

## Cambios en el IVN y su relación con disturbios antrópicos en la vegetación serrana de Córdoba, Argentina

A. A. Brun<sup>1</sup>, O. R. Campanella<sup>2</sup>, A. J. Oggero<sup>1</sup> y S. A. Suárez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias Naturales. Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Río Cuarto-UNRC. 5800 Ruta 36, km 601. Río Cuarto (Córdoba). Argentina

<sup>2</sup> Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Río Cuarto-UNRC. 5800 Ruta 36, km 601. Río Cuarto (Córdoba). Argentina

### Resumen

La distribución de la vegetación está determinada por relaciones entre las especies, el ambiente y el disturbio. Estos factores producen cambios en la cobertura y composición vegetal modificando temporal o permanentemente los servicios del ecosistema. Los objetivos del trabajo fueron: a) evaluar la relación entre IVN, cobertura vegetal y el disturbio antrópico en dos cortes temporales: 2001 y 2008, y b) caracterizar la composición florística y la cobertura en distintos ambientes. Se crearon seis mapas de clases de IVN (tres subimágenes con dos instancias temporales) con datos LANDSAT 5 y 7. Se realizaron 21 censos de vegetación al azar en las sierras de Comechingones (Córdoba, Argentina). Se cuantificó abundancia-cobertura de 75 especies. Se evaluaron 16 variables ambientales y de disturbio. Mediante análisis de correspondencia canónica se relacionaron censos y especies con el ambiente y los disturbios. Se identificaron 3 comunidades vegetales. Se explicó el 34% de la distribución de la vegetación por las variables ambientales y el disturbio. El IVN aumentó en el año 2008 respecto al año 2001, en las tres subimágenes del área de estudio, relacionado con cambios en el uso de la tierra. También se probó que las interrelaciones entre variables de disturbio (tala e invasión de leñosas exóticas) modularon y condicionaron el establecimiento de dos de las tres comunidades en la zona serrana.

**Palabras clave:** Teledetección, LANDSAT, comunidades vegetales, uso de la tierra, cambios espacio temporales.

### Abstract

#### Relationship between NDVI, vegetation and anthropogenic disturbances in Córdoba, Argentina

Distribution of vegetation is determined by relationships among species, environment and disturbances. These factors cause changes in plant cover and composition, altering ecosystem services temporarily or permanently. The aims of this study were: a) to evaluate the relationship between NDVI, vegetation and anthropogenic disturbances at two points in time: 2001 and 2008, and b) to characterize the floristic composition and cover in different environments. Six maps of NDVI classes were created (three sub-scenes on two temporary instances) from LANDSAT 5 and 7 data. Twenty-one vegetation surveys were conducted in Sierras of Comechingones mountain range (Córdoba, Argentina). Abundance-cover of 75 species was quantified. Sixteen environmental and disturbance variables were assessed. Using canonical correspondence analysis, surveys and species were related to environment and disturbances. Three plant communities were identified. Environmental and disturbance variables accounted for 34% of plant distribution. NDVI increased in 2008 compared to 2001 in the three subimages of the study area; such increase was related to changes in land use. It was also confirmed that interrelationships between disturbance variables (logging and invasion of exotic woody species) regulated and conditioned the establishment of two of the three communities in the mountain area.

**Key words:** remote sensing, LANDSAT, plant communities, land use, spatial-temporal changes.

\* Autor para la correspondencia: anahibrun@gmail.com  
Recibido: 04-05-11; Aceptado: 13-04-12.

## Introducción

La distribución de la vegetación natural está condicionada por distintos factores que determinan relaciones entre las especies, el ambiente y el disturbio (Hooper *et al.*, 2005; Crawley, 1997). Algunos de ellos influyen sobre los procesos poblacionales que condicionan la abundancia de las especies (Crawley, 1997). Otros como los climáticos, los edáficos o el régimen de disturbio producen cambios en la cobertura y fisonomía vegetal modificando de manera temporal o permanente los servicios que brinda la vegetación al ecosistema y al bienestar humano (Hooper *et al.*, 2005; Quétier *et al.*, 2007).

Los resultados de estos cambios pueden ser evaluados por variaciones en el tiempo del índice verde obtenido a partir de información satelital (Chuvieco, 2007). Los datos de sensores remotos en general, y de LANDSAT 5 y LANDSAT 7 en particular posibilitan éste análisis, por los rangos espectrales que cubren en el espectro del visible y del infrarrojo y por su disponibilidad temporal y espacial.

Los sensores a bordo de satélites registran energía electromagnética emitida o reflejada por un objeto o superficie en distintas bandas del espectro electromagnético. Las imágenes satelitales proveen entonces datos cuantitativos y espacialmente continuos de la superficie terrestre (Lillesand *et al.*, 2008). El proceso de generación de una aplicación concreta de la información espectral implica la «traducción» de la medición de radiación reflejada en una variable o índice con un significado biofísico (Paruelo, 2008).

El índice de vegetación normalizado (IVN) representa la cantidad y el vigor de la vegetación (actividad fotosintética). Este índice ha mostrado tener una fuerte relación con la biomasa (Ripple, 1985; Sellers, 1985; Gerberman *et al.*, 1984; Tucker, 1977) y con las condiciones climáticas, así como con el patrón predominante de uso de las tierras (Volante *et al.*, 2003).

Los ambientes serranos de Córdoba (Argentina) son los reservorios más importantes de la flora nativa, ya que poseen suelos poco desarrollados, con roca superficial y limitada aptitud agrícola (Cabido *et al.*, 2003; Gorgas y Tassile, 2006). En particular, en la zona de estudio se encuentran los mayores índices de

biodiversidad de especies vegetales con uso medicinal y aromático, tradicional fuente de ingreso para los pobladores locales (Toledo, 2009; Barboza *et al.*, 2006). Asimismo, se forman las principales cuencas hídricas de la región central de la Argentina, donde la vegetación natural cumple un papel importante al interceptar las precipitaciones y regular la escorrentía y la infiltración (Vázquez *et al.*, 1979; Gorgas y Tassile, 2006).

En la última década la vegetación natural está siendo reemplazada o destruida a tasas alarmantes, especialmente en aquellos sitios de uso potencial para la urbanización y la agricultura (Cabido *et al.*, 2005; Paruelo *et al.*, 2005). La modificación estos hábitats provoca la disminución directa de la biodiversidad y la alteración de los procesos ecosistémicos de la región (Nuñez y Cantero, 2000).

Los antecedentes presentados permiten formular los siguientes objetivos: a) evaluar la relación entre IVN, cobertura vegetal y el disturbio antrópico en dos cortes temporales: 2001 y 2008, y b) caracterizar la composición florística y la cobertura en distintos ambientes. Disponer de esta información permitirá desarrollar estrategias de manejo sostenible, ordenamiento territorial y revalorización de la vegetación nativa.

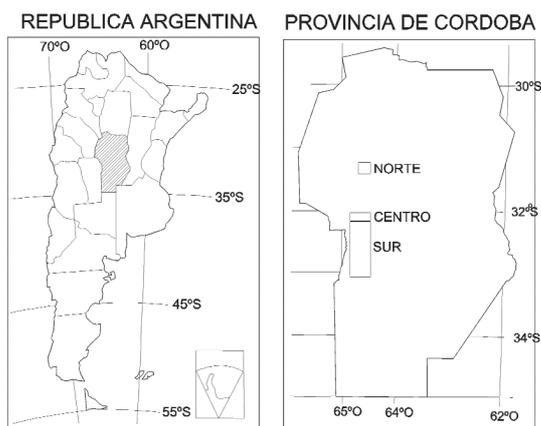
## Material y métodos

### Área de estudio

El área de estudio se ubica en la sierra de Comechingones entre los 31° 10' S y 33° 00' S, y los 64° 10' O y 65° 00' O (Córdoba, Argentina) (Fig. 1). La altitud varió entre los 700 y los 1.200 m s.n.m. y las precipitaciones oscilan entre 600 mm y 800 mm anuales, concentradas en el verano. Ambos factores determinan una la vegetación xerófila que fisonómicamente incluye al Bosque Serrano y al Arbustal (Luti *et al.*, 1979; Nuñez y Cantero, 2000; Cabido *et al.*, 2003).

### Imágenes satelitales

Para el cálculo del IVN, como herramienta cartográfica de apoyo y validación de los da-



**Figura 1.** Mapa de la provincia de Córdoba (Argentina) con la ubicación de las subimágenes (norte, centro y sur).

tos de campo se utilizaron datos de sensores remotos. Se trabajó con imágenes sin nubes LANDSAT 5 TM correspondientes al año 2008, y LANDSAT 7 ETM+ pertenecientes al año 2001. Debido a la extensión y ubicación de las áreas estudiadas fue necesario trabajar con las escenas 229/82 y 229/83 para ambas fechas. Las imágenes fueron obtenidas del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2010) y de la Universidad de Maryland (NASA, 2010).

Dada la extensión espacial del área de estudio, la resolución espacial de las imágenes satelitales utilizadas y la ubicación de los puntos de muestreo, se hizo necesario crear tres subimágenes (norte, centro y sur) en cada corte temporal (Fig. 1). Para el procesamiento y análisis de las imágenes satelitales se utilizó el programa ENVI 4.x.

### Preprocesamiento

Para la georreferenciación, se generó una imagen sintética HSV 453-8 construida a partir de una imagen LANDSAT 7 ETM+ ortogeoreferenciada descargada de la Universidad de Maryland. El tamaño de píxel es 14,25 m. La imagen fue transformada al sistema de proyección TM Gauss Krüger Faja 3. La misma constituyó la imagen base para definir puntos homólogos en el proceso de georreferenciación imagen a imagen para las imágenes LANDSAT 5. Se definieron 40 puntos homó-

logos con un RMS global 0,60 (expresado en píxeles) para la imagen LANDSAT 5 de 2008. Como resultado de este proceso, se obtuvieron tres subimágenes, denominadas norte, centro y sur.

La corrección atmosférica se realizó utilizando la metodología propuesta por Chavez (Chuvieco, 2007). Los datos originales de la imagen están expresados para cada banda en valores enteros comprendidos entre 0 y 255. El proceso de traducción de los niveles digitales (ND) a reflectividad se realizó en dos fases: 1) conversión de valores de ND a valores de radiancia en el sensor a partir de los coeficientes de calibrado del sensor, y 2) estimación de valores de reflectividad aparente al tope de la atmósfera (TOA), con la irradiancia solar y la fecha de adquisición de la imagen (Chuvieco, 2007).

### Cálculo del IVN

Varios índices espectrales han sido propuestos como estimadores de la presencia y condición de la vegetación (Fensholt *et al.*, 2004; Ridao *et al.*, 1998; Baret y Guyot, 1991; Choudhury, 1987). Sin embargo, el Índice de Vegetación Normalizado ha sido y es el más usado. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IVN = (B4 - B3) / (B4 + B3).$$

La banda 3 (B3) corresponde al rojo del visible (de baja reflectividad para la vegetación) y la banda 4 (B4) al infrarrojo cercano (de alta reflectividad para la vegetación). Mediante reclasificación del mapa de IVN se definieron los intervalos correspondientes al valor -1,0 a 0,1 significa ausencia de actividad fotosintética y es asignado a la clase uno y color blanco respectivamente; el valor 0,1 a 0,5 indica actividad fotosintética baja y corresponde a la clase dos y color amarillo; por último el intervalo 0,5 a 1,0 representa actividad fotosintética alta y concierne a la clase tres y color verde.

### Detección de cambios

Se realizó un mapa de clases por cada subimagen perteneciente a los años 2001 y 2008 teniendo en cuenta los valores y colores esta-

blecidos en el cálculo de IVN. También fueron digitalizados los puntos de muestreo.

### Relevamiento de vegetación, ambiente y disturbio

Entre febrero y marzo de 2009 se realizaron 21 censos fitosociológicos (Müeller-Dombois y Ellenberg, 1974) junto con la caracterización del ambiente abiótico y el tipo de disturbio. A campo, en cada censo (100 m<sup>2</sup>) se registró presencia de las especies además de evaluar la abundancia-cobertura de cada una ellas según escala de Braun Blanquet (Müeller-Dombois y Ellenberg, 1974), se recolectaron ejemplares para su correspondiente identificación. En laboratorio, se corroboró la determinación taxonómica mediante el uso de claves y bibliografía específica (Zuloaga y Morrone, 1999; Bianco y Cantero, 1985a,b; Burkart, 1979, 1974, 1969). También a campo se registró mediante estimación visual cobertura total (%), de leñosas (%) y de herbáceas (%); y del ambiente abiótico roca expuesta (%). Mediante el uso de GPS se georeferenciaron los sitios de muestreo y su altitud. En el laboratorio se completó la caracterización del ambiente mediante bibliografía adicionando información edáfica: código de unidad cartográfica, índice de productividad de la unidad, aptitud de uso, fisiografía, tipo de suelo, drenaje, pendiente y materia orgánica (Gorgas y Tassile, 2006). Los disturbios, principalmente relacionados con la actividad antrópica, se registraron por presencia-ausencia de ocurrencia de fuego, tala, pastoreo, invasión de leñosas exóticas y agricultura.

Con la información de campo se confeccionó el listado florístico de la zona de estudio mientras que para el análisis de los datos se confeccionaron dos matrices, una florística y otra ambiental. Se eliminaron las especies de constancia menor al 10 %, cuya presencia pudo deberse al azar, y censos y especies con alta dispersión (Müeller-Dombois y Ellenberg, 1974). Se utilizó análisis de correspondencia canónica (CCA) para relacionar la información florística, ambiental y disturbio (ter Braak, 1987). Para el análisis se estandarizó el resultado final de las especies y censos por centrado y normalización.

La cobertura total, de leñosas y de herbáceas de los censos en cada comunidad (4; 5 y 5 censos respectivamente) se analizó mediante ANOVA y la comparación de medias con prueba de Tukey ( $P = 0,1$ ) (Montgomery, 1991).

### Resultados y discusión

El disponer de imágenes satelitales de la zona serrana permitió evaluar cambios en la cobertura vegetal y en la actividad fotosintética en los años 2001 y 2008 (Figs. 2 a 7). En ambos años predominó el rango 0,1 a 0,5 de IVN, indicando una actividad fotosintética baja para las tres zonas. Estos resultados concuerdan con el tipo de vegetación xerófila descrita por Cabrera (1976) y Luti *et al.* (1979). Al analizar comparativamente los años se observa un aumento en el rango 0,5 a 1 de IVN, lo que su-

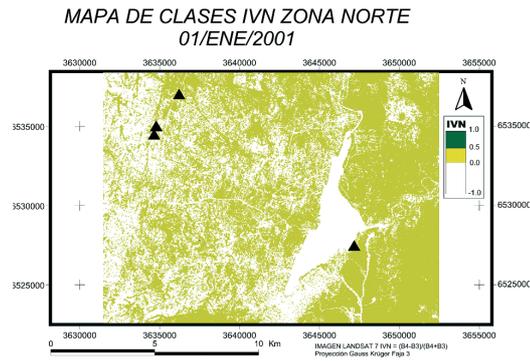


Figura 2. Mapa de la zona norte (2001): rangos, clases de actividad fotosintética estimada de IVN y ubicación de los censos de vegetación.

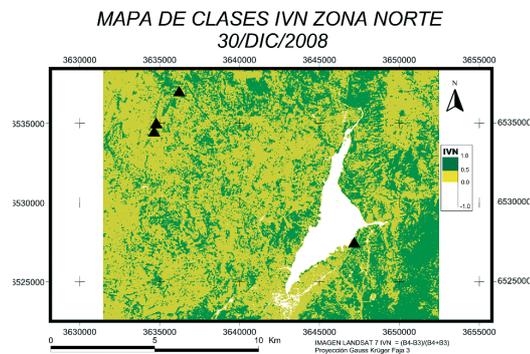
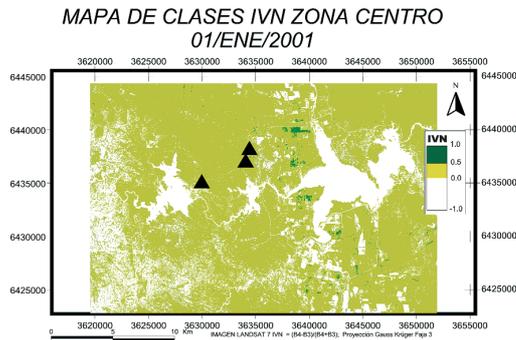
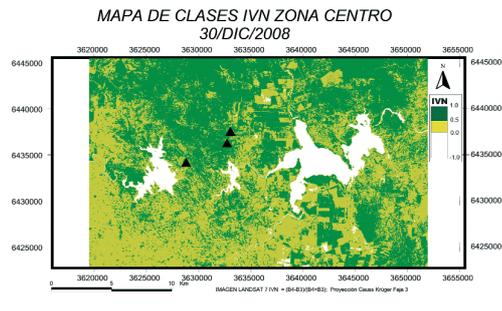


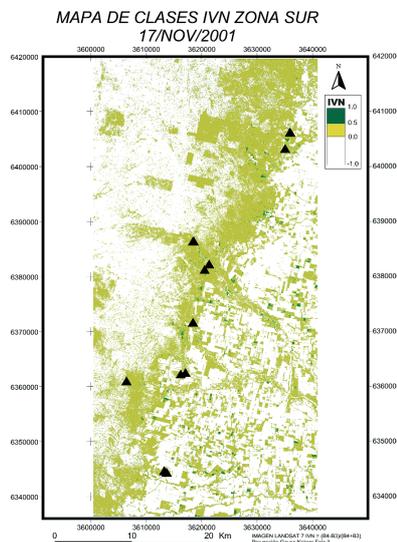
Figura 3. Mapa de la zona norte (2008): rangos, clases de actividad fotosintética estimada de IVN y ubicación de los censos de vegetación.



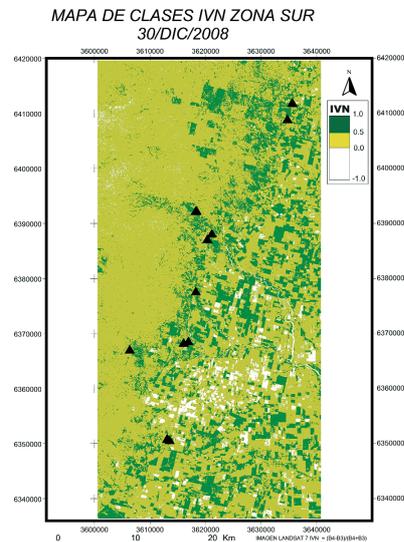
**Figura 4.** Mapa de la zona centro (2001): rangos, clases de actividad fotosintética estimada de IVN y ubicación de los censos de vegetación.



**Figura 5.** Mapa de la zona centro (2008): rangos, clases de actividad fotosintética estimada de IVN y ubicación de los censos de vegetación.



**Figura 6.** Mapa de la zona sur (2001): rangos, clases de actividad fotosintética estimada de IVN y ubicación de los censos de vegetación.

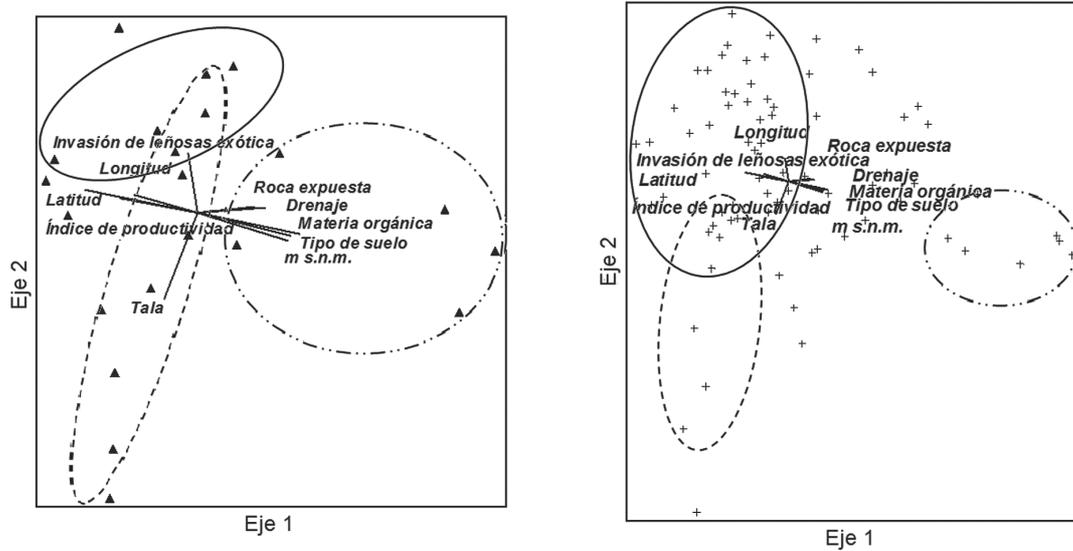


**Figura 7.** Mapa de la zona sur (2008): rangos, clases de actividad fotosintética estimada de IVN y ubicación de los censos de vegetación.

giere un incremento de la actividad fotosintética en la área de estudio. Considerando que las subimágenes corresponden a la estación de crecimiento primavero-estival de la vegetación, y que las lluvias y la temperatura media anual fueron equivalentes (INTA EEA Manfredi, 2010; Servicio Meteorológico Nacional, 2009) podemos inferir que dichos cambios son atribuibles a modificaciones en la cobertura vegetal por un uso diferente de la tierra.

Al relacionar la información florística con las variables ambientales encontramos que el porcentaje acumulado de variación explicada por los tres primeros ejes del ordenamiento es del 34%. El primer eje explica el 13%; mien-

tras que el segundo y tercer eje explican el 11% y 10% respectivamente. Al ordenar los censos y las especies en función de los valores el primer y segundo eje de CCA se observan tres comunidades (Fig. 8). La Comunidad 1 se ubica hacia en el cuadrante superior izquierdo y se encuentra asociada con las variables invasión de leñosas exóticas (51% eje 2) y latitud (86% eje 1). Las especies que la caracterizan son: *Acacia caven* (Mol.) Molina, *Zanthoxylum coco* (Gillies) ex Hook f & Arn., *Cestrum parqui* L' Herit., *Eupatorium buniifolium* Hook. et. Arn., *Aloysia gratissima* (Gill. et Hook.) Tronc. y *Lithrea molleoides* (Vell.) Engl. La Comunidad 2 se ubica hacia el cuadrante inferior iz-



**Figura 8.** Distribución de los censos de vegetación (a) y especies (b) en función del primer y segundo eje canónico, indicando variables ambientales y de disturbio de tres comunidades en la zona serrana de Córdoba. Línea continua: comunidad 1; línea rayada: comunidad 2; línea con raya y puntos: comunidad 3.

quierdo y está asociada con la variable tala (70% eje 2). Las especies indicadoras son: *Setaria parviflora* (Poir.) Kerguelen, *Schkuhria pinnata* (Lam.) Kuntze ex Thell., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Digitaria sanguinalis* (L.), *Euphorbia peplus* L. y *Sorghum halepense* (L.) Pers. La Comunidad 3 se ubica en el margen derecho y está asociada con las variables: tipo de suelo, altura sobre el nivel del mar y materia orgánica (79%, 69% y 70 % eje 1). Las especies que la integran son: *Borreria eryngioides* Cham. & Schltdl., *Acalypha communis* Müll. Arg., *Colletia spinosissima* Gmel., *Selaginella sellowii* Hieron y *Heterothalamus alienus* (Spreng.) Kuntze.

La cobertura total, de leñosas y de herbáceas difirió significativamente entre las tres comunidades ( $P=0,007$ ;  $P=0,062$ ;  $P=0,015$ ). Los valores medios en la cobertura total de las comunidades 1 y 3 se diferenciaron ( $P=0,1$ ). Mientras que los valores medios de la cobertura de leñosas y de herbáceas de la comunidad 2 difirió ( $P=0,1$ ) de la comunidad 3. Estas diferencias en la cobertura vegetal evaluada a campo se relacionaron con cambios en la actividad fotosintética entre los mapas de clase correspondientes a cada zona del año 2008. Por ejemplo, la comunidad 3 se ubica mayormente en la zona norte (67%), tuvo la menor cobertura total (85%) y la mayor del estrato le-

ñoso (42%) evaluada a campo. Esta comunidad se caracteriza por especies indicadoras del Arbustal, transición entre el Bosque Serrano y el Pastizal de altura, donde el paisaje se caracteriza por la casi total ausencia de árboles y la presencia de arbustos (Luti *et al.*, 1979). En tanto que, la comunidad 1 relacionada con variables que indican disturbio y que se ubica exclusivamente en la zona sur (100%), tuvo la mayor cobertura total (97%) evaluada a campo. En esta comunidad encontramos especies invasoras de ambientes naturales (Nevel y Porcile, 2006) y agrícolas (Ghersa *et al.*, 2002). Y la comunidad 2 asociada con la tala presente en la zona sur (97%) y la centro (3%), tuvo la menor cobertura del estrato arbóreo (7%) y la mayor del herbáceo (92%). Aquí se encontraron importantes malezas de ambientes agrícolas (De la Fuente *et al.*, 2006).

En los últimos años la actividad antrópica ha modificado casi la totalidad de los ambientes naturales serranos, principalmente aquellos sin limitantes para la agricultura y la urbanización. Los que aún se conservan, están siendo fragmentados de manera creciente en una matriz de cultivos anuales, principalmente la soja (Cabido *et al.*, 2005; Paruelo *et al.*, 2005). Tales actividades junto con la deforestación y el pastoreo modifican la estructura y funcionamiento del ecosistema (Cabido *et al.*, 2005),

puediendo provocar aumentos en la actividad fotosintética por la homogeneización de la vegetación. Si bien los censos de vegetación no fueron realizados en lotes agrícolas los registros a campo de tala, actividad agrícola e invasión de leñosas exóticas son indicadores del uso de la tierra.

## Conclusiones

El estudio de la vegetación en la zona serrana de Córdoba (Argentina) mediante el uso de sensores remotos puso en evidencia que el IVN aumentó en el año 2008 al compararse con el año 2001. También se probó que las variables como tala e invasión de leñosas exóticas influenciaron el establecimiento de dos de las tres comunidades vegetales. Ello se evidenció por los altos porcentajes de variación de la composición florística explicada por disturbios antrópicos. En coincidencia con la información satelital, la evaluación a campo de la cobertura vegetal mostró que aumentó la cobertura total y la del estrato herbáceo en particular.

## Agradecimientos

Se agradece a los revisores anónimos por sus interesantes observaciones y sugerencias que contribuyeron a la mejora del manuscrito. Este trabajo ha sido realizado por el financiamiento de Proyectos Federales de Innovación Productiva del Consejo Federal de Ciencia y Tecnología (Córdoba 02/07, convenio 026/09) y del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Córdoba (Res. MINCyT Cba. N° 000113/2011).

## Referencias

- BARBOZA, E. G., CANTERO, J. J., NÚÑEZ, C. O., & ESPINAR, L. A. (eds). 2006. *Flora medicinal de la provincia de Córdoba (Argentina) Pteridófitas y Antófitas silvestres o naturalizadas*. Museo Botánico de Córdoba. Argentina, 1.264 págs.
- BARET, F., & GUYOT, G. 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment* 35: 161-173.
- BIANCO, C., & CANTERO, J. J. 1985a. Las plantas vasculares del sudoeste de la provincia de Córdoba. Parte I: Clave para la determinación de familias. *Revista UNRC* 5(2): 143-159.
- BIANCO, C., & CANTERO, J. J. 1985b. Las plantas vasculares del sudoeste de la provincia de Córdoba. Parte II: Clave para la determinación de géneros. *Revista UNRC* 5(2): 161-206.
- BURKART, A. 1969. *Flora ilustrada de Entre Ríos (Argentina)*. Bs. As. Tomo VI, parte II. INTA.
- BURKART, A. 1974. *Flora ilustrada de Entre Ríos (Argentina)*. Bs. As. Tomo VI, parte VI. INTA.
- BURKART, A. 1979. *Flora ilustrada de Entre Ríos (Argentina)*. Bs. As. Tomo VI, parte V. INTA.
- CABIDO, D., CABIDO, M., GARRÉ, S. M., GORAS, J. A., MIATELLO, R., RAVELO, A., RAMBALDI, S., & TASSILE, J. L. (coordinadores). 2003. *Regiones naturales de la provincia de Córdoba*. Agencia Córdoba D.A.C.yT. Córdoba, Argentina, 103 págs.
- CABIDO, M., ZAK, M., CINGOLANI, A., CÁCERES, D., & DÍAZ, S. 2005. Cambio en la cobertura de la vegetación de la Argentina. ¿Factores directos o causas subyacentes? En: Oesterheld M., Aguiar M. R., Ghera C. M., & Paruelo J. M. (compiladores) *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas*. Un homenaje a Rolando J.C. León. Editorial Facultad de Agronomía-UBA. Bs. As., Argentina, 271-296 pp.
- CABRERA, A. L. 1976. *Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería. Regiones fitogeográficas argentinas*. Editorial ACME S.A.C.I., II(1), 85 págs.
- CHOUDHURY, B. J. 1987. Relationships between vegetation indices, radiation absorption, and net photosynthesis evaluated by a sensitivity analysis. *Remote Sensing of Environment*, 22: 209-233.
- CHUVIECO, E. 2007. *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Editorial Ariel S. A. Barcelona, España, 592 pp.
- CRAWLEY, M. J. 1997. The structure of plant communities. En: Crawley, M. J. (ed.) *Plant ecology*. Blackwell Science 14: 475-531.
- DE LA FUENTE, E. B., SUÁREZ, S. A., & GHERSA, C. M. 2006. Soybean weed community composition and richness between 1995 and 2003 in the Rolling Pampas (Argentina). *Agriculture Ecosystems and Environment* 115(1-4): 229-236.
- FENSHOLT, R., SANDHOLT, I., & RASMUSSEN, M. S. 2004 Evaluation of MODIS LAI, fAPAR and the relation between fAPAR and NDVI in a semi-arid environment using in situ measurements. *Remote Sensing of Environment* 91: 490-507.
- GERBERMAN, A. J., CUELLAR, J. A., & GAUSMAN, H. W. 1984. Relationship of sorghum canopy variables to reflected infrared radiation for 2 wavelengths and 2 wavebands. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 50: 209-214.
- GHERSA, C. M., DE LA FUENTE, E. B., SUÁREZ, S. A., & LEÓN, R. J. C. 2002. Woody spe-

- cies invasion in the Rolling Pampa grasslands, Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. ELSEVIER 88(3): 271-278.
- GORGAS, J. A., & TASSILE, J. L. 2006. *Recursos naturales de la provincia de Córdoba. Los suelos. Nivel de reconocimiento 1:500.000*. Agencia Córdoba Ambiente S.E. e INTA Centro Regional Córdoba.. Córdoba, Argentina. 612 pp.
- HOOPER, D. U., CHAPIN III, F. S., EWEL, J. J., HECTOR, A., INCHAUSTI, P., et al. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75(1): 3-35.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 2010. [www.inpe.br](http://www.inpe.br)
- INTA EEA Manfredi. 2010. Área de Recursos Naturales. Resumen histórico de lluvias en mm desde el año 1931. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/manfredi/info/clima/historico/lluvde31.htm>
- LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W., & CHIPMAN, J. W. 2008. *Remote Sensing and Image Interpretation. 6ta edición*. Edit. John Wiley. 804 pp.
- LUTI, R., BERTRÁN DE SOLÍS, M. A., GALERA, M. F., MULLER DE FERREIRA, N., BERZAL, M., NORES, M., HERRERA, M. A., & BERRERA, J. C. 1979. *Vegetación en Geografía Física de la Provincia de Córdoba*. Vázquez y Miatello, eds. 464 pp.
- MONTGOMERY, D. C. 1991. *Diseño y análisis de experimentos*. Grupo editorial Iberoamérica, Bs. As., Argentina. 589 pp.
- MUELLER-DOMBOIS, D., & ELLENBERG, H. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley & Sons, New York, USA. 547 pp.
- NASA, 2010. Landsat Scenes from the Global Land Cover Facility. GODDARD SPACE FLIGHT CENTER, *University of Maryland*, <http://glcf.umd.edu/data/landsat/>
- QUÉTIER, F., TAPPELLA, E., CONTI, G., CÁCERES, D., & DÍAZ, S. 2007. Servicios ecosistémicos y actores sociales. Aspectos conceptuales y metodológicos para un estudio interdisciplinario. *Gaceta ecológica*, número especial 84-85: 17-26.
- NEVEL, J. P., & PORCILE, J. F. 2006. *Contaminación del bosque nativo por especies arbóreas y arbustivas exóticas*. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/Forestal/DGF.hmt>.
- NUÑEZ, C. O., & CANTERO, J. J. 2000. *Plantas medicinales del sur de la provincial de Córdoba*. Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 144 pp.
- PARUELO, J. M. 2008. La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. Asociación Española de Ecología Terrestre. *Ecosistemas* 17(3): 4-22.
- PARUELO, J. M., GUERSCHMAN, J. P., & VERÓN, S. R. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia Hoy* 15(87): 14-23.
- RIDAO, E., CONDE, J., & MINUÉS, I. 1998. Estimating fAPAR from nine vegetation indices for irrigated and nonirrigated faba vean and semileafless pea canopies. *Remote Sensing of Environment* 66: 87-100.
- RIPPLE, W. J. 1985. Asymptotic reflectance characteristics of grass vegetation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 43: 1915-1921.
- SELLERS, P.J. 1985. Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration. *International Journal of Remote Sensing* 6: 1335-1372.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. 2009. Registro de lluvias desde el año 2000 al año 2008, Río Cuarto Aero. Disponible en: <http://www.smn.gov.ar/>
- TER BRAAK, C. J. F. 1987. Ordination. En Jongman, R.H.G., ter Braak, C.J.F. y van Tongeren, O.F.R. (eds.), *Data analysis in community and landscape ecology*. 1<sup>st</sup>. ed. Pudoc, Wageningen, The Netherlands 5: 91-173.
- TOLEDO, A. B. 2009. Diversidad de usos, prácticas de recolección y diferencias según género y edad en el uso de plantas medicinales en Córdoba, Argentina. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 8(5): 389-401.
- TUCKER, C. J. 1977. Resolution of grass canopy biomass classes. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 43:1059-1067
- VÁZQUEZ, J. B., MIATELLO, R. A., & ROQUÉ, M. E. 1979. *Geografía física de la provincia de Córdoba*. Editorial Bolts. Buenos Aires, Argentina. 464 pp.
- VOLANTE, J. N., & BIANCHI, A. R. 2003. Índice de vegetación normalizado diferencial (NDVI) de las Yungas y del Chaco Semiárido en el Noroeste Argentino. *EEA INTA Salta*.
- ZULOAGA, F. O., & MORRONE, O. 1999 (eds). Catálogo de las plantas vasculares de la República Argentina. II. Dicotyledoneae. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* 74: 1-1269.