

## Análisis de la heterogeneidad fisonómico-funcional de la vegetación del Parque Nacional El Palmar y su relación con la invasión por leñosas exóticas

Ruiz Selmo, Fernando E.<sup>1a</sup>; Minotti, Priscilla G.<sup>b</sup>; Scopel, Ana<sup>a</sup>; Parimbelli, Matías<sup>b</sup>

<sup>(a)</sup> IFEVA, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires / CONICET

Av. San Martín 4453, (1417) Buenos Aires, ARGENTINA

<sup>(b)</sup> Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad CAECE

Junín 516, (1026) Buenos Aires, ARGENTINA

### RESUMEN

En este trabajo nos propusimos analizar la distribución espacial de la heterogeneidad fisonómica - funcional de la vegetación del Parque Nacional «El Palmar» (Argentina) como indicadora de invasibilidad. Se generó una estratificación de la vegetación actual mediante una clasificación no supervisada de imágenes Landsat ETM+ recientes, representativas de cada estación del año. Cada clase se caracterizó funcionalmente según la fenología dada por el patrón de variación del NDVI. Para la caracterización fisonómica-estructural se utilizaron datos de cobertura, altura y dominancia específica y por forma de vida, provenientes de transectas muestreadas a campo, cuyas asociaciones fueron interpretadas a partir del agrupamiento de los datos sobre los ejes de coordenadas de un Análisis de Correspondencia Múltiple. Fueron identificadas 7 clases fisonómico-funcionales y se analizó su asociación con patrones de ocurrencia de leñosas exóticas. Se discute el riesgo de invasión en áreas del parque poco o aún no invadidas.

Palabras clave: leñosas invasoras, áreas protegidas, sensores remotos

### ABSTRACT

This work intends to analyze the spatial distribution of the physiognomic - functional heterogeneity of the vegetation of the Parque Nacional «El Palmar» (Argentina) as an indicator of invasibility. A stratification of the vegetation was generated through a non supervised classification of recent Landsat ETM images representing each season of the year. Each class was functionally characterized according to the phenology given by the NDVI variation pattern. For the physiognomic - structural characterization, specific data on coverage, height and dominance by life form were used, taken from field sampled transects, and whose relations were interpreted on the basis of the data grouping on the axes of a Multiple Correspondence Analysis. We identified seven physiognomic - functional classes and we analyzed their association with occurrence patterns for woody exotics. We discuss the risk of invasion of areas in the Park that currently have little or no invasion.

Keywords: woody invaders, protected areas, remote sensing

### Introducción

El Parque Nacional El Palmar, Entre Ríos, Argentina (31°55' S - 58°16' O) (fig. 1) es un relicto de 8500 has de sabanas templadas dominadas por la palmera *Butia yatay*. Desde su creación, en el parque se verifican procesos generalizados de arbustificación e invasión por leñosas exóticas. Para comprender la dinámica de la invasión es necesario considerar el poten-

cial invasivo de cada especie y la invasibilidad de los ecosistemas (Richardson et al., 1990; Rejmánek y Richardson, 1996; Lonsdale 1999; Von Holle y Simberloff, 2003). Entre los rasgos que hacen a una especie potencialmente invasora se encuentran una alta dispersión de propágulos, bajo peso de las semillas, tasas de cre-

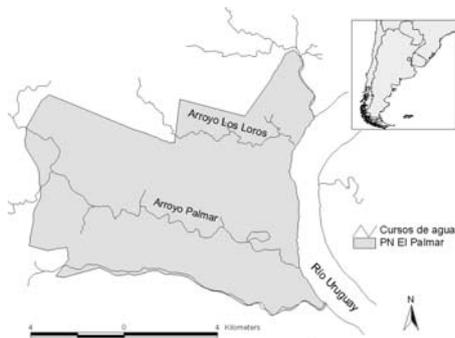
---

<sup>1</sup> Correo electrónico: ruiz@ifeva.edu.ar

cimiento elevadas, períodos juveniles cortos, reproducción vegetativa y la capacidad de establecerse en distintos ambientes. La invasibilidad tiene que ver con características que aumentan la susceptibilidad a la invasión, entre las que se encuentran las condiciones físicas que favorecen la supervivencia y crecimiento de los propágulos exóticos, y una baja resistencia biótica, dada por la habilidad competitiva de las especies nativas de la comunidad y el complejo de patógenos y predadores nativos. *Melia azedarach* (paraíso) es la leñosa exótica más extendida, con múltiples focos en expansión en todo el parque. Otras especies leñosas exóticas como *Pyracantha atalantoides* (crataegus), *Gleditsia triacanthos* (acacia negra) y *Ligustrum lucidum* (ligustro) muestran un rango de distribución más acotado, con pocos focos pero en crecimiento (Ruiz Selmo et al., 2000).

Los conceptos de potencial invasivo de las especies y la invasibilidad del ambiente están mutuamente interconectados. Su integración en el marco de una teoría predictiva y en el establecimiento del riesgo de invasión de las especies exóticas es un tema clave en la ecología de invasiones de los próximos años y es de vital importancia para la conservación de áreas protegidas.

Las invasiones presentan una dinámica espacial y otra temporal, por lo que cualquier análisis de un proceso invasivo debe incluir ambas escalas. En este sentido, los sensores remotos (e.g. fotos aéreas, imágenes satelitales) han sido empleados con éxito para abordar estudios de identificación, distribución y dinámica de distintos tipos de coberturas vegetales (Graetz, 1990; Cingolani et al., 2004) y para el monitoreo de la invasión de malezas y leñosas exóticas (Everitt et al., 1989; Carson et al., 1995; Joshi et al., 2004)



**Fig. 1:** Ubicación y límites del Parque Nacional El Palmar

La aplicación de sistemas de información geográfica está siendo cada vez más utilizada en ecología para estudiar los patrones espaciales y temporales de la vegetación y en la elaboración de modelos espacialmente explícitos (Rouget et al. 2003; Joshi et al., 2004).

Nuestro trabajo tuvo como objetivo establecer la distribución espacial de la heterogeneidad fisonómica-funcional de la vegetación y analizar su papel como indicadora de invasibilidad.

## Materiales y Métodos

### Selección y Calibración de Imágenes

Se eligieron 4 imágenes Landsat ETM+ recientes y representativas de estaciones del año contrastantes: 27/1/03 (verano), 5/9/02 (primavera), 11/4/01 (otoño) y 18/11/00 (invierno). Las imágenes fueron corregidas radiométricamente, llevándolas a valores de reflectividad para normalizar los valores de los píxeles, teniendo en cuenta las diferencias en los ángulos de iluminación solar, los efectos atmosféricos y los instrumentos de calibración (Chavez, 1996; Janzen et al., 2002; Chander y Markham, 2003). Una vez llevadas a reflectividad, las imágenes fueron corregidas geométricamente usando como referencia una imagen Landsat ETM de enero de 2001, previamente georreferenciada a la zona 5 de la proyección Gauss – Krugger y ajustada mediante puntos GPS tomados a campo.

### Heterogeneidad Funcional de la Vegetación

Se usó el NDVI como indicador de la heterogeneidad funcional de la vegetación, ya que está directamente correlacionado con la biomasa verde, el área foliar y la absorción de radiación fotosintéticamente activa (Chuvieco 1996). Se hizo un stack con el NDVI de cada imagen, un Análisis de Componentes Principales (ACP) del stack y una clasificación no supervisada usando ISODATA del ACP. La imagen obtenida se corrigió geométricamente con la imagen de 2001 previamente georreferenciada.

### Heterogeneidad Fisonómica de la Vegetación

Para la heterogeneidad fisonómica de la vegetación se usaron las bandas del visible e infrarrojo de cada escena (bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7). Se procedió de la misma forma que el punto anterior, a partir de un stack multispectral con las bandas seleccionadas de las 4 imágenes.

### Muestreo estratificado de la vegetación

Una vez obtenidas las clasificaciones no supervisadas de NDVI y multiespectral, se caracterizó la vegetación mediante un muestreo estratificado a partir de las clases obtenidas. Se registraron datos de cobertura, altura y dominancia específica y por forma de vida, provenientes de 66 transectas de 50 m muestreadas a campo y marcadas con GPS. Las transectas fueron muestreadas en 4 campañas durante los meses de febrero, mayo, agosto y noviembre de 2006 (fig. 2). Las asociaciones entre las distintas transectas fueron interpretadas a partir del agrupamiento de los datos sobre los ejes de coordenadas de un Análisis de Correspondencia Múltiple.



Fig. 2: Ubicación de las transectas muestreadas.

### Resultados y discusión

En la clasificación no supervisada de la imagen multitemporal de NDVI y en la multitemporal multiespectral se obtuvieron 12 y 16 clases respectivamente (fig. 3 y 4). Para la caracterización funcional de las 12 clases de NDVI usamos el patrón de variación estacional de este índice en las 4 imágenes analizadas (fig. 5) y datos de fenología de las distintas estaciones tomados a campo.

En el Análisis de Correspondencia Múltiple se identificaron 7 clases fisonómico-funcionales de la vegetación de «El Palmar» (fig. 6, tabla 1). Al superponer las dos clasificaciones no supervisadas, tres de estas clases –Psd, Pa y B- mostraron una combinación única de patrones fisonómico-funcionales, mientras que las otras presentan solapamientos:

**Psd:** Agrupa a pastizales densos y semidensos de baja o mediana altura sin especies leñosas (fig. 4 - MS 13 y 14), con valores bajos de NDVI y poca variación estacional (fig. 5 y 3 –

NDVI 1 y 2). En esta clase predominan las gramíneas asociadas a especies herbáceas y ciperáceas.

**Pa:** Pastizales abiertos, bajos y con alto porcentaje de suelo desnudo (fig. 4 – MS 16) con bajos valores de NDVI (fig. 5 y 3 – NDVI 1). Se corresponden mayormente con zonas de antiguas canteras de canto rodado con presencia casi exclusiva de gramíneas.

**PL-A-P:** Esta clase está formada por palmares semidensos o abiertos acompañados de arbustos nativos y pastos (fig. 4 – MS 7 y 8), con valores de NDVI intermedios (fig. 5 y 3 – NDVI 5). Son importantes los estratos bajos de cobertura, lo que indica una alta heterogeneidad de los parches de vegetación.

**PL-A-L:** Esta clase también está formada por palmares, pero en este caso son más densos y están acompañados por leñosas arbustivas y arbóreas (fig. 4 – MS 6 y 7), con NDVI también intermedio (fig. 5 y 3 – NDVI 5). En este caso los estratos de cobertura son más altos, lo que muestra una heterogeneidad de la vegetación un poco menor. Es común la presencia de leñosas exóticas.

**L-A-P:** Consiste en un mosaico dominado por arbustos nativos de mediana o baja altura, de los géneros *Baccharis* y *Eupatorium*, acompañados por leñosas arbóreas, pastos o ambos (fig. 4 – MS 7) y con valores de NDVI intermedios (fig. 5 y 3 – NDVI 5). Existe una alta dominancia en los parches, lo que indicaría una baja diversidad específica (aunque no en formas de vida). La arbustificación con especies nativas es muy importante en el parque y tiene que ver con la política de supresión de incendios y la exclusión del ganado desde la creación del parque (Ciccero y Balabusic 1994). Las leñosas acompañantes son principalmente nativas (mirtáceas, leguminosas, salicáceas).

**S:** Esta categoría se caracteriza por presentar fisonomías con estratos de altura de la vegetación medios y altos, principalmente selva en galería (fig. 4 – MS 3, 6 y 5). El NDVI refleja la alta biomasa vegetal y una marcada

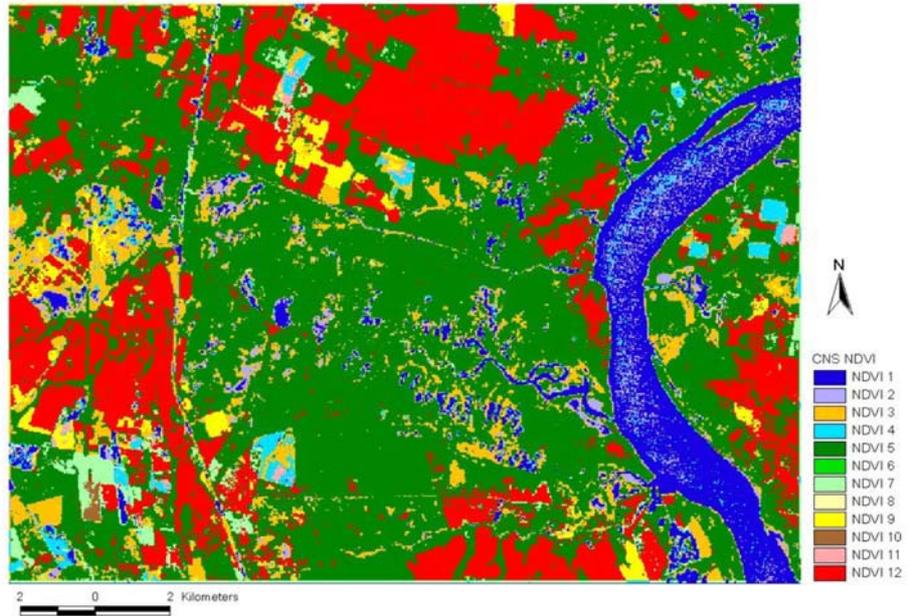


Fig. 3: Clasificación No Supervisada de la imagen multitemporal de NDVI.

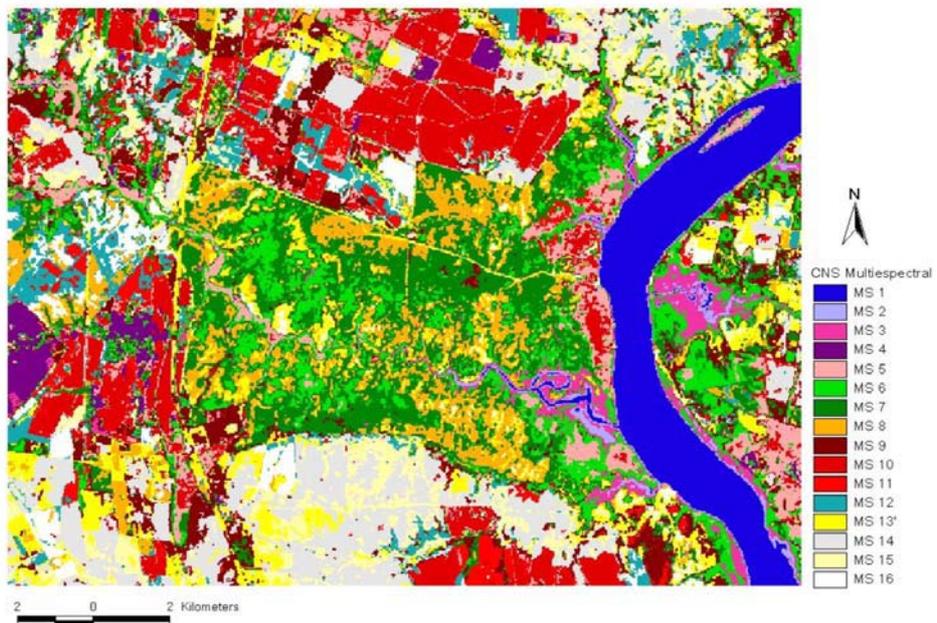
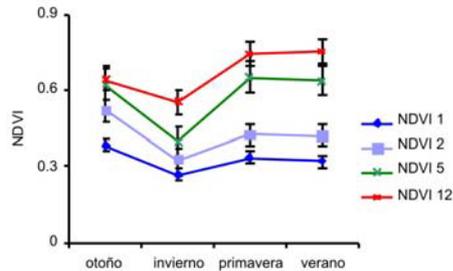


Fig. 4: Clasificación No Supervisada de la imagen multitemporal multiespectral.

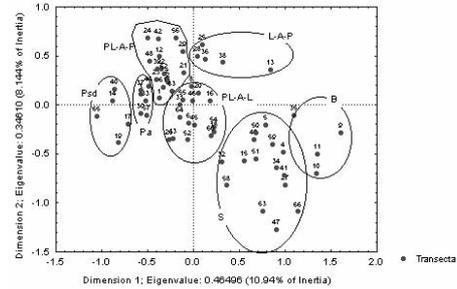


**Fig. 5:** Variación estacional de las clases de NDVI de la imagen multitemporal. Se muestran las clases con mayor superficie, que coincidieron con las transectas muestreadas.

estacionalidad (fig. 5 y 3 – NDVI 5 y 12). Entre las leñosas predominan mirtáceas nativas pero es común la presencia de exóticas en mayor o menor grado.

**B:** Agrupa a las áreas dominadas por leñosas arbóreas, con estratos medios y altos de altura (fig. 4 – MS 10). Presenta valores altos de NDVI con una variación estacional menos marcada que el grupo fisonómico-funcional anterior (fig. 5 y 3 – NDVI 12). Esta clase constituye el bosque xerófilo y presenta las mayores tasas de invasión por leñosas exóticas –*Melia azedarach*, *Pyracantha atalantoides*, *Gleditsia triacanthos*, *Ligustrum lucidum*, y *Ligustrum sinense* -.

Respecto a las leñosas exóticas, su cobertura de intersección de las transectas nos puede servir como indicador de cuales son las clases fisonómico-funcionales más susceptibles de ser invadidas. Tres de las cuatro transectas de B tuvieron presencia de exóticas, abarcando el 49,2 % del total de su cobertura, por lo que se trata de la clase fisonómico-funcional más afectada. Le siguen en importancia la clase S con 13 de 15 transectas con presencia de exóticas y el 15,4% de su cobertura total y la clase L-A-P con 4 de 5 transectas con exóticas y el 15,9% de su cobertura total. Con tasas de invasión más bajas, pero no por ello poco importantes ya que son indicadores de un proceso invasivo en aumento, aparecen las clases dominadas por palmares. PL-A-L mostró presencia de exóticas 7 de las 15 transectas, con una cobertura total de 6,8%; mientras que PL-A-P tuvo 6 de 16 transectas con exóticas, abarcando un 4,5% de su cobertura total. Las clases fisonómico-funcionales de pastizal –Psd y Pa- no muestran prácticamente invasión de leñosas exóticas



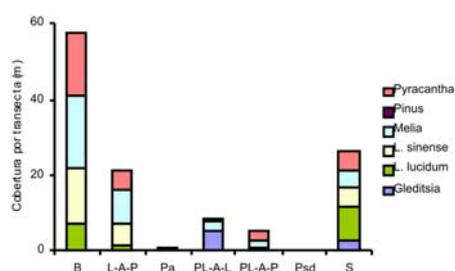
**Fig. 6:** Agrupamiento de las transectas muestreadas sobre los ejes de coordenadas del Análisis de Correspondencia Múltiple.

**Tabla 1:** Coordenadas de las columnas del Análisis de Correspondencia Múltiple. Se muestran las dimensiones 1 y 2 y las variables utilizadas (algunas variables se sacaron del análisis para optimizar la formación de agrupamientos).

	Variable	Dim. 1	Dim. 2
Forma de Vida	gramínea	-0.0648	0.0298
	herbácea	-0.0563	-0.0317
	enredadera	0.0035	-0.0141
	ciperácea	-0.0061	-0.0011
	helecho	-0.0231	-0.0176
	arbusto	0.0398	0.1076
	arbórea	0.1072	-0.0727
	suculenta	-0.0001	-0.0002
Dominancia	25%	-0.0519	-0.0564
	50%	-0.0122	-0.0111
	75%	-0.0015	0.0012
	100%	0.0655	0.0662
Estrato (m)	0 a 0,80	-0.1465	-0.0636
	0,80 a 3,20	0.0611	0.1328
	3,20 a 4,90	0.0344	-0.0283
	4,90 a 7,50	0.0510	-0.0409
Estrato Cobertura (m)	0 a 1,10	-0.0309	0.0365
	1,10 a 2,45	-0.0306	0.0368
	2,45 a 5	0.0454	-0.0360
	5 a 8,30	0.0168	-0.0311
	8,30 a 10	0.0003	-0.0032
más de 10	-0.0010	-0.0031	

No hubo transectas con exóticas en Psd, mientras que Pa mostró una de siete, con una cobertura de *Pinus sp.* de 0,7%. *Pinus sp.* es una especie que crece esporádicamente en los suelos de cantera.

Si analizamos la cobertura de leñosas exóticas por especie (fig. 7), coincide con lo observado en trabajos previos en el área de estudio (Cicceró y Balabusic, 1994; Ruiz Selmo et al., 2000). *M. azedarach* es la especie más extendida y con mayor cobertura, seguida por *P. atalantoides*, *L. lucidum*, *L. sinense* y *G. triacanthos*, con una cobertura menor y un área de distribución más acotada. Salvo en las clases fisonómico-funcionales de pastizal, *M. azedarach* presenta en general una alta tasa de invasión. Algo similar ocurre con *P. atalantoides*, con la diferencia de que no tiene un buen desempeño en los palmares densos (PL-A-L). *L. lucidum* y *L. sinense* mostraron una alta tasa de invasión en S, B y L-A-P, las fisonomías con los mayor componente leñoso, mientras que *G. triacanthos* aparece restringida a S y PL-A-L.



**Figura 7:** Cobertura total (en todos los estratos) de las distintas especies de leñosas invasoras en las transectas muestreadas, para las distintas clases fisonómico-funcionales.

## Conclusiones

Se identificaron distintas clases fisonómico-funcionales de la vegetación de El Palmar y se analizó su papel como indicadores de invasibilidad. La clase B, bosque xerófilo, presenta el grado más alto de invasión, seguida por S, con una fisonomía predominante de selva en galería y L-A-P, un mosaico de especies leñosas arbóreas, arbustivas y pastos. El componente leñoso de la vegetación, por distintos factores como el proporcionar un microambiente favorable para la germinación y crecimiento de las plantulas (Lonsdale, 1999; Von Holle y Simberloff, 2003) o la existencia de varios estratos que pueden ser usados de percha por aves dispersoras de semillas (Montaldo et al., 1999), parece favorecer la entrada de especies leño-

sas exóticas. *M. azedarach*, *P. atalantoides*, *L. lucidum* y *L. sinense*, las leñosas exóticas más abundantes en estas clases, utilizan esta forma de dispersión. Las fisonomías dominadas por palmares –PL-A-P y PL-A-L-, con distinto grado de asociación a arbustos, arbóreas o pastizales presentan un estado más bajo de invasión, pero con tendencia al aumento si tenemos en cuenta el avance general de la cobertura leñosa en el parque en los últimos 20 años (Ruiz Selmo et al., 2000). Estos ambientes más abiertos pueden favorecer la propagación de *G. triacanthos* y también en el caso de *M. azedarach*, mediante la producción de rebrotes frente a disturbios como el fuego (Menvielle, 2003) Las clases Psd y Pa, dominadas por distinto tipo de pastizales, prácticamente no registran la presencia de leñosas exóticas, con la excepción de algunos pinos aislados en zonas de cantera. Estas clases fisonómico-funcionales parecen ser resistentes al proceso invasivo.

Por otro lado, cabe señalar que la clase con más alto grado de invasión por leñosas exóticas, B y las dos clases con invasión nula, Psd y Pa fueron las únicas que mostraron una combinación única en la superposición de las clasificaciones multiespectral y de NDVI. Esto puede indicar que las exóticas como dominantes, o bien al estar ausentes, contribuyen a generar patrones homogéneos en la estructura fisonómica, funcional y espectral de la vegetación.

Actualmente, se está trabajando en la discriminación de las clases fisonómico-funcionales que presentan solapamientos de clases multiespectrales y/o de NDVI para poder mapearlas. Por otro lado, se está haciendo un muestreo independiente de leñosas exóticas para analizar su grado de asociación con estas clases.

## Agradecimientos

A la Administración de Parques Nacionales y al personal del Parque Nacional El Palmar por el apoyo brindado en las campañas de muestreo a campo. Este trabajo recibe el subsidio de la Fundación YPF.

## Referencias

- Carson, H. W., Lass, L. W. y Callihan, R. H. 1995. Detection of yellow hawkweed (*Hieracium pratense*) with high resolution multispectral digital imagery. *Weed Technology* 9: 477-483.
- Cicceró, P. y Balabusic, A. 1994. Plan de manejo del Parque Nacional «El Palmar». Administración de Parques Nacionales, Argentina.

- Chander, G. y Markham, B. 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41 (11), 2674-2677.
- Chavez, P. S. 1996. Image-based atmospheric corrections – Revisited and improved. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62 (9), 1025-1036.
- Chuvieco, E. 1996. *Fundamentos de teledetección espacial*. Ediciones RIALP, S.A.
- Cingolani, A. M., Renison, D., Zak, M. R. y Cabido, M. R. 2004. Mapping vegetation in a heterogeneous mountain rangeland using landsat data: an alternative method to define and classify land-cover units. *Remote Sensing of Environment* 92: 84-97.
- Everitt, J. H., Escobar, D. E. y Neck, R. W. 1989. Using color-infrared aerial photography to distinguish chinaberry (*Melia azedarach* L.) infestations in southern and south-central Texas. *The Texas Journal of Science* 41: 265-272.
- Graetz, R. D. 1990. Remote sensing of terrestrial ecosystem structure: an ecologist's pragmatic view. En *Remote Sensing of Biosphere Functioning*. Springer-Verlag Inc.
- Janzen, D. T., Wheate, R. D. y Fredeen, A. L. 2002. A comparison of radiometric correction methods for Landsat TM data, Radiometric correction with no atmospheric data or ground targets. <http://www.gis.unbc.ca/projects/radio/>
- Joshi, C., De Leew, J. y Van Duren, I. C. 2004. Remote sensing and GIS applications for mapping and spatial modeling of invasive species. XXth ISPRS Congress, vol. 35, Istanbul.
- Lonsdale, W. M. 1999. Global patterns of plant invasions and the concept of invasibility. *Ecology* 80: 1522-1536.
- Menvielle, M. F. 2003. La invasión de *Melia azedarach* (paraíso) en las sabanas del Parque Nacional El Palmar. Efectos de un único pulso de fuego. Tesis de Maestría. FAUBA.
- Montaldo, N. H., Roitman, G. G., Maranta, A., Scopel, A. 1999. Dispersión por aves de especies exóticas invasoras en el Parque Nacional «El Palmar», Provincia de Entre Ríos. XIX Reunión Anual de la Asociación Argentina de Ecología. Tucumán, Argentina.
- Rejmánek, M. y Richardson, D. M. 1996. What attributes make some plant species more invasive? *Ecology* 77: 1655-1661.
- Richardson, D. M., Cowling, R. M. y Le Maitre, D. C. 1990. Assessing the risk of invasive success in *Pinus* and *Banksia* in South African mountain fynbos. *Journal of Vegetation Science* 1: 629-642.
- Rouget, M. y Richardson, D. M. 2003. Understanding patterns of plant invasion at different spatial scales: quantifying the roles of environment and propagule pressure. *Plant Invasions: Ecological Threats and Management Solutions* 3-15
- Ruiz Selmo, F. E., Menvielle, M. F., Scopel, A. L. y Minotti, P. 2000. Monitoring the invasion of woody exotic species in the «El Palmar» National Park (Argentina) using remote sensing. 85th Annual Meeting of the Ecological Society of America. Snowbird, USA.
- Von Holle, B. y Simberloff, D. 2005. Ecological resistance to biological invasion overwhelmed by propagule pressure. *Ecology* 86 (12): 3212-3218.