

Transformación territorial: Intensificación agraria y pérdida del suelo en la cuenca del río Marapa, Tucumán, Argentina

Díaz Gómez, Andrea Romina¹ & Fernanda Julia Gaspari^{2,3}

¹Becaria Postdoctoral CONICET; ²Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Diagonal 113 N° 469, La Plata. CP 1900; ³fgaspari@agro.unlp.edu.ar

Díaz Gómez, Andrea Romina; Fernanda Julia Gaspari (2017) Transformación territorial: Intensificación agraria y pérdida del suelo en la cuenca del río Marapa, Tucumán, Argentina. Rev. Fac. Agron. Vol 116 (2): 161-170.

La transformación territorial está vinculada a la expansión de la agricultura sobre ecosistemas naturales, principalmente ecosistemas boscosos. Al pasar de coberturas naturales a usos agrarios se disminuye la cobertura del suelo, incrementando la pérdida del suelo. Esta intensificación agraria transforma el ecosistema a configuraciones espaciales más simples y homogéneas. El objetivo de este trabajo es analizar la relación entre la expansión agraria y la pérdida de suelo en la cuenca del río Marapa, Tucumán (1986-2010). Se aplicaron técnicas de teledetección y se definieron diferentes escalas altitudinales. Los resultados sugieren que en la llanura el incremento de 55 km² de cultivos generó una pérdida de 121 Mg.ha⁻¹año⁻¹ en el año 2010. En zonas altitudinales superiores se reduce el 96 Mg.ha⁻¹año⁻¹ de pérdida de suelo debido a la expansión del bosque nativo. El territorio presentó una tendencia a una homogenización del paisaje, respondiendo al modelo productivo de *land sparing*.

Palabras clave: pérdida de suelo, intensificación agrícola, cuenca.

Díaz Gómez, Andrea Romina; Fernanda Julia Gaspari (2017) Territorial transformation: agricultural intensification and soil loss on Marapa river basin, Tucumán, Argentina. Rev. Fac. Agron. Vol 116 (2): 161-170.

The territorial transformation is linked with the agriculture expansion on natural ecosystems, mainly forest ecosystems. The change of forest to agricultural uses, increase the soil loss. This agrarian intensification transforms the ecosystem to spatial configurations more simple and homogeneous. We analyzed the relationship between the agrarian expansion and soil loss in Marapa watershed, Tucumán (1986-2010). We applied remote sensing technique and defined different altitudinal scales. The results suggest that in the lowlands the expansion of 55 km² of crops generated a loss of 121 Mg.ha⁻¹yr⁻¹ in 2010. In highland the native forest expansions reduces the 96 Mg.ha⁻¹yr⁻¹ of soil loss. The territory showed a tendency to a homogenization of the landscape, responding to the productive model of *land sparing*.

Keywords: soil loss, agrarian intensification, watershed

Recibido: 11/08/2015

Aceptado: 29/08/2017

Disponible on line: 01/04/2018

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

INTRODUCCIÓN

La transformación territorial por intensificación agraria (IA) es un proceso de conversión del sistema ambiental que ejerce presión sobre los atributos estructurales y/o funcionales en la dimensión biofísica (Santos & Borrás, 2014), transformando el agroecosistema a configuraciones espaciales más simples y homogéneas de uso agrario. Esta transformación territorial está vinculada con la expansión de la agricultura sobre ecosistemas naturales, principalmente en ecosistemas boscosos.

En la región del NOA (Noroeste Argentino) se constató la presencia del proceso de deforestación en varios estudios a diferentes escalas, donde se destaca la pérdida de masa forestal en manos de la agricultura en las zonas de llanura (Gasparri et al., 2010; Volante et al., 2012), identificando además pérdida de suelo superficial.

La degradación de suelos en los agroecosistemas implica una pérdida de utilidad actual y una reducción de sus funciones potenciales. Al pasar de coberturas naturales a usos agrarios se disminuye la cobertura del suelo, incrementando la erosión superficial. La erosión hídrica provoca una menor interceptación de la lluvia antes de llegar al suelo provocando el encostramiento de los suelos desnudos, aumentando el escurrimiento superficial (Busnelli, 2009). Por lo tanto, la pérdida de suelo por erosión hídrica constituye un indicador del grado de degradación de los suelos en los agroecosistemas y del cambio de uso del suelo.

Evaluar el potencial impacto de los cambios de uso y cobertura en la pérdida de suelo puede realizarse a través de un análisis a la escala de cuencas, teniendo en cuenta sus distintos niveles altitudinales que difieren en sus características climáticas, hidrológicas y topográficas. La cuenca hidrográfica es una unidad espacial natural para la planificación y gestión participativa, que integra los factores ambientales y económico-productivos (Gaspari et al., 2011). Sin embargo, son escasos los estudios que analicen estos procesos a esta escala.

En el NOA, la cuenca del río Marapa (2072 km²) es una cuenca subtropical representativa de la región. La cuenca pertenece al sistema hídrico endorreico de Mar Chiquita, cuenca Río Salí- Dulce. Presenta un clima monzónico con estación lluviosa en verano (167 mm) y seca en invierno (3 mm) y temperatura media anual de 17, 6 °C. Los suelos que predominan en la zona montañosa pertenecen al orden de los Entisoles, con escaso desarrollo edáfico y poco profundo. En la zona pedemontana se trata de suelos desarrollados que responden a los órdenes Inceptisoles y Molisoles (Fernández & García, 2004). Presenta cuatro pisos altitudinales bien diferenciados (Figura 1).

Los objetivos del presente trabajo fueron analizar la dinámica espacial de la transformación territorial por intensificación agraria en la cuenca del río Marapa, durante el período 1986-2010. Posteriormente, establecer su relación con los patrones espacio-temporales del proceso de pérdida de suelo por erosión hídrica superficial.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zonificación del uso y cobertura del suelo en el territorio se realizó mediante el procesamiento digital e interpretación de imágenes satelitales LANDSAT 5 (TM), para dos fechas 23/08/1986 y 21/08/2010 (Path 231/230 Row 79, el tamaño de pixel de 30 m), donde se identificaron y cartografiaron las siguientes clases: bosque que incluye al bosque montano, selva montana y selva pedemontana entre 350 y 300 msnm; bosque seco comprende al bosque chaqueño distribuido hacia el este en las zonas de llanura aluvial entre los 200 y 350 msnm; pastizal constituido por la cobertura natural de pastizales de altura, formada por matas de gramíneas en superiores a los 3000 msnm; cultivo de granos contiene a los cultivos de soja, trigo y suelo desnudo, mientras que la clase otros cultivos comprende cultivos extensivos de caña de azúcar, cultivos de cítricos y algunas especies hortícolas distribuidos en toda el área y en menor escala cultivos de tabaco y arándano. La validación del mapa obtenido con la verdad de campo, principalmente en las clases otros cultivos y granos, se realizó con datos antecedentes de la Estación experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), cuyos análisis se basaron en el área ocupada total para el año 2010. La zonificación para los dos años permitió definir la temporalidad del análisis.

Por medio de un procesamiento digital cartográfico con Sistemas de Información Geográfica (SIG) se realizó la cuantificación y espacialización de la pérdida de suelo superficial, aplicando la ecuación universal de pérdida del suelo (USLE) según la metodología de Wischmeier & Smith (1978). Esta se determinó a nivel geoespacial basándose en el producto de los siguientes factores:

R (erosividad de la lluvia): su zonificación se basó en Busnelli (2009), considerando los datos pluviométricos de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) y de localidades del centro y sur de la provincia de Tucumán.

K (erodabilidad del suelo): relacionado con la estabilidad estructural del mismo. Los valores de K fueron considerados a partir de los utilizados por Busnelli (2009).

LS (longitud y gradiente de la pendiente): se obtuvo a partir de los valores calculados por Busnelli (2009) determinados para cada unidad geomorfológica.

C (cubierta y manejo de cultivos): se definió según la cobertura y usos basados en Busnelli (2009) y corroborados / validados por medio de muestreos a campo. Para la zonificación con SIG se tomó como base el mapa de uso y cobertura del suelo para el año 1986 y para el año 2010, asignándose los siguientes valores: bosque 0,077, bosque seco 0,16, pastizal: 0,002, granos: 0,31 y otros cultivos 0,34. El valor del factor C se mantuvo para ambos períodos, debido a que no se modificó la estructura vegetal, pero si se visualizó el cambio espacio-temporal representado en la variación de la superficie de ocupación de cada uso.

P (prácticas de conservación del suelo) se asignó el valor 1 en las coberturas naturales (Pastizal, Bosque y Bosque seco) mientras que en las zonas de cultivo el valor de P es 0,80 con escasa presencia de prácticas conservacionistas.

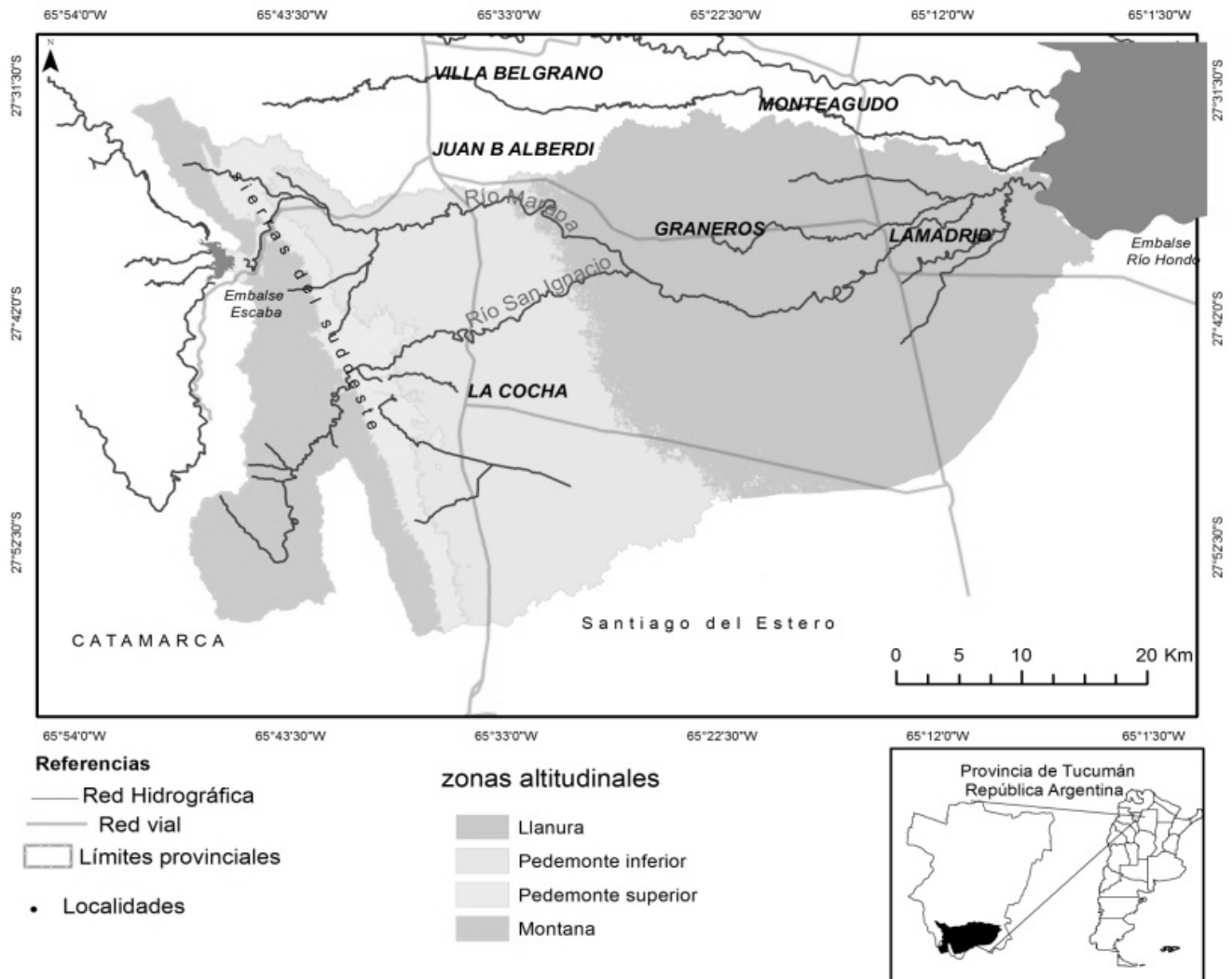


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Marapa. Provincia de Tucumán. Argentina.

Como resultado de procesamiento con SIG de la información geoespacial de cada factor de la USLE se obtuvo la distribución de la pérdida de suelo (A) ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) y su variabilidad entre 1986 y 2010 en la cuenca.

La cuantificación de la transformación territorial considerando la estructura del paisaje respecto a la cobertura y uso del suelo y su efecto en los patrones espaciales de la pérdida de suelo en la cuenca, se realizó por medio de un análisis en base a descriptores de los parches de transformación y el paisaje, mediante el software libre Fragstat.4®.

Los índices utilizados fueron:

PLAND (Índice del porcentaje del paisaje): cuantifica la abundancia proporcional de cada clase en el paisaje. Los cambios del porcentaje en el tiempo otorgan información acerca del incremento y el decrecimiento de las áreas de cierto tipo de cobertura. PLAND se aproxima a 0 cuando el tipo de cobertura disminuye su área y se acerca a 100 cuando domina el total del paisaje. Unidad: porcentaje.

NP (número de parches): cuantifica la abundancia de parches en el paisaje.

PD (Densidad de parches): número de parches de un tipo de cobertura en 100 hectáreas. El valor mínimo de PD ocurre cuando el total del paisaje es dominado por un solo parche que ocupa toda el área del mismo. Unidad: Ninguna.

LPI (Índice del parche más grande) expresado por el cociente del área del parche más grande (en m^2), y el área total del paisaje (en m^2), multiplicado por 100. LPI expresa una medida de dominancia en el paisaje ($0 < \text{LPI} \leq 100$). Cuando se aproxima a cero el parche más grande de una clase dada se achica, mientras que si se aproxima a 100 la clase se compone de un único parche. Unidad: porcentaje.

MPS (Índice promedio de tamaño de parche) es el promedio aritmético del tamaño de cada fragmento de cierto tipo de cobertura, indicando qué tan dividido se encuentra un tipo de cobertura. Si el fragmento ocupa el total del paisaje, el área del paisaje será el valor máximo del MPS. Unidad: hectáreas.

MPI (Índice de proximidad media) caracteriza el grado de aislamiento espacial de los fragmentos, tomando en cuenta todos los fragmentos más próximos que se encuentran dentro de un radio de búsqueda especificado. Se representa con valores mayores a cero. Altos valores de proximidad indican que fragmentos vecinos, del mismo tipo de cobertura, están menos aislados, grandes y agregados. Bajos valores indican que los fragmentos se encuentran aislados y tener tamaños pequeños. Unidad: Ninguna. En este análisis se consideró un radio de 1000m.

CONNECT (Conectividad del paisaje) cuantifica el grado de conexión física entre los fragmentos que conforman un paisaje, siendo un indicador directo de conectividad espacial. Es definido por el número de enlaces funcionales entre fragmentos del mismo tipo donde cada fragmento está conectado o no, basado en un criterio de distancia. CONNECT es igual a 0 cuando la clase consiste de un solo fragmento o ninguno de los fragmentos está conectado, y es igual a 100 cuando todos los fragmentos de la clase están conectados (McGarigal et al., 2002). Unidad: porcentaje.

COHESION mide el grado de agregación y la dominancia de las coberturas que conforman un paisaje determinado, indicando la conectividad física de un tipo de cobertura. Rango de 0 a 100; que incrementa a medida que la agregación y la agrupación de las coberturas aumentan (McGarigal et al., 2002). Unidad: Ninguna.

Estos índices se aplicaron considerando los parches de las clases de cobertura y uso del suelo y en las clases de pérdida de suelo en el año 1986 y 2010 para establecer su relación con los patrones espacio-temporales del proceso de pérdida de suelo por erosión hídrica superficial (Tiscornia et al., 2014).

RESULTADOS

La zonificación de uso y cobertura del suelo se generó con una precisión total para el año 2010 de 96 % y el índice Kappa alcanzó un valor de 0,84, considerando todas las categorías de uso y cobertura. La clase bosque obtuvo un 99% de precisión, la clase bosque seco, 98%; la clase pastizal 100%; granos presentó el 88 % y otros cultivos 72%. Para el año 1986, se asumió que el análisis de precisión de mapa comprendió el mismo nivel de error.

El análisis territorial de cambios de uso y cobertura del suelo se representa en la Figura 2 y 3. Las mismas evidencian que la expansión agraria entre 1986-2010 representó una pérdida de masa boscosa total de 495 km² (23%) en toda la cuenca del río Marapa. En este período el proceso de deforestación se presentó de manera heterogénea; el bosque seco pasó de ocupar el 44 % de la cuenca en el año 1986 a un 23% de ocupación en el año 2010, reemplazado por agricultura en una superficie de 459 km² distribuido principalmente en la zona de llanura. Por otro lado, en la zona del pedemonte el bosque fue reemplazado por granos y otros cultivos (33 km²). La cobertura de pastizal se redujo 10 Km², reemplazados por bosque nativo.

En la Figura 3 se presenta el cambio de uso del suelo y cobertura indicando la dinámica espacial de la transformación territorial por intensificación agraria en la

cuenca del río Marapa, identificando el aumento de ocupación de la clase granos y otros cultivos, en detrimento de las clases pastizal, bosque seco y bosque.

Los resultados de la aplicación de la USLE indican que la pérdida de suelo (A) en la cuenca en estudio, responde particularmente a la distribución espacial de los factores C y LS. La expansión agraria durante 1986 - 2010 observada durante el análisis de cambios de uso del suelo, representan la variabilidad espacial del factor C. En la Figura 4 se presenta la zonificación de A para los años analizados.

En la llanura, la expansión agrícola de 19 km² de superficie para granos y 3 km² en otros cultivos, generó una pérdida de suelos de 59 Mg.ha⁻¹año⁻¹ mayor en el año 2010. Mientras que en el pedemonte inferior se incrementó en 62 Mg.ha⁻¹año⁻¹ debido la transformación del bosque seco (33 km²) en cultivos. Las zonas con valores máximos de pérdida de suelo se ubican en áreas perfluviales que estaban cubiertas por remanentes de bosque seco en el año 1986. Sin embargo, en los pisos altitudinales superiores, se observa una disminución en la pérdida de suelo total anual. En la zona del pedemonte superior se reducen 18 Mg.ha⁻¹año⁻¹ de pérdida de suelo durante el período y en la zona montana 78 Mg.ha⁻¹año⁻¹. Esta reducción se debe al cambio de la cobertura natural donde se expanden el bosque sobre el pastizal (4 km²) y sobre otros cultivos y granos (2 km²), y a la coincidencia geoespacial de suelos con mayor erodabilidad y alta pendiente (mayor al 60 %) definiendo mayor factor LS.

La Figura 5 expresa las clases de A para identificar los cambios porcentuales de pérdida de superficie de ocupación del suelo en ambos años en estudio en la cuenca del río Marapa.

La cuenca analizada presentó cambios en los patrones espaciales del paisaje durante los 24 años de análisis. El valor del índice PLAND, indica que la clase dominante en el paisaje en el año 1986 fue el bosque seco (44%), mientras que en el año 2010 es el uso del suelo de cultivos de granos la clase con mayor representatividad en la cuenca (45%).

El mínimo valor de PD se presenta en la clase pastizal está dominado por un solo parche que ocupa toda el área del mismo, paso de 2,38 en el año 1986 a 0,43 en el año 2010. En tanto la clase granos incrementa el valor de PD para el año 2010, evidenciando un aumento en la densidad de parches.

Respecto a la cobertura de bosque se detecta un aumento en la densidad de parches, puesto que el valor de PD pasa de 0,76 en el año 1986 a 0,96 el año 2010. Por el contrario, el bosque seco reduce la densidad de parches en el año 2010 pasa de 2,95 en 1986 a 1,95 en el año 2010. Además de la reducción en el tamaño de los mismos según el valor de MPS.

Respecto al índice LPI el bosque seco presentó el tamaño de fragmento más grande en el año 1986, reduciéndose en el año 2010. Contrario a la clase de cultivos de granos, cuyo valor de LPI se incrementa de 7% a 34 % en el año 2010 confirmando su expansión en el paisaje. La clase otros cultivos también incrementa el tamaño de sus fragmentos para el año 2010. La cobertura de bosque, distribuido en la zona de montaña, presenta un leve incremento del valor de LPI. En contraste, los fragmentos de la cobertura de pastizal

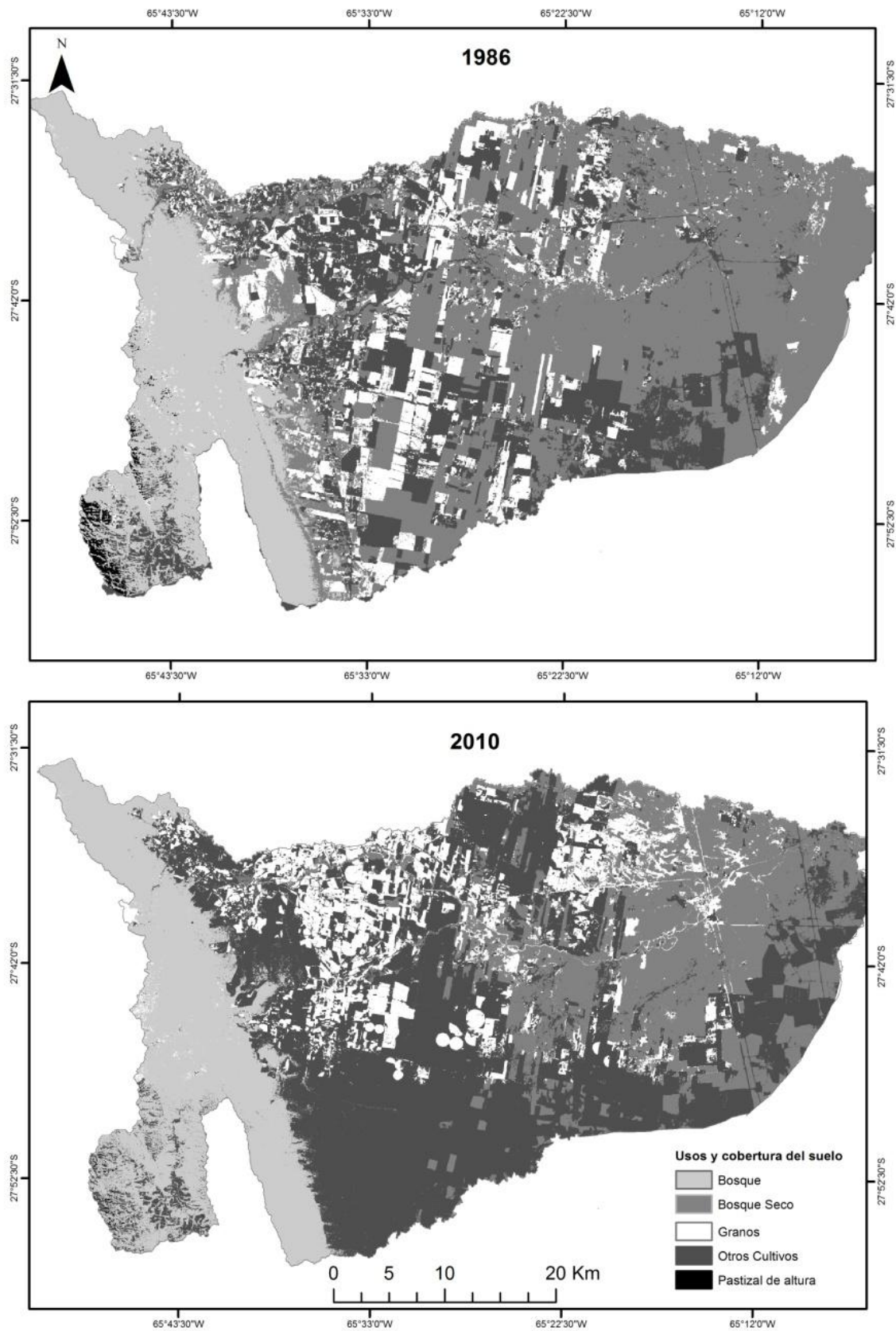


Figura 2. Zonificación de uso y cobertura del suelo de la cuenca del río Marapa.

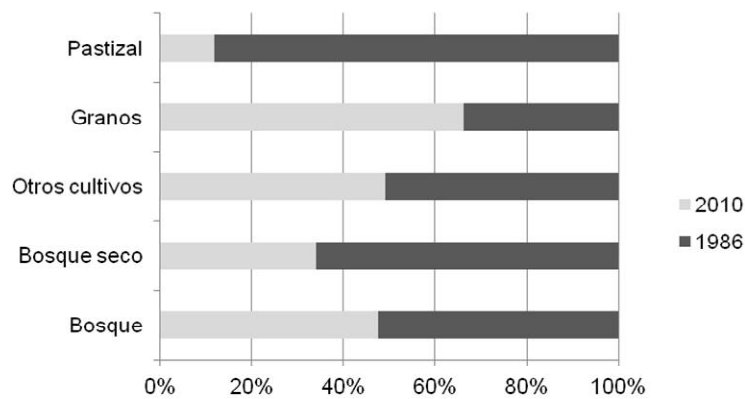


Figura 3. Cambios de superficie de ocupación (porcentaje) de uso y cobertura del territorio en la cuenca del río Marapa entre 1986 y 2010.

presentan un área muy pequeña en el año 2010 respecto a 1986, según este índice.

El tamaño promedio de parches de bosque decreció respecto al año 1986, sin embargo presenta el mayor tamaño en todo el paisaje en el año 2010, según el valor de MPS, mientras que el tamaño promedio de parches de bosque seco decrece de 20 ha en el año 1986 a 10 ha en el año 2010. Los valores mínimos de MPS se asocian a las clases de otros cultivos y granos, y alcanzaron valores similares en ambos años.

El índice MPI caracterizó el grado de aislamiento de los parches de cada cobertura, donde la clase bosque presenta los parches más grandes y agregados en el año 1986 y 2010. El valor de MPI incrementa para la clase granos y otros cultivos, parches más grandes y menos aislados. De la misma manera, la cobertura de bosque seco incrementa la agregación de los parches. Por el contrario, la cobertura de pastizal disminuye el tamaño de sus parches y se encuentran más aislados, según este índice.

En relación a grado de conectividad física (CONNECT) entre los parches de cada clase de cobertura, los pastizales registran el máximo valor en ambos años respecto a las otras coberturas y usos del suelo. Para el año 2010 presentó un valor de 79 %. Sin embargo, todas las coberturas restantes presentaron valores bajos de conectividad. El valor de la clase granos y otros cultivos incrementa para el año 2010 (de 13 % a 16 %). Se detectó la misma tendencia para la cobertura de bosque y bosque seco.

Respecto al índice de COHESION las coberturas de bosque y bosque seco permanecieron iguales, 99,8 en ambos años. El valor de cohesión para la cobertura pastizal se redujo de 96 % en el año 1986 a 69 % en el año 2010.

Los resultados de los índices del paisaje se expresan en la Tabla 1.

En relación a los resultados alcanzados por los índices de cambio fueron definidos en la clase moderada de pérdida de suelo, la cual presenta el máximo valor de PLAND para el año 1986 y 2010. Incrementa de 49,62% a ocupar el 53% de la cuenca en el año 2010. Mientras que la clase muy baja de pérdida de suelo se

reduce 20 % de 1986 a 14,04 % en el año 2010. La clase de pérdida de suelo muy alta y alta ocupan a penas el 0.12 y 1.47% del área en la cuenca. La clase moderada alta de pérdida de suelo permanece constante en ambos años.

De acuerdo al índice del parche más grande (LPI) las clases moderada alta, alta y muy alta de pérdida de suelo presentan áreas de parches muy pequeñas. Sin embargo, los parches de la clase moderada de pérdida del suelo incrementan tamaños de 23 % a 46 % en el año 2010.

Los valores mínimos de PD ocurren cuando el total del paisaje están dominados por un solo parche, en este caso la clase alta de pérdida de suelo, presentan el mínimo valor menor 0,19 en 1986 y 0,24 2010. La clase muy alta de pérdida de suelo pasa de 0,59 en 1986 a 1,38 en 2010 evidenciando el aumento de parches de esta clase en el paisaje.

La clase moderada incrementa el valor de este índice y las clases baja y muy baja de pérdida de suelo reduce su valor, disminuyendo el número de parches (NP).

Respecto al índice MPI, la clase moderada de pérdida de suelo presenta el máximo valor en los dos años, e incrementa para el año 2010, indicando que los parches de esta clase están más agregados y grandes. Mientras que para la clase muy alta de pérdida de suelo pasa de 157 en el año 1986 a 33 en el año 2010. Para la clase muy baja de pérdida de suelo el valor decrece indicando que los parches presentan tamaños más pequeños y más aislados en el paisaje.

La conectividad espacial reflejada por el valor del índice CONNECT con un rango de conectividad que oscila entre 0.5 a 2%, sugiere que las clases de pérdida de suelo presentan una baja conectividad entre los parches de las distintas clases. La clase alta de pérdida de suelo incrementa la conectividad de los parches, pasando 2,64 a 3,37 en el año 2010.

El índice de cohesión (COHESION) presentaron valores muy altos en todas las clases de pérdida de suelo. La clase alta de pérdida de suelo reduce el valor de cohesión de 90 a 75 en el año 2010.

En la Tabla 2 se presentan los valores de los índices del paisaje por clase de pérdida de suelo.

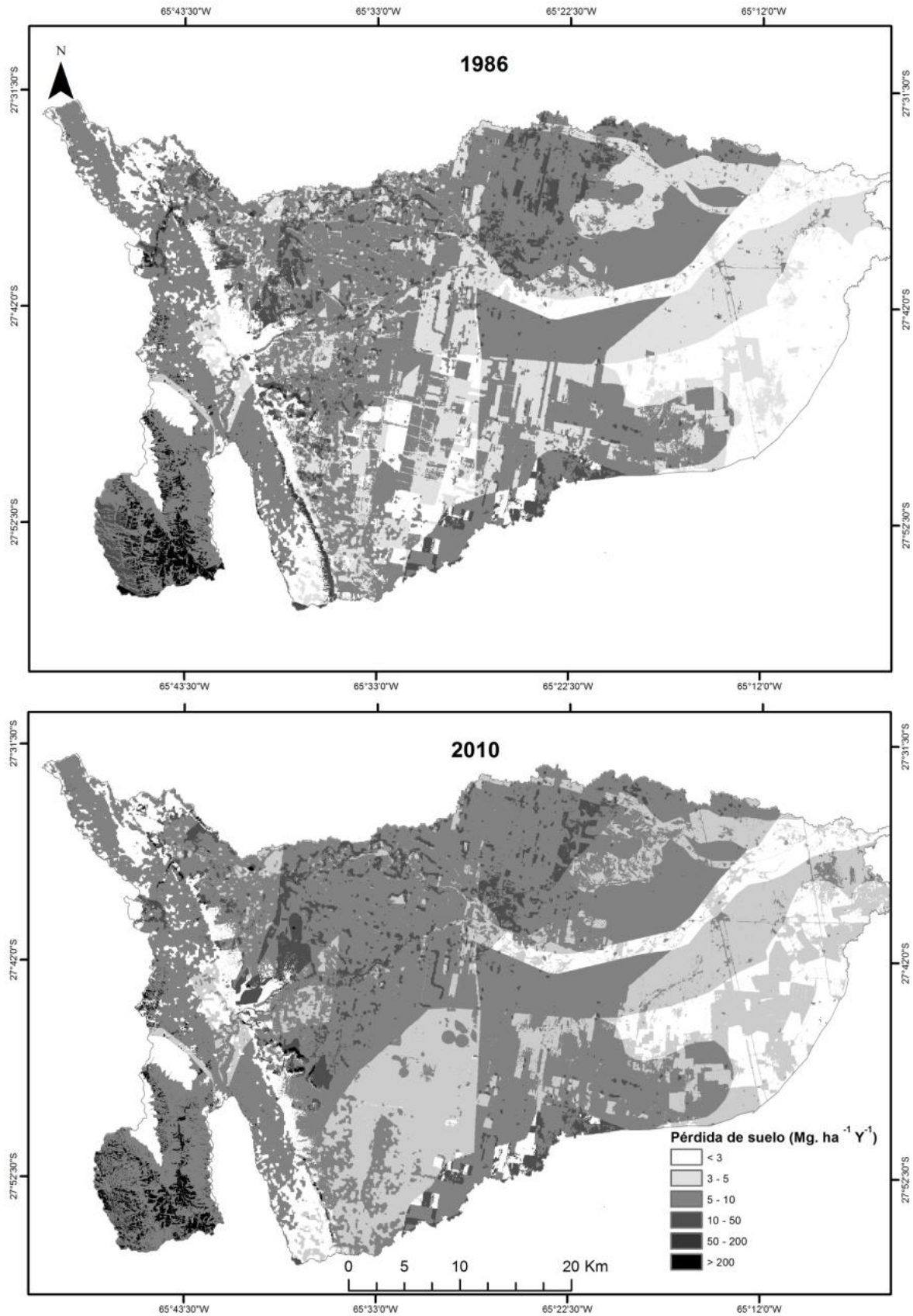


Figura 4. Clases de pérdida de suelo (A) en la cuenca del río Marapa. Año 1986 - 2010.

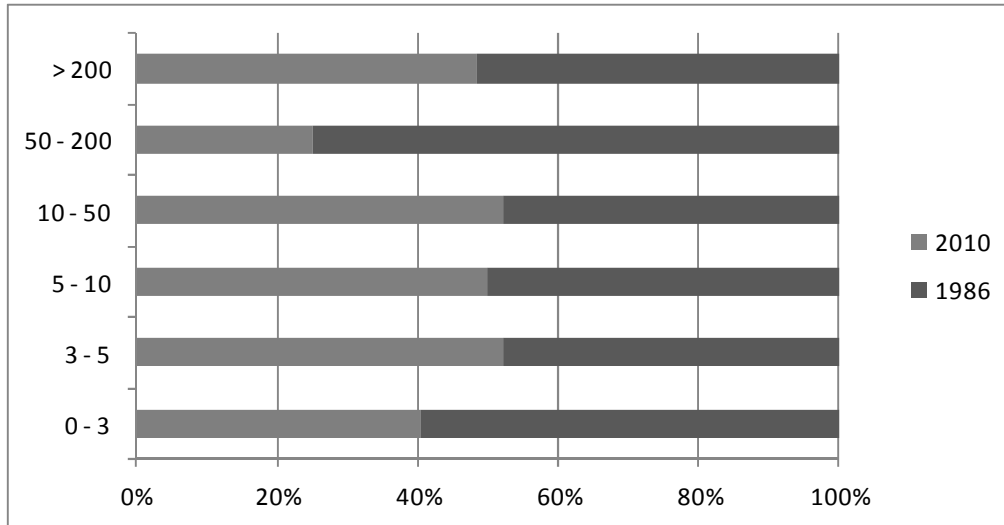


Figura 5. Porcentaje de cambios en superficie de ocupación de la pérdida de suelo (A) (Mg.ha⁻¹.año⁻¹) en la cuenca del río Marapa. Año 1986 - 2010.

Tabla1. Índices del paisaje por clase uso suelo y cobertura. Año 1986 - 2010.

Clases	PLAND	NP	PD	LPI	MPS	MPI	CONNECT	COHESION
1986								
Bosque	18,44	1626	0,76	17,63	24,27	19821,00	27,91	99,84
Bosque Seco	44,26	4697	2,19	27,08	20,16	8173,00	18,51	99,71
Otros cultivos	13,69	6855	3,20	0,56	4,27	99,80	13,48	96,77
Granos	22,86	5327	2,48	7,10	9,18	2865,00	13,03	99,32
Pastizal	0,56	507	0,23	0,23	2,38	94,00	64,49	96,67
2010								
Bosque	18,67	2021	0,94	18,33	19,73	23339,00	30,92	99,87
Bosque Seco	22,86	4180	1,95	15,95	11,68	9018,00	16,38	99,71
Otros cultivos	13,24	6678	3,12	2,96	4,23	546,30	16,23	98,51
Granos	45,01	9964	4,66	33,94	9,65	18718,00	14,28	99,8
Pastizal	0,07	398	0,18	0	0,42	1,61	79,59	69,94

Tabla 2. Cambios en los índices del paisaje en nivel de clase de pérdida de suelo (cls) en la cuenca del río Marapa. Años 1986-2010.

	PLAND	NP	PD	LPI	MPS	MPI	CONNECT	COHESION
1986								
cls_1	20,64	2470	1,18	7,04	17,35	1319,97	0,93	99,24
cls_2	22,28	3751	1,80	6,54	12,52	1506,6	0,5	99,02
cls_3	49,62	3000	1,44	23,91	34,34	29087	0,53	99,84
cls_4	5,24	2555	1,23	0,31	4,25	65,41	0,62	95,98
cls_5	0,31	406	0,19	0,03	1,62	12,13	2,64	90,05
cls_6	1,56	1243	0,59	0,68	2,60	157,7	2,27	97,31
2010								
cls_1	14,05	2926	1,41	1,70	9,95	635	1,11	98,92
cls_2	24,74	3273	1,57	9,68	15,67	3860	0,57	99,51
cls_3	53,90	3541	1,70	46,83	31,55	60157	0,67	99,92
cls_4	5,70	2600	1,25	0,56	4,54	78	0,78	96,21
cls_5	0,12	504	0,24	0	0,53	0,67	3,37	75,55
cls_6	1,47	2862	1,38	0,24	1,06	33,07	2,1	93,1

DISCUSIÓN

La transformación territorial en la cuenca del río Marapa presentó como principal proceso de cambio a la deforestación causada por la expansión agrícola (principalmente cultivo de soja) durante los 24 años de análisis. Este proceso se distribuyó en dos direcciones: hacia el pedimento sobre la cobertura de bosque nativo y hacia el este en llanura a expensas del bosque seco que corresponde a la subregión del Chaco seco. Esto estaría relacionado a la intensificación agrícola a escala regional, sobre todo en las tierras bajas de los bosques secos del Chaco y en el pedimento de las Yungas, la cual responde a la constante demanda de mercados internacionales y los cambios tecnológicos que incrementaron la tasa de deforestación y expansión principalmente del cultivo de soja. (Grau et al., 2005; Gasparri & Grau, 2009; Gasparri et al., 2013). Para el año 2010 el cultivo de soja es el uso del suelo con mayor representatividad en la cuenca.

Respecto a los otros cambios en el paisaje de la cuenca, la disminución de los parches de pastizales tanto en tamaño como ocupación, responden a un proceso de transición forestal en las zonas de montañana donde la cobertura de bosque se expandió sobre la cobertura de pastizal, el cual podría estar favorecido por el incremento de las precipitaciones en las últimas décadas, impulsando la expansión del aliso del cerro, *Alnus acuminata* Kunth, sobre el pastizal (Araoz & Grau, 2010). Este cambio fue registrado en las zonas altas de la cuenca del río Lules entre 1979-2008 (García, 2011). Además, este proceso de transformación territorial, donde se identifica expansión agrícola en la zona baja y expansión forestal en las montañas, es similar al observado por (Nanni & Grau, 2014) en la cuenca del río de Trancas, Tucumán, refiriéndose a un proceso generalizado en estos ecosistemas.

De acuerdo al análisis espacial de los patrones de pérdida de suelo, la moderada incrementó su superficie a causa del proceso de deforestación, con parches de gran tamaño, en coincidencia espacial en las zonas donde el bosque seco fue reemplazado por cultivo de granos. Sin embargo, la pérdida de suelo moderada alta y muy alta presentan tamaños de parches muy pequeños, y distribuidos en zonas con pendiente, constituyendo zonas donde es posible la implementación de medidas de conservación. Además, donde ocurrió el proceso de transición forestal, se detectó una notable reducción en la pérdida de suelo.

El análisis de la configuración espacial del paisaje, permitió afirmar que el patrón del paisaje en las zonas bajas de cuenca del río Marapa tiende a ser homogéneo debido a la reducción de cantidad y tamaño de parches bosque seco observados y el incremento en la densidad y tamaño de parches de cultivos. Esta configuración presenta diversas implicaciones ecológicas negativas asociadas a la pérdida de la biodiversidad e impactos en los ecosistemas de aguda dulce, en coincidencia con Laurance et al. (2014).

Por otro lado, las zonas del pedimento superior y montano estarían siendo conservadas a expensas de la intensificación en el pedimento inferior y llanura, promoviendo indirectamente a la conservación de los servicios ambientales como la retención de la pérdida de suelo en zonas con mayor pendiente reportados aquí. Esta transformación implica la coexistencia de la expansión de la matriz agrícola provocando la heterogeneidad en el territorio, integrando la producción y la conservación. En este sentido, este sistema de producción respondería al modelo de *land sparing* como estrategia de conservación, donde la intensificación agrícola permite disminuir la amenaza a la conservación en áreas adyacentes a diferentes escalas (Perfecto & Vandermeer, 2012; Grau et al., 2013).

En este estudio se observó que la intensificación agrícola en las zonas de la cuenca baja del río Marapa, contribuye de manera indirecta a la conservación de del Servicio ecosistémico de retención de sedimentos en zonas con mayor pendiente. Por lo tanto, este estudio documenta un caso de ajuste agrícola (la concentración de la producción agropecuaria en los suelos más fértiles) con una consecuente mejora en la conservación de las zonas de mayor pendiente en la cuenca, en coincidencia con Díaz Gómez (2015).

CONCLUSIÓN

El análisis espacial de la transformación territorial a escala de cuenca, resultó ser un método válido para evaluar la relación de estos cambios con el patrón espacial de los parches pérdida de suelo, permitiendo describir e identificar parches donde se necesitaría la aplicación de pautas de conservación. De otra manera, estos no podrían haber sido identificados espacialmente. La delimitación de esta zona vulnerable brinda el umbral donde la expansión agrícola genera pérdida de suelo a tasas elevadas, límite que debería ser regulado debido a las consecuencias ecológicas que conlleva.

La intensificación agrícola es el principal factor de transformación territorial en la cuenca del río Marapa generando una alta variabilidad espacial de pérdida de suelo por erosión superficial en el año 1986 y en 2010. La pérdida de cobertura boscosa, incrementó la pérdida de suelo en las zonas de llanura y pedemonte entre 1986-2010. En las zonas altitudinales superiores, la pérdida de suelo se reduce debido al cambio en la cobertura natural de pastizal a bosque y el abandono de tierras no productivas. Esta segregación espacial entre la agricultura y las áreas naturales se ve reflejada en los patrones de la pérdida de suelo en la cuenca.

El análisis de la estructura del paisaje integrado junto con la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo USLE, y el uso de SIG, permitió identificar las zonas prioritarias para la conservación del suelo y constituyó una herramienta simple para la potencial toma de decisiones en el desarrollo de planes de manejo y pautas de conservación a diferentes escalas, cuenca, predio. Por lo tanto, este estudio es relevante por la información que genera y la aplicación potencial que conlleva.

BIBLIOGRAFÍA

Araoz, E. & H.R. Grau. 2010. Fire-mediated forest encroachment in response to climatic and land-use change in subtropical andean treelines. *Ecosystems* 13:992–1005.

Busnelli, J. 2009. Evolución Histórica, Situación Actual y Perspectivas Futuras del Riesgo de Inundación en la cuenca del Río Gastona. Tucumán. Argentina. Tesis Doctoral de la Carrera de Posgrado en Geología (Inédita). Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Universidad Nacional de Tucumán. 629 p. San Miguel de Tucumán.

Díaz Gómez, A.R. 2015. Análisis de la vulnerabilidad a cambios climáticos y de uso del territorio de las

cuenas hidrológicas del faldeo oriental de la sierra del Aconquija y del Sudoeste, Tucumán. Tesis Doctoral de la Carrera de Posgrado en Ciencias biológicas (Inédita). Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Universidad Nacional de Tucumán. 228 p. San Miguel de Tucumán.

Fernández, D.S. & M. García. 2004. Carta de Líneas de Base Ambiental. 2766-IV: Concepción: 89-115. SEGEMAR. Tucumán. Argentina.

García, A.K., V.P. Carrillo & N.I. Gasparri. 2011. Cambio en la cobertura del suelo en la cuenca media y alta del río Lules en libro: Fernandez H.R., Barber La cuenca del río Lules: una aproximación multidisciplinaria a su complejidad. pp 97-110

Gasparri, N.I. & H.R. Grau. 2009. Deforestation and fragmentation of Chaco dry forest in NW Argentina (1972–2007). *Forest Ecol Manag* 258: 913–921.

Gasparri, N.I., M.G. Parmuchi, J. Bono, H. Karszenbaum & C.L. Montenegro. 2010. Assessing multi-temporal Landsat 7 ETM+ images for estimating above-ground biomass in subtropical dry forests of Argentina. *Journal of Arid Environments*, 74(10): 1262–1270.

Gaspari, F.J., A.R. Vagaría, M.I. Delgado, G.E. Senisterra & G.A. Denegri. 2011. Vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas serranas mediante SIG. *Multequina*, 20(1): 03-13.

Gasparri, N.I., H.R. Grau & J. Gutierrez Angonese. 2013. Linkages between soybean and neotropical deforestation: Copling and transient decoupling dynamics in a multi-decadal analysis. *Global Environ Change* 23:1605–1614.

Grau, H.R., N.I. Gasparri & T.M. Aide. 2005. Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forests of northwest Argentina. *Environ Conserv* 32:140–148.

Grau, R., T. Kuemmerle & L. Macchi. 2013. Beyond 'land sparing versus land sharing': environmental heterogeneity, globalization and the balance between agricultural production and nature conservation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(5): 477-483.

Laurance, W.F., J. Sayer & K.G. Cassman. 2014. Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. *Trends in ecology & evolution*, 29(2): 107-116.

Mc Garigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C., & Ene, E. 2002. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical maps. www.umass.edu/landeco/research/fragstats/

Nanni, A.S. & H.R. Grau. 2014. Agricultural adjustment, population dynamics and forests redistribution in a subtropical watershed of NW Argentina. *Regional Environmental Change*, 1-9. 14(4): 1641-1649.

Perfecto, I. & J. Vandermeer. 2012. Separación o integración para la conservación de biodiversidad: la ideología detrás del debate "land-sharing" frente a "land-sparing". *Revista Ecosistemas*, 21(1-2).

Santos, I.G. & M.A. Borrás. 2014. Transformación territorial: análisis del proceso de intensificación agraria en la cuenca del área protegida Esteros de Farrapos, Uruguay. *Revista brasileira de agroecologia*, 9(2).

Tiscornia, G., M. Achkar & A. Brazeiro. 2014. Efectos de la intensificación agrícola sobre la estructura y diversidad del paisaje en la región sojera de Uruguay *Ecología Austral* 24:212-219.

Volante, J.N., D. Alcaraz-Segura, M.J. Mosciaro, E.F. Viglizzo & J.M. Puelo. 2012. Ecosystem functional changes associated with land clearing in NW Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 154: 12-22.

Wischmeier, W.H. & D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning *Agriculture Handbook No 537*. US Department of Agriculture, Washington, D.C. EE.UU.