

Dinámica de la cobertura de manglar y del carbono asociado en Sipacate-Naranjo, Guatemala

Carlos Rodríguez¹ y Melany Lucía Ramírez Galindo²

¹Investigador en Sostenibilidad de Sistemas Productivos en el Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático. carlosrh_@hotmail.com

²Investigadora Jr. en Ecosistemas en el Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático

Cita: Rodríguez, C. y Ramírez, M. (2018). Dinámica de la cobertura de manglar y del carbono asociado en Sipacate-Naranjo, Guatemala. *Revista Yu'am* 2(4): 17-26 pp.

Recibido: 4/05/2018

Aceptado: 15/8/2018

Publicado: 1/9/2018

Resumen

Los manglares son un importante recurso forestal en la banda intertropical del planeta, porque proveen servicios ecosistémicos que son importantes para la función, calidad ambiental y las actividades económicas de las zonas marinas y costeras. Los manglares contribuyen a la mitigación del cambio climático debido a su alta capacidad de secuestro y acumulación de carbono. Sin embargo, están amenazados por procesos antropogénicos, reduciendo las áreas disponibles para el crecimiento y liberando emisiones de CO₂.

En este estudio se realizó la cuantificación de las emisiones y remociones de CO₂ en el área Sipacate-Naranjo, ubicada en el litoral Pacífico de Guatemala. Para ello se realizó un análisis espacio temporal con el soporte de sensores remotos para determinar la dinámica de cobertura del manglar en los periodos de 1990-2006, 2006-2016. Los resultados demuestran que las principales transiciones de pérdidas de cobertura en el manglar fueron ocasionadas por cambios de uso del suelo hacia pastos, salinerías/camaroneras, suelo desnudo, cuerpos de agua y en menor proporción otros usos como cultivos anuales y caña. El análisis indica, que en ambos periodos las ganancias netas fueron de 163.95 ha (8.78 %) y 46.88 ha (2.31%) respectivamente. En cuanto al balance de emisiones, en ambos periodos, las áreas de manglar que pasaron a otros usos generaron una emisión total hacia la atmósfera de 110,932.76 Ton CO₂_{eq}. Esta pérdida fue compensada por una remoción bruta de carbono de 198,324.61 Ton CO₂_{eq} por la recuperación del manglar en ambos periodos. Así, la remoción neta fue de 87,391.1685 Ton CO₂_{eq}.

Palabras clave: análisis espacio-temporal, cambio de uso de suelo, emisiones, mangle, Sipacate-Naranjo, carbono azul.

Abstract

Mangroves are important forestry resources in the intertropical belt of the planet because they provide a variety of ecosystem services important for the function, environmental quality, and economic activities of marine-coastal areas. Mangroves contribute to climate change mitigation due to their high carbon-sequestration and storing capacity. Nevertheless, mangroves are threatened by anthropogenic processes that reduce potential growth areas and releasing sequestered carbon and CO₂.

In this study we quantified the CO₂_{eq} sequestered and emitted into the atmosphere in the Sipacate-Naranjo conservation area, located in the Pacific coastline of Guatemala. A time-space analysis was performed with the aid of remote sensors to determine the dynamics of the mangrove cover in the 1990-2006, 2006-2016 periods. Results demonstrate that the main transitions of mangrove coverage loss were cause/generated by change of land use into pastures, shrimp farming, salt evaporation ponds, bare soil, water bodies, and other uses such as sugar cane, and other less cultivated crops. The analysis indicates that in both periods, net gains were of 163.95 ha (8.78%) and 46.88 ha (2.31%) respectively. In regards of the emissions balance for both periods, the mangrove areas that switched to other uses generated emissions to the atmosphere of 110,932.76 Ton CO₂_{eq}. This loss was compensated by carbon sequestration of 198,324.61 Ton CO₂_{eq} due to mangrove's recovery in both periods. Thus, net absorption from the atmosphere was of 87,391.85 Ton CO₂_{eq}.

Key words: space-time analysis, change of soil use, emissions, mangrove, Sipacate-Naranjo, blue carbon.

Introducción

Los manglares son bosques situados en la confluencia de la tierra y el mar en zonas tropicales y subtropicales del mundo (Alongi, 2002). Al ser inundados periódicamente por las mareas, los suelos donde se desarrollan son inestables, salinos y con reducido o nulo contenido de oxígeno. La particularidad de los manglares para sobrevivir en ambientes salinos se debe al mecanismo y sistemas de filtración y excreción, los cuales les permiten eliminar pequeñas cantidades de sal que logran penetrar la planta; las adaptaciones anatómicas incluyen glándulas especializadas para excretar sal por la base del pecíolo y tejidos foliares. Otro mecanismo es la exclusión selectiva, que permite regular la cantidad de sales que ingresan al sistema radicular de la planta (Mainardi 1996; Pizarro, Piedra, Bravo y Asch, 2004; Mejía, Molina, Sanjuan, Grijalba y Niño, 2014).

Los manglares son vitales para la sociedad como fuentes importantes de alimento, materiales para la construcción de viviendas, refugio de vida silvestre y provisión de servicios ecosistémicos como la regulación hídrica, la protección costera, la belleza escénica, y beneficios culturales y educativos. Sin embargo, es probable que el servicio ecosistémico más importante y menos estudiado de los manglares, sea su papel como sumidero de carbono. Las reservas de carbono en los manglares y otros ecosistemas marino-costeros (conocidas como "carbono azul") son de las más grandes que se han encontrado en cualquier tipo de bosque. (McLeod y Salm, 2006; Duke et al., 2007; Murray, Watt, Cooley y Pendleton, 2012; Kauffman, Donato y Adame, 2013; Howard, Hoyt, Isensee, Telszewski y Pidgeon, 2014) Tal como lo menciona Alongi (2014), donde el contenido de carbono promedio en zonas tropicales y subtropicales de los manglares es de 956 Ton C·ha⁻¹, en comparación con 241 C·ha⁻¹ en selvas tropicales, 408 C·ha⁻¹ en pantanos de turba, 593 C·ha⁻¹ en marismas y 142.2 C·ha⁻¹ en pastos marinos. Sin embargo, entre el 50-90% del carbono que se almacena en los manglares, se encuentra en el suelo y el resto lo almacena en la biomasa aérea.

Según Ammour (1999), los manglares, al igual que los demás ecosistemas naturales, se consideran "de uso común" y por ende, están sometidos a amenazas por procesos antropogénicos que provocan una presión bidireccional sobre dicho ecosistema. Las amenazas de origen terrestre (cambio de uso de la tierra, cambios en hidrología, contaminación y erosión, construcción de infraestructura) y marino (aumento del

nivel del mar, marejadas más frecuentes y fuertes) reducen las áreas disponibles para el crecimiento óptimo de los manglares, fomentan la disminución y hasta la pérdida de los servicios ecosistémicos y sobre todo promueven pérdidas de carbono almacenado, provocando que se liberen considerables cantidades de CO₂ hacia la atmósfera (Cifuentes, Rivera, Magaña, Velásquez y Torres 2018).

Se estima que los manglares ocupan alrededor de 13 millones 776 mil hectáreas a nivel mundial (Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y El Caribe [CATHALAC], 2012), y entre 2000 a 2012 se perdieron alrededor de 192,000 hectáreas de mangle, con una tasa de pérdida de 0.13% anual (World Resources Institute [WRI], 2015). En Guatemala, la cobertura de mangle se estima que es de 18,839 hectáreas (de las cuales 17,670 hectáreas se encuentran en la costa del Pacífico y 1,169.2 hectáreas en el Caribe) y la dinámica de pérdida es de 1.68% anual (CATHALAC, 2012), más que la tasa de deforestación bruta de Guatemala para el período 2006-2010 que fue de 132,137 hectáreas anuales o un 1% de pérdida anual con respecto al área del 2006 (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar [IARNA URL], 2012). A un teniendo importantes esfuerzos a través de las instituciones para generar información a nivel nacional, existen muy pocos estudios sobre cobertura de bosque manglar. De los pocos existentes, se puede resaltar que no se siguen metodologías estandarizadas y los resultados no están actualizados, por lo que no se le puede dar un seguimiento a las dinámicas de pérdida y recuperación del bosque manglar. Esto provoca vacíos de información que deben ser llenados para la toma de decisiones y la generación de políticas públicas con argumentos científicos para el manejo sostenible de los manglares en Guatemala.

Dada la importancia que tienen los manglares por su alta capacidad de almacenar carbono y las pérdidas de cobertura por actividades antropogénicas, se cuantifico espacial y temporalmente la pérdida de cobertura del bosque manglar y sus emisiones asociadas, ya que la conversión a otros usos del suelo provoca que se emitan considerables cantidades de Gases de Efecto Invernadero -GEI-. El estudio se realizó en el área de conservación Sipacate-Naranja ubicada en el litoral Pacífico de Guatemala y se evaluaron los periodos de 1990-2006 y 2006-2016.

Según el Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático -ICC- (2015), en la zona del área de conservación

Sipacate-Naranjo, el 66% de la población se dedica a la pesca y agricultura. Es evidente que para los pobladores el bosque de mangle es un capital natural importante por ser una fuente de recursos invaluable. Sin embargo, ejerce presión al ecosistema por el aprovechamiento de sus recursos para la subsistencia de comunitarios de las zonas aledañas, brindando un aporte a las economías locales por medio del comercio de madera en las áreas costeras, además del cambio de uso del suelo para el establecimiento de potreros o parcelas para agricultura, y el establecimiento de camarónicas y salineras.

La metodología del estudio incluyó el uso de sensores remotos para realizar el análisis espacio temporal del territorio y el cambio gradual de la cobertura del manglar. Con esta información, se estimaron las emisiones de GEI asociadas a los cambios observados. La información de carbono, proviene del estudio realizado por Rodríguez (2017) en el área de conservación Sipacate-Naranjo, siendo el primer estudio sobre la cuantificación de carbono en los manglares de Guatemala. Por ende, el presente estudio contiene información más precisa en cuanto a las emisiones y remociones de CO₂ por tratarse de información de la zona. Además, será una herramienta para las instituciones gubernamentales y no gubernamentales para enfocar sus esfuerzos en las áreas más vulnerables al cambio de uso del suelo y la planificación de la restauración del ecosistema.

Metodología

Sitio de estudio

El estudio se realizó en el área de conservación Sipacate-Naranjo ubicada en la zona del litoral Pacífico de Guatemala, en las coordenadas geográficas 13°55'58.20" N y 91°3'0.43"W. Pertenece al municipio de Sipacate, departamento de Escuintla y cuenta con un área de 1,682.32 hectáreas (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales [MARN], 2013). Si bien no es un área protegida declarada de forma oficial el CONAP la administra como tal desde el año 2,000 donde se han realizado esfuerzos con diversas instituciones para conservar y restaurar el área (MARN y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2017).

Análisis con sensores remotos

Para el análisis espacio-temporal de la dinámica de cobertura del suelo, se utilizó una imagen satelital Landsat 5 TM del año 1990, con una resolución espacial de 30 m, el conjunto de ocho ortofotos de Sipacate-Naranjo a escala 1:10 000 del año 2006 (Registro de Información Catastral [RIC], Unidad Técnico Jurídica [UTJ], Instituto

Geográfico Nacional [IGN] y Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAGA], 2006) y una imagen de satelital RapidEye del año 2016, con una resolución de 5 m.

Para la delimitación de la cobertura del mangle y otros usos del suelo alrededor del área de conservación Sipacate-Naranjo, se utilizó como año base la imagen RapidEye del año 2016. La escena se recortó usando una máscara de aproximadamente 17.65 Km de largo por 6.5 Km de alto, a partir de la línea de costa. El componente espectral de la imagen Rapideye fue restablecido mediante el uso de la herramienta *Utilidades de Calibración* del programa ENVI 5.3. La parte espacial fue corregida mediante la herramienta *Corrección Geométrica* del programa ERDAS 9.1 y la imagen se volvió a georreferenciar al sistema Universal Transverse Mercator (zona 15N), CGS Datum WGS84.

Para clasificar la imagen se aplicó el método denominado *Extracción de características* de (ENVI 5.3). El algoritmo permitió reconocer objetos a partir de características espaciales, espectrales y texturales de la imagen y diferenciar la cobertura de mangle de otros tipos de vegetación. Posterior a ello, la capa resultante se sometió a un control visual para asegurar que las coberturas que reconoció el programa (ENVI 5.3) coincidieran con las que se observan en la imagen RapidEye. Para las áreas que no coincidieron, se editó la categoría original y se le asignó el valor de la categoría a la que pertenece. Al final, se obtuvo el polígono corregido de las coberturas de uso de la tierra para el año 2016, que se utilizó como base para identificar los cambios en las ortofotos del año 2006 y la imagen Landsat de 1990.

El polígono de coberturas del 2016 se sobrepuso con las ortofotos del 2006, donde se realizó un proceso de fotointerpretación y digitalización de las imágenes a escala 1:10 000 en las ortofotos y 1: 15 000 en la imagen Landsat. A partir de esto, se editaron los cambios de forma de polígonos y de la aparición o desaparición de los mismos. Este proceso se repitió para la imagen de 1990, donde al final se obtuvieron los mapas del uso del suelo para los años 1990, 2006 y 2016.

Si bien, la imagen Landsat no contiene la misma escala y el tamaño de pixel que las ortofotos, los dominios de aplicabilidad son frecuentes para el análisis de uso de la tierra, tal como lo menciona Jelinski y Wu, 1996, donde dice que los efectos en la escala no necesariamente se deben considerar como un problema porque son utilizados para entender las características de un paisaje.

Asimismo, existen múltiples estudios que han realizado metodologías similares para conocer las dinámicas del paisaje y han obtenido resultados satisfactorios, como por ejemplo: Gardner, Milne, Turner y O'Neill, 1987; Amrhein 2000, y O'Neill, 1979.

También, es importante mencionar que pocos sistemas de sensores remotos son gratuitos y continuos, como por ejemplo; las fotografías aéreas dependen de la disponibilidad por país, y las imágenes satelitales de uso libre, rara vez tienen una resolución adecuada. Esto hace que se dependa de la información disponible y a bajo costo. Es por ello, que el presente estudio se basó en la disponibilidad de imágenes, considerando que con las correcciones manuales aplicadas por fotointerpretación, la corrección atmosférica y radiométrica a través de ENVI y ERDAS, se espera tener datos fiables para los fines de este estudio.

La estimación de la dirección, magnitud y distribución espacial de los cambios de cobertura del suelo de los periodos antes mencionados, se realizó por medio del software IDRISI Selva, módulo *Land Change Modeler* (LCM). Los resultados se expresaron en términos relativos y absolutos, según los cambios o la persistencia de superficie asociados a las transiciones observadas. Por último, las distribuciones espaciales de los cambios identificaron las zonas donde han sucedido cambios, o bien, donde se han mantenido los usos durante los períodos de análisis. Paralelamente se realizaron recorridos en campo, para la verificación de los usos actuales y la documentación de las razones de pérdida y ganancia de la cobertura del bosque manglar. Por último se realizó un taller comunitario para identificar los agentes de pérdida de cobertura del manglar desde su perspectiva.

Aunque en el presente estudio no se calculó la exactitud de la clasificación de la imagen RapidEye por medio del coeficiente de Kappa (κ) descrito por Congalton & Green (1999), los puntos de referencia terrestres fueron basados mediante la experiencia en campo en los trabajos por Ramírez (2016), Rodríguez (2017), MARN y PNUD (2017) siendo información muy valiosa para conocer los datos de actividad de la zona. Para un siguiente análisis, se recomienda aplicar el coeficiente de Kappa (κ), el cual ayudará a identificar el nivel de concordancia entre la clasificación de la capa resultante y la realidad en campo, mejorando la incertidumbre en cuanto a los datos de actividad.

Cálculo de emisiones

Según Hewson, Steininger y Pesmajoglou (2014), para realizar un inventario de gases de efecto invernadero, se necesita conocer los datos de actividad y el factor de emisión. Los datos de actividad representan la dinámica de cómo cambian o persisten las coberturas entre dos fechas y el factor de emisión se refiere a la diferencia entre las existencias de carbono en las coberturas identificadas con la cobertura de referencia. Para calcular el inventario de gases de efecto invernadero en el área de conservación Sipacate-Naranjo, se utilizó la directriz del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC] (2006). Según el nivel de complejidad conocidos como "niveles (tiers)" el inventario se realizó bajo un nivel tres, debido a que la información y datos provienen de métodos realizados en la presente investigación y no de información secundaria, lo que brinda un nivel de mayor exactitud y reducción de incertidumbre.

Los datos de actividad se presentan bajo un enfoque nivel tres, ya que la información de conversión de uso la tierra espacialmente explícita, fue obtenida mediante técnicas de mapeo con sensores remotos. El factor de emisión, aunque no se detalla en el presente artículo, pero fue determinado directamente en campo mediante el estudio realizado por Rodríguez (2017) en el área de conservación Sipacate-Naranjo. Rodríguez (2017), utilizó la metodología publicada por Kauffman et al. (2013), siguiendo el protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. Por último, el método utilizado para estimar las emisiones y absorciones de GEI fue por el método de ganancias y pérdidas, el cual permite estimar las emisiones identificando el área de cambio de un tipo de cobertura a otro y las diferencias en las reservas entre esos dos tipos por unidad de área (Hewson et al. 2014). Aunque los datos de carbono en el suelo reportados por Rodríguez (2017), produjeron estimados hasta los 2 m de profundidad, los datos utilizados en el inventario de emisiones se presentan hasta 1m de profundidad porque esta es la medida utilizada comúnmente para hacer comparaciones (Biodiversidad Marino Costera y Adaptación al Cambio Climático [BIOMARCC], 2012). Los valores de carbono se convirtieron a dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}) multiplicando por el factor 3.67.

Resultados y Discusión

Análisis con sensores remotos

Según el polígono de uso del suelo del año 2016, en el área de conservación Sipacate-Naranjo se observaron ocho usos del suelo, siendo estos; mangle, caña de azúcar, cuerpos de agua, pasto, suelo desnudo, salinera/camaronera, cultivos (agrupados; maíz, melón, ajonjolí, banano, limón, coco) y por último la categoría otros, donde se agrupo usos como; árboles dispersos, carreteras, poblados y vegetación de ribera.

El área de mangle durante el período de análisis 1990-2016 pasó de 1,867.45 ha en 1990 a las 2,078.28 ha al 2016 (Tabla 1). Es decir, el balance para mangle ha sido positivo puesto que existió una ganancia neta de 11.28% del área total del manglar con respecto a 1990. En el período 1990-2006, el tipo de cobertura como caña de azúcar, salinera/camaronera, cultivos y otros, tuvieron considerables ganancias. Sin embargo, el tipo de cobertura que tuvo mayor expansión fue la de cultivos (especialmente banano), con un incremento del 123.59% con respecto a 1990. Las coberturas que tuvieron considerables pérdidas fueron los pastos y suelo desnudo en un 19.97% y 37.82% respectivamente. Los cuerpos de agua presentan pérdidas de un 5.97%.

Tabla 1

Dinámica de la cobertura del suelo periodos 1990-2006 en el área de conservación Sipacate-Naranjo, Guatemala.

Cobertura	1990 ha	2006 ha	2016 ha	Cambio neto 90-06 (ha)	Cambio neto 06-16 (ha)
Mangle	1,867.45	2,031.40	2,078.28	163.95	46.88
Caña	4,154.06	4,571.85	4,284.07	417.78	-287.78
Cuerpos de agua (CA)	1,461.91	1,374.62	1,386.79	-87.3	12.17
Pasto	1,734.89	1,388.35	1,220.53	-346.54	-167.82
Suelo desnudo (SD)	1,233.68	767.13	795	-446.55	27.87
Salimero / Camaronera (SC)	634.85	854.49	779.12	219.64	-75.37
Cultivos	30.25	67.64	505.65	37.39	438.02
Otros	329.37	4111	417.03	81.63	6.03
Área de estudio	11,446.46	11,466.48	11,466.47		

En el período de 2006-2016 (Tabla 1) los cuerpos de agua, suelo desnudo y otros, tuvieron un leve incremento en cuanto a su área y los cultivos (banano principalmente por cambio de caña/banano) se incrementaron un poco más

de seis veces con respecto a 2006. Para este mismo período, las pérdidas representan un 6.29% en caña, 12.09% en los pastos y un 8.82% de las salineras/camaroneras. Entre 1990 y 2006 el área de mangle persistió en un 79.75% y entre 2006-2016 persistió el 87.94% (Figura 1). El resto lo representan transiciones de manglar a otras coberturas del suelo o viceversa. En el primer período, el 6.37% de las transiciones fueron pérdidas de manglar, mientras que el 13.89% fueron ganancias. Por otro lado, durante el segundo período, la pérdida del manglar fue de 4.96% y la ganancia fue de 7.10% del total de las transiciones. La tendencia indica que, para el segundo período, el manglar se ha mantenido estable, a pesar de las intervenciones antropogénicas que sufre la zona.

Los cambios en la cobertura de mangle se observaron espacialmente en los bordes externos donde el bosque limita con otros usos del suelo (Figura 1). En general, en los dos períodos analizados las mayores pérdidas se observaron en el sector cercano a Aldea El Naranjo y fincas privadas, situadas al este del área y al oeste. En menor proporción se ven parches de pérdidas en el sector central del área. Las ganancias durante el período de 1990-2006 fueron en dirección de norte y oeste. Entre 2006 y 2016 las mayores ganancias se observaron en dirección al oeste de la zona. En ambos periodos las áreas donde se detectaron ganancias, colindan con fincas privadas. En general, la dinámica de pérdidas y ganancias en los dos períodos fueron en los bordes externos del manglar.

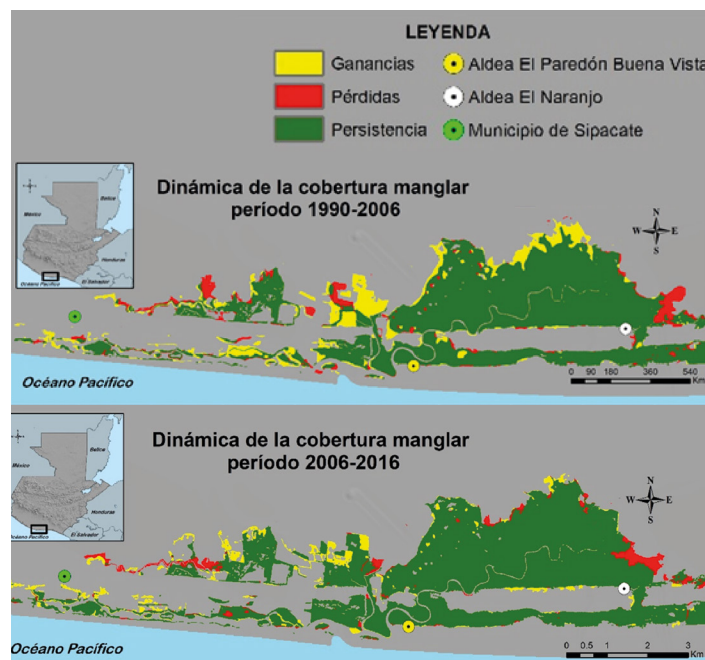


Figura 1. Dinámica de la cobertura del manglar entre 1990-2006 y 2006-2016 en el área de conservación Sipacate-Naranjo, Guatemala.

En general, en los dos períodos se detectaron procesos de pérdida y ganancia hacia otros usos de suelo (Tabla 2). Las transiciones que más aportan a la pérdida del manglar son la expansión de los pastos, salineras/camaroneras, suelo desnudo, cuerpos de agua y caña, y las que menos aportan son los cultivos y otros.

En los dos períodos se observa que la principal pérdida de la cobertura de mangle se da por la transición a pastos. Esta transición representa el 42.83% para el primer período y el 46.95% para el segundo período. La relación entre las pérdidas y ganancias, favorecen a la cobertura de mangle, debido a que el balance neto es positivo. En el primer período la ganancia neta fue de 163.95 ha y para el segundo período fue de 46.88 ha.

Tabla 2

Dinámica de la cobertura del mangle detallada periodos 1990-2006, 2006-2016 en el área de conservación Sipacate-Naranjo, Guatemala.

Ganancias 90-06				Ganancias 06-16			
Categoría		Hectáreas		Categoría		Hectáreas	
Pasto	a	Mangle	109.73	Mangle	a	Pasto	52.80
SD	a	Mangle	79.11	Mangle	a	SD	42.80
CA	a	Mangle	72.88	Mangle	a	CA	31.78
SC	a	Mangle	34.01	Mangle	a	Caña	16.15
Otros	a	Mangle	4.08	Mangle	a	Otros	9.92
Caña	a	Mangle	0.99	Mangle	a	SC	1.72
Cultivos	a	Mangle	0.28	Mangle	a	Cultivos	0.11
			301.08				155.32
Pérdidas 90-96				Pérdidas 06-2016			
Categoría		Hectáreas		Categoría		Hectáreas	
Mangle	a	Pasto	59.14	Mangle	a	Pasto	50.92
Mangle	a	SC	25.26	Mangle	a	SD	15.89
Mangle	a	SD	25.03	Mangle	a	CA	14.09
Mangle	a	CA	19.09	Mangle	a	Caña	13.65
Mangle	a	Otros	9.22	Mangle	a	Otros	5.18
Mangle	a	Caña	0.31	Mangle	a	SC	4.78
Mangle	a	Cultivos	0	Mangle	a	Cultivos	3.90
			138.05				108.44
Cambio neto		163.03	Cambio neto		46.88		

Nota: Salinera/Camaronera (SC), Suelo Desnudo (SD), Cuerpos de Agua (CA)

Cálculo de emisiones

La existencia de carbono en otros usos del suelo del área de conservación Sipacate-Naranjo, fueron tomadas del estudio realizado por Rodríguez (2017). La discrepancia

con los usos del suelo de la Tabla 1, es que en la Tabla 3 no se incluyeron los siguientes usos; cuerpos de agua, cultivos y otros, debido a que se priorizaron los usos que causan mayor impacto y el presupuesto asignado para la investigación. Los datos de carbono se utilizaron para conocer el factor de emisión de los usos del suelo en la zona de estudio, resaltando que el mangle es el que almacena más carbono.

Tabla 3

Existencias de carbono hasta un metro de profundidad para diferentes usos del suelo en el área de conservación Sipacate-Naranjo, Guatemala.

Cobertura	Total Ton C · ha ⁻¹
Mangle	242.36 ± 40.05
Salinera/camaronera	51.94 ± 12.26
Caña	78.09 ± 11.05
Pasto	106.33 ± 13.63
Suelo desnudo	65.38 ± 9.35

Entre los años 1990 y 2016 se observó que las áreas de manglar que pasaron a otros usos del suelo como pasto, salinera/camaronera, suelo desnudo, caña y cultivos, emitieron a la atmósfera un total de 110,932.76 Ton CO₂_{eq}. Sin embargo, la pérdida fue compensada por una remoción de carbono de 198,324.61 Ton CO₂_{eq}. La remoción neta fue de 87,391.85 Ton CO₂_{eq} (Tabla 4), producto de la recuperación del área de mangle para el mismo período. En general, al analizar los períodos de 1990-2006 y 2006-2016, en el primer período las remociones fueron mayores con respecto al segundo. Con estos datos se asume que para el segundo período la dinámica en el manglar ha sido estable.

Para concluir el estudio, a nivel general, el análisis espacio temporal indica que en el área de conservación Sipacate-Naranjo el balance de pérdidas y ganancias de la cobertura del mangle ha sido positivo, puesto que en el período 1990-2006 la ganancia neta fue de 163.95 ha (8.38%) y en el período 2006-2016 fue de 46.88 ha (2.31%). Es importante mencionar que, aunque el área de conservación Sipacate Naranjo, no es un área protegida legalmente, desde el año 2000 el CONAP administra la zona y ello puede tener una relación directa con las prác-

ticas de conservación y restauración que se realizan en el área en conjunto con instituciones ambientales, fincas y empresas privadas. Estas incluyen, reforestaciones, rehabilitación hídrica y limpieza de canales que ayudan a la recuperación del manglar.

Tabla 4

Balances de emisiones/remociones (Ton CO_{2e}) en la dinámica de cambio de uso del suelo a partir del manglar en los períodos de 1990-2006 y 2006-2016 en el área de conservación Sipacate-Naranjo, Guatemala.

Período 1990-2006			
Cobertura	Emisión	Remoción	Balance neto Ton CO _{2e}
Salinera/camaronera	-17,652.73	23,767.60	6,114.86
Caña	-186.89	596.84	409.95
Pasto	-29,524.47	54,780.52	25,256.05
Suelo desnudo	-16,257.40	51,383.26	35,125.86
	-63,621.49	130,528.22	66,906.72
Período 2006-2016			
Cobertura	Emisión	Remoción	Balance neto Ton CO _{2e}
Salinera/camaronera	-3,340.46	29,910.41	26,569.95
Caña	-8,229.19	1,036.94	-7,192.25
Pasto	-25,420.80	26,359.35	938.55
Suelo desnudo	-10,320.82	10,489.69	168.87
	-47,311.27	67,796.39	20,485.13
Total	-110,932.76	198,324.61	87,391.85

Para concluir el estudio, a nivel general, el análisis espacio temporal indica que en el área de conservación Sipacate-Naranjo el balance de pérdidas y ganancias de la cobertura del manglar ha sido positivo, puesto que en el período 1990-2006 la ganancia neta fue de 163.95 ha (8.38%) y en el período 2006-2016 fue de 46.88 ha (2.31%). Es importante mencionar que, aunque el área de conservación Sipacate Naranjo, no es un área protegida legalmente, desde el año 2000 el CONAP administra la zona y ello puede tener una relación directa con las prácticas de conservación y restauración que se realizan en el área en conjunto con instituciones ambientales, fincas y empresas privadas. Estas incluyen, reforestaciones, rehabilitación hídrica y limpieza de canales que ayudan a la recuperación del manglar.

En la zona se realizan patrullajes y se aplican sanciones por extracción de madera ilegal. También existen grupos e instituciones organizadas que se encargan de reforestar el

bosque de mangle. Sin embargo, el proceso subyacente de pérdidas para el primer período fue de 138.06 ha, con una tasa anual de 8.62 ha/año (0.46%). En el segundo período se estimó una pérdida de 108.43 ha, con una tasa anual de 10.84 ha/año (0.53%). Las tasas de pérdida en los dos períodos, fue menor que la tasa de deforestación bruta de Guatemala para el período 2006-2010 que fue de 132,137 hectáreas anuales o un 1% de pérdida anual con respecto al área del 2006 (Instituto Nacional de Bosques [INAB], Consejo Nacional de Áreas Protegidas [CONAP], Universidad del Valle de Guatemala [UVG] y Universidad Rafael Landívar [URL], 2012). Se observó que la mayor pérdida de la cobertura del manglar en los períodos analizados se localizó en el sector este y oeste del área; mientras que las menores pérdidas se observaron en el sector centro.

A pesar, que en ambos pedidos se tuvieron pérdidas en la cobertura de mangle, Rodríguez (2017) menciona que el análisis por clase diamétrica en el área de conservación Sipacate-Naranjo, presenta una curva de distribución de J invertida, con presencia de muchos individuos en las clases diamétricas pequeñas y pocos en las clases más grandes, esto indica que el manglar no está siendo intervenido de una forma significativa, en términos de extracción de leña, por lo que no existen efectos severos sobre la regeneración.

Según Carr (2008), la deforestación en Guatemala tiene tres factores principales: expansión agrícola, extracción de madera y leña, y desarrollo de infraestructura. En el caso específico del área de conservación Sipacate-Naranjo, las principales transiciones de pérdidas en el manglar se deben al establecimiento de pastos, salinera/camaronera, suelo desnudo, cuerpos de agua y en menor proporción a caña, cultivos y la categoría otros. Esta información fue validada según la percepción de los 21 participantes en el taller, debido a que las principales amenazas para el manglar según los comunitarios, se debe a la extracción de madera para construcción de ranchos, el cambio de uso de suelo para el establecimiento de cultivos, piscícolas, camaroneras y parcelas para crianza de ganado.

También existen factores naturales de cambio que se considera que afectan el desarrollo del manglar, tal como lo menciona Lugo (1978) con respecto al balance entre agua dulce y salada que debe mantener, ya que al existir un desbalance, estos cambios pueden representar pérdidas de cobertura del manglar, ya que son sistemas abiertos,

continuamente son remodelados por acciones de su medio como el ingreso de agua dulce, la acción del oleaje y la marea (Tejedor, Gómez-Pina, Muñoz-Pérez y Roque, 2008).

A pesar de que el balance de emisiones asociado a los cambios de uso del suelo en el área de conservación Sipacate-Naranjo es positivo (87,391.85 Ton CO₂_{eq}), los cambios no dejan de ser importantes para el balance de emisiones a nivel nacional. La razón es que el bosque manglar, aunque ocupe el 0.63% de los bosques de Guatemala, almacena dos veces más carbono que los bosques de latifoliadas y coníferas, tal como menciona Rodríguez (2017). Por lo tanto, la conversión de mangle a otros usos del suelo puede ocasionar que se emitan cantidades significativas de CO₂_{eq} por hectárea en comparación con los bosques terrestres de Guatemala. Tal como lo menciona MARN (2015), en la "Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático", donde menciona que el sector Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura -UTCUTS-, representa el 27% de las emisiones totales del país debido al incremento desordenado y no planificado de áreas agrícolas, ganaderas, construcción, etc.

Implicaciones para el manejo

La inclusión de esta información en la medición de la dinámica del carbono de Guatemala, tendrá implicaciones nacionales que le darán valor al recurso y pondrá en perspectiva el área Sipacate-Naranjo de temas importantes de mitigación y adaptación sobre el cambio climático. Además, puede dar lugar a una planificación regional para la conservación y restauración del ecosistema basado en la evidencia de los resultados de este estudio, al mismo tiempo que sirve de apoyo al plan de manejo del Área de Conservación Sipacate-Naranjo, la gestión del área protegida y el ordenamiento del uso de la tierra. El área de estudio representa el 10% de los manglares del Pacífico de Guatemala, lo que corresponde a una cantidad importante para la contabilidad nacional de carbono. Sus pérdidas actuales por el cambio de uso de suelo no son tan acentuadas, pero su ritmo de deforestación anual (0.49%) tendrá impactos negativos sobre la biodiversidad y los medios de vida que dependen del ecosistema.

Finalmente, los resultados derivados de este trabajo, sirvan de base para apoyar los procesos de inventario na-

cional forestal (INF) y los sistemas de medición, reporte y verificación (MRV) de REDD+ pero, sobre todo, que puedan ser utilizados para fortalecer la gestión sostenible de los manglares en beneficio de las comunidades rurales marino-costeras, ya que estos ecosistemas representan un papel de gran interés para estrategias mundiales de adaptación y mitigación del cambio climático como REDD+ y las NAMAs. Su buen manejo tiene el potencial de contribuir significativamente a mantener las reservas de carbono a través de los incentivos de programas de créditos de carbono si los mercados llegan a funcionar como se espera, al mismo tiempo que se preservan otros servicios ecosistémicos del mangle que benefician a las comunidades locales.

Agradecimientos

Se agradece al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza -CATIE- por el apoyo financiero/técnico brindado para ejecutar la investigación, como parte de la tesis de maestría del estudiante Carlos Rodríguez. Además, al Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático -ICC- porque en coordinación entre ambas instituciones se llevó a cabo el estudio. Su apoyo consistió en la logística y aporte financiero para la actividad de campo durante el estudio, también por enriquecer el artículo con información generada en diversos proyectos ejecutados y compartir la información geoespacial de la zona de estudio.

Literatura citada

- Alongi, DM. 2002. Present state and future of the world's mangrove forests *Environmental conservation* 29(03):331-349.
- Alongi, DM. 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests *Annual review of marine science* 6:195-219.
- Ammour, T. 1999. Manejo productivo de manglares en América Central. CATIE.
- Amrhein C.G. 1995. Searching for the elusive aggregation effect: evidence from statistical simulations. *Environment and Planning A* 27: 105–119.
- BIOMARCC-SINAC-GIZ. 2012. Evaluación de carbono en el Humedal Nacional Terraba-Sierpe. San José, Costa Rica. 34 p.
- Carr, D.L. 2008. Farm households and land use in a core conservation zone of the Mayan Biosphere Reserve, Guatemala. *Human Ecology* 36(2): 231-248.
- CATHALAC. 2012. Cobertura actual de mangle en Guatemala, a través de técnicas de percepción remota. Panamá.
- Cifuentes, J.M.; Rivera, C.G.; Magaña, J.; Velásquez Mazariegos, S.; Torres Gómez, D. 2018. Dinámica de la cobertura del suelo y las existencias de carbono en los manglares de El Salvador. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 160 p. (Serie técnica. Informe técnico, no.# 411).
- CONAP y MARN. 2009. Biodiversidad Marina de Guatemala: Análisis de Vacíos y Estrategias para su Conservación. Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, The Nature Conservancy. Guatemala. 152 p.
- Congalton GR, Green K. 1999. *Assessing the Accuracy of Remote Sensed Data: Principles and Practices*. Lewis, Florida, 137 pp.
- Duke, NC; Meynecke, J-O; Dittmann, S; Ellison, AM; Anger, K; Berger, U; Cannicci, S; Diele, K; Ewel, KC; Field, CD. 2007. A world without mangroves? *Science* 317(5834):41-42.
- Gardner R.H., Milne B.T., Turner M.G. and O'Neill R.V. 1987. Neutral models for the analysis of broad-scale landscape pattern. *Landscape Ecology* 1: 19–28.
- Herold, M., R. M. Román-Cuesta, D. Mollicone, Y. Hirata, P. V. Laake, G. P. Asner, C. Souza, M. Skutsch, V. Avitabile, and K. MacDicken. 2011. Options for monitoring and estimating historical carbon emissions from forest degradation in the context of REDD+. *Carbon Balance Manage*
- Hewson, J., M.K. Steininger y S. Pesmajoglou, eds. 2014. *Manual de Medición, Reporte y Verificación (MRV) de REDD+ Versión 2.0*. Programa de Carbono Forestal, Mercados y Comunidades financiado por USAID. Washington, DC, Estados Unidos.
- Howard, J; Hoyt, S; Isensee, K; Telszewski, M; Pidgeon, E. 2014. Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and sea grasses.
- IARNA, URL (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar). 2012. Análisis sistémico de la deforestación en Guatemala y propuesta de políticas para revertirla. Guatemala. 48 p.
- ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático), GT. 2015. Informe técnico: Análisis de vulnerabilidad climática en aldea El Paredón Buena Vista, La Gomera, Escuintla. Guatemala, Guatemala. 63 p.

- INAB, CONAP, UVG, URL (Instituto Nacional de Bosques; Consejo Nacional de Áreas Protegidas; Universidad del Valle de Guatemala; Universidad Rafael Landívar). 2012. GT. Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2010 y dinámica de la cobertura forestal 2006-2010. Guatemala, Guatemala. 114 p.
- Jelinski, D. E., & Wu, J. (1996). The modifiable areal unit problem and implications for landscape ecology. *Landscape ecology*, 11(3), 129-140.
- Kauffman, JB; Donato, DC; Adame, MF. 2013. Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. CIFOR.
- Lugo, A. (1978). *Stress and ecosystems*. Tennessee: Symposium series.
- Mainardi, V. 1996. El manglar de Térraba Sierpe en Costa Rica. CATIE.
- MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales), GT. 2013. Informe técnico: Estudio de la cobertura de mangle en la República de Guatemala. Guatemala. 54 p.
- MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales), GT. 2015. Segunda comunicación nacional sobre Cambio Climático, Guatemala. Guatemala. 250 p.
- MARN y PNUD (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), GT. 2017. Estudio Técnico del Área de Conservación Sipacate-Naranjo. Proyecto Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad en Áreas Marino Costeras (APMs). (MARN-CONAP/PNUD-GEF) – Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, Guatemala.
- McLeod, E; Salm, RV. 2006. *Managing mangroves for resilience to climate change*. World Conservation Union (IUCN) Gland, Switzerland. 64pp.
- Mejía Quiñones, LM; Molina Jiménez, MP; Sanjuan Muñoz, A; Grijalba Bendeck, M; Niño Martínez, LM. 2014. Bosque de manglar, un ecosistema que debemos cuidar:1, 27 pp.
- Murray, BC; Watt, CE; Cooley, DM; Pendleton, LH. 2012. Coastal Blue Carbon and the United Nations Framework Convention on Climate Change Policy Brief from the Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions:
- Niño Martínez, LM. 2014. Bosque de manglar, un ecosistema que debemos cuidar:1, 27.
- O'Neill R.V. 1979. Transmutations across hierarchical levels. In: Innis G.S. and O'Neill R.V. eds, *Systems Analysis of Ecosystems*. pp. 59-78. International Co-operative, Fairland, Maryland, USA.
- Pizarro, F; Piedra, L; Bravo, J; Asch, J; Asch, C. 2004. *Manual de Procedimientos para el Manejo de los Manglares de Costa Rica Heredia, CR*. EFUNA:
- Ramírez, M. 2016. Análisis de cobertura y flora asociada al ecosistema manglar en Sipacate-Naranjo, departamento de Escuintla, Guatemala, C.A. Tesis Lic. Guatemala, Universidad San Carlos de Guatemala. 184 p.
- Rodríguez, C. 2017. Existencias de carbono azul y la dinámica histórica de la cobertura del bosque manglar en el área conservación Sipacate Naranjo, Guatemala, Centroamérica. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 71 P.
- Tejedor, B., Gomez-Pina, G., Muñoz-Pérez, J., & Roque, D. (2008). Influencia del oleaje en las condiciones de cierre de la desembocadura del río Guadiaro. Cádiz: IX Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos.