

Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG).
Revista digital del Programa de Docencia e Investigación en
Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG). Universidad
Nacional de Luján, Argentina.

<http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig> (ISSN 1852-8031)

Luján, Año 13, Número 21, 2021, Sección I: Artículos. pp. 1-22

LOS ECOSISTEMAS DE LA ZONA PONIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO. DINÁMICA TEMPORAL Y ESPACIAL

José Carlos Camacho Reyes¹ – Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo¹ – Miguel Ángel
Balderas Plata¹ – José Manuel Camacho Sanabria²

¹Universidad Autónoma del Estado de México

²Universidad de Quintana Roo

carlos_josh@live.com.mx

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo realizar un análisis de los cambios identificados en los diferentes ecosistemas para los años 2000 y 2018, a través de sistemas de información geográfica, la clasificación de imágenes satelitales, validación de la cartografía obtenida y mediante la dinámica de cambios, matriz de cambios o tabulación cruzada. La zona de estudio corresponde a cuatro municipios: Donato Guerra, San José del Rincón, Villa de Allende y Villa Victoria, que se localizan al poniente del estado de México. Los resultados observados en el análisis temporal y espacial de los ecosistemas muestran un incremento en la superficie de los ecosistemas forestales bosque de oyamel, bosque de pino-encino y bosque de pino, entre otros ecosistemas. Así mismo, se observa que los ecosistemas agricultura de temporal y pastizales han sufrido una disminución en su superficie.

Palabras clave: Clasificación de imágenes satelitales, Dinámica de cambios, Ecosistemas, Poniente del estado de México, Validación de cartografía.

ABSTRACT

The present study aims to carry out an analysis of the changes identified in the different ecosystems for the years 2000 and 2018, through geographic information systems, the classification of satellite images, validation of the cartography obtained and through the dynamics of changes, change matrix or crosstab. The study area corresponds to four municipalities: Donato Guerra, San José del Rincón, Villa de Allende and Villa Victoria, which are located to the west of the state of Mexico. The results observed in the temporal and spatial analysis of the ecosystems show an increase in the surface of the forest ecosystems, fir forest, pine-oak forest and pine forest, among other

ecosystems. Likewise, it is observed that rainfed agriculture and pasture ecosystems have suffered a decrease in their surface.

Keywords: Classification of satellite images, Dynamics of changes, Ecosystems, West of the state of Mexico, Validation of cartography.

INTRODUCCIÓN

El análisis de los cambios del uso del suelo mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), está enfocado a contextualizar en tiempo y espacio las condiciones que determinan las coberturas terrestres. A nivel mundial, regional y local existen diversos factores que influyen en los cambios del uso del suelo, estos pueden ser ambientales, demográficos, económicos y socioculturales, los que en su conjunto llegan a provocar deterioro ambiental y pérdida de la diversidad biológica (Bocco, 2001). De los cambios de uso de suelo derivan las siguientes problemáticas: pérdida del hábitat y fragmentación, sobreexplotación de los recursos naturales, introducción de especies exóticas, contaminación del ambiente acuático y terrestre, propagación de enfermedades, crecimiento demográfico y de los asentamientos humanos. Otros factores de esta problemática son la planeación deficiente de las estrategias de conservación (por ejemplo, áreas de protección de flora y fauna inadecuadas), el descontrol en la asignación de los permisos de colecta científica, el manejo de especies en cautiverio, fallas en la educación ambiental, factores culturales como los mitos y la religión, entre otros (Young *et al.*, 2001).

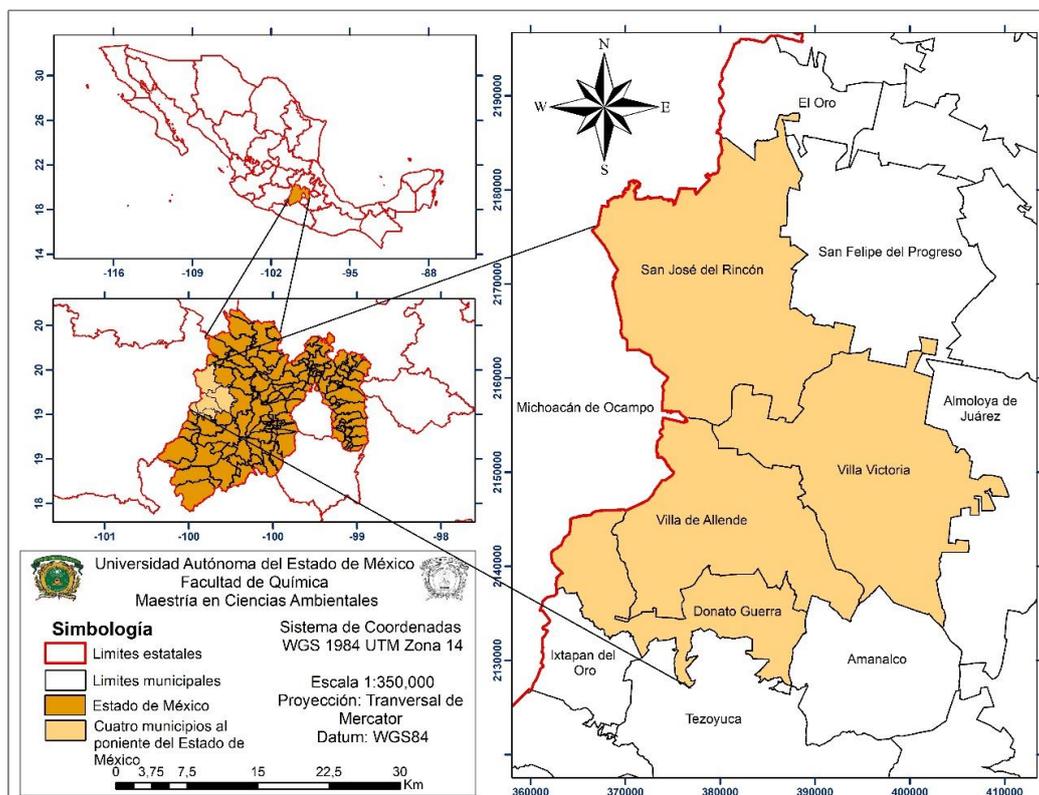
Los mapas de uso de suelo y vegetación permiten identificar, representar, describir, cuantificar, localizar, analizar, evaluar, explicar y modelar los procesos de cambio y la dinámica que ocurre en las diversas coberturas vegetales y usos del suelo de un tiempo y espacio determinado (Camacho *et al.*, 2015). Los estudios de cambio de uso de suelo y vegetación son el referente para conocer las trayectorias de los distintos procesos de cambio (temporal y espacial) que existen en determinado territorio (Mas y Flamenco, 2011).

Los municipios que integran el área de estudio se caracterizan por la presencia significativa de recursos forestales, así como de otras coberturas terrestres que permiten analizar la dinámica de cambios que ha existido entre ellas. En el área de estudio, a pesar de que ha existido un aumento de uso del suelo en los asentamientos humanos, se observa un incremento en la cobertura forestal, resultado de programas como el pago por servicios ambientales, que tienen el propósito de proteger y restaurar espacios forestales. El objetivo de esta investigación es analizar los cambios que han existido entre los diferentes ecosistemas que se localizan en cuatro municipios al poniente del estado de México para los años 2000 y 2018. A través del desarrollo de cartografía automatizada que permitió representarlos espacialmente, mediante SIG los mapas fueron sometidos a procesos dirigidos a su validación, lo que permitió lograr un mayor grado de fiabilidad respecto a la realidad del espacio geográfico. Mediante la elaboración de la matriz de cambios o tabulación cruzada se identificaron los procesos de cambios entre los ecosistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio incluye cuatro municipios que se localizan al poniente del estado de México: Donato Guerra, San José del Rincón, Villa de Allende y Villa Victoria, la ubicación geográfica va desde los 19° 18' 30" y 19° 29' 41" de latitud Norte y los 99° 51' 43" y 100° 8' 55" de longitud Oeste; este espacio geográfico tiene una superficie de 141,340 ha. Desde una perspectiva político-administrativa, limita al norte con el municipio de El Oro, al este con los municipios de San Felipe del Progreso y Almoloya de Juárez, al sur con los municipios de Ixtapan del Oro, Tezoyuca y Amanalco y al oeste con el estado de Michoacán de Ocampo (Figura 1) [INEGI, 2010].

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio al poniente del estado de México



Fuente: Elaboración del autor con base en INEGI (2010).

Materiales

Los insumos utilizados para el análisis temporal y espacial de los cambios del uso del suelo de los ecosistemas mediante SIG, fueron imágenes satelitales de los sensores Landsat 7 ETM del año 2000 y Landsat 8 OLI/TIRS del año 2018, recuperadas del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2018).

Identificación de los ecosistemas presentes

Previo al análisis temporal y espacial de los cambios del uso del suelo, se especificaron las categorías que corresponden al área de estudio, estas categorías fueron seleccionadas de acuerdo a los criterios de identificación establecidos por Pauleit *et al.* (2005). La elaboración de la cartografía de los ecosistemas se llevó a cabo a partir de las fases

metodológicas de Clasificación y Post-clasificación. A continuación, se describe cada una de ellas.

Clasificación

Para realizar la clasificación se utilizó un método híbrido combinando un proceso de clasificación supervisada e interdependiente para las coberturas y usos del suelo. De acuerdo con Mas *et al.*, (2017), un método híbrido de clasificación es la combinación de un procesamiento digital e interpretación visual que permite generar mapas de diferentes fechas con base en procesos de mejora de la escala de cartografía. Las categorías de: bosque, cuerpos de agua, asentamientos humanos, agricultura de riego, agricultura de temporal, pastizales y suelos desprovistos de vegetación; se procesaron mediante clasificación supervisada a través de las siguientes fases metodológicas:

a) Delimitación de los campos de entrenamiento: La delimitación de los campos de entrenamiento se realizó con base en la regla general establecida por Jensen (1996), que consiste en seleccionar como mínimo 10 veces el número de bandas utilizadas para calibrar el clasificador. Para identificar los ecosistemas se utilizaron tres bandas espectrales dirigidas a generar un compuesto de falso color para cada año. Para el año 2018 se utilizaron las bandas 5, 3,2 de la escena Landsat OLI/TIRS; para el año 2000 se ocuparon las bandas 4, 3,2 de la escena Landsat 7 ETM. Posteriormente se digitalizaron 500 campos de entrenamiento para cada año (2000 y 2018), teniendo como mínimo 25 campos para cada clase distribuidos de manera aleatoria estratificada. Consecuentemente, la creación de firmas espectrales se realizó a través de la herramienta Multivariate, que retoma los valores de los campos de entrenamiento anteriormente establecidos.

b) Método de clasificación mediante Clasificación supervisada: Se realizó la clasificación supervisada de las imágenes satelitales de los años 2000 y 2018 a través de una clasificación puntual y con el algoritmo de máxima verosimilitud (*Maximum likelihood Classification*). El algoritmo automáticamente clasificó el área de estudio de acuerdo con el tipo de pixel que presenta reflectancia de un color del pixel respecto a los demás, identificando así cada categoría establecida. De acuerdo con Buendía et al., (2002), está calificada como la mejor opción para identificar las clases del uso del suelo y vegetación.

c) Clasificación interdependiente: Con el fin de desagregar la cobertura forestal por especie identificada dentro del área de estudio, se utilizó una clasificación interdependiente que consistió en digitalizar los polígonos de cada una de estas coberturas en los compuestos de falso color, para los años 2000 y 2018. Estos fueron obtenidos de las imágenes satelitales Landsat ETM del año 2000 y Landsat OLI del año 2018, lo que permitió evitar errores de confusión entre estas clases. Las fases metodológicas se realizaron en el software ArcGis 10.2.2.

Post-clasificación

En esta fase se validaron los mapas de los ecosistemas para los años 2000 y 2018. El proceso de evaluación de la confiabilidad temática se dividió en tres fases: a) diseño de

muestreo, b) evaluación de los sitios de verificación y c) análisis de los datos (Mas et al., 2003).

a) Diseño de muestreo: Esta fase consta de tres etapas en las que se establecen las unidades de muestreo, el método de muestreo y el tamaño de la muestra (Camacho, 2016). Para el caso de estudio, la unidad de muestreo que se utilizó fue el punto, el método de muestreo utilizado fue aleatorio estratificado que permite tener control sobre la colocación de los sitios de muestreo. El tamaño de la muestra fue establecido con base en Mas y Couturier (2011), quienes mencionan que para obtener una fiabilidad global del 80% y un medio intervalo de confianza de 5%, se deben aplicar 247 sitios de verificación. Para el presente estudio se registraron 900 puntos de muestreo para la validación de los mapas correspondientes a los años 2000 y 2018, digitalizando 100 puntos por cobertura, para las 9 categorías (Tabla 1).

Tabla 1. Tamaño por categoría.

P	90	80	70	60	50
*					
2.5	553	983	1291	1475	1535
5.0	138	246	323	369	384
10	35	61	81	92	96

Fuente: Mas y Couturier (2011).

b) Evaluación de los sitios de verificación: En esta fase se relacionaron los puntos de muestreo anteriormente registrados con varias categorías cuyas leyendas se observan en los mapas de los ecosistemas. Para realizar la valoración de los sitios de verificación correspondientes a la cobertura forestal para los años 2000 y 2018 se utilizaron como insumos la serie III del año 2003 y la serie VI del año 2017 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Adicionalmente se registraron puntos de verificación *in situ* mediante el uso del GPS, relacionándolos con los píxeles clasificados en los mapas. Para evaluar los ecosistemas que no presentan cobertura forestal los procesos se realizaron a través de imágenes de alta resolución espacial de Google Earth para ambos años, con el fin de relacionarlos posteriormente con los píxeles clasificados en los mapas.

c) Análisis de los datos: Esta fase consistió en elaborar una matriz de confusión o matriz de error para los años 2000 y 2018, la cual permite contrastar la información de los sitios de verificación con los mapas de uso de suelo y vegetación que fueron valorados. La matriz está integrada por filas que representan las clases de referencia, las columnas significan las categorías del mapa y la diagonal expresa el número de sitios o puntos de verificación. A través de la relación que existe entre los datos de referencia y las clases del mapa, se considera que los marginales representan los errores de asignación (Mas et al., 2003; Mas y Couturier, 2011) [Tabla 2].

Tabla 2. Matriz de confusión expresada o error.

	Verdad imagen (Categorías del mapa = j)				
Verdad terreno (Clases de referencia= i)	j_1	j_2	...	j_q	Total
i_1	$i_1 j_1$	$i_1 j_2$	...	$i_1 j_q$	i_{1+}
i_2	$i_2 j_1$	$i_2 j_2$	...	$i_2 j_q$	i_{2+}
...
i_q	$i_q j_1$	$i_q j_2$	...	$i_q j_q$	i_{q+}
Total	$+j_1$	$+j_2$	...	$+j_q$	$\sum i_+$ $\sum +j$

Fuente: Mas *et al.*, (2003); Mas y Couturier, (2011).

Dónde:

ij = Representa el número de puntos (superficie) correctamente clasificados de cada categoría.

$iI+$ = Es la suma de los puntos (superficie) correspondientes a la clase de referencia iI .

$+jI$ = Corresponde a la suma de los puntos (superficie) de la categoría del mapa jI .

$\Sigma+j$ o $\Sigma i+$ = Es el total de la suma de los puntos de las clases de referencia ($\Sigma P i+$), o bien, el total de la suma de los puntos correspondientes a las categorías del mapa ($\Sigma P +j$).

Posteriormente, a través de los datos derivados de la matriz de cambios, se ejecutó el cálculo de los índices de fiabilidad y el medio-intervalo de confianza para cada uno de los mapas 2000 y 2018, considerando como mínimo una fiabilidad estimada del 80% (Stehman y Czaplewski, 1998) [Tabla 3].

Tabla 3. Ecuaciones para determinar los índices de fiabilidad y el medio – intervalo de confianza.

Indicador	Expresión matemática	Descripción
Confiabilidad global o exactitud general	$P_c = (\Sigma P_{ij} / \Sigma P_{+j} \text{ o } P_{i+})^* \cdot 100$	Es la proporción de puntos (superficie) correctamente clasificados en los mapas, producto de la interpretación de ortofotos y la imagen de satélite. El coeficiente derivado de su cálculo representa la probabilidad para cualquier sitio en el mapa de ser correctamente clasificado.
Medio intervalo de confianza	$B = z_{\alpha/2} \sqrt{p(1-p) / n}$	Corresponde al error de la estimación precisa de la fiabilidad del mapa. Dónde: $z_{\alpha/2}$ es el valor que separa a un área de $\alpha/2$ en la cola del lado derecho de la distribución normal estándar (el

		valor de $z_{\alpha/2}$ en este estudio corresponde a 1.96); p es la fiabilidad esperada; y n corresponde al tamaño de la muestra.
Error de comisión	$E_c = (1 - (P_{ij} / P_{+j})) * 100$	Indica la proporción de sitios de verificación cartografiada en una cierta clase j , pero que en realidad pertenecen a otra categoría.
Error de omisión	$(E_o) = (1 - (P_{ij} / P_{i+})) * 100$	Representa la proporción de sitios de verificación correspondientes a una categoría j que fue cartografiada en otra.
Confiabilidad del usuario	$C_u = (P_{ij} / P_{+j}) * 100$	Se interpreta como la probabilidad que un sitio clasificado como j y aleatoriamente seleccionado sea realmente j en el terreno.
Confiabilidad del productor	$C_p = (P_{ij} / P_{i+}) * 100$	Es la proporción de sitios de verificación de la clase j que están representados en el mapa o en la base de datos como tal.

Fuente: Camacho *et al.*, (2015); Camacho (2017); Mas *et al.*, (2003); Mas y Couturier (2011); y Stehman y Czaplewski (1998).

Previamente al desarrollo de los índices de fiabilidad y el medio-intervalo de confianza, se ejecutó la corrección de las matrices de confusión generada, de acuerdo al método de muestreo que se utilizó en la investigación (aleatorio estratificado). Se observó que el número de sitios por categoría no es proporcional a la superficie representada para cada una de estas clases, por lo que el resultado no debe ser explicado de esta manera (Mas *et al.*, 2003). La corrección se elaboró a través del método planteado por Card (1982), ponderando el número de sitios de verificación en correlación con la superficie de cada una de las clases establecida en los mapas de uso de suelo y vegetación. Mediante este método se desarrollaron matrices de confusión expresadas en proporción; en relación con los datos que integran estas, se estimó la proporción y la superficie de cada una de las clases de análisis (Tabla 2).

Generación de los mapas de los ecosistemas presentes

Los mapas de los ecosistemas presentes en los cuatro municipios al poniente del estado de México para los años 2000 y 2018 fueron elaborados a través del método híbrido, combinando clasificación supervisada e interdependiente de imágenes satelitales a través del software ArcGis 10.2.2 y mediante la validación realizada en estos mapas (Mas y Couturier, 2011).

Dinámica de cambios en los ecosistemas presentes

La dinámica de cambios ocurridos en los ecosistemas, se obtuvo a través de la construcción de una matriz de cambios o tabulación cruzada, misma que fue elaborada a partir de los mapas de los ecosistemas presentes para los años 2000 y 2018. La Tabla 4

representa la matriz de cambios, la que es una tabla bidimensional, donde las columnas representan el área de las categorías cartografiadas en el mapa correspondientes a la fecha 1 (f1). Las filas contienen la superficie de las categorías de la fecha 2 (f2), finalmente la diagonal principal representa la persistencia, que es el área conservada de cada una de las categorías durante el periodo de análisis (f1 y f2) [Camacho, 2019; Pontius *et al.*, 2004].

Tabla 4. Matriz de cambios o tabulación cruzada.

		Fecha 1 (f ₁)				Total (f ₂)
		Categoría 1 (f ₁)	Categoría 2 (f ₁)	Categoría 3 (f ₁)	Categoría n (f ₁)	
Fecha 2 (f ₂)	Categoría 1 (f ₂)	Categoría 1 (f ₁) Categoría 1 (f ₂)	Categoría 2 (f ₁) Categoría 1 (f ₂)	Categoría 3 (f ₁) Categoría 1 (f ₂)	Categoría n (f ₁) Categoría 1 (f ₂)	Total Categoría 1 (f ₂)
	Categoría 2 (f ₂)	Categoría 1 (f ₁) Categoría 2 (f ₂)	Categoría 2 (f ₁) Categoría 2 (f ₂)	Categoría 3 (f ₁) Categoría 2 (f ₂)	Categoría n (f ₁) Categoría 2 (f ₂)	Total Categoría 2 (f ₂)
	Categoría 3 (f ₂)	Categoría 1 (f ₁) Categoría 3 (f ₂)	Categoría 2 (f ₁) Categoría 3 (f ₂)	Categoría 3 (f ₁) Categoría 3 (f ₂)	Categoría n (f ₁) Categoría 3 (f ₂)	Total Categoría 3 (f ₂)
	Categoría n (f ₂)	Categoría 1 (f ₁) Categoría n (f ₂)	Categoría 2 (f ₁) Categoría n (f ₂)	Categoría 3 (f ₁) Categoría n (f ₂)	Categoría n (f ₁) Categoría n (f ₂)	Total Categoría n (f ₂)
	Total (f ₁)	Total Categoría 1 (f ₁)	Total Categoría 2 (f ₁)	Total Categoría 3 (f ₁)	Total Categoría n (f ₁)	SUMA DE LOS TOTALES

Fuente: Camacho (2019); Pontius *et al.*, (2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 5 se describen las características ambientales en las que se desarrollan los diferentes ecosistemas identificados para los años 2000 y 2018, en los cuatro municipios estudiados.

Tabla 5. Ecosistemas presentes en los cuatro municipios al poniente del estado de México

ECOSISTEMA	DESCRIPCIÓN
	<p>Bosque de Oyamel</p> <p>Estos ecosistemas se desarrollan en climas semifríos subhúmedos y templados subhúmedos, entre los 2900 a 3600 m de altitud, con temperatura media anual que oscila entre los 8 y 14 °C y precipitación anual que varía de los 1000 a 1500 mm.</p>

	<p>Bosque de Pino-Encino Se concentran en climas templados subhúmedos y semifríos subhúmedos, con temperaturas medias anuales que oscilan entre 10 y 22 °C y precipitaciones anuales que van de los 1000 a los 1500 mm, se localizan entre los 1200 a 3250 m de altitud.</p>
	<p>Bosque de Pino Se localizan en zonas montañosas a una altitud que oscila entre los 1500 y 3 600 m, se desarrollan en climas templados subhúmedos y semifríos subhúmedos, con temperaturas medias anuales que van de los 8 a 22 °C y precipitaciones anuales que varían de los 1 000 a 1 500 mm.</p>
	<p>Pastizales Se desarrollan en suelos medianamente profundos, en diferentes altitudes y bajo diversas condiciones climáticas.</p>
	<p>Suelos desprovistos de vegetación Se consideran únicamente los procesos de erosión favorecidos por actividades humanas y naturales y que son apreciables en la imagen de satélite a la escala de edición.</p>
	<p>Agricultura de riego Se considera agricultura de riego cuando el suministro de agua utilizado para su desarrollo es suministrado por fuentes externas, por ejemplo, un pozo, una presa, etcétera.</p>
	<p>Agricultura de temporal Ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran, que depende del agua de lluvia (precipitación) y de la capacidad del suelo para retener el agua.</p>

	<p>Cuerpos de agua Espacios naturales o artificiales que se encuentran constituidos por agua.</p>
	<p>Asentamientos humanos Superficie artificial construida que posee división entre una vivienda y otra.</p>

Fuente: Elaboración del autor con base en Camacho (2016); Camacho (2017); INEGI (2009); y Pauleit *et al.*, (2005).

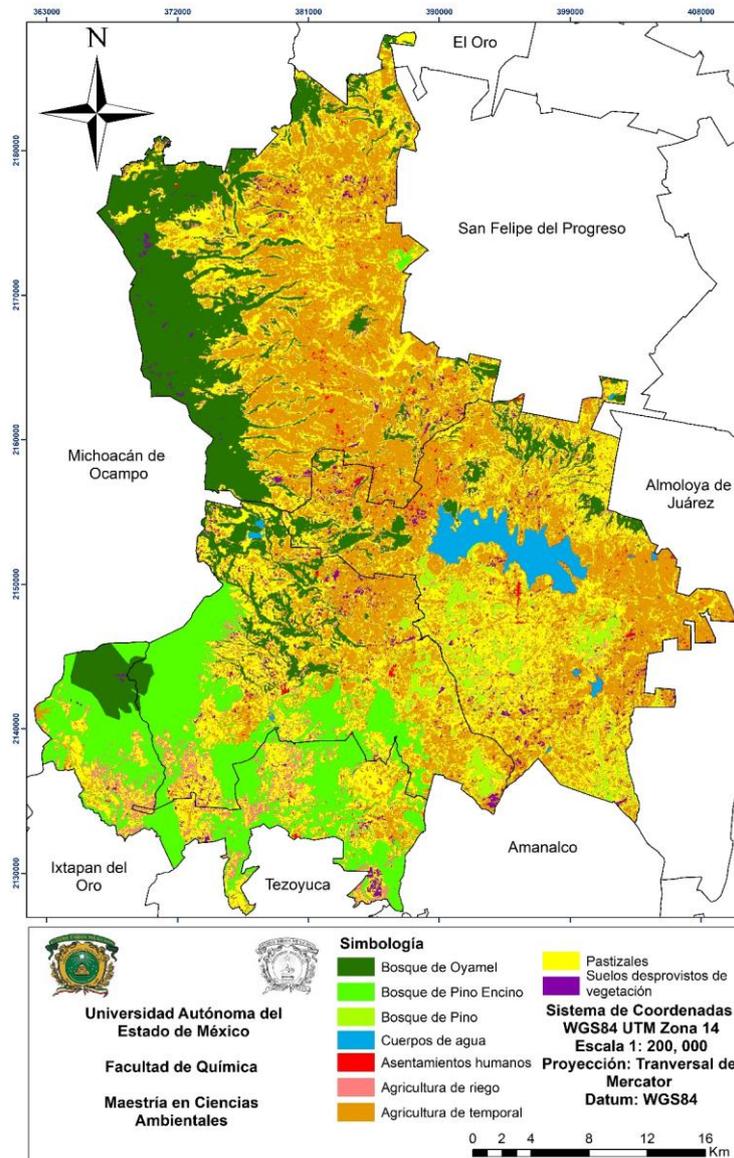
Se elaboraron mapas para los años 2000 y 2018 de los ecosistemas presentes en los cuatro municipios. Para el año 2000, se representaron nueve categorías: agricultura de temporal con un porcentaje de superficie del (29.6%), pastizales (28.1%), bosque de oyamel (15.5%), bosque de pino-encino (12.3%), agricultura de riego (4.8%), suelos desprovistos de vegetación (4.3%), bosque de pino (2.2%), cuerpos de agua (2.1%) y asentamientos humanos (1.1%) [Tabla 6 y Figura 2].

Tabla 6. Superficie de los ecosistemas presentes en los cuatro municipios para el año 2000.

No	Ecosistemas año 2000	Superficie (ha)	%
1	Agricultura de Temporal	41,767	29.6
2	Pastizales	39,756	28.1
3	Bosque de Oyamel	21,880	15.5
4	Bosque de Pino-Encino	17,397	12.3
5	Agricultura de Riego	6,789	4.8
6	Suelos desprovistos de vegetación	6,097	4.3
7	Bosque de Pino	3,135	2.2
8	Cuerpos de Agua	2,924	2.1
9	Asentamientos Humanos	1,595	1.1
	Total	141,340	100

Fuente: Elaboración del autor.

Figura 2. Ecosistemas en los municipios de Donato Guerra, San José del Rincón, Villa de Allende y Villa Victoria al poniente del estado de México para el año 2000.



Fuente: Elaboración del autor.

En el mapa del año 2018, la simbología corresponde a nueve categorías: pastizales con un porcentaje de superficie del (26.7%), agricultura de temporal (23.2%), bosque de oyamel (17.5%), bosque de pino-encino (13.1%), suelos desprovistos de vegetación (7.6%), agricultura de riego (4.8%), bosque de pino (3.0%), cuerpos de agua (2.2%) y asentamientos humanos (1.8%) [Tabla 7 y Figura 3].

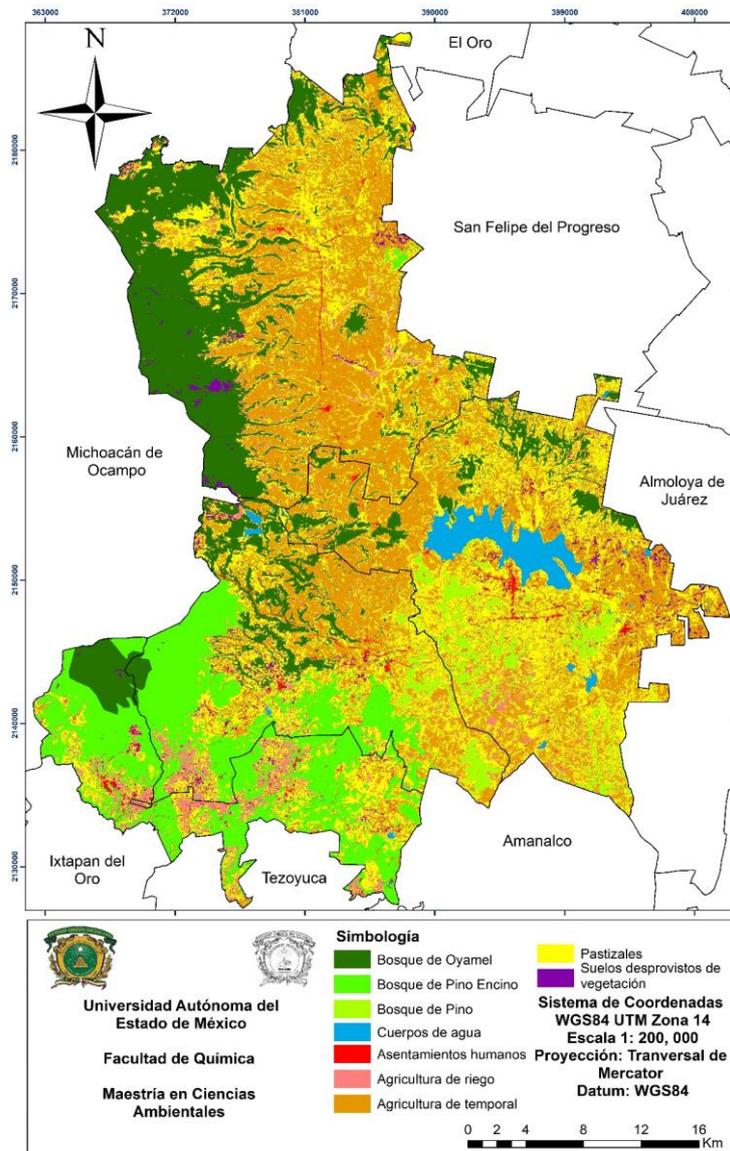
Tabla 7. Superficie de los ecosistemas presentes en los cuatro municipios para el año 2018

No	Ecosistemas año 2018	Superficie (ha)	%
1	Pastizales	37,787	26.7

2	Agricultura de Temporal	32,833	23.2
3	Bosque de Oyamel	24,714	17.5
4	Bosque de Pino Encino	18,544	13.1
5	Suelos desprovistos de vegetación	10,732	7.6
6	Agricultura de Riego	6,828	4.8
7	Bosque de Pino	4,236	3.0
8	Cuerpos de Agua	3,089	2.2
9	Asentamientos Humanos	2,577	1.8
	Total	141,340	100

Fuente: Elaboración del autor.

Figura 3. Ecosistemas en los municipios de Donato Guerra, San José del Rincón, Villa de Allende y Villa Victoria al poniente del estado de México para el año 2018.



Fuente: Elaboración del autor.

Validación de la cartografía de los ecosistemas

La confiabilidad de los mapas se determina para los años 2000 y 2018, en la matriz de confusión o error se muestran los niveles de confiabilidad (Tabla 8). En el mapa del año 2000, de los 900 sitios de muestreo (verdad terreno), 867 corresponden a las categorías representadas en el mapa (verdad imagen) y 33 corresponden a una categoría diferente. El mapa del año 2018, de los 900 sitios de muestreo, 860 corresponden a las categorías representadas en el mapa y 40 corresponden a otra categoría. Estos resultados significan el número de sitios correctamente clasificados de cada categoría en los mapas.

Tabla 8. Análisis de confiabilidad de la cartografía, mediante la matriz de error para los años 2000 y 2018.

Año 2000		Categorías del mapa (Verdad imagen)									
		Bosque de Oyamel	Bosque de Pino Encino	Bosque de Pino	Cuerpos de agua	Asentamientos humanos	Agricultura de riego	Agricultura de temporal	Pastizales	Suelos desprovistos de vegetación	Total de puntos verificados (Verdad terreno)
Verdad terreno (Categorías de referencia)	Bosque de Oyamel	93	7	0	0	0	0	0	0	0	100
	Bosque de Pino Encino	5	95	0	0	0	0	0	0	0	100
	Bosque de Pino	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
	Cuerpos de agua	0	0	0	100	0	0	0	0	0	100
	Asentamientos humanos	0	0	0	0	93	0	6	0	1	100
	Agricultura de riego	0	0	2	0	0	95	0	3	0	100
	Agricultura de temporal	0	0	0	0	1	0	97	1	1	100
	Pastizales	1	0	1	0	0	0	0	98	0	100
	Suelos desprovistos de vegetación	0	0	0	0	0	0	1	3	96	100
Total categorías del mapa		99	102	103	100	94	95	104	105	98	900
Año 2018		Categorías del mapa (Verdad imagen)									
		Bosque de Oyamel	Bosque de Pino Encino	Bosque de Pino	Cuerpos de agua	Asentamientos humanos	Agricultura de riego	Agricultura de temporal	Pastizales	Suelos desprovistos de vegetación	Total de puntos verificados (Verdad terreno)
Verdad terreno (Categorías de referencia)	Bosque de Oyamel	97	3	0	0	0	0	0	0	0	100
	Bosque de Pino Encino	0	98	2	0	0	0	0	0	0	100
	Bosque de Pino	0	5	95	0	0	0	0	0	0	100
	Cuerpos de agua	0	0	0	100	0	0	0	0	0	100
	Asentamientos humanos	1	0	0	0	92	4	1	0	2	100
	Agricultura de riego	0	0	0	0	0	92	3	4	1	100
	Agricultura de temporal	0	0	0	0	3	0	94	2	1	100
	Pastizales	0	1	1	0	0	1	0	97	0	100
	Suelos desprovistos de vegetación	1	0	0	0	1	0	1	2	95	100
Total categorías del mapa		99	107	98	100	96	97	99	105	99	900

Fuente: Elaboración del autor.

La Tabla 9, representa los valores en porcentaje de cada categoría respecto del número total de sitios de muestreo (verdad terreno). De esta forma se logra calcular la superficie en porcentaje de las categorías de los mapas (verdad imagen).

En el mapa del año 2000 se obtuvieron las siguientes proporciones: (15.5% de la superficie total) bosque de oyamel; (12.3%) bosque de pino-encino; (2.2%) bosque de pino; (2.1%) cuerpos de agua; (1.1%) asentamientos humanos; (4.8%) agricultura de riego; (29.6%) agricultura de temporal; (28.1%) pastizales; (4.3% de la superficie total) suelos desprovistos de vegetación.

Para el año 2018 las proporciones se comportaron así: (17.5% de la superficie total) bosque de oyamel; (13.1%) bosque de pino-encino; (3.0%) bosque de pino; (2.2%) cuerpos de agua; (1.8%) asentamientos humanos; (4.8%) agricultura de riego; (23.2%) agricultura de temporal; (26.7%) pastizales; y (7.6% de la superficie total) suelos desprovistos de vegetación.

Tabla 9. Análisis de confiabilidad de la cartografía, mediante la matriz de error para los años 2000 y 2018 expresada en proporción.

Año 2000		Categorías del mapa (Verdad imagen)									
		Bosque de Oyamel	Bosque de Pino Encino	Bosque de Pino	Cuerpos de agua	Asentamientos humanos	Agricultura de riego	Agricultura de temporal	Pastizales	Suelos desprovistos de vegetación	Total de puntos verificados (Verdad terreno)
Verdad terreno (Categorías de referencia)	Bosque de Oyamel	0.106	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111
	Bosque de Pino Encino	0.001	0.110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111
	Bosque de Pino	0.000	0.000	0.111	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111
	Cuerpos de agua	0.000	0.000	0.000	0.111	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111
	Asentamientos humanos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.104	0.000	0.000	0.000	0.006	0.111
	Agricultura de riego	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.110	0.000	0.001	0.000	0.111
	Agricultura de temporal	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.106	0.001	0.002	0.111
	Pastizales	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.109	0.000	0.111
Suelos desprovistos de vegetación	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.110	0.111	
Total categorías del mapa		0.108	0.115	0.113	0.111	0.106	0.110	0.107	0.111	0.119	1.00
Proporción representada en el mapa		0.155	0.123	0.022	0.021	0.011	0.048	0.296	0.281	0.043	1.00
Año 2018		Categorías del mapa (Verdad imagen)									
		Bosque de Oyamel	Bosque de Pino Encino	Bosque de Pino	Cuerpos de agua	Asentamientos humanos	Agricultura de riego	Agricultura de temporal	Pastizales	Suelos desprovistos de vegetación	Total de puntos verificados (Verdad terreno)
Verdad terreno (Categorías de referencia)	Bosque de Oyamel	0.107	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111
	Bosque de Pino Encino	0.000	0.109	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111
	Bosque de Pino	0.000	0.001	0.110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111
	Cuerpos de agua	0.000	0.000	0.000	0.111	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111
	Asentamientos humanos	0.006	0.000	0.000	0.000	0.105	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111

	Agricultura de riego	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.110	0.001	0.001	0.000	0.111
	Agricultura temporal	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.105	0.002	0.001	0.111
	Pastizales	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.108	0.000	0.111
	Suelos desprovistos de vegetación	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.109	0.111
	Total categorías del mapa	0.114	0.115	0.113	0.111	0.108	0.111	0.106	0.111	0.111	1.00
	Proporción representada en el mapa	0.175	0.131	0.030	0.022	0.018	0.048	0.232	0.267	0.076	1.00

Fuente: Elaboración del autor.

La Tabla 10 representa los valores obtenidos a través del método de Card (1982). Este método pondera el número de sitios de verificación (verdad terreno) en relación a la superficie de cada una de las categorías de los mapas (verdad imagen).

Para el mapa del año 2000, se obtuvieron las siguientes proporciones: (15.8% de la superficie total); bosque de oyamel; (11.9%) bosque de pino-encino; (2.2%) bosque de pino; (2.1%) cuerpos de agua; (1.5%) asentamientos humanos; (5.9%) agricultura de riego; (29.7%) agricultura de temporal; (27.8%) pastizales; y (4.2% de la superficie total) suelos desprovistos de vegetación.

Al mapa del año 2018 corresponden las siguientes proporciones: (16.9% de la superficie total) bosque de oyamel; (12.6%) bosque de pino-encino; (3.0%) bosque de pino; (2.2%) cuerpos de agua; (3.6%) asentamientos humanos; (5.1%) agricultura de riego; (23.7%) agricultura de temporal; (26.1%) pastizales; y (8.4% de la superficie total) suelos desprovistos de vegetación.

Tabla 10. Análisis de confiabilidad de la cartografía, mediante la matriz de error para los años 2000 y 2018 expresada en proporción y corregida de acuerdo con Card (1982).

		Categorías del mapa (Verdad imagen)									
		Bosque de Oyamel	Bosque de Pino Encino	Bosque de Pino	Cuerpos de agua	Asentamientos humanos	Agricultura de riego	Agricultura de temporal	Pastizales	Suelos desprovistos de vegetación	Total de puntos verificados (Verdad terreno)
Año 2000											
Verdad terreno (Categorías de referencia)	Bosque de Oyamel	0.152	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.158
	Bosque de Pino Encino	0.001	0.118	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.119
	Bosque de Pino	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022
	Cuerpos de agua	0.000	0.000	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021
	Asentamientos humanos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.001	0.000	0.003	0.015
	Agricultura de riego	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.048	0.000	0.001	0.000	0.059
	Agricultura de temporal	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.294	0.002	0.001	0.297
	Pastizales	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.276	0.000	0.278
	Suelos desprovistos de vegetación	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.040	0.042
Total categorías del mapa		0.155	0.123	0.031	0.021	0.011	0.048	0.295	0.281	0.044	1.0
Proporción representada en el mapa		0.155	0.123	0.022	0.021	0.011	0.048	0.296	0.281	0.043	1.0
Año 2018		Categorías del mapa (Verdad imagen)									

		Bosque de Oyamel	Bosque de Pino Encino	Bosque de Pino	Cuerpos de agua	Asentamientos humanos	Agricultura de riego	Agricultura de temporal	Pastizales	Suelos desprovistos de vegetación	Total de puntos verificados (Verdad terreno)
Verdad terreno (Categorías de referencia)	Bosque de Oyamel	0.164	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.169
	Bosque de Pino Encino	0.000	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.126
	Bosque de Pino	0.000	0.001	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
	Cuerpos de agua	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022
	Asentamientos humanos	0.009	0.000	0.000	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.009	0.036
	Agricultura de riego	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.048	0.001	0.002	0.000	0.051
	Agricultura de temporal	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.231	0.006	0.001	0.237
	Pastizales	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.259	0.000	0.261
	Suelos desprovistos de vegetación	0.001	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.001	0.075	0.084
Total categorías del mapa		0.175	0.131	0.030	0.022	0.025	0.048	0.232	0.268	0.085	1.0
Proporción representada en el mapa		0.175	0.131	0.030	0.022	0.018	0.048	0.232	0.267	0.076	1.0

Fuente: Elaboración del autor.

La Tabla 11 muestra los valores correspondientes a los intervalos de confianza de la confiabilidad de los mapas interpretados, estos intervalos se determinaron para los usuarios y productores, así fue posible determinar la confiabilidad global. El intervalo de confianza de la confiabilidad para los usuarios representa la probabilidad de que las categorías clasificadas y representadas en los mapas correspondan realmente en el terreno.

El intervalo de confianza para los productores representa la proporción de sitios de verificación de las categorías representadas en los mapas. La confiabilidad global representa la superficie de las categorías correctamente clasificadas en los mapas.

En cuanto al mapa del año 2000, los resultados muestran lo siguiente:

a) La proporción del (100% verdad imagen) para la confiabilidad del usuario se presenta en las categorías cuerpos de agua y agricultura de riego, con error de comisión del (0%); mientras que los suelos desprovistos de vegetación exhiben la menor confiabilidad del usuario del (92%) y el mayor nivel de error de comisión del (8%).

b) La confiabilidad del productor de las clases bosque de pino y cuerpos de agua presentan una proporción del (100% verdad imagen) con error de omisión del 0%, mientras que los asentamientos humanos exhiben la menor confiabilidad del productor del 92% y el mayor nivel de error de omisión del (8%).

c) La confiabilidad global es del (97.44% verdad imagen) y (2.55%) del intervalo de confianza de la confiabilidad global.

Para el mapa del año 2018 los resultados muestran lo siguiente:

a) Los cuerpos de agua presentan (100% verdad imagen) en confiabilidad del usuario con error de comisión del (0%), mientras que el bosque de oyamel exhibe la menor confiabilidad del usuario del (93%) y el mayor nivel de error de comisión del (7%).

b) La confiabilidad del productor para los cuerpos de agua es del (100% verdad imagen) con error de omisión del (0%), mientras que los asentamientos humanos y la agricultura de riego presentan la menor confiabilidad del productor del (93%) y el mayor número de error de omisión del (7%).

c) La confiabilidad global es del (97% verdad imagen), con intervalo de confianza de (1.42%) de la confiabilidad global.

Tabla 11. Confiabilidad global y sus intervalos de confianza para los ecosistemas presentes en el área de estudio.

		Categorías en porcentaje (%)									Confiabilidad global (%)	Intervalo de confianza de la confiabilidad global (%)
		Bosque de Oyamel	Bosque de Pino Encino	Bosque de Pino	Cuerpos de agua	Asentamientos humanos	Agricultura de riego	Agricultura de temporal	Pastizales	Suelos desprovistos de vegetación		
Año 2000	Confiabilidad del usuario	98	95	99	100	98	100	99	98	92	97.44	2.55
	Error de comisión	2	5	1	0	2	0	1	2	8		
	Intervalo de confianza de la confiabilidad del usuario	2.6	4.3	0.2	0	2.4	0	1.4	2.6	5.8		
	Confiabilidad del productor	96	98	100	100	92	97	98	99	95		
	Error de omisión	4	2	0	0	8	3	2	1	5		
	Intervalo de confianza de la confiabilidad del productor	0.04	0.02	0	0	0.06	0.03	0.02	0.02	0.04		
Año 2018	Confiabilidad del usuario	93	95	97	100,0	97	98	99	96	99	97.00	1.42
	Error de comisión	7	5	3	0	3	2	1	4	1		
	Intervalo de confianza de la confiabilidad del usuario	5.2	4.2	3.0	0	3.3	2.5	1.5	3.7	1.8		
	Confiabilidad del productor	96	99	97	100	93	93	97	99	97		
	Error de omisión	4	1	3	0	7	7	3	1	3		
	Intervalo de confianza de la confiabilidad del productor	0.03	0.01	0.03	0	0.03	0.05	0.03	0.02	0.03		

Fuente: Elaboración propia.

Ajuste a las superficies derivadas de los mapas clasificados

La Tabla 12 representa los valores correspondientes a la proporción y superficie corregida que presenta cada categoría, en relación con el resultado del ajuste de los errores de clasificación. En los mapas del año 2000 y 2018, el ecosistema de cuerpos de agua no se sometió a corrección, debido a la ausencia de errores de omisión y comisión.

Tabla 12. Superficies obtenidas de la clasificación, superficies corregidas por el método de Card y proporción de la superficie corregida para cada ecosistema.

Año 2000		Bosque de Oyamel	Bosque de Pino Encino	Bosque de Pino	Cuerpos de agua	Asentamientos humanos	Agricultura de riego	Agricultura de temporal	Pastizales	Suelos desprovistos de vegetación	Superficie Ha	Proporción corregida	Superficie corregida Ha
		Sitios de muestreo (Categorías de referencia)		Bosque de Oyamel	Bosque de Pino Encino	Bosque de Pino	Cuerpos de agua	Asentamientos humanos	Agricultura de riego	Agricultura de temporal	Pastizales	Suelos desprovistos de vegetación	Superficie Ha	Proporción corregida	Superficie corregida Ha
	Bosque de Oyamel	0.955	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	21,880	0.16	22,135
	Bosque de Pino Encino	0.008	0.992	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	17,397	0.12	16,589
	Bosque de Pino	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3,135	0.02	3,178
	Cuerpos de agua	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2,924	0.02	2,924
	Asentamientos humanos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.939	0.000	0.003	0.000	0.058	1,595	0.01	1,922
	Agricultura de riego	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.991	0.000	0.005	0.000	6,789	0.06	6,929
	Agricultura de temporal	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.956	0.008	0.020	41,767	0.30	41,975
	Pastizales	0.010	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.981	0.000	39,756	0.28	39,676
	Suelos desprovistos de vegetación	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.004	0.994	6,097	0.04	6,012
Proporción representada en el mapa		0.155	0.123	0.022	0.021	0.011	0.048	0.296	0.281	0.043	141,340	1.0	141,340
Año 2018		Bosque de Oyamel	Bosque de Pino Encino	Bosque de Pino	Cuerpos de agua	Asentamientos humanos	Agricultura de riego	Agricultura de temporal	Pastizales	Suelos desprovistos de vegetación	Superficie Ha	Proporción corregida	Superficie corregida Ha
Sitios de muestreo (Categorías de referencia)		Bosque de Oyamel	Bosque de Pino Encino	Bosque de Pino	Cuerpos de agua	Asentamientos humanos	Agricultura de riego	Agricultura de temporal	Pastizales	Suelos desprovistos de vegetación	Superficie Ha	Proporción corregida	Superficie corregida Ha
	Bosque de Oyamel	0.960	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	24,714	0.17	23,714
	Bosque de Pino Encino	0.000	0.985	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	18,544	0.13	18,045
	Bosque de Pino	0.000	0.007	0.993	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4,236	0.03	4,310
	Cuerpos de agua	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3,089	0.02	3,089
	Asentamientos humanos	0.052	0.000	0.000	0.000	0.943	0.003	0.001	0.000	0.001	2,577	0.04	2,977
	Agricultura de riego	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.986	0.005	0.008	0.002	6,828	0.05	7,587
	Agricultura de temporal	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027	0.000	0.947	0.020	0.007	32,833	0.24	33,933
	Pastizales	0.009	0.000	0.009	0.000	0.000	0.014	0.000	0.968	0.000	37,787	0.26	36,810
	Suelos desprovistos de vegetación	0.004	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.005	0.985	10,732	0.08	10,875
Proporción representada en el mapa		0.175	0.131	0.030	0.022	0.018	0.048	0.232	0.267	0.076	141,340	1.0	141,340

Fuente: Elaboración del autor.

Análisis de los procesos de cambios en los ecosistemas para cuatro municipios al poniente del estado de México

La dinámica de cambios ocurridos en los ecosistemas para los años 2000 y 2018, está relacionada con el desarrollo de actividades y programas, tales como el Programa de pago por Servicios Ambientales, que ha generado crecimiento en la superficie con cobertura forestal; de modo que permite identificar cambios entre los diferentes ecosistemas terrestres de un año inicial a uno final.

La Tabla 13 muestra los resultados de los indicadores de cambios para los años 2000 y 2018, los cuales muestran que 96,271 ha (68.11%) de la superficie al poniente del estado de México no presentó cambios y se mantuvo estable. En contraste, 45,069 ha (31.89% de la superficie total) mostraron cambios (pérdidas-ganancias), entre los diferentes ecosistemas del área de estudio, de los cuales 39,987 ha (28.29%) corresponde a los intercambios y 5,082 ha (3.60%) al cambio neto.

Finalmente, la agricultura de temporal y los pastizales fueron las coberturas que presentaron mayores pérdidas (13,884 ha y 19,849 ha respectivamente), por el contrario, las categorías que presentaron mayores ganancias fueron los pastizales y suelos desprovistos de vegetación (17,880 ha y 8,295 ha cada uno).

Tabla 13. Análisis de los cambios de la superficie de cada ecosistema en el área de estudio para los años 2000 y 2018.

	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino Encino	Bosque de Pino	Cuerpos de agua	Asentamientos humanos	Agricultura de riego	Agricultura de temporal	Pastizales	Suelos desprovistos de vegetación	Total ha/%
Área (ha) 2000	21,880	17,397	3,135	2,924	1,595	6,789	41,767	39,756	6,097	141,340
%	15.48	12.31	2.22	2.07	1.13	4.80	29.55	28.13	4.31	100.00
Área (ha) 2018	24,714	18,544	4,236	3,089	2,577	6,828	32,833	37,787	10,732	141,340
%	17.49	13.12	3.00	2.19	1.82	4.83	23.23	26.73	7.59	100.00
Persistencia	21,448	16,533	2,847	2,854	1,293	1,069	27,883	19,907	2,437	96,271
%	15.17	11.70	2.01	2.02	0.91	0.76	19.73	14.08	1.72	68.11
Pérdidas	432	864	288	70	302	5,720	13,884	19,849	3,660	45,069
%	0.31	0.61	0.20	0.05	0.21	4.05	9.82	14.04	2.59	31.89
Ganancias	3,266	2,011	1,389	235	1,284	5,759	4,950	17,880	8,295	45,069
%	2.31	1.42	0.98	0.17	0.91	4.07	3.50	12.65	5.87	31.89
Cambio total	3,698	2,875	1,677	305	1,586	11,479	18,834	37,729	11,955	45,069
%	2.62	2.03	1.19	0.22	1.12	8.12	13.33	26.69	8.46	31.89
Cambio neto	2,834	1,147	1,101	165	982	39	8,934	1,969	4,635	5,082
%	2.01	0.81	0.78	0.12	0.69	0.03	6.32	1.39	3.28	3.60
Intercambios	864	1,728	576	140	604	11,440	9,900	35,760	7,320	39,987
%	0.61	1.22	0.41	0.10	0.43	8.09	7.00	25.30	5.18	28.29

Fuente: Elaboración del autor.

CONCLUSIONES

La identificación de los ecosistemas presentes en cuatro municipios al poniente del estado de México a través de un método híbrido, permitió obtener dos mapas precisos de los ecosistemas conforme a la realidad para los años 2000 y 2018, resultado de la combinación de una clasificación supervisada e interdependiente, lo que generó que ambos mapas logren una confiabilidad global del 97%.

A través del recorrido *in situ* con observación directa y mediante el uso del GPS efectuado en los cuatro municipios que integran el área de estudio, se verificó que la distribución de los ecosistemas representados espacialmente en los mapas corresponde con la realidad del espacio geográfico.

En el área de estudio se observó que en un periodo de tiempo de 18 años (2000-2018) los ecosistemas que han presentado un incremento considerable en su superficie son el bosque de oyamel, el bosque de pino-encino y el de pino; otros ecosistemas también han aumentado su superficie, como los asentamientos humanos y la agricultura de riego.

Referido lo anterior, el bosque de oyamel presentó un incremento de 2,834 ha en su superficie, el bosque de pino-encino aumentó en 1,147 ha y el bosque de pino en 1,101 ha; lo que generó un incremento total en el ecosistema forestal de 5,082 ha; resultado de la implementación de programas que tienen como propósito la conservación y restauración de espacios forestales, como es el caso del Programa de pago por Servicios Ambientales. En contra parte, los ecosistemas que han presentado mayores pérdidas en su superficie en los cuatro municipios son la agricultura de temporal con 8,934 ha y los pastizales con 1,969 ha.

El análisis de los cambios de cobertura y uso de suelo de los ecosistemas que se encuentran presentes en un determinado espacio geográfico, permiten identificar la tendencia que presenta el área de estudio en un periodo de tiempo; y si está perdiendo o aumentando su superficie; y cuáles son los factores que están influyendo en la transición de ecosistemas, ya sean estos sociales, económicos, políticos y culturales.

Este tipo de investigaciones son de gran importancia debido a la relación que tienen con los problemas ambientales y que atañen a un espacio geográfico, permitiendo así el desarrollo de programas y estrategias que mitiguen los factores que están alterando al medio ambiente y así contribuir a mejorar las condiciones del territorio.

BIBLIOGRAFÍA

Bocco, G., Mendoza, M., Masera, O. R. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación (parte 1), *Investigaciones Geográficas* (Mx), 18-38.

Buendía, E., Vasrgas, R., Leyva, A. y Terrazas, S. (2002). Aplicación de redes neuronales artificiales y técnicas sig para la predicción de coberturas forestales. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8(1): 31-37.

Camacho, J. M., Juan, J. I., Pineda, N. B., Cadena, E. G., Bravo, L. C. y Sánchez, M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y Bosques*, 21(1), 93-112. doi: 10.21829/myb.2015.211435.

Camacho, J. (2016). *Cambios de cobertura y uso del suelo en el surponiente del estado de México. Modelos dinámicos y prospectivos. Aportación teórica – metodológica en las ciencias ambientales* (Tesis de posgrado). Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química, Toluca, México.

Camacho-Sanabria, J. M. (2019). Alcance descriptivo de los cambios de cobertura y uso del suelo. El caso de la Porción Surponiente del Estado de México (1989-2009). México: Universidad de Quintana Roo y Colegio de Ciencias Geográficas del Estado de México, A.C., 136 pp.

Camacho, R. (2017). *Conversión en sistemas agrícolas y su efecto en la temperatura. Escenarios prospectivos en Progreso Hidalgo, Estado de México 2000-2015* (Tesis de posgrado). Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química, Toluca, México.

Card, H. D. (1982). Using known map category marginal frequencies to improve estimates of thematic map accuracy, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48(3), 431-439.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2009). *Guía para la interpretación de cartografía de uso del suelo y vegetación digital escala 1:250 000*, serie III. México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. México.

Jensen, J. (1996). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (2a. ed.). NJ: Prentice – Hall. Upper Saddle River.

Mas, J. F., Reyes, J., y Pérez, A. (2003). Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, (51), 53-72. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/569/56905105.pdf>

Mas, J. F. y Couturier S. (2011). Evaluación de Bases de Datos Cartográficas. In F. Bautista (Ed.), *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales* (2da. ed., pp. 675-703). México: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental y el Instituto de Geografía.

Mas, J. y Flamenco, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/ uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTropico*, 5(1), 1-24.

Mas, J., Lemoine, R., González, R., López, J., Piña, A. y Herrera, E. (2017). Evaluación de las tasas de deforestación en Michoacán a escala detallada mediante un método híbrido de clasificación de imágenes SPOT. *Madera y Bosques*, 23(2). Doi: <http://dx.doi.org/10.21829/myb.2017.2321472>

Pauliet, S., Ennos, R. y Golding, Y. (2005). *Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change: a study in Merseyside, UK*. In *Landscape and Urban Planning*. N° 71.

Pontius, R., Shusas, E., & McEachern (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 101(2-3), 251-268.

Stehman, S. y Czaplewski, R. (1998). Design and analysis for thematic map accuracy assessment fundamental principles. *Remote Sensing of Environment* 64:331-334.

Young, B. E., Lips, K. R., Reaser, J. K., Ibañez, R., Salas, A. W., Cedeño, J. R., Coloma, L. A., Ron, S., La Marca, E., Meyer, J. R., Muñoz, A., Bolaños, F., Chaves, G. y Romo, D. (2001). Population declines and priorities for amphibian conservation in Latin America. *Conservation Biology*, 15(5): 1213-1223. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2001.00218.x>

© José Carlos Camacho Reyes, Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo, Miguel Ángel Balderas Plata y José Manuel Camacho Sanabria.

Camacho Reyes, J.C.; Gutiérrez Cedillo, J.G.; Balderas Plata, M.A.; Camacho Sanabria, J.M. (2021). Los ecosistemas de la zona poniente del estado de México. Dinámica temporal y espacial. ***Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)***. 13(21) Sección I:1-22.

On-line: www.revistageosig.wixsite.com/geosig

Recibido: 8 de febrero de 2021

Aceptado: 10 de junio de 2021