann's Mitteilungen 64: 193-203.
- 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.
- Lara B. & M. Gandini. 2013a. Nuevo aporte para la distribución del *Paspaleum* en el centro de la provincia de Buenos Aires. *Rev. Asoc. Argent. Ecol. Paisajes* 4:1-12.
- Lara B. & M. Gandini. 2013b. Subdivisión de paisajes basada en aspectos funcionales de la Pampa Deprimida. *Rev. Fac. Agron. UNL-Pam* 22(Supl.2): 93-98.
- Láttera P. 2003. Desde el *Paspaleum*: bases ecológicas para el manejo de pajonales húmedos con quemadas prescritas. *En: Fuego en los ecosistemas argentinos* (C.R. Kunt, S. Bravo & J.L. Panigatti eds.). Ediciones INTA, Santiago del Estero, Argentina.
- Láttera P. & N. Maceira. 1996. Ecología de pajonales de paja colorada: impacto del fuego sobre la productividad, la biodiversidad y la estabilidad del sistema. *En: Biodiversidad y funcionamiento de Pastizales y Sabanas en América Latina. Estado del conocimiento y perspectivas de investigación* (G. Sarmiento y M. Cabido eds.) Cyted-Cielat.
- Li H. & J. Wu. 2004. Use and misuse of landscape indices. *Landsc. Ecol.* 19: 389-399.
- Matteucci S.D. & M. Silva. 2005. Selección de métricas de configuración especial para la regionalización de un territorio antropizado. *Geofocus* 5: 180-202.
- McGarigal K. & B.J. Marks. 1995. Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. US Department of Agriculture, Forest Service, Northwest Research Station. USA, Portland, OR.
- McGarigal K. & E. Ene. 2012. Fragstats 4.1. A spatial pattern analysis program for categorical maps.
- McGarigal K., S. Cushman & C. Regan. 2005. Quantifying terrestrial habitat loss and fragmentation: A protocol. University of Massachusetts.
- Paruelo J.M., G. Piñeiro, A.I. Altesor, C. Rodríguez & M. Oesterheld. 2004. 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* 20: 53-60.
- Perelman S., S. Burkart & C. León. 2003. The role of a native tussock grass (*Paspalum quadrifarium* Lam.) in structuring plant communities in the Flooding Pampa grasslands, Argentina. *Biodivers. Conserv.* 12: 225-238.
- Perelman S., W. Batista & C. León. 2005. El estudio de la heterogeneidad de la vegetación. Fitosociología y técnicas relacionadas. *En: La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando León* (M. Oesterheld, M.R. Aguiar, C.M. Ghersa & J.M. Paruelo eds.). Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires. pp. 321-350.
- Price K.P., X. Guo & J.M. Stiles. 2002. Optimal Landsat TM band combinations and vegetation indices for discrimination of six grassland types in eastern Kansas. *Int J. Remote Sens.* 23(23): 5031-5042.
- Sala O.E. & J. Paruelo. 1997. Ecosystems services in grasslands. *En: Nature's Services* (G. Daily ed.). Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press. Washington, D.C.

- Shi Y., J. Xiao, Y. Shen & Y. Yamaguchi. 2012. Quantifying the spatial differences of landscapes change in the Hai River Basin, China, in the 1990s. *Int. J. Remote Sens.* 33(14): 4482-4501.
- Soriano A., R.J.C. León, O.E. Sala, R.S. Lavado, V.A. Deregibus, M.A. Cahuépe, O.A. Scaglia, C.A. Velázquez & J.H. Lemcoff. 1991. "Río de la Plata Grasslands". *En: Natural Grasslands. Introduction and Western Hemisphere. Ecosystems of the World* (R.T. Coupland ed.) New York, US. pp. 367-407.
- Tovar C., J.F. Duivenvoorden, I. Sánchez-Vega & A.C. Seijmonsbergen. 2012. Recent changes in patch characteristics and plant communities in the Jalca grasslands of the Peruvian Andes. *Biotropica* 44(3): 312-330.
- Tricart J. 1973. Geomorfología de la Pampa Depresionada. Colección Científica XII, INTA. Buenos Aires, Argentina. 202 p.
- Vazquez P., L. Zulaica & E. Requesens. 2012. Análisis del proceso de agriculturización en el partido de Azul (provincia de Buenos Aires), mediante el uso de sensores remotos (1984-2011). Actas del Congreso Argentino de Teledetección. Córdoba, Argentina.
- Vervoort F.B. 1967. Las comunidades vegetales de la Depresión del Salado (Provincia de Buenos Aires). La vegetación de la República Argentina. Serie Fitogeográfica 7, INTA. Buenos Aires, Argentina. 262 p.
- Wu J. & R. Hobbs. 2002. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis. *Landsc. Ecol.* 17: 355-365.