

CAMBIOS DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO EN LA CUENCA RÍO BRAVO-SAN JUAN, COAHUILA (1993 A 2008)

VEGETATION COVER AND LAND USE CHANGES IN THE BRAVO-SAN JUAN RIVER BASIN, COAHUILA (1993 - 2008)

Ramiro Pérez Miranda ¹, Gustavo Manuel Cruz Bello ², Francisco Moreno Sánchez ¹,
Antonio González Hernández ¹ y Enrique Martín Romero Sánchez ¹

RESUMEN

Los estudios de cambios de uso de suelo y vegetación sirven de apoyo a los tomadores de decisiones para proponer mejores programas y políticas de manejo y conservación de los recursos naturales. El presente trabajo tuvo el objetivo de identificar los cambios de uso del suelo y vegetación de ocho categorías en el periodo de 1993 a 2008. Se emplearon las cartas de Uso de Suelo y Vegetación Serie II de INEGI y la actualización de Serie III al 2008 mediante imágenes de satélite SPOT. En estos quince años se reconoce un crecimiento de áreas urbanas y agrícolas de 3.8% y 0.2%, respectivamente, a expensas de las zonas de pastizal y matorral, con tasas de cambio negativas de 1.2% para las primeras y 0.1% para las segundas. De la superficie total de 1, 007,837 ha que cubre toda la cuenca: 1.9% (19,537 ha) presentaron cambio de uso de suelo y vegetación, 14,307 ha (1.4% de la cuenca) fueron intercambios entre categorías y 0.5% (5,230 ha) a cambios netos. La relación pérdida/ganancia indica mayor reducción en el pastizal y más ganancia en cuerpos de agua. Los índices de permanencia a ganar son más altos en cuerpos de agua y zona urbana, y con respecto a pérdidas son de pastizal y áreas desprovistas de vegetación. Se concluye que la metodología de estimación de la tasa de cambios, evaluación multitemporal, estimación de cambios (pérdidas, ganancias e intercambios) e índices de persistencia permite analizar de forma detallada las modificaciones de uso de suelo y vegetación de la cuenca bajo estudio.

Palabras clave: Análisis multitemporal, cambio de vegetación, dinámica de la vegetación, imágenes SPOT, SIG, uso de suelo.

ABSTRACT

Studies of changes in land use and vegetation they support the decision makers to offer better programs and policies of management and conservation of natural resources. The objective was to identify changes in land use and vegetation of eight categories in the period 1993 to 2008. The maps of land use and vegetation of INEGI Series II and Series III update using spot satellite images were used. Over the past fifteen years, recognizes a growing urban and agricultural areas of 3.8% and 0.2%, respectively, at the expense of grassland and scrub areas, with negative rates of 1.2% and 0.1%, correspondingly. Of the total area of 1, 007,837 has covered the entire basin, 1.9% (19,537 ha) showed change in land use and vegetation has 14,307 (1.4% of the basin) were exchanges between categories and 0.5% (5,230 ha) correspond to net changes. The relationship loss/gain indicates a greater reduction in the pasture and higher gain in water bodies. Permanence rates are higher gain in water bodies and urban areas, and losing are pasture and areas devoid of vegetation. It is concluded that the methodology used to estimate the rate of change, multitemporal evaluation, estimation of changes (losses, gains and exchanges) and rates of persistence to analyze in detail the changes in land use and vegetation of the basin under study.

Key words: Multitemporal Analysis, vegetation change, vegetation dynamic, SPOT images, GIS, land use.

Fecha de recepción: 26 de julio de 2011

Fecha de aceptación: 9 de abril de 2012

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), INIFAP. Correo-e: perez.ramiro@inifap.gob.mx

² Ex investigador del CENID-COMEF, INIFAP.

INTRODUCCIÓN

El uso del suelo se define como cualquier tipo de intervención cíclica o permanente que realiza el ser humano para satisfacer sus necesidades, mediante el cambio de los regímenes de manejo y el medio biofísico de un sitio de la superficie terrestre, y en el cual la cubierta como un descriptor del estado natural de la vegetación (Briassoulis, 2000; Dale, 1997; González, 2001; Vink, 1975). Para otros autores es un instante de todo un proceso evolutivo, que involucra elementos sociales y naturales. Por consiguiente, es un indicador de las políticas y estrategias agroalimentarias de una sociedad, y su estudio permite entender la racionalidad económica y ecológica de un país, región, municipio o localidad. El uso actual del suelo se refiere a la utilización del terreno para actividades agrícolas, ganaderas y silvícolas registradas al momento de efectuar las delimitaciones por este concepto (Barrera y Ortiz, 1992).

La pérdida de cobertura vegetal natural afecta a la biosfera; daña tanto a elementos bióticos, como abióticos: suelo, topografía, cuerpos de agua y roca (Oyinloye *et al.*, 2004). Es considerada una etapa de la degradación y deterioro ambiental y de los recursos naturales (Bocco *et al.*, 2001). Las modificaciones de la vegetación, en gran proporción, se deben a tres factores: 1) conversión de la flora del terreno; 2) degradación y 3) intensificación en el uso del suelo (Lambin, 1994). Estas alteraciones pueden tener causas naturales ó antrópicas; entre las primeras están los huracanes, incendios, erupciones volcánicas y sequías. Las segundas resultan de actividades socioeconómicas; así como de, las políticas de población aplicadas en agricultura, ganadería, industria y urbanización (Bocco *et al.*, 2001; Lambin *et al.*, 2001; Vitousek *et al.*, 1997).

Las consecuencias de los cambios de uso del suelo se dan a diversas escalas y diferentes aspectos. Desde el punto de vista ambiental, a nivel local se generan erosión del suelo, cambios en el microclima, disminución de la diversidad de especies vegetales y animales; a escala regional, afecta el funcionamiento de las cuencas hidrográficas y de los asentamientos humanos; en el ámbito global contribuye a las emisiones de gases efecto invernadero, al cambio climático y altera los ciclos biogeoquímicos (Serrano, 2002; Maser *et al.*, 1997; Dale, 1997; Houghton, 1994). En el contexto socioeconómico, perjudica la calidad de vida de los habitantes que dependen de los ecosistemas (Serrano, 2002).

En México, los porcentos de daños al suelo por erosión hídrica son de 56%, eólica 28%, por degradación química 12% y física 4% (SEMARNAT, 2008). Las estimaciones más recientes indican que se han destruido 29,765 km² de bosque, en el periodo 1976 a 1993; en tanto que, de 1993 a 2000 se perdió una extensión de 54,306 km². La tasa de deforestación aumentó de 175 mil ha a 319 mil ha anuales (Velázquez *et al.*,

INTRODUCTION

Land use includes any cyclic or permanent intervention that humans carry out to fulfill their desires. Using land implies the need to change management regime and biophysical environment in a given place of the Earth surface. Land cover is a convenient attribute describing the effect of these plant cover changes (Briassoulis, 2000; Dale, 1997; González, 2001; Vink, 1975). Other authors view land use change as an evolutive process involving social and natural elements, and for that reason it can be an indicator describing consequences of food production policies and strategies that a given society follows. The study of land cover changes provides insights on the economic and ecologic rationale of a country, a region, a municipality or a place. Current land use patterns depict how space is allocated to agriculture, animal production, or forestry activities at the moment of the assessment (Barrera and Ortiz, 1992).

Loss of natural soil cover affects the biosphere, it damages both biotic and abiotic elements: soil, rock bed, topography, and water bodies (Oyinloye *et al.*, 2004). Loss of vegetation cover is considered a stage in the process of environmental and natural resources degradation (Bocco *et al.*, 2001). Most alterations in plant cover fit into one of three categories: 1) conversion of one vegetation type to another; 2) degradation; 3) land use intensification (Lambin, 1994). These alterations may be natural or human induced. Hurricanes, wildfire, volcanic eruptions, and drought are examples of natural causes. Man caused changes involve effects from socioeconomic activities, and consequences of demographic policies affecting agriculture, animal production, industry, and urbanization (Bocco *et al.*, 2001; Lambin *et al.*, 2001; Vitousek *et al.*, 1997).

Consequences of land use changes occur at multiple scales and they express diverse attributes. From the environmental perspective, the local scale is appropriate to track down soil erosion, microclimatic changes, reductions in plant and animal species; in a regional scale changes affect populated areas and the hydrologic patterns of the watershed; at the global scale it is possible to see that changes in land use add to greenhouse gases emissions, climatic change and biogeochemical pathways (Serrano, 2002; Maser *et al.*, 1997; Dale, 1997; Houghton, 1994). In the socioeconomic sphere land use changes tax the welfare of people depending on ecosystems (Serrano, 2002).

In Mexico 56% of soil damages involve erosion by water, wind erosion 28%, chemical degradation 12%, and physical degradation 4% (SEMARNAT, 2008). The most recent national reports indicate that 29,765 km² of forest land were destroyed between 1976 and 1993, and 54,306 km² were lost from 1993 to 2000. These figures mean that annual deforestation rate increased from 175,000 hectares to 319,000 (Velázquez *et al.*, 2002a). United Nations survey considered Mexico the outmost concern

2002a). De acuerdo con Serrano (2002), la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en la década 1990-2000 consignó a México en el primer lugar en deforestación a nivel mundial. De seguir con esa tendencia en 58 años desaparecerán sus selvas y en 127 años los bosques. La reducción progresiva de la superficie boscosa y selvática fue la segunda fuente más importante de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera, entre 1980 y 1996 generaron 54,000 Gg de carbono al año (SEMARNAT-INE, 2001).

A partir de los estudios de la modificación de uso del suelo y de la vegetación se establecen las tendencias de los procesos de deforestación, degradación y reducciones en la biodiversidad de un área geográfica (Lambin *et al.*, 2001). En relación a investigaciones sobre cambios de uso de suelo y vegetación, Briceño (2003) detectó desplazamientos de la frontera agrícola por la urbanización y afectaciones de los bosques por la apertura de nuevas áreas de agricultura. Castelán *et al.* (2007) documentan una reducción de la masa forestal en el periodo 1976 - 2000, principalmente del bosque mesófilo, selvas y pastizal cultivado; con incremento del pastizal inducido, la agricultura y zonas urbanas. Velázquez *et al.* (2002a) observaron para todo el país, que los asentamientos humanos, cultivos y pastizales inducidos y cultivados crecieron en sus superficies, y por el contrario, las selvas, vegetación hidrófila, pastizales naturales, matorrales y bosques disminuyeron en su extensión. En el mismo sentido Lozano (2006) cita que el uso del suelo agrícola se ha incrementado en el estado de Coahuila, de tal manera que en el lapso de 1976 a 2000 aumentó 36.5% e incidió sobre los matorrales (Lozano, 2006).

De manera más específica, el problema ambiental de la Cuenca Río Bravo-San Juan es diverso. Se tiene deterioro en el suelo por detrimento de la fertilidad y de la función productiva; así mismo, 80% presenta erosión eólica regular de 75 t km⁻² y una hídrica baja de 0 a 50 t km⁻² (Lozano, 2006). Respecto al agua, existen siete acuíferos, en los cuales hay sobreexplotación con más de 40% destinadas para actividades antrópicas. La región se cataloga de alta presión, lo que significa que el hombre se excede en el uso del agua para cubrir sus necesidades, con ello pone en riesgo la sustentabilidad regional (Lozano, 2006). Además, los acuíferos de General Cepeda-Sauceda, Cañón del Derramadero, Región Manzanera-Zapalname y Saltillo-Ramos Arizpe tienen riesgos de contaminación por la agricultura y el último, por la presencia de un relleno sanitario (Lozano, 2006).

La Cuenca Río Bravo-San Juan alberga ecosistemas frágiles debido a sus características ecológicas. En virtud de la baja precipitación y altas temperaturas se produce gran evapotranspiración, lo que contribuye a adaptaciones fisiológicas de los organismos vegetales y animales que la habitan, y determina la existencia de especies endémicas (Carmona *et al.* 2008). Por otro lado, el uso intensivo reciente de sus recursos ha mermado su equilibrio ambiental. Las contradicciones tecnológicas en las

in matters of deforestation during the decade of 1990 to 2000 (Serrano, 2002), and if this trend had continued for 58 more years, tropical forest would have disappeared. Temperate forest would wait for 127 years to be exhausted if the rate of change had not changed.

The continuous loss of tropical and temperate forest cover was considered the most important greenhouse gases emission (GHE) between 1980 and 1996, since they amounted to 54,000 Gg of carbon per year (SEMARNAT-INE, 2001).

Vegetation cover and land use change studies are means to assess deforestation trends, environmental degradation and biodiversity simplification in specific geographic locations (Lambin *et al.*, 2001). Briceño (2003) is one of several reports about land use and vegetation cover changes. This case deals with urbanization taking space from crop lands, and forest clearings opening new ground for crops. Castelán *et al.* (2007) were interested in a case where forested areas, mostly of cloud forest, were converted to artificial pastures, cropland, and urban developments in the 1976 to 2000 period. Velázquez *et al.* (2002a) is a country wide assessment that shows increases in human settlements, croplands, and artificial pastures. These newly developed areas mean time tropical and temperate forests, natural grasslands, wetlands, brush lands will hold less ground. Lozano (2006) estimates that agricultural uses of the land have increased 36.5 % in Coahuila in the 1976 to 2000 period, at the expense of brush land.

The Bravo-San Juan river basin is the site of this research. In this watershed soil has lost fertility, impairing its productive functions. Some 80% of the watershed area shows signs of wind erosion of medium intensity (75 t km⁻²), and water caused erosion of light intensity (0 a 50 t km⁻², Lozano, 2006). The watershed contains seven distinct aquifers, some of them overexploited. Over 40% of water extracted from aquifers is meant for human consumption. This region is considered to bear intense pressure because the large amount of water that people uses has become a risk to regional sustainability (Lozano, 2006). Other risks affecting this watershed aquifers involve agriculture induced pollution, and seepage from a sanitary land fill. General Cepeda-Sauceda, Cañón del Derramadero, Región Manzanera-Zapalname, and Saltillo-Ramos Arizpe are the aquifers most exposed to pollution risks (Lozano, 2006).

Bravo-San Juan river basin encompasses several fragile ecosystems threatened by several ecological factors. Low precipitation, and high temperatures sustain elevated evapotranspiration rates that demand physiological adaptations from animals and plants living there, and they also are the reason for endemic species present (Carmona *et al.*, 2008). Additionally, recent intensive resource use has shaken the region environmental equilibrium. Inconsistencies among the several technologies applied to natural resource usage,

formas de aprovechar los recursos naturales y las necesidades de los pobladores en regiones semidesérticas demandan estudiar las modificaciones de uso de la tierra y cobertura actual (Carmona *et al.*, 2008), que en conjunto determinan procesos de desertificación, vulnerabilidad, pobreza y bajo desarrollo (Reynolds *et al.*, 2007).

Por esta situación, el conocimiento de los cambios de uso de suelo y vegetación permite monitorear y analizar los paisajes rurales y urbanos de áreas semidesérticas, que están sometidos a severos procesos de degradación, tanto en la calidad y cantidad de sus recursos (por ejemplo fertilidad del suelo, disponibilidad de agua), como en sus condiciones de vida (índices de salud, ingresos económicos). Por ello es fundamental realizar investigaciones de este tipo en zonas con un desarrollo urbano e industrial que, además, poseen una riqueza de recursos naturales, como la cuenca de interés. El objetivo de este trabajo fue conocer la magnitud y dirección de los cambios de uso del suelo en la cuenca del Río Bravo-San Juan.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y características físicas del área de estudio

La cuenca del Río Bravo-San Juan forma parte de la Región Bravo-Conchos en la parte suroriente del estado de Coahuila, se ubica entre los meridianos 100° 12' a 101° 45' de longitud oeste, y los paralelos 25° 06' a 26° 27' de latitud norte (INEGI, 1983) (Figura 1). Está conformada por las subcuencas de los ríos Pesquería, Sabinas, San Miguel y Monterrey. Políticamente, la integran los municipios de Saltillo, Ramos Arizpe, General Cepeda y Arteaga.

Su área total es de 10,078.37 km²; el río San Juan es su corriente principal y el segundo en importancia en la margen sur del río Bravo; además es una de las más importantes de la región noreste del país.

Las unidades climáticas que predominan en la cuenca corresponden a los tipos semiseco templado, seco templado, templado subhúmedo, muy seco semicaldo, seco semicaldo y semiseco semicaldo. La temperatura media anual oscila de 12 a 20 °C; la precipitación total anual de 200 a 500 mm (INEGI, 1983). Los suelos son Litosoles, Xerosoles, Castañozem, Rendzinas, Yermosol, Solanchak, Feozem; con textura fina, media y gruesa. La geología está representada por rocas sedimentarias originadas en el Cretácico y parte del Jurásico; destacan las lutitas distribuidas ampliamente en la parte sureste del municipio de Ramos Arizpe, norte de Saltillo y la mayor parte de General Cepeda; las calizas abarcan el sur del municipio de Saltillo, el oriente de Ramos Arizpe y gran parte del municipio de Arteaga. Los escurrimientos

relativos de ríos de habitantes en esta semi-desértica región llama a la investigación sobre las alteraciones recientes de cobertura y uso de la tierra (Carmona *et al.*, 2008). El conjunto de factores actualmente presentes en esta región parece explicar las manifestaciones de desertificación, vulnerabilidad, pobreza, y el bajo desarrollo regional (Reynolds *et al.*, 2007).

La información sobre la cobertura vegetal y los cambios de uso de la tierra podría ser un medio para monitorear y evaluar los paisajes rurales y urbanos de regiones semidesérticas que actualmente sufren reducciones de cobertura vegetal, degradación de sus recursos (como la fertilidad del suelo y la disponibilidad de agua), y el declive en los estándares de vida (como los índices de salud e ingresos). Un escenario donde los recursos naturales ocurren en estrecha proximidad a desarrollos urbanos e industriales resulta relevante para la investigación en estas regiones, y nuestro área de estudio es una de ellas. El objetivo de esta investigación es evaluar la magnitud y la tendencia de los cambios de cobertura en la cuenca del río Bravo-San Juan.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y características físicas del área de estudio

La cuenca del río Bravo-San Juan pertenece a la Región Bravo-Conchos en el sureste del estado de Coahuila. Esta cuenca está limitada por los meridianos 100° 12' y 101° 45' Oeste, y los paralelos 25° 06' y 26° 27' Norte (INEGI, 1983) (Figura 1). La cuenca drena hacia los ríos Pesquería, Sabinas, San Miguel y Monterrey. Administrativamente, la cuenca comprende los municipios de Saltillo, Ramos Arizpe, General Cepeda y Arteaga.

El área total de la cuenca es de 10,078.37 km². El río San Juan es el principal curso de agua en la cuenca, y es el segundo mayor afluente del río Bravo. La cuenca es una de las más importantes de la región noreste de México.

Los tipos climáticos dominantes en la cuenca incluyen: semiseco templado, seco templado, templado subhúmedo, muy seco semicaldo, seco semicaldo y semiseco semicaldo. La temperatura media anual oscila de 12 a 20 °C. La precipitación total anual es de 200 a 500 mm (INEGI, 1983). Los suelos encontrados en la cuenca son: Litosol, Xerosol, Castañozem, Rendzina, Yermosol, Solanchak, y Feozem. Tienen texturas finas, medias y gruesas. La geología de la región se caracteriza por rocas sedimentarias del Cretácico y en parte del Jurásico. Las lutitas están ampliamente distribuidas en el suroeste de Ramos Arizpe, al norte de Saltillo, y en la mayor parte de General Cepeda. Las rocas calcáreas se encuentran al sur de Saltillo, al este de Ramos Arizpe, y casi en su totalidad en Arteaga. El escurrimiento de la cuenca, estimado a partir de la precipitación, infiltración y topografía, es de 20 a 50 mm por año (INEGI, 1983).

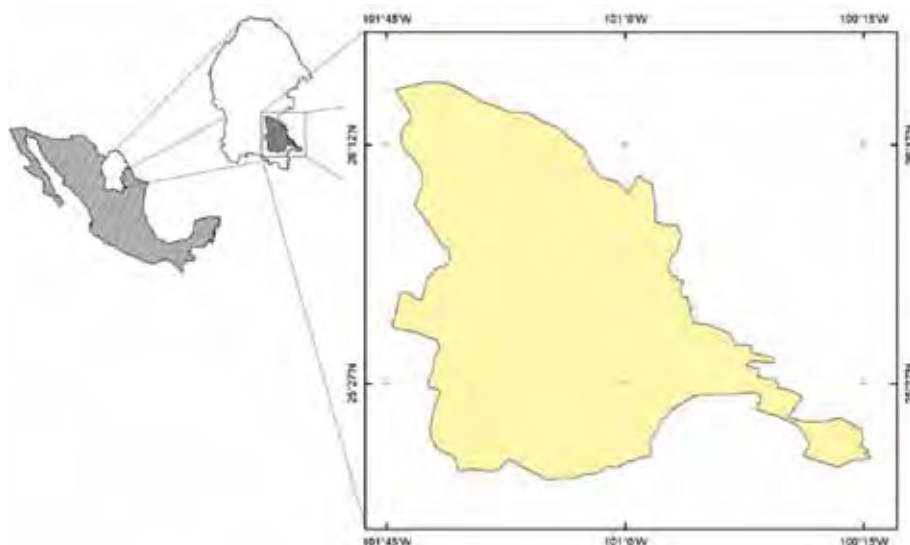


Figura 1. Ubicación de la Cuenca Río Bravo-San Juan.
Figure 1. Location of Bravo-San Juan River basin.

superficiales de la cuenca, calculados de acuerdo a la precipitación, permeabilidad de los terrenos y topografía, es del orden de 20 a 50 mm anuales (INEGI, 1983).

Desde el punto de vista demográfico, la región tiene 736,543 habitantes (INEGI, 2005), con una tasa de crecimiento anual de 1.19%. Alrededor del 30% de la población del estado se concentra en esta cuenca, en particular en Saltillo donde se asienta casi 90% de los residentes de los cuatro municipios (INEGI 2005), en dos de los cuales: Saltillo y Ramos Arizpe, en sentido descendente se verifica el crecimiento más alto de este tipo. Por lo contrario, General Cepeda se ha mantenido estable en los últimos diez años (Cuadro 1).

Cuadro 1. Población de los municipios del área de estudio.
Table 1. Population by municipality in the study area.

Municipio	1995			2000			2005		
	Población total	% respecto al total en el estado	Densidad población (hab km ⁻²)	Población total	% respecto al total en el estado	Densidad población (hab km ⁻²)	Población total	% respecto al total en el estado	Densidad población (hab km ⁻²)
Arteaga	18,907	0.9	10.4	19,353	0.8	10.6	19,622	0.8	10.8
Gral. Cepeda	11,913	0.5	3.4	11,306	0.5	3.2	11,284	0.5	3.2
Ramos Arizpe	36,440	1.7	6.9	39,851	1.7	7.5	56,708	2.3	10.7
Saltillo	527,979	24.3	77.2	577,352	25.1	84.4	648,929	26	94.9
Total	597,234	27.5		649,862	28.3		736,543	29.5	

Fuente: INEGI. I y II Censo de Población y Vivienda, 1995 y 2005; INEGI. Censo General de Población y Vivienda, 2000.
Source: INEGI. I y II Censo de Población y Vivienda, 1995 y 2005; INEGI. Censo General de Población y Vivienda, 2000.

Evaluación espacio-temporal del uso de la tierra

Procesamiento de las coberturas e imágenes SPOT. Para evaluar los cambios en la cobertura del terreno se utilizó la carta digital de Uso del Suelo y Vegetación Serie II escala 1:250,000 (INEGI, 1993), y se generó una versión actualizada de la carta al 2008 como se explica a continuación. La frontera de la Cuenca Río Bravo-San Juan se definió a partir de lo establecido por la Comisión Nacional del Agua.

La actualización al 2008 de los límites de uso de suelo y vegetación de la Serie III se realizó empleando imágenes SPOT 5, con un tamaño del píxel de 10 m. Se usaron 10 escenas que cubren la cuenca, a las cuales se les aplicó una corrección geométrica, mediante puntos de control obtenidos de la cartografía digital de topografía escala 1:50,000 de INEGI, la polinomial de segundo grado y el método de transformación del vecino más cercano. Sobre las imágenes corregidas se sobrepusieron los vectoriales de la información de Uso de Suelo y Vegetación Serie III de INEGI (información que proviene en sí misma de la corrección de los límites de los polígonos de la Serie II) y se procedió a la actualización de los polígonos de usos de suelo y vegetación. Cuyas leyendas se reagruparon y homogeneizaron para conseguir una mejor comparación entre los mapas de las dos fechas consideradas. Para ello, se usaron los campos de tipo de vegetación de la tabla de atributos de las coberturas de uso de suelo y vegetación de las Series II y III de INEGI (Cuadro 2).

was produced. Boundaries for the Bravo-San Juan river basin were taken from Comisión Nacional del Agua data.

The 2008 updated digital chart with the basin boundary, vegetation type (Series III), and land use overlaid was an output generated from processing SPOT 5 imagery. SPOT 5 imagery has a 10 m size pixel. The basin required 10 scenes. Imagery geometry was previously corrected using control points chosen from INEGI 1:50,000 scale digital elevation chart. Correction involved fitting a second degree polynomial model with a nearest neighbor transformation. Corrected imagery was overlaid over vectorial information from INEGI Series III Land Use and Vegetation chart (this information was produced from Series II corrected vectorial data). Vegetation cover and land use polygons were updated. Legends and labels were matched and regrouped to facilitate comparisons between the two dates considered. Vegetation cover and land use type attributes from INEGI Series II and III (Table 2) were taken as reference for this process.

The exactitude of this updated map was verified with a random stratified sampling survey. A total of 264 ground truth field plots were placed with the help of global ge positioning devices (GPS) (Figure 2). Field information and land classes were arranged in a confusion matrix.

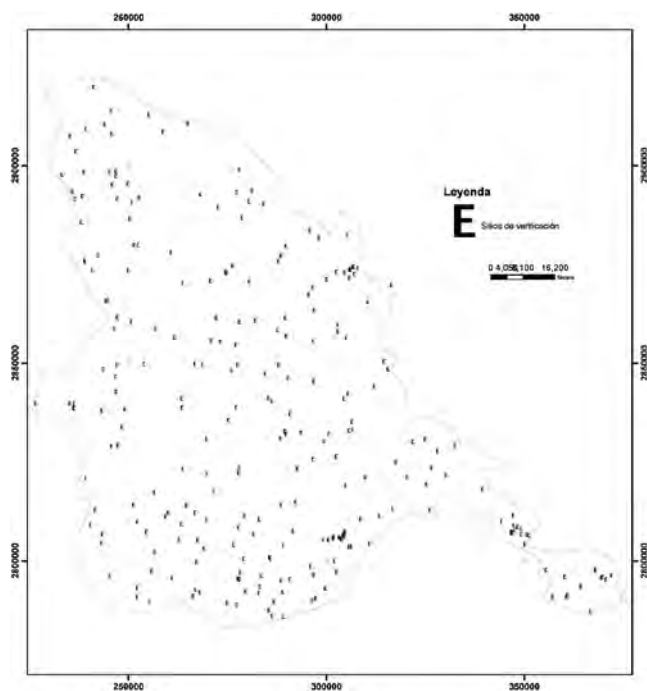


Figura 2. Distribución de los sitios de verificación del mapa de uso de suelo y vegetación en toda la cuenca.

Figure 2. Distribution of ground truth plots for vegetation cover and land use of the Bravo-San Juan river basin.

Cuadro 2. Categorías reagrupadas y homogeneizadas de las Series II y III (actualizada al 2008).
Table 2. Homogenized and regrouped categories of Series II and III (updated 2008).

Categorías utilizadas	Serie II	Serie III (actualizado al 2008)
Bosque de coníferas	Bosque de oyamel	Bosque de oyamel
	Bosque de pino	Bosque de pino
	Bosque de ayarín	Bosque de ayarín
	Bosque de pino-encino	Bosque de pino-encino
	Bosque de táscate	Bosque de táscate
Bosque de latifoliadas	Bosque de encino	Bosque de encino
	Bosque de encino-pino	Bosque de encino-pino
Matorral	Matorral desértico micrófilo	Matorral desértico micrófilo
	Chaparral	Chaparral
	Matorral desértico rosetófilo	Matorral desértico rosetófilo
	Matorral submontano	Matorral submontano
	Vegetación halófila	Vegetación halófila
Desprovista de vegetación	No aplicable	Sin vegetación aparente
Cuerpo de agua	Cuerpo de agua	Cuerpo de agua
Pastizal	Pastizal inducido	Pastizal inducido
	Pastizal natural	Pastizal natural
Agricultura	Agricultura riego	Uso agrícola, pecuario y forestal
	Agricultura riego suspendido	
	Agricultura temporal	
Zona urbana	Zona Urbana	Asentamientos humanos Zona urbana

Fuente: INEGI, Series II y III.
Source: INEGI, 1986. Series II y III.

La exactitud del mapa actualizado se verificó con un sistema de muestreo estratificado al azar consistente en 264 sitios de verificación en campo, con apoyo de sistemas de geoposicionamiento global (GPS) (Figura 2). Con la información de campo y las categorías obtenidas de la clasificación general se elaboró una matriz de confusión.

Análisis de cambios de uso del suelo y vegetación. Para realizar el análisis de cambios, la información vectorial se convirtió a formato ráster con un tamaño de píxel de 20 m. Las tasas de cambios de uso del suelo se determinaron con la siguiente ecuación (Velázquez *et al.*, 2002a):

$$tc = (S_2/S_1)^{1/n} - 1 \quad (1)$$

Donde:

- Tc = Tasa de cambio
- S₁ = Superficie de uso del suelo en el tiempo inicial
- S₂ = Superficie de uso del suelo en el tiempo final
- n = Amplitud del periodo evaluado

Dinámica de cambios multitemporal. La dinámica de cambios de uso del suelo y vegetación se construyó a partir de una

Analysis of vegetation cover and land use change. Vectorial information was translated into a raster format with a pixel size of 20 m. The rate of change of land use was calculated with the following equation (Velázquez *et al.*, 2002a):

$$tc = (S_2/S_1)^{1/n} - 1 \quad (1)$$

Where:

- Tc =Rate of change of land cover c
- S₁ = Area with land cover c at time 1
- S₂ = Area with land cover c at time 2
- n = Period elapsed between time 1 and time 2

Multitemporal change dynamics. The dynamics of vegetation cover and land use change was a product estimated from a transition matrix (Eastman, 2001). This matrix has a symmetrical structure with vegetation and land use categories at the initial year on one side, and vegetation and land use categories at the second year on the other. Diagonal cells display the area that remained with the same cover category through the time window studied. Values on other cells indicate specific area changes of one category into a different cover type (Eastman, 2001; López *et al.*, 2001).

matriz de transición (Eastman, 2001), que consiste en una tabla con arreglos simétricos. En uno de sus ejes se ordenan las clases de uso del suelo en el año base, y en el otro eje la información del segundo año. Los valores de la diagonal de la matriz representan la superficie de cada clase que permaneció o persistió en la misma categoría durante el periodo estudiado; y las que están fuera de la diagonal son áreas en transición o cambiaron a otro uso (Eastman, 2001; López *et al.*, 2001).

El análisis multitemporal se realizó a través de la comparación de las categorías de los mapas de la Serie II de Uso de Suelo y Vegetación de 1993, y el actualizado al 2008. Se detectaron los cambios de las categorías mediante el cruce de la información de las coberturas de las dos fechas. Se estimaron y analizaron las pérdidas y ganancias de cada categoría a partir de la matriz de tabulación cruzada (obtenida anteriormente). Se calculó el cambio neto y los intercambios sistemáticos que ocurrieron entre las diferentes categorías de la ocupación del suelo y las relaciones entre pérdida y ganancia, y viceversa, con base en la metodología de Pontius *et al.* (2004):

$$\text{Las pérdidas estimadas: } P = Stc_1 - Pc \quad (1)$$

$$\text{Las ganancias estimadas: } G = Stc_2 - Pc \quad (2)$$

Donde:

Stc_1 = Superficie de la categoría en el año 1

Stc_2 = Superficie de la categoría en el año 2

Pc = Persistencia de la categoría

Las relaciones pérdida/ganancia (P/G) y ganancia/pérdida (G/P) de cada categoría se estimaron con una división P/G y G/P, respectivamente, a partir de los calculados anteriormente. Índice de persistencia. Se utilizaron los índices de persistencia propuestos por Braimoh (2006) para evaluar las características de las zonas estables en relación a las ganancias, pérdidas, intercambios y cambios netos por categoría.

El índice de ganancia a persistencia fue calculado como:

$$Gp = Gij / Pij \quad (3)$$

Donde:

Gij = Superficie ganada de la categoría i en el año 2

Pij = Persistencia de la categoría i entre las fechas consideradas

El índice de pérdidas a persistencia fue calculado como:

$$Lp = Lij / Pij \quad (4)$$

Donde:

Lij = Superficie pérdida de la categoría i en el año 1

Pij = Persistencia de la categoría i entre las fechas consideradas

Multitemporal analysis compares area occupied by categories from Series II map of Vegetation Cover and Land Use in 1993, with values from the 2008 map. Changes among entire categories were identified contrasting information from each cover type at the two points in time. Estimates of area that changed cover type were taken from the confusion table (as described above). Net change was summarized, systematic change patterns were identified among land cover categories, and losses and gains were tallied using methods from Pontius *et al.* (2004):

$$\text{Estimated loss: } P = Stc_1 - Pc \quad (1)$$

$$\text{Estimated gain: } G = Stc_2 - Pc \quad (2)$$

Where:

Stc_1 = Area in category c at time 1

Stc_2 = Area in category c at time 2

Pc = Area that remained in the same category c from time 1 to time 2

Loss/gain rates (P/G), and gain/loss rates (G/P) for each category were computed dividing P/G and G/P, respectively, from (1) and (2). Persistence index. Braimoh (2006) indices were used to evaluate which locations had stable conditions respect gains, losses, trade offs, and net changes for each category.

The rate of gains to persistence was computed as:

$$Gp = Gij / Pij \quad (3)$$

Where:

Gij = Area gained by category j to category i at time 2

Pij = Area with persistence of category j during the time period considered

The rate of losses to persistence was computed as:

$$Lp = Lij / Pij \quad (4)$$

Where:

Lij = Area lost by category j to category i at time 2

Pij = Area with persistence of category j during the time period considered

Ratios over 1 indicate a category with a tendency to convert to a different class rather than retain the initial cover type.

Area exchanged between categories was calculated as:

$$Int = 2 * m_{pg} \quad (5)$$

Where:

Int = Area exchanged

Los valores resultantes mayores a 1 señalan que una categoría tiene una tendencia alta a presentar una transición hacia otra clase más que a persistir.

El intercambio de superficies entre categorías se determinó:

$$Int = 2 * m_{pg} \quad (5)$$

Donde:

Int = Intercambios de superficie
 m_{pg} = El valor mínimo entre las pérdidas y las ganancias ocurridas en la categoría

El cambio neto se estimó:

$$CN = G - P \quad (6)$$

Donde:

CN = Cambio neto
 G = Ganancias
 P = Pérdidas

El procedimiento y análisis espaciales se llevaron a cabo en los sistemas de información geográfica ArcGis™ 9.3 e IDRISI™ versión Andes (Eastman, 2006). La corrección geométrica de las imágenes SPOT se efectuó con el software ERDAS Imagine™ (Erdas, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución de uso de suelo y vegetación actualizada

La precisión del mapa de uso de suelo y vegetación actualizado al 2008 fue de 80%. A partir de esta base el matorral se localiza en casi toda la cuenca (70%). La agricultura se practica fundamentalmente hacia el sur, y se extiende por la zona central hacia el norte, cubre 14% del área total. La mayor superficie de bosque de coníferas se ubica en el sur, sureste y suroeste y en baja proporción en el noroeste, que en conjunto corresponden a 11%. El pastizal domina en la parte sur y se le encuentra en pequeñas superficies en el noroeste sobre 3% de la cuenca. La zona urbana se ha desarrollado especialmente en el sur, donde están las ciudades de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga, las cuales se desplazan en 1.5% de la cuenca. Los bosques mixto y de latifoliadas crecen en el sur de la misma y ocupan 0.25 y 0.05%, respectivamente. Los cuerpos de agua y las áreas desprovistas de vegetación están dispersas en el centro-norte y representan 0.12 y 0.24% cada una (Figura 3 y Cuadro 3).

m_{pg} = Smallest absolute value of any losses or gains for one category

Net change was calculated as:

$$CN = G - P \quad (6)$$

Where:

CN = Net change
 G = Gains
 P = Losses

Spatial processing and analysis were carried out with the help of two off the shelf commercial software packages, in this case they were the geographic information systems ArcGis™ 9.3, and IDRISI™ version Andes (Eastman, 2006). Geometric correction of SPOT imagery was possible through the use of ERDAS Imagine™ software (ERDAS, 1999).

RESULTS AND DISCUSSION

Updated distribution of vegetation cover and land use

Overall precision of the 2008 updated vegetation cover and land use was 80%. Brushland is the vegetation cover that most appears all over the basin (70%). Agriculture is practiced mostly in the south, though it extends also through the north and center, covering 14% of the total area. Most conifer forest cover occurs at the south, southeast, and southwest, with a small presence at the northeast. Conifer forest polygons add up to 11% of the total cover. Grassland dominates in the south, and there are small patches of grassland in the northeast, they represent 3% of the total cover. Urban areas concentrate at the south end. They occupy 1.5% of the basin, and they include the cities of Saltillo, Ramos Arizpe, and Arteaga. Mixed forest, and broadleaved forest are found in the south, covering 0.25% and 0.05% respectively (Figure 3, Table 3).

Analysis of changes in the 1993-2008 period

Largest area changes are for cropland and urban settlements. Agriculture tends to be in the central northern side, the southwest and in the south. New urban development concentrates in the south, though growth has been stretching mostly towards northeast and east of city limits. Area covered by water bodies also increased in the central zone, while brushland and grassland expanded in the north. Figure 4 displays basin wide changes from 1993 to 2008. Legend notation indicates the first and second period land covers with a capital letter for each, separated by a comma.

Changes detected are consistent with Lozano (2006). This report states that agriculture has taken area from brushland

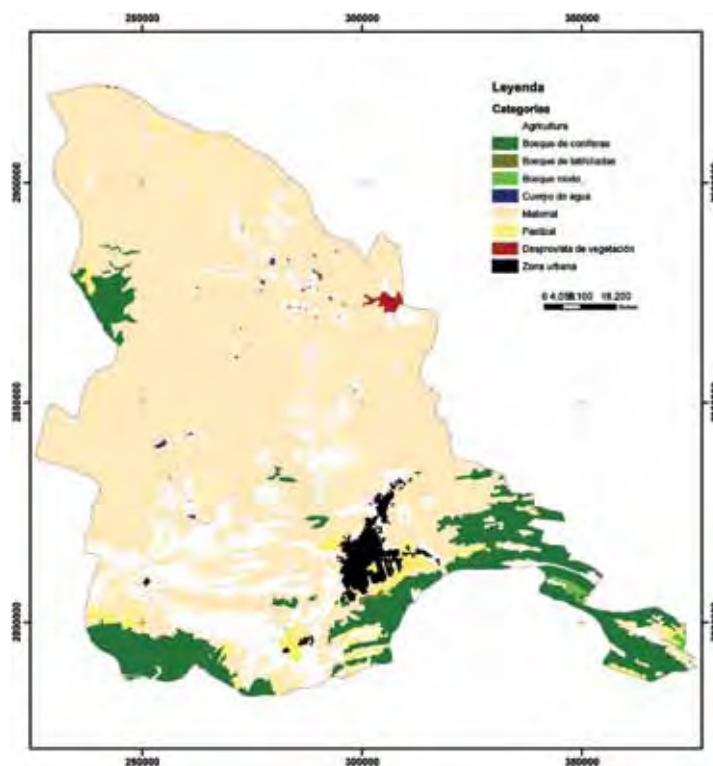


Figura 3. Mapa de uso de suelo y vegetación actualizada al 2008.
 Figure 3. Vegetation cover and land use map updated in 2008.

Análisis de cambios en el periodo 1993-2008

Las modificaciones de las coberturas con mayor área se presentan en agricultura y la zona urbana. Las primeras están distribuidas en la parte centro-norte y hacia el suroeste y sur; las segundas modificaciones se agrupan en la parte sur, y se hace notable que los crecimientos urbanos se dieron en dirección noreste y este, principalmente. La cobertura de los cuerpos de agua aumentó en la parte central de la cuenca y a matorral y a pastizal, en el norte. En la Figura 4 se pueden observar los cambios que hubo de 1993 a 2008 en la cuenca, en la leyenda cada simbología esta representada con letras mayúsculas separada por una coma; la primera letra indica el uso de suelo o vegetación que había en 1993 y la segunda significa a la que cambió en 2003.

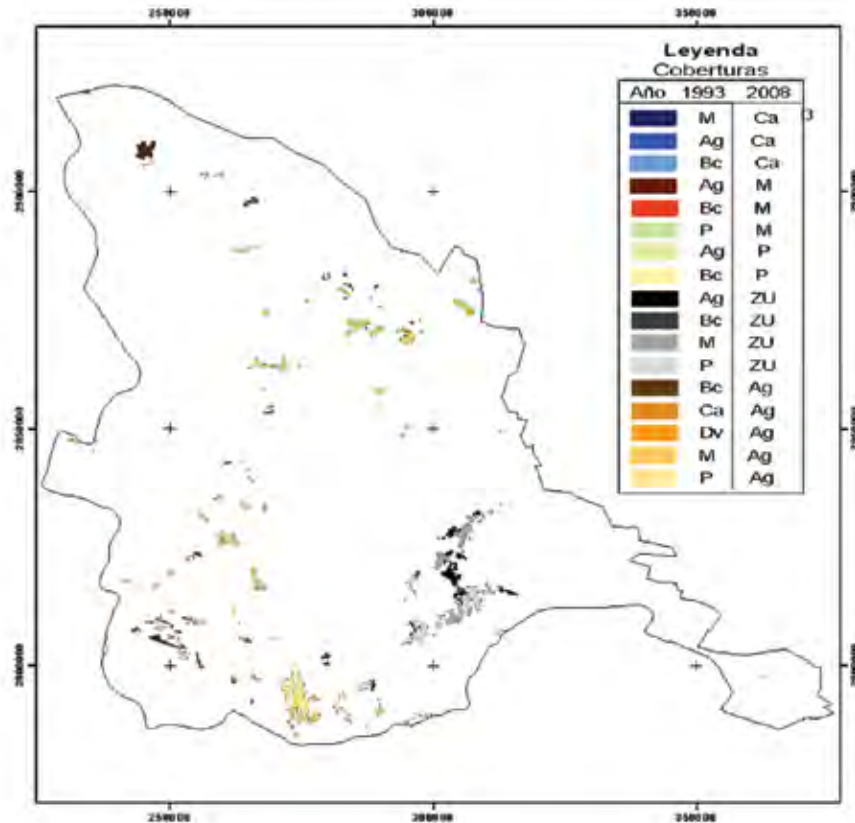
Los cambios determinados son congruentes con Lozano (2006). El uso agrícola avanzó hacia el matorral en el periodo de 1976 a 2000; así mismo se reconoce que otros usos como cuerpo de agua y zona urbana también aumentaron en áreas de matorral. Los cambios a uso urbano y agrícola provienen principalmente de zonas de agricultura, matorral, pastizal y bosque de coníferas. El crecimiento urbano se presentó en la periferia de los principales caminos, tal y como lo registró Portes (2001), en las vías de comunicación más importantes hacia Zacatecas, Ciudad de México (cuota) y Monterrey.

during 1976 to 2000. Brushland was also cleared to make room for urban development and water bodies. In our research the new urban zones took over crop lands, and both have expanded taking ground from brushland, grassland, and conifer forest. The urban expansion was noticeable clear near main roads, as reported by Portes (2001); these roads involve mainly the highways to Zacatecas and Monterrey, and Mexico City toll freeway.

Rates of change

By and large negative values were estimated for: grassland (-1.2%, net loss of 5,946 ha), bare soil (-0.4%, net loss of 133 ha), and brushland (-0.01%, net loss of 6,083 ha). On the other hand, peak positive rates of change resulted for urban settlements (3.8%, net gain of 7,089 ha), water (1.4%, net gain 229 ha), and crop land (0.2%, net gain 5,065 ha) (Table 3).

Results for brush and grass decline, and expansion of urban and agricultural uses match national statistics reported by Velázquez *et al.* (2002b), and those from Pineda *et al.* (2009) for Mexico state. In our case brushland diminished -0.1%, which is a third of the -0.3% rate in Velázquez *et al.* (2002b). The joint class of urban and water cover yields a -5.2% change, similar to the 5.99% in Velázquez *et al.* (2002b), though they represent different scales of study. As for grassland, our value was -1.2%, but the national



M = Matorral; Bc = Bosque de coníferas; P = Pastizal; Ag = Agricultura; Ca = Cuerpo de agua; Dv = Desprovista de vegetación; Zu = Zona urbana.

M=brushland; Bc=Conifer forest; P=grassland; Ag=cropland; Ca=water; Dv=bare soil; Zu=urban.

Figura 4. Áreas que tuvieron cambios de uso de suelo y vegetación en el periodo de 1993 a 2008.

Figure 4. Areas that changed vegetation cover or land use in the 1993 to 2000 period.

Tasa de cambio

De forma general, las categorías con valores negativos fueron: pastizal con -1.2% o una disminución en su superficie de 5,946 ha; áreas desprovistas de vegetación con -0.4% (disminución de 133 ha) y el matorral con -0.1% (una reducción de 6,083 ha). En contraste, las tasas altas de cambio positivo correspondieron a la zona urbana con 3.8% (aumento de 7,089 ha), los cuerpos de agua 1.4% (aumento de 229 ha) y la agricultura 0.2% (5,065 ha) (Cuadro 3).

Los datos estimados para la disminución de área de matorral y pastizal y de crecimiento de la superficie de uso urbano y agrícola son acordes con los consignados por Velázquez *et al.* (2002b), a nivel nacional, y por Pineda *et al.* (2009) en el Estado de México. La tasa de cambio para matorral fue de -0.1%, que equivale a un tercio de lo calculado por Velázquez *et al.* (2002b), de -0.3%. Con respecto al uso urbano y cuerpo de

report estimated an increase of 0.91%. Forested areas seem to have remained at the same level, though national estimates assess a loss of -0.25% (Velázquez *et al.*, 2002b).

Out of 1,007,837 ha of total basin area, 1.9 % (19,537 ha) changed vegetation cover or land use during the studied time span. Tradeoffs explain 73.2% (14,307 ha) of those changes, and 26.8% (5,230 ha) were net changes. The highest P/G and G/P relations were for grassland (113 and 0.01 respectively). These values point out the sharp shrinking trend in grassland area. Grasslands that changed to other land covers added up to 5,996 ha during the study period. A similar, though less firm trend is seen in the brushland case. The opposite trend appears in the water covered area, where P/G was 0.02, and G/P reached 47.14; these values resulted from a significant expansion of 236 ha of new places that now are under water. Regarding agriculture, area with crops increased to reach a P/G of 0.46, and G/P of 2.16, because of 9,427 ha of newly opened crop land (Table 4).

agua juntos, su tasa fue de 5.2%, muy similar a la de Velázquez *et al.* (2002b) de 5.99%, aunque en otra escala. En cuanto al pastizal, el valor fue de -1.2%, que contrasta con el de dichos autores, cuya tasa de cambio correspondió a 0.91%. En referencia a bosques, las la tasas de cambios indican que no hubo modificaciones, lo que contrasta con los de escala nacional, que son del orden de -0.25% (Velázquez *et al.*, 2002b).

Area growth for agriculture and water bodies occurred mainly in the southern side of the basin. This is an expected outcome because the south section of the basin contains four important aquifers: 1) Cañón del Derramadero; 2) General Cepeda and Saucedá; 3) Manzanera and Zapalinamé; and 4) Saltillo and Ramos Arizpe. This latter aquifer is exposed to a high risk of contamination because of significant urban and industrial

Cuadro 3. Tasa de cambios de uso de suelo y vegetación en la Cuenca Río Bravo-San Juan (periodo 1993 a 2008).
Table 3. Rates of change in vegetation cover and land use in the Bravo-San Juan river basin (period 1993 to 2008).

Categorías	Superficie 1993 (ha)	%	Superficie 2008 (ha)	%	Tasa de cambio (%)
Agricultura	133,425	13.24	138,491	13.74	0.20
Bosque de coníferas	113,824	11.29	113,602	11.27	0.00
Bosque de latifoliadas	470	0.05	470	0.05	0.00
Bosque mixto	2,511	0.25	2,511	0.25	0.00
Cuerpos de agua	977	0.1	1,206	0.12	1.40
Matorral	709,369	70.39	703,286	69.78	-0.10
Pastizal	35,227	3.5	29,281	2.91	-1.20
Desprovisto de vegetación	2,526	0.25	2,392	0.24	-0.40
Zona urbana	9,508	0.94	16,597	1.65	3.80
Total general	1,007,837	100	1,007,837	100.00	0.00

De la superficie total, 1,007,837 ha, que cubre toda la cuenca 1.9% (19,537 ha) presentó algún cambio de uso de suelo y vegetación, del cual 73.2% (14,307 ha) fueron intercambios entre categorías y 26.8% (5,230 ha) a modificaciones netas. En cuanto a la relación P/G y G/P, los valores más significativos se concentraron en el pastizal 113 y una G/P de 0.01. Esto significa que tiende a perder extensión de manera importante, lo que resulta en una disminución de superficie de 5,996 ha durante el periodo bajo estudio. La misma situación se exhibió en el matorral, pero menos substancial. Caso contrario ocurrió en los cuerpos de agua, que tuvieron una P/G de 0.02 y G/P de 47.14, es decir presentaron mayor ganancia que pérdida, con un incremento de 236 ha; en el caso de la agricultura fueron para P/G de 0.46 y G/P de 2.16, por lo que hubo un aumento de 9,427 ha (Cuadro 4).

El crecimiento del uso agrícola y cuerpos de agua se verificó, principalmente, en la parte sur de la cuenca, y responde a que aquí se encuentran cuatro mantos acuíferos importantes: 1) Cañón del Derramadero; 2) General Cepeda y Saucedá; 3) Manzanera y Zapaliname y 4) Saltillo y Ramos Arizpe. Este último acuífero tiene un alto riesgo de contaminación debido al desarrollo urbano e industrial que existe en la zona, los cuales propician una alta demanda por el consumo de agua (Lozano, 2006).

developments in that zone, and because these developments pose a high water demand (Lozano, 2006).

Permanence index

Diagonal values in the matrix at Table 5 keep tabs on area whose land cover did not change in the period studied. The persistence index is intended to assess land cover vulnerability to transitions that can either be area increase or reduction. The percentage of unchanged cover area was 98% for the entire basin, which means a great persistence of the initial landscape; the additional 2% is made up of all the places that had modifications in their land cover. This result is in agreement with similar research. Pontius *et al.* (2004), Burnicki *et al.* (2007) y Plata *et al.* (2009) stated that landscape persistence frequently exceeds 90%. Persistence in Mexico state was estimated in 93.3% (Pineda *et al.*, 2009), and it went up to 97 % at the scale of the entire country (Velázquez *et al.*, 2002b). Cortina *et al.* (1998) assessed 90% persistence in two south western states in Mexico.

The largest persistence values were calculated for water bodies (1.24), urban zones (0.75), and cropland (0.07). The lowest persistence values were for grassland (-0.21), bare soil (-0.06), and cropland (-0.03). In the case of agriculture, its extreme values (Gp = 0.07, Lp = 0.03) indicate that cropland suffered the most intense exchange with other land covers during 1993 to 2008.

Cuadro 4. Resumen de cambio en nivel de categoría.
Table 4. Summary of changes between land categories.

Categorías	Ganancias	%	Pérdida	%	Intercambios	%	Cambio	%	Cambio	%	Relación	
	(ha)		(ha)		(ha)		total (ha)		neto (ha)		P/G	G/P
Agricultura	9,427	0.94	4,362	0.43	8,723	0.9	13,788	1.37	5,065	0.50	0.46	2.16
Bosque de coníferas	0	0.00	220	0.02	0	0.0	220	0.02	220	0.02	0.00	0.00
Bosque de latifoliadas	0	0.00	0	0.00	0	0.0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00
Bosque mixto	0	0.00	0	0.00	0	0.0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00
Cuerpos de agua	236	0.02	5	0.00	10	0.0	241	0.02	231	0.02	0.02	47.14
Matorral	2,734	0.27	8,821	0.88	5,468	0.5	11,555	1.15	6,087	0.60	3.23	0.31
Pastizal	53	0.01	5,996	0.59	106	0.0	6,049	0.60	5,943	0.59	113.50	0.01
Desprovisto de vegetación	0	0.00	133	0.01	0	0.0	133	0.01	133	0.01	0.00	0.00
Zona urbana	7,088	0.70	0	0.00	0	0.0	7,088	0.70	7,088	0.70	0.00	0.00
Total general	19,537	1.94	19,537	1.94	14,307	1.4	39,074	3.88	24,767	2.46		

Índice de permanencia

En el Cuadro 5, los valores de la diagonal en dirección superior izquierda e inferior derecha muestran los de las zonas que se han conservado estables durante el período estudiado, es decir, son superficies de las categorías que no se modificaron. El análisis del índice de persistencia permite conocer la vulnerabilidad de las mismas a una transición de pérdida o ganancia. El porcentaje del territorio de la cuenca que se mantuvo sin cambios fue de 98%, lo cual significa una alta permanencia del paisaje; mientras que, el resto, 2.0%, presentó

Regarding area gains, the outstanding category is cropland, which opened new 9,427 ha (0.9% of basin). Increases in cropping area took ground from brushland (6,661 ha), conifer forest (103 ha), grassland (2,524 ha), water (103 ha), and bare soil ground (133 ha). Urban development took an additional 7,088 ha (0.7%), from grassland (3,061 ha), crops (2,958 ha), brush (1,959 ha), and marginally from forest (11 ha). Brushland increased area in 2,734 ha (0.3%), mainly because of old fields (2,242 ha), and conversions from grassland (411 ha), and forest (81 ha).

Cuadro 5. Matriz de cambios en la Cuenca Río Bravo-San Juan (período 1993 a 2008) (valores en hectáreas).
Table 5. Exchange matrix for Bravo-San Juan river basin, 1993-2008 (hectares).

1993 2008	MAT	BC	P	AG	CA	DV	ZU	BM	BL	Total	ganancia	Gp	Lp
MAT	700,544	81	411	2,242	0	0	0	0	0	703,278	2,734	0.00	0.01
BC	0	113,605	0	0	0	0	0	0	0	113,605	0	0.00	0.00
P	0	21	29,234	32	0	0	0	0	0	29,286	53	0.00	0.21
AG	6,661	103	2,524	129,070	5	133	0	0	0	138,496	9,427	0.07	0.03
CA	202	4	0	31	973	0	0	0	0	1,209	236	1.24	0.00
DV	0	0	0	0	0	2,392	0	0	0	2,392	0	0.00	0.06
ZU	1,959	11	3,061	2,058	0	0	9,509	0	0	16,597	7,088	0.75	0.00
BM	0	0	0	0	0	0	0	2,514	0	2,514	0	0.00	0.00
BL	0	0	0	0	0	0	0	0	470	470	0	0.00	0.00
Total	709,365	113,825	35,230	133,431	978	2,526	9,509	2,514	470	23,279,628			
Pérdida	8,821	220	5,996	4,362	5	133	0	0	0				

Mat = Matorral; BC = Bosque de coníferas; P = Pastizal; AG = Agricultura; CA = Cuerpo de agua; DV Desprovista de vegetación; ZU = Zona urbana; BM = Bosque mixto; BL = Bosque de latifoliadas; Gp = Índice de ganancia a persistencia. Lp = Índice de pérdidas a persistencia.

Mat = brushland; BC = conifer forest; P = grassland; AG = cropland; CA = water; DV = bare soil; ZU = urban; BM = mixed forest; BL = broadleaved forest; Gp = gains to persistence ratio; Lp = losses to persistence ratio.

alguna modificación de uso del suelo. Esto es congruente con otros trabajos, pues según Pontius *et al.* (2004), Burnicki *et al.* (2007) y Plata *et al.* (2009) el nivel de persistencia en el paisaje suele superar 90%. En similares, Pineda *et al.* (2009) en el Estado de México obtuvieron 93.3%; Velázquez *et al.* (2002b) documentaron para todo el país 97%, para coberturas naturales; por su parte Cortina *et al.* (1998) citan 90% de zonas estables en dos estados del sureste mexicano.

Los índices de persistencia positivos más altos se determinaron para los cuerpos de agua (1.24), zonas urbanas (0.75) y agricultura (0.07). El índice de persistencia negativo superior correspondieron al pastizal (0.21), las áreas desprovistas de vegetación (0.06) y la agricultura (0.03). Con respecto a la agricultura, sus valores ($G_p = 0.07$ y $L_p = 0.03$) indican que es el uso con mayor intercambio durante 1993 a 2008.

Referente a la superficie ganada, la categoría sobresaliente es la agricultura con 9,427 ha (0.9% del área de la cuenca); esto obedeció a que se incorporaron áreas de matorral (6,661 ha), bosque de coníferas (103 ha), pastizal (2,524 ha), cuerpos de agua (5 ha) y desprovistas de vegetación (133 ha). El aumento de la zona urbana de 7,088 ha (0.7%) consistió en aportaciones del pastizal (3,061 ha), la agricultura (2,058 ha), el matorral (1,959 ha) y, en baja proporción, el bosque de coníferas (11 ha). El incremento del matorral de 2,734 ha (0.3%) se debió, en primer lugar, al uso agrícola (2,242 ha), al pastizal (411 ha) y al bosque de coníferas (81 ha).

Es importante señalar que los resultados obtenidos de dinámica de uso de suelo y vegetación que utiliza el método de tasa de cambios de Velázquez *et al.* (2002a) muestran datos y valores muy genéricos; a diferencia de los derivados por los métodos de Pontius *et al.* (2004) y Braimoh (2006), a partir de los cuales se obtiene un análisis detallado. Ejemplo de ello, se observa en el bosque de coníferas, donde no hubo valor de tasa de cambio; sin embargo, mediante el análisis detallado se estimó la pérdida de 220 ha.

CONCLUSIONES


Las modificaciones de las superficies en el periodo de 15 años (1993-2008) son bajas. Las mayores tasas de cambios positivos se presentan para el uso urbano, cuerpo de agua y agricultura: las negativas se observan en el pastizal y matorral. Los cambios reflejados en ganancias, pérdidas e intercambios representan 2% del área total de la cuenca. Los usos con valores mayores en ganancias son el agrícola, el urbano y el matorral y de pérdidas el matorral, pastizal y agricultura; los que tienen intercambios la agricultura, matorral y en menor proporción el pastizal.

It is important to make it clear that rate of change methods such as Velázquez *et al.* (2002a) yield rough generic assessments of vegetation cover and land use dynamics. Other methods such as Pontius *et al.* (2004), and Braimoh (2006) offer a more detailed portrayal and analysis. This idea can be exemplified by recalling that in this study forested cover had a null rate of change, but additional analysis uncovered a loss of 220 ha.

CONCLUSIONS


In a 15 year time span (1993 - 2008) land cover barely changed in the Bravo-San Juan river basin. Strongest expansions were seen in urban, water, and crop covers. Worst area losses accrued to grassland and brushland. Gains, losses, and exchanges add up to 2% of the basin area. Cover types with significant area gains were cropland, urban, and brushland. The covers with major losses were brushland, grassland, and cropland. Cover types that suffered both gains and losses include cropland, brushland, and marginally grassland too.

Largest positive persistence values were produced for water, urban, and crop covers. Biggest negative persistence indices were outputs from grassland, bare soil, cropland, and brushland. In general terms, persistence in vegetation cover and land use in the basin was around 98%.

Methods chosen to assess vegetation cover and land use changes include rate of change, multitemporal assessment, change assessment (losses, gains, tradeoffs), and persistence indices. These methods were powerful enough to describe in detail changes of land cover in this study case. 

End of the English version

Los mayores índices de persistencia positivos corresponden a cuerpo de agua, el urbano y la agricultura. Los mayores índices de persistencia a perder son para pastizal, áreas desprovistas de vegetación, agricultura y matorral. En forma general, el nivel de persistencia de uso del suelo y vegetación en la cuenca es de aproximadamente 90%.

La metodología utilizada para la estimación de la tasa de cambios, evaluación multitemporal, estimación de cambio (de pérdidas, ganancias e intercambios) e índices de persistencia permiten analizar de forma detallada y específica las modificaciones que se dan en el uso de suelo y vegetación de una región. 

REFERENCIAS

- Barrera B., N. y B. Ortiz. 1992. Transformación del uso del suelo y diferencialidad espacial: el caso del trópico Veracruzano. In: Fuentes A., L. (Ed.). Cambios en el uso del suelo agrícola en México. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F. México. 83-122.
- Braimah, A. K. 2006. Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 113(1-4):254-263.
- Briassoulis, H. 2000. Analysis of land use change: Theoretical and modeling approaches. West Virginia. West Virginia University. <http://www.wvri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/Chapter3.htm>. (23 de mayo de 2010).
- Briceño, F. 2003. Cambios de cobertura de la tierra en el Valle de Río Mombay, Estado de Trujillo. *Geoenseñanza*. 8(1):91-100.
- Bocco, G., M. Mendoza y O. R. Masera. 2001. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F. México. 44:18-38.
- Burnicki A. C., D. G. Brown and P. Goovaerts. 2007. Simulating error propagation in land-cover change analysis: the implications of temporal dependence. *Computers, Environment and Urban Systems* 31: 282-302.
- Carmona L., M. del P., R. Foroughbakhch, A. Flores V., M. A. Alvarado y M. A. Guzmán L. 2008. Flora cactológica y especies asociadas en el área natural protegida Sierra Corral de los Bandidos, Nuevo León, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 79(2):307-323.
- Castelán V., R., J. Ruiz C., G. Linares F., R. Pérez A. y V. Tamariz F. 2007. Dinámica de cambio espacio-temporal de uso del suelo de la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México. *Investigaciones Geográficas*, Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F. México. 64: 75-89.
- Cortina, V. S., P. Macario y Y. Ogneva H. 1998. Cambios en el uso del suelo y deforestación en el sur de los estados de Campeche y Quintana Roo, México. *Investigaciones Geográficas*, Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F. México. 38:41-56.
- Dale, V. H. 1997. The relationship between land-use change and climate change. *Ecological Applications*. 7(3):753-769.
- Eastman, J. R. 2001. Guide to GIS and Image Processing. Vol. 2. Clark Labs. Clark University, Worcester, MA, USA. 144 p.
- Eastman, J. R. 2006. Guide to GIS and Image Processing. Vol. 2. Clark Labs. Clark University, Worcester, MA, USA. 327 p.
- González G., M. de J. 2001. Future scenarios of land use in the California Mojave Desert. Dissertation. Forest Resources Department, Utah State University. Logan, UT, USA. 163p.
- Houghton, R. A. 1994. The worldwide extent of land-use change. *BioScience*. 44:5305-306.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1983. Síntesis Geográfica del Estado de Coahuila. Secretaría de Programación y Presupuesto. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, D. F. México. 163 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1986. Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie II. México. Escala 1: 250,000.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. Censo de Población y Vivienda, 2000. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2000/default.aspx>. (20 de abril de 2010).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. II Conteo de Población y Vivienda 2005. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2005/Default.aspx>. (28 de abril de 2010).
- Lambin, E. F. 1994. Modelling Deforestation Processes. A Review. Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellite (TREES). Series: Research Report No. 1. Publicado por la Comisión Europea. Luxemburgo, Lux. 113 p.
- Lambin, E. F., B. I. Turner, J. G. Helmut, S. B. Agbola, A. Angelsen, J. W. Bruce, O. T. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P. S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E. F. Moran, M. Mortimore, P. S. Ramakrishnan, J. F. Richard, H. Skanes, W. Steffen, G. D. Stone, U. Svendin, T. A. Veldkamp, C. Vogel and J. Xu. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11: 261-269.
- Earth Resources Data Analysis System (ERDAS). 1999. ERDAS Fiel Guide. 5^o edition. USA. 664 p.
- López G., E. M. G. Bocco y M. E. Mendoza C. 2001. Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo. El caso de la ciudad de Morelia. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*. UNAM, Morelia, Mich. México. 45: 56-76.
- Lozano G., D. F. 2006. Ordenamiento Ecológico de la Región Cuenca de Burgos. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Tecnológico de Monterrey, Universidad Agraria Antonio Narro, Pronatura. <http://albers.mty.itesm.mx/proyectos/web/oeburgos/index.html>. (20 de marzo de 2010).
- Masera O., R., M. J. Ordóñez and R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* 35(3):265-295.
- Oyinloye R., O., B. F. Agbo and Z. O. Aliyu. 2004. Land Use/Land Cover Mapping in Osun State using NigeriaSat-1 Data. <http://www.nasrda.gov.ng/docs/gueye.pdf> (13 de abril de 2010).
- Pineda J., N. B., J. Bosque S., M. Gómez D. y W. Plata R. 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. Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM. 69:33-52.
- Pineda J., N. B., J. Bosque S., M. Gómez D. y W. Plata R. 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. Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM. 69:33-52.
- Plata R., W.; M. Gómez D. y J. Bosque S. 2009. Cambios de usos del suelo y expansión urbana en la Comunidad de Madrid (1990-2000). *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Barcelona, España 8(293):1138-9788.
- Pontius, R. G.; Shusas, E. and McEachern, M. 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 101(2-3): 251-268.
- Portes V., L. 2001. Evaluación del cambio de uso de suelo y del paisaje regional en la sierra Zapalinamé, Coahuila. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*. 2(1):41-51.
- Reynolds, J., M. Stafford, F. Lambin, B. Turner, M. Mortimore, S. Batterbury, T. Downing, H. Dowlatabadi, R. Fernández, J. Herrick, E. Huber, H. Jiang, R. Leemans, T. Lynam, F. Maestre, M. Ayarza and B. Walker. 2007. Global Desertification: Building a Science for Dryland Development. *Science* 316(5826): 847-851.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT-INE). 2001. Inventario nacional de gases de efecto invernadero 1993 a 2002. México, D. F., México. 78 p.

- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2008. Informe de la situación del medio ambiente en México. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. http://appl.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008/index_informe_2008.html. (15 de abril de 2010).
- Serrano G., E. 2002. Contribución al conocimiento del México forestal. Datos, Hechos y Lugares. 22:7-14.
- Vitousek, P. M., H. A. Mooney, J. Lubchenco and J. M. Melillo. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*. 277(2325):494-499.
- 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. 2002a. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta 62*. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT. México, D.F. México, pp. 21-37.
- Velázquez, A., J. F. Mas y J. L. Palacios. 2002b. Análisis del cambio de uso del suelo. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT. México, D.F. México. 83 p.
- Vink, A. P. A. 1975. *Land use in advancing agriculture*. Springer, Berlin. Heidelberg, New York. NY. USA. 392 p.