

Una década de aplicación de las herramientas de gestión del paisaje: evaluación del cambio de la cobertura del suelo utilizando imágenes basadas en UAS, un estudio de caso en una plantación de palma de aceite en Mapiripán, Meta, Colombia*

A Decade of Landscape Management Tools Implementation: Land Cover Change Assessment Using UAS Based Imagery, a Case Study in an Oil Palm Plantation in Mapiripán, Meta, Colombia

CITACIÓN: Gómez-Mateus, A. M., Majiera, A., Domptail, S., Espinosa, J. C., Gómez, G., Ruíz-Delgado, J. & Waldhardt, R. (2023). *Palmas*, 44(2), 59-79.

PALABRAS CLAVE: Evaluación de la estructura del paisaje, Cambio de uso del suelo, Herramientas de gestión del paisaje, Sistemas aéreos no tripulados.

KEYWORDS: Landscape structure assessment, Land use change, Landscape management tools, Unmanned aerial systems.

RECIBIDO: febrero de 2023

ACEPTADO: mayo de 2023

* Artículo de investigación e innovación científica y tecnológica.

GÓMEZ MATEUS, ADRIANA MARCELA
Instituto de Política Agrícola
e Investigación de Mercado, Universidad
Justus Liebig
Autor para correspondencia:
adriana.gomezmateus@gmail.com

MAGIERA, ANJA
Centro de Ciencias Ambientales
e Investigación Internacional (ZEU),
Universidad Justus Liebig

DOMPTAIL STEPHANIE
Instituto de Política Agrícola
e Investigación de Mercado, Universidad
Justus Liebig

ESPINOSA, JUAN CARLOS
Consultor Independiente en Gestión
Ambiental Corporativa

GÓMEZ, GUSTAVO
Proforest

RUIZ-DELGADO, JONATHAN
Federación Nacional de Cultivadores
de Palma de Aceite (Fedepalma)

WALDHARDT, RAINER
Centro de Ciencias Ambientales
e Investigación Internacional (ZEU)
e Instituto de Ecología del Paisaje y Gestión
de Recursos. Universidad Justus Liebig

Resumen

En Colombia, la palma de aceite es un sector económico agroindustrial importante. Uno de sus principales retos es garantizar simultáneamente el crecimiento de la producción de aceite de palma y mantener y mejorar el medio ambiente local, así como un paisaje agrícola sostenido.

nible. Por lo tanto, se hizo un análisis del paisaje en una plantación de palma de aceite ejemplar para evaluar la estructura y la complejidad del mismo, y el cambio de uso de la tierra entre 2009 y 2019. El estudio de caso se realizó en la plantación de aceite de palma Poligrow, en el predio Macondo, ubicado en Mapiripán, Meta, zona Oriental de Colombia, con un área total de 5.853 hectáreas. El estudio del paisaje se basó en un análisis SIG de los mapas de cobertura del suelo de 2009. En primer lugar, el mapa de cobertura del suelo de la plantación se dividió en una cuadrícula con celdas de 500 x 500 metros. En segundo lugar, se aplicaron las métricas del paisaje para la evaluación de la estructura de este y se calculó un análisis de conglomerados de *k-means*. Las celdas se agruparon en 9 grupos de similitud basados en las métricas del paisaje. Se seleccionaron 4 celdas por grupo, con un total de 36, como muestra de la plantación. Para cada celda seleccionada se tomaron fotografías aéreas a una altura de 100 metros, para crear las ortofotos. Dichas imágenes se tomaron utilizando sistemas aéreos no tripulados, en este caso (UAS por sus siglas en inglés), un dron DJI, que permitieron tomar más de 10.800 fotografías aéreas en 10 días. Esta herramienta proporcionó información detallada y actualizada sobre la cobertura del suelo y los cambios en su uso, lo que resultó esencial para el seguimiento y la toma de decisiones. Este tipo de análisis del paisaje permite a los gestores de las plantaciones de palma de aceite supervisar el cambio de la cobertura del suelo y las herramientas de gestión del paisaje (HGP) aplicadas dentro de la plantación.

Abstract

In Colombia, oil palm is an important economic sector of the agroindustry. One of its main challenges is to simultaneously ensure palm oil production growth and maintain and improve the local environment and a sustainable agricultural landscape. Thus, we conducted a landscape analysis on an exemplary palm oil plantation to assess the landscape structure and complexity, and land-use change between 2009 and 2019. The case study is done in the Macondo oil palm plantation, located in Mapiripán, Meta, in the eastern zone of Colombia with a total area of 5,853 hectares. The landscape analysis is based on a 2009 land cover maps GIS analysis. First, the land cover map of the plantation was divided into grid cells of 500 by 500 meters. Second, we applied landscape metrics for the landscape structure assessment and calculated a k-means cluster analysis. The grid cells were clustered into nine (9) similarity groups based on landscape metrics. Four (4) squares per group, in a total of 36, were selected as a sample of the plantation. For each selected square, we took aerial photography at a height of 100 meters to create the orthophotos. The aerial photographs were taken using Unmanned Aerial Systems (UAS), in this case, a DJI drone, and enabled us to take over 10,800 aerial photographs in 10 days. Aerial photography provides detailed and up-to-date information on land cover and land use change, which is essential for monitoring and decision-making. This type of landscape analysis enables managers of oil palm plantations to monitor land cover change and the implemented Landscape Management Tools (LMT) within the plantation.

Introducción

La palma de aceite (*Elaeis guineensis*) es originaria de África occidental, donde se ha utilizado como alimento, medicina y fuente de aceite para cocinar (Mba *et al.*, 2015). En los últimos 70 años, el aceite de palma se ha convertido en un ingrediente clave de una gran variedad de productos comunes que se usan a diario (Qaim *et al.*, 2021). Su producción da el mayor rendimiento por hectárea frente a los demás

aceites vegetales y tiene bajos costos de producción (Mba *et al.*, 2015). Por esta razón, el aceite de palma es competitivo y rentable entre los demás aceites vegetales (Oosterveer, 2015). En la actualidad, se está expandiendo rápidamente como un producto agrícola en las regiones tropicales (Gray *et al.*, 2014) para satisfacer la demanda mundial de aceite para cocinar, alimentos, cosméticos, la industria oleoquímica y la generación de energía (Khatun *et al.*, 2017; Oosterveer, 2015). Los cultivos de palma de aceite suelen

ser monocultivos asociados con la deforestación y la pérdida de biodiversidad, por ejemplo, en las grandes plantaciones de palma de aceite de Indonesia y Malasia (International Union for Conservation of Nature (IUCN), 2018; Meijaard *et al.*, 2018; Qaim *et al.*, 2021). Sin embargo, se ha argumentado que pueden mejorar la biodiversidad con una gestión adecuada del paisaje (Teuscher *et al.*, 2015) y fomentar el desarrollo económico y social en las zonas rurales (Boons y Mendoza, 2010). Las estrategias de manejo del suelo incluyen la producción agrícola y la conservación de la biodiversidad simultáneamente (e.d *land sparing and land sharing*). El *land sparing* o compartir la tierra significa usarla de forma intensiva y dejar algunas áreas para la conservación (Green *et al.*, 2005). El *land sharing* significa compartir la tierra entre las áreas para la conservación y la tierra para la producción (Perfecto y Vandermeer, 2012). También existe la posibilidad de integrar ambos enfoques para proporcionar un lugar para la biodiversidad y, al mismo tiempo, tener áreas agrícolas altamente productivas (p. ej., Egan y Mortensen, 2012).

En Colombia, las plantaciones de palma se han expandido rápidamente para satisfacer las demandas de aceite nacionales e internacionales, según el Departamento Nacional de Planeación (Conpes 3510, 2008). Actualmente es el primer país productor de aceite de palma en América Latina y el cuarto a nivel mundial (Girón-Amaya *et al.*, 2022). Así, se espera la expansión de la palma de aceite en los próximos años, especialmente en la zona oriental del país (DNP, 2019) de acuerdo con la definición oficial de la frontera agrícola (Unidad de Planificación Rural (UPRA), 2018). Esta expansión debe prever las características del paisaje local para mantener la biodiversidad y tener áreas de producción sostenibles (Ocampo-Penuela *et al.*, 2018).

En el contexto de Colombia, las plantaciones actuales y nuevas de palma de aceite podrían implementar herramientas de gestión del paisaje (HGP) para evitar impactos adversos, promover la conservación de la biodiversidad y generar servicios ecosistémicos (Lozano-Zambrano, 2009), como el control de plagas y enfermedades, la formación del suelo y la polinización. Las herramientas de gestión del paisaje son estrategias de conservación para hacer cambios físicos en el paisaje agrícola (p. ej. siembra de palma de aceite) y para promover la estabilidad de la biodiversidad, la conectividad del paisaje y la conservación dentro de los paisajes agrícolas (Lozano-Zambrano, 2009). Los cambios físicos en el paisaje consisten en una heterogeneidad composicional y configuracional que tiene en cuenta los tipos de vegetación y los elementos del paisaje (matriz, parche, corredor) (Fahrig *et al.*, 2011). La implementación de HGP en las plantaciones de palma de aceite puede generar beneficios y servicios ecosistémicos, tales como la filtración de agua, la mejora de la estructura del suelo, control de la erosión y el movimiento de especies (Lozano-Zambrano, 2009).

La teledetección es crucial para el monitoreo ambiental y la evaluación del cambio de la cobertura del suelo (Bryson *et al.*, 2019; Morgan, 2010). El cambio de la cobertura del suelo en el mundo es de especial importancia, dado que casi 30 % de la tierra utilizada para la expansión agrícola se ha obtenido a expensas de bosques tropicales ricos en especies y carbono (Vijay *et al.*, 2016). Por lo tanto, el monitoreo de paisajes utilizando sistemas aéreos no tripulados (UAS por sus siglas en inglés) ayuda a detectar cambios en un área determinada con una alta resolución que respalda la gestión de tierras y granjas (Morgan, 2010). Las técnicas de teledetección combinadas con la fotografía aérea recopilada por los UAS proporcionan in-



Cerca de tres cuartas partes de la inversión con recursos del **Fondo de Fomento Palmero**

se destina a temas de ciencia, tecnología e innovación, a través de los programas, para mejorar el estatus fitosanitario y para incrementar la productividad y optimizar costos de producción.

formación esencial detallada sobre la cubierta terrestre y el cambio de uso de la tierra (Thomson *et al.*, 2007) que se puede utilizar para la planificación espacial y el uso de la tierra, así como para la gestión de los recursos naturales (Caccetta *et al.*, 2016).

Recientemente se ha utilizado la fotografía aérea para muchas aplicaciones que van desde la evaluación del impacto ambiental hasta el monitoreo de vertederos, la concesión de permisos y la aplicación de la ley, la mitigación de desastres naturales (Lillesand *et al.*, 2015) y la gestión de plantaciones (Montes de Oca *et al.*, 2018). Especialmente, la nueva estructura de la técnica de movimiento permite construir modelos digitales de elevación (MDE) a partir de imágenes adquiridas desde diferentes ángulos y posiciones de vuelo y la generación de ortofotografías (Gong *et al.*, 1999). Las mediciones de área usando las ortofotografías son más precisas porque tienen una escala constante y están libres del desplazamiento causado por diferencias de elevación (Gong *et al.*, 1999). La fotografía aérea ofrece gran cantidad de detalles en la ortofotografía y es un método rentable y rápido para crear mapas de alta resolución de grandes áreas (Bryson *et al.*, 2019; Paine y Kiser, 2003). Las fotografías aéreas son útiles para analizar el paisaje y monitorear el cambio de la cubierta del suelo, especialmente para evaluaciones de pequeña escala (por ejemplo, plantación de palma de aceite) que requieren características finas (Morgan, 2010).

Para el presente estudio se utilizó la fotografía aérea como herramienta para analizar los cambios en la cubierta del suelo en la plantación Poligrow, en el predio Macondo en Mapiripán, Meta, Colombia. Debido a las limitaciones de tiempo y recursos, se eligió esta herramienta porque es fácil de usar, de bajo costo y alta resolución (Paine y Kiser, 2003; Stöcker *et al.*, 2017). La plantación Poligrow fue elegida como un caso de estudio debido a su paisaje agrícola particular y su diseño que integra ecosistemas naturales (e.d. sabanas naturales, bosques en galería y ribera) y palmas de aceite. Por ejemplo, más de 30 % del área corresponde a ecosistemas locales como bosques en galería y sabanas naturales. Hasta ahora no se ha evaluado la estructura del paisaje para la cobertura del suelo y el monitoreo de las plantaciones. Sin embargo, los administradores de la plantación realizaron controles regulares en el terreno y reco-

pilaron datos. El análisis destacó que los ecosistemas naturales están aumentando debido a la implementación de HGP. Estos resultados muestran que las plantaciones de palma de aceite pueden contribuir a la biodiversidad y la conservación de los ecosistemas. La principal pregunta de investigación es, ¿qué propiedades estructurales del paisaje caracterizan el paisaje de la plantación de palma de aceite mejorada por la naturaleza, en un rango de diez años, en Mapiripán, Meta, Colombia?

Estado del arte

La implementación de las HGP promueve la integración de ecosistemas naturales dentro de las plantaciones de palma de aceite.

Algunas investigaciones anteriores han establecido que la integración de la naturaleza con la palma de aceite puede proporcionar varios servicios ecosistémicos, como el control de plagas (Koh, 2008a) y la polinización (Gray *et al.*, 2016), que son importantes para los sistemas agrícolas (Howe *et al.*, 2014). Del mismo modo, la integración de la naturaleza en paisajes agrícolas mejora la conectividad (Gray *et al.*, 2016), la complejidad estructural y la riqueza de especies (Lucey *et al.*, 2014; Najera y Simonetti, 2010) y aumenta la biodiversidad (Schroth *et al.*, 2004) y la heterogeneidad del hábitat (p. ej., estructuras de vegetación más variables) (Azhar *et al.*, 2013). Por ejemplo, la heterogeneidad del hábitat a nivel local y paisajístico puede mitigar la pérdida de diversidad de aves, mejorando y manteniendo sus poblaciones (Azhar *et al.*, 2011; Najera y Simonetti, 2010; Teuscher *et al.*, 2015).

La estructura del paisaje tiene consecuencias importantes para los servicios de regulación de plagas proporcionados por muchas especies con requisitos específicos de hábitat (Maas *et al.*, 2018). Del mismo modo, la complejidad del paisaje con hábitats heterogéneos aumenta la diversidad de los depredadores naturales y, al mismo tiempo, puede mejorar los servicios de regulación de plagas (Bianchi *et al.*, 2006). Nurdiansyah *et al.* (2016) mostraron que la aparición de depredadores de plagas (es decir, hormigas, aves, monos y murciélagos) se ve afectada por la vegetación que rodea las plantaciones de palma de aceite. El aumento de la complejidad estruc-

tural dentro de las plantaciones (es decir, el helecho de tierra y epífita) proporciona sitios de anidación para las aves insectívoras, que pueden controlar a los que se alimentan de hojas (Koh, 2008a; Koh 2008b). Al mismo tiempo, los bosques en los sistemas agrícolas promueven poblaciones de potenciales depredadores y polinizadores como aves, murciélagos e insectos (Maas *et al.*, 2018). En última instancia, la polinización y el control de plagas pueden producir un efecto indirecto en el rendimiento de los cultivos (e.d un aumento en estos) (Maas *et al.*, 2018; Tschardt *et al.*, 2007).

Varios estudios han examinado cómo la fauna utiliza las plantaciones de aceite de palma como corredores, hábitats, fuentes de alimentos y proveedores de refugio (p. ej. González-Olarte y Fadul-Escovar, 2014; Gray *et al.*, 2014; Pardo *et al.*, 2019; Torres, 2010). Un sistema agrícola ecológicamente diverso puede apoyar el movimiento de la vida silvestre sin afectar la producción agrícola (Höbinger *et al.*, 2012; Miccolis *et al.*, 2014).

En el área de estudio: Mapiripán, Meta, Colombia, la presencia de un león de montaña (*Puma concolor*) se atribuyó a las prácticas de manejo para plantaciones sostenibles de palma de aceite, siendo el primer registro de un evento de depredación en un cultivo en la región (González-Olarte y Fadul-Escovar, 2014). En la misma línea, Pardo-Vargas y Payán-Garrido (2015) mostraron que las especies encontradas en las plantaciones de palma de aceite eran similares a las típicas del ecosistema de la sabana (dominado por vegetación herbácea continua).

Implementación de las herramientas de gestión del paisaje en la plantación Poligrow

La Figura 1 muestra ejemplos de las HGP implementadas en la plantación Poligrow, en el predio Macondo. Estas incluyen áreas de amortiguación, cercas vivas, cobertura del suelo, aplicación de compost, plantas nectaríferas y mantenimiento de bosques. Las áreas de amortiguamiento, con áreas abiertas con poca vegetación, controlan la posible contaminación del cultivo (Borin *et al.*, 2010). Las cercas vivas plantadas con especies nativas y exóticas separan las palmas de aceite de los ecosistemas

naturales. Estas pueden controlar la contaminación y actuar como un sumidero de carbono (Borin *et al.*, 2010). La aplicación de cobertura del suelo y compost agrega material orgánico y fija el nitrógeno al suelo, evita la pérdida de nutrientes y promueve la formación del suelo (Cenipalma *et al.*, 2017). Las plantas nectaríferas generalmente se siembran a lo largo de la carretera, la *Urena lobata* y *Senna reticulata* albergan varios tipos de insectos y arácnidos que controlan las poblaciones de plagas (Cenipalma *et al.*, 2017). El mantenimiento de los bosques y los ecosistemas naturales son importantes para albergar flora y fauna nativas que a su vez proporcionan otros servicios ecosistémicos (p. ej. Nurdiansyah *et al.*, 2016).

Los ecosistemas naturales están integrados dentro del diseño de la plantación, además, es posible observar que estos se extienden alrededor de la misma (Figura 2). Hay que tener en cuenta que la forma de las áreas de palma de aceite no es simétrica y sigue la forma de los ecosistemas naturales, por ejemplo, los bosques en galería y los humedales (Figura 3). La distribución de los ecosistemas locales promueve la dispersión de los servicios ecosistémicos en toda la plantación y proporciona hábitat y fuentes de alimentos para la fauna local (Bianchi *et al.*, 2006; Pardo-Vargas y Payán-Garrido, 2015). En las Figuras 2 y 3 es posible observar cómo en el predio Macondo se han implementado las HGP. Al ponerlo en práctica, la plantación está cumpliendo con los requisitos de los sistemas de certificación y aprovechando los beneficios ecológicos, por ejemplo, el control de plagas.

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente estudio de caso se desarrolla en la plantación Poligrow en el predio Macondo (5.853 ha). Esta se encuentra situada en la sabana de las tierras bajas orientales de Colombia, en Mapiripán, Meta, a altitudes de entre 163 y 226 m s. n. m. (Figura 4).

La plantación Poligrow, en el predio Macondo, consiste en palma de aceite y hábitats naturales típicos de la vegetación de las tierras bajas del este, como bosques en galería asociados con los cuerpos de agua cercanos, vegetación secundaria o de transición y

Figura 1. Ejemplos de estrategias de herramientas de gestión del paisaje: a. áreas de amortiguamiento entre hábitats naturales y palma de aceite; b. cercas vivas; c. y d. cobertura del suelo; e. aplicación de compost; f. planta nectarífera (*Senna reticulata*); g. planta nectarífera (*Urena lobata*); h) bosques. Fuente: foto 1: Santiago Chiquito (2019); fotos a, b, c, d, e, f, g, h: Adriana M. Gómez M. (2019)



Figura 2. Ecosistemas naturales dentro de los cultivos de palma de aceite en la plantación Poligrow en el predio Macondo

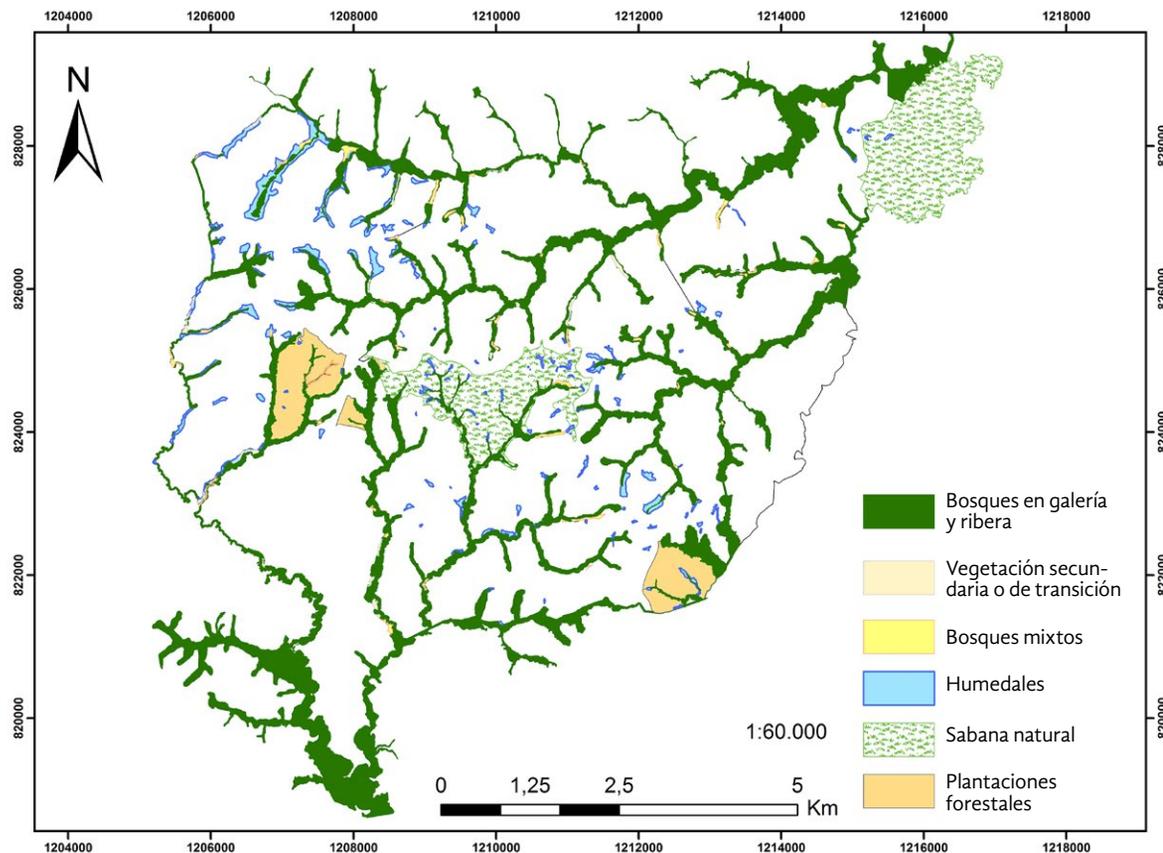


Figura 3. Ejemplos de la forma de los lotes dentro de la plantación Poligrow en el predio Macondo. Foto: Santiago Chiquito (2019)



sabanas naturales (Rodríguez, 2010). El área donde se encuentra la plantación ha sufrido varios cambios de uso y cobertura del suelo, desde la producción de cultivos y ganado hasta la palma de aceite en la actualidad (Mejía-Buitrago, 2016). Las coberturas de tierra presentes en la plantación consisten en cultivos de palma de aceite (plantados en 2009, 2010, 2011 y 2012), bosques mixtos, bosques en galería y ribera, producción de madera, vegetación secundaria o de transición, cuerpos de agua, pastizales naturales, espacios abiertos con poca o ninguna vegetación y áreas industriales (Figura 5).

Compilación de los mapas de cobertura del suelo 2009 y 2019

El mapa de la cobertura del suelo del archivo inicial de ArcGIS 2009 entregado por la plantación Poligrow representa el material de planificación oficial del estado del arte en 2009. Este se realizó utilizando ArcGIS conforme la metodología CORINE de cobertura del suelo (Ardila y García, 2010) para utilizar una nomenclatura estandarizada.

El mapa de la cobertura del suelo presenta todos los tipos de vegetación en el área de estudio: plantaciones

Figura 4. Área de estudio que muestra el municipio de Mapiripán en la zona este de Colombia.

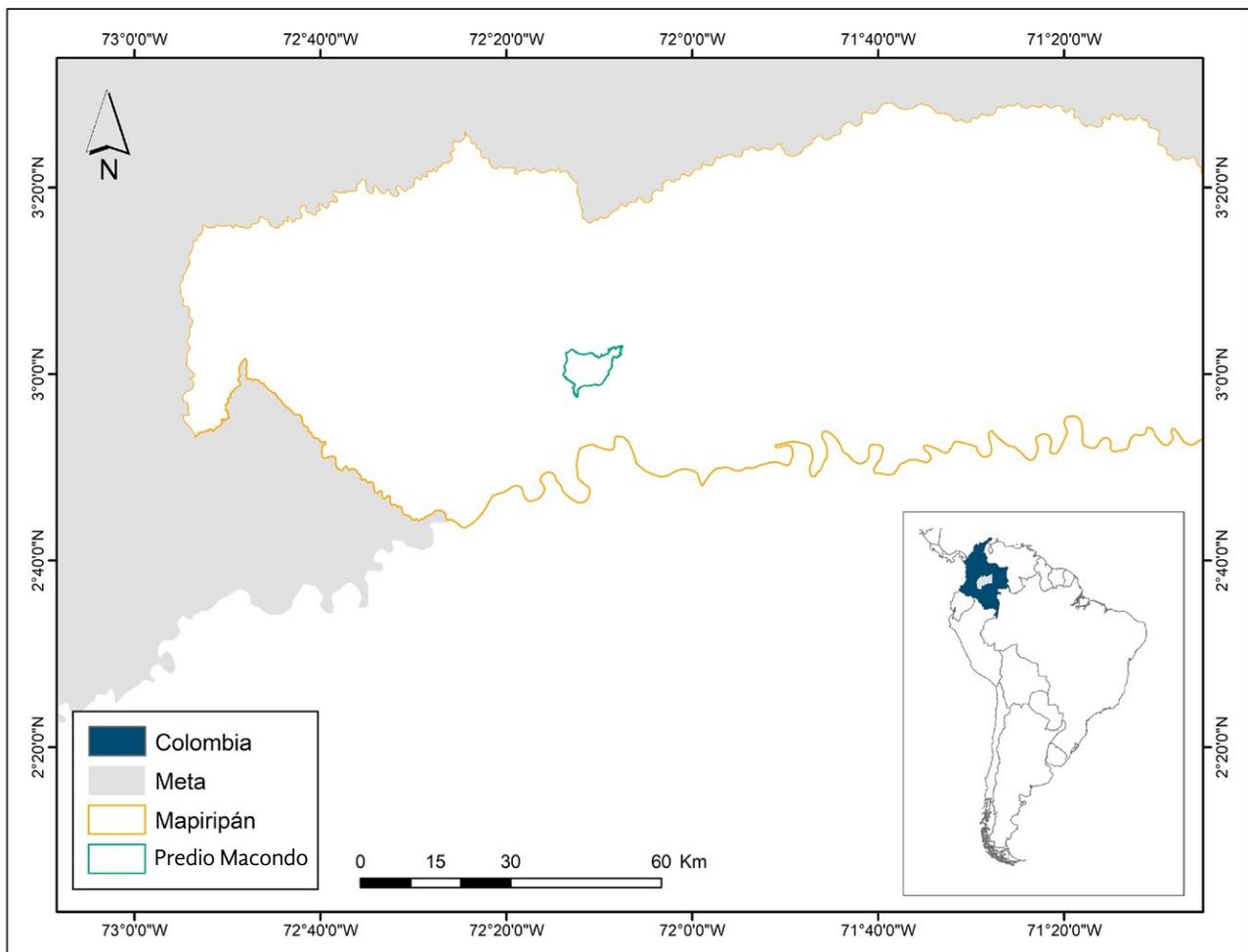
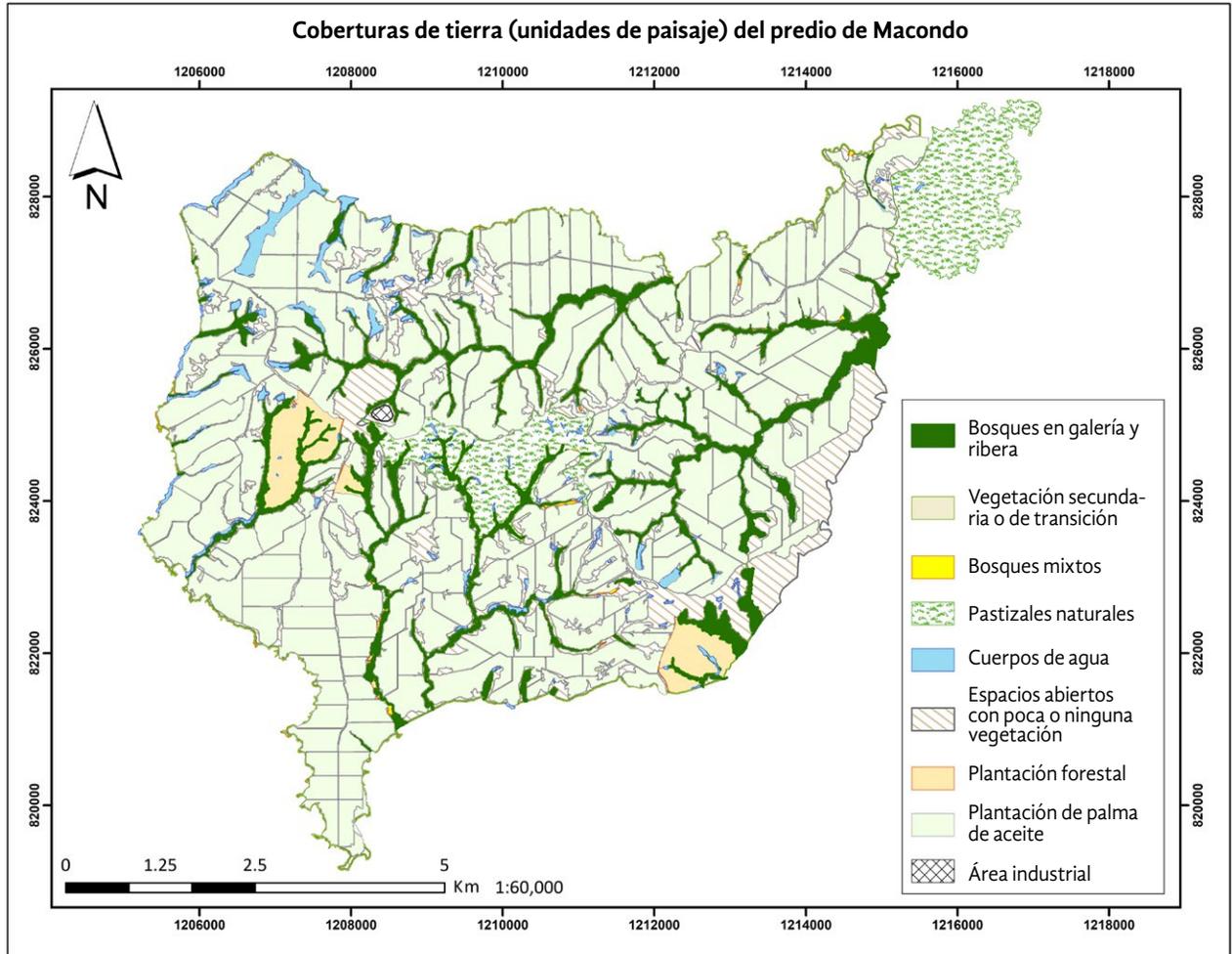


Figura 5. Mapa del predio Macondo que muestra las diferentes coberturas del suelo



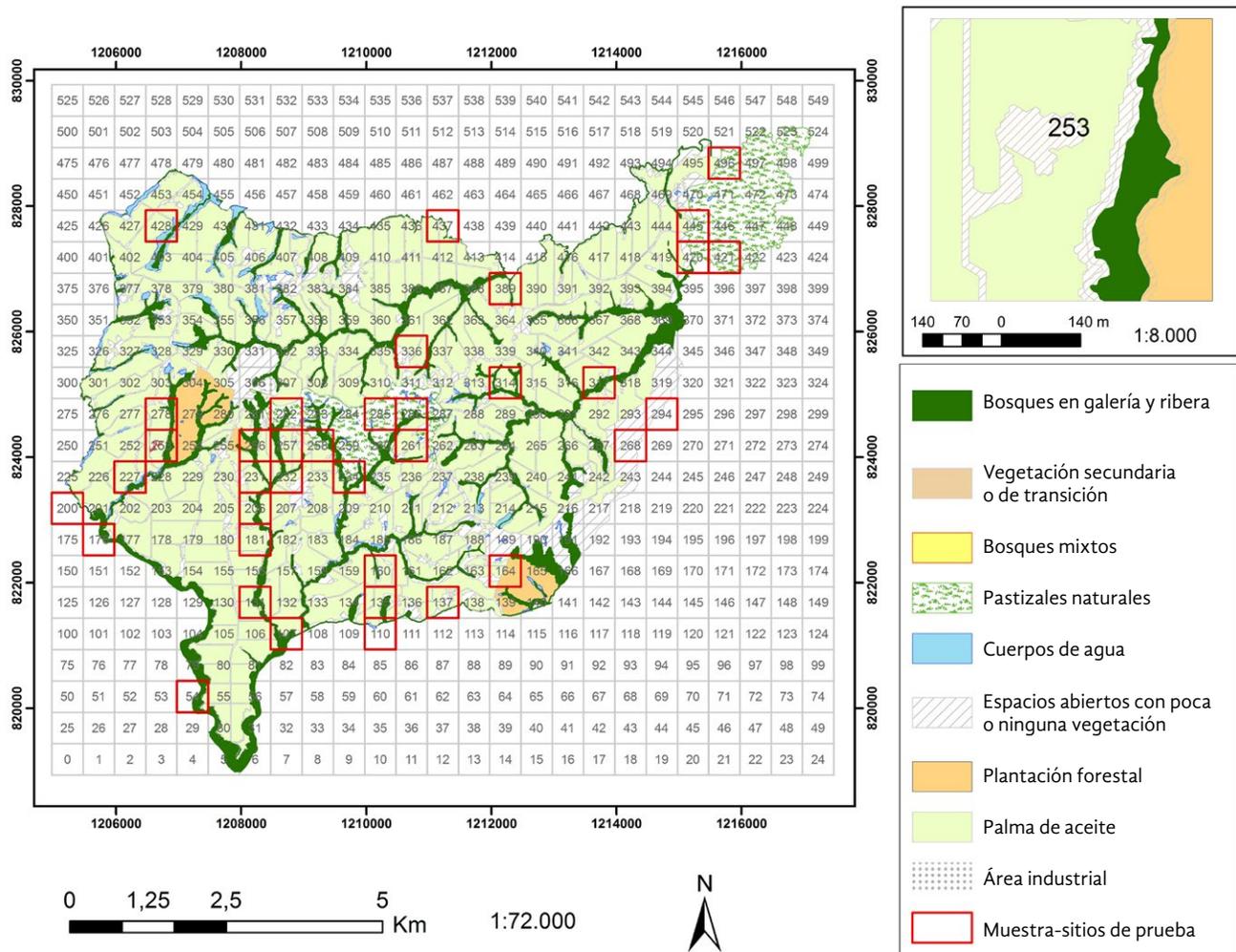
de palma de aceite, bosques mixtos, bosques en galería y ribera, producción de madera, vegetación secundaria o de transición, cuerpos de agua, pastizales naturales, espacios abiertos con poca o ninguna vegetación y áreas industriales.

Se dividió el mapa de cobertura del suelo en una celda de cuadrícula de ráster (500 x 500 metros) para seleccionar los sitios de muestra con el fin de tomar fotografías aéreas en la plantación. En segundo lugar, se calcularon las siguientes métricas del paisaje utilizando V-LATE (Lang y Tiede 2003) en ArcGIS Versión 10.6: proximidad, densidad de bordes, borde total, borde medio del parche, diversidad de Shannon, uniformidad y dominancia de Shannon. Se compro-

bó la intercorrelación lineal de todas las métricas y se eliminaron las variables con valores R superiores a $\pm 0,5$ para evitar la intercorrelación. En tercer lugar, se calculó un análisis de conglomerados de *k-means* utilizando R y el paquete Vegan versión 2.5-6. El análisis de conglomerados dio como resultado 9 grupos o conglomerados (en adelante, tipos estructurales de paisaje (TEP)). En cuarto lugar, se seleccionaron aleatoriamente 4 cuadrados por tipo estructural de paisaje. La selección dio como resultado 36 sitios de prueba (Figura 6).

Las fotografías aéreas se adquirieron mediante la recopilación de imágenes de los UAS para, primero, actualizar y verificar la cobertura del suelo; segundo,

Figura 6. Distribución de los 36 sitios de prueba en el predio Macondo



corroborar la información de los mapas de cobertura del suelo (2009) y la situación actual (2019) y, tercero, evaluar el cambio de la cobertura del suelo. Como UAS se utilizó un dron DJI, Mavic Pro 2 con cámara de 20 mpx, RGB. Por último, se tomaron más de 10.800 fotografías aéreas a una altura de 100 metros para crear una ortofotografía digital de cada lugar de prueba. Luego, la autora principal las interpretó a escala de 1:1.000, ya que tenía experiencia y conocimiento del área. Para cada celda de cuadrícula se midieron las áreas de los tipos de vegetación. Estas me-

diciones se transformaron en áreas proporcionales comparando la cobertura del suelo en 2009 y 2019.

Resultados

Para ello, se subieron las fotografías aéreas a la plataforma DroneDeploy para crear 36 ortofotomosaicos (Figura 7). Los sitios de prueba resultantes representaron 900 ha del área total de la plantación.

Los resultados mostraron un fuerte aumento en los bosques en galería y ribera (de 6,19 % a 15,49 %) y

la vegetación secundaria o de transición (de 11,37 % a 15,20 %), durante la última década. En las conclusiones se observó una importante disminución en el área proporcional entre 2009 y 2019 en producción de madera (de 3,08 % a 0,91 %), pastizales naturales (de 16,60 % a 8,98 %) y espacios abiertos con poca o ninguna vegetación (de 18,35 % a 11,75 %), mientras que bosques en galería y ribera, vegetación secundaria o de transición y plantación de palma de aceite aumentaron en el área (Figura 8).

La Tabla 1 representa el cambio en la cobertura del suelo durante la última década. Las clases de cobertura del suelo en 2009 están en las columnas y las de 2019 en las filas. La disminución en el área de cobertura proporcional del suelo revela que: (i) alrededor de 13 ha de plantación de madera se han convertido en vegetación secundaria o de transición; (ii) alrededor de 21 ha de pastizales naturales se han convertido en bosques en galería y ribera, 11 ha en espacios abiertos y 40 ha en vegetación secundaria o de transición; (iii) alrededor de 26 ha de espacios abiertos se han convertido en bosques

en galería y ribera, 56 ha en plantaciones de palma de aceite y 61 ha en vegetación secundaria o de transición; (iv) alrededor de 52 hectáreas de vegetación secundaria o de transición se han convertido en bosques en galería y ribera y 32 ha en espacios abiertos con poca o ninguna vegetación (Tabla 1).

El cambio más notable en la cobertura del suelo durante la última década es el aumento en el área de bosques en galería y ribera (de 6,19 % a 15,49 %) a lo largo de los cuadrados de la muestra (Figura 9).

Discusión

La plantación Poligrow, en el predio Macondo, ha implementado las HGP durante más de una década, lo que ha ayudado a conservar, restaurar y mantener los ecosistemas locales. Los resultados muestran que los ecosistemas naturales como los bosques en galería y ribera han aumentado, lo que puede impulsar los servicios ecosistémicos. Estos

Figura 7. Mapa del predio Macondo que muestra el cambio de cobertura del suelo entre 2009 y 2019 y la ortofotografía de un cuadrado de muestra

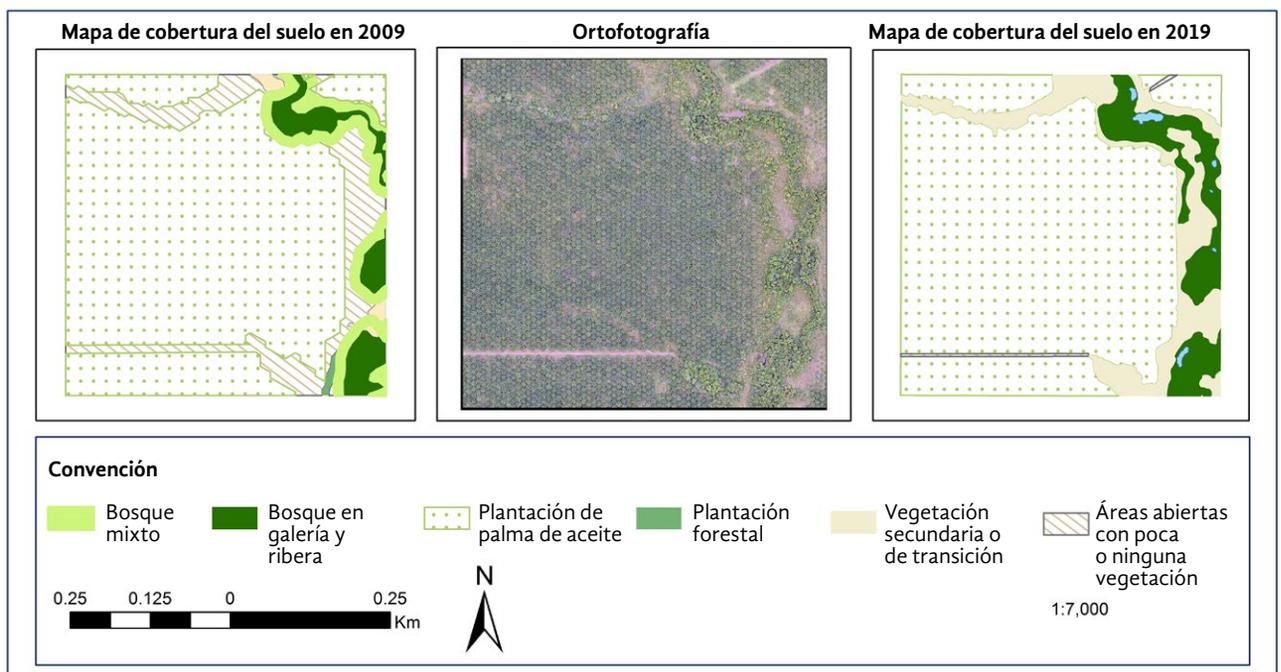


Figura 8. Cambios en las áreas proporcionales de las coberturas del suelo en la plantación (2009-2019)

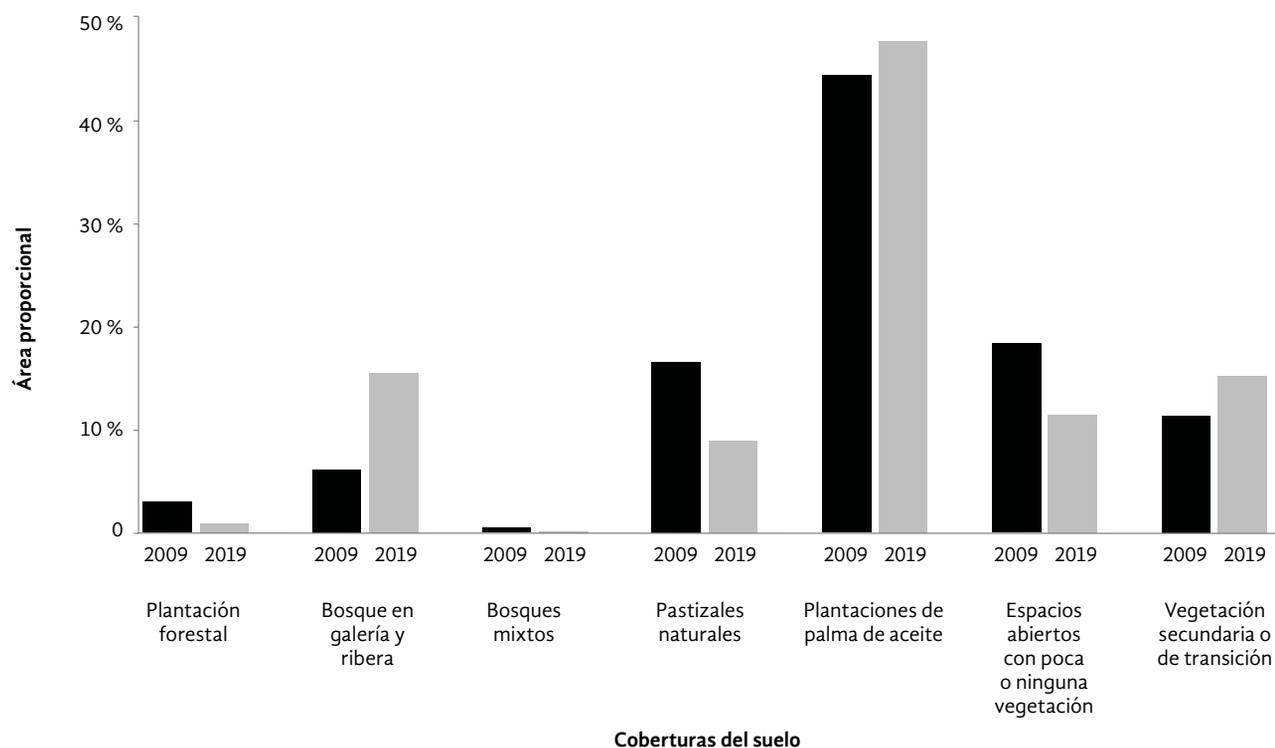
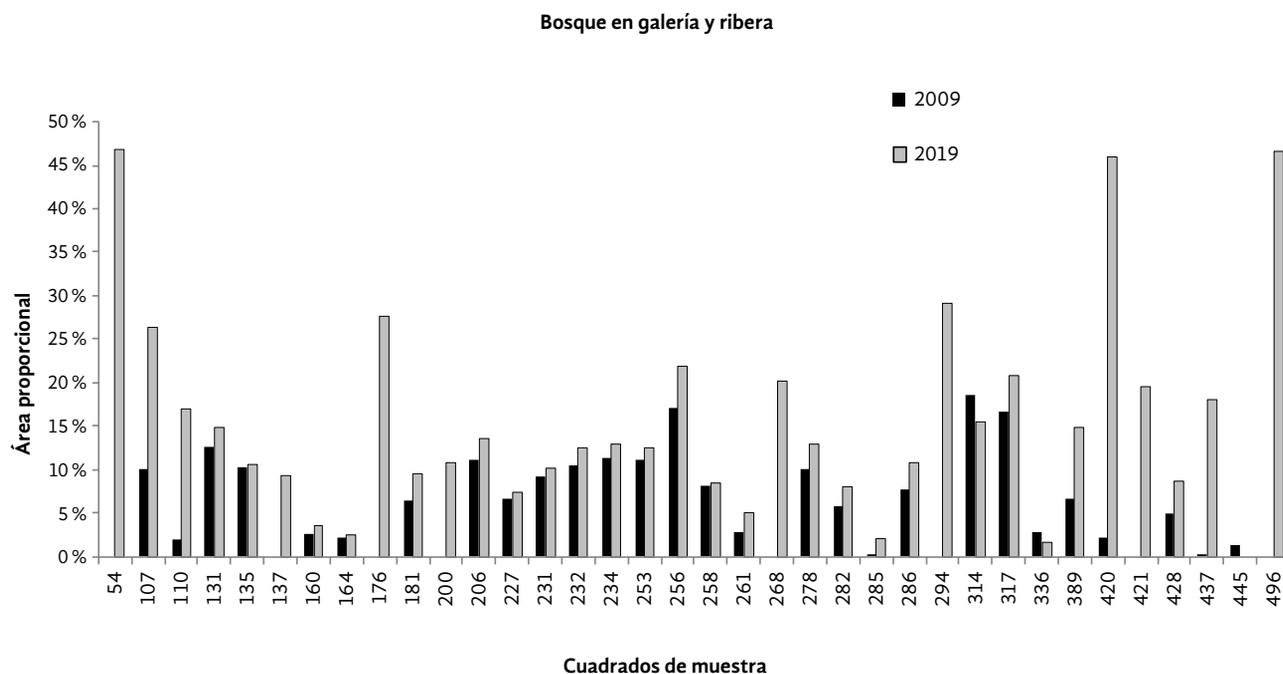


Tabla 1. Matriz de cambio de uso del suelo que compara el cambio de cobertura del suelo entre 2009 y 2019

2019	2009							Gran total
	Producción de madera	Bosque en galería y ribera	Bosques mixtos	Pastizales naturales	Plantación de palma de aceite	Espacios abiertos con poca o ninguna vegetación	Vegetación secundaria o de transición	
Producción de madera	7,30	0,19	0,00	0,16	0,02	0,73		8,39
Bosque en galería y ribera	1,24	44,44	1,40	21,02	0,69	26,32	51,57	146,70
Bosques mixtos		0,04	0,03	0,06	0,06	0,51		0,68
Pastizales naturales		0,19		75,23	0,35	5,62	0,32	81,71
Plantación de palma de aceite	2,08	1,71	0,13	1,42	365,94	55,72	7,65	434,65
Espacios abiertos con poca o ninguna veg.	3,98	0,10		10,68	4,77	14,87	32,32	66,73
Vegetación secundaria o de transición	13,15	8,77	2,41	39,47	5,23	61,31	10,19	140,52
Gran total	27,75	55,43	3,97	148,04	377,06	165,09	102,05	879,39

Figura 9. Comparación del área proporcional de un tipo de vegetación (bosques en galería y ribera) entre 2009 y 2019



servicios pueden beneficiar a la plantación misma a través de la polinización, la formación del suelo y el control de plagas, como lo muestra Qiu (2019). El diseño de la plantación ha cambiado a lo largo de los años debido a la implementación de las HGP, lo que diversifica los tipos y tamaños de los lotes de palma de aceite (es decir, vegetación natural y palmas de aceite) como lo muestran Azhar *et al.* (2015). Este diseño proporciona varios hábitats y fuentes de alimento para la fauna local, mejorando la conectividad del paisaje y el movimiento de los animales (p. ej. Bennett, 1999). Las HGP van de la mano con las estrategias de gestión del paisaje de ahorro y reparto de tierras (e.d *land sparing*, *land sharing*) que también se implementan en la plantación Poligrow. Estas estrategias construyeron un paisaje agrícola resiliente para la fauna y la flora locales, la provisión de servicios ecosistémicos y para atender a cualquier desastre natural y al cambio climático (Agrawal *et al.*, 2014).

Implementación de herramientas de gestión del paisaje

La implementación de las HGP y el reparto y el ahorro de tierras (e.d *land sharing*, *land sparing*) como estrategias de gestión de tierras agrícolas tiene como objetivo equilibrar la producción y la conservación de la biodiversidad. Esto corresponde a su mantenimiento y mejora junto con la producción de aceite de palma (Espinosa *et al.*, 2018), como se muestra en los resultados con el aumento en las áreas de bosques en galería y ribera, y de vegetación secundaria. Entonces, es posible argumentar que la implementación de las HGP ofrece una oportunidad para que los proyectos de palma de aceite consideren una matriz heterogénea (e. d el reparto de tierras y los enfoques de ahorro de tierras). De igual forma, estas podrían mejorar la situación actual de las áreas tropicales de extrema fragmentación, la pérdida de biodiversidad y, al mismo tiempo, la necesidad de producción agrícola (Perfecto y Vandermeer, 2010).

Cabe mencionar que hoy en día en Colombia, la expansión de la palma de aceite se ha producido principalmente en pastos en ecosistemas anteriormente alterados en lugar de tierras boscosas (Etter *et al.*, 2013). Estos suelos ofrecen una oportunidad para mejorar las condiciones del ecosistema y la producción agrícola, por lo tanto, las plantaciones sostenibles de palma de aceite con las HGP como la cobertura del suelo, la reforestación y los corredores biológicos contribuyen a la conectividad del paisaje y al aumento de los servicios ecosistémicos (p. ej. Azhar *et al.*, 2013; Pardo *et al.*, 2019). Como se muestra aquí, la plantación Poligrow ha planeado cuidadosamente la implementación de estas herramientas. Esto ha afectado el aumento del área proporcional de los ecosistemas naturales como los bosques en galería y ribera y la vegetación secundaria o de transición. El cambio en la cobertura del suelo podría afectar positivamente la riqueza de las especies y el movimiento de la vida silvestre sin afectar el rendimiento de los cultivos (Höbinger *et al.*, 2012). El aumento en el área de bosques en galería y ribera es significativo porque son “ecosistemas ricos en especies en la interfaz entre los pastizales por un lado, y los arroyos, ríos y humedales por el otro [...] [destacando] la importancia de mantener las prácticas de uso de la tierra” (Veneklaas *et al.*, 2005; 247) que apoyan la funcionalidad, morfología y biodiversidad (Veneklaas *et al.*, 2005) de estos bosques en el área de estudio. Las plantaciones de palma de aceite como Poligrow desempeñan un papel importante en el paisaje a nivel regional, lo que permite el movimiento de especies y la conexión de parches forestales (Meijaard *et al.*, 2018).

El área entre los bosques y la palma de aceite está de alguna manera “abandonada”, sin ninguna intervención o manejo. Estas áreas abandonadas son una oportunidad para la vegetación sucesiva y la restauración pasiva que ayuda a rehabilitar la vegetación anterior (Atkinson y Bonser, 2020; Cramer *et al.*, 2008), en este caso, los bosques en galería y ribera. Es posible que la vegetación sea reemplazada en el corto plazo (Lepš, 1987); también podría explicar el aumento del área en bosques en galería y ribera. El crecimiento del área de vegetación secundaria o de transición genera ecotonos en la plantación. Estos son zonas de transición entre

ecosistemas (Fortin *et al.*, 2000). Estos son componentes importantes del paisaje porque tienen una gran influencia en su estructura y función (Fagan *et al.*, 2003; Fortin *et al.*, 2000). En los sistemas agrícolas, los ecotonos proporcionan heterogeneidad y mejoran la biodiversidad local de los organismos beneficiosos (Duelli, 1997).

Por último, es importante tener en cuenta factores vitales como los mapas de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) para visualizar la frontera agrícola y la aptitud del suelo para la palma de aceite, con el fin de tomar decisiones sobre la expansión agrícola, el cambio de uso de tierras y vegetación, y gestionar y planificar el uso del suelo.

El uso de UAS para evaluar el cambio de cobertura del suelo

El uso de UAS para analizar el paisaje es una herramienta esencial para monitorear los cambios en la cobertura del suelo, así como los recursos y la gestión de las plantaciones. Las ortofotografías proporcionan información relevante sobre la estructura horizontal y el cambio de la cubierta del suelo durante la última década. Además, la fotografía aérea es un método barato y rápido para realizar verificaciones terrestres “en tiempo real” y generar ortofotografías detalladas y de alta resolución. Para el presente estudio, el método basado en tierra se vio restringido por la accesibilidad, el tiempo y las limitaciones de recursos. Los resultados sugieren que la fotografía aérea proporcionó la información necesaria para analizar el paisaje a pesar de las limitaciones.

Conclusión

De acuerdo con los resultados, la implementación de herramientas de gestión del paisaje juega un papel importante para mejorar el desarrollo de las plantaciones de palma de aceite y mantener o mejorar los ecosistemas naturales y la diversidad local.

Este estudio destaca la importancia de incorporar el uso de UAS y el análisis del cambio de la cubierta del suelo a lo largo del tiempo. Esto ofrece información crucial sobre el manejo de las plantaciones y cualquier cambio en la vegetación.

Las variaciones generales en el paisaje muestran una tendencia a aumentar en el área de los ecosistemas naturales (e. d. bosques en galería y ribera y vegetación secundaria o de transición) que reemplazan los pastizales naturales y los espacios abiertos con poca o ninguna vegetación.

Se necesita más investigación para tener una mayor consistencia en la interpretación de los mapas. Por ejemplo, utilizando la nomenclatura de la cubierta del suelo CORINE, las mismas escalas y siguiendo un método determinado para monitorear el cambio de la cubierta del suelo.

Declaración de divulgación

Los datos utilizados en este estudio pertenecen por completo a la empresa y fueron proporcionados a la primera autora por sus representantes con fines de investigación. La primera autora trabajó previamente en la compañía antes de este estudio de investigación. Otros autores que participan en este artículo confirman que “no hay conflicto de intereses” relevante para el tema de este manuscrito.

Terminología

Métricas del paisaje: unidades de medida de la composición y configuración del paisaje en el tiempo. Estas métricas permiten determinar si los patrones espaciales han cambiado con el tiempo o si los paisajes presentan patrones diferentes o similares (Turner *et al.*, 2001)

Conglomerados de *k-means*: es un algoritmo para encontrar la agrupación óptima de los datos (Bryan, 2006; Celebi *et al.*, 2013).

Unmanned Aerial Systems (UAS): los sistemas aéreos no tripulados (en español), son herramientas electrónicas para la toma de fotografías aéreas. En este caso, se usó un dron de la marca DJI, para realizar las fotografías aéreas de la plantación.

Reconocimientos

Esta investigación fue apoyada por el DAAD (Deutsche Akademische Austauschdienst) y la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma). Agradecemos a Poligrow Colombia S. A. S. por su ayuda y apoyo durante la investigación.

Referencias

- Agrawal, A., Wollenberg, E. & Persha, L. (2014). Governing Agriculture-Forest Landscapes to Achieve Climate Change Mitigation. *Global Environmental Change*, 29, 270-280. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2014.10.001
- Ardila, N. J. M. & García, U. G. M. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia: Escala 1: 100.000*. IDEAM.
- Atkinson, J. & Bonser, S. P. (2020). “Active” and “Passive” Ecological Restoration Strategies in Meta-Analysis. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/rec.13229>
- Azhar, B., Lindenmayer, D. B., Wood, J., Fischer, J., Manning, A., McElhinny, C. & Zakaria, M. (2011). The Conservation Value of Oil Palm Plantation Estates, Smallholdings and Logged Peat Swamp Forest For Birds. *Forest Ecology and Management*, 262(12), 2306-2315. doi: 10.1016/j.foreco.2011.08.026
- Azhar, B., Lindenmayer, D. B., Wood, J., Fischer, J., Manning, A., McElhinny, C. & Zakaria, M. (2013). The Influence of Agricultural System, Stand Structural Complexity and Landscape Context on Foraging Birds in Oil Palm Landscapes. *Ibis*, 155(2), 297-312. doi: 10.1111/ibi.12025

- Azhar, B., Saadun, N., Puan, C. L., Kamarudin, N., Aziz, N., Nurhidayu, S. & Fischer, J. (2015). Promoting Landscape Heterogeneity to Improve the Biodiversity Benefits of Certified Palm Oil Production: Evidence From Peninsular Malaysia. *Global Ecology and Conservation*, 3, 553-561. doi: 10.1016/j.gecco.2015.02.009
- Bastidas Pérez, S. (2013). Híbrido OxG Corpoica Elmira de palma de aceite, avances en el desarrollo de materiales genéticos resistentes a la PC. *Revista Palmas*, 34(2), 135-141.
- Bennett, A. F. (1999). *Linkages in the Landscape: The Role Of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation*. Iucn.
- Bianchi, F. J. J. A., Booij, C. J. H. & Tscharntke, T. (2006). Sustainable Pest Regulation in Agricultural Landscapes: A Review on Landscape Composition, Biodiversity and Natural Pest Control. *Proceedings: Biological Sciences*, 1595, 1715. edsjsr. doi: 10.1098/rspb.2006.3530
- Boons, F. & Mendoza, A. (2010). Constructing Sustainable Palm Oil: How Actors Define Sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 18(16), 1686-1695. doi: 10.1016/j.jclepro.2010.07.003
- Borin, M., Passoni, M., Thiene, M. & Tempesta, T. (2010). Multiple Functions of Buffer Strips in Farming Areas. *European Journal of Agronomy*, 32(1), 103-111. doi: 10.1016/j.eja.2009.05.003
- Bryan, B. A. (2006). Synergistic Techniques for Better Understanding and Classifying the Environmental Structure of Landscapes. *Environmental Management*, 37(1), 126-140. doi: 10.1007/s00267-004-0058-1
- Bryson, M., Reid, A., Ramos, F. & Sukkarieh, S. (2019). Airborne Vision-Based Mapping and Classification of Large Farmland Environments. *Journal of Field Robotics*, 27(5), 632-655. doi: 10.1002/rob.20343
- Caccetta, P., Collings, S., Devereux, A., Hingee, K., McFarlane, D., Traylen, A., Wu, X. & Zhou, Z.-S. (2016). Monitoring Land Surface and Cover in Urban and Peri-Urban Environments Using Digital Aerial Photography. *International Journal of Digital Earth*, 9(5), 457-475. a9h.
- Celebi, M. E., Kingravi, H. A. & Vela, P. A. (2013). A Comparative Study of Efficient Initialization Methods for the K-Means Clustering Algorithm. *Expert Systems with Applications*, 40(1), 200-210. doi: 10.1016/j.eswa.2012.07.021
- Cenipalma, Fedepalma & SENA. (2017). Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Centro Nacional de Aprendizaje (SENA). *Mejores prácticas agroindustriales del cultivo de la palma de aceite en Colombia*.
- Conpes 3510. (2008). *Documento Conpes 3510. Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia*. Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes), República de Colombia, Departamento Nacional de Planeación (DNP).

- Cramer, V. A., Hobbs, R. J. & Standish, R. J. (2008). What's New About Old Fields? Land Abandonment and Ecosystem Assembly. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(2), 104-112. doi: 10.1016/j.tree.2007.10.005
- DNP. (2019). Departamento Nacional de Planeación. *Plan de Desarrollo Nacional 2018-2022. Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad.*
- Duelli, P. (1997). Biodiversity Evaluation in Agricultural Landscapes: An Approach at Two Different Scales. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 62(2), 81-91. doi: 10.1016/S0167-8809(96)01143-7
- Egan, J. F. & Mortensen, D. A. (2012). A Comparison of Land-Sharing and Land-Sparing Strategies For Plant Richness Conservation in Agricultural Landscapes. *Ecological Applications*, 22(2), 459-471. doi: 10.1890/11-0206.1
- Espinosa, J. C., Gómez, R., Lozano, M. & Moreno, Y. (2018). *Una mirada al Proyecto Paisaje Palmero Biodiverso.*
- Etter, A., Castiblanco, C. & Aide, T. M. (2013). Oil Palm Plantations in Colombia: A Model of Future Expansion. *Environmental Science & Policy*, 27, 172-183. edswss.
- Fagan, W. F., Fortin, M. & Soykan, C. (2003). Integrating Edge Detection and Dynamic Modeling in Quantitative Analyses of Ecological Boundaries. *BioScience*, 53(8), 730-738. doi: 10.1641/0006-3568(2003)053[0730:IEDADM]2.0.CO;2
- Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F. G., Crist, T. O., Fuller, R. J., Sirami, C., Siriwardena, G. M. & Martin, J.-L. (2011). Functional Landscape Heterogeneity and Animal Biodiversity in Agricultural Landscapes. *Ecology Letters*, 14(2), 101-112. doi: 10.1111/j.1461-0248.2010.01559.x
- Fortin, M. J., Olson, R. J., Ferson, S., Iverson, L., Hunsaker, C., Edwards, G., Levine, D., Butera, K. & Klemas, V. (2000). Issues Related to The Detection of Boundaries. *Landscape Ecology*, 15(5), 453-466. doi: 10.1023/A:1008194205292
- Girón-Amaya, E. G., Silva Mora, A., Espinosa-Camacho, J. C., Ruíz-Delgado, J., Díaz-Florez, L. L., Castellanos-Díaz, C. A., Gil González, C. M., Uricochea Percy, D., Arteaga Gómez, J. S. & Londoño Gutiérrez, N. (2022). *Anuario estadístico 2020. Principales cifras de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia 2017-2021.* Recuperado de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/anuario/index>
- Gong, P., Biging, G. S., Lee, S. M., Mei, X., Sheng, Y., Pu, R., Xu, B., Schwarzr, K.-P. & Mostafa, M. (1999). Photo Ecometrics for Forest Inventory. *Geographic Information Sciences*, 5(1), 9-14. doi: 10.1080/10824009909480508
- González-Olarte, G. & Fadul-Escovar, T. (2014). Presencia de león montuno (*Puma concolor*) y las prácticas de conservación de su hábitat en un cultivo de palma de aceite sostenible en Mapiripán, Meta. *Revista Palmas*, 35(4), 31-37.

- Gray, C. L., Simmons, B. I., Fayle, T. M., Mann, D. J. & Slade, E. M. (2016). Are Riparian Forest Reserves Sources of Invertebrate Biodiversity Spillover and Associated Ecosystem Functions in Oil Palm Landscapes? *Biological Conservation*, 194(Supplement C), 176-183. doi: 10.1016/j.biocon.2015.12.017
- Gray, C. L., Slade, E. M., Mann, D. J. & Lewis, O. T. (2014). Do Riparian Reserves Support Dung Beetle Biodiversity and Ecosystem Services in Oil Palm-Dominated Tropical Landscapes? *Ecology & Evolution* (20457758), 4(7), 1049-1060. a9h.
- Green, R. E., Cornell, S. J., Scharlemann, J. P. W. & Balmford, A. (2005). Farming and the Fate of Wild Nature. *Science*, 307(5709), 550. doi: 10.1126/science.1106049
- Höbinger, T., Schindler, S., Wrבka, T., Seaman, B. S. & Weissenhofer, A. (2012). Impact of Oil Palm Plantations on the Structure of the Agroforestry Mosaic of La Gamba, Southern Costa Rica: Potential Implications for Biodiversity. *Agroforestry Systems*, 85(3), 367-381. edselc. doi: 10.1007/s10457-011-9425-0
- International Union for Conservation of Nature (IUCN). (2018). *Palm Oil and Biodiversity* [Resource]. IUCN. Recuperado de <https://www.iucn.org/resources/issues-brief/palm-oil-and-biodiversity>
- Khatun, R., Reza, M. I. H., Moniruzzaman, M. & Yaakob, Z. (2017). Sustainable Oil Palm Industry: The possibilities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76(Supplement C), 608-619. doi: 10.1016/j.rser.2017.03.077
- Koh, L. P. (2008a). Bird Defend Oil Palm from Herbivorous Insects. *Ecological Applications*, 18(4), 821-825. 8gh.
- Koh, L. P. (2008b). Can Oil Palm Plantations Be Made More Hospitable for Forest Butterflies and Birds? *Journal of Applied Ecology*, 45, 1002-1009. 8gh. doi: 10.1111/j.1365-2664.2008.01491.x
- Lepš, J. (1987). Vegetation Dynamics in Early Old Field Succession: A Quantitative Approach. *Vegetatio*, 72(2), 95-102. doi: 10.1007/BF00044839
- Lillesand, T., Kiefer, R. W. & Chipman, J. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons.
- Lozano-Zambrano, F. (2009). *Herramientas de manejo para la conservación de la biodiversidad en paisajes rurales* (F. Lozano-Zambrano, Ed.). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).
- Lucey, J. M., Tawatao, N., Senior, M. J. M., Chey, V. K., Benedick, S., Hamer, K. C., Woodcock, P., Newton, R. J., Bottrell, S. H. & Hill, J. K. (2014). Tropical Forest Fragments Contribute to Species Richness in Adjacent Oil Palm Plantations. *Biological Conservation*, 169(Supplement C), 268-276. doi: 10.1016/j.biocon.2013.11.014
- Maas, B., Clough, Y., Tschardtke, T. & Courchamp, F. (2018). Bats and Birds Increase Crop Yield in Tropical Agroforestry Landscapes. *Ecology Letters*, 16(12), 1480-1487. doi: 10.1111/ele.12194

- Mba, O. I., Dumont, M.-J. & Ngadi, M. (2015). Palm Oil: Processing, Characterization and Utilization in The Food Industry-A Review. *Food Bioscience*, 10(Supplement C), 26-41. doi: 10.1016/j.fbio.2015.01.003
- Meijaard, E., García-Ulloa, J., Sheil, D., Wich, S. A., Carlson, K. M., Juffe-Bignoli, D. & Brooks, T. M. (2018). *Oil Palm and Biodiversity: A Situation Analysis by the IUCN Oil Palm Task Force*. IUCN. doi: 10.2305/IUCN.CH.2018.11.en
- Mejía-Buitrago, A. (2016). *Plan de Desarrollo “La fuerza del pueblo 2016-2019.”*
- Miccolis, A., Vasconcelos, S. S., Castellani, D. C., Kato, O. R., Carvalho, W. R. D. & Silva, A. C. D. (2014). Oil Palm and Agroforestry Systems: Coupling Yields with Environmental Services, an Experiment in The Brazilian Amazon. *Embrapa Amazônia Oriental-Resumo Em Anais de Congresso (ALICE)*.
- Montes de Oca, A., Arreola, L., Flores, A., Sánchez, J. & Flores, G. (2018). *Low-Cost Multispectral Imaging System for Crop Monitoring*. doi: 10.1109/ICUAS.2018.8453426
- Morgan, P. (2010). Towards a Developmental Theory of Place Attachment. *Journal of Environmental Psychology*, 30(1), 11-22. doi: 10.1016/j.jenvp.2009.07.001
- Najera, A. & Simonetti, J. A. (2010). Can Oil Palm Plantations Become Bird Friendly? *Agroforestry Systems*, 80(2), 203-209. doi: 10.1007/s10457-010-9278-y
- Nurdiansyah, F., Denmead, L. H., Clough, Y., Wiegand, K. & Tschardtke, T. (2016). Biological Control in Indonesian Oil Palm Potentially Enhanced by Landscape Context. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 232, 141-149. doi: 10.1016/j.agee.2016.08.006
- Ocampo-Peñuela, N., García-Ulloa, J., Ghazoul, J. & Etter, A. (2018). Quantifying Impacts of Oil Palm Expansion On Colombia's Threatened Biodiversity. *Biological Conservation*, 224, 117-121. edswsc. doi: 10.1016/j.biocon.2018.05.024
- Oosterveer, P. (2015). Promoting Sustainable Palm Oil: Viewed From A Global Networks and Flows Perspective. *Journal of Cleaner Production*, 107, 146-153. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.01.019
- Paine, D. P. & Kiser, J. D. (2003). *Aerial Photography and Image Interpretation*. John Wiley & Sons.
- Pardo, L. E., Campbell, M. J., Cove, M. V., Edwards, W., Clements, G. R. & Laurance, W. F. (2019). Land Management Strategies Can Increase Oil Palm Plantation Use by Some Terrestrial Mammals in Colombia. *Scientific Reports*, 9(1), 7812. doi: 10.1038/s41598-019-44288-y
- Pardo-Vargas, L. E. & Payán-Garrido, E. (2015). Mamíferos de un agropaisaje de palma de aceite en las sabanas inundables de Orocué, Casanare, Colombia. *Biota Colombiana*, 16(1), 54-66.

- Perfecto, I. & Vandermeer, J. (2010). The Agroecological Matrix as Alternative to the Land-Sparing/Agriculture Intensification Model. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(13), 5786.
- Perfecto, I. & Vandermeer, J. (2012). Separation or Integration of Biodiversity Conservation: The Ideology Behind the “Land-Sharing” Versus “Land-Sparing” Debate. *Ecosistemas*, 21(1/2), 180-191. CABDirect.
- Qaim, M., Sibhatu, K. T., Siregar, H. & Grass, I. (2021). Environmental, Economic, and Social Consequences of the Oil Palm Boom. *Annual Review of Resource Economics*, 12(1), 321-344. doi: 10.1146/annurev-resource-110119-024922
- Qiu, J. (2019). Effects of Landscape Pattern on Pollination, Pest Control, Water Quality, Flood Regulation, and Cultural Ecosystem Services: A Literature Review and Future Research Prospects. *Current Landscape Ecology Reports*, 4(4), 113-124. doi: 10.1007/s40823-019-00045-5
- Rey, L., Gómez, P. L., Ayala, I. M., Delgado, W. & Rocha, P. J. (2004). Colecciones genéticas de palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq. y *Elaeis oleifera* (HBK) de Cenipalma: características de importancia para el sector palmicultor. *Revista Palmas*, 25(especial), 39-48.
- Rodríguez, D. A. (2010). Caracterizaciones biológicas en la Hacienda Macondo (Mapiripán, Meta). *Orinoquia*, 14, 18-27.
- Schroth, G., da Fonseca, G., Harvey, C., Gascon, C., Vasconcelos, H. & Izac, A.-M. (2004). Introduction: The Role of Agroforestry in Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes. En G. Schroth, G. A. B. da Fonseca, C. A. Harvey, C. Gascon, H. L. Vasconcelos & A.-M. N. Izac (Eds.), *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes* (pp. 1-12).
- Stöcker, C., Nex, F., Koeva, M. & Gerke, M. (2017). Quality Assessment of Combined IMU/GNSS Data for Direct Georeferencing in the Context Of UAV-Based Mapping. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W6, 355-361. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W6-355-2017
- Teuscher, M., Vorlaufer, M., Wollni, M., Brose, U., Mulyani, Y. & Clough, Y. (2015). Trade-Offs between Bird Diversity and Abundance, Yields and Revenue in Smallholder Oil Palm Plantations in Sumatra, Indonesia. *Biological Conservation*, 186, 306-318. a9h.
- Thomson, A. G., Manchester, S. J., Swetnam, R. D., Smith, G. M., Wadsworth, R. A., Petit, S., & Gerard, F. F. (2007). The Use of Digital Aerial Photography and CORINE-Derived Methodology for Monitoring Recent and Historic Changes in Land Cover Near UK Natura 2000 Sites for the BIOPRESS Project. *International Journal of Remote Sensing*, 28(23), 5397-5426. doi: 10.1080/01431160601105868
- Torres, D. A. R. (2010). Caracterizaciones biológicas en la Hacienda Macondo (Mapiripán, Meta). *Orinoquia*, 14(2 sup), 18-27.

- Tscharntke, T., Bommarco, R., Clough, Y., Crist, T. O., Kleijn, D., Rand, T. A., Tylianakis, J. M., Nouhuys, S. van & Vidal, S. (2007). Reprint of Conservation Biological Control and Enemy Diversity on a Landscape Scale. *Biological Control*, 45(2), 238-253. doi: 10.1016/S1049-9644(08)00082-0
- Turner, M. G., Gardner, R. H. & O'Neill, R. V. (2001). *Landscape Ecology in Theory and Practice*. Springer.
- Unidad de Planificación Rural (UPRA). (2018). *Metodología para la identificación general de la frontera agrícola en Colombia*.
- Veneklaas, E. J., Fajardo, A., Obregon†, S. & Lozano, J. (2005). Gallery Forest Types and their Environmental Correlates in A Colombian Savanna Landscape. *Ecography*, 28(2), 236-252. doi: 10.1111/j.0906-7590.2005.03934.x
- Vijay, V., Pimm, S. L., Jenkins, C. N. & Smith, S. J. (2016). The Impacts of Oil Palm on Recent Deforestation and Biodiversity Loss. *PLOS ONE*, 11(7), e0159668. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159668>