



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.619>

Artículo

Dinámica forestal y uso de suelo en las cuencas que integran al municipio Tomatlán, Jalisco

Forest dynamics and land use in the watersheds that make up Tomatlán municipality, Jalisco State

Jesús Eduardo López Pérez¹ y Bartolo Cruz Romero^{1*}

Abstract:

The forest dynamics and land use in the hydrographic watersheds that integrate Tomatlán municipality, Jalisco State (1997-2017) were analyzed. To fulfill this objective, three satellite images were classified: Landsat 5 and 8 (P030 and R046). As a result, two thematic maps were generated with seven types of forest cover and land uses: urban areas, agriculture, grassland, water bodies, medium semi-deciduous forest, deciduous low forest and temperate conifer and broadleaf forest. The map was compared to calculate the change in coverage present at different times. The exchange rate for the 1997-2017 period was determined; the percentage of forest covers that remained was 77 %; and change corresponded to 23 %. Results show that, over the analyzed period, the forest cover that had the greatest gains was the medium semi-deciduous tropical forest with a 1 % increment; the water bodies exhibited a change rate of 1.2 % per year. The gain or increase in this cover is considered to be related to the abandonment of agricultural and livestock areas, which has resulted in a regeneration of the medium growth semi-deciduous forest, while the water bodies are decreasing mainly in the lower parts of the basins, due to the expansion of agricultural areas—which may have implications for soil erosion and salinization—, as well as to changes of the natural landscape.

Key words: Socioeconomic activities, change of coverage, watersheds, deforestation, forest dynamics, remote perception.

Resumen

Se analizó la dinámica forestal y usos de suelo en las cuencas hidrográficas que integran al municipio Tomatlán, Jalisco (1997-2017). Para cumplir con este objetivo se clasificaron tres imágenes de satélite: *Landsat 5 y 8* (P030 y R046). Como resultado se generaron dos mapas temáticos con siete clases de coberturas forestales y usos de suelo: zonas urbanas, agricultura, pastizal, cuerpos de agua, selva mediana subcaducifolia, selva baja caducifolia, además del bosque templado de coníferas y latifoliadas. El mapa se comparó para calcular el cambio de cobertura presente en los tiempos estudiados. Se determinó la tasa de cambio para el periodo 1997-2017; el porcentaje de coberturas que se mantuvo fue de 77 % y el cambio correspondió a 23 %. Los resultados muestran que, a lo largo del intervalo de tiempo analizado, la cobertura forestal que más ganancias tuvo fue la selva mediana subcaducifolia, con un incremento de 1 %; los cuerpos de agua presentaron una tasa de disminución de 1.2 % por año. Se considera que la ganancia o el incremento de esta cobertura se relaciona con el abandono de áreas agrícolas y pecuarias; lo que ha implicado la regeneración de selva mediana subcaducifolia de segundo crecimiento; mientras que, los cuerpos de agua están disminuyendo, principalmente, en las partes bajas de las cuencas debido al incremento de las zonas agrícolas; lo cual puede tener implicaciones en los cambios del paisaje natural.

Palabras clave: Actividades socioeconómicas, cambio de cobertura, cuencas hidrográficas, deforestación, dinámica forestal, percepción remota.

Fecha de recepción/Reception date: 29 de junio de 2019

Fecha de aceptación/Acceptance date: 18 de noviembre de 2019

¹Laboratorio de Ecología, Paisaje y Sociedad. Centro Universitario de la Costa. Universidad de Guadalajara. México.

*Autor de correspondencia; correo-e: bartolo.cruz@academicos.udg.mx

Introducción

Actividades como la roza, quema y tala de árboles se realizan en el municipio Tomatlán, Jalisco, México; donde la urbanización, deforestación, actividades agrícolas y pecuarias inciden en la dinámica forestal y usos de suelo. Esta transformación se produce en función de las condiciones climatológicas, aunadas a la naturaleza del suelo y cobertura forestal (Gaspari, 2002).

La vegetación es un importante indicador para evaluar diferentes procesos biofísicos en los ecosistemas; por ejemplo, los fenómenos relacionados con la pérdida de biodiversidad, desertificación, relación entre la vegetación y erosión del suelo e interacción vegetación-clima (Gonzaga, 2014). El estudio de la dinámica forestal y usos del suelo supone analizar y clasificar los diferentes tipos de coberturas y las actividades que el hombre practica en una zona o región determinada (Vargas, 1992). Su importancia radica en que, a escala global, regional y local, los cambios en el uso de la tierra están modificando la cobertura.

El ejemplo más difundido es la deforestación en las zonas tropicales, donde se estima que la conversión de su cobertura alcanza un promedio de 15.5 millones de ha por año, para el periodo de 1981-1990; lo cual se traduce en una tasa anual de deforestación de 8 % (FAO, 1996). En el presente estudio se analizó el cambio de coberturas y usos de suelo (periodo 1997–2017) en las cuencas hidrográficas que integran al municipio Tomatlán, Jalisco, México. Con este análisis, sobre la dinámica forestal y los cambios de uso de suelo, se podrá estimar el cambio producido en las diferentes clases de uso y ocupación de la tierra, con la finalidad de contribuir a la elaboración de los programas municipales de planeación y ordenamiento ecológico territorial.



Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de las cuencas hidrográficas que integran al municipio Tomatlán corresponde a 552 680 ha (Figura 1) y de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (Conagua) pertenecen a la Región Hidrológica Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico; Región Hidrológica 16 Armería-Coahuayana en las cuencas hidrológicas: Río Ipala, Río María García, Río Tomatlán A, Río Tomatlán B y Río San Nicolás A (CEA, 2015). Se ubica al oeste del estado de Jalisco, en las coordenadas 19°56'3" de latitud norte y 105°14'8" de longitud oeste (Inegi, 2009). El área de estudio se encuentra en un decreto de reservas de agua para el ambiente, el cual se emitió el 6 de junio del 2018 (DOF, 2018).

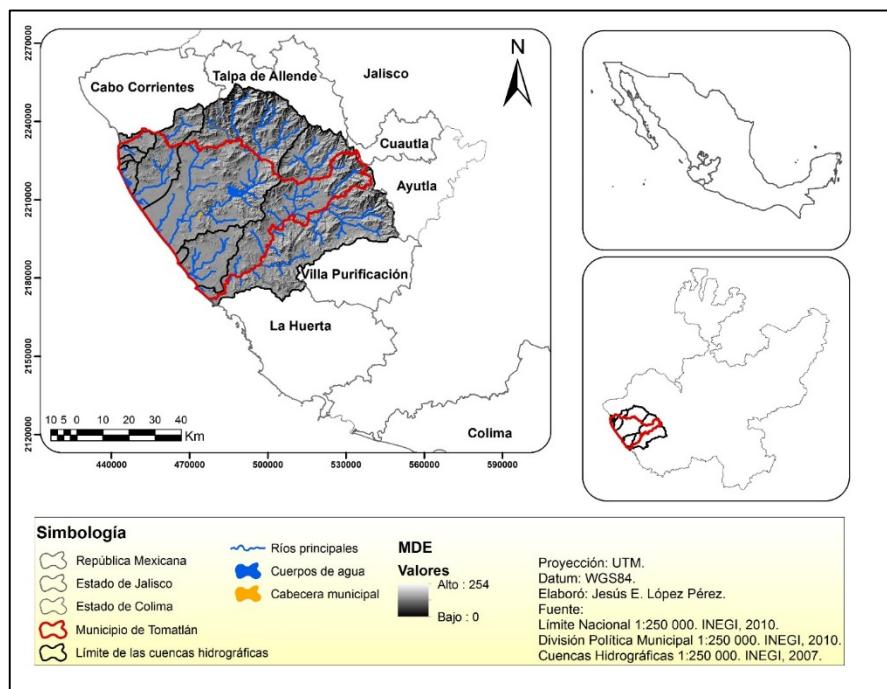


Figura 1. Cuencas hidrográficas que integran al municipio Tomatlán, Jalisco.

Para la elaboración de los mapas de coberturas y uso de suelo de los años 1997 y 2017, se utilizaron imágenes de satélite de la plataforma *Landsat*, tomadas en la época de secas el 4 de mayo para el sensor TM y el 27 de mayo para el sensor OLI/TIRS. Posteriormente, se realizaron las correcciones atmosféricas y de temperatura de brillo, además de una composición en falso color mediante las bandas 3, 4 y 5. Se determinaron áreas de entrenamiento para cada cobertura; así como una clasificación supervisada con el ajuste del algoritmo de máxima verosimilitud; al mismo tiempo se calculó el tamaño de muestra para proceder con la verificación en campo y la evaluación temática; asimismo, se obtuvo la confiabilidad y el coeficiente *Kappa* para cada mapa de las coberturas forestales y usos de suelo. La tasa de cambio se calculó para el periodo 1997-2017; de esta manera se obtuvo la matriz de cambio propuesta por Pontius et al. (2004), que indica la tendencia de los cambios.

Las cuencas se compararon en función del cambio de coberturas forestales y uso de suelo; el resultado fue la tasa y la matriz de cambio.

Las imágenes utilizadas para este estudio proceden de distintos satélites: *Landast* 8 OLI/TIRS y *Landast* 5 TM. La escena de toma corresponde al PATH=030 y ROW=046 del sistema WRS2 de *Landsat* 5, que posee siete bandas reflectivas con resolución espacial de 30 m.

Preprocesamiento o preclasificación

Esta fase metodológica comprendió la aplicación de procesos relacionados con la corrección radiométrica y corrección atmosférica DOS1 propuestas por Chávez (1996). A partir de la combinación de las bandas TM3 (espectro visible), TM4 (infrarrojo cercano) y TM5 (visible rojo) fue posible identificar e interpretar las categorías de análisis; y sobre esta se digitalizaron 140 campos o áreas de entrenamiento (número de píxeles representativos o prototipo de cada clase o categoría). La localización y distribución espacial de los campos de entrenamiento se hizo de forma aleatoria y homogénea (mínimo 20 campos para cada una de las coberturas) y a través de recorridos de campo *in situ*, en complemento con el uso y

manejo de un sistema de geoposicionamiento global. La delimitación de las áreas de entrenamiento (número total de píxeles) se llevó a cabo con base en la regla general de Jensen (1996), en la que se consideran al menos 10 veces el número de bandas utilizadas en la elaboración de las estadísticas o parámetros de clasificación. Para calibrar el clasificador, se utilizaron los píxeles prototipo de cada categoría (áreas de entrenamiento) y fueron representados gráficamente a través de histogramas para obtener las firmas espectrales correspondientes a cada categoría, estas fueron sometidas a un análisis de separabilidad (García y Mas, 2008) con base en el método de divergencia transformada (DT); en el cual se usa el algoritmo de máxima verosimilitud propuesto por Maussel *et al.* (1990).

Clasificación

Se realizó mediante la aplicación del algoritmo de máxima verosimilitud, que considera los parámetros de clasificación previamente calculados (clasificador calibrado) para etiquetar cada píxel de la imagen en una de las clases definidas (Lira, 2010). A partir de este algoritmo, se generaron los mapas de uso de suelo y vegetación de los años 1997 y 2017 de las cuencas hidrográficas. Los métodos, técnicas y procedimientos antes descritos (preclasificación y clasificación) se implementaron con el software *ArcGIS 10.5* y *ENVI 5.3*.

Validación de los mapas de coberturas forestales y uso de suelo 1997 y 2017

Para conocer el grado de certeza de los datos correspondientes a los mapas de coberturas forestales y uso de suelo, se sometieron al proceso de evaluación de la confiabilidad temática, la cual se realizó a partir de las siguientes fases metodológicas:

1. Diseño de muestreo. Consistió en determinar las unidades de muestreo (píxel); el método de selección o muestreo aleatorio simple y el número de unidades de muestreo o tamaño de la muestra. Este último se determinó con base en Congalton (1988;1991); quien sugiere verificar por lo menos 50 puntos por categoría. Ese principio se aplicó a las imágenes clasificadas y se determinaron siete categorías o clases de análisis, a través de la verificación de 350 puntos de muestreo.
2. Evaluación de los sitios de verificación. El registro de los puntos de muestreo se realizó *in situ*; es decir, su localización espacial (coordenadas UTM, zona 13N, datum WGS84) se llevó a cabo mediante recorridos de campo (observación directa) y con el uso y manejo de un Sistema de Geoposicionamiento Global; para los puntos inaccesibles se usaron las imágenes de *Google Earth* 7.3 para verificar. Los puntos de muestreo se sobrepusieron en la cartografía de uso de suelo y vegetación (1997 y 2017), producto de la interpretación visual de las imágenes de satélite para asociarlos con las categorías o clases que se definieron en cada uno de los mapas clasificados.
3. Análisis de los datos. Se fundamentó en el desarrollo de una matriz de confusión o matriz de error, la cual es bidimensional y en la que, generalmente, las filas representan las clases de referencia (verdad-terreno) y las columnas las categorías del mapa (verdad-imagen) deducidas de la interpretación de imágenes de satélite. La diagonal de la matriz expresa el número de puntos de verificación, para los que existe una correspondencia entre las categorías del mapa clasificado y los datos de referencia; mientras que, los marginales indican errores de asignación. Los cambios se analizaron mediante la metodología propuesta por Pontius *et al.* (2004) que consistió en realizar una matriz de tabulación cruzada o matriz de cambio.



Índice Kappa

Para analizar las relaciones múltiples entre las distintas categorías, se trabajó con técnicas de análisis categórico multivariante, ideales para el estudio global de matrices de confusión (Campbell, 2007). Uno de los índices más empleados es el estadístico de *Kappa* (*k*) que mide la diferencia entre el acuerdo mapa-realidad observada y el que se espera simplemente por azar. Intenta delimitar el grado de ajuste debido solo a la exactitud de la clasificación, prescindiendo del causado por factores aleatorios. El *test* pretende evaluar si la clasificación discrimina las categorías de interés con precisión significativamente, mayor a la que se hubiese obtenido con una asignación aleatoria (Chuvieco, 1990; Morales, 2014). La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$k = \frac{N\sum X_{ii} - \sum(X_i * X_{+i})}{N^2 - \sum(X_i * X_{+i})} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

K = Coeficiente *Kappa*

N = Total de datos muestrados

X_{ii} = Indica el acuerdo observado

$(X_i * X_{+i})$ = Concordancia esperada (producto de marginales)

El valor obtenido representa el porcentaje en el cual la clasificación es mejor que la esperada por azar. Si el valor obtenido fuese 0.80, la clasificación del mapa sería 80 % mejor que la esperada por azar. Se consideran tres clases de resultados: un valor $K < 0.4$ representa una concordancia pobre; entre 0.4 y 0.8, una concordancia moderada; y uno superior a 0.8, una fuerte concordancia.

Tasa de cambio periodo 1997-2017

Con base en los datos derivados de la matriz de cambios (superficie de cada categoría), se calcularon las tasas de cambio por cobertura y uso de suelo para el periodo de análisis (1997-2017). La mejor forma de cuantificarlas es mediante el análisis de la dinámica de la cubierta vegetal relacionándola con el espacio y el tiempo (Berry et al., 1996). La FAO (1996) propone la ecuación 2 que expresa el cambio en porcentaje de la superficie del año inicial:

$$TC = \left[\left(\frac{S^2}{S^1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] * 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

TC = Tasa de cambio (%)

S^1 = Superficie en la fecha inicial

S^2 = Superficie en la fecha final

n = Diferencia de años entre la fecha inicial y final

Matriz de transición

Se obtuvo a través de la superposición de dos mapas de coberturas/uso de suelo de fechas diferentes; y el análisis de los datos resultantes mediante el acomodo matricial de los mismos, lo que permitió identificar, de manera eficiente, los cambios entre categorías; dicha matriz se ordena de tal forma, que las clases de coberturas de la fecha inicial (T_1) se acomodan en los renglones y las categorías de la fecha final (T_2) en las columnas, con lo cual solo la diagonal de la matriz muestra la cantidad total del paisaje estable entre una fecha y otra; y el resto corresponde a todas las combinaciones posibles de intercambio entre categorías (Cuadro 1).

Cuadro 1. Matriz de transición con ganancias y pérdidas.

		Tiempo 2					
		Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Total, tiempo 1	Pérdida
Tiempo 1	Categorías 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
	Categorías 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
	Categorías 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
	Categorías 4	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	P^{4+}	$P_{3+} - P_{44}$
Total, tiempo 2		P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}		
Ganancias		$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$		

Índice de ganancia

La proporción del paisaje que experimenta un aumento entre la fecha inicial (T_1) y la fecha final (T_2) corresponde a G_{ij} , y se calcula obteniendo la diferencia entre la columna del total del tiempo 2 P_{+j} y la persistencia P_{jj} .

$$G_{ij} = P_{+j} - P_{jj}$$

Índice de pérdidas

La pérdida L_{ij} , representa la proporción del paisaje que decrece entre fechas, se estima con la diferencia entre la fila del total del tiempo 1 P_{j+} y la persistencia P_{jj} .

$$L_{ij} = P_{j+} - P_{jj}$$

Resultados y Discusión

De acuerdo con Challenger y Soberon (2008) e Inegi (2008) y al considerar la heterogeneidad de la vegetación en México, las coberturas forestales se agruparon en un sistema de clasificación jerárquico que combina el nombre de la formación y el tipo de comunidad, las cuales se establecieron con base en información previa de campo georreferenciada (puntos de control), información documental y material fotográfico (Cuadro 2).

Cuadro 1. Agrupación de las coberturas forestales y usos de suelo.

Coberturas forestales y uso de suelo	Comunidad y otras coberturas	Valor asignado
Agricultura	Agricultura temporal principalmente trigo, cebada, avena, frijol, maíz, garbanzo	1
Bosque templado de coníferas y latifoliadas	Géneros: <i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> , <i>Magnolia</i> , <i>Ilex</i> , <i>Cornus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Dendropanax</i> , <i>Carpinus</i> , <i>Ostrya</i> , <i>Fraxinus</i> , <i>Styrax</i> y <i>Saurauia</i>	2
Cuerpos de agua	Presas, cauces y zonas marinas	3
Pastizales	<i>Poaceae</i> , <i>Asteraceae</i> y <i>Cyperaceae</i>	4
Selva baja caducifolia	<i>Bursera</i> , <i>Pithecellobium</i> , <i>Lysiloma</i> y <i>Lonchocarpus</i>	5
Selva mediana subcaducifolia	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb. (parota, guanacastle), <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro rojo), <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose (primavera), <i>Hymenaea courbaril</i> L. (cuapinol), <i>Dalbergia</i> sp. (granadillo), <i>Astronium graveolens</i> Jacq. (jocotillo), <i>Platymiscium dimorphandrum</i> Donn.Sm. (hormiguillo, palo de marimba) y <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart. (palma de coyul)	6
Zonas urbanas	Comprende las áreas con infraestructura urbana	7

Mapas de coberturas forestales y uso de suelo

Se generaron dos mapas de coberturas y uso de suelo para los años 1997 y 2017 (figuras 2 y 3), producto de la aplicación de procesos relacionados con la corrección radiométrica y atmosférica, interpretación de imágenes de satélite (*Landsat TM* y *OLI/TIRS*) y el método supervisado de máxima verosimilitud. Se determinaron siete tipos de coberturas vegetales y usos de suelo: 1. Zona Urbana (*ZU*); 2. Bosque Templado de Coníferas y Latifoliadas (*BTCL*); 3. Agricultura (*AG*); 4. Pastizales (*PA*); 5. Selva Baja Caducifolia (*SBC*); 6. Selva Mediana Subcaducifolia (*SMSC*); y 7. Cuerpos de Agua (*CA*).

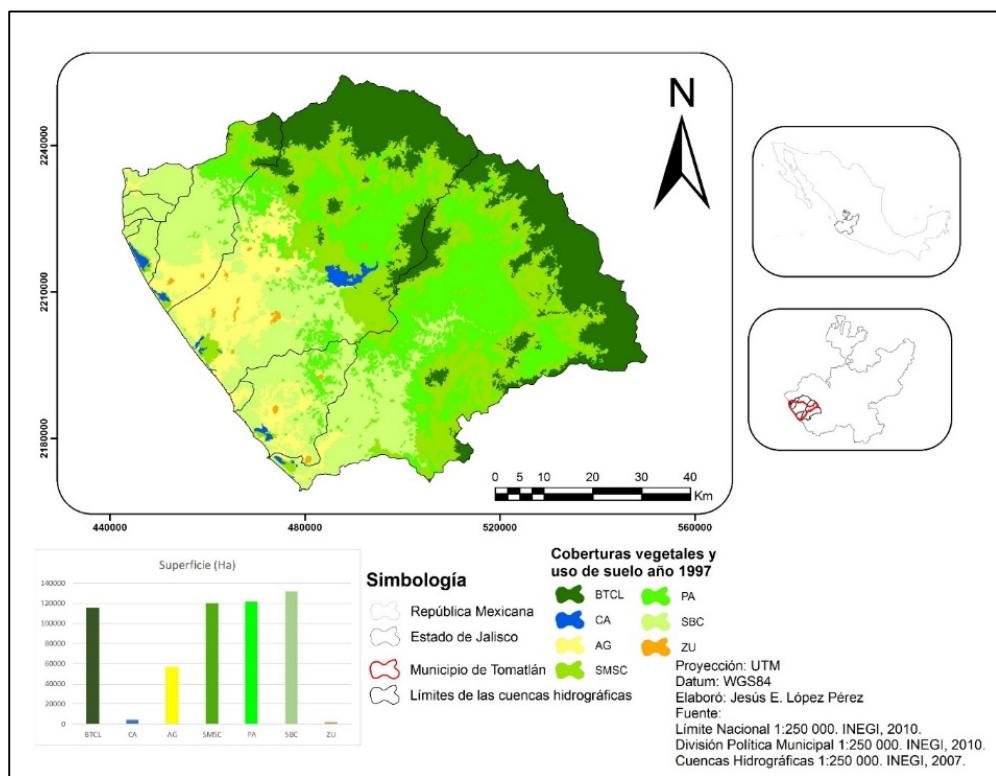


Figura 2. Mapa de coberturas forestales y uso de suelo año 1997.



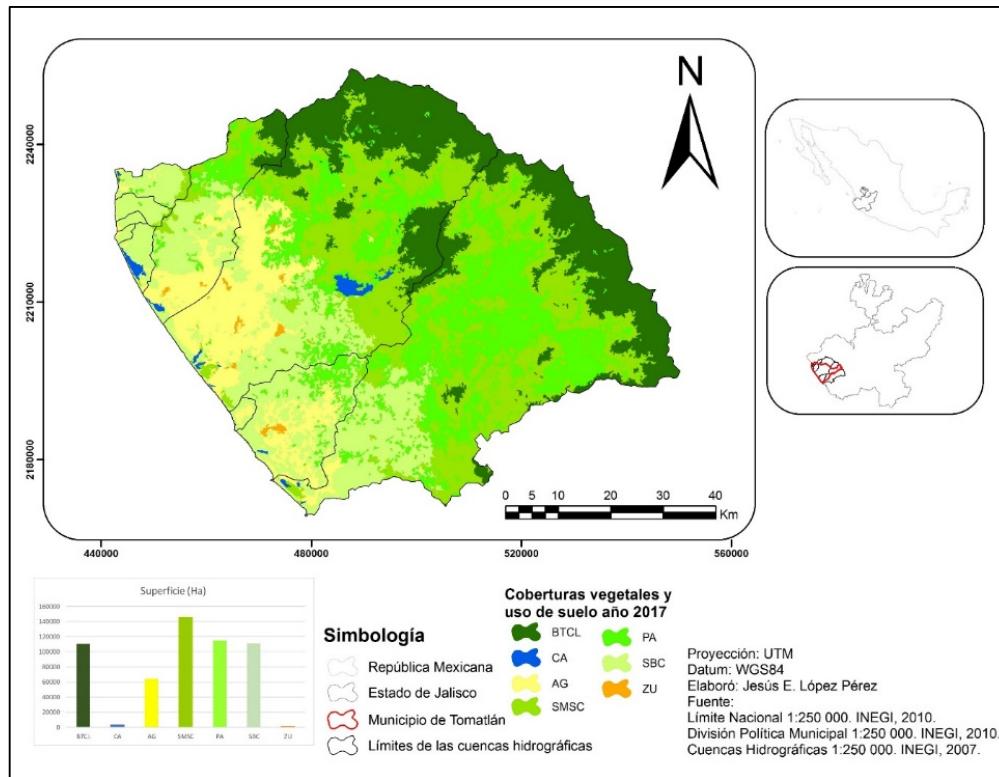


Figura 3. Mapa de coberturas forestales y usos de suelo año 2017.

La clasificación de las imágenes se realizó con siete clases generales que conjuntaron coberturas más específicas (Cuadro 3), debido a que una definición del área de estudio en un mayor número de clases tendría como consecuencia, que los datos contenidos en las áreas de entrenamiento presentaran variabilidad y distribuciones de frecuencia polimodales; lo que restaría eficiencia al algoritmo de Máxima Verosimilitud (Campbell, 2007).



Cuadro 3. Superficie en hectáreas para cada cobertura vegetal y uso de suelo por año.

Coberturas	Año	
	1997	2017
BTCL	115 855	110 868
CA	4 558	3 595
AG	56 697	64 607
SMSC	120 535	145 730
PA	121 770	114 880
SBC	131 623	111 144
ZU	1 643	1 857
Total	552 680	552 680

BTCL = Bosque Templado de Coníferas y Latifoliadas; *CA* = Cuerpos de Agua, *AG* = Agricultura, *SMSC* = Selva Mediana Subcaducifolia; *PA* = Pastizales; *SBC*= Selva Baja Caducifolia; *ZU* = Zonas Urbanas.

Índice Kappa

Los resultados derivados del proceso de la evaluación de la confiabilidad temática muestran que los mapas de coberturas forestales y uso de suelo de los años 1997 y 2017 fueron de 79.54 %, 0.71 y de 83.40 %, 0.77, respectivamente. La fiabilidad y el índice *Kappa* resultaron aceptables en todos los casos ($Fm > 75\%$) y ($k < 0.4$) (Lesschen *et al.*, 2005). Es conveniente mencionar que la validación de estos mapas fue satisfactoria, producto de la aplicación del método de muestreo aleatorio simple (Congalton, 1988), así como con las actividades de recopilación y ubicación espacial de los sitios de verificación (tamaño de muestra) realizadas en campo (Valdez *et al.*, 2011).

Tasa de cambio

En el Cuadro 4 se listan las coberturas forestales y usos de suelo, además de la superficie y el porcentaje que se registraron para los años 1997 y 2017 en cada una de las categorías asignadas.

Cuadro 4. Distribución superficial de las coberturas forestales y uso de suelo en los periodos 1997-2017.

Coberturas	Uso de suelo y vegetación				Cambio de uso de suelo		
	1997		2017		1997-2017		
	Hectárea	%	Hectárea	%	Hectárea	Hectárea/año	TC
BTCL	115 854.70	21	110 868	20.1	-4 986.70	-249.3	-0.2
CA	4 557.8	0.8	3 594.8	0.7	-963	-48.2	-1.2
AG	56 696.8	10.3	64 607	11.7	7 910.20	395.5	0.7
SMSC	120 534.90	21.8	145 730	26.4	25 195.10	1 259.80	1
PA	121 770.3	22	114 880	20.8	-6 890.30	-344.5	-0.3
SBC	131 622.6	23.8	111 144	20.1	-20 478.60	-1 023.90	-0.8
ZU	1 642.70	0.3	1 856.6	0.3	213.9	10.7	0.6
Total	552 680	100	552 680	100			

BTCL = Bosque Templado de Coníferas y Latifoliadas; *CA* = Cuerpos de Agua, *AG* = Agricultura, *SMSC* = Selva Mediana Subcaducifolia; *PA* = Pastizales; *SBC*= Selva Baja Caducifolia; *ZU* = Zonas Urbanas.

El campo de cambio se refiere a las hectáreas que incrementaron y disminuyeron por categoría (Cuadro 4), y la tasa anual es el incremento o disminución en hectáreas por año, para el periodo analizado. Respecto a la tasa de cambio de coberturas, la expansión de zonas agrícolas y pastizales son los principales factores de deforestación que inciden en la selva baja caducifolia, con 0.8 %; estos valores son similares a los citados en otras áreas del país.

En la selva de los Tuxtlas, Veracruz, se han estimado tasas de deforestación de 4.2 % (Dirzo y García, 1992); en Chiapas de 1.58 a 2.3 % para Huistán y de 0.46 a 3.42 % para Chanal (Ochoa-Gaona y González-Espinosa, 2000). En la selva Lacandona se documentan promedios de 3.31 a 2.14 % (Mendoza y Dirzo, 1999), y de 1.4 % para el estado de Morelos (Trejo y Dirzo, 2000). Las zonas urbanas fueron de las coberturas con un cambio menor, 0.6 %; se considera que esto se debe a la baja disponibilidad de terrenos para la construcción de infraestructura en las partes bajas de las cuencas, ya que aproximadamente 179 487 ha de la superficie corresponden a pastizales y áreas agrícolas y 0.8 % a la selva baja caducifolia.

Matriz de cambios periodo 1997-2017

Las columnas de la matriz representan la proporción (área) de las categorías de la fecha 1 (F_1), las filas contienen la proporción (superficie) de las categorías de la fecha 2 (F_2) (Cuadro 5). La diagonal principal corresponde a la persistencia (en fuente roja) de las categorías que se conservó entre la fecha F_1 y F_2 para cada periodo. En el análisis temporal de la dinámica de los cambios ocurridos en un periodo de 20 años, se observó que los pastizales mantuvieron una cobertura de 81 517 ha, la principal cobertura que contribuyó a su incremento fue la selva mediana subcaducifolia, con una superficie de 28 530 ha; mientras que, la mayor pérdida le correspondió a la selva mediana subcaducifolia, la cual conservó una superficie de 92 906 ha.



Cuadro 5. Matriz de cambios o tabulación cruzada periodo 1997-2017.

		2017								
		BTCL	CA	AG	SMSC	PA	SBC	ZU	Total	Pérdida
		10	20	30	40	50	60	70		
1997	<i>BTCL</i>	1	99 722	0	9 187	1 959			110.88	11 146
	<i>CA</i>	2		3.30	47	130	16	92	3 595	287
	<i>AG</i>	3		238	46.64	968	4 870	11 142	745	64 607
	<i>SMSC</i>	4	14 816	112	207	92 906	28 530	9 160	0	145 730
	<i>PA</i>	5	1 317	591	3 630	15 487	81 517	12 249	89	114 880
	<i>SBC</i>	6		309	5 277	1 857	4 832	98 858	10	111 144
	<i>ZU</i>	7			890		46	121	799	1 857
Total			115 855	4 558	56 697	120 535	121 770	131 623	1 643	
Ganancia			16 133	1.25	10.05	27 629	40 253	32 764	844	

BTCL = Bosque Templado de Coníferas y Latifoliadas; *CA* = Cuerpos de Agua, *AG* = Agricultura, *SMSC* = Selva Mediana Subcaducifolia; *PA* = Pastizales; *SBC*= Selva Baja Caducifolia; *ZU* = Zonas Urbanas.

Mapa de cambios coberturas forestales y uso de suelo periodo 1997-2017

El producto final consistió en un mapa de cambio de coberturas forestales y uso de suelo, en el cual se indica el porcentaje de cambio y el porcentaje que se mantuvo de las coberturas analizadas (Figura 4).

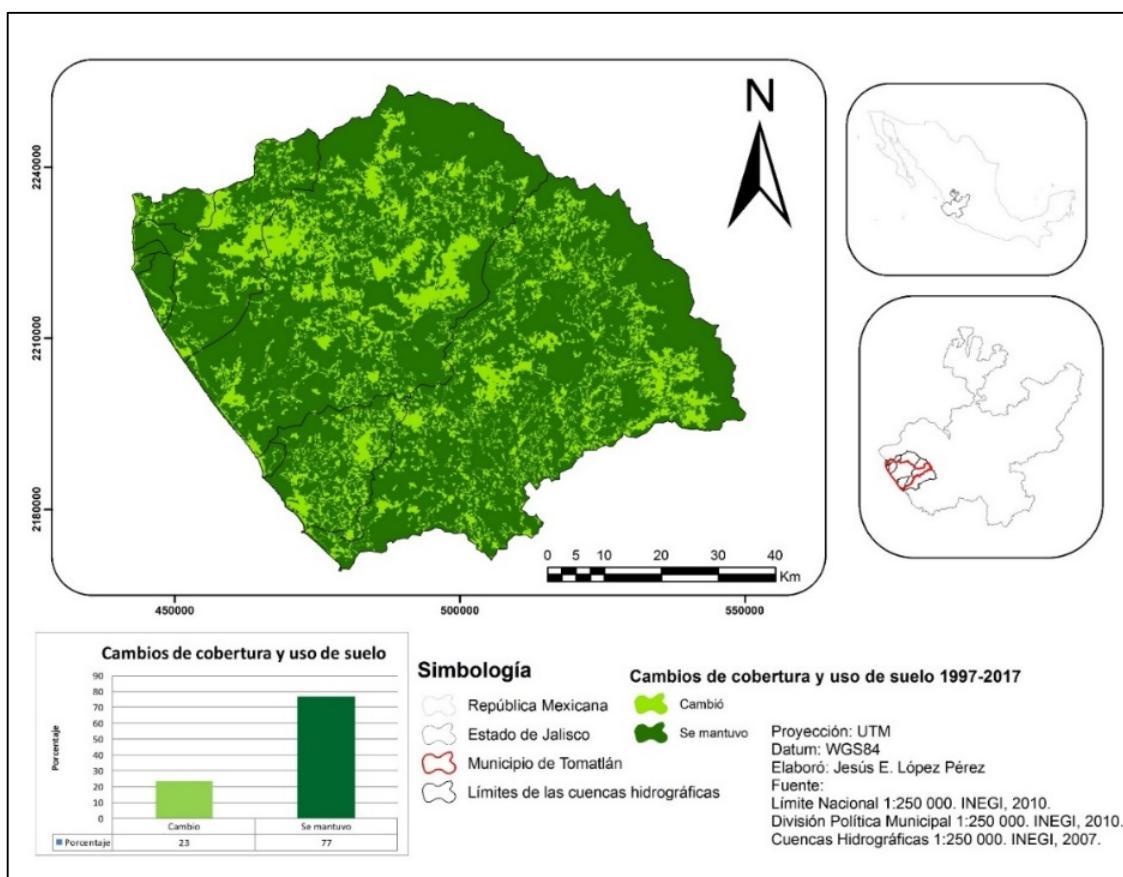


Figura 4. Cambios de coberturas forestales y uso de suelo.

En la figura 4 se observan, de manera general, todos los cambios de la vegetación y uso de suelo, así como las coberturas que se mantuvieron. El total de las coberturas que presentaron cambios fue de 23 %, mientras que 70 % se mantuvieron; esto es similar a lo registrado por Camacho-Sanabria *et al.* (2017) en un estudio realizado en Progreso, Hidalgo en el cual señalan que 95 % de la cobertura permaneció en ese territorio y sólo hubo cambios en 5 % del territorio.



Conclusiones

Se distingue que la presencia de selva mediana subcaducifolia, con 145 730 ha; así como de los bosques templados de coníferas y latifoliadas, con 110 868 ha, ambos son los rasgos distintivos de los recursos naturales de la región; donde existe un proceso de cambio, cuyo mayor aumento de cobertura se origina en las zonas agrícolas con una tasa de 0.7 %; e incrementa su avance hacia las áreas de vegetación original, principalmente en la selva baja caducifolia. Sin embargo, se considera que el grado de conservación de las coberturas forestales de estas cuencas están en proceso de recuperación; y algunas en estado de madurez, como la selva mediana y los bosques templados. Lo anterior debido a los procesos de abandono de tierras en las partes altas y cambios de actividades del sector primario al de servicios turísticos en las cuencas bajas; por lo que se deben implementar políticas o acciones que mantengan la cobertura forestal a largo plazo, mediante la aplicación de herramientas de gestión territorial.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo al Laboratorio de Ecología, Paisaje y Sociedad, del Centro Universitario de la Costa de la Universidad de Guadalajara, por prestar sus instalaciones para llevar a cabo la investigación.

Conflicto de intereses

No existen conflictos de intereses.

Contribución por autor

Jesús Eduardo López Pérez: registro de datos en campo, análisis de información y redacción del documento; Bartolo Cruz Romero: diseño de la investigación, definición de la metodología, revisión y corrección del manuscrito.

Referencias

- Berry, M. W., R. O. Flamm., B. C. Hazen and R. L. MacIntyre. 1996. The Land-Use Change and Analysis System (LUCAS) for Evaluating Landscape Management Decisions. *IEEE Computational Science & Engineering* 3(1): 24-35.
<https://pdfs.semanticscholar.org/d6fb/35760721aef65242bd377b27982bea3cc644.pdf> (7 de julio de 2018).
- Campbell, J. B. 2007. *Introduction to Remote Sensing*. Guilford Press. New York, NY, USA. 626 p.
- Challenger, A. y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres. In: Soberón, J., G. Halffter y J. Llorente-Bousquets (comps.). *Capital Natural de México*, Vol. 1: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio. México, D.F., México. pp. 87-108.
- Chávez, P. S. 1996. Image-based atmospheric corrections-revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62(9): 1025-1036.
<http://www.unc.edu/courses/2008spring/geog/577/001/www/Chavez96-PERS.pdf> (24 de septiembre de 2018).
- Chuvieco, E. 1990. *Teledetección Ambiental. La Observación de la Tierra desde el Espacio*. Ed. Ariel Ciencia. Barcelona, España. 485 p.
- Comisión Estatal del Agua (CEA). 2015. Ficha técnica hidrológica municipal Tomatlán. Comisión estatal del agua del Estado de Jalisco.
https://www.ceajalisco.gob.mx/doc/fichas_hidrologicas/region11/tomatlan.pdf (18 de junio de 2018).
- Congalton, R. G. 1988. A comparison of sampling scheme use in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54(5): 593-600.
https://www.asprs.org/wpcontent/uploads/pers/1988journal/may/1988_may_593-600.pdf (9 de agosto de 2018).

Congalton, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 37(1):35-46. Doi: 10.1016/0034-4257(91)90048-B.

Camacho-Sanabria, R., J. M. Camacho-Sanabria, M. Á. Balderas-Plata y M. Sánchez-López. 2017. Cambios de cobertura y uso de suelo: estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México. *Madera y Bosques* 23 (3): 39-60. Doi: 10.21829/myb.2017.2331516.

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2018. Reserva de aguas superficiales para los usos doméstico, público urbano y ambiental o para conservación ecológica. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5525357&fecha=06/06/2018 (6 de junio de 2018).

Dirzo, R. and M. C. García. 1992. Rates of Deforestation in Los Tuxtlas, a Neotropical Area in the Southeast México. *Conservation Biology* (6):84-90. Doi:10.1046/j.1523-1739.1992.610084.x.

García, T. J. y J. F. Mas. 2008. Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el Sureste de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* (67):7:19. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112008000300002&lng=es&nrm=iso (13 de julio de 2018).

Gaspari, F. J. 2002. Ordenamiento territorial en cuencas serranas. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.). Ediciones Cooperativas. Huelva, España. 147 p.

Gonzaga A., C. 2014. Aplicación de índices de Vegetación derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia De Loja, Ecuador. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería y Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina. 103 p.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2008. Carta Actual de Uso y Vegetación. Serie IV. México: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/> (8 de octubre de 2018).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Tomatlán, Jalisco. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/14/14100.pdf (8 de octubre de 2018).
- Jensen, J. 1996. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. Prentice-Hall. Upper Saddle River, NJ, USA. 526 p.
- Lesschen, J. P., P. H. Verburg and S. J. Staal. 2005. Statistical methods for analysing the spatial dimension of change: Land use and farming systems. LUCC Report Series Num. 7. Land-Use and Land-Cover Change (LUCC) Project. The International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenya and Wageningen University Netherlands. Nairobi, Kenya. 81 p.
- Lira, J. 2010. Tratamiento digital de imágenes multiespectrales. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. 584 p.
- Maussel P., J. Kramber and J. Lee. 1990. Optimum band selection for supervised classification of multispectral data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 56(1):55-60. https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1990journal/jan/1990_jan_55-60.pdf. (9 de septiembre de 2018).
- Mendoza, E. and R. Dirzo. 1999. Deforestation in Lacandonia (southeast México): evidence for the declaration of the northernmost tropical hot-spot. Biodiversity and Conservation 8(12):1621-1641. Doi: 10.1023/A:1008916304504.

Morales H., J. C. 2014. Evaluación del impacto de los fenómenos hidrometeorológicos de la cobertura vegetal de la Región de Bahía de Banderas, Nayarit-Jalisco, México. Tesis de Doctorado. Universidad de Guadalajara. Puerto Vallarta, Jal., México. 75 p.

Ochoa-Gaona, S. and M. González-Espinosa. 2000. Land use and deforestation in the highlands of Chiapas, México. *Applied Geography* 20(1):17-42. Doi: 10.1016/S0143-6228(99)00017-X.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO). 1996. Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Rome, Italy. 152 p.

Pontius, R., E. Shusas and M. McEachern. 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 101(2-3):251-268. Doi:10.1016/j.agee.2003.09.008.

Trejo, I. and R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation* 94(2):133-142. Doi: 10.1016/S0006-3207(99)00188-3.

Valdez, J., C. Aguirre y G. Ángeles. 2011. Análisis de los cambios en el uso del suelo en la Cuenca del Río Metztitlán (Méjico) usando imágenes de satélite: 1985-2007. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(3):313-324. Doi:10.5154/r.rchscfa.2010.06.041.

Vargas G., E. 1992. Análisis y clasificación del uso y cobertura de la tierra con interpretación de imágenes. Ed. IGAC. Santa Fé de Bogotá, Colombia. 113 p.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.