

Cambios en la cobertura del bosque de mangle (2000-2017) en el sistema lagunar costero de Mandinga, Veracruz, México

Laura Lisbeth Buendía Buendía,¹ Javier Aldeco Ramírez²
e Iván Ernesto Roldán Aragón^{3*}

Resumen. El Sistema Lagunar Costero de Mandinga está rodeado por bosque de mangle, que se caracteriza por ofrecer servicios ecosistémicos a escala local y regional; entre ellos, la provisión de especies comerciales para beneficio de los pobladores, además de hábitat para aves residentes y migratorias, entre otros. Sin embargo, ha estado sujeto a distintas presiones antrópicas, como el desarrollo urbano. En este trabajo se evaluaron los cambios de la extensión del bosque de mangle entre los años 2000 y 2017. Para esto se realizaron clasificaciones supervisadas de imágenes Landsat para obtener mapas de uso del suelo y vegetación, las que fueron validados mediante matrices de error. A partir de la superficie de la cobertura del bosque de mangle y de otras clases, se obtuvieron las tasas y dirección de cambio. Los resultados indican un aumento de la superficie de las coberturas antrópicas y una disminución de las naturales; entre éstas, la pérdida de 107 ha de bosque de mangle, equivalente a una tasa anual de deforestación de -1.02% para el periodo del estudio. Las causas directas de estas dinámicas son el desarrollo urbano y el incremento de áreas dedicadas a actividades agrícolas y pecuarias. Se señalan algunas de las causas y repercusiones de los cambios encontrados en los usos y coberturas de las clases estudiadas.

Palabras clave: Laguna costera, Cobertura de mangle, Imágenes Landsat, Deforestación, Uso de suelo.

¹ Servicio Social. Lab. de Procesos Costeros. Departamento “El Hombre y su Ambiente” (DEHA). Ciencia Biológicas y de la Salud (CBS), Universidad Autónoma Metropolitana,-Xochimilco.

² Profesor-investigador en el DEHA. UAM-X, e-mail: jaldeco@correo.xoc.uam.mx.

* Autor de contacto, e-mail: ieroldan@correo.xoc.uam.mx.

Abstract. *The Mandinga Coastal Lagoon System is surrounded by mangrove forest, which is characterized by offering ecosystem services at a local and regional scale, including the provision of commercial species for the benefit of the inhabitants and the habitat for resident and migratory birds, among others. However, it has been subject to different anthropic pressures such as urban development. In this work, the changes in the extension of the mangrove forest between 2000 and 2017 were evaluated. For this, supervised classifications of Landsat images were carried out to obtain maps of land use and vegetation, which were validated using error matrices. From the area of the mangrove forest cover and other classes, the rates and direction of change were obtained. The results indicate an increase in the area of anthropic cover and a decrease in natural cover, among these the loss of 107 ha of mangrove forest, equivalent to an annual deforestation rate of 1.02% for the study period. The direct causes of these dynamics are urban development and the increase in areas dedicated to agricultural and livestock activities. Some of the causes and repercussions of the changes found in the uses and coverture of the classes studied are pointed out.*

Keywords: *Coastal lagoon, Mangrove coverture, Landsat images, Deforestation, Land use.*

INTRODUCCIÓN

Los bosques de mangle se distribuyen alrededor de lagunas costeras y esteros tropicales. Desde una perspectiva energética, se encuentran entre los ecosistemas más productivos y dinámicos debido la carga de agua que recibe del océano y ríos, por la marea y el flujo de agua que deriva en la exportación de detritus orgánico y nutrientes a otros ecosistemas (Calderón *et al.*, 2009). Entre los servicios ambientales que brinda están los de provisión, como el hospedaje de recursos pesqueros de importancia comercial (ostión, jaiba, camarón, róbalo, langostino, entre otros), los ecológicos, entre los que se encuentra la captura de carbono atmosférico que aminora los problemas del calentamiento global (Moreno-Casasola *et al.*, 2002; Derouin, 2017), los culturales y económicos a nivel regional; todo lo cual afecta, de manera directa, a la sociedad que hace usufructo de ellos debido a su disminución o su desaparición (Aldeco *et al.*, 2015).

México posee una superficie de bosque de mangle de 775,555 ha, que corresponde a 5.1% de la superficie total mundial (Rodríguez-Zúñiga *et al.*, 2013). Se estima que desde la década de los años ochenta del siglo pasado, a nivel mundial, de 20 a 35% del bosque de mangle se ha perdido debido a la deforestación generada por la perturbación antropogénica (FAO, 2007). Derouin (2017) señala que desde 1967 al 2017 el mundo perdió 50% del bosque de mangle. México está entre los países con mayor velocidad de

deforestación de bosque de mangle en América (Hirales-Cota *et al.*, 2010), dado que se calcula una pérdida cercana a 0.6% anual (Flóres-Verdugo *et al.*, 2007).

El bosque de mangle que circunda al Sistema Lagunar Costero de Mandinga no es la excepción de las presiones antropogénicas, dado que una de las primeras aproximaciones al área mostró una cobertura de mangle de 1,627.7 ha en 1979, de 1,505.7 ha en 1990 y de 1,303.6 ha en el año 2000; con tasas de deforestación anuales de 0.7% entre 1979 y 1990 y 1.4% entre 1990 y el año 2000 (Cervantes-Candelas, 2005). Para contextualizar estas cantidades, las tasas de deforestación significan una pérdida de 11 y 20.2 ha/año, en cada periodo. Por su parte, Cabrera-Mendoza (2009) estimó, entre los años 1985 y 2005, una tasa anual de deforestación del bosque de mangle en el Sistema Lagunar Costero de Mandinga (SLCM) de 2.94%, esto es 4.1 ha/año; además, el mismo autor, en un análisis económico a partir del valor de uso del bosque de mangle, calculó una aportación de alrededor de \$3,548,500 de dólares americanos por año, cantidad que los lugareños dejaron de percibir en servicios ambientales. El ecosistema de mangle en el SLCM representa 0.05% del total de los manglares en México (Lara-Domínguez *et al.*, 2009), y es afectado directamente por la tala, contaminación y sobreexplotación de los recursos debido a la falta de planificación del desarrollo urbano, industrial y turístico, así como al desarrollo agrícola, ganadero y acuícola (Conabio, 2009a).

Con base en las consideraciones anteriores, el objetivo de este trabajo fue analizar las tendencias de cambio de uso y cobertura de suelo, ocurridos entre los años 2000 y 2017, en el Sistema Lagunar Costero de Mandinga, Veracruz. Se discuten, de manera breve, algunas de las causas y repercusiones que han provocado este proceso de degradación ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

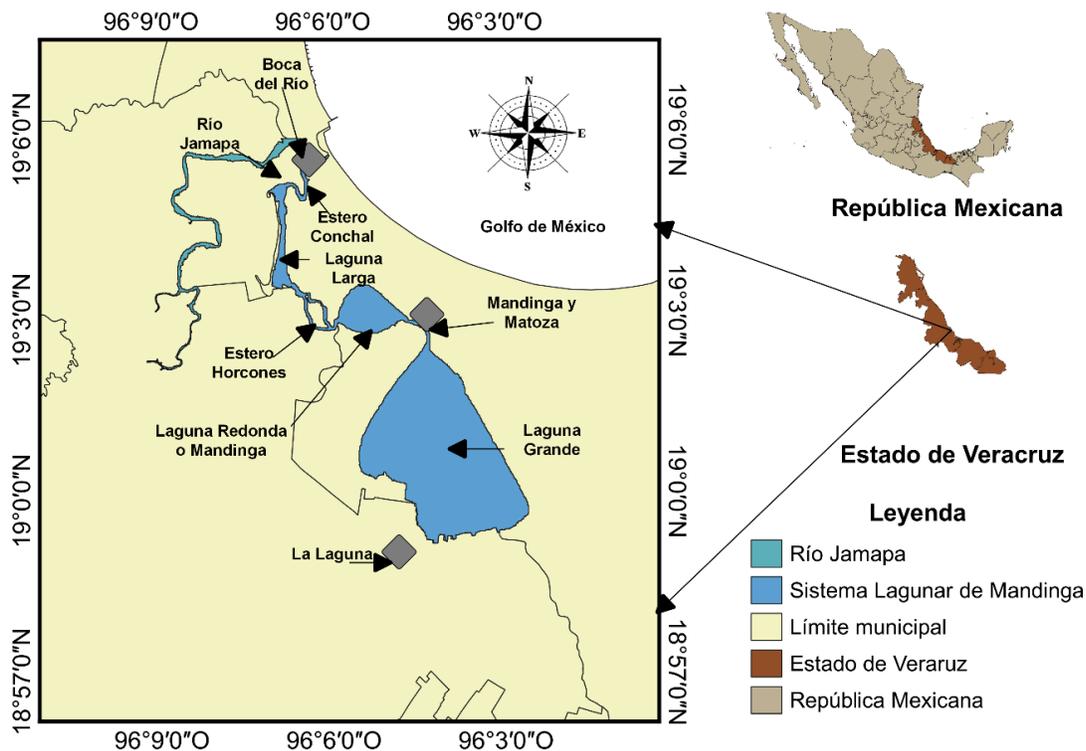
Sitio de estudio

El SLCM (96.087415°W, 19.051140°N) se ubica al norte del municipio de Alvarado, estado de Veracruz, México, a una distancia de 18 km al sur del puerto de Veracruz; tiene una orientación norte-sur y ocupa una superficie aproximada de 3,250 hectáreas (Figura 1). Está conformado por tres lagunas y tres esteros: al norte y cerca del poblado de Boca del Río y la desembocadura del río Jamapa, se localiza el estero el Conchal y la laguna Larga; al centro, la laguna Redonda y el estero de Horcones y, al sur, el estero de Mandinga y la laguna Grande (Contreras-Espinosa, 1993).

El clima de acuerdo a la clasificación de Köppen, modificado por García (2004), es de tipo Aw2 (i'), esto es un clima cálido subhúmedo, con temperatura media anual mayor de 22°C y la temperatura del mes más frío por arriba de 18°C. La precipitación anual varía entre 1,500 y 2,000 mm y se concentra en los meses de verano. Las épocas climáticas en Veracruz son tres: de secas, de marzo a junio, la de lluvias (producto de la humedad de los alisios y eventos hidrometeorológicos asociados), de julio a septiembre, y de nortes (eventos de viento frío continental polar que se desplaza al sur), de octubre a febrero (GEV, 2000; Ruíz-Barradas *et al.*, 2010). Los principales aportes de agua al SLCM son las corrientes de marea que ingresan agua del mar costero (Golfo de México) y del río Jamapa; existe un aporte menor proveniente de la infiltración de agua a través de los Médanos, pero no se tiene su cuantificación. El agua del sistema es mixohalina, de amplia variación estacional y de salinidad decreciente al aumentar la distancia desde el mar costero hacia adentro del sistema lagunar (Lara-Domínguez *et al.*, 2009).

La vegetación asociada al SLCM es: i) Sabanoide, caracterizada por ser superficies cubiertas por pastizal con elementos arbóreos de los géneros *Byrsonima* (p. ej. nanche) y *Curatella* (chaparro), semejante en su fisonomía a la sabana, pero que se desarrollan sobre laderas de cerros con inclinación variable, a veces bastante pronunciada y con suelos que no tienen indicios de drenaje lento (INEGI, 2014), ii) Selva baja caducifolia, que son comunidades de vegetación dominadas por especies de árboles de 4 a 10 metros que pierden sus hojas en la época seca del año, por lo general en alrededor de seis meses (Challenger y Soberón, 2008), iii) Vegetación de duna costera, que se caracteriza por contener especies de plantas pequeñas y suculentas, que tienen un papel importante como pioneras, fijadoras de arena y que evitan con ello ser arrastradas por el viento y el oleaje (INEGI, 2014), y iv) Bosque de mangle, que es una formación leñosa, arbustiva o arborescente de 2 a 25 m de altura, prácticamente sin plantas herbáceas y sin trepadoras, rara vez con alguna epífita o parásita. Las especies que lo componen son de hoja perenne, algo suculentas y de borde entero. El sistema radical de algunas especies presenta raíces zancas y neumatóforos, que cumplen la función de sostén en el fondo lodoso y de respiración radical, pues generalmente el sustrato es pobre en oxígeno (Rzedowski, 2006). Las especies de mangle presentes son el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle negro (*Avicennia germinans*) (Conabio, 2009b).

Figura 1. Ubicación del Sistema Lagunar Costero de Mandinga (SLCM), Veracruz



Fuente: Elaboración propia.

Procesamiento de imágenes Landsat

Se utilizaron subescenas de imágenes del satélite Landsat 7 (ETM+) y Landsat 8 OLI/TIRS, una del 24 de abril del año 2000 y otra del 25 de noviembre del año 2017, respectivamente, descargadas de la página del Servicio Geológico de Estados Unidos (Earth explorer, 2017; USGS, 2018). Para la selección de imágenes se tomó en cuenta que la cobertura de nubes fuera menor a 20% y que presentaran la calidad adecuada para realizar un análisis visual. Las dos fechas son en época de no lluvia, por lo que la fenología de las especies vegetales es probable que haya sido similar (Manzo-Delgado y Meave, 2003).

Para mejorar la calidad de las imágenes se efectuó la conversión desde el Número Digital (DN, por sus siglas en inglés) a la reflectancia en la parte superior de la atmósfera

(Top Of Atmosphere reflectance -TOA), y la corrección atmosférica mediante el método de substracción del objeto obscuro (Dark Object Subtraction) (Congedo, 2018). Posteriormente, se aplicó un refinado pancromático (Pansharpening) mediante la combinación de las bandas multiespectrales y la banda pancromática, se obtuvieron así bandas de 15 m de resolución espacial.

Debido a las recomendaciones de escala (1:100,000) para la elaboración de mapas a partir de imágenes Landsat, se estableció un área mínima cartografiable de 4 ha (2 x 2 mm), con el fin de eliminar pixeles aislados (Semarnat, 2001). El área estudiada fue de 212 km² (21,200 ha), esto es un rectángulo de ~13 km en dirección este-oeste por ~17 km en dirección norte-sur.

Para reconocer las distintas clases de Uso del Suelo y Vegetación (USyV) en el área de estudio se generaron combinaciones de color RGB de falso color convencional y color natural (Chuvienco, 2008), además, con soporte en el sistema de clasificación de USyV del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 2014), se estableció la leyenda de trabajo para este estudio (Tabla 1).

Tabla 1. Clases de USyV utilizadas en la elaboración de los mapas del SLCM

ID	CLASE	DESCRIPCIÓN
1	Golfo de México	Mar del Golfo de México
2	Laguna de Mandinga	Agua del Sistema Lagunar
3	Río Jamapa	Agua de río
4	Bosque de mangle	Es una comunidad densa, dominada principalmente por un grupo de especies arbóreas (Mangle Rojo, Mangle Negro y Mangle Blanco)
5	Pastizal cultivado	Pasto introducido para la práctica agrícola y para otras actividades pecuarias.
6	Vegetación de duna costera	Comunidad de vegetación que se establece a lo largo de las costas. Se conforma por montículos de granos de arena.
7	Asentamientos humanos	Sitio específico donde se establecen varias viviendas o construcciones para actividades antrópicas.
8	Suelo descubierto	Suelo desprovisto de vegetación

Fuente: Elaboración propia.

Para producir los mapas de USyV del SLCM se empleó la técnica de clasificación supervisada (Chuvieco, 2008). Para tal fin se utilizó la aplicación de clasificación semi-automática (Semi-Automatic Classification Plugin) del software QGIS (Congedo, 2018).

Una vez realizada la asignación con el algoritmo de máxima verosimilitud, se estimó la fiabilidad de las clasificaciones de cada tiempo mediante matrices de error, en las cuales se consideraron 50 puntos de referencia distribuidos de forma aleatoria en cada clase de USyV, lo que resultó en 400 puntos para cada clasificación (Chuvieco, 2008). Los puntos del año 2000 se obtuvieron de ortofotos escala 1:20,000, de la zona de Veracruz de Ignacio de la Llave del año 1995 y 2001 del INEGI. En cuanto al año 2017 se utilizaron imágenes de Google Earth del 22 de febrero del 2017. La exactitud total de la clasificación se evaluó a través del coeficiente de Kappa (K') (Berlanga-Robles *et al.*, 2010; Mas, 1999).

A partir de las áreas estimadas de las distintas clases de USyV para cada año, se evaluó la tasa de cambio de acuerdo con la Ecuación 1 (Palacio-Prieto *et al.*, 2004). Esta tasa expresa el cambio en el porcentaje de la superficie al inicio de cada año.

$$S = \left(\frac{S2}{S1} \right)^{(1/n)} - 1 \quad \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

S= es la tasa de cambio (multiplicada por 100 para expresar en %)

S1= el área de la superficie en la fecha 1

S2= el área en la fecha 2

n= el número de años entre las dos fechas

La dinámica de cambios entre las clases de USyV se obtuvo a partir de la tabulación cruzada de las clasificaciones del año 2000 y 2017 (Pontius *et al.*, 2004), lo cual permitió conocer la magnitud de las transiciones entre clases, así como las ganancias, pérdidas, cambio neto y persistencia de las mismas durante el periodo de estudio.

RESULTADOS

De cada imagen de satélite se obtuvo un mapa con el USyV; la fiabilidad global para el año 2000 fue de 96.57% con un $K'=0.96$ (Tabla 2), y para el año 2017 fue de 97.50% con un $K'=0.97$ (Tabla 3). Valores de K' cercanos a la unidad 1.0 indican una alta fiabilidad en el análisis (Berlanga-Robles y Ruíz-Luna, 2007).

Tabla 2. Matriz de error del mapa de USyV del SLCM del año 2000

Datos de referencia 2000										
	Clases	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Datos de clasificación	1- Golfo de México	48				2				50
	2- Laguna de Mandinga		50							50
	3- Río Jamapa			46			4			50
	4- Bosque de Mangle		1		45		1		3	50
	5- Vegetación de duna costera					50				50
	6- Pastizal cultivado						50			50
	7- Asentamientos humanos						1	49		50
	8. Suelo descubierto					1		1	48	50
	Total	48	51	46	45	53	56	50	51	386
	Exactitud del productor	1	0.98	1	1	0.94	0.89	0.98	0.94	400
	Error de omisión	0	0.02	0	0	0.06	0.11	0.02	0.06	
Fiabilidad Global =96.57%; $K'=0.96$										

Fuente: Elaboración propia.

Datos de referencia: Ortofotos proporcionadas por el INEGI del año 1995 y 2001. Veracruz de Ignacio de la Llave (E-14) escala 1:20,000.

Tabla 3. Matriz de error del mapa de USyV del SLCM del año 2017

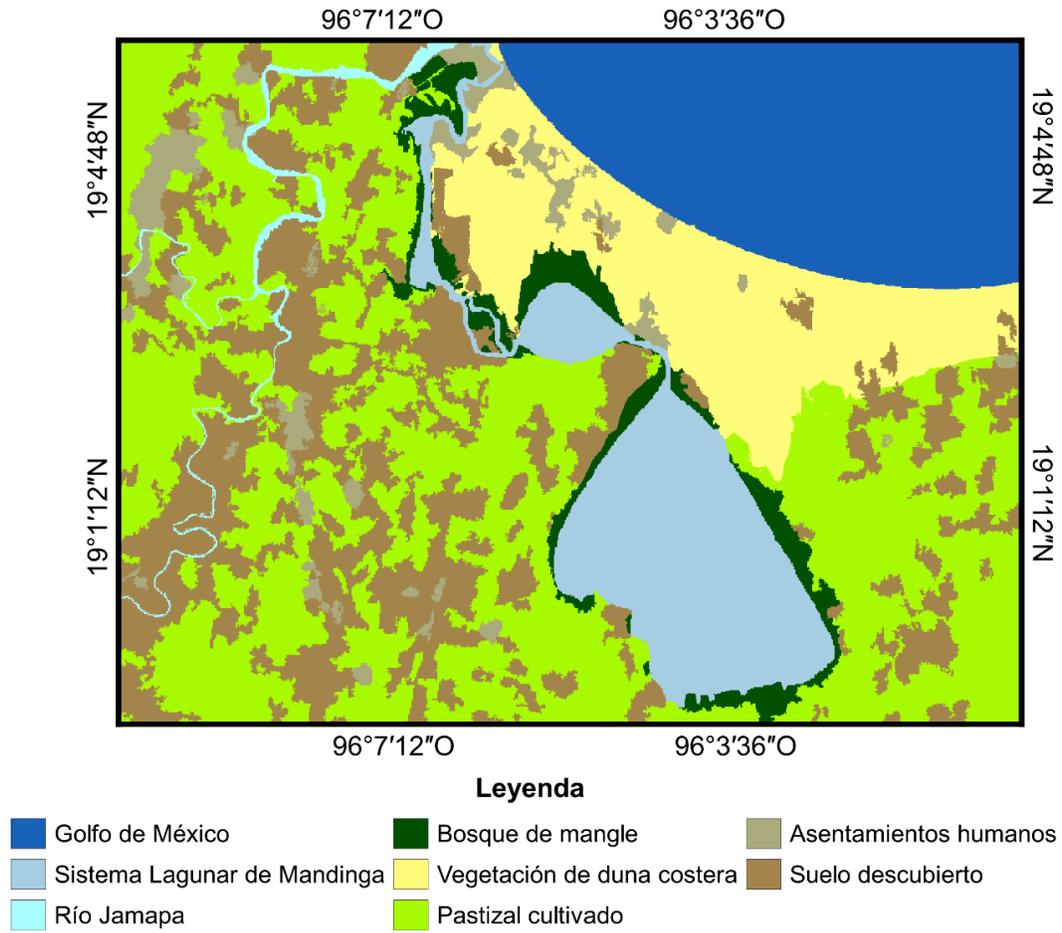
Datos de referencia										
	Clases	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Datos de clasificación	1- Golfo de México	50								50
	2- Laguna de Mandinga		50							50
	3- Río Jamapa			45		5				50
	4- Bosque de Mangle				49				1	50
	5- Pastizal cultivado					50				50
	6- Vegetación de duna costera						50			50
	7- Asentamientos humanos							48	2	50
	8- Suelo descubierto						2		48	50
	Total	50	50	45	49	55	52	48	51	400
	Exactitud del productor	1	1	1	1	0.91	0.96	1	0.94	
	Error de omisión	0	0	0	0	0.09	0.04	0	0.06	
Fiabilidad global=97.50%; K'=0.97										

Fuente: Elaboración propia.

Datos de referencia: imágenes de Google Earth del 22 de febrero del 2017.

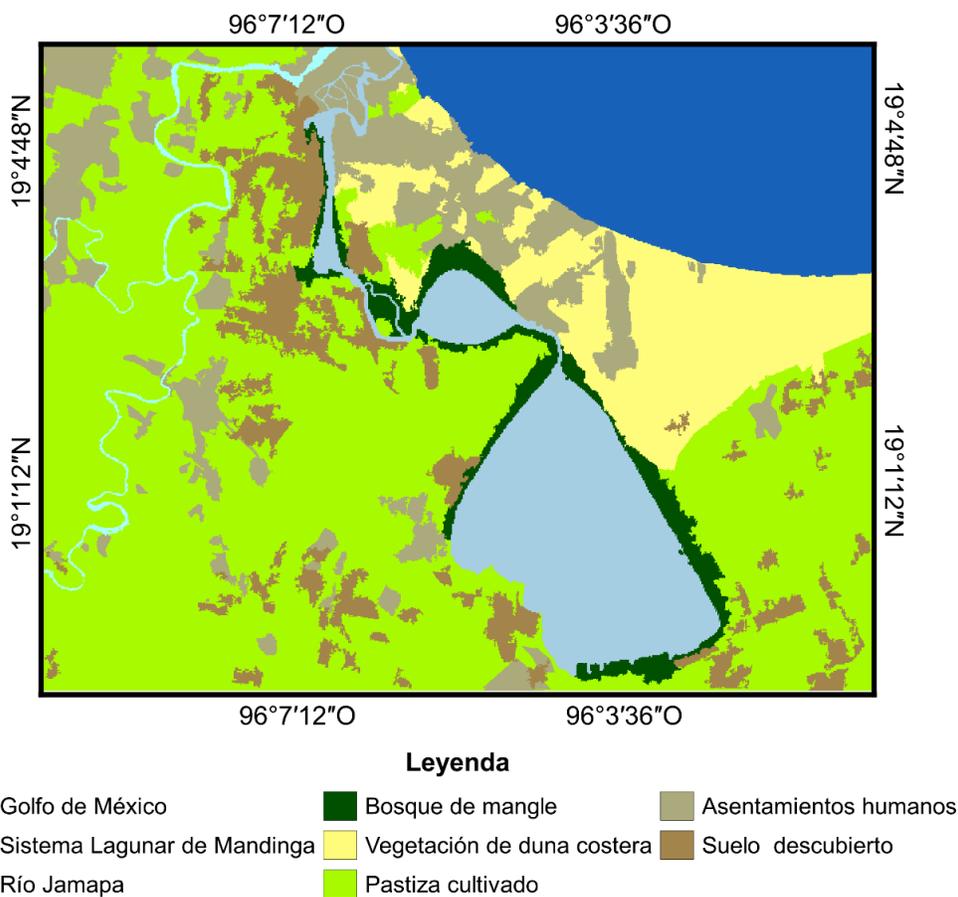
En las Figuras 2 y 3 se presentan los diferentes USyV del SLCM en los años 2000 y 2017, respectivamente. En la Figura 2, resultado del año 2000, se observa en los márgenes del SLCM una presencia definida de la clase Bosque de mangle; también se observan amplias áreas de las clases Pastizal cultivado y Vegetación de duna costera; la presencia de la clase Asentamientos humanos es mínima y se observan al noreste de la laguna Larga y al este de la laguna Redonda. En la Figura 3, resultado del 2017, se observa en la parte norte, noreste y este de la laguna Larga, y al norte y este de la laguna Redonda, una visible mancha de la clase Asentamientos humanos (color gris), en lo que antes era Vegetación de duna costera; el cordón verde de Bosque de mangle se observa reducido en el sector norte de la imagen. La clase Suelo descubierto aparece al oeste del sistema lagunar, en lo que antes era Pastizal cultivado.

Figura 2. Uso del suelo y vegetación (USyV) del SLCM en el año 2000



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de satélite Landsat 7 ETM+.

Figura 3. USyV del SLCM en el año 2017



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de satélite Landsat 8 OLI/TIRS.

En la Tabla 4, se muestra la superficie (ha), el cambio neto y la tasa de cambio de las clases de USyV del SLCM entre los años 2000 y 2017.

Tabla 4. Superficie (ha) y tasa de cambio (%) según el USyV de los años 2000 y 2017 en el SLCM

Clase	2000	2017	Cambio neto	Tasa de cambio
	ha	ha	ha	%
1- Golfo de México	336796	3400.58	32.63	0.06
2- Laguna de Mandinga	2119.77	2101.12	-18.65	-0.05
3- Río Jamapa	196.49	174.71	-21.78	-0.69
Coberturas naturales de agua	5684.22	5676.41	-7.81	n.d.
4- Bosque de Mangle	667.80	560.72	-107.08	-1.02
5- Vegetación de duna costera	2399.02	1876.14	-522.88	-1.44
Coberturas naturales terrestres	3066.82	2436.86	-629.96	n.d.
6- Pastizal cultivado	7403.06	9506.21	2103.14	1.48
7- Asentamientos humanos	659.745	2143.1	1483.36	7.18
8- Suelo descubierto	4366.08	1417.34	-2948.74	-6.40
Coberturas antrópicas	12428.89	13066.65	637.76	n.d.
Total	21179.93	21179.93		

Fuente: Elaboración propia.

*n.d. no determinado.

Cuando se agrupan las distintas clases con base en su condición de origen, se obtienen tres grupos: uno de ellos corresponde a Coberturas naturales de agua (Golfo de México, Laguna de Mandinga y Río Jamapa), otro que contiene Coberturas naturales terrestres (Bosque de mangle y Vegetación de duna costera), y un tercero que atañe a las Coberturas antrópicas (Pastizal cultivado, Asentamientos urbanos y Suelo descubierto) (Tabla 4). En el grupo de Coberturas naturales de agua, la clase Golfo de México aumentó 32.63 ha, mientras que la Laguna de Mandinga y el Río Jamapa disminuyeron su superficie en -18.65 y -21.78 ha, respectivamente. En el grupo Coberturas naturales terrestres, la clase Bosque de mangle perdió -107.08 ha, y la de Vegetación de duna costera perdió -522.88 ha. En el grupo de Coberturas antrópicas, la clase Pastizal cultivado ganó una superficie de 2,103.14 ha, en el mismo sentido se observó una ganancia de 1,483.36 ha en la clase Asentamientos humanos, en cambio, en la clase Suelo descubierto se perdieron -2,948.74 ha. El cambio neto para cada uno de los grupos muestra que en el primero de ellos (Coberturas naturales de agua) se observó, entre los años 2000 y 2017, un decremento en su superficie de -7.81 ha. En el grupo de Coberturas naturales terrestres se presentó una fuerte disminución de área, ya que perdió -629.96 ha. Las Coberturas antrópicas incrementaron su superficie en 637.76 ha entre los dos años considerados.

En cuanto a las tasas de cambio, en el grupo de Coberturas naturales terrestres se observa la pérdida de cobertura de la Clase Bosque de mangle de -1.02%, y de la clase Vegetación de duna costera de -1.43%. Resalta en el grupo de Coberturas antrópicas la clase Asentamientos humanos, con una tasa positiva de 7.18% (Tabla 4).

La dinámica de cambios expresada en hectáreas para los 17 años del periodo de estudio se muestra en la Tabla 5. Un primer análisis derivado de la matriz de transición es la persistencia global que fue de 70%, es decir, expresado en términos del cambio significa que 30% de la superficie del área de estudio se transformó en una clase distinta a la del año 2000. Particularmente para la clase Bosque de Mangle, 77.4% (434.03 ha) persistieron para el año 2017, perdió 56.84 ha que pasaron a ser Pastizal cultivado; al mismo tiempo que 92.05 ha se transformaron en Asentamientos humanos y 43.25 ha a Suelo descubierto. En la Figura 4 se muestran, para la clase Bosque de mangle, las áreas de cambio en color rojo, las persistentes en verde fuerte (su color de Leyenda de Clase), y las ganancias en verde claro. Respecto a las ganancias de esta misma clase (Bosque de mangle) recibió 36.14 ha procedentes de la clase Laguna de Mandinga, 7.34 ha de Vegetación de duna costera, 47.16 ha de la clase Pastizal cultivado y 36.07 ha de Suelo descubierto (Figura 5).

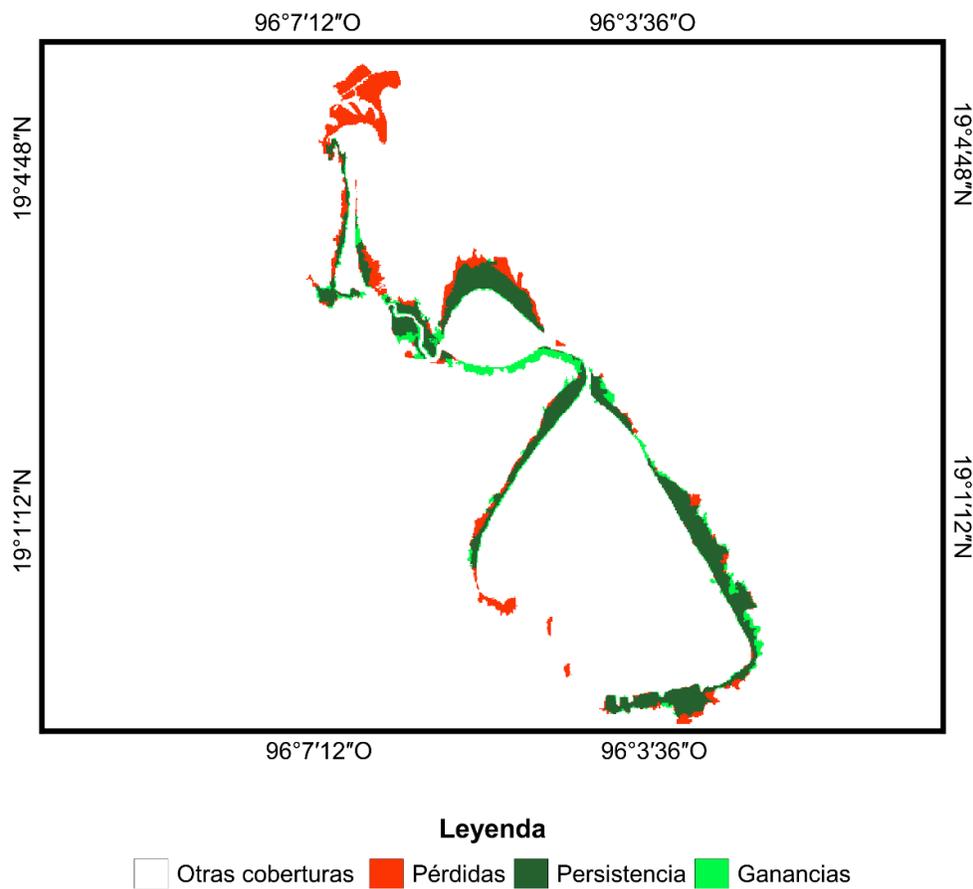
Tabla 5. Matriz de tabulación cruzada (ha) de los resultados de USyV entre los años 2000 y 2017 en el SLCM

		2017									
2000		1	2	3	4	5	6	7	8	Total	
	1	3364.85	0	0	0	35.3	0	0	0	0	3400.58
	2	0	2069.75	0	21.11	1.60	4.25	0	4.41	2101.12	
	3	0	0	133.94	0.07	0	8.80	0	31.91	174.71	
	4	0	36.14	0	434.03	7.34	47.16	0	36.07	560.72	
	5	1.35	0.65	0	20.48	1572.71	172.51	0	108.45	1876.14	
	6	0	3.65	55.31	56.84	160.83	6017.45	0	3212.15	9506.21	
	7	1.76	9.07	6.64	92.05	612.79	407.50	659.75	353.57	2143.10	
	8	0	0.52	0.61	43.25	8.03	745.40	0	619.54	1417.34	
Total	3367.96	2119.77	196.49	667.80	2399.02	7403.06	659.7	4366.08	21179.93		

Nota: Persistencia global 70% $K' = 0.61$ *Clases: 1) Golfo de México, 2) Laguna de Mandinga, 3) Río Jamapa, 4) Bosque de Mangle, 5) Vegetación de duna costera, 6) Pastizal cultivado, 7) Asentamientos humanos, 8) Suelo descubierto. En negritas el área sin cambio de cada clase. Los valores en la diagonal de la matriz indican la persistencia (ha) de la clase de US yV respectiva.

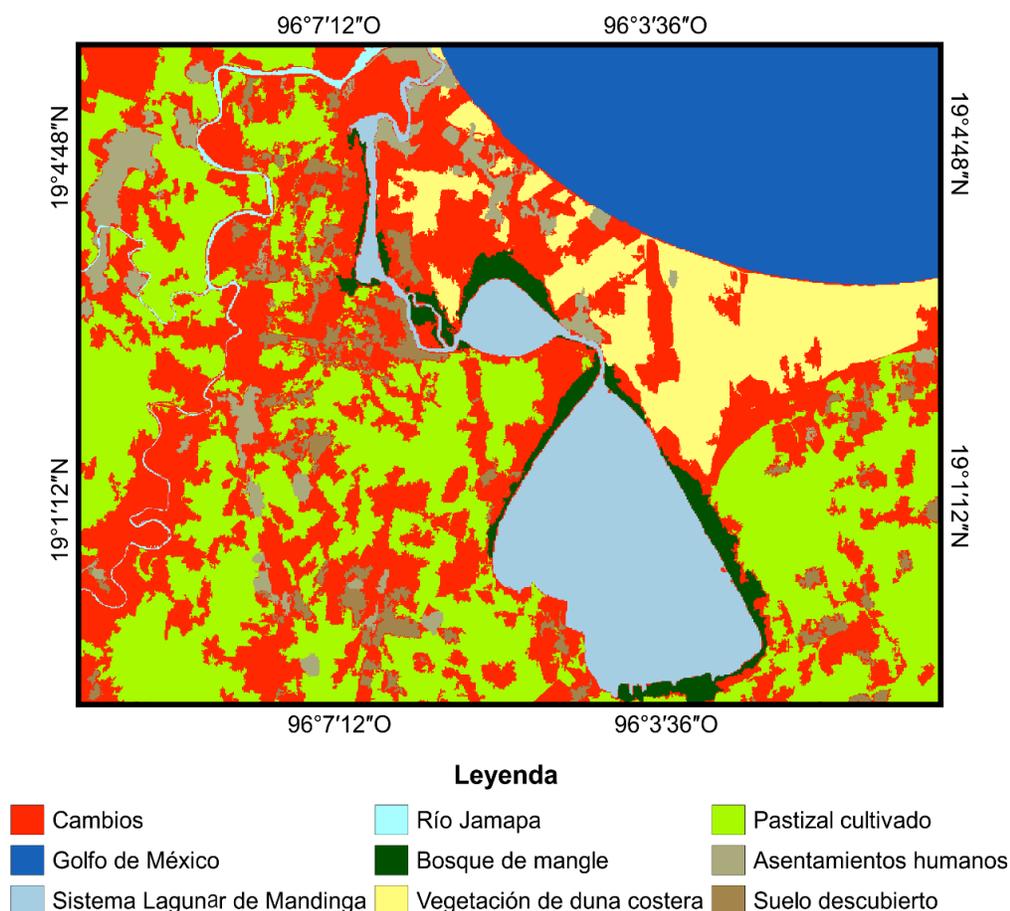
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Pérdida, ganancia y persistencia del bosque de mangle entre los años 2000 y 2017 en el SLCM



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de satélite Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI/TIRS.

Figura 5. Áreas de cambio y persistencia de las clases de USyV entre los años 2000 y 2017 en el SLCM



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de satélite Landsat 7 ETM+ y Lansat 8 OLI/TIRS.

En la Tabla 6 se muestran los valores calculados de pérdidas, ganancias y cambio neto de las distintas clases de USyV (el signo negativo se utiliza para remarcar que son pérdidas). Las clases Laguna de Mandinga, Río Jamapa y Bosque de Mangle tuvieron una pérdida neta de -19, -22 y -107 ha, respectivamente. La clase Vegetación de duna costera y la clase Suelo descubierto cedieron -523 y -2,949 ha, respectivamente. En esta tabla destaca el cambio neto positivo de la clase Asentamientos humanos, con un incremento de superficie de 1,483 ha en 17 años.

Tabla 6. Pérdidas, ganancias y cambio neto de las clases de USyV en el SLCM entre los años 2000 y 2017

Clase	Pérdida ha	Ganancia ha	Cambio neto ha
1- Golfo de México	-3	36	33
2- Laguna de Mandinga	-50	31	-19
3- Río Jamapa	-63	41	-22
4- Bosque de Mangle	-234	127	-107
5- Vegetación de dunas costeras	-826	303	-523
6- Pastizal cultivado	-1386	3489	2103
7- Asentamientos humanos	0	1483	1483
8- Suelo descubierto	-3747	798	-2949

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7 se calcularon las contribuciones, (en hectáreas) al cambio neto por Clase para el periodo 2000-2017. Si la clase otorga área, el valor, es positivo, y si la clase recibe área, el valor es negativo. La clase Golfo de México recibe 34 ha de la clase Vegetación de duna costera y cede 2 ha a la clase Asentamientos humanos. La clase Laguna de Mandinga otorga 15 ha a la clase Bosque de mangle y 9 ha a la clase Asentamientos humanos. La clase Bosque de mangle cede 13 ha a la clase Vegetación de duna costera, 10 ha a Pastizal cultivado, 92 ha a la clase Asentamientos humanos y 7 ha a Suelo descubierto. Entre las contribuciones importantes en el SLCM destacan las ganancias adquiridas por la clase Asentamientos humanos, que son aportadas por Pastizal cultivado (-407 ha), Vegetación de duna costera (-613 ha) y por el Bosque mangle (-92 ha). Otra contribución relevante en la dinámica del sistema es la adquisición que tiene Pastizal cultivado (-2,467 ha), desde la clase Suelo descubierto. En la Figura 6 se muestra la dinámica de cambio entre las clases de USyV de la Tabla 7.

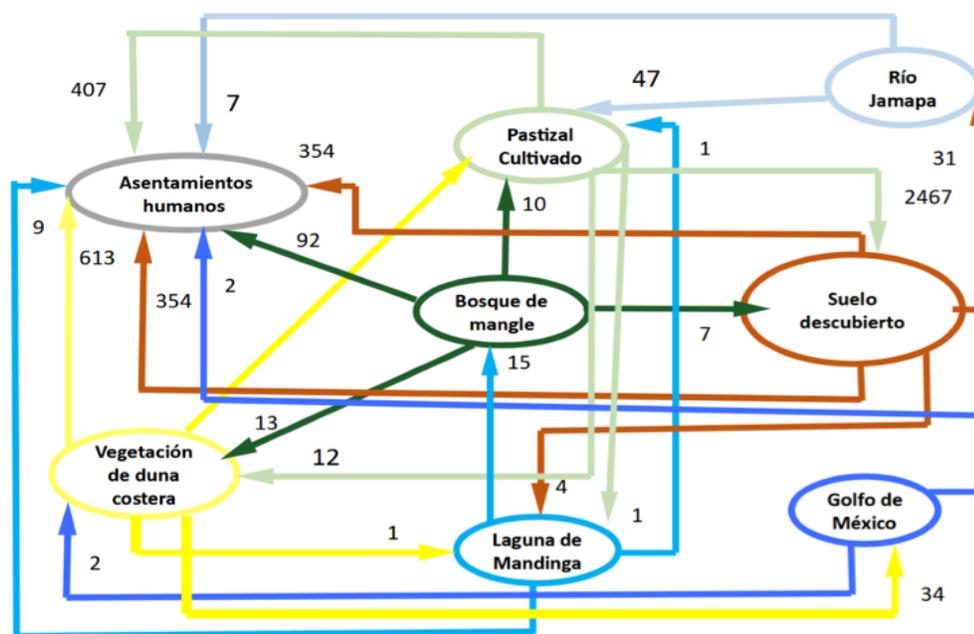
Tabla 7. Contribuciones (ha) al cambio neto por USyV en el SLCM entre los años 2000 y 2017

Clase	1	2	3	4	5	6	7	8
1- Golfo de México	0	0	0	0	-34	0	2	0
2- Laguna de Mandinga		0	0	15	-1	-1	9	-4
3- Río Jamapa			0	0	0	47	7	-31
4- Bosque de Mangle				0	13	10	92	7
5- Vegetación de duna costera					0	-12	613	-100
6- Pastizal cultivado						0	407	-2467
7- Asentamientos humanos							0	-354
8- Suelo descubierto								0

Nota: Signo negativo recibe, positivo aporta.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Dinámica de cambio (ha) entre las clases de USyV en el SLCM entre 2000 y 2017



Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Las imágenes por percepción remota son una herramienta para la cartografía, la que resulta indispensable para el monitoreo de bosques de mangle y un valioso apoyo para la conservación y restauración de ambientes naturales. En la actualidad, distintos investigadores en el mundo utilizan fotografías aéreas e imágenes satelitales para la elaboración de mapas de la dinámica de cambio de las coberturas de uso de suelo y vegetación (USyV) (Nandy y Kushwaha, 2011; Riaño *et al.*, 2007; Rogan *et al.*, 2002).

Los resultados en las Figuras 2 y 3, de los años 2000 y 2017, no sólo sirven para calcular las cantidades de bosque de mangle talado, sino que también dan cuenta de dónde viene la afectación. Es importante notar en el año 2000 la presencia de cobertura de la clase Bosque de mangle al norte de la Laguna Larga y al oeste de la Laguna Grande, mientras al sur de la Laguna Redonda observamos la casi desaparición del cinturón de mangle con prevalencia de Pastizal cultivado. En el año 2017, se observa el crecimiento del área de la clase Asentamientos humanos al norte de la Laguna Larga y al oeste de la Laguna Grande. El mangle va desapareciendo desde el municipio de Boca del Río hacia la Laguna Grande, existe un cambio de rural a urbano; al parecer las áreas de mayor plusvalía ya fueron arrasadas por el desarrollo urbano y continúa de forma más lenta hacia el sur, los resultados observados coinciden con Hiraes-Cota *et al.* (2010), que determinan que una de las causas de deforestación del mangle es causado por el crecimiento de actividades turísticas.

La comparación de las Figuras 2 y 3 muestra también el impresionante crecimiento de la Clase Asentamientos humanos (gris) al norte y este de la Laguna Redonda, dicho crecimiento fue sobre Vegetación de duna costera. Esta situación, la de desarrollar asentamientos humanos sobre duna costera en el estado de Veracruz, es cuestionable y criticable (Martínez *et al.*, 2017). Esto debido a que las dunas son depósitos para el balance natural de las arenas en el sistema costero, y porque la construcción de viviendas sobre dunas ofrece el riesgo de asentamientos diferenciales de las edificaciones por la pérdida de arena (Raffaele y Bruno, 2019). Las dunas costeras representan un importante activo para la estabilidad de las costas, además de que se desconoce a partir de qué fecha dejaron de ser propiedad federal para pasar a propiedad privada, de acuerdo con la legislación mexicana.

En el grupo de Coberturas antrópicas (Tabla 4), el valor de la clase Asentamientos humanos tiene una tasa de cambio de 7.18%, valor elevado que refleja el desarrollo urbano del municipio de Boca del Río, del cual las estadísticas nacionales dan cuenta (<http://www.cuentame.inegi.org.mx/>).

En la Figura 4 se presenta sólo la dinámica de cobertura de la clase Bosque de Mangle; de nuevo es destacable la gran pérdida de bosque de mangle al norte de la

Laguna Larga (en color rojo) y el repoblamiento al sur de la Laguna Redonda; respecto a este último, se señala que la reproducción de bosque de mangle es viable si se le da oportunidad, ya que las condiciones hidrológicas y del sedimento son idóneas (Osorio-Ramírez, 2012).

La pérdida de cobertura de bosque de mangle (107.08 ha en 17 años) fue mayor a lo estimado por Cabrera-Mendoza (2009), quien calculó una pérdida de 86.81 ha en un periodo de 21 años. A nivel del estado de Veracruz, en el periodo de 1970/80 a 2015, se perdieron 6,509 ha y, a nivel país, en el mismo lapso se perdieron 102,412 ha (Troche-Souza *et al.*, 2016), aproximadamente 1,000 veces más que las 107.08 ha del SLCM. En un estudio conjunto México-Estados Unidos se calculó una tasa de pérdida de bosque de mangle de 25,000 ha/año (Yañez-Arancibia *et al.*, 2014).

Los cambios de cobertura de vegetación en el estado de Veracruz repercuten de manera negativa en la riqueza biológica y los servicios ambientales (Semarnat, 2016), y los procesos de cambio para esta clase de cobertura se deben principalmente a la expansión de la mancha urbana (Ávila-Sánchez, 2001). En el periodo de estudio se observó, para el bosque de mangle, una tasa de cambio anual de -1.02%, y Ellis *et al.* (2011), basados también en percepción remota, señalaron que las principales amenazas que existen en el SLCM son la urbanización, la expansión agrícola y de pastizal. Al respecto, coincidimos con López-Feldman (2012) en señalar al crecimiento inmobiliario y las actividades agropecuarias como promotoras del cambio de uso de suelo y vegetación.

Desde una perspectiva sistémica, y como consecuencia de la pérdida de bosque de mangle, se encuentran en peligro otros ecosistemas, como los arrecifes de coral, praderas submarinas y la densidad de peces, entre otros (Dorenbosch *et al.*, 2004; Ellis *et al.*, 2011). Afortunadamente, se han llevado a cabo investigaciones que han demostrado la importancia de conservarlo y regular su uso (Ellis *et al.*, 2011).

Lo fundamental para el mantenimiento del bosque de mangle en el estado de Veracruz, desde una perspectiva ecológica y económica, no es únicamente el cuidado de la tala, sino proteger la calidad del agua, a nivel cuenca hidrológica, para la conservación de este bosque, ya que la actividad pesquera es también dependiente de su buen estado (Moreno-Casasola *et al.*, 2002). Las especies de mangle a nivel nacional se encuentran bajo la categoría de amenazadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, por factores que inciden negativamente en su viabilidad, lo que determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación, y a esto se suma la baja capacidad de resiliencia mostrada por estos manglares, expresada en el bajo número, crecimiento y sobrevivencia encontrada en plántulas (Semarnat, 2010). Es importante entonces incrementar

los controles para garantizar la preservación de este esencial ecosistema, así como el implementar sistemas de monitoreo para conocer su desarrollo (Valle *et al.*, 2011).

Se ha señalado que la economía de la pesca local se ha afectado por la deforestación del bosque de mangle, debido al vínculo entre el bosque de mangle y el servicio ambiental del área de crianza, alimentación y crecimiento de especies de peces y mariscos, de valor comercial o sin éste (Moreno-Casasola *et al.*, 2002). Al sur del Golfo de México (Campeche) se señaló una pérdida anual de ingresos por \$278,000 USD/año debido a la tala de 200 ha de bosque de mangle entre 1980 y 1990, esto hace un valor de \$1,390 USD/ha/año (Barbier y Strand, 1998), dinero que el sector pesquero dejó de percibir en aquella época. Evaluaciones recientes del valor de los servicios ecosistémicos del mangle, sin contabilizar los servicios culturales, espirituales y estéticos, es de \$58,862 USD/ha/año (Himes-Cornell *et al.*, 2018).

En foros y congresos se ha reconocido la conveniencia de pasar de una etapa de estudio básico a atender el problema relevante de cómo revertir las tasas de deforestación que están experimentando estos bosques (Society of Wetland Scientists, <https://www.sws.org>). La Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), es un instrumento de política ambiental que tiene como objetivo prevenir, mitigar y restaurar los daños al ambiente, y es una oportunidad para prevenir la tala de mangle mediante el acuerdo con empresarios, inversionistas, agropecuarios, inmobiliarias, y el sector turístico que deseen llevar a cabo proyectos.

CONCLUSIÓN

En un periodo de 17 años, del 2000 al 2017, el SLCM ha estado inmerso en un proceso de cambio y transformación de las coberturas naturales y antrópicas, consecuencia del crecimiento de las zonas urbanas y de actividades humanas que influyen en la transformación del uso del suelo en el área de estudio.

La tasa de disminución anual de la Clase Bosque de mangle en el SLCM presentó un valor de 1.02%, valor menor al calculado en evaluaciones previas, sin embargo, la tendencia no ha cambiado. En el año 2000 había 667.8 ha contra 560.7 ha del año 2017. Los principales forzantes para estas pérdidas son los Asentamientos humanos (crecimiento anual de 7.18%) y el Pastizal cultivado (1.48%), ambas coberturas antrópicas.

A nivel local, se subraya la importancia del bosque de mangle y se hace énfasis en los servicios ecosistémicos que aporta, también se señalan algunas repercusiones de la tala y el cambio de uso de suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldeco, J. *et al.* (2015). "Adaptaciones culturales y económicas a cambios provocados por tala de mangle y deterioro pesquero en Mandinga, Veracruz", en *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 15(2): 137-158.
- Ávila, H. (2001). "Ideas y planteamientos teóricos sobre los territorios periurbanos: Las relaciones campo-ciudad en algunos países de Europa y América", en *Investigaciones Geográficas*, 45: 108-127.
- Barbier, B. e I. Strand. (1998). "Valuing Mangrove-Fishery Linkages. A Case Study of Campeche, Mexico", en *Environmental and Resource Economics*, 12: 151-166.
- Berlanga, C. y A. Ruíz. (2007). "Análisis de las tendencias de cambio de bosque de mangle del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava, México. Una aproximación con el uso de imágenes de satélite Landsat", en *Universidad y Ciencia*, 23(1): 29-46.
- Berlanga, C. *et al.* (2010). "Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973–2000)", en *Investigaciones Geográficas*, agosto, 72: 7-22.
- Cabrera, M. (2009). *Evaluación de la pérdida de cobertura del manglar en el Sistema Lagunar de Mandinga, Veracruz (1984-2005), y su repercusión ecológica y económica*. Informe de Servicio Social. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco.
- Calderón, C. *et al.* (2009). "El valor de los manglares", en Conabio, *Biodiversitas*, 82: 1-6.
- Cervantes, A. (2005). *Análisis temporal de los cambios en la vegetación aledaña a la laguna de Mandinga, Veracruz. Mediante el análisis de imágenes satélite*. Informe de Servicio Social, Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco.
- Challenger, A. y J. Soberón. (2008). "Los ecosistemas terrestres", en Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) (Ed.). *Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad* (87-108). México: Conabio.
- Chuvienco, E. (2008). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*, 3ª ed. Barcelona: Ariel, colección Ciencia.
- Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2009^a). *Manglares de México. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. Proyecto: GQ004*. México: Conabio.
- Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2009^b), en Conabio. *Capital natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio* (37-45), México: Conabio.

- Congedo, L. (2018). "Semi-Automatic Classification Plugin Documentation". Free open source plugin for QGIS. Doi: /10.13140/RG.2.2.29474.02242/1 (Consultado: 28/03/2019)
- Contreras, F. (1993). *Ecosistemas costeros mexicanos*. México: UAMI (Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa) -CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad).
- Derouin, S. (2017). "Study finds that coastal wetlands excel at storing Carbon", en *Earth and Space News* (4-5), Eos.org, mayo.
- Dorenbosch, M. et al. (2004). "The relationship of reef fish densities to the proximity of mangrove and seagrass nurseries", en *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 60(1): 37-48.
- Earthexplorer. (2018). "USGS science for a changing world". EarthExplorer. Disponible en: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Consultado: 09/06/2018).
- Earthexplorer. (2017). Query and order satellite images through the US Geological Survey. <http://earthexplorer.usgs.gov> (Consultado: 17/07/2017).
- Ellis, A. et al. (2011). "Focos Rojos para la Conservación de la Biodiversidad, en La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado", en Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). *Gobierno del Estado de Veracruz - Universidad Veracruzana - Instituto de Ecología, A.C.* (351-367). México: Conabio.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2007). The world's mangroves 1980-2005. FAO forestry paper No. 153, Rome, 77 p. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a1427e.pdf>. (Consultado: 28/03/2019).
- Flores, F. et al. (2007). "Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México", en Sánchez, O. et al. (Eds.). *Ecosistemas acuáticos costeros: importancia, retos y prioridades para su conservación* (147-166). Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales- Instituto Nacional de Ecología-U.S. Fish & Wildlife Service-United States for the Conservation, A.C. -Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo.
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Ciudad de México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Libros, No. 6.
- GEV (Gobierno del Estado de Veracruz). (2000). *Actualización del Plan Regional de Desarrollo de Mandinga, Alvarado*. México: Gobierno del Estado de Veracruz-Llave. Xalapa-Enríquez.
- Himes, A. et al., (2018). Mangrove Ecosystem Service Values and Methodological Approaches to Valuation: Where Do We Stand?. *Frontiers in Marine Science*, Vol. 5 (October), Article 376, 15p. Doi: 10.3389/fmars.2018.00376.

- Hirales, M. *et al.* (2010). "Agentes de deforestación de manglar en Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, sureste de México", en *Ciencias Marinas*, 36(2): 147-159.
- Inegi (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2014). *Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250.000. Serie V. Aguascalientes*: INEGI.
- Lara, A. *et al.* (2009). "Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica", en Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). *Caracterización del sitio de manglar Mandinga* (1-11). Ciudad de México: Conabio.
- López, A. (2012). *Deforestación en México: Un análisis preliminar*. Ciudad de México: CIDE (Centro de Investigación y Docencia Económica), División de Economía, Documento de trabajo No. 527.
- Manzo, L. y J. Meave. (2003). "La vegetación vista desde el espacio: la fenología foliar a través de la percepción remota", en *Revista Ciencia*, julio-septiembre, 18-28.
- Martínez, L. *et al.* (2017). "Human Impact on Coastal Resilience along the Coast of Veracruz, Mexico", en *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 77: 144-153.
- Mas, F. (1999). "Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques", en *International Journal of Remote Sensing*, 20(1): 139-152.
- Moreno, P. *et al.* (2002). "Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática", en *Madera y Bosques*, 8 (Número especial): 61-88.
- Nandy, S. y S. Kushwaha. (2011). "Study on the utility of IRS 1D LISS-III data and the classification techniques for mapping of Sunderban mangroves", en *Journal of Coastal Conservation*, 15(1): 123-137.
- Osorio, C. (2012). Características estructurales del bosque de manglar asociado a un sitio en la Laguna de Mandinga, Veracruz, México. *Informe de Servicio Social*, Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco.
- Palacio, J. *et al.* (2004). *Indicadores para la Caracterización y el Ordenamiento Territorial*. Ciudad de México: Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), INE (Instituto Nacional de Ecología), IGf (Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México) y Sedesol (Secretaría de Desarrollo Social).
- Pontius Jr. *et al.* (2004). "Detecting important categorical land changes while accounting for persistence", en *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101(2-3): 251-268.
- Raffaele, L. y L. Buno. (2019). "Windblown sand action on civil structures: Definition and probabilistic modelling", en *Engineering Structures*, enero, 178: 88-101.
- Riaño, D. *et al.* (2007). "Global spatial patterns and temporal trends of burned areas between 1981 and 2000 using NOAA-NASA Pathfinder", en *Global Change Biology*, octubre, 13: 40-50.

- Rodríguez, M. *et al.* (2013). *Manglares de México / Extensión, distribución y monitoreo*. Ciudad de México: Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad).
- Rogan, J. *et al.* (2002). "A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation changes using Thematic Mapper imagery", en *Remote Sensing of Environment*, abril, 80: 143-156.
- Ruíz, A. *et al.* (2010). "Climatología". Pp. 65-84., en *Atlas del Patrimonio Natural, Histórico y Cultural* (Florescano, E. y Ortiz Escamilla, J. Coords). Gobierno del Estado de Veracruz-Universidad Veracruzana, Xalapa. Vol. 1. ISBN 9786079513160.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*, 1ra ed., digital. Ciudad de México: Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad).
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2001). Norma Oficial Mexicana NOM-023-RECNAT-2001. Que establece las especificaciones técnicas que deberá contener la cartografía y la clasificación para la elaboración de los inventarios de suelos. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2016). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México; Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde* (Ed. 2015), Ciudad de México: Semarnat.
- Troche, C. *et al.* (2016). *Manglares de México: extensión, distribución y monitoreo (1970/1980-2015)*. Ciudad de México: Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad).
- USGS (United States Geological Survey). (2018). Landsat 7 (17). Data users handbook, version 1.0. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Sioux Falls.
- Valle, G. *et al.* "Estructura y Regeneración del bosque de manglar de la Ciénega de Cholón, Isla Barún, Parque Nacional Corales del Rosario y San Bernardo, Caribe colombiano". *Boletín de Investigación Marinas y Costeras*, 40(1): 115-130.
- Yáñez, A. *et al.* (2014). "Manglares; ecosistema centinela frente al cambio climático, Golfo de México", en *Madera y Bosques*, 20(3): 39-75.