

Dinámica temporal de cambio de uso de suelo y vegetación en la cuenca Juluapan en el estado de Colima Temporary dynamics of the change of land use and vegetation in the Juluapan watershed in the state of Colima

Demetrio Meza-Rodríguez^{1†}, José Luis Olguín-López¹, Shatya Devi Quintero-Gradilla¹,
Enrique Valente Sánchez-Rodríguez¹ y Víctor Manuel Villalvazo-López¹

¹ Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. Avenida Independencia Nacional #151, Centro. 48900 Autlán de Navarro, Jalisco, México.

† Autor para correspondencia (demetrio.meza@academicos.udg.mx)

Editor de Sección: Dr. Juan Pedro Flores Margez

RESUMEN

El estudio del proceso dinámico de cambio de uso de suelo y vegetación se considera esencial dadas las tendencias de los procesos de degradación de los ecosistemas. La cuenca Juluapan presenta procesos de cambio de uso de suelo y vegetación desde hace más de 50 años, por lo que el objetivo de la investigación es analizar el cambio de uso de suelo y vegetación a través del tiempo para los periodos 1971 a 2010 y 2010 a 2018, utilizando imágenes aéreas y de satélite, usando los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los resultados obtenidos para periodo de 1971-2010, manifiestan la pérdida de 752 hectáreas de vegetación arbustiva que representa 13.3% de la superficie total. Para el periodo 2010-2018, se estimó una pérdida de 202 hectáreas, con una superficie deforestada del 3.6%. La tasa de cambio para la vegetación arbórea del periodo de 1971-2010 se definió con un -1.47% y para el periodo 2010-2018 con una tasa de cambio -2.03%. Los escenarios de cambio en la cubierta vegetal y uso del suelo presentados en este estudio permitirán el desarrollo de acciones en favor de la planificación del recurso suelo, vinculadas con el ordenamiento del territorio a escala local y la ejecución de programas que aminoren el impacto hacia los recursos naturales y favorezcan el uso racional de los ecosistemas en esta región.

Palabras clave: deforestación, degradación, transición, actividad productiva, análisis SIG.

SUMMARY

The study of the dynamic processes of the change of land use and vegetation is essential given the trends in the degradation processes of ecosystems. The Juluapan basin exhibits processes of change of land use and vegetation for more than 50 years, therefore, the objective of our study was to analyze the changes in land and vegetation use over time for the periods 1971 to 2010 and 2010 to 2018, with aerial and satellite images using Geographic Information Systems (GIS). The results obtained for the period of 1971-2010 show the loss of 752 hectares of shrub vegetation that represents 13.3% of the total area. For the 2010-2018 period, a loss of 202 hectares was estimated, with a deforested area of 3.6%. The exchange rate for tree vegetation of the 1971-2010 period was defined with -1.47% and for the 2010-2018 period with a -2.03%. The scenarios of change of land use and vegetation presented in this study will allow the development of actions in favor of soil resource planning related to land use ordinance at the local level, as well as the execution of programs that reduce the impact on natural resources and promote the rational use of ecosystems in this region.

Index words: deforestation, degradation, transition, productive activity, GIS analysis.



Cita recomendada:

Meza-Rodríguez, D., Olguín-López, J. L., Quintero-Gradilla, S. D., Sánchez-Rodríguez, E. V., & Villalvazo-López, V. M. (2023). Dinámica temporal de cambio de uso de suelo y vegetación en la cuenca Juluapan en el estado de Colima. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-15. e1317. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1317>

Recibido: 29 de enero de 2022.
Aceptado: 17 de febrero de 2023.
Artículo. Volumen 41.
Junio de 2023.

INTRODUCCIÓN

El uso de suelo se ha definido como la manipulación física del mismo, en una escala de tiempo y espacio, sea permanente o cíclica (Richters, 1995); es un proceso que ha sido asociado a la producción de bienes materiales para asegurar el sustento del ser humano (INEGI, 2005). Los procesos de cambio de uso del suelo que ocurren en los ecosistemas terrestres se deben principalmente a su conversión, degradación e intensificación (Lambin, 1997), siendo su estudio relevante como factor promotor del cambio ambiental global (Jansen, 2006).

A nivel mundial, el cambio de uso de suelo y vegetación tiene influencia de factores socioeconómicos y biofísicos (Foley *et al.*, 2005). Factores antrópicos vinculados a la satisfacción de las necesidades humanas como la agricultura intensiva (Kanianska, 2016), la industrialización, el crecimiento urbano (Lu, Liang, Bi, Duffy y Zhao, 2011), el funcionamiento de los mercados (nacionales, regionales, locales), las políticas externas y las condiciones demográficas (Turner II, Moss y Skole, 1993). Así mismo, factores como la deforestación y la degradación de los bosques con efectos negativos sobre los ecosistemas, la biodiversidad y el sistema climático global (Meli, 2003; Rosete-Verges, Pérez y Bocco, 2009; Ogle, Delparte y Sanger, 2017); Todos estos factores tienen un impacto importante en el uso del suelo y los cambios en la cobertura vegetal (Lambin, Geist y Lepers, 2003).

El crecimiento poblacional, la necesidad continua de vivienda y alimento, son entre otros, factores vinculados al ser humano que provocan el aumento de tierras urbanizadas (Martine, 2001¹; Kulkarni y Ramachandra, 2006). Proceso que conduce al crecimiento no planificado de las áreas urbanas, típicamente dispersas e ineficientes (Hamidi y Ewing, 2014; Ewing y Hamidi, 2015), provocando la degradación de los ecosistemas (Martine, 2001¹; Curiel-Ballesteros, 2007).

El uso de datos de teledetección (imágenes aéreas e imágenes de satélite) operado dentro de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los datos de teledetección se han manejado ampliamente en las últimas décadas para analizar el cambio de uso de suelo, el aumento de la disponibilidad de datos de teledetección y la mejora constante de las técnicas en la detección de cambio hace posible evaluar la dinámica de los bosques y la deforestación con los cuales se estima el crecimiento o la disminución de la superficie cultivada (Herrera, 1983; Green, Kempka y Lackey, 1994; Soria, Ortiz, Islas & Volke, 1998).

El estudio tiene como objetivo, analizar el cambio de uso de suelo y vegetación en la cuenca Juluapan, para los se periodos de 1971-2010 y 2010-2018, a través del análisis SIG e interpretación visual de imágenes de satélite.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Área de Estudio

La cuenca Juluapan se localiza en el estado de Colima en el occidente de la república mexicana en las coordenadas geográficas 19° 04' 54.61" a 19° 13' 06.36" N y 104° 28' 26.80" a 104° 22' 51.63" O (Figura 1). La cuenca es tributaria a la cuenca de la laguna de Cuyutlán que drena una superficie aproximada de 56.51 km², las corrientes principales nacen en el noreste de la cuenca en el Cerro del Toro, zona de gran importancia para la recarga de los mantos acuíferos, los escurrimientos superficiales fluyen hasta alcanzar la laguna de Juluapan que está conectada al Océano Pacífico.

¹ Martine, G. (2001). The sustainable use of space: Advancing the population/environment agenda. In *Paper presented at the cyber seminars of the Population-Environment Research Network*. (23 pp.) New York, NY, USA: Columbia University.

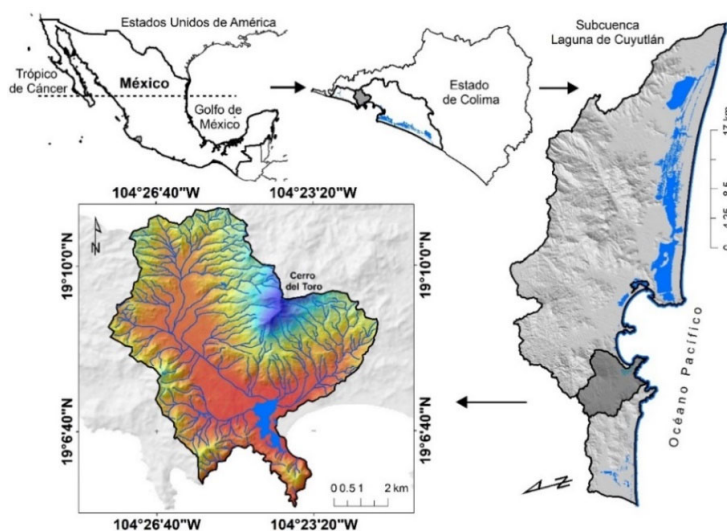


Figura 1. Localización de la cuenca tributaria de Juluapan.
Figure 1. Location of the tributary basin of Juluapan.

Coberturas de Uso de Suelo y Vegetación

La capa temática de uso de suelo y vegetación de los periodos considerados en este estudio se elaboró a través del uso de diferentes fuentes de información. Para 1971, se empleó la carta en papel a escala 1:50 000, publicada por el Centro de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL) con base en el vuelo fotográfico del mes de abril del año 1971 (clave Cihuatlán E13B42) (CETENAL, 1975). Para el 2010, se interpretó la imagen de satélite francés SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) de fecha 09 de febrero, a escala 1:50 000 con número E55783120401212J2A00001; y para el 2018, se interpretó la imagen de satélite Sentinel 2B del 02 junio, a escala 1:50 000. Las coberturas fueron trabajadas bajo el sistema de coordenadas WGS84 UTM 13-Norte.

Manejo de la Información Digital

La imagen CETENAL de 1971, requirió una conversión a formato digital y traslado a un proceso de digitalización interactiva con base en imagen en Formato TIFF (Tagged Image File Format). El primer paso fue la georreferenciación de la imagen digital, el segundo fue la digitalización de los rodales, realizado directamente mediante el seguimiento de líneas en pantalla utilizando el software especializado en SIG ArcGis 10.8 (Esri, 2021), Idrisi (Eastman, 2020), esto permitió obtener una mayor precisión en los resultados esperados. Concluida la digitalización, fueron corregidos los errores del archivo vectorial mediante una limpieza topológica dentro del ambiente SIG.

Para la imagen SPOT del 2010, se basó en un proceso de interpretación de la composición en falso color con la combinación de bandas RGB 432, más la imagen pancromática de alta resolución de un metro, consiguiendo así una resolución de 10 m. La composición de bandas destaca el vigor de la vegetación debido en gran medida a las bandas infrarrojas, que diferencia los fragmentos de vegetación de bosque y su vigor con diferentes matices de rojo, al contrario, el color azul corresponde a las zonas de agricultura, ganadería y superficies sin cobertura vegetal, que se diferencian por su forma geométrica regular (Lillesand, Kiefer y Chipman, 2004).

Esto implicó el cumplimiento de dos etapas fundamentales: preparación e interpretación propiamente dicha. Al igual que la imagen del 1971, se realizó la digitalización en pantalla utilizando software especializado en SIG. Los tipos de cobertura se identificaron a partir de los siguientes criterios: tamaño, forma, tono, textura y patrón (Verstappen, 1977). Completada la fotointerpretación fue necesario, antes de su combinación en el SIG, efectuar un barrido topológico para excluir los errores hacia la transformación de polilíneas a polígonos de una base de datos adecuados. Este proceso se realizó en el ambiente SIG, siguiendo el mismo método descrito para la limpieza topológica del mapa de uso del suelo y vegetación de 1971.

La elaboración de la capa de uso de suelo y vegetación del año 2018 se basó en un proceso de interpretación de la imagen de satélite Sentinel 2B, con una composición en color natural con la combinación de bandas RGB 432 con una resolución de 10 m. Al igual que la imagen del 2010 se realizó una preparación y una interpretación, siguiendo los pasos de las imágenes 1971 y 2010. La digitalización fue hecha en pantalla utilizando el software especializado en SIG. Se siguieron los mismos pasos para reconocer los diversos tipos de cobertura. La limpieza topológica realizada para eliminar los errores es la descrita previamente para el mapa de uso del suelo y vegetación de 1971 y 2010.

La disminución de los errores derivados de los falsos cambios en la clasificación de los mapas: clasificación, etiquetado y delimitación de polígonos (Mas, 1999; Mas, Velázquez y Couturier, 2009), se realizó con la técnica descrita por Mas (2005). La cual residió en la sobreposición del polígono de la cobertura vegetal y uso del suelo de la fecha actual (2010 o 2018) sobre la imagen digital más antigua. A continuación, mediante el análisis visual, se procedió a modificación de la cobertura directamente sobre el monitor. De esta manera se obtuvieron los mapas de vegetación y uso del suelo para los años 2010 y 2018.

La conversión de los mapas vectoriales a formato ráster (mapas de usos del suelo y de vegetación) asumió un tamaño de píxel (20 × 20 m), para minimizar los errores procedentes de la rasterización (Frolov y Maling, 1969).

Criterios de la Clasificación

Se realizó la tabulación cruzada para clasificar los mapas originales de uso del suelo y vegetación, procurando que las categorías de la leyenda de las fechas fueran comparables. Para ello fue aplicado el mismo criterio de clasificación tomado en cuenta, como criterio principal, la posibilidad de evidenciar la perturbación sufrida en la cobertura forestal en cuanto a su pérdida o ganancia, empleándose el sistema de clasificación jerárquico y homogéneo para cada una de las capas temáticas (Cuadro 1).

Los descriptores de las principales características encontradas de uso de suelo y vegetación en la cuenca (Cuadro 2) fueron establecidas utilizando la clasificación de Rzedowski (1978), INEGI (2009) e INEGI (2015).

Sobreposición o Cruce Tabular

El análisis del cambio de uso de suelo se realizó a través de la sobreposición de tablas o Crosstab (Eastman, 2009) que permitió generar las capas temáticas de cambio de uso del suelo y vegetación y la matriz de transición de cambios observados para los periodos considerados en este estudio (López y Plata, 2009).

Evaluación de las Exactitudes de las Clasificaciones

El índice Kappa (K') es una medida de la concordancia basada en las diferencias entre los datos de la clasificación y los de referencia (Cohen, 1960 y Jensen, 2015), comparada con la exactitud proveniente de una clasificación debida al azar (Congalton y Green, 2019; Richards, 2013).

Cuadro 1. Leyenda jerárquica de uso del suelo (1971, 2010 y 2018).
Table 1. Hierarchical legend of land use (1971, 2010 and 2018).

Formación	Categoría	Clave
Selvas	Selva baja caducifolia	SBC
	Selva media	SM
	Manglar	Ma
Cultivos	Agricultura de temporal	Atp
	Agricultura de temporal con pastizal cultivado	Atp(Pc)
Pastizal	Pastizal inducido	Pi
Asentamientos humanos	Áreas urbanas	Au
Masas de agua	Cuerpos de agua	Ha

Cambio en Uso del Suelo y Vegetación

El análisis de cambio procedente de las coberturas 1971-2010 y 2010-2018, la clasificación jerárquica para los dos periodos será determinada de acuerdo con el método establecido por Palacio-Prieto *et al.* (2004), (Cuadro 3).

Tasa de Cambio

Esta tasa expresa el cambio en porcentaje de la superficie al inicio de cada año. El mismo procedimiento se aplicó a las demás categorías, de tal forma que los resultados de este estudio describen las transiciones entre todos los usos del suelo, y no sólo los forestales. Se calculó la tasa anual de cambio para cada una de las clases de cobertura. Esta tasa se calculó de la manera siguiente:

$$C = \frac{\ln A - \ln B}{N} * 100 \quad (1)$$

Dónde: C es la tasa de cambio anual, Ln el logaritmo natural, A la superficie de la categoría de cobertura final, B la superficie de la categoría de cobertura inicial, y N el número de años.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los primeros resultados fueron las coberturas de uso de suelo y vegetación, producto de la interpretación de la imagen de satélite de 1971 (Figura 2a), 2010 (Figura 2b) y 2018 (Figura 2c), clasificaciones propuestas para el análisis de cambio de uso del suelo y vegetación y sus leyendas jerárquicas análogas.

Cambio 1971-2010

La tabulación cruzada entre las coberturas de 1971 y 2010, arrojó 53 categorías distintas. Con la finalidad de facilitar el análisis, se realizó el estudio separando las transiciones sufridas por cada clasificación: Agricultura de temporal (Atp), Agricultura de temporal con pastizal cultivado Atp(Pc), Pastizal inducido (Pi), Manglar (Ma), Selva baja caducifolia (SBC), Selva media (SM), Áreas urbanas (Au) y Cuerpos de agua (Ha). El proceso incluyó la obtención de la matriz de transición (Cuadro 4).

Cuadro 2. Características del uso de suelo y vegetación.
Table 2. Characteristics of land use and vegetation.

Uso de suelo y vegetación	Características
Selva Media (SM)	Este tipo de vegetación se desarrolla en regiones cálidas subhúmedas con lluvias en verano, la precipitación anual oscila entre 1000 y 1229 mm y una temperatura media anual que va de los 25.9 °C a los 26.6 °C, con una temporada seca muy bien definida y prolongada. Los climas en los que prospera son los Am más secos y preferentemente los Aw. Se localiza a una altitud que oscila entre los 150 y 1250.
Selva baja caducifolia (SBC)	Se desarrolla en condiciones climáticas en donde predominan los tipos cálidos subhúmedos, semisecos o subsecos. El más común en Aw, aunque también se presenta BS y CW. El promedio anual es superior a los 20° C y las precipitaciones anuales oscilan entre la máxima de 1200 mm y una mínima de 600 mm con una temporada seca muy marcada. Esta selva presenta corta altura en sus componentes arbóreos que van desde 4 a 10 metros de altura y eventualmente hasta los 15 metros. El extracto herbáceo es bastante reducido y solo se aprecia después de las lluvias, se encuentran principalmente sobre laderas de cerros bien drenados.
Manglar (Ma)	Es una comunidad densa, dominada principalmente por un grupo de especies arbóreas, ocasionalmente arbustivas, cuya altura es de 3 a 5 m, pudiendo alcanzar hasta los 30 m. Una característica que presenta los mangles son sus raíces en forma de zancos, cuya adaptación le permite estar en contacto directo con el agua salobre, sin ser necesariamente plantas halófitas. Se desarrolla en zonas de lagunas costeras y desembocaduras de ríos, así como en las partes bajas y fangosas de las costas.
Agricultura de temporal (Atp)	Se clasifica como tal al tipo de agricultura en donde el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran necesita del agua lluvia, por lo que su éxito requiere de la precipitación y de la capacidad del suelo para retener el agua, su clasificación es independiente del tiempo que dura el cultivo en el suelo, que puede llegar a más de diez años, en el caso de los frutales, o bien son por periodos dentro de un año como los cultivos de verano. Estas zonas, para ser clasificadas como de temporal deberán permanecer sembradas al menos un 80% del ciclo agrícola. Pueden ser áreas de monocultivo o de policultivo y pueden combinarse con pastizales o bien estar mezcladas con zonas de riego, lo que conforma un mosaico complejo, difícil de separar, pero que generalmente presenta dominancia de los cultivos cuyo crecimiento depende del agua de lluvia.
Agricultura de temporal con pastizal cultivado (Atp(Pc))	En estos se clasifican todos aquellos terrenos en donde el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran depende del agua de la lluvia, sus características de rotación por tiempos determinados, estos cultivos están asociado a pastizales que se ha introducido intencionalmente en una región y para su establecimiento y conservación se realizan algunas labores de cultivo y manejo. Son pastos nativos de diferentes partes del mundo. Estos pastizales son los que generalmente forman los llamados potreros en zonas tropicales, por lo general con buenos coeficientes de agostadero.
Pastizal inducido (Pi)	Este surge cuando la vegetación original es eliminada. Este pastizal puede aparecer como consecuencias de desmontes de cualquier tipo de vegetación o también puede establecerse en áreas agrícolas abandonadas o bien como productos de áreas que se incendian con frecuencia. Esta se ubica en grandes extensiones que cubren algunas de las vertientes de las sierras, mayormente sobre los luvsoles, y en menor medida en las partes altas y llanas de las mencionadas sierras. Después de la agricultura, los espacios dedicados a la producción pecuaria representan el uso más importante para la economía del medio rural.
Áreas urbanas	Para la geografía, el espacio urbano es el paisaje propio de los núcleos urbanos o ciudades, y son producto de la actualización de las zonas urbanas como parte de las labores de actualización de la información de uso del suelo y vegetación.
Cuerpos de agua	Un cuerpo de agua es cualquier extensión que se encuentran en la superficie terrestre (ríos y lagos) estos pueden ser naturales como artificiales (embalses) y pueden ser de agua salada o dulce.

La precisión global obtenida de la matriz indica buena asociación de coincidencia entre los datos de referencia y los mapas temáticos. De acuerdo con la interpretación de Landis y Koch (1977), los valores obtenidos del índice de *Kappa* 0.7844 para el periodo de 1971-2010 corresponden a una concordancia satisfactoria del 78.44 por ciento.

El proceso de cambio para la SM y SBC localizadas en la cuenca, presentó procesos severos de cambio de uso de suelo y vegetación, aumentando de esta manera las superficies Atp y Atp(Pc). La SBC asumió una pérdida de 641 ha, que representa 11.04% de la superficie total de la cuenca, SM 118.02 ha con 2.10% y Ma 20.37 ha, 0.67%. (Cuadro 4).

Cuadro 3. Clasificación jerárquica para el cambio de uso de suelo y vegetación.
Table 3. Hierarchical classification for change in land use and vegetation.

Indicador	Características
Conservada	Mide el porcentaje de superficie que no ha sufrido cambio en el periodo de inicio-final (la cobertura vegetal se mantiene).
Deforestada	Mide la cantidad de superficie que cambió su uso de suelo de formas de vida arbórea (bosques y selvas) a zonas de cultivos, a pastizales inducidos y cultivados, o a otro uso como el urbano.
Transición	Mide la cantidad de superficie donde anteriormente se llevaba alguna actividad agropecuaria (uso de suelo en cultivos o pastizales inducidos y cultivados) y actualmente se encuentra ocupada por bosque, selva, matorral, vegetación hidrófila o pastizales naturales.
Degradada	Mide la cantidad de superficie que presentó cambio en el uso del suelo, pérdida de cobertura vegetal no arbórea (otros tipos de vegetación, hidrófila, matorral y pastizales naturales), por pastizales inducidos y cultivados, cultivos y otras coberturas.
Actividad productiva	Mide la cantidad de superficie donde anteriormente se presentaba una cobertura de origen antrópico como: pastizales inducidos y cultivados, o presentaba algún uso de suelo urbano, o bien formaba parte de un cuerpo de agua, pero actualmente ha cambiado de actividad productiva
Sin cambio	Mide la cantidad de superficie de las zonas donde el uso del suelo correspondía a cultivos, pastizales inducidos y cultivados y otros usos, y que actualmente se mantienen con el mismo tipo de uso.

Las categorías de uso antropogénico, como el Atp(Pc), aumentó 372.5 ha para el año 2010 que representa 6.59% de la superficie total de la cuenca, Atp con 79 ha con 1.40%, Au presentó un aumento del 3.48%, esta expansión de los terrenos dedicados a la ganadería (pastizales) y agricultura (cultivos) es un factor significativo de deterioro ambiental, tendencia observada en diversos estudios a nivel regional.

El resultado del análisis de cambio de uso de suelo y vegetación de 1971-2010 (Figura 3), muestra una deforestación de 757.05 ha, las coberturas sin cambio 497.22 ha, conservado 3 552.61 ha, cambio por actividad económica 400.69 ha, degradadas 84.04 ha, esto representa una disminución de superficies óptimas para cultivos agrícolas que se convirtieron en áreas urbanas. En el análisis también se mostró una transición de 360.25 ha, que se relaciona con el abandono de zonas agrícolas y de pastizales inducidos, y sobrelleva a la recuperación de selva baja caducifolia, estas áreas son consideradas como las más frágiles (Valenzuela-Núñez, Muñoz, González, González y Velázquez, 2012).

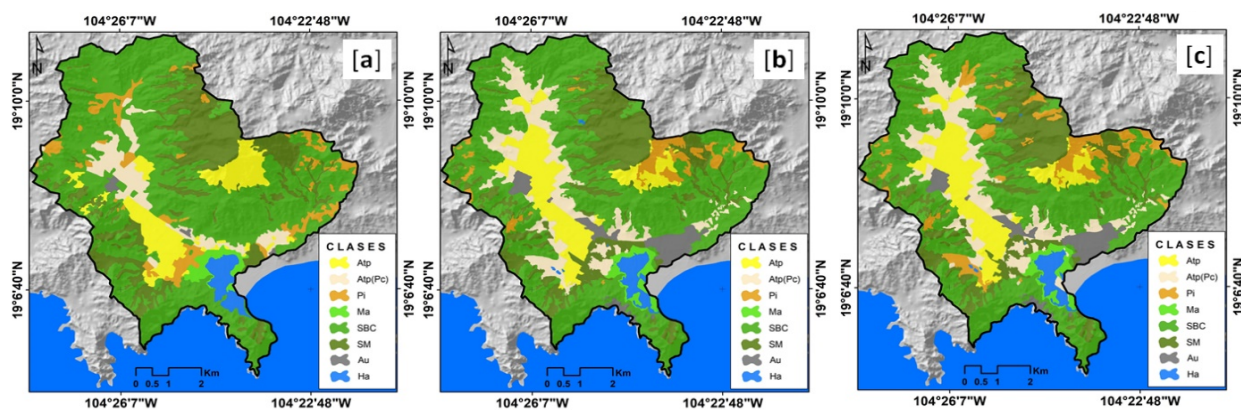


Figura 2. Uso de suelo y vegetación [a] año 1971, [b] año 2010, [c] año 2018.
Figure 2. Land-use and vegetation [a] year 1971, [b] year 2010, [c] year 2018.

Cuadro 4. Matriz de transición de uso de suelo y vegetación 1971-2010.
Table 4. Land use and vegetation transition matrix 1971-2010.

Cobertura	Superficie 2010									Pérdida de la superficie original	
	SM	SBC	Ma	Atp	Atp(Pc)	Pi	Au	Ha	Total		
	----- ha -----										
Superficie 1971 (ha)	SM	934.3	0	0.5	4.2	44.1	40.9	27.6	1.2	1052.9	118.6
	SBC	8.6	2555.5	8.8	79	372.5	85.3	83.5	3.3	3196.5	641
	Ma	8.6	8.8	52.3	0	13.3	0.4	1.4	5.4	90	37.7
	Atp	36.8	30.2	1.5	287.7	44.1	70.7	12.9	0.9	484.7	197.1
	Atp(Pc)	18.8	15.7	3.7	164	65.5	2	55.4	0.3	325.3	259.9
	Pi	36.6	149.8	0	46.2	72.9	24.3	15.9	1.1	346.7	322.4
	Au	0.1	0	0	0.2	0	0	23.6	0	23.9	0.3
	Ha	0	4.1	29.3	0	0	0	0.2	94.8	128.5	33.7
	Total	1043.8	2764.1	96.1	581.3	612.3	223.6	220.5	106.8	5648.4	
	Incremento de superficie a otras coberturas	109.5	208.6	43.8	293.6	546.9	199.3	196.8	12		

Porcentaje de Cambio 1971-2010

El cambio de uso de la SBC fue de 11.35% y la SM en el 2.1%, hacia la conversión de uso Atp y Atp(Pc). La recuperación de SBC fue de 3.47%, resultado de la conversión de áreas agrícolas a selvas, seguido de la SM con 1.63%, fenómeno relacionado con el abandono de las superficies agropecuarias (Cuadro 5). Las tendencias de cambio más significativa fue para la SBC con 6.59% hacia la categoría de Atp(Pc).

Del análisis de las transiciones de uso de suelo y vegetación para el periodo de 1971-2010, se observa que el cambio más significativo fue de 797.3 hectáreas de SBC, SM y Ma, transformadas a Atp, Atp(Pc), Pi y Au, que representa la pérdida aproximada de 14.11% de selvas.

Un aspecto relevante del área de estudio es que las superficies agrícolas y de pastizales, han disminuido en un 5.20%, lo que significa que se encuentran en un periodo de transición, a categorías de selvas o superficies agropecuarias, de tal forma que estas áreas se convierten en espacios muy sensibles, en los procesos de transformación, lo que le concede prioridad en el manejo del uso del suelo (Camacho-Sanabria *et al.*, 2015).

La degradación de suelos, donde anteriormente se cultivaba, maíz, jitomate, sandía y mango entre otros, hoy se encuentran añadidas al crecimiento urbano minimizando las superficies óptimas para los cultivos. La reconversión de la actividad económica con 72.7 ha de uso agrícola, fueron transformadas a pastoreo inducido, valor que simultáneamente al crecimiento de la población, ha generado el aumento de superficie, tendencia semejante a la observada por Berlanga-Robles, García, López y Ruiz (2010) en la región de la Costa Norte de Nayarit.

Cambio 2010-2018

El resultado de la tabulación cruzada entre las coberturas de 2010 y 2018, expusieron 21 categorías distintas, con la finalidad de facilitar el análisis, se realizó el estudio por separado de las transiciones sufridas por cada reclasificación similar a

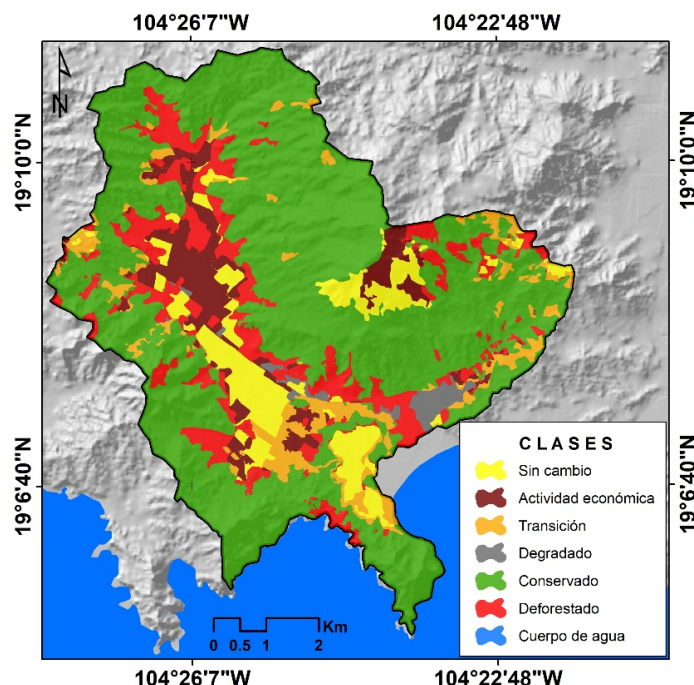


Figura 3. Cambio de uso de suelo 1971-2010.
Figure 3. Land-use change 1971-2010.

las categorías de 1971-2010 (Cuadro 6). El resultado de la exactitud global obtenida de la matriz, indica alta asociación de coincidencia, entre los datos de referencia y los mapas temáticos de concordancia ($Kappa$ 0.9646).

En este periodo, se presentó una pequeña recuperación de selvas, debido al aumento del Pi y la Atp(Pc). La SBC, tuvo una pérdida de 137.9 ha de la superficie total de la cuenca que representa el (2.37%), la SM con 62 ha (1.30%) y Ma 10.90 ha (0.19%), (Cuadro 4).

Cuadro 5. Porcentaje de cambio de 1971-2010.
Table 5. Percentage change from 1971-2010.

Cobertura	2010								Pérdida de la superficie original
	SM	SBC	Ma	Atp	Atp(Pc)	Pi	Au	Ha	%
SM	16.54	0	0.01	0.07	0.78	0.72	0.49	0.02	2.1
SBC	0.15	45.24	0.16	1.4	6.59	1.51	1.48	0.06	11.35
Ma	0.15	0.15	0.93	0	0.24	0.01	0.02	0.09	0.67
Atp	0.65	0.54	0.03	5.09	0.78	1.25	0.23	0.02	3.49
1971 Atp(Pc)	0.33	0.28	0.07	2.9	1.16	0.04	0.98	0	4.6
Pi	0.65	2.65	0	0.82	1.29	0.43	0.28	0.02	5.71
Au	0	0	0	0	0	0	0.42	0	0.01
Ha	0	0.07	0.52	0	0	0	0	1.68	0.6

En el análisis de cambio de uso de suelo y vegetación de 2010-2018 (Figura 4), se muestra la deforestación con una superficie aproximada de 202.06 ha, los sistemas naturales se conservan con 3701.47 ha y se mantienen sin cambio las superficies antropogénicas con 1692.53 ha, aumentando 21.15% con respecto al periodo 1971-2010.

Porcentaje de Cambio 2010-2018

El cambio de la SBC fue de 2.44%, la SM 1.10% (Cuadro 7), las tendencias de cambio fueron similares al periodo 1971-2010, proyectados hacia la categoría de pastizal inducido.

Con respecto a la transición de uso de suelo y vegetación para 2010-2018, se observó cambio en 210.80 hectáreas de SBC, SM y Ma, que pasaron a Pi y Atp(Pc), representando la disminución de 3.73% de las selvas.

Tasa de Cambio

La tasa de cambio del periodo 1971-2010, muestra una disminución para la SM (-0.02%) y SBC (-1.45%), esta última, y de acuerdo con la Secretaría del Medio ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT (2013), atenúa la desertificación con efectos negativos (Cuadro 8). El mangle presentó crecimiento de 0.16%, el uso antropogénico y las áreas urbanas alcanzaron una tasa anual superior a 5.56% anual considerada muy alta, comparado con el censo de población y vivienda 2010 realizado por el INEGI, que determinó una tasa de crecimiento del 1%. Respuesta similar para los diferentes tipos de agricultura, sólo el Pi presentó una tasa de cambio negativa, debido principalmente al abandono (Cuadro 8).

Cuadro 6. Matriz transición del uso de suelo y vegetación 2010-2018.
Table 6. Transition matrix of land use and vegetation 2010-2018.

Cobertura	Superficie 2018									Pérdida de la superficie original
	SM	SBC	Ma	Atp	Atp(Pc)	Pi	Au	Ha	Total	
	----- ha -----									
SM	981.8	4.1	0	5	11.5	41	0	0.5	1043.8	62
SBC	3.7	2626.2	0.5	0	24	109.8	0	0	2764.1	137.9
Ma	0	0.2	85.2	0	10.7	0	0	0	96.1	10.9
Atp	0.8	0	0	580.5	0	0	0	0	581.3	0.8
Atp(Pc)	0	0	0	0	561.5	50.8	0	0	612.3	50.8
Pi	0	0	0	0	0	223.6	0	0	223.6	0
Au	0	0	0	0	0	0	220.5	0	220.5	0
Ha	0	0	3.5	0	0	0	0	103.3	106.8	3.5
Total	986.3	2630.5	89.1	585.5	607.7	425.2	220.5	103.8	5648.4	265.9
Incremento de superficie a otras coberturas	4.5	4.3	3.9	5	46.2	201.6	0	0.5		

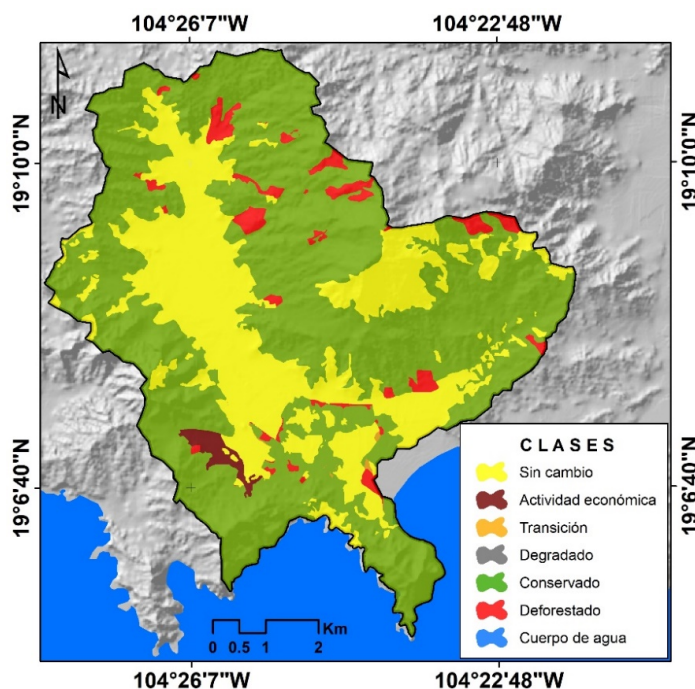


Figura 4. Cambio de uso de suelo 2010-2018.
Figure 4. Land-use change 2010-2018.

En el periodo 2010-2018 la vegetación arbustiva registró valores de -0.63, -0.55 y -0.84, estos valores son considerados un problema de regional y nacional como lo menciona Pérez-Verdín, Kim, Hospodarsky y Tecle (2009) y SEMARNAT (2013). La tasa positiva del Pi esta intrínsecamente relacionada con el decremento de las zonas arbustivas y con la transición de la actividad económica, esto resulta en la capacidad de bienes y servicios que se proporcionan y la pérdida de diversidad biológica (Newbold *et al.*, 2014) (Cuadro 9).

Cuadro 7. Cambio en la cobertura vegetal y uso de suelo 2010-2018.
Table 7. Change in vegetation cover and land use 2010-2018.

Cobertura	Superficie 2018								Pérdida de la superficie original
	SM	SBC	Ma	Atp	Atp(Pc)	Pi	Au	Ha	
	----- ha -----								%
SM	17.38	0.07	0	0.09	0.2	0.73	0	0.01	1.1
SBC	0.06	46.49	0.01	0	0.42	1.94	0	0	2.44
Ma	0	0	1.51	0	0.19	0	0	0	0.19
Atp	0.01	0	0	10.28	0	0	0	0	0.01
Atp(Pc)	0	0	0	0	9.94	0.9	0	0	0.9
Pi	0	0	0	0	0	3.96	0	0	0
Au	0	0	0	0	0	0	3.9	0	0
Ha	0	0	0.06	0	0	0	0	1.83	0.06

Cuadro 8. Tasa de cambio para el periodo 1971-2010.
Table 8. Exchange rate for the 1971-2010 period.

Tipo de cobertura	Año 1971 (ha)	%	Año 2010 (ha)	%	Tasa anual (%)
SM	1052.900	18.64	1043.80	18.48	-0.02
SBC	3196.500	56.59	2764.10	48.94	-1.45
Ma	90.000	1.59	96.1	1.70	0.16
Atp	484.700	8.58	581.3	10.29	0.45
Atp(Pc)	325.300	5.76	612.3	10.84	1.58
Pi	346.700	6.14	223.6	3.96	-1.10
Au	23.900	0.42	220.5	3.90	5.56
Ha	128.500	2.27	106.8	1.89	-0.46
Total	5648.50	100	5648.50	100	

Las zonas de montaña dentro de la cuenca, esenciales para la regulación de las condiciones ambientales y la conservación de la biodiversidad, mostraron una presión de cambio de uso de suelo y vegetación, por la expansión de áreas de pastoreo inducido con una tasa de cambio de 7.14%, lo cual representa un modelo no sostenible de ganadería. Esa deforestación afecta, a la selva baja caducifolia, y en poca proporción, a las selvas medianas localizadas en las zonas de montaña.

El hecho de analizar el cambio de uso de suelo y vegetación de manera cuantitativa y su distribución espacial (mapas), da un panorama más claro de la problemática del área de la cuenca, en este sentido el SIG, representa una de las opciones de procesamiento viables dada la ya comentada simplificación de procesos que en otros programas implicaría una larga fase secuencial de acciones intermedias.

Para finalizar existieron algunos inconvenientes a tomar en cuenta para estudios posteriores como lo son las técnicas de fotointerpretación utilizadas que podrían sustituirse por técnicas de tratamiento digital de imágenes satelitales, ya que este método empleado puede conducir a una sobrevaluación de los cambios ya que los errores de la información topológica y delimitación de polígonos crean falsos cambios de acuerdo con lo reportado por Mas y Fernández (2003).

Cuadro 9. Tasa de cambio para el periodo 2010-2018.
Table 9. Exchange rate for the 2010-2018 period.

Tipo de cobertura	Año 2010 (ha)	%	Año 2018 (ha)	%	Tasa anual (%)
SM	1043.80	18.48	986.3	17.46	-0.63
SBC	2764.10	48.94	2630.50	46.57	-0.55
Ma	96.1	1.70	89.1	1.58	-0.84
Atp	581.3	10.29	585.5	10.37	0.08
Atp(Pc)	612.3	10.84	607.7	10.76	-0.08
Pi	223.6	3.96	425.2	7.53	7.14
Au	220.5	3.90	220.5	3.90	0.00
Ha	106.8	1.89	103.8	1.84	-0.32
Total	5648.50	100	5648.60	100	

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos suministrarán datos confiables a los administradores en la toma de decisiones, para un mejor uso y manejo del recurso suelo de la cuenca. Sin embargo aunque la metodología fue eficiente, su papel como factor técnico es relevante para la reconversión de las tendencias negativas en los procesos de degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad, estos resultados se vuelven viables solamente si se integran y son susceptibles de socializarse en programas de gestión, manejo y restauración del territorio no solo a nivel municipal, pues se sabe que los procesos antropogénicos y naturales que dan lugar al cambio de uso de suelo y vegetación, trascienden espacios geográficos y sociales. Para terminar el método propuesto es coherente y replicable para la evaluación y análisis de la dinámica del cambio de uso de suelo y vegetación a nivel de cuenca.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos están disponibles de los autores previa solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FONDOS

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización y diseño metodológico: D.M.R., S.D.Q.G. y E.V.S.R. Manejo del Software y cartografía digital: D.M.R. y J.L.O.L. Redacción, preparación del borrador original: D.M.R., S.D.Q.G., E.V.S.R. y V.M.V.L.

LITERATURA CITADA

- Berlanga-Robles, C. A., García-Campos, R. R., López-Blanco, J., & Ruiz-Luna, A. (2010). Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973-2000). *Investigaciones geográficas*, 72, 7-22.
- Camacho-Sanabria, J. M., Juan-Pérez, J. I., Pineda-Jaimes, N. B., Cadena-Vargas, E. G., Bravo-Peña, L. C., & Sánchez-López, 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.
- CETENAL (Comisión de Estudios del Territorio Nacional) (1975). Carta uso de suelo, Cihuatlán E13-B42, Escala 1:50:000: México, Secretaría de la Presidencia, Comisión de Estudios del Territorio Nacional, 1 mapa. Consultada el 11 de junio, 2019 desde <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/#Descargas>
- Cohen, J. A. (1960). Coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 37-46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. Boca Ratón, FL, USA: CRC Press. ISBN: 978-1-4200-5512-2
- Curiel-Ballesteros, A. (2007). El entendimiento de las fuerzas dinamizadoras de la degradación ambiental: las aportaciones de Paul Ehrlich. *Gaceta Ecológica*, 84-85, 2-5.

- Eastman, J. R. (2009). *IDRISI Taiga. Guide to GIS and image processing*. Worcester, MA, USA: Clark University.
- Eastman, J. R. (2020). *TerrSet. Version 18.21. Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis*. Worcester, MA, USA: Clark University.
- Esri (Environmental Systems Research Institute) (2021). *ArcGis User's Guide. Released 10.8* Redlands, CA, USA: Environmental Systems Research Institute.
- Ewing, R., & Hamidi, S. (2015). Compactness versus Sprawl. *Journal of Planning Literature*, 30(4), 413-432. <https://doi.org/10.1177/0885412215595439>
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., ... Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Frolov, Y. S., & Maling, D. H. (1969). The accuracy of area measurements by point counting techniques. *The Cartographic Journal*, 6(1), 21-35.
- Green, K., Kempka, D., & Lackey, L. (1994). Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60(3), 331-337. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0226-5>
- Hamidi, S., & Ewing, R. (2014). A longitudinal study of changes in urban sprawl between 2000 and 2010 in the United States. *Landscape and Urban Planning*, 128, 72-82. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.04.021>
- Herrera-Herrera, B. (1983). *Elementos de fotogrametría, uso de los materiales aerofotográficos*. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (2005). *Guía para la interpretación de cartografía. Uso potencial del suelo*. Aguascalientes, Aguascalientes: México. Consultada el 16 de agosto, 2022, desde <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825231774>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (2009). *Guía para la interpretación de Cartografía. Uso del suelo y vegetación: escala 1:250, 000: serie III*. Aguascalientes, México: INEGI. ISBN: 978-607-494-015-2
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). (2015). *Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250, 000: serie V*. Aguascalientes, México: INEGI.
- Jansen, L. J. M. (2006). Harmonization of land use class sets to facilitate compatibility and comparability of data across space and time. *Journal of Land Use Science*, 1, 127-156. <https://doi.org/10.1080/17474230601079241>
- Jensen, J. R. (2015). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (4th ed.). London, United Kingdom: Pearson. ISBN: 978-0-13-405816-0
- Kanianska, R. (2016). Agriculture and its impact on land-use, environment, and ecosystem services. In A. Almusaed (Ed.). *Landscape ecology-The influences of land use and anthropogenic impacts of landscape creation* (pp. 1-26). The Netherlands: Intech. <https://dx.doi.org/10.5772/63719>
- Kulkarni, V., & Ramachandra, T. (2006). *Environmental management*. New Delhi, India: Commonwealth of Learning-Canada-Indian Institute of Science. ISBN: 8179931846
- Lambin, E. F. (1997). Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 21(3), 375-393. <http://dx.doi.org/10.1177/030913339702100303>
- Lambin, E. F., Geist, H. J., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), 205-241. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2004). *Remote sensing and image interpretation*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons.
- López-Vázquez, V. H., & Plata-Rocha, W. (2009). Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2000. *Investigaciones Geográficas*, 68, 85-101.
- Lu, Q., Liang, F., Bi, X., Duffy, R., & Zhao, Z. (2011). Effects of urbanization and industrialization on agricultural land use in Shandong Peninsula of China. *Ecological Indicators*, 11(6), 710-714. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.026>
- Mas, J. F., & Fernández, T. (2003). Una evaluación cuantitativa de los errores en el monitoreo de los cambios de cobertura por comparación de mapas. *Investigaciones Geográficas*, 51, 73-87.
- Mas, J. F. (1999). Monitoring land-cover changes: A comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 20(1), 139-152. <https://doi.org/10.1080/014311699213659>
- Mas, J. F. (2005). Change estimates by map comparison: A method to reduce erroneous changes due to positional error. *Transactions in GIS*, 9(4), 619-629. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2005.00238.x>
- Mas, J. F., Velázquez, A., & Couturier, S. (2009). La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública*, 1(1), 23-39.
- Meli, P. (2003). Restauración ecológica en bosques tropicales. Veinte años de investigación académica. *Interciencia*, 8, 581-589.
- Newbold, T., Hudson, L. N., Phillips, H. R., Hill, S. L., Contu, S., Lysenko, I., ... Purvis, A. (2014). A global model of the response of tropical and sub-tropical forest biodiversity to anthropogenic pressures. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1792), 20141371. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1371>

- Ogle, J., Delparte, D., & Sanger, H. (2017). Quantifying the sustainability of urban growth and form through time: An algorithmic analysis of a city's development. *Applied Geography*, 88, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.08.016>
- Palacio-Prieto, J. L., Sánchez-Salazar, M.T., Casado-Izquierdo, J. M., Propin-Frejomil, E., Delgado-Campos, J., Velázquez-Montes, A., ... Marquez-Huitzil, R. (2004). *Indicadores para la caracterización y el Ordenamiento Territorial*. México: Secretaría de Desarrollo Social-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología-Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN 970-32-1885-7. 21-159.
- Perez-Verdin, G., Kim, Y. S., Hospodarsky, D., & Teclé, A. (2009). Factors driving deforestation in common pool resources in Northern Mexico. *Journal of Environmental Management*, 90, 331-340.
- Richards, J. A. (2013). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Berlin, Germany: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-30062-2>
- Richters, E. J. (1995). *Manejo del uso de la tierra en América Central hacia el aprovechamiento sostenible del recurso tierra*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Rosete-Verges, F. A., Pérez-Damián, J. L., & Bocco, G. (2009). Contribución al análisis del cambio de uso del suelo y vegetación (1978-2000) en la Península de Baja California, México. *Investigación Ambiental*, 67(1), 70-82.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2013). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012*. Consultada el 22 de abril, 2019, desde https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf
- Soria, R. J., Ortiz-Solorio, C. A., Islas, G. F., & Volke, H. V. (1998). *Sensores remotos, principios y aplicaciones en la evaluación de los recursos naturales: Experiencias en México*. Chapingo, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Turner II, B. L., Moss R. H., & Skole, D. L. (1993). Relating Land Use and Global Land-Cover Change-A Proposal for an IGBP-HDP Core Project. IGBP Report; 24/HDP Report 5, (82 pp.). Stockholm: IGBP Secretariat. Consultada el 12 de julio, 2022, desde <https://ciesin.org/docs/008-105/008-105.html>
- Valenzuela-Núñez, L. M., Muñoz-Villalobos, J. A., González-Barrios, J. L., González-Cervantes, G., & Velázquez-Valle, M. A. (2012). Cambio de uso de suelo en la porción norte de la microcuenca "Las Amapolas" en Guanajuato, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 11(1), 15-22.
- Verstappen, H. T. (1977). *Remote Sensing in geomorphology*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier. ISBN: 978-0444410863