

## Diagnóstico del uso del suelo y vegetación en la microcuenca Tula, México

Mayra Clementina Zamora Elizalde<sup>1</sup>

Julio Cesar Buendía Espinoza<sup>1§</sup>

Pedro Arturo Martínez Hernández<sup>2</sup>

Rosa María García Nuñez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible-Departamento de Suelos-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Texcoco-México km 38.5, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (jcbuendiae@hotmail.com). <sup>2</sup>Posgrado en producción animal-Departamento de Zootecnia-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Texcoco-México km 38.5, Texcoco, Estado de México. CP. 56230.

§Autor para correspondencia: jcbuendiae@hotmail.com.

### Resumen

Los cambios en el uso de suelo y la cobertura vegetal son el componente principal en el deterioro a escala global, regional y local, y han sido documentados como el segundo problema ambiental a nivel global. En México, hay pocas políticas de planificación en el desarrollo territorial de los municipios y una deficiente toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales, ejemplo de ello es la microcuenca Tula. El trabajo de investigación tuvo como objetivo, diagnosticar la situación actual y los cambios en la cobertura y uso de suelo de la microcuenca Tula, México por medio del análisis espacial, para conocer sus principales procesos de cambio, con el propósito de diseñar estrategias que permitan un manejo sustentable de sus recursos naturales. El análisis espacial se realizó, a partir de imágenes satelitales Landsat (1992, 2000 y 2017) mediante sistemas de información geográfica. Para identificar los cambios se aplicaron tabulaciones cruzadas y se estimaron las tasas de cambio. En el periodo analizado (25 años), el área agrícola se incrementó 33% y una pérdida de superficie forestal de 22%. Las tasas de cambio y probabilidad de permanencia indicaron que de continuar con la tendencia actual seguirán incrementándose las áreas agrícolas y los cuerpos de agua, así como el abandono de algunas superficies debido a su baja productividad.

**Palabras clave:** cambio de uso de suelo, matrices de transición, sistemas de información geográfica, vegetación.

Recibido: diciembre de 2019

Aceptado: febrero de 2020

## Introducción

El cambio de uso de suelo y la cobertura vegetal son el componente principal en el deterioro a escala global, regional y local, y han sido documentados como el segundo problema ambiental a nivel global (Xiao *et al.*, 2006). Durante décadas, las actividades humanas y la demanda por bienes y servicios han generado presión sobre los recursos naturales con grandes impactos, la mayoría de ellos negativos, los cuales son difíciles de revertir (Rosete *et al.*, 2008; Reynoso *et al.*, 2015). México es un país con alta diversidad biológica y cultural, con altas tasas de deforestación y explotación de recursos naturales (FAO, 2016; Sahagún-Sánchez y Reyes-Hernández, 2018). La pérdida y degradación de la vegetación en una cuenca o microcuenca, así como la velocidad en que ocurren dichos cambios alteran las funciones y el correcto funcionamiento del intercambio de materia y energía (Cuevas *et al.*, 2011).

En consecuencia, es necesario analizar los cambios en las coberturas vegetales para desarrollar estrategias que mitiguen el impacto negativo en los recursos naturales (Leija-Loredo *et al.*, 2018). En las últimas décadas, los catorce municipios que conforman a la microcuenca Tula, han tenido un crecimiento poblacional promedio anual 2%, alcanzando una población de 288 196 en 2010 y una densidad aproximada de 278 habitantes km<sup>-2</sup> (INEGI, 2013). La densidad de población se incrementó de 205 a 236 habitantes km<sup>-2</sup> en el periodo de 1990 a 2000 (INEGI, 1990; INEGI, 2000) y con ello la demanda de bienes y servicios por la sociedad, así como los problemas asociados al cambio de uso suelo debido a la presión sobre los recursos naturales. El crecimiento de la mancha urbana en la municipalidad ha sido desordenado, expandiéndose hacia áreas de usos agrícola, forestal y pastizales.

La extracción de materiales para la construcción (uso minero) se ha incrementado en superficies agrícolas, forestales y zonas cercanas a los centros urbanos (INEGI, 2017a; INEGI, 2017b; INEGI, 2017c). Lo anterior, es producto de las insuficientes políticas de planificación en el desarrollo territorial de los municipios, y de la deficiente toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales. Por todo esto, la necesidad de analizar los cambios que se han dado en la microcuenca Tula, además, es un territorio políticamente complejo debido a que está conformado por tres estados, lo que implica políticas estatales diferentes.

Por consiguiente, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo diagnosticar la situación actual de los cambios en la cobertura y el uso de suelo de la microcuenca Tula, México por medio del análisis espacial, para conocer sus principales procesos de cambio y de esta manera contribuir al entendimiento del sistema, con el propósito de diseñar estrategias que permitan un manejo sustentable de sus recursos naturales.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

La microcuenca Tula está enmarcada dentro de las coordenadas geográficas: 19° 55' 31.05'' y 19° 34' 28.74'' latitud norte y 98° 39' 59'' y 98° 28' 16.39'' latitud oeste (Figura 1), cuenta con una superficie de 103 766 ha y abarca territorio de los municipios: Calpulalpan, Sanctorum de Lázaro Cárdenas, Benito Juárez, Almoloya, Apan, Emiliano Zapata, Singuilucan, Tepeapulco, Villa de

Tezontepec, Tlanalapa y Zempoala del estado de Hidalgo, Axapusco y Nopaltepec del Estado de México y Temascalpa del Estado de Tlaxcala. Además, ésta se encuentra inmersa en la cuenca del río Panuco, dentro de la provincia fisiográfica del eje Neovolcánico. Presenta un rango altitudinal de los 2 333 a 3 223 m, la precipitación media anual es de 600 mm y los tipos de suelo predominantes son Feozem, Cambisol, Litosol, Regosol y Vertisol (INEGI, 2017a; INEGI, 2017b; INEGI, 2017c), hay diferentes tipos de vegetación entre los que destacan bosque de táscate, bosque de pino, bosque de encino, matorral crasicale (INEGI, 2017d).



**Figura 1. Localización del área de estudio.**

De acuerdo a López *et al.* (2001), para analizar el proceso de cambio de uso y cobertura del suelo, es necesario aplicar tres etapas: a) elaboración e interpretación cartográfica y digital de cambio; b) análisis de patrones de cambio de cobertura y uso de suelo; y c) análisis de causas de cambio.

### Generación de cartografía de uso de suelo

La generación de cartografía corresponde a la primera etapa para realizar el análisis de proceso de cambio. De acuerdo a Bautista *et al.* (2011) en esta etapa es necesario seleccionar y adquirir las imágenes satelitales que se trabajaran, posteriormente se les debe realizar un tratamiento digital estándar (corrección geométrica, radiométrica y atmosférica). Después sigue la transformación de imágenes, en donde se clasifica la imagen, a partir de la asociación de elementos observados en la imagen a determinadas categorías temáticas, previo a la clasificación se debe determinar el sistema clasificatorio y finalmente realizar la evaluación de las bases digitales geográficas (Rosete *et al.*, 2008; Bautista *et al.*, 2011).

La generación de la cartografía de cobertura y uso del suelo en este estudio consistió en: a) seleccionar tres imágenes satelitales: Landsat-5 TM (04/12/1992), Landsat-7 ETM + (02/12/2000) y Landsat-8 Oli Tirs (23/11/2017) con una resolución de 30 m y un nivel de procesamiento L1TP; y b) corregir radiométrica y atmosféricamente éstas mediante la extensión Atcor 2. Workstation del programa Erdas Imagine, para asegurar una comparación estandarizada de datos entre ellas (Chander *et al.*, 2009; Vargas-Sanabria y Campos-Vargas, 2018); c) determinar las áreas de

entrenamiento en donde se establecieron ocho categorías de estudio correspondientes a las coberturas de tierra: cuerpo de agua, zona urbana, área forestal, agricultura de temporal, agricultura permanente, matorral crasicaule, vegetación secundaria y área sin vegetación aparente (Velázquez *et al.*, 2002); d) aplicar el algoritmo de clasificación supervisada Maximum Likelihood a cada imagen, en el software ArcMap 10.5 (Vargas-Sanabria y Campos-Vargas, 2018); y e) validar la clasificación de la cobertura vegetal y uso de suelo para el año 1992 y 2000; a través, de su comparación contra las capas de cobertura de uso de suelo y vegetación del INEGI de la serie II y III, respectivamente.

Mientras que para validar la cobertura de 2017, ésta se hizo mediante el establecimiento de puntos de control dentro del área de estudio, utilizando Google Earth® (Earth Google, 2018) y recorridos de campo a dichos puntos, con el propósito de corroborar el tipo de cobertura correspondiente al sitio de entrenamiento (Torres *et al.*, 2018). Después se procedió a homogeneizar a 30 m el tamaño de pixel de cada uno de los mapas de uso de suelo: 1992, 2000 y 2017 y reclasificar éstos con base en el sistema jerárquico propuesto por Velázquez *et al.* (2002) (Cuadro 1) para lograr un sistema de clasificación jerárquico y homogéneo.

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

Número	Clase	Tipo de vegetación y uso de suelo
1	CA	Cuerpo de agua
2	ZU	Zona urbana
3	AF	Área forestal (baja, media y alta densidad) y vegetación secundaria
4	AA	Agricultura de temporal y permanente
5	ASVA	Área sin vegetación aparente (matorral, minas, áreas erosionadas)

CA= cuerpo de agua; ZU= zona urbana; AF= área forestal; AA= área agrícola; ASVA= área sin vegetación aparente.

### Construcción de las matrices de transición

Para la etapa de análisis de patrones de cambio de cobertura y uso de suelo se construyeron matrices de matrices de transición, que se describen como tablas con arreglos simétricos que contienen en las filas los tipos de vegetación y usos del suelo en el primer año o año base y en las columnas estos mismo tipos pero del segundo año. Cada celda de la diagonal principal de dicha matriz representa la superficie en hectáreas de cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo que permaneció en la misma categoría durante el período considerado, mientras que en el resto de las celdas se estima la superficie de una determinada cobertura o tipo de uso del suelo que pasó a otra categoría (Dirzo y Maser, 1996 citado por López *et al.*, 2001) lo que permite entender la dinámica de cambio en la cobertura y uso de suelo a nivel local y regional.

De los mapas en formato shapefile obtenidos de la reclasificación de cobertura vegetal y uso del suelo de 1992, 2000 y 2017, se construyeron las matrices de transición, realizando los siguientes pasos: a) generar matrices de transición entre las distintas categorías mediante una tabulación cruzada (Eastman, 2012), a partir del módulo Crosstab de TerrSet, para los periodos: 1992-2000 y 2000-2017; b) elaborar matrices de probabilidad de pertenencia para cada clase en cada periodo con las matrices de transición; estas matrices se generan de dividir cada una de las celdas de la matriz de transición entre el total de la superficie de la clase analizada (Vega *et al.*, 2007); y c)

estimar la probabilidad de pertenencia ( $P_{ij}$ ) de cada clase de la matriz, la cual es proporcional a la superficie remanente de la misma clase entre el año 1 y el año 2. Su expresión matemática (Sánchez *et al.*, 2004) es:

$$P_{ij} = \frac{S_{ij} \text{ (año 1)}}{S_j \text{ (años 2)}}$$

Donde:  $S_{ij}$ = superficie del elemento  $ij$  de la matriz de transición de la cobertura y uso de suelo en el año 1;  $S_j$  =superficie de la clase de uso del suelo  $j$  en año 2; y  $\sum P_{ij}=1$  para cada categoría de uso de suelo  $j$ .

De acuerdo con Sánchez *et al.* (2004), la probabilidad de pertenencia se interpreta de la siguiente manera: 0-33% (baja), 34-66% (media) y 67-100% (alta).

### Tasas de cambio

Los procesos de cambio de uso del suelo se determinan con la cartográfica resultante de la tabulación cruzada y se clasifican: en sin cambio, conservada, urbanización, transición, uso antrópico, deforestada, degradada y por actividad productiva (Rosete *et al.*, 2008; Cuevas *et al.*, 2011). Estos se estimaron mediante la ecuación propuesta por (FAO, 1996):

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

Donde:  $\delta_n$ = tasa de cambio promedio anual para la clase  $i$  en el  $n$ -ésimo período evaluado (para expresar en (%) multiplicar por 100);  $S_1$ = superficie total de la clase  $i$  en el período 1;  $S_2$ = superficie total de la clase  $i$  entre el período 2, y  $n$  = número de años entre los dos periodos evaluados.

## Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos de las superficies del uso de suelo por categoría, para cada uno de los años: 1992, 2000 y 2017. De las 103 766.48 ha que componen la superficie total bajo estudio, en 1992, el uso de suelo estuvo dominado principalmente por el área forestal y agrícola, con cerca de 80%, mientras que superficie restante fue ocupada por cuerpos de agua, zona urbana y áreas sin vegetación aparente, con cerca de 20%. Sin embargo, a partir del año 2000 con respecto al año 1992, el área forestal disminuyó significativamente su superficie, en alrededor de 55%, en contraste la superficie agrícola incremento aproximadamente 84%.

El resto de la superficie se redujo en 25%. La deforestación se debió principalmente a que no existían leyes que regularan el aprovechamiento forestal a ningún nivel de gobierno y a la falta de políticas para reforestar y restaurar áreas forestales degradadas (PEF, 1989; PEF, 1995; Merino-Pérez y Segura-Wamholtz, 2002). Finalmente, el cambio del uso del suelo del 2017 con respecto al 2000, la superficie agrícola aumento igual que en el período anterior, solo que ahora en 7%, esta tendencia coincide con lo expuesto por Cuevas *et al.* (2011), quienes mencionan que la agricultura es la actividad que más hectáreas incorpora. Respecto a la superficie forestal, ésta presentó un incremento de 2%, pero el área sin vegetación aparente disminuyó 178%.

El incremento forestal se debe a que a partir del sexenio de 2000-2006 se hicieron modificaciones, empezando por la descentralización de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en el año 2001 lo que impulso programas de reforestación; además, en el año 2003, entro en vigor la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable (SEMARNAT, 2003; Del Angel-Mobarak, 2012). Asimismo, el mayor incremento en la superficie reforestada se dio en el territorio del estado de Hidalgo, debido por un parte, la implementación de políticas estatales entre las que destacan la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable para Hidalgo que entro en vigor, en 2006 y decretar áreas naturales protegidas de competencia estatal, como la reserva estatal Cerros La Paila-El Xihuingo, en 2009, ubicada dentro de la microcuenca Tula, por otra, las múltiples reforestaciones anuales que se realizan en este estado (SADR, 2005; GEH, 2006).

Adicionalmente, en el Cuadro 2, también muestra la tasa de cambio tanto en hectáreas como en porcentaje por clase de cobertura vegetal, para el período 1992-2017. Es decir, las clases: área forestal, zona urbana y área sin vegetación disminuyeron su superficie en 23 077.95, 334.14 y 11 300.64 ha que equivalen a 22.2, 0.3 y 10.9%, respectivamente. Mientras que, área agrícola y cuerpos de agua incrementaron en 34 639.14 y 68.88 ha que equivalen a 33.4 y 0.1%, respectivamente.

**Cuadro 2. Superficies del uso de suelo por categoría para los años: 1992, 2000, 2017.**

Clase	1992		2000		2017		1992-2017	
	ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)
CA	652.48	0.6	472.95	0.5	722.36	0.7	+68.88	+0.1
ZU	6 244.63	6	6 638.49	6.4	5 911.49	5.7	-334.14	-0.3
AF	46 339.27	44.7	21 023.28	20.3	23 261.82	22.4	-23 077.95	-22.2
AA	35 793.97	34.5	66 102.39	63.7	70 433.61	67.9	+34 639.14	+33.4
ASVA	14 736.13	14.2	9 528.66	9.2	3 436.49	3.3	-11 300.64	-10.9
Total	103 766.48	100	103 766.77	100.1	103 766.77	100		

CA= cuerpo de agua; ZU= zona urbana; AF= área forestal; AA= área agrícola; ASVA= área sin vegetación aparente.

### Transiciones del cambio de uso de suelo

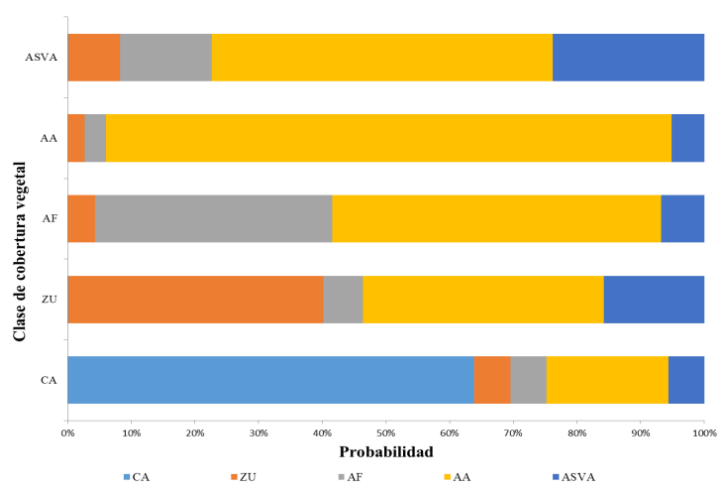
En el Cuadro 3 y la Figura 2 se muestran los resultados obtenidos de las matrices de transición y las probabilidades de pertenencia entre categorías, para el periodo de 1992 a 2000. El 54%  $\left(\frac{416.57+2499.89+\dots+3509.96}{103766.48} = 53.47\%\right)$  de la cobertura vegetal de la microcuenca Tula permaneció sin cambio alguno, mientras que el 46% restante presentó algún cambio (Cuadro 3). De acuerdo con la Figura 3, de 100% del área agrícola que había en el año 1992, 89%  $\left(\frac{31781.21}{35793.97} = 88.79\%\right)$  permaneció en el año 2000 siendo la única categoría con alta probabilidad de permanencia y 11% cambió a zona urbana  $\left(\frac{936.05}{35793.97} = 2.62\%\right)$ , área forestal  $\left(\frac{1213.07}{35793.97} = 3.39\%\right)$ , área abandonada o sin vegetación  $\left(\frac{1855.76}{35793.97} = 5.18\%\right)$  y cuerpos de agua  $\left(\frac{7.88}{35793.97} = 0.02\%\right)$ .



**Cuadro 3. Matriz de transición para el periodo 1992-2000.**

Superficie (ha)	2000					Total
	CA	ZU	AF	AA	ASVA	
1992						
CA	416.57	37.49	36.77	124.61	37.04	652.48
ZU	9.86	2 499.89	386.33	2 361.74	986.81	6 244.63
AF	18.14	1 962.05	17 271.5	23 950.4	3 137.18	46 339.27
AA	7.88	936.05	1 213.07	31 781.21	1 855.76	35 793.97
ASVA	16.88	1 199.84	2 117.57	7 891.88	3 509.96	14 736.13
Total	469.33	6 635.32	21 025.24	66 109.84	9 526.75	103 766.48

CA= cuerpo de agua; ZU= zona urbana; AF= área forestal; AA= área agrícola; ASVA= área sin vegetación aparente.



**Figura 2. Probabilidad de permanencia de uso de suelo del periodo 1992-2000.**

En contraste, el área forestal fue la cobertura que mayor cambio de superficie tuvo con 63% y solo conservó 37% de ésta. Cabe resaltar, que 52%  $\left(\frac{23950.4}{46339.27} = 51.68\%\right)$  de la superficie forestal pasó a área agrícola; lo que muestra que la agricultura es una actividad que reemplaza a otras categorías rápidamente (Sánchez *et al.*, 2009; Cuevas *et al.*, 2011), debido a que la población demanda bienes y servicios, juega un papel importante en el cambio de uso de suelo, ya que al incrementar la población la presión sobre los recursos naturales también aumenta generando impactos negativos como la deforestación (Rosete-Vergés *et al.*, 2014).

También es importante mencionar, que 4% de la superficie forestal cambió a zona urbana  $\left(\frac{1962.05}{46339.27} = 4.23\%\right)$ , esto se debe a que la población pasó de 213 208 habitantes en 1990 a 245 112 habitantes para el año 2000 de acuerdo con cifras reportadas por el (INEGI, 1990; INEGI, 2000). Respecto a la zona urbana, de 100% solo permaneció 40%  $\left(\frac{2499.89}{6244.63} = 40.03\%\right)$ , 60% cambio.

En particular, el 38%  $\left(\frac{2361.74}{6244.63} = 37.82\%\right)$  pasó a área agrícola y 16%  $\left(\frac{986.81}{6244.63} = 15.8\%\right)$  a área sin vegetación o abandonada. Esto se debe a que el número de personas aumenta y se requieren más bienes para cubrir las necesidades monetarias, además en esa década de acuerdo a Cruz (2018)

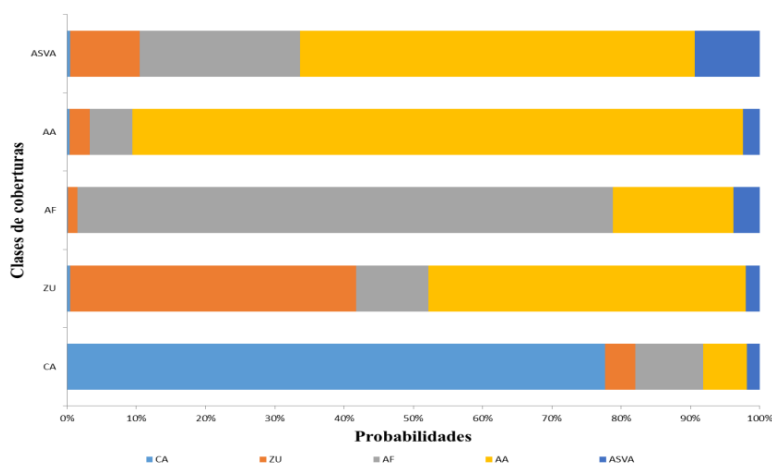
hubo un incremento en la migración de retorno desde Estados Unidos de América al estado de Hidalgo. Por otra parte, las áreas sin vegetación aumentan porque son abandonadas debido a la disminución en la producción agrícola. Durante el periodo 2000 a 2017, 76%  $\left(\frac{367.42+2739.10+\dots+891.49}{103766.48} = 75.67\%\right)$  de la superficie total de la cuenca permaneció sin cambio, mientras que 24% restante presentó algún cambio (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Matriz de transición 2000-2017.**

Superficie (ha)	Capa de 2017					
2000	CA	ZU	AF	AA	ASVA	Total
CA	367.42	20.74	46.02	30.09	8.68	472.95
ZU	30.46	2 739.1	695.91	3 041.85	131.17	6 638.49
AF	24.16	292.36	16 253.85	3 660.42	792.49	21 023.28
AA	256.36	1 906.24	4057.5	58 269.63	1 612.66	66 102.39
ASVA	43.96	953.05	2 208.54	5431.62	891.49	9 528.66
Total	722.36	5 911.49	23 261.82	70 433.61	3 436.49	103 766.48

CA= cuerpo de agua; ZU= zona urbana; AF= área forestal; AA= área agrícola; ASVA= área sin vegetación aparente.

De acuerdo con la clasificación de Sánchez *et al.* (2003), las categorías: cuerpo de agua  $\left(\frac{367.42}{472.95} = 77.68\%\right)$ , área forestal  $\left(\frac{16253.85}{21023.28} = 77.31\%\right)$  y área agrícola  $\left(\frac{58269.63}{66102.39} = 88.15\%\right)$  son consideradas con probabilidad de alta permanencia; mientras que las categorías: zona urbana  $\left(\frac{2739.10}{6638.49} = 41.26\%\right)$  y áreas sin vegetación aparente  $\left(\frac{891.49}{9528.66} = 9.35\%\right)$  son consideradas con media y baja probabilidad de permanencia (Figura 3), respectivamente.



**Figura 3. Probabilidad de permanencia de uso de suelo del periodo 2000-2017.**

Cabe destacar, que la superficie agrícola incrementó 83%  $\left(\frac{58269.63}{31781.21} - 1 = 83.34\%\right)$ ; sin embargo, el área forestal disminuyó 5.89%  $\left(\frac{16253.85}{17271.5} - 1 = 5.89\%\right)$ , aunque a una tasa menor con respecto al periodo 1992-2000. Algo semejante sucede con la categoría sin vegetación, ésta se redujo 75%  $\left(\frac{891.49}{3509.96} - 1 = 74.6\%\right)$ , pasando principalmente a área agrícola y área forestal.



Tal y como ya se mencionó, las zonas urbanas obtuvieron una probabilidad media de permanencia, atribuido primordialmente por el incremento de la población en la microcuenca, siendo éste alrededor de 149%  $\left(\frac{288196}{115547}-1=149.41\%\right)$ , tomando como año base 1970 con una población de 115 547 habitantes (INEGI, 1970) y como año final 2010 con una población de 288 196 habitantes (INEGI, 2013), la población tuvo una tasa de crecimiento de 2.3% , pasando de 245 112 habitantes en el año 2000 a 288 196 en el año 2010 (INEGI, 2000; INEGI, 2013).

El aumento en la población resulta en mayor demanda de terrenos para satisfacer las necesidades productivas y de consumo de la población (Cuevas *et al.*, 2011; García *et al.*, 2012; Torres *et al.*, 2018).

### Tasas de cambio

El Cuadro 5 indica que las tasas de cambio de uso del suelo en el periodo 1992-2000 son mayores que las registradas en el periodo 2000-2017. Para el caso del área forestal, ésta presenta una tasa negativa para el periodo de 1992-2000 y positiva para para el periodo 2000-2017, lo cual coincide con algunos estudios realizados en México, en periodos similares (Velázquez *et al.*, 2002; García-Barrios *et al.*, 2009; CONAFOR-UACH, 2013). Sin embargo, el resultado obtenido por la FAO (2010) es mayor 4%. Las áreas sin vegetación aparente tienen una tasa de cambio positiva que se mantiene en ambos periodos, lo que indica que las zonas erosionadas y empleadas como mina siguen existiendo.

**Cuadro 5. Tasa de cambio de uso del suelo, 1992-2017.**

Clase	Cambio (ha)		Cambio (%)		Tasa de cambio	
	1992-2000	2000-2017	1992-2000	2000-2017	1992-2000	2000-2017
CA	-179.53	249.41	-0.17	0.24	0.04	-0.03
ZU	393.86	-727	0.38	-0.7	-0.01	0.01
AF	-25 315.99	2 238.54	-24.4	2.16	0.09	-0.01
AA	30 308.42	4 331.22	29.21	4.17	-0.08	0
ASVA	-5 207.47	-6 092.17	-5.02	-5.87	0.05	0.06

CA= cuerpo de agua; ZU= zona urbana; AF= área forestal; AA= área agrícola; ASVA= área sin vegetación aparente.

El área agrícola en el primer periodo tuvo una tasa de cambio positiva que va de la mano con la tasa de cambio de las zonas urbanas, esto se debe a que la población necesita de bienes para cubrir sus necesidades. Durante el segundo periodo, la superficie de cuerpos de agua tuvo un incremento de 24%, el cual está relacionado con el incremento del área agrícola, debido a que al incrementar ésta se necesita más agua, lo que lleva a la población a construir más jagüeyes para retener o captar agua de lluvia.

Respecto al periodo 1992-2000, se muestran los procesos de cambio de la superficie total que ocurrieron en la microcuenca: 37% (38,667.76 ha) no cambió, 28% fue deforestada principalmente para fines de uso agrícolas, lo cual coincide con expuesto por SEMARNAT (2002) en el estudio realizado en el periodo 1993-2000 a nivel nacional (Rosete *et al.*, 2008; FAO, 2010).

## Conclusiones

La microcuenca Tula ha presentado cambios significativos en uso de suelo, del periodo 1992-2000, la cobertura con mayor cambio fue la forestal con 63%, el 52% del área forestal pasó a área agrícola, además la población incremento 14%, que indica que la deforestación ocurrió por la necesidad de producir bienes para satisfacer necesidades de la población, y porque no había políticas públicas que regularan el aprovechamiento de los recursos forestales. Durante el periodo 2000-2017, el área forestal solo disminuyó 6%, debido a la implementación de políticas públicas federales y a las políticas estatales del estado de Hidalgo, las cuales contribuyeron a contrarrestar la deforestación y a recuperar áreas abandonadas. La tendencia del uso de suelo en la microcuenca es que la superficie continúe sin cambio, las áreas agrícolas existentes se mantengan y sigan incrementándose hasta que sean abandonadas debido a su disminución en la productividad e invadidas por las zonas urbanas, las cuales incrementarán debido al crecimiento de la población.

## Literatura citada

- Bautista, Z. F.; Palacio, P. J. L.; Delfín, G. H.; Páez, B. R.; Carmona, J. E. y Delgado, C. M. del C. 2011. Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. Universidad Autónoma de México. Segunda (Ed.). México, DF. 770 p.
- Chander, G.; Markham, B. L. and Helder, D. L. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*. 5(113):893-903.
- CONAFOR-UACH. 2013. Comisión Nacional Forestal- Universidad Autónoma Chapingo. Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación. Gómez, D. J. D.; Monterroso, R. A. I.; Lechuga, G. L. M.; Hernández, V. C. C. (Eds.). Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jalisco, México. 160 p.
- Cruz, I. C. 2018. Políticas públicas y migración de retorno desde Estados Unidos: el caso de los municipios metropolitanos hidalguenses. *Tlamelaua Rev. Cienc. Soc.* 45(12):208-238.
- Cuevas, M. L.; Garrido, A.; Pérez, D. J. y Iura, G. D. 2011. Procesos de cambio de uso de suelo y degradación de la vegetación natural. *In: las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización.* Cotler, A. H. (Coord.). Pluralia Ediciones e Impresiones SA de CV, México. 96-103 pp.
- Del Ángel-Mobarak, G. A. 2012. El medio forestal de México. *In: La Comisión Nacional Forestal en la historia y el futuro de la política forestal de México.* Centro de investigación y docencia económicas-Comisión Nacional Forestal. México. 35-80 pp.
- Earth-Google. 2018. Google Earth 7.3.2. <https://www.google.com/intl/es-419/earth7>.
- Eastman, J. R. 2012. *TerrSet Geospatial monitoring and modeling system manual.* Clark labs. Worcester, USA. 393 p.
- FAO. 1996. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Forest resources assessment 1990: survey of tropical forest cover and study of change processes. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. FAO forestry paper. 130. 152 p.
- FAO. 2010. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Estudio FAO: Roma. 346 p.
- FAO. 2016. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015, ¿Cómo están cambiando los bosques del mundo? FAO. Segunda edición. Roma. 44 p.

- García, O. J. A.; Cedillo, G. J. G.; Juan, P. J. I. y Balderas, P. Á. M. 2012. Procesos de cambio en el uso del suelo de una microcuenca en el altiplano mexicano. El caso del río San José en el Estado de México. España. Papeles de Geografía. 55-56(1):63-73.
- García-Barrios, L.; Galván-Miyoshi, Y. M.; Valsieso-Pérez, I. A.; Maserá, O. R.; Bocco, G. and Vandermeer, J. 2009. Neotropical forest conservation, agricultural intensification, and rural out-migration: the mexican experience. *BioScience*. 10(59):863-873.
- GEH. 2006. Gobierno del estado de Hidalgo. Ley de Desarrollo Forestal Sustentable para el Estado de Hidalgo. Instituto de Estudios Legislativos. Segunda edición. México. 51 p.
- INEGI. 1970. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. IX Censo general de población 1970. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1970/default.html#Publicaciones>.
- INEGI. 1990. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. XI Censo general de población y vivienda 1990. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1990/>.
- INEGI. 2000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. XII Censo general de población y vivienda 2000. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2000/>.
- INEGI. 2013. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de población y vivienda 2010.
- INEGI. 2017a. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 671 p. <https://www.datatur.Sector.gob.mx/ITxEF-Docs/HGO-ANUARIO-PDF.pdf>.
- INEGI. 2017b. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Anuario estadístico y geográfico de México 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825097912>.
- INEGI. 2017c. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Anuario estadístico y geográfico de Tlaxcala 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. <https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF-Docs/TLAX-ANUARIO-PDF.pdf>.
- INEGI. 2017d. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250000. Serie VI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/default.html?t=0150011000000000&ag=00>.
- Leija-Loredo, E. G.; Pavón, N. P.; Sánchez-González, A.; Rodríguez-Laguna, R. and Ángeles-Pérez, G. 2018. Land cover change and carbon stores in a tropical montane cloud forest in the Sierra Madre Oriental, Mexico. *J. Mountain Sci.* 10(15):2136-2147. <https://doi.org/10.1007/s11629-018-4937-y>.
- López, G. E. M.; Bocco, G. y Mendoza, C. M. E. 2001. Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo. El caso de la ciudad de Morelia. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)*. 45(1):56-76.
- Merino-Pérez, L. y Segura-Wamholtz, G. 2002. Las políticas forestales y de conservación y sus impactos en las comunidades forestales en México. *In: los bosques comunitarios de México: manejo sustentable de paisajes forestales*. Bray, D.; Merino, L. y Barry, D. (Eds.). UNAM. México, DF. 77-98 pp.
- PEF. 1989. Poder Ejecutivo Federal. Plan Nacional de Desarrollo 1984-1994. Diario Oficial de la Federación. México. 78 p. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/compila/pnd/PND-1989-1994.31may89.pdf>.
- PEF. 1995. Poder Ejecutivo Federal. Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000. Diario Oficial de la Federación. México. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/compila/pnd.htm>.
- Reynoso, S. R.; Valdez, L. J. R.; Escalona, M. M. J. y De los Santos, P. H. M. 2015. Análisis de la dinámica del uso del suelo de la cuenca Metztlán en Hidalgo, México. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 3(36):102-111.

- Rosete, V. F. A.; Pérez, D. J. L. y Bocco, G. 2008. Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, México. *Investigaciones geográficas*. 67(1):39-58.
- Rosete-Vergés, F.; Pérez-Damián, J. L.; Villalobos-Delgado, M.; Navarro-Salas, E. N.; Salinas-Chávez, E. y Remond-Noa, R. 2014. El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y Bosques*. 1(20):21-35. <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v20n1/v20n1a3.pdf>.
- SADR. 2005. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Programa estatal de silvicultura sustentable 2005-2011. Gobierno del Estado de Hidalgo. Hidalgo, México. [http://intranet.ehidalgo.gob.mx/NormatecaE/Archivos/Programa-Silvicultura Sustentable. pdf](http://intranet.ehidalgo.gob.mx/NormatecaE/Archivos/Programa-Silvicultura_Sustentable.pdf).
- Sahagún-Sánchez, F. J. y Reyes-Hernández, H. 2018. Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *CienciaUAT*. 2(12):6-21. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S2007-78582018000100006>.
- Sánchez, C. S.; Flores, M. A.; Cruz-Leyva, I. A. y Velázquez, A. 2009. Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. *In: capital natural de México*. Sarukhán, J. (Coord.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México. 34 p.
- Sánchez, J.; Bocco, G.; Fuentes, J. y Velázquez, A. 2004. Análisis de cobertura y uso del terreno en el contexto de su dinámica espacio-temporal. *In: las enseñanzas de San Juan: investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales*. Velázquez, A.; Torres, A. y Bocco, G. (Comps). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México. 235-256 pp.
- SEMARNAT. 2002. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Compendio de estadísticas ambientales. Dirección General de Estadística e Información Ambiental. México. 275 p. <http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas-2000/Presentacion/index.htm>.
- SEMARNAT. 2003. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Cámara de Diputados del H. Consejo de la Unión. México. 69 p. [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDFS\\_050618.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDFS_050618.pdf).
- Torres, B. M.; Favela, L. S.; Alanís, F. G. y González, R. J. I. 2018. Dinámica de uso de suelo en una Región Hidrológica Prioritaria de la cuenca Río Bravo, Nuevo León. *Rev. Mex. Cienc. Forest*. 46(9):54-79. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.136>.
- Vargas-Sanabria, D. y Campos-Vargas, C. 2018. Sistema multi-algoritmo para la clasificación de coberturas de la tierra en el bosque seco tropical del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Rev. Tecnología en Marcha*. 1(31):58-69.
- Vega, C. R.; Ruiz, C. J.; Linares, F. G.; Pérez, A. R. y Tamariz, F. V. 2007. Dinámica de cambio espacio-temporal de uso del suelo de la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México. *Investigaciones Geográficas*. 64(1):75-89.
- Velázquez, A.; Mas, J. F.; Díaz, Gallegos, J.; Mayorga, S. R.; Alcántara, P. C.; Castro, R.; Fernández, T.; Bocco, G.; Ezcurra, E. y Palacio, J. L. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. México. *Gaceta Ecológica*. 62(1):21-37.
- Xiao, J.; Shen, Y.; Ge, J.; Tateishi, R.; Tang, C.; Liang, Y. and Huang, Z. 2006. Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. *Landscape and Urban Planning*. 1-2(75):69-80. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.12.005>.