

## Mapeo indirecto de la vegetación de Sierra de la Ventana, provincia de Buenos Aires

JOSÉ M LIZZI \*, MARTÍN F GARBULSKY ✉, RODOLFO A GOLLUSCIO \*\* &  
ALEJANDRO V DEREGIBUS \*\*\*

*Cátedra de Forrajicultura. Facultad de Agronomía. Univ. de Buenos Aires. Ciudad de Buenos Aires. Argentina.*

**RESUMEN.** La cartografía de la vegetación permite conocer la extensión y distribución espacial de sus unidades y constituye una herramienta imprescindible para planificar la conservación y utilización de los recursos. Si bien los pastizales de la provincia de Buenos Aires han sido extensamente estudiados, aún no se cuenta con cartografía de la vegetación regional de Sierra de la Ventana con un detalle adecuado a su heterogeneidad. Una de las causas de esa carencia es que los sitios de topografía compleja dificultan los mapeos de vegetación mediante técnicas convencionales de foto-interpretación o clasificación de imágenes satelitales. En este trabajo se aplicaron técnicas de mapeo indirecto de la vegetación para cartografiar la vegetación potencial de la región. La técnica utilizada combina información topográfica a escala regional, obtenida mediante sensores remotos, con estudios previos, realizados a escalas más detalladas, que relacionan la topografía con las comunidades vegetales más típicas de la región. En gabinete se identificaron dieciséis Unidades de Vegetación (UV), las cuales mostraron una alta correlación con las UV observadas a campo ( $r = 0.88$ ,  $n = 100$  puntos de control a campo). La técnica desarrollada en este trabajo probablemente sea extrapolable a otras áreas montañosas donde existan estudios ecológicos previos comparables a los aquí utilizados, lo que representa un avance en las metodologías para cartografiar la vegetación. Los resultados representan un avance en el conocimiento de estos pastizales. El mapa de la vegetación potencial presentado constituye un recurso para manejar adecuadamente el pastoreo y para generar hipótesis sobre las posibles diferencias con la vegetación original. En la única área protegida de la región detectamos todas las UV, pero las más extensas se encuentran muy pobremente representadas dentro del área protegida.

[Palabras clave: pastizales de sierra, unidades de vegetación, nicho ecológico, MED, SIG, ambientes complejos]

**ABSTRACT. Indirect vegetation mapping in topographically complex areas: the case of Sierra de la Ventana, province of Buenos Aires:** The cartography of the vegetation increases the understanding of the extension and spatial distribution of different communities and has become an important tool for planning strategies for both conservation and use. Remnant grasslands in Buenos Aires province have been well-studied, though the vegetation of Sierra de la Ventana has yet to be mapped at a level of detail appropriate to its spatial heterogeneity. One reason for this, is that conventional photo interpretation or image classification techniques are less suitable for making good vegetation maps of areas with complex topography. In this study we used techniques of predictive vegetation mapping at a regional scale and applied it to the natural vegetation of Sierra de la Ventana, a hill system located in southwestern Buenos Aires with a large part devoted to

---

✉ Cátedra de Forrajicultura. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453. C1417DSE. Ciudad de Buenos Aires. Argentina. 4524-8000 int: 8142.  
garbulsky@agro.uba.ar  
\* jlizzi@agro.uba.ar  
\*\* golluscio@agro.uba.ar  
\*\*\* derealex@agro.uba.ar

*Recibido: 25 de julio de 2005; Fin de arbitraje: 13 de septiembre de 2005; Revisión recibida: 18 de septiembre de 2006; Segunda revisión recibida: 28 de abril de 2007; Aceptado: 1 de junio de 2007.*

*Este trabajo fue arbitrado durante el proceso editorial de Marcelo Cassini.*

agriculture and livestock grazing. The technique presented in this paper combines remote sensed data (Landsat TM7) and a digital elevation model at a regional scale, with a previous study that related the most conspicuous plant communities in the region with topography at a more detailed scale. We constructed an algorithm to assign each pixel to the corresponding Vegetation Unit (VU) that uses the geo-edaphic environment and topographic variables as input variables. The sixteen VU identified using the digital data (spatial resolution = 90 m) showed a high correlation with the VU identified in the field ( $r = 0.88$ ,  $n = 100$  ground control points). The technique developed in this study represents an advance on vegetation mapping and could be extrapolated to other hilly areas that already have a basic vegetation description. Our results provide new knowledge on the spatial heterogeneity of this area. The map of natural vegetation is a useful resource for improving grazing management. Some of the differences between field data from the foothill sites and the derived map may arise from the impacts of grazing. Our results could help to generate hypotheses on the causes of differences between the actual and the original vegetation. We found that all the VU were included inside the limits of the only protected area in the region, however the most extensive VU in the region are the less represented inside the protected area.

[Keywords: hill's grasslands, vegetation units, ecologic niche, DEM, GIS]

## INTRODUCCION

La planificación del uso de un ecosistema se beneficia ampliamente del conocimiento de su estructura y funcionamiento. La comprensión de estos aspectos permite tanto valorar su diversidad de especies (Sala et al. 2000), su valor paisajístico y forrajero, y los servicios que presta, como implementar una mejor conservación o utilización del ecosistema de forma sustentable (Sala & Paruelo 1997). En este contexto, la cartografía de la vegetación permite conocer la distribución espacial y la superficie ocupada por las distintas unidades de vegetación.

La estructura de la vegetación se describe generalmente a partir de estudios de campo basados en censos de vegetación o descripciones fisonómicas. Entre las metodologías más utilizadas se encuentran las fito-sociológicas propuestas por Braun Blanquet (1950) o Mueller Dombois & Ellenberg (1974). Luego de identificar las diferentes unidades fisonómicas o florísticas, se las cartografía mediante técnicas de fotointerpretación (van Zuidam & van Zuidam-Cancelado 1979). Los sensores remotos y las técnicas de procesamiento digital de imágenes integradas a Sistemas de Información Geográfica (SIG) facilitan la caracterización estructural de la vegetación y permiten obtener mapas de vegetación mediante diferentes métodos de clasificación de píxeles (Congalton

et al. 2002). Si bien este tipo de metodologías ha resultado de gran utilidad para cartografiar la vegetación de diversas regiones de Argentina (Zak & Cabido 2002; Cingolani et al. 2004; Paruelo et al. 2004), puede presentar inconvenientes para diferenciar tipos de vegetación en sitios montañosos donde el relieve sea tan quebrado como para afectar las propiedades espectrales de la superficie terrestre (Cingolani et al. 2004; Shupe & Marsh 2004). En este tipo de ambientes, la estructura de la vegetación puede encontrarse estrechamente vinculada al sitio y presentar una gran heterogeneidad espacial (Frangi & Bottino 1995; Kristensen & Frangi 1995b; Perez & Frangi 2000). En estos casos, la aproximación del mapeo indirecto de la vegetación constituye una alternativa (Franklin 1995), ya que consiste en mapear la vegetación a partir de mapas de la variación geográfica de los factores ambientales asociados a la presencia o ausencia de determinadas especies y/o comunidades (Cawsey et al. 2002; Franklin 2002).

En la provincia de Buenos Aires se han realizado numerosos estudios acerca de la estructura de los pastizales (León et al. 1979; Batista et al. 1988; Burkart et al. 1990; Soriano 1991). En estos trabajos se identificaron y describieron las diferentes unidades de vegetación y su relación con el ambiente fisiográfico. Basándose en ellos, Burkart et al. (2005) caracterizaron la vegetación potencial de los pastizales naturales de la provincia de Buenos Aires, cons-

tituyendo la descripción más completa de los pastizales bonaerenses. Los pastizales de Sierra de la Ventana se enmarcan dentro de este grupo de pastizales. Cubren un área extensa de la provincia de Buenos Aires que reviste importancia por las particularidades de su ambiente, su riqueza florística y sus endemismos (De la Sota 1967; Frangi & Bottino 1995), su valor como recurso forrajero (Ricci 1996), sus servicios en el control de erosión (Gaspari & Bruno 2003) o su valor turístico y recreativo (Frangi & Barrera 1996). Con el objetivo de conservar este ecosistema, en 1958 se creó el Parque Provincial Ernesto Tornquist, de 6.718 ha (APN 1998), una de las pocas áreas protegidas en los pastizales pampeanos. Sin embargo, a pesar de la importancia de la conservación de estos pastizales, aún no existe cartografía de la vegetación a una escala de suficiente detalle como para planificar correctamente su uso. El objetivo de este trabajo fue realizar un mapeo indirecto de la vegetación natural potencial de la región de Sierra de la Ventana a partir de las descripciones previas de las comunidades vegetales y su vinculación con las características ambientales.

## MATERIALES Y METODOS

### *Ubicación geográfica*

El sistema serrano de Ventania se ubica en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, entre 37°31'S; 62°50'O y 38°23'S; 61°13'O. Se extiende por 170 Km en dirección NO-SE y abarca una superficie de aproximadamente 480.000 ha. Está compuesto por tres cordones principales: las Sierras de la Ventana, de las Tunas y de Pillahuinco, con alturas máximas sobre el nivel del mar de 1243, 650 y 550 metros respectivamente.

### *Clima*

La Precipitación Media Anual (PMA) en la región disminuye del NE hacia el SO y ocurre principalmente en otoño y primavera (SMN 1960; 1981). La PMA en el período 1971-80 fue de 720 mm sobre el E de la región, 660 mm al SE, 630 mm al NO y 580 mm al SW (SMN 1981). Asimismo, las precipitaciones aumentan

con la altitud, desde 745 mm en la base hasta 828 mm en la cumbre (Pérez & Frangi 2000). La temperatura media anual de la región es de 13°C y también disminuye de NE a SO. Dentro del área serrana existe un gradiente altitudinal de temperatura, la cual disminuye 6.9°C/1000 m (Kristensen & Frangi 1995a). Integrando los gradientes altitudinales y geográficos descriptos, Kristensen & Frangi (1995a) diferenciaron cinco mesoclimas que difieren en su temperatura, insolación y humedad.

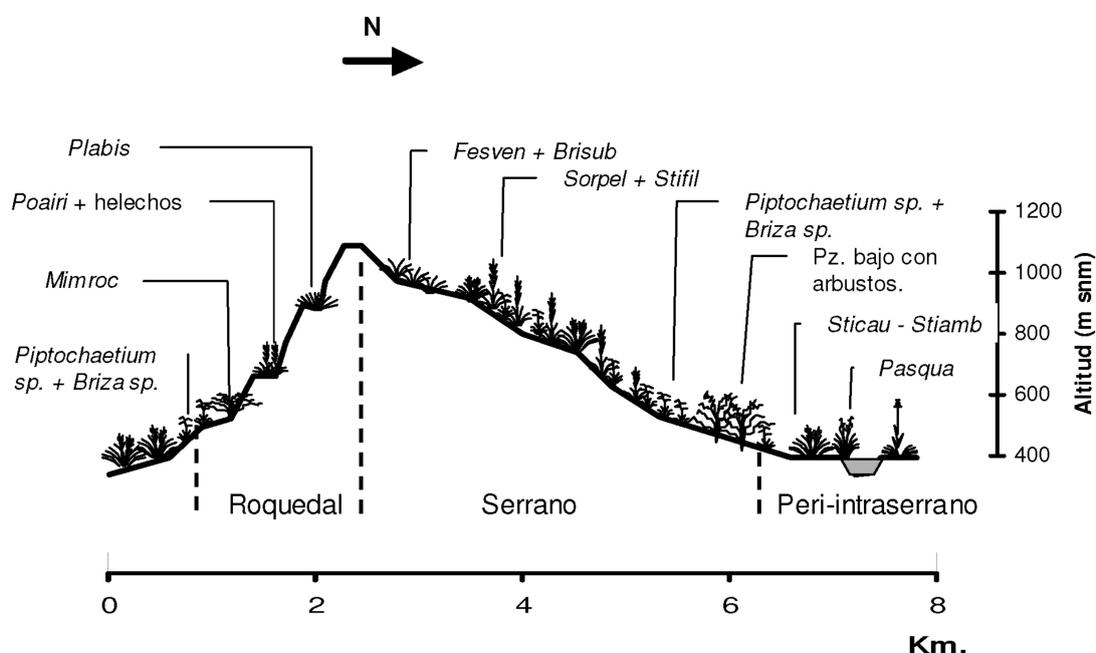
### *Ambientes Geo-edafológicos*

En la región fueron descriptos cuatro ambientes geodafológicos principales: serrano, intraserrano, periserrano y llanura (Cappannini et al. 1971). En términos productivos, los primeros dos ambientes mencionados se destinan a la ganadería pastoril, utilizando los pastizales naturales como recurso forrajero. Los ambientes periserranos y de llanura se destinan principalmente a implantación de praderas o cultivos de granos (Frangi & Barrera, 1996). Los suelos se han desarrollado a partir de sedimentos loésicos que cubrieron los faldeos de las sierras (Cappannini et al. 1971; Vargas Gil & Scopa 1973). El basamento de granito y riolitas aflora en varios sectores debido al intenso plegamiento que sufrió. Las características del plegamiento y la disposición final del basamento, originó hacia el sudoeste laderas con pendientes muy pronunciadas y abundante afloramiento rocoso, mientras que las laderas ubicadas hacia el noreste generalmente presentan pendientes más suaves, permitiendo la deposición de loess. Los suelos dominantes en el ambiente serrano corresponden a una asociación de roca y Hapludol lítico, franco fino en los sitios más altos y Argiudoles y Hapludoles típicos someros en los sitios donde la inclinación es menor y el espesor del sedimento es mayor. En los otros tres ambientes, son característicos Argiudoles típicos francos finos, inclinados y Argiudoles típicos someros e inclinados; o Argiudoles y Hapludoles petrocálcicos. El flanco sudoeste y las planicies que continúan en esa dirección se encuentran dentro del régimen de humedad ústico, siendo los suelos predominantes Argiustoles típicos someros (SAGPyA - INTA 1989).

La vegetación actual de las sierras fue descrita por Cabrera (1976) para el Distrito Pampeano Austral. Se identificaron en la región más de 400 taxones vegetales nativos, con varios endemismos (De la Sota 1967; Frangi & Barrera 1996). Frangi & Bottino (1995) realizaron un estudio de la vegetación del lugar y determinaron seis complejos de vegetación casmofítica de los roquedales, siete comunidades de pastizales de sierra y tres matorrales. En los pastizales periserranos e interserranos dominan los pajonales de *Stipa caudata* Trin. y *S. ambigua* Speg. Los pastizales serranos están dominados por *Briza subaristata* Lam. y flechillas (*Stipa* sp. y *Piptochaetium* sp.). Los autores definieron prados de altura dominados por *Festuca pampeana* Speg. y *F. ventanica* Speg., donde aparece *Sorghastrum pellitum* (Hack.) Parodi como codominante. El deterioro y la arbustización de los pastizales disminuyen con la altitud (Frangi & Barrera 1996).

El mapa de vegetación de Sierra de la Ventana se obtuvo combinando mapas del ambiente geo-edafológico, la altitud, la orientación y la pendiente con las descripciones del hábitat de cada unidad de vegetación realizadas por Frangi & Bottino (1995). En ese trabajo se describieron las diferentes comunidades vinculándolas con el ambiente geo-edafológico, y las condiciones particulares de altitud, orientación de ladera y pendiente (ver Figura 1). Las diferentes comunidades y complejos de vegetación identificados en ese trabajo, serán referidas en adelante como Unidades de Vegetación (UV) y, al igual que las especies, serán citadas tal como lo hacen Frangi & Bottino (1995) (Tabla 1).

La primera etapa consistió en elaborar un mapa de los ambientes geo-edafológicos descritos por Cappannini et al. (1971), que se encuentran presentes en el área de estudio, y que aún no están cartografiados. Los ambientes



**Figura 1.** Esquema representativo de la ubicación de algunas de las comunidades vegetales de Sierra de la Ventana elaborado a partir de la descripción realizada por Frangi & Bottino (1995). Ver tabla 1 para la descripción de las unidades de vegetación.

**Figure 1.** Representative scheme of the location of the main vegetation units taken from the description by Frangi & Bottino (1995). See table 1 for a description of the vegetation units.

**Tabla 1.** Código y descripción de las unidades de vegetación\*.**Table 1.** Codes and descriptions of the vegetation units.

N°	Código	Descripción
1	<i>Poairi – Polele</i>	Vegetación casmofítica con <i>Poa iridifolia</i> Hauman y <i>Polystichum elegans</i> Phil.
2	<i>Poairi – Polarg</i>	Vegetación casmofítica con <i>P. iridifolia</i> y <i>Polypodium argentinum</i> Maxon
3	<i>Grichi</i>	Vegetación casmofítica con <i>Grindelia chilensis</i> (Cornel.) Cabrera
4	<i>Notbuc – Wedbup</i>	Vegetación casmofítica con <i>Notholaena buchtienii</i> (Rosenst.) R.M. Tryon – <i>Wedelia bupthalmiflora</i> (Lorentz) Ariza
5	<i>Plabis</i>	Vegetación casmofítica con <i>Plantago bismarckii</i> Niederl.
6	<i>Mimroc</i>	Vegetación casmofítica con <i>Mimosa rocae</i> Lorentz & Niederl.
7	Pz. bajo con arbustos	Pastizal bajo con arbustos
8	<i>Sorpel – Stifil</i>	Pastizal bajo con <i>Sorghastrum pellitum</i> (Hack.) Parodi y <i>Stipa filiculmis</i> Delile
9	<i>Pip sp. – Brisub</i>	Pastizal bajo con <i>Piptochaetium</i> sp. y <i>Briza subaristata</i> Lam.
10	<i>Bri sp. – Fesven</i>	Prados de altura, <i>Briza</i> sp. y <i>Festuca ventanicola</i> Speg.
11	<i>Pasqua</i>	Pastizal intermedio de <i>Paspalum quadrifarium</i> Lam.
12	<i>Fespam - Polele</i>	Pastizal intermedio con <i>Festuca pampeana</i> Speg. y <i>P. elegans</i>
13	<i>Fespam</i>	Pastizal intermedio con <i>F. pampeana</i>
14	<i>Sticau</i>	Pastizal intermedio de <i>Stipa caudata</i> Trin.
15	<i>Stiamb</i>	Pastizal intermedio con <i>Stipa ambigua</i> Speg.
16	<i>Stiten - Dislon</i>	Pastizal intermedio con <i>Stipa tenuissima</i> Trin. y <i>Discaria longispina</i> Gillies & Hook

\* Las unidades de vegetación corresponden con la denominación de las comunidades vegetales en Frangi & Bottino (1995), excepto la UV 7 que integra las comunidades descriptas como: "Pastizal con arbustos xeromorfos, espinosos de *Discaria longispina* Gillies & Hook"; "Matorral claro, inerme, siempre verde con *Eupatorium buniifolium* Hook. et Arn.", y "Matorral claro, mixto, siempre verde con *Eupatorium buniifolium* y *Discaria longispina*".

identificados fueron: 1-Roquedales, 2-Serrano y 3-Peri-intraserrano. Para ello se utilizó una imagen satelital del sensor Landsat TM7 con las bandas 3 (0.63-0.69  $\mu\text{m}$ ), 4 (0.76-0.9  $\mu\text{m}$ ) y 5 (1.55-1.75  $\mu\text{m}$ ), path 226, row 86, del 6/10/1996, con una resolución espacial de 30 m x 30 m. La imagen fue georreferenciada y proyectada en Transverse Mercator (Faja 5, Esfereode International 1909, Datum International 1909). Para todo el procesamiento se utilizó el software ERDAS Imagine 8.4 (ERDAS 1995). El mapa de ambientes geoedafológicos se realizó mediante una clasificación supervisada, utilizando el algoritmo de máxima probabilidad para asignar los píxeles

a las respectivas clases (Richards 1986). Los ambientes difieren principalmente en la cobertura relativa de roca y vegetación; esto otorga características espectrales diferentes a cada uno. Para realizar la clasificación supervisada se obtuvieron previamente las firmas espectrales de cada ambiente geoedafológico y se evaluó su separabilidad a partir de la distancia de Jeffries- Matsushita (Murakami et al. 2001). A tales efectos, en Diciembre de 2001 se identificaron a campo 89 sitios de control, conteniendo entre 4 y 10 píxeles cada uno, claramente correspondientes a los cuatro ambientes geoedafológicos y se los ubicó mediante Geo-Posicionador Satelital (GPS).

La segunda etapa consistió en superponer sobre el mapa de ambientes geo-edafológicos información de altitud, orientación de ladera y pendiente, obtenida de un Modelo de Elevación Digital (MED), elaborado por USGS (com. pública). La resolución espacial original del MED es de 90 m y el error máximo en la estimación de altura es de 5 m (Rodríguez et al. 2006). Para poder superponer la información del mapa de ambientes con el MED, se reproyectaron las diferentes fuentes a la proyección Transverse Mercator y se transformó la resolución espacial a 30 m. Se obtuvieron la pendiente (%) y la orientación de ladera (grados sexagesimales) de cada píxel respectivamente, a partir de una ventana de 3 x 3 píxeles.

La tercera etapa consistió en asignar a cada píxel de la imagen una unidad de vegetación de acuerdo al ambiente geo-edáfico, la altura, la pendiente y la orientación que le correspondió. Los rangos de las variables ambientales utilizados para identificar las diferentes unidades de vegetación se muestran en la Tabla 2. La simbología utilizada (por ejemplo, =: igual;  $\geq$ : mayor o igual) corresponde con la empleada para los criterios de clasificación del software ERDAS 8.4. El algoritmo utilizado (criteria function) por el software funciona secuencialmente, si el píxel evaluado cumple la primera condición entonces será asignado a la primera clase; sino evaluará las restantes. Se excluyeron del análisis regional las comunidades de extensión reducida o vinculadas a sitios como márgenes de arroyos por la dificultad que presenta identificarlas con la metodología empleada. También se excluyó la superficie actualmente en uso agrícola, pasturas implantadas o forestaciones utilizando la caracterización del uso de la tierra realizada por Guerschman et al. (2003). En la clasificación supervisada, las áreas bajo cultivo se confundían con roquedales. Para separarlos se reclasificaron como correspondientes al ambiente peri intraserrano, aquellos píxeles asignados a roquedales con menos del 5% de pendiente o ubicados a menos de 350 m de altitud.

Por último, para evaluar la validez de la clasificación efectuada se realizó un análisis de correlación no paramétrica (Spearman) entre la unidad de vegetación asignada y la observada en los 100 puntos de control (ambas identi-

ficadas numéricamente según la Tabla 1). Los censos fueron realizados a campo en Diciembre de 2001 en sitios sin evidencias de pastoreo intenso ni incendios (89) y 11 sitios adicionales a partir del relevamiento a campo de Frangi & Bottino (1995). Por otro lado se construyó una matriz de confusión que permite obtener las precisiones de usos y productos (Congalton 1991). En los censos se identificaron las especies dominantes a fin de asignarles una de las comunidades descriptas por Frangi & Bottino (1995).

## RESULTADOS

### *Mapa de la vegetación de Sierra de la Ventana*

Se identificaron seis UV dentro de los roquedales (unidades 1 a 6), siete UV para el ambiente serrano (unidades 7 a 13) y tres UV para el peri-intraserrano (unidades 14 a 16) (Tabla 2; Figura 2).

La unidad de vegetación más importante dentro de los roquedales fue la UV 7, seguida por las UV 2 y 4 con una superficie casi un orden de magnitud menor (Tabla 3). Las unidades restantes presentaron una extensión muy reducida, probablemente debido a la especificidad de su hábitat. En el ambiente serrano resultaron importantes, por su extensión, las UV 7, 8 y 9, que también constituyeron las unidades de mayor importancia forrajera. Las UV 10, 11, 12 y 13, con muy pequeña superficie, estuvieron restringidas a sitios muy específicos. El ambiente peri-intraserrano abarcó el 78.6% de la superficie total, en su mayor parte comprendido por la UV 15 (que ocupa el 64.3% de toda el área de estudio). Sin embargo, las unidades 14 y 16 se encuentran entre las cinco más extensas de la región.

La distribución de las unidades de vegetación en toda la región se corresponde parcialmente con lo que ocurre dentro del Parque Provincial E. Tornquist. La representatividad de las distintas UV dentro del Parque varió entre 1% y 20%. En general, las UV más conspicuas en la región estuvieron pobremente representadas dentro del Parque, mientras que las mejor representadas fueron las de menor superficie en toda la región (Figuras 3 y 4).

**Tabla 2.** Rangos de las variables ambientales utilizadas en la clasificación de las unidades de vegetación\*.**Table 2.** Ranges of the environmental variables values used for the classification of vegetation units.

UV asignada	Ambiente	Altitud (m.s.n.m.)		Orientación (grados)		Pendiente (%)	
		mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
1	=1	≥750	<1300	≥135	<360	≥50	<90
2	=1	≥400	<1300	≥0	<360	≥40	<90
3	=1	≥850	<1300	≥0	<360	≥15	<40
4	=1	≥400	<650	≥0	<180	≥25	<90
5	=1	≥550	<750	≥135	<360	≥0	<10
6	=1	≥250	<650	≥0	<360	≥10	<40
6	=1	≥400	<550	≥0	<360	≥0	<10
7	=2	≥350	<550	≥0	<180	≥10	<50
7	=2	≥350	<550	≥180	<360	≥10	<40
8	=2	≥550	<1300	≥0	<360	≥15	<40
8	=1	≥750	<850	≥0	<360	≥0	<10
8	=1	≥650	<850	≥0	<360	≥10	<40
9	=2	≥250	<850	≥0	<360	≥5	<10
9	=1	≥550	<750	≥0	<135	≥0	<10
10	≥0	≥850	<1300	≥0	<360	≥0	<15
11	=2	≥200	<850	≥0	<360	≥0	<5
12	<3	≥550	<1300	≥135	<360	≥40	<90
13	=2	≥550	<1300	≥0	<135	≥40	<90
14	=3	≥200	<850	≥0	<360	≥10	<35
14	=3	≥500	<850	≥0	<360	≥0	<10
15	=3	≥200	<500	≥0	<360	≥0	<5
16	=3	≥200	<500	≥0	<360	≥5	<10

\* Los números de UV corresponden a los de Tabla 1. Ambiente 1: roquedales; 2: serrano; 3: peri-intraserrano. El sistema de referencia utilizado para la orientación de ladera considera a la orientación norte como 0° (cero grados) contando en sentido horario.

#### *Evaluación de la clasificación realizada*

La clasificación permitió identificar 16 UV de las 24 identificadas por Frangi & Bottino (1995). La unidad de vegetación asignada por la clasificación y la observada a campo presentaron una alta correlación no paramétrica ( $r = 0.88$ ,  $n = 100$ ,  $p < 0.0001$ ), lo que indica la alta capacidad de la clasificación para identificar las unidades de vegetación evaluadas. Los 100 sitios evaluados no abarcaron todas las unidades de vegetación, ya que para las

UV 5, 11, 12 o 13 (1.62% del área de estudio) no hubo ningún punto de control, y para las UV 1, 2, 3, 4, 8 y 10 (4.72% del área de estudio) sólo hubo uno o dos puntos de control. Sin embargo, los restantes puntos de control se concentraron en las UV más conspicuas (6, 7, 9, 14, 15 y 16), que explicaron el 93.7% del área de estudio.

La matriz de confusión muestra las precisiones de clases (última columna) y unidades de vegetación (última fila; Tabla 3). Las clases 2, 3, 8, 9 y 10 presentaron precisiones de uso de

**Tabla 3.** Matriz de confusión de las unidades de vegetación y las clases asignadas.**Table 3.** Confusion matrix of the vegetation units and the assigned classes.

Clase	Unidad de Vegetación																Superficie (has)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		%
1	1											1					50	511
2		1															100	5.315
3			1														100	823
4				1				1									50	1.308
5																	0	183
6		3				13											81	23.739
7							11	2									85	31.396
8								2									100	14.407
9									3								100	17.505
10										1							100	313
11																	0	1.517
12																	0	2.711
13																	0	3.308
14									1					24			96	20.711
15									2					2	13		76	309.066
16									2		1			2		12	71	47.777
%	100	25	100	100	0	100	100	67	30	100	0	0	0	86	100	100	83	480.590

100%, por lo que siempre fueron utilizadas correctamente, aunque la cantidad de puntos de control es reducida. Por otro lado, las clases 14, 15 y 16 presentaron precisiones de uso de menores pero con mayor cantidad de puntos de control. En el caso de estas tres clases, la imprecisión en el uso consistió en confundirlas entre ellas o con la clase 9, la que podía limitar con cualquiera de ellas. La clase 7 presentó una precisión de uso del 85% y también fue confundida en la clasificación con la clase 9. Estas unidades (7 y 9) ocuparon sitios similares y su composición florística también se asemejó (Frangi & Bottino 1995), aunque por las condiciones de degradación por pastoreo, la unidad 7 presentó un estrato arbustivo abierto y la otra no (Ricci 1996; Barrera & Frangi 1997). Generalmente, la unidad 7 se ubicó por debajo de la unidad 9 en laderas de pendientes intermedias. La precisión de uso de la clase 6 fue del 81%. En roquedales de altitudes medias se confundió con la unidad 2,

con la que podía compartir el sitio: la UV 2 se ubicó en los espacios interbloques entre afloramientos rocosos, mientras que la unidad 6 se ubicó en laderas. Las menores precisiones de uso correspondieron a las clases 1 y 4 con 50% y luego 5, 11, 12 y 13 con 0% por no contar con puntos de control.

En cuanto a la precisión de unidades de vegetación (resultados de la última fila), las clases 1, 3, 4, 6, 7, 10, 15 y 16 presentaron valores de 100%, por lo que siempre fueron identificadas correctamente. Sin embargo se observó que algunas de las clases mencionadas contaban con un solo dato de control (UV 1, 3, 4 y 10). En niveles intermedios de precisión de productos, se encontraron las clases 14 y 8, con el 86% y 67% de aciertos en su identificación respectivamente. Las clases 9 y 2 se encontraron en niveles bajos de precisión con 30% y 25%; luego siguieron unidades sin puntos de control con 0% (Tabla 3).

## DISCUSIÓN

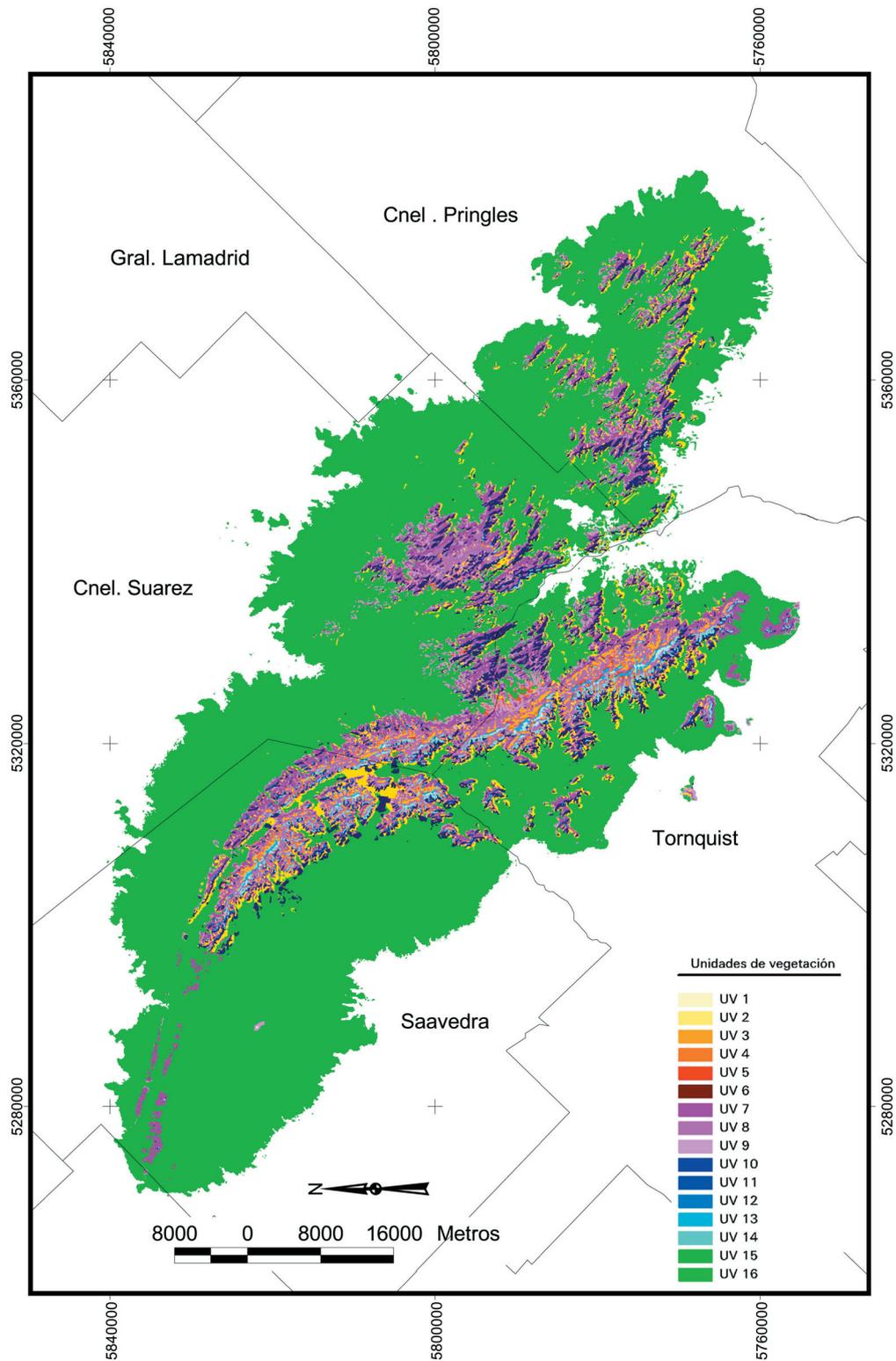
La metodología empleada, que combina estudios ecológicos detallados con información regional topográfica provista por sensores remotos en un sistema de información geográfica, presentó precisiones similares a otros tipos de clasificaciones realizadas con imágenes satelitales que utilizan características espectrales (Cingolani et al. 2004; Paruelo et al. 2004). En regiones como la Sierra de la Ventana, el mapeo predictivo de la vegetación (Franklin 1995) empleado en este trabajo presenta ventajas sobre las clasificaciones a partir de imágenes satelitales. La alta heterogeneidad espacial, la reducida extensión de las unidades de vegetación y la rocosidad, dificultan la caracterización de la vegetación mediante técnicas espectrales. Si bien la clasificación no pudo ser validada para aquellas UV con pocos puntos de control, los resultados han sido sumamente satisfactorios para las que abarcaron el 90% de la superficie estudiada (UV 6, 7, 14, 15 y 16; Tabla 3).

La región de Sierra de la Ventana presenta diversidad de microclimas (Kristensen & Frangi 1995a), suelos y ambientes (Cappannini et al. 1971; Vargas Gil & Scoppa 1973) vinculada a la topografía. Las distintas asociaciones entre estos tres factores determinan la diferenciación de hábitats, los cuales están vinculados a unidades de vegetación (Frangi & Bottino 1995). Los roquedales se ubican generalmente en laderas orientadas hacia el sur, lo que concuerda con las descripciones de ambientes y suelos de la región. Su mayor extensión sobre los cordones más elevados (Ventana) determina que la vegetación vinculada a este ambiente esté mejor representada en esta área. Por otro lado, los ambientes peri-intraserranos son más importantes en el área de los cordones más bajos (Pillahuinco) debido a la mayor proporción de valles interserranos generados por numerosos cordones de baja altitud (Figura 2, Figura 3).

Algunas de las leves inconsistencias entre la clasificación y los censos de vegetación podrían deberse a la vecindad entre las posiciones topográficas relativas de las diferentes UV. Tal es el caso específico de la UV 9 con respecto a las UV 7, 14, 15 y 16 o el de la UV 2 con respecto a la 6. A ese factor se le agrega la

posibilidad de que, por efecto de los disturbios, una unidad de vegetación determinada se transforme en su vecina. El trabajo de Frangi & Bottino (1995) permite caracterizar la vegetación potencial de sitios de distinta topografía. La vegetación natural potencial de un sitio es aquella que se establecería si cesara la intervención humana y se cumplieran todas las etapas de la sucesión bajo las condiciones edáficas y climáticas actuales (Tüxen 1956). Sin embargo, los disturbios a los que está sujeto el sistema pueden determinar desajuste entre las características del ambiente y la vegetación (Urban et al. 1987).

Actualmente en la región varias unidades de vegetación están modificadas por el pastoreo, el fuego o ambos (Ricci 1996; Barrera & Frangi 1997), aunque el caso extremo de intensidad de disturbio se ha dado en los pastizales del área peri-intraserrana que fueron reemplazados por praderas implantadas, cultivos de granos (Guerschman et al. 2003) o forestaciones con especies exóticas (Frangi & Bottino 1995; Zalba & Villamil 2002). Por ejemplo, las comunidades descritas por Frangi & Bottino (1995) que fueron incluidas en la unidad 7 (pastizales bajos con arbustos), son pastizales con distinto grado de arbustización debido principalmente a la acción de los disturbios señalados. La ubicación de la unidad 7 es contigua inferior a la 8 (pastizales bajos de *Sorghastrum pellitum* y *Stipa filiculmis*). Se diferencian por la presencia de arbustos en la primera y la mayor importancia de *S. pellitum* en la segunda. *S. pellitum* es una gramínea  $C_4$  de alta preferencia por parte de los herbívoros y muy susceptible al pastoreo en los pastizales psamófilos (León & Marangón 1980; Aguilera et al. 1998) y también en las sierras de Córdoba (Díaz et al. 2001). La unidad de *S. pellitum* fue indicada como la más importante dentro del ambiente serrano (Frangi & Bottino 1995). Esta especie también fue mencionada como integrante de la mayoría de los pastizales del sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Cabrera 1976). Sin embargo, actualmente se encuentra restringida a sitios de altitudes medias o altas con pendientes moderadas. Un relevamiento más intenso de estas unidades de vegetación podría en el futuro resolver parte de las limitaciones de este trabajo.

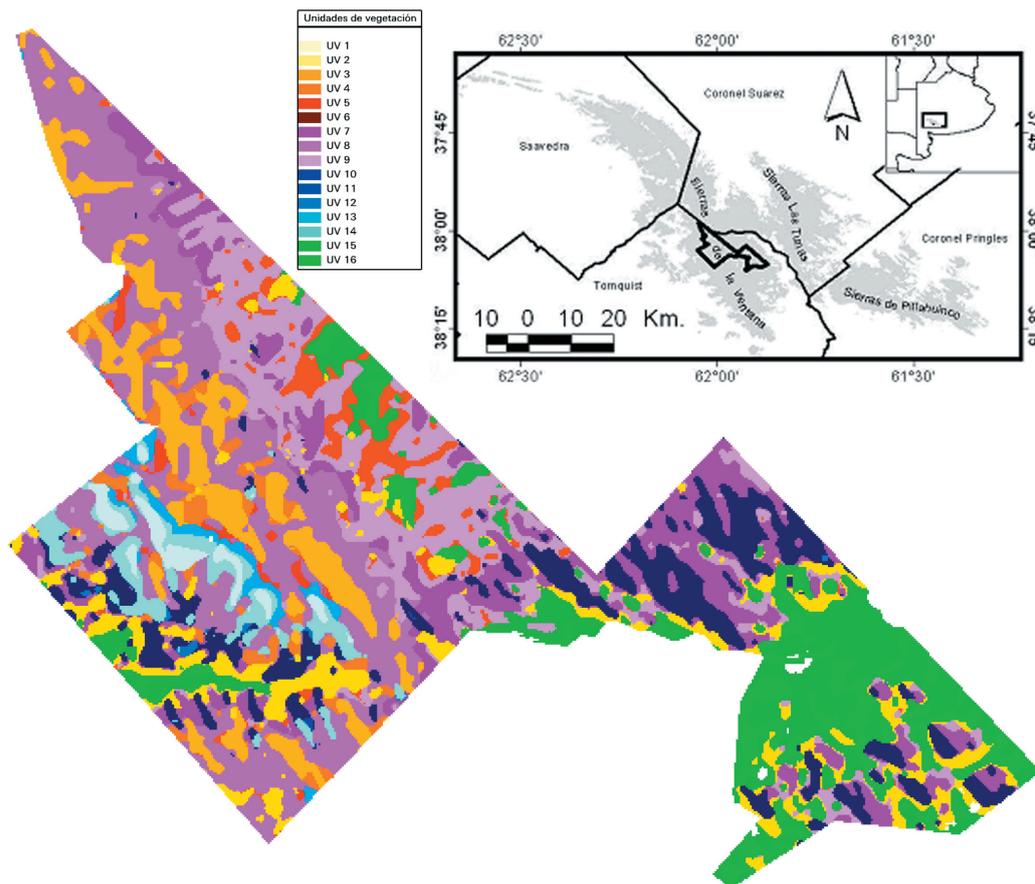


**Figura 2.** Mapa de vegetación potencial de la Sierra de la Ventana (Provincia de Buenos Aires). Ver tabla 1 para la descripción de las unidades de vegetación.

**Figure 2.** Vegetation map of Sierra de la Ventana area (Buenos Aires Province). See table 1 for a description of the vegetation units.

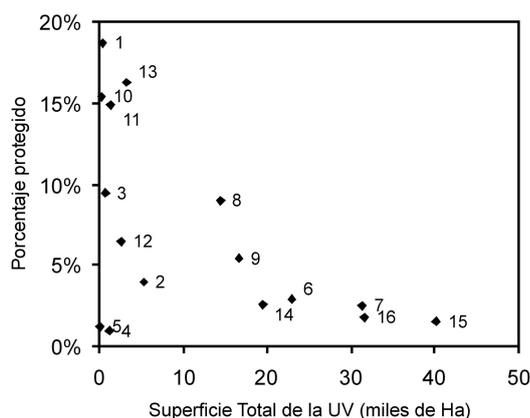
La cobertura de *S. pellitum* en las sierras de Córdoba es máxima entre los 650 y 1400 msnm (Cabido et al. 1997). El límite superior de este rango de altitud presenta características climáticas similares a las encontradas sobre laderas de orientación norte en Sierra de la Ventana a los 750 msnm (Kristensen & Frangi 1995a). La importancia de las gramíneas de síndrome fotosintético  $C_4$  disminuye con la altura, encontrándose coberturas relativas similares entre  $C_3$  y  $C_4$  a los 1500 msnm (Cavagnaro 1988; Cabido et al. 1997). Estas evidencias concuerdan con lo reportado por Paruelo & Lauenroth (1996), Sage et al. (1999) y Winslow et al. (2003) y sugieren que el nicho ecológico de *S. pellitum* debería extenderse hacia sitios más bajos en Sierra de la Ventana. Sin embar-

go, a causa del pastoreo esta especie podría verse restringida a sitios menos accesibles para el ganado. Desde el punto de vista forrajero, la ausencia de *S. pellitum* es muy importante ya que constituye la especie de crecimiento primavero-estival más importante por su productividad y calidad en los pastizales serranos. Este aspecto debería ser revisado para verificar la ubicación potencial de esta comunidad dentro de los suelos serranos más bajos. A partir de esto se plantea la necesidad de comprobar si es posible la reintroducción en estos pastizales de *S. pellitum* u otra especie que cumpla con su función en el ecosistema (Sala & Paruelo 1997) y, desde el punto de vista forrajero, que aporte forraje durante la estación cálida.



**Figura 3.** Mapa de vegetación del Parque Provincial E. Tornquist y ubicación geográfica del área de estudio. El área gris en el mapa de ubicación representa la región de Sierra de la Ventana que actualmente presenta vegetación natural. Proyección Transverse Mercator. Datum Internacional 1909. Meridiano central 60° W. Falso norte 10002288.299 m.

**Figure 3.** Vegetation map of the E. Tornquist Provincial Park and location of the study site. The grey area in the inset represents Sierra de la Ventana region containing natural vegetation at present.



**Figura 4.** Representatividad de las unidades de vegetación de los pastizales de Sierra de la Ventana dentro del Parque Provincial E. Tornquist. El porcentaje protegido de cada Unidad de Vegetación es la superficie incluida en el Parque Provincial.

**Figure 4.** Representativity of each vegetation unit of Sierra de la Ventana grasslands inside the E. Tornquist Provincial Park. The protected percentage of each vegetation unit is the portion included inside the Provincial Park.

La conservación de los ecosistemas y su biodiversidad es el objetivo de las áreas protegidas. El mapeo indirecto de la vegetación permitió superar la limitación de cartografiar la vegetación en un ambiente topográfica y geológicamente complejo. Esta metodología permitió establecer que el Parque Provincial E. Tornquist incluye a todas las unidades de vegetación identificadas en la región. Sin embargo, las comunidades correspondientes a los pastizales basales se encuentran muy pobremente representadas en relación a su extensión regional (Figura 4). La representatividad (Margules & Pressey 2000) de las áreas protegidas de Argentina no parece ser la más apropiada para muchos de sus ecosistemas (Garbulsky 2004). En ese trabajo también se muestra que a escala nacional las áreas protegidas corresponden en gran medida a ecosistemas ubicados por encima de los 1000 m.s.n.m., mientras que la superficie del país se ubica en su mayoría por debajo de esa altitud. Nuestros resultados apoyan la idea de que la importancia otorgada por la sociedad a la conservación de los

pastizales pampeanos es mínima. Por otro lado, su estado de conservación es cuestionable considerando su condición de deterioro actual causado por el pastoreo de herbívoros introducidos y la implantación o invasión de especies leñosas exóticas (Kristensen & Frangi 1995b; Zalba & Villamil 2002).

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto UBACyT G-030 de la Universidad de Buenos Aires (2004-2007). A los establecimientos Huaihuem y El Despeñadero por la colaboración prestada en la realización de este trabajo. El Laboratorio de Análisis Regional y Teledección (LART-FAUBA) contribuyó en diferentes etapas del trabajo. Dos revisores anónimos aportaron importantes comentarios para mejorar el manuscrito.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA, MO; DF STEINAKER; MR DEMARÍA & OA AVILA. 1998. Estados y transiciones de los pastizales de *Sorghastrum pellitum* del área medanososa central de San Luis, Argentina. *Ecotrópicos (Caracas)*, **11**:107-120.
- APN (ADMINISTRACIÓN DE PARQUES NACIONALES). 1998. Las áreas naturales protegidas de la Argentina. Administración de Parques Nacionales. Buenos Aires, Argentina.
- BARRERA, MD & JL FRANGI. 1997. Modelo de estados y transiciones de la arbustificación de pastizales de Sierra de la Ventana, Argentina. *Ecotrópicos (Caracas)*, **10**:161-166.
- BATISTA, WB; RJC LEÓN & SB PERELMAN. 1988. Las unidades vegetales de un pastizal natural de la región de Laprida, Prov. de Buenos Aires, Argentina. *Phytocoenología*, **16**:519-534.
- BRAUN BLANQUET, J. 1950. *Sociología Vegetal. Estudio de las unidades vegetales*. Acme Agency. Buenos Aires, Argentina.
- BURKART, SE; MF GARBULSKY; CM GHERSA; JP GUERSCHMAN; RJC LEÓN ET AL. (EX AEQUO). 2005. Las comunidades potenciales del pastizal pampeano bonaerense. Pp. 379-400 en: M Oesterheld; M Aguiar; C Ghera & J Paruelo (eds.) *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando León*. Ed. Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina.
- BURKART, SE; RJC LEÓN & CP MOVIA (EX AEQUO).

1990. Inventario fitosociológico del pastizal de la Depresión del Salado (Prov. de Bs. As.) en un área representativa de sus principales ambientes. *Darwiniana*, **30**:27-69.
- CABIDO, M; N ATECA; ME ATEGIANO & AM ANTON. 1997. Distribution of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> grasses along an altitudinal gradient in Central Argentina. *J. Biogeog.*, **24**:197-204.
- CABRERA, AL. 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. 85 pp. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. 2da edición. Ed. ACME.
- CAPPANNINI, D; CO SCOPPA & JR VARGAS GIL. 1971. Suelos de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. Pp. 203-234 in: *Reunión Geología Sierras Australes*. Comisión Investigaciones Científicas. La Plata, Argentina.
- CAVAGNARO, JB. 1988. Distribution of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> grasses at different altitudes in a temperate arid region of Argentina. *Oecologia*, **76**:273-277.
- CAWSEY, EM; MP AUSTIN & BL BAKER. 2002. Regional vegetation mapping in Australia: a case study in the practical use of statistical modelling. *Biodivers. Conserv.*, **11**(12): 2239-2274.
- CINGOLANI, AM; DM RENISONA; MR ZAK & MR CABIDO. 2004. Mapping vegetation in a heterogeneous mountain rangeland using landsat data: an alternative method to define and classify land-cover units. *Remote Sens. Environ.*, **92**:84-97.
- CONGALTON, RG. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sens. Environ.*, **37**:35-46.
- CONGALTON, RG; K BIRCH; R JONES & J SCHRIEVER. 2002. Evaluating remotely sensed techniques for mapping riparian vegetation. *Comput. Electron. Agric.*, **37**:113-26.
- DE LA SOTA, ER. 1967. Composición, origen y vinculaciones de la flora pteridológica de las Sierras de Buenos Aires (Argentina). *Bol. Soc. Argentina de Botánica*, **11**:105-128.
- DÍAZ, S; I NOY-MEIR & MR CABIDO. 2001. Can grazing response of herbaceous plants be predicted from simple vegetative traits? *J. Appl. Ecol.*, **38**:497-508.
- ERDAS. 1995. *ERDAS field guide*. 3rd ed. Atlanta: ERDAS.
- FRANGI, JL & MD BARRERA. 1996. Biodiversidad y dinámica de los pastizales en la Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires. Pp. 134-162 in: G Sarmiento & M Cabido (ed.). *Biodiversidad y funcionamiento de pastizales y sabanas en América Latina*. Mérida: Cyted y Cielat.
- FRANGI, JL & OJ BOTTINO. 1995. Comunidades vegetales de la Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires. *Rev. Fac. Agron. (La Plata)*, **71**:93-133.
- FRANKLIN, J. 1995. Predictive vegetation mapping: Geographical modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Prog. Phys. Geogr.*, **19**:474-499.
- FRANKLIN, J. 2002. Enhancing a regional vegetation map with predictive models of dominant plant species in chaparral. *Appl. Veg. Sci.*, **5**:135-146.
- GARBULSKY, MF. 2004. *Distribución y funcionamiento de las áreas protegidas de Argentina. Diferencias funcionales con áreas bajo uso agropecuario*. Tesis de Magíster, Universidad de Buenos Aires.
- GASPARI, FJ & JE BRUNO. 2003. Diagnóstico de degradación ambiental por erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napostá Grande. *Ecol. Austral*, **13**:109-120.
- GUERSCHMAN, JP; JM PARUELO; CM Di BELLA; MC GIALLORENZI & F PACIN. 2003. Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal Landsat TM data. *Int. J. Remote Sens.*, **24**:3381-3402.
- KRISTENSEN, MJ & JL FRANGI. 1995a. Mesoclimas de pastizales de la Sierra de la Ventana. *Ecol. Austral*, **5**:55-64.
- KRISTENSEN, MJ & JL FRANGI. 1995b. La Sierra de La Ventana: una isla de biodiversidad. *Ciencia Hoy*, **5**: 25-34.
- LEÓN, RJC; SE BURKART & CP MOVIA. 1979. La vegetación de la República Argentina. Relevamiento fitosociológico del pastizal del norte de la Depresión del Salado. (Partido de Magdalena y Brandsen, prov. de Bs.As.). *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Serie Fotogeográfica*, **17**:11-93.
- LEÓN, RJC & N MARANGÓN. 1980. Delimitación de unidades en el pastizal puntano. Sus relaciones con el pastoreo. *Bol. Soc. Arg. Bot.*, **19**:277-288.
- MARGULES, CR & RL PRESSEY. 2000. Systematic conservation planning. *Nature*, **405**:243-253
- MUELLER DOMBOIS, D & H ELLEMBERG. 1974. Causal-Analytical Inquiries into the Origin of Plant Communities. Pp. 335-370 in: *Aims and Method of Vegetation Ecology*. John Wiley & Sons. New York, USA.
- MURAKAMI, T; S OGAWA; N ISHITSUKA; K KUMAGAI & G SAITO. 2001. Crop discrimination with multitemporal SPOT/HRV data in the Saga Plains, Japan. *Int. J. Remote Sens.*, **22**:1335-1348
- PARUELO, JM; RA GOLLUSCIO; JP GUERSCHMAN; A CESA; VV JOUVE & MF GARBULSKY. 2004. Regional scale relationships between ecosystem structure and functioning. The case of the Patagonian steppes. *Global Ecol. Biogeogr.*, **13**:385-395.
- PARUELO, JM & WK LAUENROTH. 1996. Relative abundance of plant functional types in grasslands and shrublands of North America. *Ecol. Appl.*, **6**:1212-1224.
- PÉREZ, CA & JL FRANGI. 2000. Grassland biomass

- dynamics an altitudinal gradient in the Pampa. *J. Range Manag.*, **53**:518-528.
- RICCI, S. 1996. Estudios sobre la actividad humana en los ecosistemas naturales de la región serrana y sus consecuencias. Pp. 144-152 en: G Sarmiento & M Cabido (ed.). *Biodiversidad y funcionamiento de pastizales y sabanas en América Latina*. Mérida. Cytel y Cielat.
- RICHARDS, JA. 1986. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 281 pp.
- RODRÍGUEZ E; CS MORRIS & JE BELZ. 2006. A Global Assessment of the SRTM Performance. *Photogramm. Eng. Rem. Sens.*, **72**: 249-260.
- SAGE, RF; DA WEDIN & M LI. 1999. The Biogeography of C<sub>4</sub> photosynthesis: patterns and controlling factors. Pp.313-373 in: RF Sage & RK Monson (ed). *C<sub>4</sub> Plant Biology*. Academia Press. San Diego, USA.
- SAGPYA-INTA. 1989. *Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires a escala 1:500000*. Centro de Investigaciones de Recursos Naturales. Proyecto PNUD/ARG/85/019.
- SALA, OE; FS CHAPIN III; JJ ARMESTO; E BERLOW; J BLOOMFIELD ET AL. 2000. Review: Biodiversity. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science*, **87**:1770-1774.
- SALA, OE & JM PARUELO. 1997. Ecosystems service in grasslands. Pp. 237-252 in: G Daily (ed.). *Nature's services, societal dependence on natural ecosystems*. Island Press. Washington, DC, USA.
- SHUPE, SM & SE MARSH. 2004. Cover- and density-based vegetation classifications of the Sonoran Desert using Landsat TM and ERS-1 SAR imagery. *Remote Sens. Environ.*, **93**:131-149.
- SMN (SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL). 1960. *Atlas climático de la República Argentina*. Buenos Aires. Servicio Meteorológico Nacional.
- SMN (SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL). 1981. *Estadísticas Climatológicas*. N° 37. Serie 1981-1990. Buenos Aires. Servicio Meteorológico Nacional.
- SORIANO, A. 1991. Río de la Plata Grasslands. Pp. 367-407 in: RT Coupland (ed.) *Ecosystems at the World 8A. Introduction and western hemisphere*. Elsevier. New York, USA.
- TÜXEN, R. 1956. Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. *Angew. Pflanzensoziol. (Stolzenau)*, **13**:5-42.
- URBAN, L; RV O'NEILL & HH SHUGART JR. 1987. Landscape Ecology. A hierchical perspective can help scientist understand spatial patterns. *BioScience*, **37**:119-127.
- VAN ZUIDAM, R & FI VAN ZUIDAM-CANCELADO. 1979. *Terrain Analysis and classification using aerial photographs*. ITC, The Hague, Netherlands, 310 pp.
- VARGAS GIL, JR & CO SCOPA. 1973. Suelos de la Provincia de Buenos Aires. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, **10**:57-79.
- WINSLOW, JC; ER HUNT JR. & SC PIPER. 2003. The influence of seasonal water availability on global C<sub>3</sub> versus C<sub>4</sub> grassland biomass and its implications for climate change research. *Ecol. Model.*, **163**:153-173.
- ZAK, MR & M CABIDO. 2002. Spatial patterns of the Chaco vegetation of central Argentina: Integration of remote sensing and phytosociology. *Appl. Veg. Sci.*, **5**:213-226.
- ZALBA, SM & CB VILLAMIL. 2002. Woody plant invasion in relictual grasslands. *Biol. Invasions*, **4**:55-72.
- ZERBE, S. 1998. Potential natural vegetation: validity and applicability in landscape planning and nature conservation. *Appl. Veg. Sci.*, **1**:165-172.