



**Dinámica de uso de suelo en una Región Hidrológica  
Prioritaria de la cuenca Río Bravo, Nuevo León**

Manuel Torres Barajas<sup>1\*</sup>

Susana Favela Lara<sup>1</sup>

Glafiro Alanís Flores<sup>1†</sup>

José I. González Rojas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

\*Autor por correspondencia; correo-e: manueltjr@hotmail.com



**Resumen:**

La subcuenca del Río San Juan (SRSJ) es la más importante de la cuenca del Río Bravo, ya que sostiene el desarrollo socioeconómico y urbano del noreste de México, pero los cambios de uso del suelo han ocasionado problemas y riesgos ambientales. El presente estudio consistió en analizar los cambios espacio-temporales de uso del suelo en la subcuenca durante el periodo de 1976 a 2011, con el fin de establecer su dinámica para identificar las posibles tendencias. Se empleó la cartografía de Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) y del inventario Nacional Forestal y de Suelos ((INFyS). A través del Sistema de Información Geográfica Idrisi Selva, se generaron matrices de transición y tasas de cambio para los periodos (1976-1993, 1993-2000 y 2000-2011). Los tipos de uso de suelo y vegetación más representativos en el año 1976 fueron el matorral (76 %), cultivos (19 %) y pastizales (2 %); sin embargo, en 2011 se observaron cambios significativos en su cobertura, de los cuales el más afectado fue el matorral que registró una pérdida de 30 % de su superficie original y tasas de cambio negativas de 1976 a 2011. Los cultivos y pastizales se extendieron en 15 y 7 % aproximadamente, y registraron las tasas de cambio positivas más destacadas debido a la intensa actividad agropecuaria de la zona, lo que sugiere un proceso de reducción del matorral inducido por un incremento en el grado de antropización.

**Palabras clave:** Análisis multitemporal, cambio de uso de suelo, tasa de cambio, región hidrológica, segmentación de imágenes, SIG.

Fecha de recepción/Reception date: 30 de mayo de 2017

Fecha de aceptación/Acceptance date: 8 de enero de 2018.

## Introducción

El cambio de uso de suelo y la fragmentación de hábitats son dos factores relacionados con el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, debido a que afectan la densidad de carbono y la continuidad de la superficie de los ecosistemas (Santos y Tellería, 2006). En este contexto, las demandas de la sociedad influyen en la cantidad y calidad de los servicios ambientales (GLP, 2005).

En el ámbito mundial, el cambio de uso de suelo ha sido más dinámico recientemente, y en México, en particular, en los últimos 50 años; los matorrales y selvas se han deteriorado y reducido su extensión hasta 50 % de su territorio original (Lambin, 1994; Masera *et al.*, 1997; Rosete *et al.*, 2008; Challenger y Dirzo, 2009) con tasas de degradación de alrededor de 4 % anual (Semarnat, 2013). Los efectos de dicho cambio son especialmente notorios en las cuencas hidrológicas, a través de avenidas abruptas con mayor proporción de sedimento, situación que ha generado interés por mantener la funcionalidad de las cuencas y conservar los servicios ambientales, incluida la protección de la biodiversidad (Casillas, 2007).

La subcuenca hidrográfica del río San Juan, que forma parte de la cuenca del Río Bravo, es el recurso hídrico más importante que sostiene el desarrollo socioeconómico y urbano del noreste de México, por su aporte al Producto Interno Bruto (PIB) nacional (Monroy, 2013) y, por lo tanto, el manejo sustentable de sus recursos naturales es prioritario. Sin embargo, el aumento en la autorización de cambios de uso del suelo ha ocasionado problemas ambientales que favorecen la deforestación y la erosión, por actividades industriales, urbanas y agrícola-pecuarias (Návar y Rodríguez, 2002).

Como resultado de la intensidad productiva de la cuenca Río Bravo-San Juan, se prevé que existan cambios en el uso de suelo, así como elevadas tasas de sustitución por coberturas antrópicas y, por consiguiente, modificaciones de su paisaje. El presente estudio tuvo como objetivo analizar las

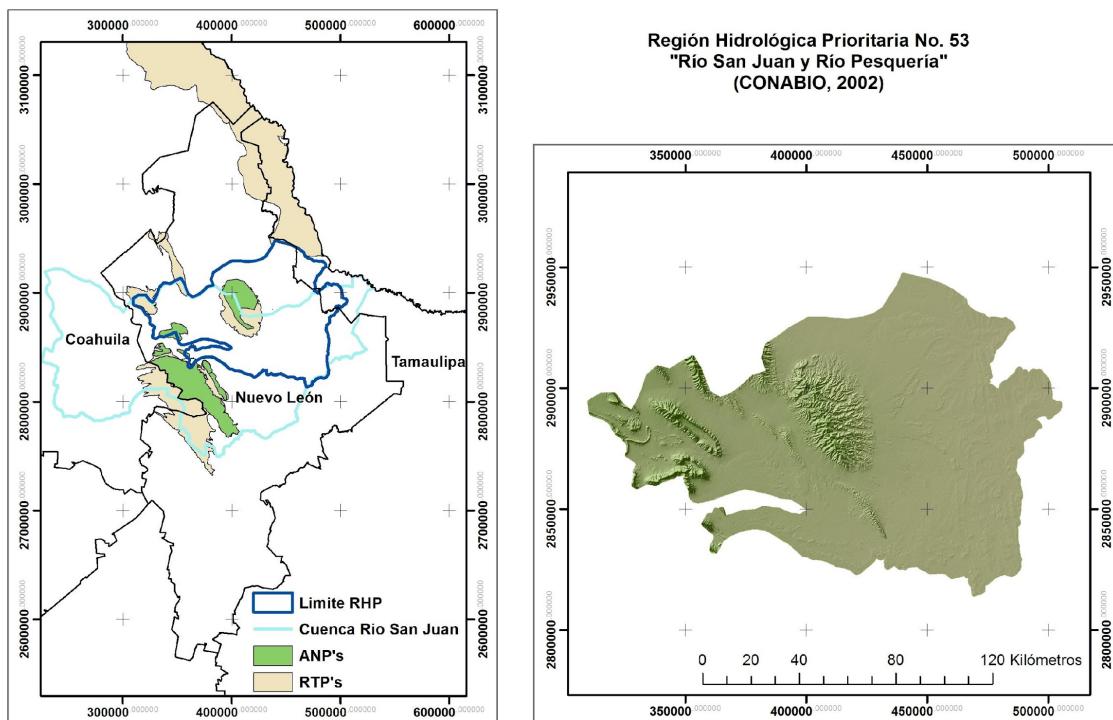
transformaciones espacio-temporales de uso del suelo y cobertura en la Región Hidrológica Prioritaria (RHP) número 53 propuesta por la Conabio, durante 1976, 1993, 2000 y 2011, con el fin de identificar la dinámica de cambio que sirva de base para el diseño de estrategias y políticas territoriales en términos de conservación y manejo sustentable.

## **Materiales y Métodos**

### **Área de estudio**

La Región Hidrológica Prioritaria (RHP) número 53 tiene una extensión de 13 724.34 km<sup>2</sup>, se distribuye en los estados de Nuevo León y Tamaulipas (Arriaga *et al.*, 2002), e incorpora una gran porción en la Cuenca del Río Bravo-San Juan (Návar y Rodríguez, 2002) (Figura 1).





**Figura 1.** Localización de la Región Hidrológica Prioritaria Núm. 53 río San Juan y río Pesquería, Nuevo León.

Las actividades productivas en la RHP incluyen el cultivo de cítricos, la ganadería, la acuacultura y la agricultura de temporal; sin embargo, existen problemas ambientales por falta de control en las descargas de agua por fuentes industriales, urbanas y agrícolas, debido a la desregulación del uso del agua, la falta inventarios de biológicos: monitoreo y estado actual de grupos biológicos. En el lugar, 14 % del uso del suelo está bajo algún régimen de protección, ya sea como Áreas Naturales Protegidas (ANP) o como Región Terrestre Prioritaria (RTP) (Figura 1), lo que la constituye como una zona de importancia para la conservación, tanto de recursos biológicos como hídricos.

## Generación cartográfica de uso de suelo 2011

La generación de la cartografía de cobertura y uso del suelo para 2011 se realizó mediante el procesamiento de dos imágenes *Landsat TM* (*path 27, row 42*), con una proyección UTM zona 13 N, *Datum WGS84*, que se seleccionaron para la época seca (marzo y abril) de los años considerados en el estudio (Meneses, 2009). Cada imagen se corrigió atmosférica y radiométricamente, además fue ortorrectificada, para posteriormente realizar un mosaico con el sistema de información geográfica *Idrisi Selva* (Eastman, 2009). Se aplicó un análisis de componentes principales (PCA) para identificar las bandas que permitieran una mejor clasificación de la imagen.

Dicha clasificación se ejecutó con un proceso de segmentación de imágenes empleando el módulo *Segmentation Analysis* de *Idrisi*, que posibilita reconocer los pixeles y agruparlos con base en su simetría en el espectro; los segmentos se definieron de acuerdo a parámetros establecidos de similitud a la escala 1: 250 000 y las categorías designadas de acuerdo a Velázquez *et al.* (2002) (Cuadro 1). Se seleccionaron los polígonos de entrenamiento por categoría de acuerdo con los centroides de los polígonos que no mostraron cambio alguno desde 1976 hasta 2000, para posteriormente obtener las firmas espectrales y hacer una clasificación supervisada con un algoritmo de máxima verosimilitud.

La evaluación de la calidad de la clasificación de cobertura vegetal para el año 2011, se hizo con el módulo *Validate* de *Idrisi* mediante el estadístico de *Kappa* a partir de una matriz de confusión con puntos de control obtenidos del *Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2009-2014* (Conafor, 2018); asimismo, se emplearon puntos de control verificados mediante la plataforma *Google Earth*® (Google Earth, 2017) para corroborar con verdad de imagen.

## Análisis del cambio del uso del suelo

La cartografía empleada para el análisis multitemporal fue de INEGI Serie I (1976), INEGI Serie II (1993), del inventario Nacional Forestal INF (2000) (Semarnat, 2001), así como la producida para el 2011, todas a escala 1: 250 000 y transformadas a un formato *raster* con una resolución espacial de 100 m pixel<sup>-1</sup> a través del sistema de información geográfica *Idrisi Selva* (Eastman, 2009). Para lograr un sistema de clasificación jerárquico y homogéneo, cada una de las cartografías se reclasificó como se muestra en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Sistema jerárquico de clasificación del uso del suelo\*.

Formación	Tipo de vegetación y Uso de suelo
Cultivos (Clt)	Agricultura (riego y humedad), agricultura (de temporal) y plantación forestal
Bosques (Bsq)	Coníferas, coníferas + latifoliadas, latifoliadas y bosque mesófilo de montaña
Matorral (Mtr)	Mezquital y matorral xerófilo
Pastizal (Pst)	Pastizal
Otros tipos de vegetación (Otv)	Vegetación halófila y gipsófila
Otras coberturas (Ocob)	Área sin vegetación aparente, asentamiento humano y cuerpo de agua

\*Modificado de Velázquez et al. (2002).

Para el análisis del cambio de uso de suelo se utilizó el módulo *Crosstab* de *Idrisi* (Eastman, 2009), el cual, genera matrices de cambio entre las distintas categorías para cada periodo (1976-1993, 1993-2000 y 2000-2011). Posteriormente, se analizaron con el programa de cómputo SPSS (SPSS, 2004),

mediante la prueba de *Kruskal-Wallis* para establecer si los cambios eran estadísticamente significativos. A partir de dichas matrices, se hizo el análisis de las transiciones por categoría de acuerdo a la metodología de Pontius *et al.* (2004); se estimaron las matrices de pérdidas y ganancias para cada categoría y se calculó la probabilidad de cambio/permanencia en los distintos períodos, con el fin de distinguir si las transiciones fueron sistemáticas (significativas) o aleatorias. Para ello, se calcularon las matrices de ganancias y pérdidas sistemáticas mediante las siguientes ecuaciones:

$$G_{ij} = (P + j - P_{jj}) \frac{(P_{i+})}{(P - P_{i+})}$$

Donde:

$G_{ij}$  = Ganancia esperada desde la categoría  $i$  a la categoría  $j$  debido a un proceso de ganancias al azar

$P + j - P_{jj}$  = Ganancia neta total de la categoría  $j$  entre el tiempo 1 y tiempo 2

$P_{i+}$  = Tamaño de la categoría  $i$  en tiempo 1

$P - P_{i+}$  = Suma de los tamaños de todas las categorías excepto  $j$  en tiempo 1

$$P_{ij} = (P_{i+} - P_{jj}) \frac{(P + j)}{(P - P + j)}$$

Donde:

$P_{ij}$  = Pérdida esperada desde las categorías  $i$  a la categoría  $j$  debido a un proceso de pérdidas al azar

$P_i + - P_{jj}$  = Pérdida neta total de la categoría  $i$  entre el tiempo 1 y el tiempo 2

$P + j$  = Tamaño de la categoría  $j$  en el tiempo 2

$P - P + j$  = Suma de los tamaños de todas las categorías excepto  $j$  en el tiempo 2

Asimismo, se calculó la tasa de cambio para cada categoría por periodos con la ecuación formulada por la FAO (1996):

$$X = \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1$$

Donde:

$X$  = Tasa de cambio (para expresar en % hay que multiplicar por 100)

$S_1$  = Superficie de la fecha 1

$S_2$  = Superficie de la fecha 2

$n$  = Número de años entre las dos fechas

## Resultados y Discusión

La clasificación del uso de suelo elaborada para el año 2011 resultó con una precisión de 83.1 % (*Kappa*: 0.82) al compararla con la información del Inventario Nacional Forestal y de Suelos, lo que indica que la generada en este proyecto, para dicho año, es confiable y útil para futuros trabajos (Palomeque-De la Cruz et al., 2017). Asimismo, al emplear el nivel de formación del sistema de clasificación del

uso del suelo, es todavía mejor (Mas *et al.*, 2002). La escala de los insumos, a la cual se elaboró el análisis, se usa a nivel regional y, a pesar de que puede mostrar sesgos e imprecisiones inherentes al análisis de coberturas, permitió tener una perspectiva de la dinámica del uso de suelo.

## **Representatividad del Uso del Suelo**

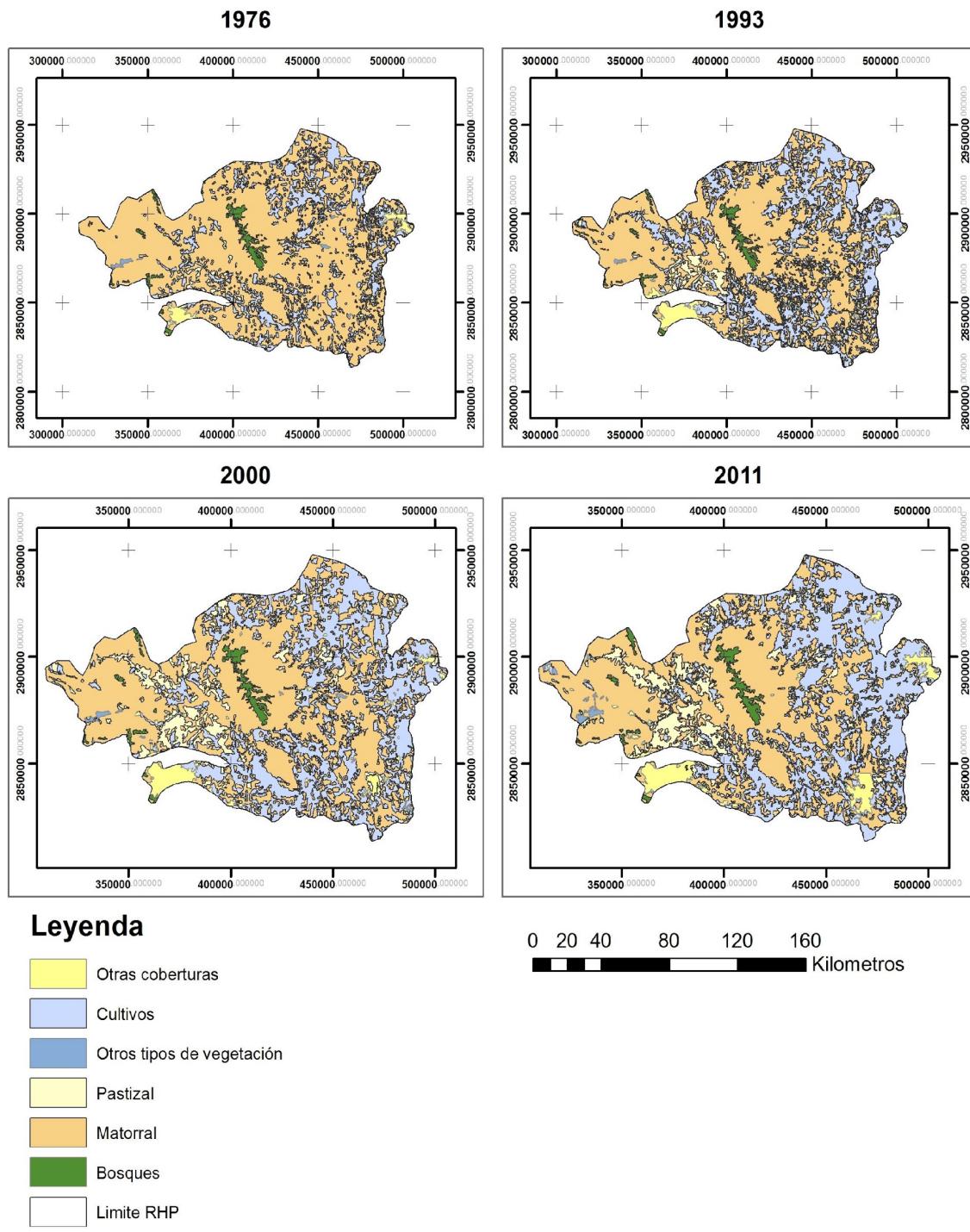
La representatividad del uso de suelo para cada uno de los años (1976, 1993, 2000 y 2011) se describe en el Cuadro 2 y la Figura 2. El uso de suelo en 1976 estuvo dominado por el matorral y los cultivos, que ocupaban cerca de 95 % de la extensión total y el resto correspondía a bosques y pastizales, en menor proporción. Sin embargo, a partir de 1993, el matorral registró una pérdida significativa de su superficie; por su parte, los cultivos y pastizales experimentaron un incremento de 70 % y 115 %, respectivamente; de igual manera otras coberturas, que incluyen asentamientos humanos, aumentaron en 94 %. Para 2000 y 2011 se observó el mismo patrón para los matorrales y cultivos, con cambios en menor extensión; destacan los pastizales, los cuales aumentaron su superficie. El análisis de los cambios de cobertura, mediante la prueba de *Kruskal-Wallis* mostró que los matorrales, cultivos, pastizales y otros presentaron cambios significativos a lo largo del periodo entre 1976 y 2011.

**Cuadro 2.** Representatividad del uso del suelo y cambio neto dentro de la Región Hidrológica Prioritaria Núm. 53 durante el periodo 1976-2011.

Categoría	1976		1993		2000		2011		1976-2011	
	km <sup>2</sup>	%								
Bsq	263.0	2	251.7	2	247.5	2	245.9	2	-17.1	0
Clt	2 800.2	19	4 755.7	33	4 831.9	33	4 915.2	34	+2 115.0 *	15
Mtr	11 052.3	76	8 680.7	59	8 014.5	55	7 494.0	51	-3 558.3 *	-25
Ocob	188.8	1	366.1	3	391.5	3	608.1	4	+419.3 *	3
Otv	50.7	0	16.1	0	52.4	0	64.8	0	14.1	0
Pst	247.0	2	531.7	4	1 064.2	7	1 273.9	9	+1 026.9 *	7
Total	14 601.9	100	14 601.9	100	14 601.9	100	14 601.9	100		

Prueba de *Kruskal-Wallis*. - \*p< 0.001. Bsq = Bosques; Clt = Cultivos; Mtr = Matorral; Ocob = Otras coberturas; Otv = Otros tipos de vegetación; Pst = Pastizal





**Figura 2.** Usos de suelo y vegetación de la Región Hidrológica Prioritaria Núm. 53 Río San Juan y Río Pesquería, Nuevo León (1976, 1993, 2000 y 2011).

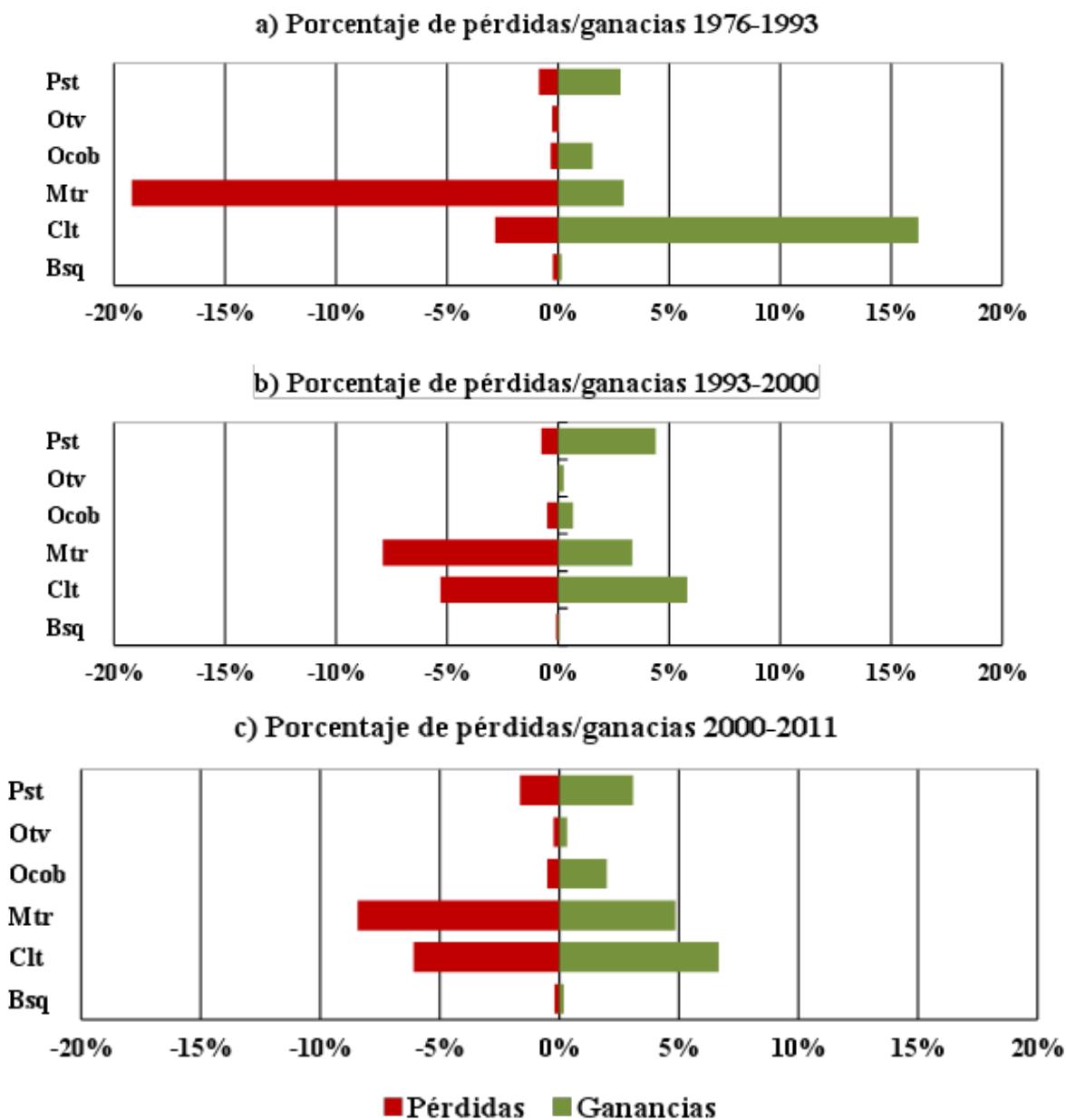
## **Dinámica de cambio de uso de suelo**

### **Análisis de pérdidas y ganancias**

De manera general, durante todos los periodos analizados (1976-1993, 1993-2000 y 2000-2011), la cobertura de los matorrales fue la más afectada (Figura 3), al registrar pérdidas para cada uno de ellos, lo que acentúa el proceso de degradación ambiental, con tasas de deforestación de 0.33 % anual y que ha propiciado la desertificación con efectos a nivel nacional (Semarnat, 2013). El patrón de perdida de matorrales está aunado al incremento de pastizales y cultivos derivados de actividades antrópicas (Lambin, 1994; Rosete *et al.*, 2008; Challenger y Dirzo, 2009; Pineda *et al.*, 2009; Pérez *et al.*, 2012); de acuerdo a Vela y Lozano (2010), para 2030 se proyectan aumentos de pastizales de 10 % y cultivos 5 % en la región noreste del país.

La tendencia de expansión de los terrenos dedicados a la ganadería (pastizales) y la agricultura (cultivos) resulta ser un factor importante de deterioro ambiental, ya que se registraron cambios en el intervalo de 5 % y 14 %, respectivamente, en diversos estudios a nivel regional y nacional durante el periodo 1993-2000 (Vela *et al.*, 2007a; Semarnat, 2013); lo que se refleja en el informe publicado por Sagarpa (2001), en el que estos terrenos ocupaban, aproximadamente, 57 % del territorio nacional.

A pesar de la tendencia generalizada de pérdida de cobertura de matorral, se han consignado aumentos en el mismo debido al abandono de zonas agrícolas, lo que conlleva a la recuperación de este tipo de vegetación (López *et al.*, 2006; Rosete *et al.*, 2008; Valenzuela *et al.*, 2012).



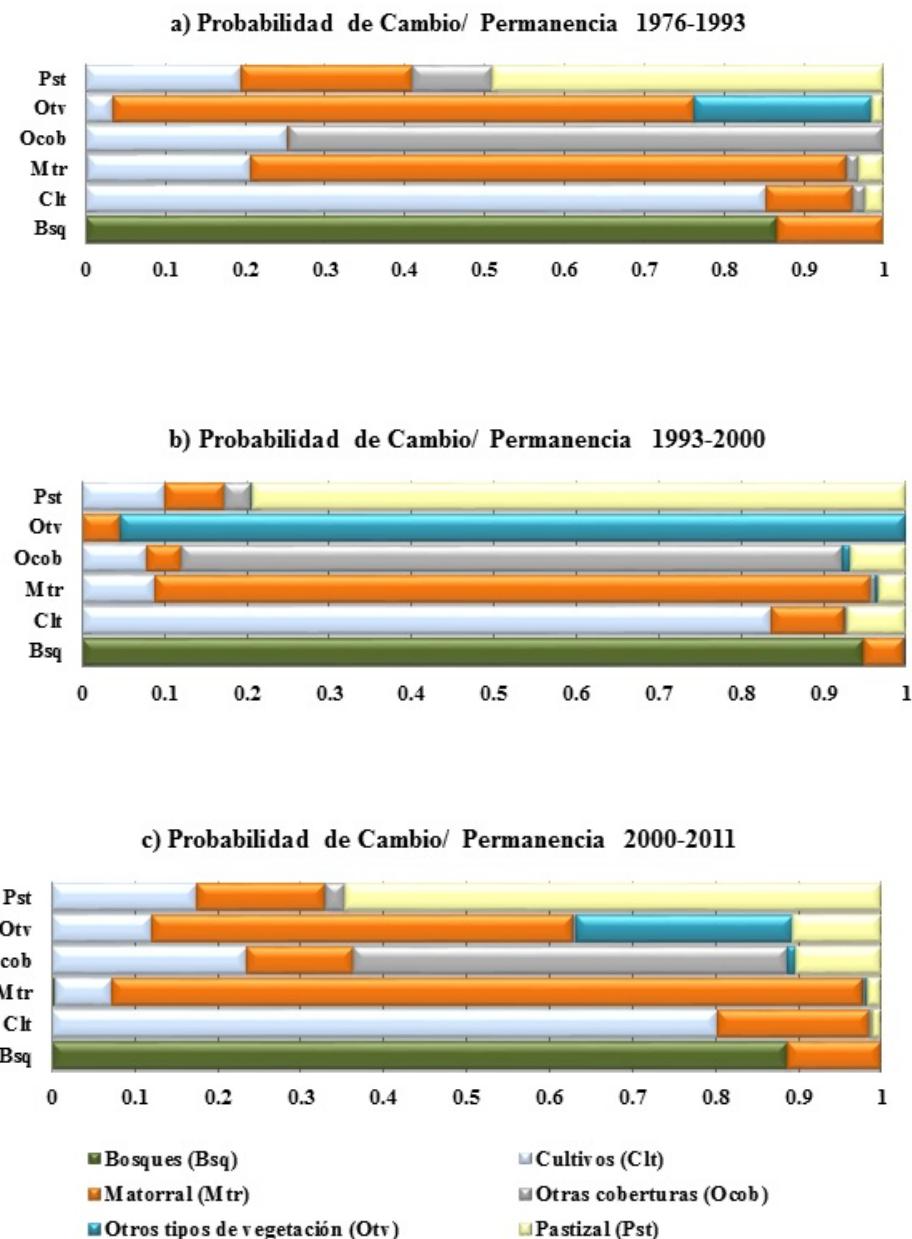
**Figura 3.** Cambios de cobertura en términos de ganancias y pérdidas: a) 1976-1993; b) 1993-2000 y c) 2000-2011, expresado en porcentaje relativo al área total de la Región Hidrológica Prioritaria Núm.53.

## Transiciones del cambio de uso de suelo

A partir del análisis de transición entre categorías se observó que, particularmente, para el periodo comprendido entre 1976 a 1993 (Figura 4a), la principal transición de índole sistemática fue la de matorrales a cultivos y pastizales; otra transición que tuvo una probabilidad alta fue la de pastizales a cultivos (0.19); sin embargo, esta transición se consideró como aleatoria. Además, se registró el cambio de pastizales tanto a matorrales (0.22) como a cultivos (0.19), lo que representa una gran tendencia de modificación hacia estos usos de suelo desde los pastizales), transiciones que se consideraron producto de un cambio aleatorio debido a su representatividad en el área; y es similar a la señalada por Masera *et al.* (1997).

De 1993 a 2000 (Figura 4b), el cambio de cobertura más drástico en extensión ocurrió en la transformación de cultivos y matorrales a pastizales, lo que dio lugar a transiciones de carácter sistemático. Para el periodo de 2000 a 2011 (Figura 4c) se mantuvo la tendencia respecto a la sustitución de matorrales y pastizales por cultivos, semejante a la registrada para el periodo de 1990 a 2010 (Velázquez *et al.*, 2002; Mas *et al.*, 2004; Pérez *et al.*, 2012; Monroy, 2013).

Un factor decisivo en las trayectorias del cambio en la cobertura de la Región Hidrológica Prioritaria Núm. 53 es su localización en una zona en la que se concentra gran parte de la población del estado, la cual presentó cambios significativos de 1970 (1 694 000 habitantes) a 1995 (3 550 000) y 4 653 458 en 2010 (INEGI, 1970; INEGI, 1995; INEGI, 2010). Este aumento ha resultado en una mayor demanda de terrenos para satisfacer las necesidades productivas y de consumo de la población; lo que, a su vez, ha propiciado la degradación de las coberturas de vegetación nativa (matorrales y pastizales), así como la presencia de áreas con vegetación secundaria (Vela *et al.*, 2007c); debido a que las tierras dedicadas a la producción de ganado han soportado un número de animales que exceden el coeficiente de agostadero permisible (Vela *et al.*, 2007a, Vela *et al.*, 2007b; Semarnat, 2013,) y al aprovechamiento de recursos maderables con fines comerciales y de uso local (Ortega, 2011);



El eje vertical indica la categoría de origen y las barras la probabilidad de permanencia o de cambio hacia otra categoría.

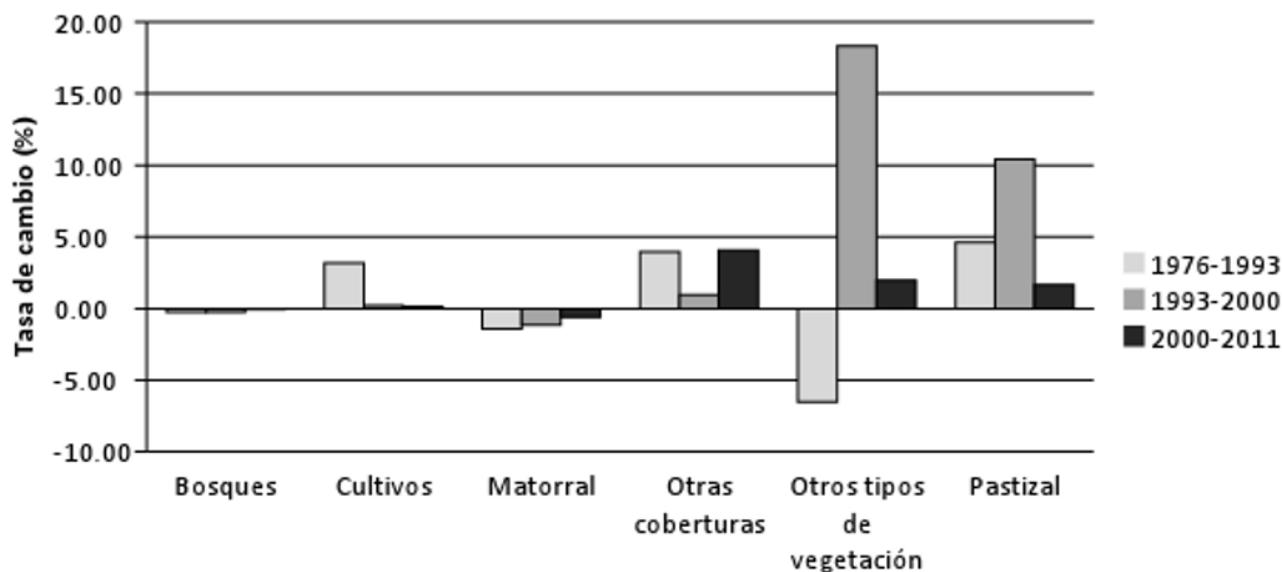
**Figura 4.** Probabilidad de Cambio/Permanencia de Uso de Suelo: a) 1976-1993; b) 1993-2000 y c) 2000-2011.

## **Tasa de cambio de uso de suelo**

Las tasas de cambio de uso del suelo entre 1976 y 1993 son mayores que las registradas entre 1993 y 2000 para casi todas las coberturas, excepto en los pastizales y otros tipos de vegetación (Figura 5), lo que refleja un escenario que sigue la tendencia que indica Semarnat (2013). Para el periodo 2000-2011 destaca el incremento de otras coberturas, que incluyen asentamientos humanos, así como cuerpos de agua, los cuales, debido a diversos eventos meteorológicos, alcanzaron sus niveles máximos extraordinarios en 2003 de acuerdo a los registros de Conagua (2009), lo que impactó a la vegetación que en años previos estaba dentro de los límites del vaso.

De manera particular, para el periodo 1976-1993 sobresalen los cultivos, pastizales y otras coberturas con tasas de cambio positivas. Entre 1993 y 2000 las tasas de aumento más significativas fueron las de los pastizales y otras coberturas, que contrasta con los registros de Pérez *et al.* (2012) para los pastos, cuya tasa negativa de -1.2 %; sin embargo, en dicho periodo tanto los matorrales como los bosques tuvieron tasas de cambio negativas por arriba de la registrada a nivel regional (-0.1 %) (Pérez *et al.*, 2012) y nacional (-0.33 y -0.52) (Velázquez *et al.*, 2002; Mas *et al.*, 2004).

De 2000 a 2011, la tasa de cambio positiva con mayor magnitud fue la de otras coberturas, pastizales y otros tipos de vegetación. El uso de suelo con mayor tasa de pérdida correspondió a los matorrales, con 0.6 % anual.



**Figura 5.** Tasa de cambio (% anual) de Uso de Suelo en los periodos 1976-1993, 1993-2000 y 2000-2011.

La dinámica de cambios de cobertura que ha mostrado la Región Hidrológica Prioritaria Núm. 53 conduce a diversas consecuencias en los ecosistemas, las más importantes corresponden a las modificaciones en la estructura del sistema hídrico y socioeconómico a nivel de cuencas (Monroy, 2013; Khadka, 2014). Esto repercute en la capacidad de bienes y servicios que se proveen y la pérdida de diversidad biológica en distintos grupos taxonómicos (Martínez *et al.*, 2009; Newbold *et al.*, 2014).

Otro problema derivado de la dinámica del uso del suelo es la sobreexplotación del recurso hídrico (Arriaga *et al.*, 2002; Esquivel, 2012). Las subcuencas de la zona tienen un déficit en la disponibilidad del agua superficial, debido a que está comprometida para los distritos de riego dentro de la cuenca y aguas abajo (Návar y Rodríguez, 2002; Ortega, 2011); asimismo, el reemplazo de coberturas con vegetación densa, como pastizales y matorrales, favorece

cambios en la disponibilidad de aguas subterráneas (Mendoza et al., 2010). Por otra parte, se registró un incremento en las descargas a los afluentes por los diversos sectores productivos (Monroy, 2013).

En cuanto al cambio climático, de acuerdo a una proyección para el año 2080, en el estado de Nuevo León, se presentará un déficit de precipitación y un aumento de la temperatura de hasta 3 °C (Cabral et al., 2010), lo cual implica posibles impactos a los bosques, matorrales y cultivos, principalmente; además, podría agudizar dichas tendencias.

## Conclusiones

La configuración del uso de suelo y vegetación en la subcuenca del río San Juan particularmente en el área de la Región Hidrológica Prioritaria Núm. 53 ha presentado cambios significativos en su estructura, durante el año de 1976 estaba representada principalmente por los matorrales, cultivos, pastizales, sin embargo, para el año 2011 se observaron cambios significativos como el aumento en extensión de más de 3 100 km<sup>2</sup> de terrenos ligados a la ganadería y la agricultura. Los matorrales tuvieron la mayor pérdida (3 500 km<sup>2</sup>), por lo que se recomienda considerar acciones de mitigación, por ser una de las comunidades que más diversidad biológica.

Durante el lapso comprendido entre 1976 y 2011, los pastizales registraron las tasas de cambio más altas, en particular de 1976 a 1993 (-4.6) y de 1993 a 2000 (-10.4); asimismo, los cambios ocurridos en los cultivos y otras coberturas sugieren un gran proceso de antropización del territorio del área de estudio, aunado a la eliminación generalizada del matorral en todo el país, ya que esta cobertura mostró tasas de pérdida en todos los períodos analizados.

El análisis del cambio de coberturas y sus transiciones permitió determinar las tendencias de sustitución e identificar áreas prioritarias para la conservación, así

como establecer las bases para la propuesta de políticas correctivas y la formulación de planes de acción para el mejor manejo de los recursos naturales.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo brindado para la realización de la presente investigación a través de la beca número 239441.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

### **Contribución por autor**

Manuel Torres Barajas: elaboración del manuscrito, diseño de figuras y mapas; Susana Favela Lara: revisión y corrección del manuscrito, supervisión del proyecto; Glafiro Alanís Flores: supervisión del proyecto, revisión y corrección del manuscrito; José I. González Rojas: revisión y corrección del manuscrito.

## Referencias

- Arriaga, L., V. Aguilar, J. Alcocer, R. Jiménez, E. Muñoz y E. Vázquez. 2002. Regiones hidrológicas prioritarias. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/hidrológicas.html> (14 de noviembre de 2017).
- Cabral, H., I. J. March, A. Nelly y M. Manzano. 2010. Programa de Acción ante el Cambio Climático para el Estado de Nuevo León. Instituto Tecnológico de Monterrey. Monterrey, N.L., México. 470 p.
- Casillas, J. A. 2007. El Programa Nacional de microcuencas: una estrategia de desarrollo integral, *In*: Cotler, H. (comp.). El manejo integral de cuencas en México. Instituto Nacional de Ecología 2da Edición México, D.F., México. pp. 259-275.
- Challenger, A. y R. Dirzo 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. *In*: Dirzo, R., R. González y I. J. March (comps.). Capital Natural de México. Vol. II. Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio. México, D.F., México. pp. 37-73.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). 2009. Tabla maestra de presas principales 2009. [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/SINA/TM\(Presas\\_Principales\).xls](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/SINA/TM(Presas_Principales).xls) (1 de febrero de 2018)
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2018. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/inventario-nacional-forestal-y-de-suelos> (18 de enero de 2018).
- Eastman, J. R. 2009. IDRISI 16: The Taiga Edition. Clark University. Worcester, MA, USA. 102 p.
- Esquivel P., S. 2012, Impacto del escurrimiento asociado a eventos de precipitación extremos en una cuenca urbana y su relación con el cambio y uso del suelo. Tesis de Maestría. Facultad De Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N. L., México. 177 p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO) 1996. Forest resources assessment. 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Num. 130. Rome, Italy. 152 p.

Global Land Project (GLP). 2005. Science Plan and Implementation Strategy. IGBP Report No. 53/IHDP Report No. 19. IGBP Secretariat. Stockholm, Sweden. 64 p.

Google Earth. 2017. Google Earth Ver. 7.3. Google Inc. Mountain View, CA USA. <https://www.google.com/intl/es/earth/> (1 de febrero de 2018).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1970. IX Censo General de Población 1970. Aguascalientes, México.

<http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/1970/default.html> (1 de febrero de 2018).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1976. Conjunto Nacional de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1:250 000. Serie I. DGG-INEGI. Aguascalientes, México.

<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (1 de febrero de 2018).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1993. Conjunto Nacional de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1:250 000. Serie I. DGG-INEGI. Aguascalientes, México.

<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (1 de febrero de 2018).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1995. Conteo de Población y Vivienda 1995. Aguascalientes, México. <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/1995/default.html> (1 de febrero de 2018).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2010. Conteo de Población y Vivienda 1995. Aguascalientes, México.

<http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/default.html> (1 de febrero de 2018).

- Khadka, A. 2014. Predicting the effects of different land-use scenarios on water availability using a hydrological model. *Tropical Resources Bulletin* 32-33: 72-77.
- Lambin, E. F. 1994. Modelling deforestation processes: a review. *Trees Series B. Research Report 1*. European Commission. EUR 15744. Brussels, Belgium. 113 p.
- López G., E., G. Bocco, M. E. Mendoza, A. Velázquez y R. Aguirre. 2006. Peasant emigration and land-use change at the watershed level. A GIS-based approach in Central Mexico. *Agricultural Systems* 90 (1-3): 62-78.
- Martínez, M. L., O. Pérez-Maqueo, G. Vázquez, G. Castillo-Campos, J. García-Franco, K. Mehltreter, M. Equihua and R. Landgrave. 2009. Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management* 258(9): 1856-1863.
- Mas, J. F., A. Velázquez, J. R. Díaz G., R. Mayorga S., C. Alcántara, R. Castro y T. Fernández. 2002. Monitoreo de los cambios de cobertura en México. *In: Memorias II seminario latinoamericano de Geografía Física. 24-27 de julio. Maracaibo, Venezuela.* pp. 2-8.
- [https://www.researchgate.net/publication/242423993\\_MONITOREO\\_DE\\_LOS\\_CAMBIOS\\_DE\\_COBERTURA\\_EN\\_MEXICO](https://www.researchgate.net/publication/242423993_MONITOREO_DE_LOS_CAMBIOS_DE_COBERTURA_EN_MEXICO) (18 de enero de 2018).
- Mas, J. F., A. Velázquez, J. R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, C. Alcántara, G. Bocco, R. Castro, T. Fernández y A. Pérez-Vega. 2004. Assessing land use/cover changes: a nationwide multideate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5(4):249-261.
- Masera, O. R., M. J. Ordóñez and R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* 35: 265-295.
- Mendoza, M. E., G. Bocco, E. López and M. Bravo. 2010. Hydrological implications of land-cover and land-use change: Spatial analytical approach at regional scale in the closed basin of the Cuitzeo Lake, Michoacan, Mexico. *Singapore Tropical Geography* 31: 197-214.

- Meneses T., C. L. 2009. Análisis del índice normalizado de la vegetación (NDVI) para detección de degradación de la cubierta forestal en México 2008-2009. Evaluación de los Recursos Forestales No. 173. Departamento de Montes. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 22 p.
- Monroy O., R. 2013. Los sistemas urbanos de cuenca en México. Transitando a estrategias integrales de gestión hídrica. Economía, Sociedad y Territorio 13 (41): 151-179.
- Newbold, T., L. N. Hudson, H. R. Phillips, S. L. Hill, S. Contu, I. Lysenko, A. Blandon, S. H. Butchart, H. L. Booth, J. Day, A. De Palma, M. L. Harrison, L. Kirkpatrick, E. Pynegar, A. Robinson, J. Simpson, G. M. Mace, J. P. Scharlemann and A. Purvis. 2014. A global model of the response of tropical and sub-tropical forest biodiversity to anthropogenic pressures. Proceedings of the Royal Society B 281. doi: 10.1098/rspb.2014.1371 <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.1371> (14 de noviembre de 2017).
- Návar, J. y E. Rodríguez. 2002. Caracterización de las superficies agrícolas y sus volúmenes de irrigación en la cuenca del río San Juan, México. Investigaciones Geográficas 47: 77-91
- Ortega, D. G. 2011. Diagnóstico sobre la gestión y el uso del agua en el sector agropecuario de Nuevo León, Instituto del Agua del estado de Nuevo León. Monterrey, N.L., México. 288 p.
- Palomeque-De la Cruz, M. Á., A. Galindo-Alcántara, M. J. Escalona-Maurice, S. C. Ruiz-Acosta, A. J. Sánchez-Martínez and E. Pérez-Sánchez. 2017. Analysis of land use change in an urban ecosystem in the drainage area of the Grijalva river, Mexico. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 23(1): 105-120.

- Pérez M., R., G. M. Cruz B., F. Moreno S., A. González H. y M. E. Romero S. 2012. Cambios de vegetación y uso de suelo en la Cuenca Río Bravo-San Juan, Coahuila (1993- 2008). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(10): 25-40.
- Pineda, N., J. Bosque S., M. Gómez D y W. Plata. 2009. Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas* 69: 33-52.
- Pontius, R. G., E. Shusas and M. McEachern. 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 101: 251-268.
- Rosete V., F. A., J. L. Pérez D. y G. Bocco. 2008. Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, México. *Investigaciones Geográficas* 67:39-58.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (Sagarpa). 2001. Programa Sectorial de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2001-2006. <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Paginas/ProgSecAGDRPA01-06.aspx> (18 de enero de 2018).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2001. *Inventario Nacional Forestal 2000*. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/inventario-nacional-forestal-y-de-suelos> (16 de enero de 2018).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2013. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental*. Edición 2012. [http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/pdf/Informe\\_2012](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012) (18 de enero de 2018).
- Statistical Package for the Social Sciences Inc. (SPSS). 2004. SPSS para Windows. Versión 13.0. SPSS Inc. Chicago, IL, USA. n/p.

- Valenzuela N., L. M., J. A. Muñoz V., J. L. González B., G. González C. y M. A. Velázquez V. 2012. Cambio de uso de suelo en la porción norte de la microcuenca "Las Amapolas" en Guanajuato, México. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas 11:15-22.
- Vela C., P., M. C. Hori O., N. Abad, A. Moreno T., S. Casas G., C. Cantú A. y F. Lozano G. 2007a. Modelo de resolución de conflictos y determinación de uso del suelo en la Región de Burgos. *In: Lozano, F., L., S. Casas G. y E. Treviño G. (comps.). Reunión Nacional SELPER SELPER en el Manejo de Recursos para el Desarrollo Sustentable. Capítulo México. Monterrey, N. L., México. pp. 79-86.*
- Vela, P., G. Requena, S. Casas y F. Lozano. 2007b. Cambio de la cobertura del suelo 1976-2000 en la región Cuenca de Burgos. *In: Lozano, F., L., S. Casas G. y E. Treviño G. (comps.). Reunión Nacional SELPER SELPER en el Manejo de Recursos para el Desarrollo Sustentable. Capítulo México. Monterrey, N.L. Monterrey. N. L., México. pp. 205-214.*
- Vela, P. y F. Lozano. 2007c. Análisis del cambio de áreas con vegetación secundaria en la Región Cuenca de Burgos. *In: Lozano, F., L., S. Casas G. y E. Treviño G. (comps.). Reunión Nacional SELPER SELPER en el Manejo de Recursos para el Desarrollo Sustentable. Capítulo México. Monterrey, N. L., México. pp. 215-222.*
- Vela C., M. P. y D. F. Lozano G. 2010. Proyección Tendencial de cambio 2010 y 2030 en la cobertura de suelo en la región de Burgos mediante Cadenas de Márkov. Revista Journal Selper 30(1): 5-14.
- Velázquez, A., J. F. Mas, J. R. Díaz G., R. Mayorga S., P. C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J. L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Gaceta Ecológica INE-Semarnat 62:21-37.