



Dyna

ISSN: 0012-7353

dyna@unalmed.edu.co

Universidad Nacional de Colombia

Colombia

López-Duque, Angie; Botero-Fernández, Verónica

Estimation of land use conflicts due to the dynamic of african Palm cultivation using remote sensing in
Cesar, Colombia

Dyna, vol. 81, núm. 186, agosto, 2014, pp. 65-72

Universidad Nacional de Colombia

Medellín, Colombia

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49631663008>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's homepage in redalyc.org

redalyc.org

Scientific Information System

Network of Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal

Non-profit academic project, developed under the open access initiative

Estimation of land use conflicts due to the dynamic of african Palm cultivation using remote sensing in Cesar, Colombia

Angie López-Duque^a & Verónica Botero-Fernández^b

^a, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. alduque06@gmail.com

^b Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. vbotero@unal.edu.co

Received: May 6th, 2013. Received in revised form: November 8th, 2013. Accepted: July 23th, 2014

Abstract

Evaluation methods are presented to identify land use conflicts in Cesar, Colombia, due to African Palm crops. The seeding dynamics of palm are evaluated over several periods to determine if it has displaced more suitable land uses, occupied protected areas, or substituted forest ecosystems. The main intention is to resolve any doubts and corroborate declarations about the establishment of this species. The localization, extension, and growth of palm crops were determined through remote sensing and spatial analysis, as well as the land use conflicts. Recommendations are given to the scientific community and to palm growers. Although minimal, unsuitable land uses due to seeding of palm mainly present conflicts with the underutilization of moderately fertile land and the invasion of water protection areas.

Keywords: remote sensing, african Palm, seeding dynamics, land use, GIS.

Estimación de conflictos de uso de la tierra por la dinámica de cultivo de Palma africana usando sensores remotos en el Cesar, Colombia

Resumen

Se presentan métodos de evaluación del conflicto por uso de la tierra en el departamento del Cesar, debido al cultivo de Palma africana. Se evaluó si la dinámica de cultivo de palma en distintas épocas, ha incluido desplazamiento de usos más adecuados de la tierra, ocupación de áreas protegidas, o sustitución de ecosistemas boscosos, para resolver algunos supuestos y corroborar declaraciones sobre el establecimiento de esta especie. Se determinó la ubicación, extensión y crecimiento del área de las plantaciones de palma y los conflictos de uso de la tierra por expansión de su cultivo, con base en análisis espaciales. Se hacen recomendaciones a la comunidad científica y a los palmicultores, considerando que aunque son mínimos los usos inadecuados de la tierra por la siembra de palma, principalmente se presentan conflictos por subutilización de tierras moderadamente fértiles, así como la invasión de áreas de retiros a corrientes hídricas y nacimientos de agua.

Palabras clave: imagen satelital, Palma africana, dinámica espacial de cultivo, uso de la tierra, SIG.

1. Introducción

Durante el establecimiento y manejo de las plantaciones de Palma africana en Colombia, se han presentado conflictos de tipo social y también ambiental como la destrucción de bosques nativos protectores en el Chocó biogeográfico y deforestación de 456 ha de selva por tala rasa en el municipio de Tumaco [1], así como alteración de suelos y ciclos del agua en épocas de sequía en las Regiones Orinoquía y Caribe [2]. Estas situaciones existen a pesar de que en el país, la producción de biodiesel todavía no supera la etapa de planta piloto [3].

Pero también se han reportado beneficios económicos, sociales y ambientales en los países donde se fomenta el cultivo de la palma, sin necesidad de acabar con una sola hectárea de bosque natural [4], situación acogida por el Gobierno Colombiano para incluir el cultivo en los Planes de Desarrollo Nacional [5]. Pero las notorias contradicciones son la razón para cuestionar si la ubicación de las plantaciones de palma no desplaza las coberturas y usos adecuados de la tierra.

Las quejas de tipo social y ambiental no han sido

es moderada (eq. 1). Según Melo y Camacho (2005), éste es el índice que resalta más los cultivos de Palma, bosques y cuerpos de agua [14].

$$NDII = (\rho 819 - \rho 1649)/(\rho 819 + \rho 1649) \quad (1)$$

$\rho 1649$: Valores digitales de la banda del espectro óptico (longitud de onda del infrarrojo medio, en la fracción de 1649 nanómetros).

$\rho 819$: Valores digitales de la banda del espectro óptico (longitud de onda del infrarrojo cercano, en la fracción de 819 nanómetros).

2.4. Clasificación de las imágenes satelitales

Para obtener las coberturas de la tierra, la imagen satelital se separa en dos grupos con el fin de aumentar la precisión en la clasificación. El primero se origina con la aplicación del NDII, que sirve para clasificar los bosques, cultivos de palma y cuerpos de agua. El segundo grupo es el resto de la imagen, donde se clasifican pastos, demás cultivos, rastrojos, zonas eriales. En cada grupo se identifican los tipos de coberturas a partir de campos de entrenamiento, cuyo trazado y tamaño varía con el área de las coberturas consideradas, y que fueron definidos por puntos de control georreferenciados y por la calibración de valores espectrales de cada cobertura, obtenidos con espectrómetro durante un reconocimiento en campo. Estos campos poseen las unidades de radiancia de cada cobertura que el intérprete considera [15]. Se elige el método de clasificación Maximum Likelihood (eq. 2), explicado por Schowengerdt [15], éste método a diferencia de Minimum Distance y Mahalanobis Distance, arrojó los mayores valores de precisión.

$$f(x) = g_i(x) - \ln p(w_i) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| - \frac{1}{2} (x - m_i)^t \Sigma_i^{-1} (x - m_i) \quad (2)$$

i : Clase (1, ..., m con m el número de regiones de interés).

x = valor digital de n dimensiones (vector donde n es el número de bandas).

$p(w_i)$ = probabilidad de que la clase correcta para un pixel X sea w_i .

$|\Sigma_i|$ = determinante de la matriz de covarianza de los datos en la clase w_i .

Σ_i^{-1} = es la matriz inversa.

m_i = vector de la media.

Para realizar la clasificación se consideran los siguientes tipos de coberturas de la tierra, de acuerdo con las recomendaciones de DANE, IGAC y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [16]: cultivos de Palma africana, bosques, rastrojos altos y bajos, pastos, otros cultivos, ríos y cuerpos de agua, áreas urbanas, eriales y suelos desnudos. A continuación se presenta el análisis de precisión de las clasificaciones por matriz de confusión (Tabla 2).

Los niveles de precisión resultaron con valores adecuados (cercanos al 100%). El Coeficiente de Kappa, índice que mide la precisión de la clasificación, siendo 0 la

Tabla 2.

Análisis de precisión de las clasificaciones

Año	Grupo	Zona	Precisión Promedio (%)	Coeficiente de Kappa
1977	1	Norte	74,15	0,67
		Sur	84,18	0,79
		Sur	83,39	0,79
	2	Norte	87,3	0,82
		Sur	94,39	0,9
		Sur	79,6	0,73
1991	1	Norte	90,47	0,87
		Sur	96,2	0,94
		Extremo Sur	95,22	0,92
	2	Norte	97,42	0,96
		Sur	99,71	0,99
		Sur Edge	97,08	0,94
2001	1	Norte	80,47	0,75
		Sur	92,5	0,9
		Extremo Sur	78,02	0,72
	2	Norte	94,76	0,93
		Sur	89,77	0,86
		Extremo Sur	89,83	0,86
2007	1	Norte	66,62	0,59
		Sur	82,15	0,77
	2	Norte	85,24	0,8
		Sur	90,8	0,88

Fuente: Data come from this research

menor precisión y 1 la mejor, arrojó valores cercanos a 1. Sin embargo los valores que no estuvieron muy cercanos a 100% o a 1, indican algún grado de confusión, específicamente entre las coberturas de palma joven y rastrojo. En estas zonas se corrigió la clasificación de forma manual, con la modificación de los polígonos con base en las imágenes naturales y en composición en falso color.

2.5. Análisis Multitemporal de imágenes satelitales

Previo a la clasificación de las imágenes satelitales y a su análisis multitemporal, se realizó una corrección atmosférica de dichas imágenes con el método Dark Object Subtraction [15]. Con el análisis de detección de cambios que ofrece el software ENVI, se realiza una comparación matricial que permite identificar, describir y cuantificar las diferencias entre dos imágenes clasificadas de una misma zona en diferentes fechas, generando una tabla multitemporal de cambios [15]. La información matricial genera estadísticas para la estimación del crecimiento de las categorías clasificadas en la imagen, así como las unidades de áreas reemplazadas por las demás categorías. Los resultados más relevantes son los que hacen alusión al reemplazo de otras coberturas por el cultivo de palma, así como el crecimiento o disminución de estos cultivos.

2.6. Análisis de conflictos de uso de la tierra debido al cultivo de Palma africana

Los usos actuales de la tierra se definieron con base en las coberturas clasificadas y con ayuda de la guía para la elaboración de Planes Agropecuarios Municipales [17]. La superposición de los mapas de uso actual de la tierra (por municipio de interés) y áreas protegidas (escala 1:500.000) generaron las áreas en conflicto de uso en áreas protegidas. La superposición de los mapas de uso actual (por municipio de interés) y vocación de uso de la tierra (escala 1:500.000) generaron las áreas en conflicto de uso (excluyendo las áreas

protegidas ya evaluadas).

2.7. Índices de fragmentación de bosques y rastrojos

Este análisis se realiza con el software Fragstats 3.3 de McGarigal y Marks (1995) y se calculan: área promedio de parches, densidad de parches, índice del parche mayor e índice de conectividad [18]. Este análisis sirvió de complemento al análisis de conflictos de uso de la tierra en el territorio, en las zonas donde se cultiva Palma africana.

2.8. Análisis de invasión de áreas de retiros a nacimientos y corrientes hídricas

El Decreto 1449 de 1977 expresa que no se permite el establecimiento de actividades agropecuarias, urbanas, industriales ni comerciales en una franja de 30 metros en las corrientes hídricas y 100 metros a la redonda de los nacimientos de agua [19]. Así también la Ley 99 de 1993 exhorta al respeto de los retiros de las corrientes hídricas y sus nacimientos [20]. Por lo tanto se realiza un análisis con base en la cartografía básica a escala 1:100.000 de la red hidrográfica de los municipios del Cesar donde existen cultivos de Palma africana. Se logra superponiendo un mapa de buffer o barrera de 30m en las corrientes hídricas y de 100m alrededor de los nacimientos, con los mapas de coberturas de la tierra obtenidos en el proceso de clasificación de imágenes satelitales, considerando especialmente el cultivo de palma.

3. Resultados

3.1. Dinámica de cultivo de Palma Africana en el departamento del Cesar

Los mayores incrementos en cultivos de palma se dieron en El Copey, San Martín y San Alberto en el año 1991 y en La dinámica de cultivo de palma es el resultado de la clasificación de las imágenes satelitales, identificando las áreas cubiertas por dichos cultivos en diferentes años. Los resultados para cada fecha se muestran en la Fig. 3.

Becerril y Agustín Codazzi en 2001, con crecimientos superiores al 100%. El incremento al año 2007 fue mayor en Becerril (63,8%), Valledupar (48,5%), El Copey (24,7%) y Río de Oro (10,9%). Entre 1977 y 1991 los rastrojos altos y bajos sufrieron mayor desplazamiento por el cultivo de palma en San Alberto (20,9%) y en El Copey (5%). También reemplazó áreas de pastos (>7%) en El Copey y San Alberto en el año 1991, así como en San Alberto en 2001. Aunque los bosques maduros no han sufrido efectos significativos, el 3% de éstos fueron desplazados en El Copey en el año 1991 y el 2% en Río de Oro en 2001.

3.2. Conflictos de uso de la tierra en torno al cultivo de Palma africana

A continuación se expresan las categorías de conflicto [17], que resultan de la confrontación entre la vocación de uso correspondiente a un mapa tomado del IGAC [21], y el uso actual de la tierra que es el mapa de coberturas

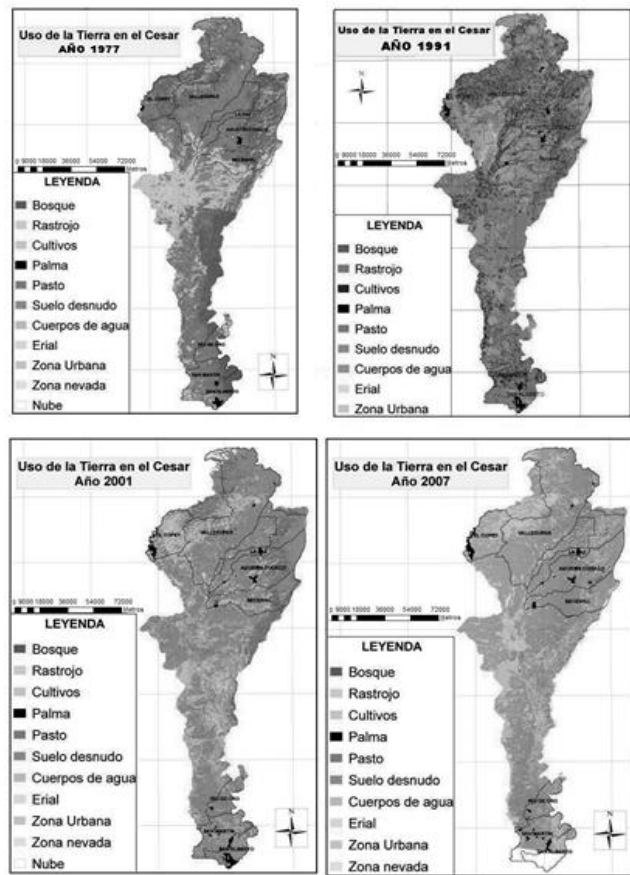


Figura 3. Mapas de la dinámica de cultivo de palma en el Cesar. Fuente: Instituto geográfico Agustín Codazzi - Igac

resultante de esta investigación. En la Fig. 4 se presentan los conflictos de uso de la tierra por el establecimiento de palma en el Cesar.

- Uso Adecuado. Áreas donde el uso actual de la tierra coincide con la vocación de uso.
- Uso Inadecuado. El uso actual de la tierra es más intenso que el uso vocacional.
- Uso Muy Inadecuado. El uso actual de la tierra es más intenso y deteriora la tierra en comparación con el uso vocacional.
- Área Subutilizada. Cuando el uso actual ejerce una menor intensidad de uso que la que ejercería el uso vocacional.
- Área Muy Subutilizada. Cuando el uso actual ejerce una menor intensidad de uso que el uso vocacional, este último permitiría una labranza más intensa de los suelos y un mayor uso de agroquímicos.

Los principales conflictos se dan por subutilización de la tierra, al establecer cultivos de palma en áreas aptas para usos agrícolas más intensivos, especialmente en San Alberto (12%), El Copey (6,6%) y San Martín (4,5%), donde las áreas están subutilizadas y a la vez ocupadas con palma. El uso inadecuado de la tierra por cultivo de palma se dio por su establecimiento en zonas de Reserva Forestal. Alrededor del 10% del área de los cultivos de palma en el municipio de El Copey se encontraban en estas áreas en el año 2007. El uso

muy inadecuado de la tierra fue más significativo en el municipio de La Paz (1% de su área), por la presencia del cultivo de palma en zonas que deberían estar dedicadas a la conservación.

3.3. Fragmentación de bosques maduros y secundarios y repercusiones del establecimiento del cultivo de Palma africana

La información del análisis de fragmentación de bosques y rastrojos sirvió para complementar el estudio de conflictos de uso de la tierra por el establecimiento de palma, considerando si el cultivo influyó en la fragmentación de dichas coberturas. La mayor fragmentación de los bosques se presenta en La Paz, San Martín y El Copey. En estos municipios el número de parches de bosque por cada 100 ha son mayores, con valores de 12,4 7,7 y 6,2 respectivamente; los parches más grandes sólo ocupan entre el 0,8% 0,9% y 0,7% de las áreas de estos municipios, respectivamente; y la probabilidad de que se encuentren juntos más de dos parches a una distancia de 100 metros es más pequeña en estos tres municipios (0,12%, 0,35% y 0,34% respectivamente).

Los mayores valores de fragmentación de rastrojos altos y bajos se presentan en los municipios de San Martín y San Alberto. En estos municipios el número de parches por cada 100 ha son mayores, con valores de 17 y 10,3 parches respectivamente; los parches más grandes sólo ocupan entre el 0,1% y 0,06% de las áreas de estos municipios, respectivamente; y la posibilidad de que se encuentren juntos más de dos parches de rastrojo a una distancia de 100 metros es más pequeña en estos dos municipios (0,41% y 0,27% respectivamente).

Los procesos de fragmentación de los bosques no han sido inducidos de forma significativa por el cultivo de palma, porque éste ha reemplazado pequeñas porciones de bosque, sin embargo su efecto es más considerable en el municipio de El Copey debido a que allí se ha presentado el mayor desplazamiento de la cobertura por palma. Las coberturas de rastrojo del municipio de San Alberto, que son de gran importancia ecosistémica para el crecimiento de la vegetación nativa y para la protección de suelos y cauces de agua, han sufrido procesos de fragmentación inducidos en forma significativa por el desplazamiento de dicha cobertura con cultivos de palma.

3.4. Invasión de áreas de retiros a nacimientos y corrientes hídricas con cultivos de Palma africana

Este análisis se realiza para complementar los resultados de conflictos de uso de la tierra, y por razones consideradas en la legislación ambiental colombiana. Principalmente el Decreto 1449 de 1977 expresa que no se permite el establecimiento de actividades agropecuarias, urbanas, industriales ni comerciales en una franja de 30 metros en las corrientes hídricas y 100 metros a la redonda de los nacimientos de agua [19]. Así también la Ley 99 de 1993 exhorta al respeto de los retiros de las corrientes hídricas y sus nacimientos [20].

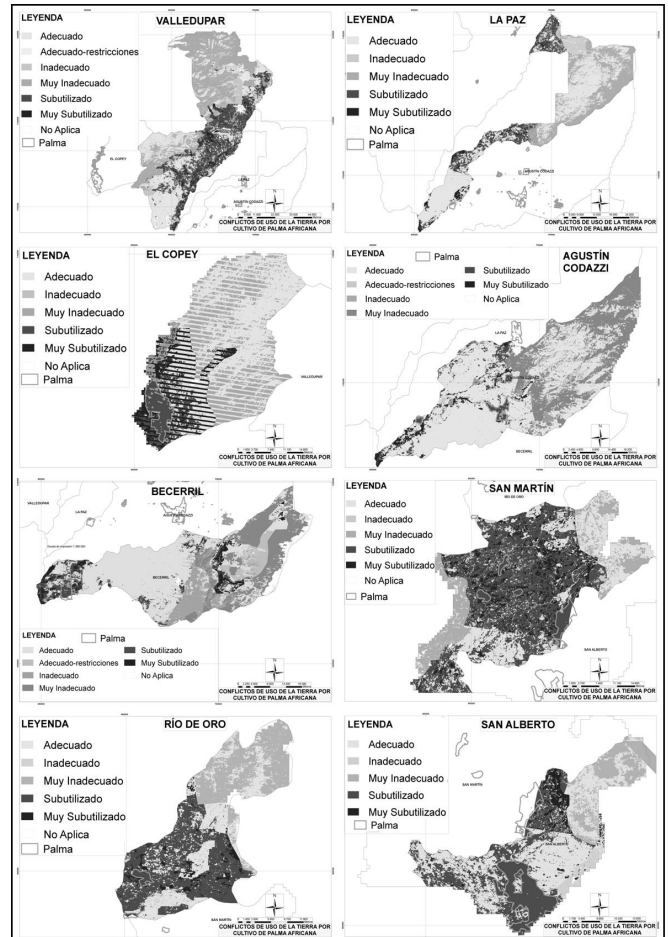


Figura 4. Localización de conflictos de uso de la tierra por cultivo de palma. Fuentes: Mapa de uso de la tierra, año 2007 (clasificación de las imágenes satelitales) y Mapa de vocación de uso de la tierra en Colombia, Escala 1:500.000 [21].

Este análisis tuvo en cuenta la superposición de la cobertura cultivos de Palma, con un mapa de zonas de retiro a corrientes hídricas y a nacimientos. Dicho análisis se realizó en ArcGis 9.2 con las funciones: selección por atributos y selección por ubicación. Para la delimitación de las zonas de retiro, se utilizó un buffer o barrera de 30 m en las corrientes hídricas y de 100 m alrededor de los nacimientos de estas corrientes, a partir de la red hídrica de cartografía básica.

En la Fig. 5 se presenta la ubicación de los cultivos de palma según la zona de humedad climática.

Como se observa en la Fig. 5, los cultivos de palma se ubican en zonas secas en los municipios de Valledupar, El Copey, La Paz y Agustín Codazzi, pero también en zonas húmedas en los municipios de Becerril, Río de Oro, San Martín y San Alberto.

En la Fig. 6 se indica la invasión de los retiros a corrientes naturales de agua y sus nacimientos, con cultivos de Palma Africana.

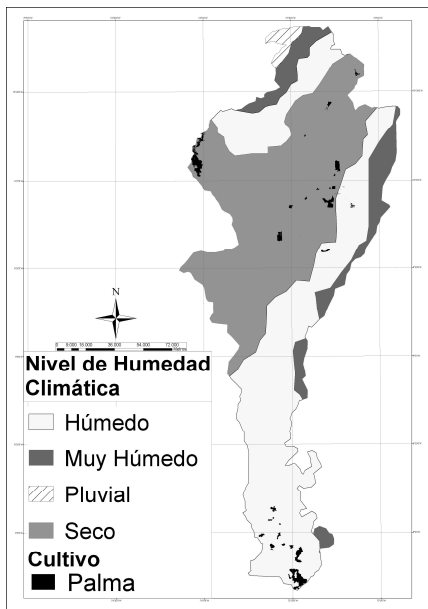


Figura 5. Mapa de humedad climática del Cesar y ubicación de cultivos de palma. Fuente: Malagón *et. al.* (1995), tomado de Jaramillo, Escala 1:500.000 [22].

Entre los años 2001 y 2007 el cultivo de palma se ubicaba en los retiros de fuentes hídricas en la zona de estudio correspondiente al Río Tucuy en Becerril, Río Fernambuco y afluentes del Río Sicarare y Casacará en Agustín Codazzi, Arroyo Fernández y retiro del Río Ariguaní en El Copey, Río Fernambuco y afluentes del Río Cesar en La Paz, Río San Alberto en San Alberto, Río Ovejas y Badillo en Valledupar y otros caños. Además el cultivo ocupaba áreas de retiro de los nacimientos de fuentes hídricas en los municipios de San Alberto y San Martín en el año 2001 (Fig. 6).

4. Discusión de Resultados

- El manejo de datos provenientes de sensores remotos con la aplicación de un SIG, resultó una herramienta útil para la Gestión Ambiental en este estudio territorial. Con investigaciones de este tipo es posible interpretar aspectos del desarrollo en un territorio, indicando los puntos a favor o en contra de una actividad económica, en un espacio común tanto para quienes obtienen beneficios de ella como para los que hacen parte de los medios natural y humano que los rodean.
- El cultivo de palma tuvo su mayor incremento (mayor al 100% de su área inicial) entre 1977 y 1991, en los municipios de El Copey, San Martín y San Alberto. Época coincidente con una mayor inversión e incentivos económicos para la plantación de esta especie en el país.
- El cultivo de palma desplazó significativamente coberturas de rastrojo en el municipio de San Alberto (alrededor del 20% de su área). Los pastos y zonas

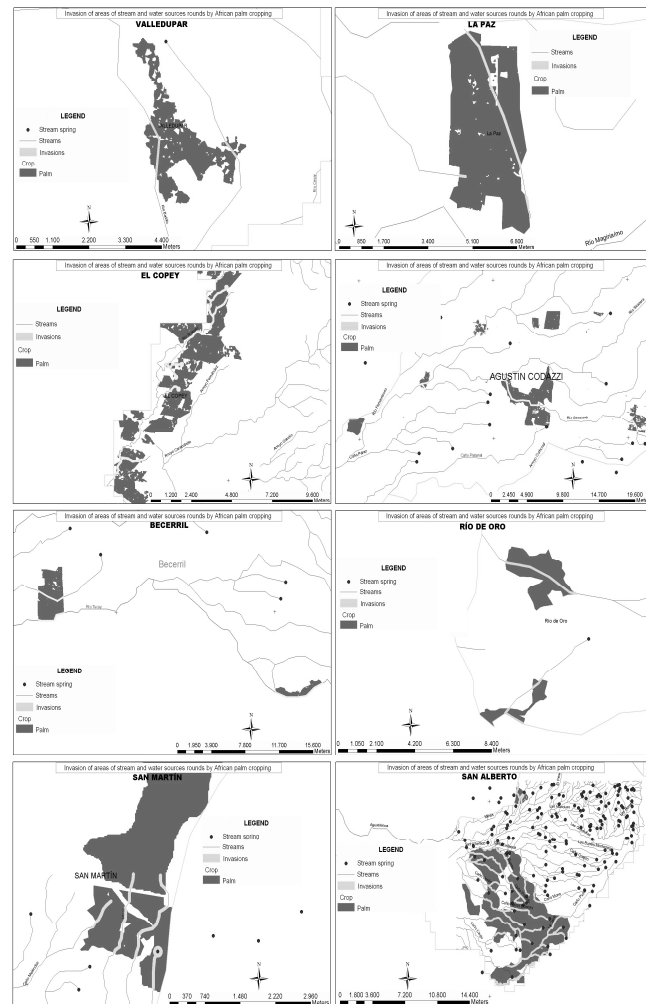


Figura 6. Invasión de retiros a Corrientes hídricas y sus nacimientos con cultivo de Palma africana. Fuente: Mapa de uso de la tierra, año 2007 (clasificación de las imágenes satelitales) e hidrografía del Cesar, Escala 1:100.000 [9]

- destinadas a cultivos transitorios, permanentes y otros pastos, fueron remplazados en menor proporción con valores superiores al 7% del área total de cada cobertura. Los bosques padecieron en un grado mínimo esta situación (1% - 2% de su área).
- El principal conflicto por uso de la tierra que el cultivo de palma ha generado en el departamento del Cesar, es la subutilización de algunas áreas productivas o con vocación para usos agrícolas más intensos, que presentan principalmente niveles moderado y alto de fertilidad de los suelos. Debido a este conflicto, la población asentada puede ver vulnerada su seguridad alimentaria si no están protegidos por algún tipo de mercado externo.
- La plantación de Palma africana ha producido un mínimo conflicto por uso inadecuado de la tierra en los municipios de La Paz, San Martín y Agustín Codazzi. Esto ha sido posible debido a la labranza de la tierra, necesaria instauración de sistemas de riego y explotación del recurso hídrico, en zonas de vocación para la conservación.
- El efecto del cultivo de palma en la fragmentación del

bosque es mayor en el municipio de El Copey. Allí el cultivo ha creado conflicto por uso inadecuado de la tierra en áreas para la conservación y los relictos de bosque están más expuestos a los efectos de la actividad productiva de los cultivos de palma.

- El cultivo de palma en el departamento del Cesar en algunos casos no tiene en cuenta normas que especifican que las áreas de retiro a corrientes hídricas y nacimientos deben ser respetadas. Además, en el año 2007, los cultivos de palma de los municipios de Agustín Codazzi, Valledupar y La Paz que invadían áreas de retiros a las corrientes hídricas y nacimientos, lo estaban haciendo en zonas secas de dichos municipios.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- El establecimiento de palma africana se encuentra en expansión, convirtiendo al cultivo en uno de los principales renglones económicos de la región y del país.
- Los cultivos de palma ocupan medianamente zonas con vocación agropecuaria intensiva de la región del Cesar.
- Algunas zonas de retiro a corrientes hídricas y nacimientos son ocupadas por cultivos de palma.
- Los cultivos de palma no participan significativamente en la ocupación de áreas conservadas y/o áreas protegidas, por lo tanto no incrementan la fragmentación de los bosques nativos.

5.2. Recomendaciones

- La Corporación Autónoma Regional del Cesar, debe ser estricta en la aplicación de medidas correctivas para que los propietarios de predios donde se cultiva palma, modifiquen el área de los cultivos que invaden áreas de manejo especial como los retiros a las corrientes hídricas y sus nacimientos, que como tales deben estar declarados o propuestos en los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios como Suelos de Protección.
- Es necesario replicar este estudio con fotografías aéreas anteriores al año 1977 para investigar si el cultivo de palma ha remplazado coberturas importantes de bosque y así concluir en mayor profundidad sobre las implicaciones del cultivo en la fragmentación actual de bosques y sus repercusiones.
- Es ideal aplicar esta investigación para todo el país, así como la realización de una modelación de la expansión del cultivo por el incremento en producción de biodiesel. Para esto se deberá contar con imágenes de alta resolución como Ikonos o QuickBird y/o cartografía de mayor detalle.

Referencias

- [1] Le Du, H., Minelli, F. y Mingorance, F., El Cultivo de la Palma africana en el Chocó, legalidad ambiental, territorial y derechos humanos, Editorial Códice, Quibdó, Colombia, 2004.
- [2] Prada, A., La razón de ser del instituto de la Orinoquía, en: Sabanas, vegas y palmares, el uso del agua en la Orinoquía Colombiana, Eds.

- J. Forero y C. Durana, Universidad Javeriana e Instituto Mayor Campesino CIPAV, Villavicencio, 1997, pp. 85 - 95.
- [3] Zapata, C., Martínez, I., Castiblanco, E. y Henao, C., Producción de biodiesel a partir de aceite crudo de palma: Diseño y simulación de dos procesos continuos, DYNA, 74 (151), pp. 71-82, 2007.
- [4] Henson, I., ¿Puede la palma de aceite sustituir el bosque húmedo tropical?, Palmas, 25 (1), pp. 95-105, 2004.
- [5] Colombia. Presidencia de la República de Colombia. Decreto 2629 de 2007. Santafé de Bogotá D.C., 2007.
- [6] Federación nacional de cultivadores de palma de aceite - Fedepalma, La agroindustria de la Palma de Aceite en Colombia y el mundo 2003 - 2007, Publicaciones Fedepalma - Oficina de Comunicaciones, Santafé de Bogotá D.C., 2008.
- [7] Global land cover facility, Landsat Imagery. Imagery from Earth Science Data Interface (ESDI) [Online], 1997 [date of reference December 1st of 2009]. Available at: <http://www.landcover.org/>
- [8] González, A. y Cortés A., Estudio general de suelos de los municipios de Codazzi, Manaure, La Paz, San Diego y Becerril, Ministerio de Hacienda y Crédito Público e Instituto Geográfico Agustín Codazzi - Subdirección Agrológica, Santafé de Bogotá D.C., 1982.
- [9] Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. Geoportal de mapas de Colombia. Mapa físico político del Departamento del Cesar [Online], 2003 [date of reference December 1st of 2012]. Available at: <http://www.igac.gov.co>
- [10] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Corporaciones autónomas regionales del Magdalena, Cesar y La Guajira y Fundación Pro-Sierra Nevada de Santa Marta, Mapa de Áreas protegidas escala 1:500.000, [Online], 2008 [date of reference December 1st 2009]. Available at: <http://www.prosierra.org>
- [11] Garzón, E., Botón, J. y Siachoque, R., Uso adecuado y conflictos de uso de las tierras en Colombia, en: Zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia, Eds. Gutiérrez, M.S., Devia, G.E. y Ávila, E.A., Cap. IV, Santafé de Bogotá D.C., 2002, pp. 1 - 106.
- [12] Van Der Hammen, T. y Andrade, G., Estructura ecológica principal de Colombia: Primera aproximación, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Santafé de Bogotá D.C., 2003.
- [13] ITT Corporation, Tutorial of Environment for visualizing images (ENVI), United States, 2006.
- [14] Melo, L. y Camacho, M., Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamientos de cobertura y uso de la Tierra, Centro de investigación y desarrollo de información geográfica, Santafé de Bogotá, 2005.
- [15] Schowengerdt, R., Remote sensing: Models and methods for image processing, Academic Press, Tucson - Arizona, 1997.
- [16] Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, IGAC y Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia. Bogotá, D.C., 2002.
- [17] Ríos, E., Velásquez, J., Álvarez, E., López, L., Salazar, C., et al., Metodología para la elaboración del programa agropecuario municipal, Ediciones Gráficas Ltda., Medellín, 1993.
- [18] McGarigal, K. and Marks, B., Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure: Software fragstats 3.3, U.S. Department of Agriculture, Forest Service and Pacific Northwest Research Station, Portland, 1995.
- [19] Colombia. Presidencia de la República de Colombia. Decreto 1449 de 1977. Santafé de Bogotá D.C., 1977.

- [20] Colombia. Congreso de la República de Colombia. Ley General Ambiental de Colombia. Ley 99 de 1993. Santafé de Bogotá, D.C., 1993.
- [21] Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. Mapa de Vocación de Uso de las Tierras en Colombia escala 1:500.000, Santafé de Bogotá, 2002.
- [22] Jaramillo, D., El recurso suelo y la competitividad del sector agrario Colombiano, Cátedra Pedro Nel Gómez, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2004.

A. López-Duque, Ing. Forestal de 2006 y MSc en Medio Ambiente y Desarrollo de 2010, ambos de la Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. Trabajó en una Compañía regional en el mantenimiento de plantaciones forestales en 2007, desde 2009 hasta 2014 trabajó para compañías consultoras en planeación territorial. Actualmente trabaja como Profesional Junior elaborando cartografía sobre amenazas y riesgos naturales, en la Universidad EAFIT. Sus intereses en investigación incluyen: simulación, modelación y predicción de amenazas y riesgos naturales, planeación territorial y protección y control de suelos.
ORCID: 0000-0001-5289-3988

V. Botero-Fernández, título de Ing. Civil de la Universidad EAFIT, Colombia en 1994. En 1997 obtuvo título de MSc. en Estudios Geológicos del Instituto Internacional para Ciencia de Geo-Información y Observación de la Tierra, en Enschede, Holanda. En 2009 obtuvo su PhD de la Universidad de Utrecht Holanda, con una disertación titulada “Geo-información para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica: Una aproximación a la determinación de la aptitud para el uso”. De 1994 hasta 1995 trabajó como Ingeniera Geotécnica para Integral S.A. En 1997, luego de obtener su M.Sc. retornó a Colombia para trabajar en la misma compañía de consultoría, como analista de geo-información y participó en proyectos nacionales e internacionales en Colombia, Venezuela y México. Ha sido profesora de medio tiempo en varias universidades en Colombia y desde 2001 es profesora de tiempo completo en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, actualmente es Profesora Asociada del Departamento de Geociencias y Medio Ambiente en las áreas de ciencias de geo-información y procesamiento digital de imágenes. También ha participado en varios proyectos de investigación que han involucrado el uso de la geo-información para planeación urbana y rural y manejo de desastres. Sus intereses de investigación actualmente son la geo-información para la modelación y planeación urbana, infraestructuras de datos espaciales, geo-servicios y geo-información para el manejo de desastres.
ORCID: 0000-0002-6964-239