

# Análisis del uso del suelo en el contexto de su dinámica espacio temporal en una cuenca rural serrana. Argentina

## Analysis of land use in the context of their temporary space dynamics in a rural basin serrana. Argentina

Gabriela E. Senisterra, Fernanda J. Gaspari

### Resumen

**L**os cambios en la cobertura de suelo son procesos dinámicos que deben ser estudiados por que proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada. Estos cambios son reconocidos como una de las principales causas de deterioro ambiental. El objetivo de este trabajo fue analizar los cambios de usos del suelo en el contexto de su dinámica espacio – temporal en una cuenca rural serrana de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Para el procesamiento del cambio de uso del suelo se utilizó el módulo Land Change Modeller (LCM) del SIG Idrisi Taiga® en forma integrada. La aplicación del LCM permitió el análisis de los cambios acaecidos en una ventana temporal de 25 años, estableciendo evaluaciones de pérdidas y ganancias, cambio neto, persistencia y transiciones específicas, tanto en forma de gráficos como cartográfica. La zonificación espacio – temporal de los cambios de cobertura y uso del suelo se realizó para el período 1986-2011. Se observó que las coberturas que experimentaron los mayores cambios correspondieron a los usos Agricultura y Ganadería. Los usos ganaderos - agrícola y ganadero disminuyeron, mostrando una tendencia hacia el uso agrícola. El 32,98% de la superficie mantuvo los usos respectivos durante los 25 años analizados. El mayor cambio se evidenció en el uso agrícola, el cual manifestó un incremento del 20%.

**Palabras Clave:** Cambio uso del suelo, SIG, cuencas rurales.

### Abstract

**C**hanges in land cover are dynamic processes which should be studied to provide an informational basis regarding the trends of the processes of degradation, desertification and loss of biodiversity in a given region as these changes are recognized as one of the main causes of environmental degradation. The objective of this work was to analyze the changes of land use in the context of its temporary-space dynamics in a highland rural watersheds of the province of Buenos Aires, Argentina. Land Change Modeller (LCM) of the GIS Idrisi Taiga® module was used for processing the change of land use in an integrated manner. The application of LCM allowed the analysis of the changes that occurred in a temporary window of 25 years, establishing assessment of losses and gains, net change, persistence and specific transitions, both in terms of graphics as cartographic. Zoning space - temporal changes of land use and coverage was conducted for the period 1986-2011. It was observed that hedges who underwent the biggest changes corresponded to the agriculture and livestock uses. Livestock applications - agriculture and livestock decreased, showing a trend towards agricultural use. 32,98% surface held respective applications during the 25 years analyzed. The biggest change was evident in the agricultural use, which said an increase of 20%.

**Keywords:** Changes in land cover, GIS, rural watersheds.

Recibido / Received: Septiembre 15 de 2014 Aprobado / Approved: Noviembre 03 de 2014

Tipo de artículo / Type of paper: Artículo científico y Tecnológico.

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Universidad Nacional de La Plata Argentina; Facultad de Ciencias Agrarias; Maestría Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas.

Autor para comunicaciones / Author communications: Gabriela E. Senisterra, gseniste@agro.unlp.edu.ar.

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

## Introducción

Los cambios en la cobertura de suelo son procesos dinámicos que deben ser estudiados por que proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada [1]. Estos cambios son reconocidos como una de las principales causas de deterioro ambiental, con una influencia muy importante en la dinámica hídrica superficial. En este contexto, la cuenca hidrográfica es la unidad natural de tratamiento integrado y ámbito para la planificación y gestión del desarrollo sustentable, pues abarca todo el complejo biogeomórfico, económico y de relaciones sociales como unidad de planificación y gestión [2].

En la zona serrana del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, la erosión hídrica superficial provoca una decreciente producción agropecuaria, consecuencia del actual manejo del suelo, la pérdida del horizonte superficial y de la disponibilidad de agua superficial y subterránea. En las últimas décadas, dada la capacidad productiva de los suelos de esta región, los pastizales pampeanos han sido sustituidos por agroecosistemas y evidencian un importante nivel de degradación y un escaso grado de conservación [3]. La cuenca alta del arroyo Napaleofú, situada en esta región, presenta una predominante actividad agropecuaria, que no ha estado ajena a las problemáticas del sector rural de la región pampeana argentina de los últimos 30 años.

Los recursos naturales directamente vinculados con la producción agropecuaria, que resultaron más afectados, fueron los suelos y el agua. [4], en esta zona, la actividad ganadera ocupa el 31% de la superficie, la agrícola representa el 39% y el resto es ocupado por otros usos, distribuidos entre actividades primarias, secundarias y terciarias.

Una herramienta para realizar estudios que integren la influencia del cambio de usos del suelo sobre la erosión son los análisis geoespaciales integrados en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los SIG permiten estimar posibles modificaciones producidas en la cuenca por los cambios en la cobertura y uso del suelo, provocados por actividades antrópicas. Esta forma de abordar el estudio de la dinámica de uso del suelo por medio del análisis de imágenes satelitales, permite estimar el aumento y/o la disminución de la superficie cultivada en el tiempo. [5]

El uso de modelos de proyección cartográfica del cambio en el uso del suelo son relativamente confiables, debido a la eficacia y exactitud espacial que le otorga el uso de bases de datos geográficos, integrados a un SIG [6]. Estos modelos de cambio de uso se han transformado en una poderosa herramienta de análisis espacial que permite explorar los mecanismos que fuerzan los cambios de uso del suelo y las variables sociales, económicas y espaciales que los ocasionan; a proyectar los potenciales impactos ambientales y socioeconómicos derivados de los cambios en el uso del suelo, y a evaluar la influencia de alternativas políticas y regímenes de manejo sobre los patrones de desarrollo y uso del suelo [7]. Utilizan parámetros simples, que incluyen, por ejemplo, las áreas urbanas, expansión de la frontera agrícola, vías de transporte, las condiciones topográficas, existencia de áreas protegidas, zonas de recarga de acuíferos y de drenaje. Esta información se puede incorporar en un mismo mapa que permita visualizar patrones, relaciones y tendencias de los cambios espacio - temporales.

Los SIG proporcionan una perspectiva dinámica de la información que permite tomar decisiones tendientes al ordenamiento territorial. El Land Change Modeler (LCM) es una aplicación diseñada para este análisis y para la predicción de impactos relacionados con los cambios en el uso del suelo y la pérdida de biodiversidad asociada a ellos. El objetivo de este trabajo fue analizar los cambios de usos del suelo en el contexto de su dinámica espacio – temporal en una cuenca rural serrana de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

## Materiales y métodos

El área en estudio corresponde a la cuenca alta del arroyo Napaleofú, ubicada en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Territorialmente está situada en los partidos de Tandil, Lobería y Balcarce (Figura 1). Las coordenadas geográficas en el punto de cierre de la cuenca son: 37° 33' 27" de Latitud Sur y 58° 47' 39" de Longitud Oeste en el punto de cierre de la cuenca. Este sitio está ubicado en el cruce de la ruta 226 y el arroyo Napaleofú.

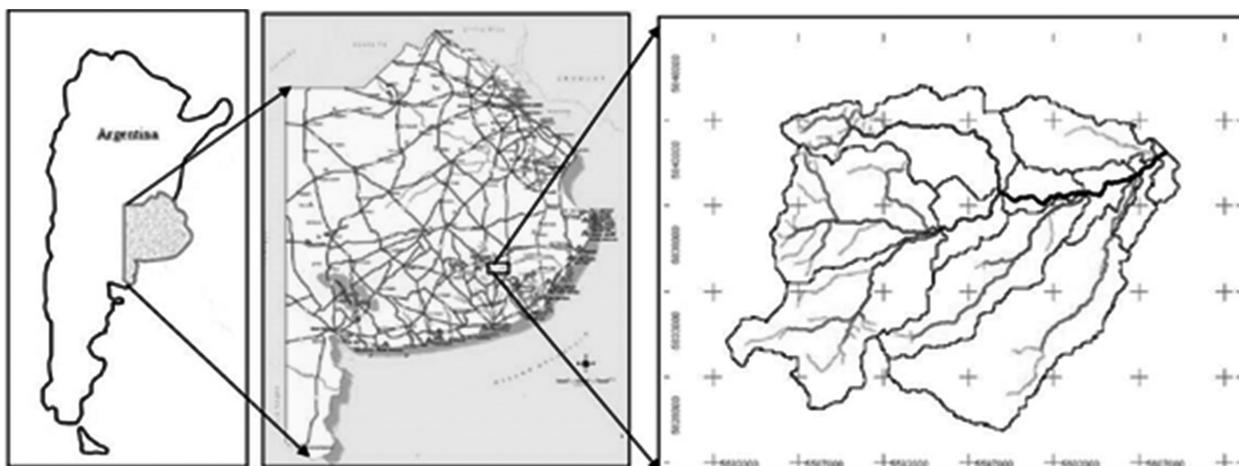
La cuenca está emplazada en la Pampa Húmeda, en el área de influencia del sistema denominado Sierra Septen-

trionales de la provincia de Buenos Aires o Tandil. Según la clasificación climática de Thornthwaite, es un clima C2 B' r a', lo que indica un clima mesotermal subhúmedo-húmedo, con nula o pequeña deficiencia de agua. La temperatura media anual, para el período 1968-2011, fue de 13,9° C, y la precipitación media anual fue de 901 mm.

Los suelos característicos del área están representados en un porcentaje importante por el orden Molisoles. En forma más detallada, puede indicarse que en las sierras de Tandil se desarrollan principalmente Hapludoles líticos, en el piedemonte se destacan los Argidules y

hacia el NE del área de estudio la presencia de materiales más finos permite el desarrollo de Natracuoles típicos. La zona de sierras presenta sectores con relieve escarpado con rocas aflorantes y otros de relieve ondulado con un basamento cristalino cubierto con un delgado manto de loess. Esto determina un marcado control estructural de la dinámica hidrológica. Las aguas generan un avenamiento superficial integrado con diseño dendrítico y con un gradiente máximo que va disminuyendo hacia el NE. La zona de piedemonte posee pendiente más suave que la de sierras y presenta ciertas depresiones aisladas que interrumpen la regularidad del relieve.

**Figura 1.** Ubicación de la Cuenca alta del arroyo Napaleofú. Argentina



El material cartográfico utilizado para la elaboración del trabajo, consistió en cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1:50 000 de Estancia La Pacífica (Hoja 3760-29-4), Estancia La Esperanza (Hoja 3760-30-3), Almacén La Numancia (Hoja 3760-35-2) y San Manuel (Hoja 3760-36-1). La cuenca se definió por divisoria de aguas con el programa de Sistema de Información Geográfica (SIG) Idrisi Taiga® 8 (Eastman, 2006). Se procedió a la digitalización del mapa de vegetación y uso del suelo para el 2011, con datos corroborados por un relevamiento in situ, con apoyo de imágenes satelitales Landsat 5 TM ((Path 224 Row 86, de 01/2011) e imágenes de alta resolución provistas por el servidor Google earth® y un Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Además, se analizaron usos del suelo para los años 1986 y 1996, para lo cual se realizaron entrevistas a productores de la cuenca y se consultó bibliografía y cartografía antecedente. A partir de la digitalización de dicha información

se generó el modelo cartográfico temporal de uso del suelo. Al comparar la clasificación de cada período fue posible determinar los cambios que se presentaron en la zona en ese intervalo de estudio, generando un análisis espacio-temporal [8] que abarcó una ventana de 25 años.

El modelo cartográfico se conformó por tres mapas de uso de suelo para los años estudiados, manteniendo la denominación de las clases. Para el procesamiento del cambio de uso del suelo se utilizó el módulo Land Change Modeller (LCM) del SIG Idrisi Taiga® en forma integrada. La aplicación del LCM permitió el análisis de los cambios acaecidos entre los períodos analizados, estableciendo evaluaciones de pérdidas y ganancias, cambio neto, persistencia y transiciones específicas, tanto en forma de gráficos como cartográfica.

Se determinaron los cambios de cobertura del suelo para los períodos 1986-1996, 1996-2011 y 1986-2011, esta-

bleciendo la relación de ganancias y pérdidas de cada categoría de uso de suelo en unidades de superficie (en hectáreas) y en porcentaje de ocupación. Además se obtuvieron mapas de los cambios ocurridos en la ventana temporal analizada y de ganancias, pérdidas y persistencia, en la ventana temporal analizada.

## Resultados

A partir del relevamiento de la información de campo y análisis de dichas planillas, se determinaron 5 categorías de uso del suelo, considerando la clasificación de INTA (1986), [9], siendo: agrícola (A), ganadero-agrícola (GA), agrícola-ganadero (AG), ganadero (G3b) y monte (M). La descripción de cada uso es:

El uso Agrícola (A) se realiza en aquellas unidades de suelo, clima y otros factores de incidencia agronómica que permiten la obtención de cosechas en forma permanente. Son tierras sin o con leves limitaciones que se solucionan con simples prácticas de manejo y conservación de suelos para mantener su productividad.

Generalmente, son suelos profundos, desarrollados en terrenos relativamente altos y de pendientes suaves y con adecuada disponibilidad de agua que permiten el desarrollo de cultivos durante todo el año (Figura 2).

**Figura 2.** Cultivos en la zona en estudio.



El uso Ganadero-agrícola (GA) se presenta en áreas con producción principalmente bovina (invernada, tambo, recria), sobre pasturas cultivadas plurianuales y verdeos en rotación con ciclos cortos de cultivos de cosecha

adaptados al clima y suelo. Generalmente se realiza en tierras con severas limitaciones que restringen la elección de cultivos y/o requieren la aplicación de prácticas de conservación para mantener su productividad. Este uso destina alrededor del 70% de su superficie a la ganadería.

En el uso Agrícola-ganadero (AG) predomina la fase agrícola con una sucesión de cultivos de cosecha, con intercalación de períodos de barbecho. La fase ganadera se desarrolla sobre la base de pasturas cultivadas plurianuales y durante la misma, el suelo recupera las condiciones necesarias para reiniciar el ciclo anterior.

Esta actividad mixta se realiza principalmente en tierras con moderadas limitaciones edáficas y/o climáticas, que restringen la elección de los cultivos y/o requieren la aplicación de prácticas de conservación, del suelo y el agua, para mantener su nivel productivo. Las unidades de este sistema destinan alrededor del 60% de su tierra a la agricultura (Figura 3).

**Figura 3.** Actividad agrícola y ganadera en la cuenca del Arroyo Napaleofú



El uso Ganadero (G3b) se realiza en forma extensiva sobre pastizales naturales, en zonas con marcado relieve y la presencia de roca en superficie. La principal producción que se realiza es bovina de cría. Esta actividad se lleva a cabo en tierras con importantes limitaciones de suelos y que generalmente no permiten la implantación de pasturas cultivadas, salvo casos excepcionales, de sitios donde es posible el mejoramiento de la vegetación natural mediante intersembras de especies adaptadas a las condiciones desfavorables. (Figura 4).

**Figura 4.** Ganadería en zona con afloramientos rocosos.



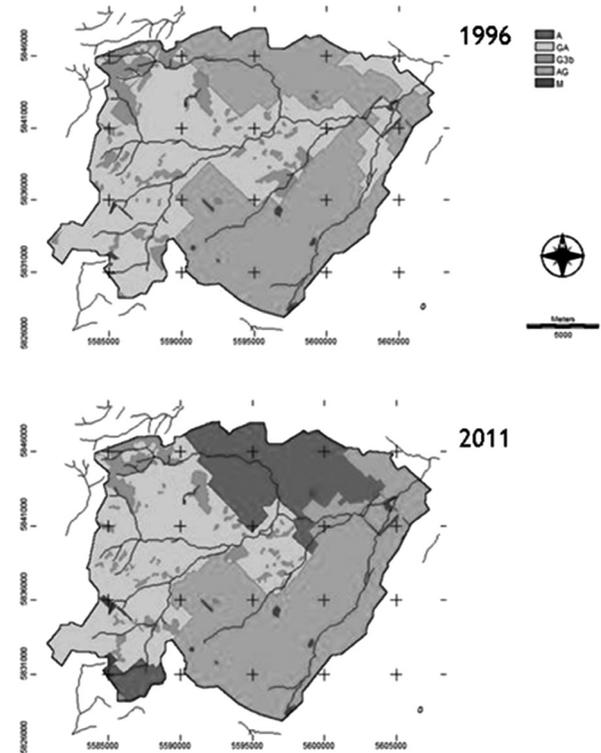
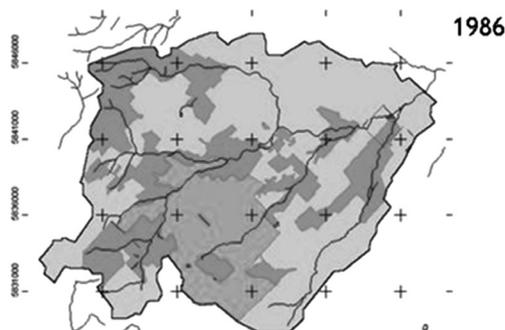
El uso Monte (M), en la cuenca se presenta en forma de cortinas y montes para reparo de animales y se encuentran también vegetación forestal en las márgenes de los cursos de agua, compuesta principalmente por sauce criollo (Figura 5).

**Figura 5.** Montes de reparo y cortina forestal de *Eucalyptus sp.*



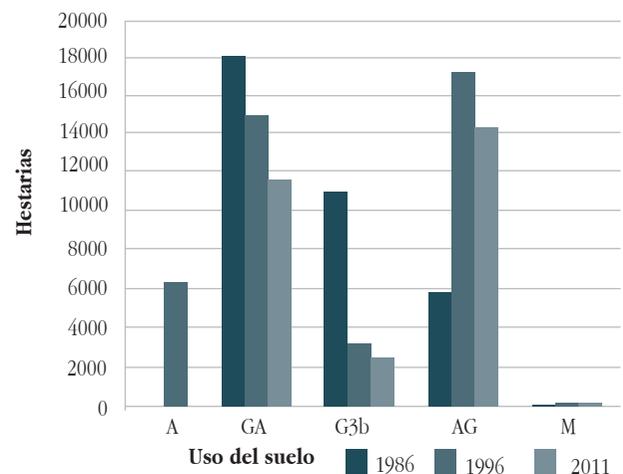
A partir de la clasificación de uso del suelo descrita con anterioridad, se presenta la distribución de los mismos para los años estudiados en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú (Figura 6).

**Figura 6.** Uso del suelo en la cuenca en los años estudiados.



Analizando los mapas en conjunto, se observa en la Figura 7, el cambio de la distribución en superficie del uso del suelo en los años estudiados. El uso ganadero - agrícola y el ganadero disminuyeron, mostrando una tendencia hacia el uso agrícola. Existen montes que han manifestado un discreto aumento de la superficie ocupada. En general son montes de reparo y cortinas forestales, compuestas principalmente por especies de los géneros *Eucalyptus sp* y *Pinus sp*.

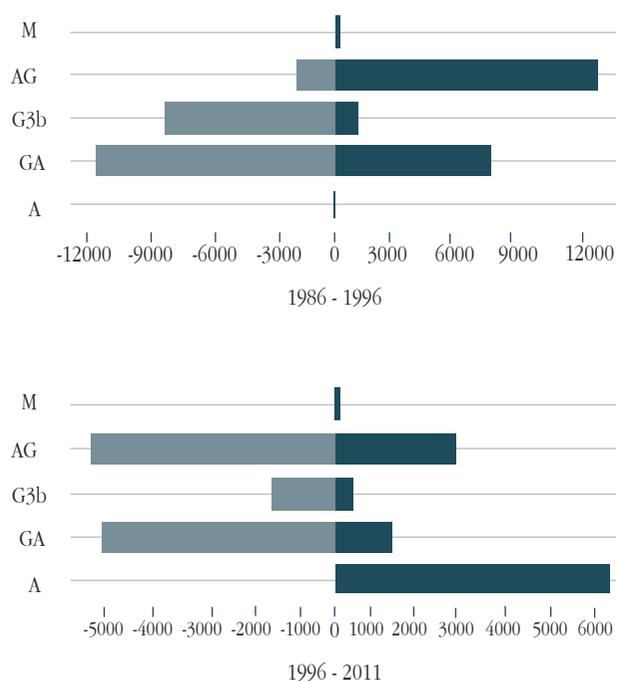
**Figura 7.** Superficie de ocupación del uso del suelo en los años estudiados.



Los resultados alcanzados con el LCM generaron la tendencia de cambio de usos del suelo, para cada período. En el año 1986 había mayoritariamente superficies dedicadas a actividades ganaderas y mixtas agrícolas – ganaderas. En el período de tiempo estudiado, los cambios más importantes se manifestaron en el uso GA a A y en el GA a AG.

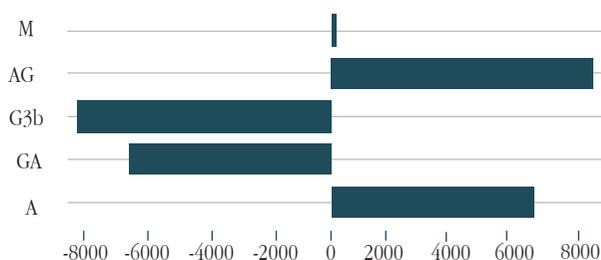
Estos cambios se ocasionaron, principalmente, en la conversión de los pastizales y de las actividades mixtas a actividades agrícolas y agrícolas ganaderas. En la Figura 8, se pueden observar las hectáreas ganadas y perdidas en forma general por cada uno de los usos de suelo en los períodos de tiempo analizados (1986-1996 y 1996-2011). Se puede visualizar el cambio producido a uso Agrícola en el período 1996-2011, el que significó el 19% del área ocupada con este uso.

**Figura 8.** Ganancias y pérdidas en las categorías de uso del suelo en los períodos analizados.



Del análisis de los resultados obtenidos y como se representa en la Figura 9, las pérdidas netas en el período 1986-2011, se manifestaron en los usos Ganadería (8123,85 ha) y Ganadero agrícola (7229,9 ha). Las ganancias netas estuvieron dadas en los usos Agrícola (6520,51 ha), Agrícola ganadero (8593,4 ha) y Monte (239,84 ha).

**Figura 9.** Ganancias y pérdidas netas de los usos del suelo (1986-2011).



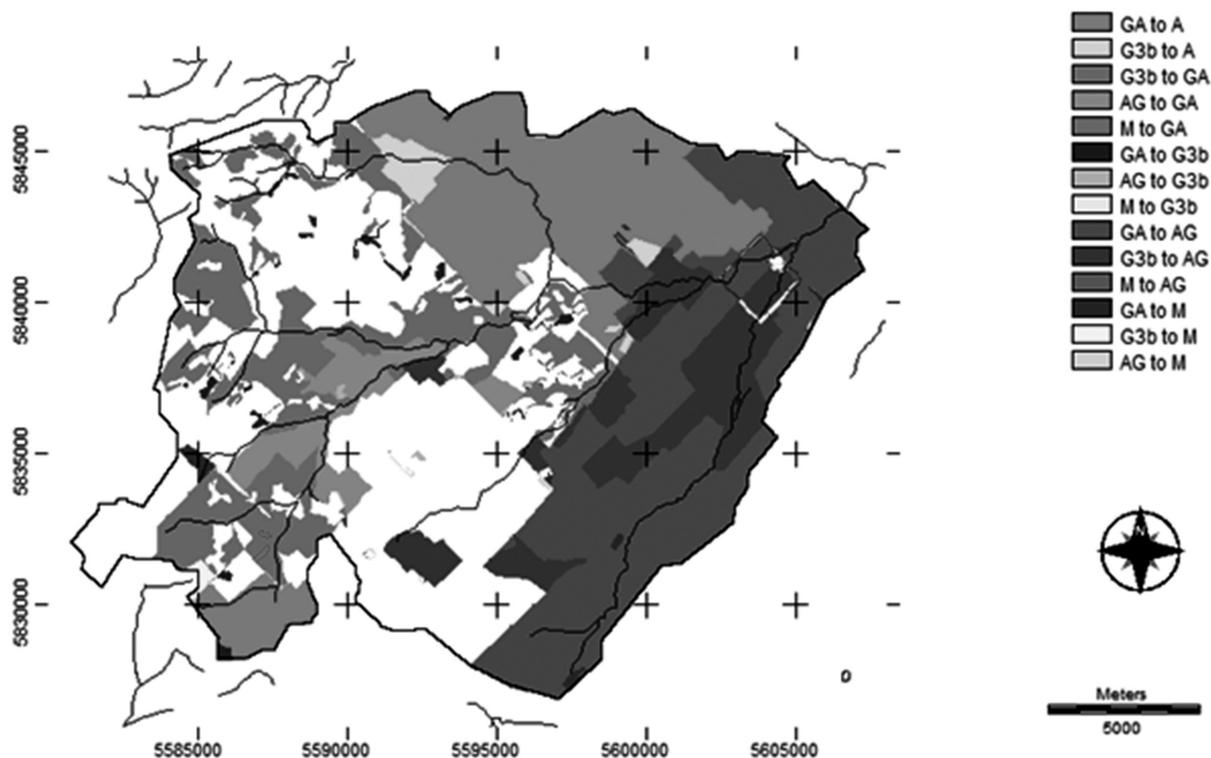
Continuando con el análisis, se confeccionó la matriz de transición utilizada para la detección del cambio de uso del suelo en la ventana temporal (Tabla 1). Esta matriz es una tabla simétrica de doble entrada, en cuyos ejes se presentan las coberturas de suelo y en cada celda, el porcentaje de la superficie de las áreas que experimentaron cambios entre los años estudiados. Las celdas situadas en la diagonal de la matriz expresan áreas sin cambios.

**Tabla 1.** Matriz de detección de cambio del uso del suelo en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú en el período 1986-2011 (Expresado en porcentaje de superficie ocupación)

		Año 1986					Total 2011
		A	GA	G3b	AG	M	
Año 2011	A	0	17,65	1,32	0	0	18,97
	GA	0	14,22	14,48	3,37	0,05	32,13
	G3b	0	0,61	5,74	0,10	0,01	6,46
	AG	0	20,15	8,25	12,85	0,14	41,39
	M	0	0,54	0,30	0,06	0,17	1,06
	Total 1986	0	53,16	30,09	16,39	0,37	100

La matriz de transición de los diferentes usos del suelo (Tabla 1) cuantifica los porcentajes de superficie que se transformaron. Como se puede observar las coberturas que experimentaron los mayores cambios corresponden a los usos Agricultura y Ganadería. El uso ganadero se ha transformado mayormente en Agrícola debido a la implementación de tecnología que ha favorecido a aquellos suelos con aptitud agrícola que estaban subutilizados con ganadería. En la Figura 10 se visualizan las transformaciones de los diferentes usos del suelo en el período 1986-2011.

Figura 10. Zonificación de los cambios de uso del suelo en el período 1986-2011.



La dinámica de cambios entre los diferentes usos de suelo durante el período de tiempo estudiado, se interpreta como un flujo de terrenos que pasan de un uso a otro. El aumento de la agricultura sobre los pastizales naturales puede generar aumento en el escurrimiento además de otros problemas asociados como ser la contaminación de las aguas por el uso de plaguicidas y el uso de labranza de suelo tradicional, que aumenta el riesgo de pérdida de suelo. El sobrepastoreo en zonas agrícolas y ganaderas aumentó la compactación de los mismo disminuyendo la infiltración y bajando el nivel los acuíferos. El aumento de la impermeabilidad reducirá el tiempo de concentración del escurrimiento superficial, incrementando el pico de descarga inmediatamente después de comenzar la lluvia en la cuenca.

## Conclusiones

La zonificación espacio – temporal de los cambios de cobertura y uso del suelo permitió analizar, para el período 1986-2011, su dinámica y distribución. Se observó que las coberturas que experimentaron los mayores cambios correspondieron a los usos Agricultura y Ganadería. Los usos ganaderos - agrícola y ganadero

disminuyeron, mostrando una tendencia hacia el uso agrícola. El 32,98% de la superficie mantuvo los usos respectivos durante los 25 años analizados. El mayor cambio se evidenció en el uso agrícola, el cual manifestó un incremento de alrededor del 20%.

A partir de los datos relevados, para la base de datos espacio temporal de uso del suelo 1986-2011, se ha generado el punto de partida para las futuras investigaciones que permitirán monitorear diferentes alternativas de manejo de uso de suelo, siendo los SIG herramientas de análisis que permiten actualizar los cambios de uso y evaluar su dinámica.

Los resultados alcanzados expresan que la variabilidad espacial en los cambios manifestados en el uso del suelo establecidos por la modelización espacio temporal pueden extrapolar esta metodología a cuencas homólogas constituyendo una importante herramienta informática para establecer pautas de manejo del recurso suelo - vegetación, tendientes a la conservación, al manejo integrado de los cultivos y al control de la ganadería, conformando una propuesta de planificación tendiente a un futuro ordenamiento territorial a nivel de cuenca.

## Referencias

- [1] Van Lynden, G.W.J. y L.R. Oldeman. 1997. The assessment of the human-induced soil degradation in South and Southeast Asia. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, The Netherlands.
- [2] Gaspari, F.J., Senisterra, G.E., Delgado, M.I.; Rodríguez Vagaría, A. y S. Besteiro. 2009. Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Primera Edición. La Plata. 321 pp.
- [3] Vázquez, P. y L. Zulaica. 2011 Cambios en el uso de la tierra del partido de Tandil y principales impactos ambientales. Revista Párrafos geográficos, Vol 10, N° 2. 242-267 ISSN 1853-9424.
- [4] Venacio, L. 2007 Globalización, Desarrollo Local y Sociedad Civil. Edición electrónica gratuita. Texto completo en: [www.eumed.net/libros/2007a/222/](http://www.eumed.net/libros/2007a/222/)
- [5] Herrera H. B. 1983. Elementos de fotogrametría, uso de los materiales aerofotográficos. Universidad Autónoma, Chapingo. Chapingo, México.
- [6] Sandoval, V y V. Oyarzun. 2004. Modelamiento y prognosis espacial del cambio en el uso del suelo. Revista Quebracho 11: 9-21.
- [7] Aguayo M., Pauchard, A., Azócar, G. y O. Parra. 2009. Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. Revista Chilena de Historia Natural 82: 361-374 p.
- [8] Danilo C., J. 2002. Teledetección del bosque (en línea). In Guariguata, M.R. y Kattan, G.H. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Eds. Los autores. Costa Rica, Editorial Tecnológica. p 625-645. Consultado nov. 2009. Disponible en <http://www.uprm.edu/biology/profs/chinea/lectesc/instrum/chineateledet.pdf>
- [9] INTA, 1986. Aptitud y uso actual de las tierras argentinas. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Proyecto PNUD. Argentina 85/019 Área Edafología. 32 p.

---

## Los Autores



### Gabriela Elba Senisterra

Ingeniero Forestal y Magister en Manejo Integral de Cuencas, recibida en la Universidad Nacional de La Plata (Argentina). Es docente de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP) desde el año 1983, desarrollando tareas en los cursos de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Mejoramiento Genético Forestal. Además es docente de cursos de posgrado en Ordenamiento Territorial. Participa en proyectos de Incentivos a la Investigación desde el año 1999. Entre sus publicaciones se encuentran 4 libros, 26 artículos en revistas científicas y 50 publicaciones en congresos, simposios y jornadas de la especialidad.



### Fernanda Julia Gaspari

Ingeniera Forestal, y Magister Scientiae Conservación y Gestión del Medio Natural. Doctora en Ingeniería Hidráulica. Con 19 años en docencia universitaria, siendo actualmente en Grado Profesora Adjunta a Cargo del Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. En Post-Grado se desempeña como Codirectora de la Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, siendo además Profesora a cargo de dos cursos. Entre sus publicaciones se encuentran 8 libros, 8 capítulos de libro, 25 artículos en revistas y 82 trabajos en congresos. Ha realizado 22 informes técnicos y informes, y organizado 6 convenios inter-institucionales. Dirigió 10 tesis de Maestría; y actualmente tiene 2 en desarrollo. Dirige 3 tesis de doctorado. Ha dirigido 4 becas de experiencia laboral y 3 becas de Postgrado.