

Variabilidad espacial y análisis multitemporal sobre los cambios en las coberturas de la tierra ocasionados por la expansión del cultivo de la palma de aceite en los años 1985, 2000 y 2016 en el municipio de San Carlos de Guaroa (Colombia)

Spatial variability and multi-temporal analysis of land cover changes generated by the expansion of oil palm crops in 1985, 2000 and 2016 in the municipality of San Carlos de Guaroa (Colombia)

Juan-Carlos Rojas¹, Carmenza Castiblanco-Rozo^{1, 2}

RESUMEN

El cultivo de palma de aceite ha transformado el ambiente debido a la demanda global de materias primas para biocombustibles, la política doméstica de sustitución de importaciones y el modelo de desarrollo agro-industrial. En este artículo se presentan los principales resultados de un ejercicio de análisis espacial multitemporal desarrollado para el municipio de San Carlos de Guaroa (departamento del Meta, Colombia) con el propósito de identificar y analizar las transiciones de uso del suelo durante los años 1985, 2000 y 2016. Se identificaron patrones de cambio en tres coberturas de suelo definidas: bosques de galería, cultivo de palma de aceite y áreas de uso agropecuario. Entre 1985-2016 el 19,38% de los bosques de galería desapareció (1.845,45 hectáreas), con una tasa anual de reducción estimada media de 3,22% (59,53 hectáreas) y en su mayoría fueron reemplazados por cultivos de palma de aceite. La expansión del cultivo de palma de aceite en este periodo fue estimada en un promedio de 1.312,56 hectáreas por año.

PALABRAS CLAVE: cambio de uso del suelo; teledetección; cultivos de oleaginosas; Llanos Orientales colombianos.

ABSTRACT

Oil palm crops have transformed the environment due to the global demand for raw materials to produce bio-fuels, the domestic policies of import substitution and the agro-industrial development model. This article presents the main results of a multi-temporal and spatial analysis in the municipality of San Carlos de Guaroa (Meta Province, Colombia) with the aim of identifying and analyzing land use transitions for the years 1985, 2000 and 2016. The change patterns were estimated for three specific land covers: gallery forests, oil palm crops, and agricultural areas. Between 1985 and 2016, 19,38% of the gallery forests disappeared (1.845,45 hectares) with an average annual reduction rate of 3,22% (59,53 hectares). These forests were replaced mainly by oil palm crops. The expansion of this crop in the analyzed period of time was in average 1.312,56 hectares per year.

KEYWORDS: land use change; remote sensing; oilseeds crops; Colombian *Llanos Orientales*.

1 Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. ORCID Rojas J.C.: 0000-0003-0107-3589; ORCID Castiblanco-Rozo, C.: 0000-0002-6290-609X

2 Autor de correspondencia: ccastiblanco@unal.edu.co

Recepción: 29 de noviembre de 2017. Aceptación: 01 de junio de 2018

Introducción

En las últimas décadas se ha intensificado la expansión del cultivo de palma de aceite para satisfacer las exportaciones de materia prima para fabricar alimentos procesados, cosméticos, detergentes y lubricantes (Furumo y Aide, 2017), así como para la obtención de biodiesel, debido a que los biocombustibles son considerados una alternativa viable en términos ambientales, sociales y económicos para superar la crisis energética global (Gallagher, 2008; Azad et al., 2015). Los biocombustibles son promovidos como solución a la problemática del cambio climático, a la dependencia del petróleo y a la crisis económica de países empobrecidos, argumentando que la agroindustria de palma de aceite (utilizada como materia prima) es generadora de empleo, riqueza y desarrollo (Carrizo et al., 2011). Los países que mayor importan aceite de palma son la India, la Unión Europea y China, los cuales incorporaron 29,5 millones de toneladas para 2015 (GreenPalm, 2016). Sin embargo, dentro de la matriz energética utilizada a nivel mundial, la contribución de los biocombustibles sólo fue del 0,8% para el 2014 (REN21, 2016).

Para el año 2015 se estimaba un área de 17 millones de hectáreas produciendo 62 millones de toneladas de palma de aceite a nivel mundial y se espera que esta cifra incremente a 66 millones de toneladas en el 2018. Los cinco principales países productores son: Indonesia, Malasia, Tailandia, Colombia y Nigeria. La expansión del cultivo en Indonesia y Malasia se incrementó de manera vertiginosa durante los últimos ocho años, lo que les permitió convertirse en el soporte del mercado de aceite de palma, participando con el 84% de la producción mundial en 2015 (GreenPalm, 2016). La elevada rentabilidad de la palma de aceite en estos países se debe a la sumatoria de varios factores: disponibilidad de financiamiento, importantes subsidios y apoyos por parte del Estado, dinámicas de informalidad y bajos precios de la tierra, disponibilidad de fuerza de trabajo mal remunerada, elevados rendimientos por hectárea y óptimas condiciones edafoclimáticas para el desarrollo del cultivo (Achten y Verchot, 2011, Castiblanco et al., 2015; Dürr, 2016).

Los impactos ambientales generados por la intensificación y expansión del cultivo de palma de aceite

se relacionan directamente con conflictos por el uso y la tenencia del suelo, aumento en la presión sobre los cuerpos de agua, expansión al interior de áreas de ecosistemas e incrementos en la emisión de gases de efecto invernadero (Searchinger et al., 2008; Wilcoxe y Koh, 2010; Gasparatos et al., 2011, Srinivas y Koh, 2016). Se estima que Malasia e Indonesia entre 2000 y 2010 perdieron aproximadamente 11 millones de hectáreas de ecosistemas naturales a causa del establecimiento de grandes plantaciones con palma de aceite (Miettinen et al., 2011). Particular atención reviste la problemática de la deforestación de bosques nativos en estos países ocasionada por la expansión del cultivo, dado que entre 2002 y 2008 aproximadamente 2 millones de hectáreas de bosques (incluidas áreas de protección y conservación) fueron convertidas ilegalmente en plantaciones de palma de aceite en Indonesia (Koh y Ghazoul, 2010; Austin et al., 2017).

La palma de aceite en Colombia ha tenido una expansión importante en las últimas décadas, producto de la consolidación de la política agraria que promueve este cultivo y lo considera motor de desarrollo y crecimiento económico para el país, lo cual le ha permitido posicionarse en el cuarto lugar a nivel mundial y el primero en Latinoamérica con alrededor de 512.076 ha en 2016 (Fedepalma, 2017). Dentro de esta política cabe resaltar los cronogramas y mandatos obligatorios de mezclas de biodiesel en el diésel, las políticas de diversificación de la matriz energética, los subsidios para plantaciones ya establecidas o en desarrollo, los programas de fomento e impulso del cultivo reglamentados en los últimos cuatro Planes Nacionales de Desarrollo, entre otros aspectos (Cuellar, 2010; Rocha, 2013; DNP, 2006, 2010 y 2014).

En el año 2013, el sector palmero recibió el 10% del total del financiamiento del sector agropecuario (\$1,2 billones de pesos colombianos). Este apoyo estaba distribuido en diferentes instrumentos para el desarrollo del sector, como: gestión del riesgo agropecuario, promoción a la inversión rural (incluye el Incentivo a la Capitalización Rural -ICR, líneas especiales de crédito y Certificado del Incentivo Forestal - CIF); y fortalecimiento productivo y social. Desde esta última línea se brindaron apoyos importantes al fortalecimiento de las Alianzas Productivas,

se construyeron distritos de riego y se brindó asistencia técnica. En el año 2013 se estableció el ICR fitosanitario con el fin de dar solución al problema de la enfermedad de la pudrición de cogollo (PC) que en esta época afectó a más de 70.000 hectáreas de cultivo de palma. Este Plan para el manejo de plagas costó \$210.000 millones de pesos que fueron ejecutados a lo largo de los últimos 5 años (FINAGRO, 2013).

Para el 2016 se estableció que en Colombia hay plantaciones de palma aceitera en 125 municipios pertenecientes a 25 departamentos de los 32 que tiene el país, agrupados en cuatro zonas geográficas o núcleos productivos palmeros: norte (26,6%), oriental (43,5%), suroccidental (2,2%) y central (27,8%) (Fedepalma, 2017). Cada núcleo cuenta con características agroecológicas, edafoclimáticas y socioculturales diferentes que inciden en el rendimiento, los costos de producción y la rentabilidad del cultivo.

La zona oriental está conformada por Casanare, Arauca, Vichada, Cundinamarca y Meta. Entre 2014 y 2015 este núcleo productivo junto con el suroccidental crecieron un 28% en producción (NES Naturaleza, 2016). En el 2016, la producción de aceite de palma en esta región se mantuvo como la mayor a nivel nacional, con ventas de 481.067 toneladas (t), de las cuales el 77% se dirigió al mercado local, principalmente a Bogotá (362.012 t), y 23% para el mercado externo. En lo referente a segmentos de mercado del aceite de palma, en el 2014, de las 862.682 t vendidas al mercado local, el 55% (470.934 t) se destinó al mercado de biodiesel, y en el 2016 el segmento destinado al biodiesel bajó a 39,7%, equivalente a 458.756 t (Fedepalma, 2015; 2017).

En el departamento del Meta se han venido ejecutando grandes proyectos de producción de palma de aceite para biodiesel desde 2009. Entre ellos se puede nombrar el caso de Aceites Manuelita, empresa que proyectó establecer 21 mil ha en San Carlos de Guaroa para producir 100 mil toneladas de aceite de palma y generar 4.000 empleos. Por su parte, Biocastilla se propone sembrar 7.700 ha de palma en el municipio de Castilla La Nueva, procesar 35 mil toneladas de aceite y generar 2.200 empleos directos (Viloria, 2009). Aunque el cultivo lleva más de 30 años en la región, recientemente

se ha generado preocupación por sus implicaciones ambientales en la reducción de diversidad, cambios en el paisaje, pérdida de los remanentes naturales y fuentes de agua para la fauna silvestre (principalmente aves), aumento de la cacería y desplazamiento del cultivo de arroz como se señala en El Espectador (2014). Este mismo reporte destaca que el panorama es desolador para el medio ambiente por el crecimiento del monocultivo a una tasa anual del 10% en la zona, impulsado mediante políticas de fomento y subsidios para la producción (Romero et al., 2012; Castiblanco et al., 2013), dado que el aceite crudo de palma (ACP) es la principal materia prima utilizada en Colombia para la fabricación de biodiesel (biocombustible de primera generación).

Por otro lado, el departamento del Meta agrupa la mayor cantidad de plantas de beneficio y municipios palmeros del núcleo palmero oriental colombiano (Fedepalma, 2015). Este territorio es rico en paisajes y ecosistemas debido a su localización geográfica estratégica entre las estribaciones de la cordillera oriental, la Amazonia y las sabanas orinocenses (Romero et al., 2004). En su interior alberga numerosos cuerpos de agua y especies de peces, aves, reptiles, mamíferos, plantas e insectos. Adicionalmente, dado el proceso histórico de colonización, poblamiento y reconversión territorial, su estructura poblacional se compone de comunidades indígenas, llaneros criollos, población afrodescendiente y “nuevos llaneros” (última ola migratoria de inversionistas en los sectores del turismo, minero-energético y agroindustrial). En síntesis, es un territorio megadiverso y multicultural (Romero y Romero, 1989; Pérez, 1998; DANE, 2007; Universidad Nacional de Colombia, 2013; Fajardo, 2014).

En la actualidad, el municipio de San Carlos de Guaroa cuenta con la mayor área sembrada de palma en este departamento y representa un lugar propicio para entender la expansión de esta agroindustria. El objetivo del presente artículo se centra en realizar un análisis espacial multitemporal de la expansión del cultivo de palma de aceite en San Carlos de Guaroa durante los periodos 1985, 2000 y 2016, como una respuesta al incentivo político desde el gobierno central, las condiciones ecosistémicas propicias para el cultivo de palma y el establecimiento de grupos sociales fuertes económicamente.

Metodología

Área de estudio

El municipio de San Carlos de Guaroa está ubicado en el piedemonte llanero del departamento del Meta (Figura 1). Geográficamente, el municipio de San Carlos de Guaroa está en el centro occidental del departamento del Meta, ubicado a 361 msnm. Su clima se caracteriza por tener épocas de verano en los meses de diciembre a marzo, e invierno en los meses de abril a junio y de septiembre a octubre. La clasificación del clima según Köppen-Geiger es Monzón (Am). Su régimen pluvial va desde 17,2 mm en verano a 384,5 mm en invierno. La temperatura es directamente proporcional a sus periodos de precipitación, lo que se ve reflejado en una temperatura promedio de 26.63°C en los meses más calientes y 18.13°C en invierno. Su relieve está compuesto principalmente por planicies aluviales de los ríos Guamal, Metica, Acacias y Guayuriba, en cuya terminación se observan terrazas medias y bajas. El 85% del territorio es tributario al río Metica y el otro 15% es resultado de las aguas que son vertidas

al río Pajuaire. En sus planicies aluviales se generan las vegas en los ríos, las cuales dan paso a una capa vegetal y mineral propicia para el desarrollo agrícola. Por otra parte, los terrenos bajos son susceptibles a inundaciones en periodos de lluvias y constituyen franjas de amortiguación durante situaciones de avalancha en los cuerpos de agua. La red hidrográfica del municipio está compuesta por ríos y caños que lo bañan y forman cuatro zonas hidrográficas (Gobernación del Meta, s.f.).

La vocación agropecuaria del municipio puede verse en algunas cifras como el tercer Censo Nacional Agropecuario del 2014 (DANE, 2016) ya que el área rural total son 79.904 ha, de las cuales el 82,29% (65.752 ha) corresponden a actividades agropecuarias y el 15,35% (12.268 ha) son bosques naturales.

Dentro del área agropecuaria del municipio, el 63,55% (41.788 ha) se destina para uso agrícola, mientras que el 32,01% (21.047 ha) está ocupado por pastos y el 3,34% (2.216 ha) por rastrojos. El 93,02% (38.875 ha) del área agrícola está cultivada, el 6,52% (2.725 ha) está en barbecho y el resto en



Figura 1. Ubicación del municipio de San Carlos de Guaroa, Colombia.
Fuente: elaboración propia a partir de información cartográfica del IGAC.

descanso. Del área agrícola cultivada, aproximadamente el 78,70% corresponde al cultivo de palma de aceite.

Análisis espacial multitemporal

Se emplearon imágenes Landsat provenientes del servidor del Earth Resources Observation and Science Center (EROS) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) a través del visualizador Glovis (<http://glovis.usgs.gov/>) de los satélites Landsat 5, 7 y 8 con resolución espacial de 30 m, para los años 1985, 2000 y 2016.

Se unificaron algunas coberturas según la metodología de clasificación Corine Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010) y se redefinieron en tres categorías para fines del presente estudio: bosques de galería y riparios¹, cultivo de palma aceite, y áreas de uso agropecuario (potreros, rastrojos, sabanas naturales, cultivos, suelos erosionados por mecanización). Para mejorar la clasificación de las coberturas presentes en el área de estudio se implementó la aplicación Modelbuilder de ArcGis 10.3.

Para el uso de la herramienta de clasificación de máxima verosimilitud se asignó un valor de rechazo de 0,1 a aquellas celdas con la menor posibilidad de asignación correcta, además se consideró que todas las clases tienen la misma probabilidad a priori (Otakei y Blaschke, 2010; Adesuyi, 2016). Una vez realizado un correcto ajuste de las clases espectrales, el procedimiento de identificación es automático. Se verificaron visualmente las coberturas para acordar la realización de diferentes ajustes a las firmas espectrales o al procedimiento de clasificación. Por último, se determinaron las transformaciones de las tres categorías definidas y se caracterizó el comportamiento de la expansión del cultivo en el municipio.

¹ Los bosques riparios hacen referencia a vegetación típica de las riberas de ríos y arroyos que da lugar a formaciones lineales de interés paisajístico y climático. Constituyen el ecosistema que se encuentra inmediatamente a ambos lados de quebradas y ríos, incluyendo los bancos aluviales y humedales, y terrazas de inundación, las cuales interactúan con el río en tiempos de crecidas o inundaciones. Esta vegetación depende de un suministro de agua en el suelo, la cual es proveída por un río adyacente, ecosistemas adyacentes a drenajes y canales que desembocan en quebradas ríos o humedales (Torres, 2005).

Se utilizó información secundaria para verificar e incluir datos en la aplicación ModelBuilder, provenientes de imágenes y mapas georeferenciados de localización del Sistema de Información Estadística del Sector Palmero – SISPA (2016) y del Anuario Estadístico de Fedepalma (2015). También se hizo uso de mapas de referencia de la Infraestructura de Datos Espaciales del Distrito Capital (IDECA, 2015), resguardos indígenas y cuerpos de agua del Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial (SIGOT, 2015), áreas protegidas del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Minambiente, 2005) y Parque Nacionales Naturales (PNN, 2012).

Adicionalmente, se realizaron entrevistas dirigidas a productores de palma que hubieran vivido más de 40 años en el municipio.

Resultados

A partir del análisis espacial multitemporal se lograron establecer las dinámicas de expansión y cambios de cobertura correspondientes a las tres categorías escogidas: bosques de galería y riparios, cultivo de palma de aceite (en producción y establecimiento) y áreas de uso agropecuario (potreros, rastrojos, sabanas naturales, cultivos y suelos erosionados por mecanización) durante el periodo comprendido entre 1985 y 2016.

En primera medida, se confirma que el ingreso de la agroindustria palmera se localizó en el norte del municipio (Figura 2), donde se instaló la primera plantación de las empresas Manavire y Aceites Manuelita y sus plantas extractoras (reportado por las entrevistas). En 1985 había 698,98 ha sembradas de palma africana en San Carlos de Guaroa, que representaban el 0,93% de la extensión superficial del municipio. El 86,26% (64.174,38 ha) correspondía a la categoría de suelos en uso agropecuario y el 12,79% (9.517,67 ha) a bosques de galería (Tabla 1).

Entre 1985 y 2000 el área cultivada con palma africana aumentó a 16.062,83 ha establecidas, lo que significó una reducción del 39,04% del área de uso agropecuario. La infraestructura y el manejo de suelos de las fincas arroceras adecuaron las condiciones edáficas para el establecimiento de grandes plantaciones de palma (reportado por las entrevistas). El

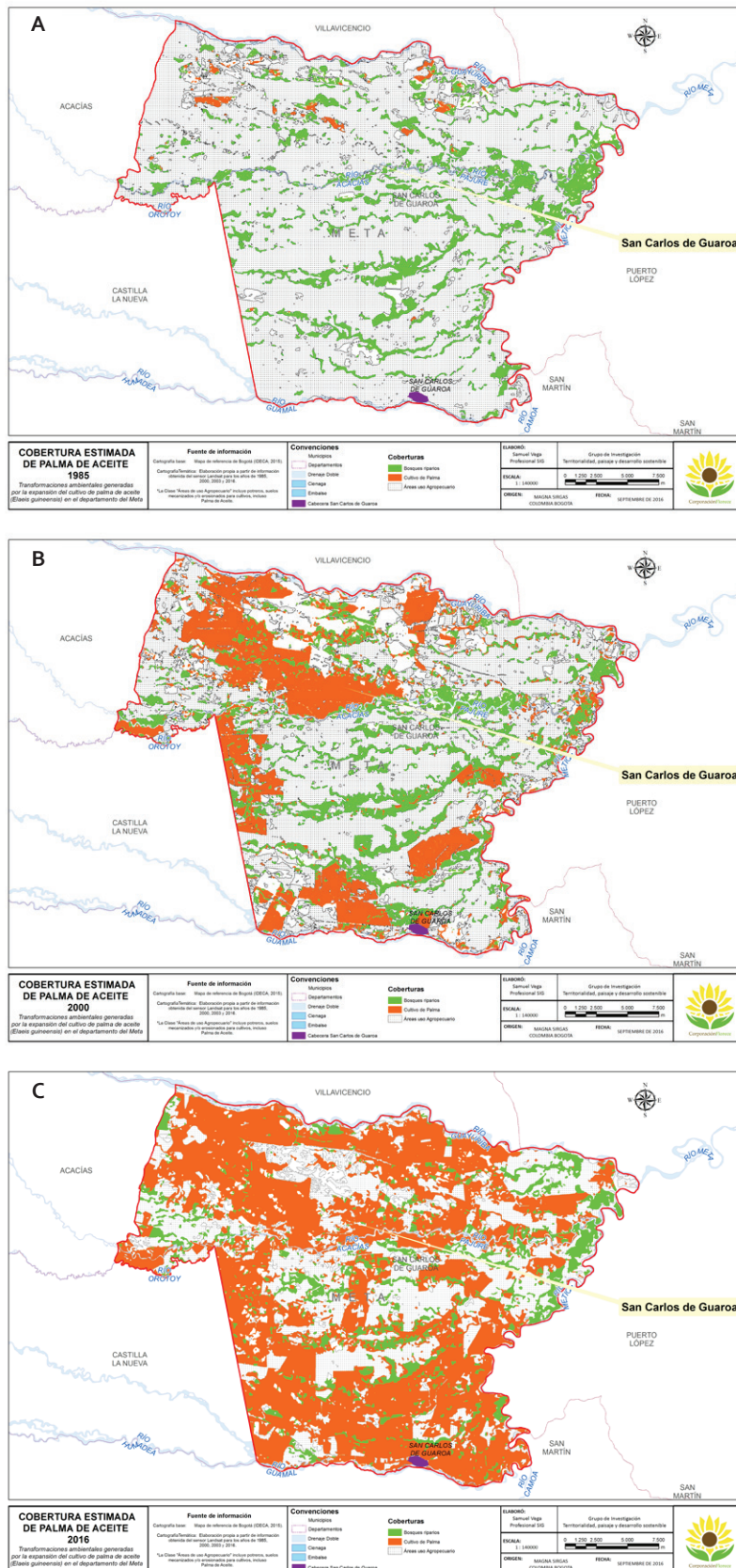


Figura 2. Expansión del cultivo de palma africana en San Carlos de Guaroa (1986-2016). A. 1985. B. 2000. C. 2016. Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Áreas de las coberturas de San Carlos de Guaroa entre 1985 y 2016

Año	Áreas de uso agrícola (ha)	Cultivo de palma (ha)	Bosque de galería
1985	64.174,38	698,98	9.517,69
2000	39.117,25	16.761,81	8.922
2016	25.383,29	41.388,04	7.672,24

Fuente: elaboración propia.

auge del momento es referenciado por Ospina y Ochoa (1998) al señalar que Aceites Manuelita S.A plantó 1.000 ha entre 1988 y 1989 y 1.500 ha entre 1991 y 1995.

La dinámica expansiva del cultivo de palma continuó entre 2000 y 2016. Para octubre de 2016 se registran aproximadamente 41.388 ha sembradas en el municipio; en otras palabras, se aumentó un total de 24.626 ha sembradas con respecto al año 2000. En este periodo la reducción del área de uso agropecuario fue de 35,10%.

Durante el periodo analizado (1985-2016), el 19,38% de los bosques de galería desapareció, con una tasa anual de reducción promedio estimada de 3,22%, es decir, aproximadamente 59,6 ha de bosques riparios fueron transformados en su mayoría por cultivos de palma. La expansión inicialmente se desarrolló en el noroccidente del municipio, cerca de la capital del departamento y del centro del país. Actualmente, existe palma en todo el municipio.

Discusión

El proceso expansivo de la palma de aceite en San Carlos de Guaroa guarda estrecha relación con la realidad política e histórica del país. Por ejemplo, en la apertura económica de los noventas, este proceso implicó una disminución de las áreas de suelo destinadas para la producción de cultivos transitorios, arroz en este caso, e incrementó vertiginosamente la producción de cultivos de tardío rendimiento, como la palma africana. Posteriormente, la consolidación de la estructura normativa y el impulso del sector palmero por parte del gobierno nacional desde el 2002 tuvieron notables repercusiones en la transformación ambiental del municipio, puesto que se duplicó el área sembrada con palma africana. Lo anterior conllevó la pérdida importante de áreas dedicadas a la producción de arroz y a la ganadería extensiva que eran las actividades que sustentaban

la economía antes de 1985. Entre el 2000 y 2016 el cultivo de arroz seco mecanizado pasó de 7.204 ha en el 2000 a 361 ha en el 2015 y en el 2016 se dio una leve recuperación del área cultivada alcanzando aproximadamente 2.100 ha.

En términos de vocación del suelo, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) informa que San Carlos de Guaroa es un municipio con áreas para la producción agrícola (98%), distribuidos en cultivos transitorios semi-intensivos y permanentes, seguida de una vocación de conservación de recursos hídricos e hidrobiológicos (2%) (MADR, 2013). Lo anterior se argumenta por las características topográficas y las propiedades de sus suelos (piedemonte). De igual manera que en la Orinoquia y el resto del país, este municipio presenta conflictos por uso del suelo desde la perspectiva de vocación, puesto que la ganadería extensiva ocupa áreas que deberían estar dedicadas a la agricultura. En otros términos, el 52% del área del municipio presenta conflicto por subutilización, con predominio de la subutilización ligera ocasionada por uso de pastos para la ganadería en zonas con vocación agrícola (IGAC et al., 2012).

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR, 2013) reportaba que el 41,51% del área del municipio estaba cubierto por pastos, en donde predominaban los pastos limpios. Le seguían las áreas dedicadas a la producción agrícola con cerca del 40%, destacándose la categoría de cultivos permanentes arbóreos. El 8,85% estaba conformado por bosques, ubicados en las llanuras aluviales de los caños y quebradas afluentes tributarios del río Metica. Para el 2016, la presente investigación encontró que la distribución porcentual de las coberturas del municipio es: 34,09% con áreas de uso agropecuario (incluye pasturas, cultivos transitorios y barbechos), 55,60% con palma de aceite y 10,31% con bosques naturales, riparios y de galería junto con cuerpos de agua.

Otros casos similares a lo ocurrido con la palma de aceite en el municipio de San Carlos de Guaroa son documentados por López (2010), quien reporta un crecimiento del cultivo hasta del 50% en algunos municipios del departamento del Cesar entre los años 1977 y 1991. De igual forma, González y Romero (2013) encuentran aumentos del 16% entre los años 2002 y 2012 para el municipio de Villanueva (Casanare). Ambos trabajos concuerdan en que la expansión del cultivo se debe a los subsidios e incentivos creados por la política pública y la ocupación de áreas de pastos con ganadería extensiva, pero según Padilla (2015) en las regiones naturales Andina y Caribe los cultivos de palma de aceite aumentaron de 52.403 ha en el año 2001 a un total de 152.705 ha para el año 2014. Además, hubo una reducción del 4,29% de bosques y áreas seminaturales representadas en 49.468,89 ha. Esto también ocurrió en San Carlos de Guaroa al reducirse las áreas de bosques de galería y ripario un 19% entre 1985-2016 a una tasa anual del 3%, equivalente aproximadamente a 60 ha.

Sin duda el principal impulsor de estos cambios de uso y cobertura han sido las políticas gubernamentales de apoyo al cultivo de la palma de aceite en Colombia, que se dieron en su primera etapa durante los años noventa, fortaleciendo el desarrollo agroindustrial como pilar del crecimiento económico en el campo. Posteriormente, en la década del 2000-2010 se estableció el marco normativo y político para la promoción de la palma y los biocombustibles en el país; dentro de las principales leyes y marcos de política se encuentran la Ley 939 de 2004; la Resolución 1289 de 2005; el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010; la Ley 1111 de 2006; y los documentos CONPES 3447 del 2007 de apoyo al sector palmero y 3510 de 2008 en donde se definieron los lineamientos políticos para la promoción de la expansión y producción sostenible de biocombustibles en Colombia.

En San Carlos de Guaroa se observó una rápida acogida de todos los incentivos promovidos para el sector debido a la tradición agropecuaria del municipio. Por esta razón, la palma fue desplazando otros sectores económicos a pesar de los altos costos de su establecimiento que hacen que este negocio sea rentable solo para aquellos propietarios de grandes

extensiones de tierra y capital, generando así mayor desigualdad social.

Conclusiones

En el periodo de estudio comprendido entre 1985 y 2016, el cultivo de palma se convirtió en la mayor fuerza transformadora del municipio de San Carlos de Guaroa, incrementando el área sembrada en 40.689 ha. Esta etapa coincide con la apertura económica y con la consolidación de la estructura normativa de fomento del cultivo mediante incentivos, subsidios y programas de colonización mediados por el Estado. En consecuencia, los bosques de galería se redujeron en 19,38%, con una tasa anual estimada promedio de deforestación de 3,22% (59,53 ha cada año). La mayor transformación se presentó en los suelos de uso agropecuario, en los cuales se agrupan potreros, rastrojos, sabanas naturales, cultivos y suelos erosionados por mecanización. La tradición arrocería del municipio sirvió para adecuar los suelos para la producción de palma de aceite.

Agradecimientos. A la Unidad de Gestión para la Investigación y el Fondo de Investigación "Jesús Antonio Bejarano" de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, por el financiamiento del presente trabajo. Al I.A. Julio Samuel Vega por su colaboración en el procesamiento de la información en el análisis espacial multitemporal.

Contribuciones de autoría. Rojas, J.-C.: compilación, análisis y construcción de la información geográfica. Castiblanco-Rozo, C.: planeación del trabajo, gestión de la financiación y revisión de la información y textos finales.

Conflicto de intereses. El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que ponga en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

Bibliografía

Achten, W., Verchot, L., 2011. Implications of biodiesel-induced land-use changes for CO₂ emissions: case studies in tropical America, Africa, and Southeast Asia. *Ecol. Soc.* 16, 3-14. DOI: 10.5751/ES-04403-160414

- Adesuyi, A., 2016. Automating land cover classification using time series NDVI: a case study in the berg river catchment area. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Stellenbosch University, Stellenbosch, Sudáfrica.
- Arango, M., Castaño, J., Bustillo, A., 2016. Epidemiología de la Marchitez letal (ML) de la palma de aceite en Colombia. En: Pósteres XIV Reunión Técnica Nacional de Palma de Aceite. Bogotá
- Austin, K., Mosnier, A., Pirker, J., McCallum, I., Fritz, S., Kasibhatla, P., 2017. Shifting patterns of oil palm driven deforestation in Indonesia and implications for zero-deforestation commitments. *Land Use Policy* 69, 41-48. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.08.036
- Azad, A., Rasul, M., Khan, M., Sharma, S., Hazrat, M., 2015. Prospect of biofuels as an alternative transport fuel in Australia. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 43, 331-351
- Carrizo, S., Ramousse, D., Velut, S., 2011. Biocombustibles en Argentina, Brasil y Colombia: avances y limitaciones. *Geograficando* 5, 63-82.
- Castiblanco, C., Moreno, A., Etter, A., 2015. Impact of policies and subsidies in agribusiness: The case of oil palm and biofuels in Colombia. *Energy Econ.* 49, 676-686. DOI: 10.1016/j.eneco.2015.02.025
- Cuellar, M., 2010. Impact of the biodiesel program on the colombian palm oil market. *Palmas* 31, 27-34.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2007. Colombia una nación multicultural: su diversidad étnica. Disponible en: http://www.dane.gov.co/files/censo2005/etnia/sys/colombia_nacion.pdf; consultado: febrero de 2017.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2016. Actividad agrícola. En: Tercer Censo Nacional Agropecuario: resultados preliminares. Bogotá. pp. 232-358.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2006. Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010. Estado comunitario: desarrollo para todos. Tomo I. Bogotá. 440 p.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2010. Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014. Prosperidad para todos. Bogotá.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2014. Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018. Todos por un nuevo país. Bogotá.
- Dürr, J., 2016. Sugarcane and oil palm expansion in Guatemala and its consequences for the regional economy. *J. Agr. Change* 17, 557-570. DOI: 10.1111/joac.12150
- El Espectador, 2014. Cultivos de palma de aceite amenazan aves en los Llanos. Edición de febrero. Bogotá
- Fajardo, D., 2014. Estudio sobre los orígenes del conflicto social armado, razones de su persistencia y sus efectos más profundos en la sociedad colombiana. Universidad Externado de Colombia, Bogotá. 55 p.
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma), 2015. Anuario Estadístico. La agroindustria de la palma de aceite en Colombia. Bogotá. 184 p.
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma), 2017. Anuario Estadístico. La agroindustria de la palma de aceite en Colombia. Bogotá. 21-35 p.
- FINAGRO, 2013. Estado actual del financiamiento agropecuario para el sector palmero colombiano. Nuevas líneas de crédito e incentivos. En: Memorias, Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite y demás eventos gremiales anuales. Santa Marta, Colombia.
- Furumo, P., Aide, M., 2017. Characterizing commercial oil palm expansion in Latin America: land use change and trade. *Environ. Res. Lett.* 12, 041001.
- Gallagher, E., 2008. The gallagher review of the indirect effects of biofuels production. Renewable Fuels Agency, Londres.
- Gasparatos, A., Stromberg, P., Takeuchi, K., 2011. Biofuels, ecosystem services and human wellbeing: putting biofuels in the ecosystem services narrative. *Agric. Ecosyst. Environ.* 142, 111-128. DOI: 10.1016/j.agee.2011.04.020
- Gobernación del Meta, s.f. San Carlos de Guaroa: contigo, generamos oportunidades. Disponible en: https://intranet.meta.gov.co/secciones_archivos/461-64432.pdf; consultado: febrero de 2018.
- González, L., Romero, A., 2013. Análisis multitemporal de los cambios de la cobertura de la tierra e incidencia del cultivo de palma en el territorio del municipio de Villanueva, Casanare. Tesis de maestría. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. 149 p.
- GreenPalm, 2016. Where is palm oil grown? Disponible en: <http://greenpalm.org/about-palm-oil/where-is-palm-oil-grown-2>; consultado: diciembre, 2017.
- Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital (IDECA), 2015. Mapa de referencia. Disponible en: <https://www.ideca.gov.co/es/servicios/mapa-de-referencia>; consultado: agosto de 2016.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2010. Leyenda nacional de coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Bogotá. 72 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC); Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR); Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2012. Conflictos de uso del territorio colombiano. Mapa nacional de vocación de uso de la tierra, escala 1:100.000. Bogotá.
- Koh, L., Ghazoul, J., 2010. Spatially explicit scenario analysis for reconciling agricultural expansion,

- forest protection, and carbon conservation in Indonesia. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107, 140-144. Doi: 10.1073/pnas.1000530107
- López, A., 2010. Estimación de conflictos de uso de la tierra por dinámica de cultivos de palma africana, usando sensores remotos. Caso: departamento del Cesar. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 78 p.
- Miettinen, J., Chenghua, S., Chin, S., 2011. Deforestation rates in insular Southeast Asia between 2000 and 2010. *Glob. Change Biol.* 17, 2261-2270. Doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02398.x
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), 2013. Sistema de información geográfica municipal de San Carlos de Guaroa para el 2013. Villaviciencio. 19 p.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Minambiente), 2005. Mapa de bosque/no bosque 2005 para Colombia. Disponible en: <http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>; consultado: agosto de 2016.
- NES Naturaleza, 2016. Oil palm sector in Colombia second report. Opal Colombia, Bucaramanga, Colombia.
- Ospina, M., Ochoa, D., 1998. La palma africana en Colombia: apuntes y memorias. Vol. I - II. Fedepalma, Bogotá. 230 p.
- Otukei, J., Blaschke, T., 2010. Land cover change assessment using decision trees, support vector machines, and maximum likelihood classification algorithms. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 12, 27-31. DOI: 10.1016/j.jag.2009.11.002
- Padilla, T. 2015. Análisis multitemporal del cambio en las coberturas de la tierra por cultivos para agrocombustibles y sus posibles efectos en la biodiversidad en un transepto del norte de la región natural andina y del caribe colombiano. Tesis de maestría. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. 135 p.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN), 2012. Database de cartografía. Disponible en: <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/mapa-del-sitio/>; consultado: agosto de 2016.
- Pérez, H., 1998. Impactos de las misiones religiosas y de las guerras de independencia en la construcción y destrucción de pueblos y ciudades coloniales en los Llanos. En: Colombia Orinoco. Fondo FEN Colombia. Bogotá.
- REN21, 2016. Renewables 2016 global status report. Paris.
- Rocha, Y., 2013. Política pública de biocombustibles -biodiesel- y desarrollo sostenible en Colombia (2002-2008). Universidad de San Buenaventura, Bogotá. 98 p.
- Romero, E., Romero, C., 1989. Desde el Orinoco hacia el siglo XXI: el hombre, la fauna y su medio. Fondo FEN Colombia, Bogotá. 229 p.
- Romero, M., Galindo, G., Otero, J., Armenteras, D., 2004. Ecosistemas de la cuenca del Orinoco colombiano. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá.
- Romero, M., Flantua, S., Tansey, K., Berrio, J., 2012. Landscape transformations in savannas of northern South America: Land use/cover changes since 1987 in the Llanos Orientales of Colombia. *Appl. Geogr.* 32, 766-776. Doi: 10.1016/j.apgeog.2011.08.010
- Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J., Tokgoz, S., Hayes, D., Yu, T., 2008. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 319, 1238-1240. Doi: 10.1126/science.1151861
- Sistema de Información Estadística del Sector Palmero (SISPA), 2016. Sistema de Información Estadística del Sector Palmero: 2017. Disponible en: <http://sispa.fedepalma.org/sispaweb/>; consultado: agosto de 2016.
- Sistema de Información Geográfico para el Ordenamiento Territorial (SIGOT), 2015. Database de cartografía de referencia. Disponible en: http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/frames_pagina.aspx; consultado: agosto de 2016.
- Srinivas, A., Koh, L., 2016. Oil palm expansion drives avifaunal decline in the Pucallpa region of Peruvian Amazonia. *Global Ecol. Conserv.* 7, 183-200. DOI: 10.1016/j.gecco.2016.06.005
- Torres, I., 2005. Efecto del ancho los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmilés, Copán, Honduras. Tesis de maestría. Programa en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, CATIE, San José.
- Universidad Nacional de Colombia, 2013. Caracterización de la región de la Orinoquía. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/45919/1/ART%C3%8DCULO%20CORTO-%20Caracterizacion%20de%20la%20Orinoquia.pdf>; octubre de 2017.
- Viloria, J., 2009. Geografía económica de la Orinoquia. Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional 113. Banco de la República de Colombia, Bogotá.
- Wilcove, D., Koh, L., 2010. Addressing the threats to biodiversity from oil-palm agriculture. *Biodivers. Conserv.* 19, 999-1007. Doi: 10.1007/s10531-009-9760-x