

Caracterización de la expansión de la palma de aceite para uso comercial en América Latina: cambio en el uso del suelo y comercialización*

Characterizing Commercial Oil Palm Expansion in Latin America: Land Use Change and Trade

CITACIÓN: Furumo, P. R., & Mitchell, T. (2017). Caracterización de la expansión de la palma de aceite para uso comercial en América Latina: cambio en el uso del suelo y comercialización (Carlos Arenas, trad.). *Palmas*, 38(2), 27-48.

PALABRAS CLAVE: cultivos de productos básicos, globalización, renta del suelo, tierras anteriormente degradadas, teledetección, flujos comerciales, Von Thünen.

KEYWORDS: Commodity crops, globalization, land rent, previously degraded lands, remote sensing, trade flows, Von Thünen.

*Artículo traducido del original Characterizing Commercial Oil Palm Expansion in Latin America: Land Use Change and Trade, publicado en la revista Environmental Research Letters No. 12 de 2017. Se publica con autorización de los autores y la revista Environmental Research Letters. Material complementario para este artículo se encuentra disponible en línea a través del enlace <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5892>.

PAUL RICHARD FURUMO

Departamento de Ciencias Ambientales. Universidad de Puerto Rico, Río Piedras
pfurumo@gmail.com

T. MITCHELL AIDE

Departamento de Biología. Universidad de Puerto Rico, Río Piedras

Resumen

La expansión de cultivos de productos básicos ha aumentado con la globalización de los sistemas de producción y la demanda de los consumidores, enlazando de esta forma sistemas socio-ecológicos distantes. Las plantaciones de palma de aceite se expanden en los trópicos para satisfacer los crecientes mercados de aceites y biocombustibles. Gran parte de esta expansión ha causado deforestación a gran escala, especialmente en Asia. En América Latina, la producción de aceite de palma se ha duplicado desde 2001 y, al parecer, la mayoría de la expansión del cultivo de palma de aceite ha tenido lugar en zonas no

forestales. A través de imágenes satelitales MODIS (resolución de 250 m), se llevó a cabo el mapeo de las actuales plantaciones de palma de aceite localizadas en América Latina. Así mismo, se determinó el uso y la cobertura del terreno (LULC, por sus siglas en inglés) utilizando imágenes en alta resolución de *Google Earth*. Adicionalmente, se compiló información de tipo comercial para determinar el flujo del aceite de palma latinoamericano, con el fin de obtener un mejor entendimiento de los factores subyacentes a la expansión del cultivo de palma de aceite en la región. Con base en una muestra de 342.034 ha de plantaciones de palma de aceite en Latinoamérica, se encontró que el 79 % de estas reemplazó tierras intervenidas anteriormente (pastos, tierras de cultivo, cultivos de banano); pastos para ganadería (56 %), principalmente. El 21 % restante proviene de áreas clasificadas como vegetación arbórea (bosques), principalmente en el Amazonas y en la región de Petén en el norte de Guatemala. Se pudo evidenciar que a pesar de que América Latina es un exportador neto de aceite de palma la mayoría de las exportaciones (70 %) permanecen en la región, siendo México el país que importa cerca de la mitad de este aceite. Así mismo, se encontró que el crecimiento del sector palmicultor puede estar siendo impulsado por factores globales, sin embargo, los resultados ambientales y económicos varían según la región (Asia y América Latina), al interior de las regiones (Perú y Colombia), y al interior de países (por ejemplo, Guatemala), lo cual sugiere que las condiciones locales son un factor de influencia. Se concluye que la tendencia actual de la expansión de la palma de aceite hacia tierras de vocación agropecuaria, guiada por programas de certificación internacional, representa una oportunidad para desarrollar el sector palmero de una manera más sostenible en América Latina.

Abstract

Commodity crop expansion has increased with the globalization of production systems and consumer demand, linking distant socio-ecological systems. Oil palm plantations are expanding in the tropics to satisfy growing oilseed and biofuel markets, and much of this expansion has caused extensive deforestation, especially in Asia. In Latin America, palm oil output has doubled since 2001, and the majority of expansion seems to be occurring on non-forested lands. We used MODIS satellite imagery (250 m resolution) to map current oil palm plantations in Latin America and determined prior land use and land cover (LULC) using high-resolution images in Google Earth. In addition, we compiled trade data to determine where Latin American palm oil flows, in order to better understand the underlying drivers of expansion in the region. Based on a sample of 342,032 ha of oil palm plantations across Latin America, we found that 79% replaced previously intervened lands (e.g. pastures, croplands, bananas), primarily cattle pastures (56%). The remaining 21% came from areas that were classified as woody vegetation (e.g. forests), most notably in the Amazon and the Petén region in northern Guatemala. Latin America is a net exporter of palm oil but the majority of palm oil exports (70%) stayed within the region, with Mexico importing about half. Growth of the oil palm sector may be driven by global factors, but environmental and economic outcomes vary between regions (i.e. Asia and Latin America), within regions (i.e. Colombia and Peru), and within single countries (i.e. Guatemala), suggesting that local conditions are influential. The present trend of oil palm expanding onto previously cleared lands, guided by roundtable certifications programs, provides an opportunity for more sustainable development of the oil palm sector in Latin America.

Introducción

La globalización ha influido profundamente la manera en la que se producen los alimentos y en los factores de cambio en el uso del suelo. A medida que las personas migran a las ciudades y sus dietas cambian, la demanda de materias primas aumenta. Así mismo,

las fuerzas del mercado global han reemplazado a la población rural como el principal factor que ejerce presión sobre los sistemas naturales (Rudel, Defries, Asner & Laurance, 2009). Los sitios de producción se encuentran separados de los lugares de consumo, lo

cual propicia la generación de sistemas humanos-naturales *teleacoplados* que se encuentran determinados por la demanda del consumidor en una región que, a su vez, afecta la producción de cultivos de otra zona (Erb, Krausman, Lucht & Haberl, 2009; Liu *et al.*, 2013). Estos suelen ser cultivos comerciales, desarrollados cada vez más en grandes plantaciones de escala industrial, cuya producción tiene como objetivo ser exportada a importantes centros urbanos en el extranjero, en vez de buscar satisfacer la demanda local (DeFries, Rudel, Uriarte & Hansen, 2010). Por esta razón, la expansión de los paisajes productivos encaminados al consumo urbano y distante ha surgido como un importante factor de la deforestación en los trópicos (DeFries *et al.*, 2013; Gibbs *et al.*, 2010).

El cultivo tropical de la palma de aceite africana (*Elaeis guineensis*) – un cultivo de semillas oleaginosas – floreció bajo el actual modelo globalizado de producción y se ha convertido en una actividad controversial y altamente publicitada entre los conservacionistas y el sector privado. Recientemente, el aceite de palma superó al de soya (Clycine max) como el aceite vegetal de mayor consumo en el mundo. Los productos de las semillas oleaginosas tienen propiedades similares y son altamente sustituibles como ingrediente en diversas cadenas de suministro, tales como las de alimentos procesados, cosméticos, detergentes y lubricantes. Los flujos comerciales de esta materia prima reflejan tendencias en la globalización: el aceite de palma representa casi el 60 % de las exportaciones mundiales de semillas oleaginosas (Carter *et al.*, 2007), cuyo volumen comercial a nivel mundial se genera aproximadamente en la mitad del área cultivada (MacDonald *et al.*, 2015).

El grueso del aumento en la producción de aceite de palma se debe a la proliferación en el área sembrada, más que a mejoras en el rendimiento de los cultivos (Carter *et al.*, 2007). La mayoría de esta expansión ha sido absorbida por tierras forestales en el Sureste de Asia – el epicentro de los cultivos de aceite de palma en el mundo. Entre 1990 y 2005, al menos 55 y 59 % de la expansión de la palma de aceite ocurrió en zonas de bosques de Malasia e Indonesia, respectivamente (Koh & Wilcove, 2008). Esto equivale a cerca de 2,7 millones de ha de bosques talados. De manera similar, el 90 % (2,8 millones de ha) de la expansión de la palma de aceite reemplazó bos-

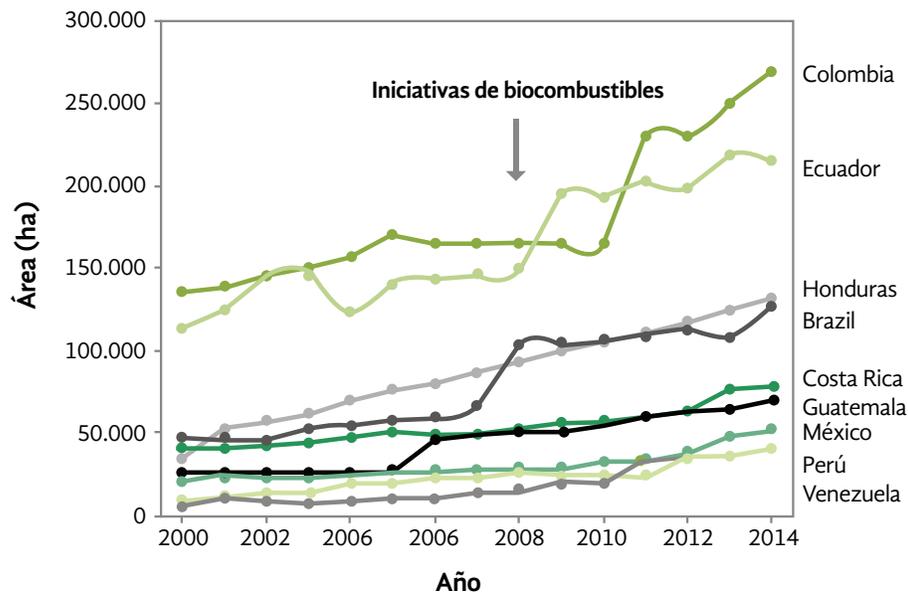
ques en la región de Kalimantan (Indonesia) entre 1990 y 2010 (Carlson *et al.*, 2012). La conversión de estas zonas de bosque a monocultivos de palma de aceite tiene grandes implicaciones para la biodiversidad (Fitzherbert *et al.*, 2008; Savilaakso *et al.*, 2004), el funcionamiento de los ecosistemas (Foster *et al.*, 2011; Barnes *et al.*, 2014) y las emisiones de carbono (Carlson *et al.*, 2012).

El crecimiento en la demanda de aceite de palma y la disponibilidad limitada de suelos en el Sureste Asiático (Greogry & Ingram, 2014) han abierto nuevas fronteras para la expansión de este cultivo. Muestra de ello es que la producción en Latinoamérica ha crecido más del doble desde 2000 (FAO, 2016), como se evidencia en la Figura 1. Entre 2001 y 2014 la producción de aceite de palma aumentó cerca de 7 % por año, mientras que el área (ha) cultivada con palma de aceite presentó incrementos anuales de 9 % (FAO, 2016). Actualmente, la región posee tres de los diez primeros países productores de aceite de palma del mundo (Colombia, Ecuador y Honduras). Así mismo, América Latina tiene las mayores reservas de bosques apropiados para la expansión del cultivo de palma de aceite, principalmente Brasil (2.283.000 km²), Perú (458.000 km²) y Colombia (417.000 km²), los cuales son hogar de gran parte de la biodiversidad y de las reservas de carbono del planeta (Butler & Laurance, 2009). Frente a este fenómeno surge la siguiente pregunta: ¿puede la expansión de la palma de aceite en América Latina llevar a la deforestación extensiva como en el caso de Asia, o pueden lograrse los beneficios económicos del sector a la vez que se mitigan los impactos ambientales? (Craven, 2011).

Algunos trabajos de investigación sugieren que la expansión de este cultivo en América Latina podría estar siguiendo una trayectoria en el uso de la tierra diferente a la de Asia. En Colombia, la expansión de la palma de aceite sumó 155.100 ha entre 2002-2008; 51 % (79.000) ocurrió sobre pastos para ganadería, mientras que solo 16 % reemplazó vegetación natural (Castiblanco, Etter & Aide, 2013). Un 30 % adicional de estas hectáreas reemplazó tierras de cultivo, lo cual sugiere que 80 % de la expansión durante este periodo se llevó a cabo sobre tierras anteriormente intervenidas, más no sobre áreas naturales. Una evaluación

Figura 1. Reciente expansión del área cultivada con palma de aceite en América Latina (2000 - 2014).

Fuente: FAO 2016.



reciente sobre la deforestación causada por la expansión de la palma de aceite a nivel mundial, estimó que tan solo el 2 % de las plantaciones de palma de aceite establecidas entre 1989 y 2013 en Centroamérica y el Caribe (Mesoamérica), ocuparon zonas de bosque (Vijay, Pimm, Jenkins & Smith, 2016). Esto es alentador, considerando el fuerte impacto ambiental que la industria ha tenido en el Sureste de Asia, y puede representar un gran paso hacia una industria sostenible, aliviando los problemas asociados con las destructivas transiciones en el uso del suelo. No obstante, por su parte, Vijay *et al.* (2016) reportan que 31 % de la expansión de la palma de aceite en Suramérica se dio en áreas de bosque. Así mismo, un detallado estudio regional en el Amazonas peruano estimó que el 72 % de la expansión de este cultivo entre 2000 y 2010 ocurrió en tierras ocupadas por bosques (Gutiérrez-Vélez *et al.*, 2011). Estos resultados sugieren que las trayectorias de cambio del uso de la tierra (LUC, por sus siglas en inglés) pueden variar considerablemente al interior de la región de Latinoamérica y el Caribe (LAC).

Si consideramos que entre 70 y 98 % de la reciente expansión del cultivo de palma de aceite en Suramérica y Mesoamérica, respectivamente, no está reemplazando bosques nativos (Vijay *et al.*, 2016), entonces ¿qué tipos de uso del suelo están siendo reemplazados? Bajo el supuesto de que la palma de aceite esté reemplazando tierras cultivables, esta situación podría

tener consecuencias de cambio indirecto en el uso de la tierra (iLUC), en tanto se estaría desplazando otros cultivos a zonas fronterizas con bosques e incrementando los precios locales de los alimentos (Meyfroidt *et al.*, 2014; Lambin & Meyfroidt, 2011). Por otro lado, puede que los productores se encuentren intensificando la producción de sus cultivos y sus ganancias al sembrar palma de aceite en pastos de ganadería de baja productividad, con impactos neutros o incluso positivos sobre la biodiversidad y el almacenamiento de carbono (Gilroy *et al.*, 2014; AvH, 2000; Sanquetta *et al.*, 2015). Por lo tanto, continúa siendo pertinente caracterizar la expansión de la palma de aceite en LAC con mayor detalle, con el fin de entender las consecuencias económicas y ecológicas del desarrollo de esta agroindustria para la región.

Para efectos de determinar qué usos de la tierra están siendo convertidos al cultivo de palma de aceite en LAC, se llevó a cabo el mapeo de las plantaciones establecidas a 2014 en la región utilizando imágenes de satélite MODIS. Además, se determinó el tipo de cobertura terrestre anterior de estas áreas a través de imágenes de alta resolución de *Google Earth* (GE). Adicionalmente, se incorporaron datos de comercialización a nivel de país, con el fin de obtener una caracterización más holística de la industria latinoamericana de la palma de aceite y determinar qué tan en línea se encuentra esta agroindustria con las tendencias de

los mercados globales de materias primas; específicamente, si la mayoría de la producción está siendo impulsada por una demanda distal de los mercados internacionales.

Métodos

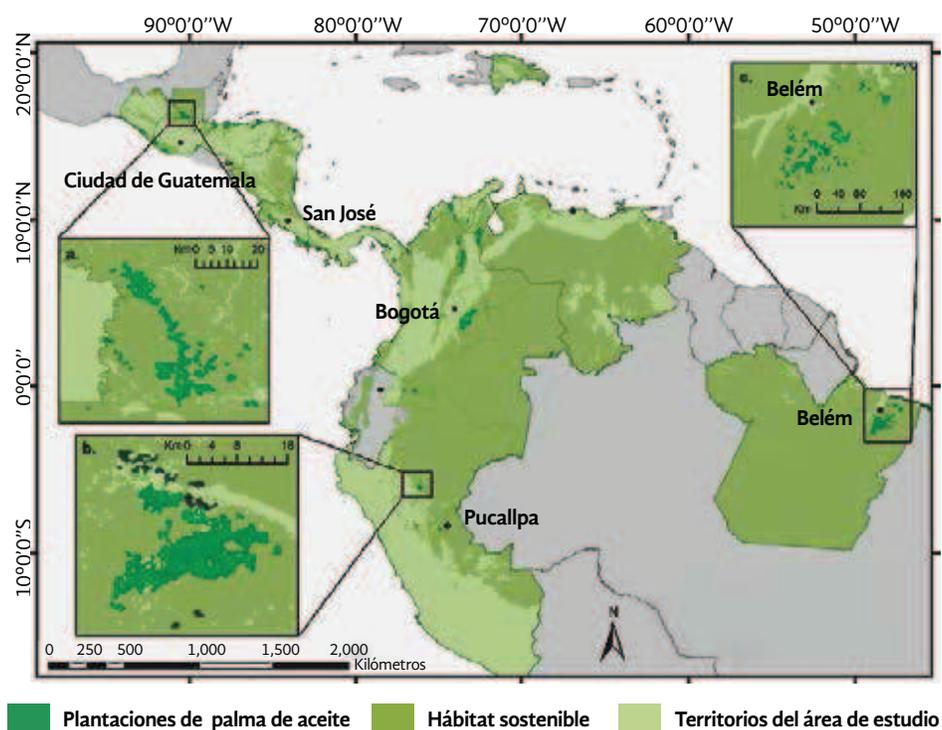
Mapeo de la palma de aceite

Se realizó el mapeo de las plantaciones de palma de aceite a lo largo de las principales regiones productoras de aceite de palma en LAC abarcando doce países, desde el sur de México a Perú (Figura 2). Para esta labor se crearon mapas anuales de uso de la tierra/cobertura de la tierra (LULC) con una resolución de 250 m, derivados de imágenes de satélite captadas por el instrumento conocido como *Espectrorradiómetro de imágenes de media resolución* (MODIS, por sus siglas en inglés). Esta información se encuentra disponible en línea sin costo alguno en el Servicio de Información del Sistema de Observación de la Tierra de la NASA (NASA, 2016). El enfoque seguido en este trabajo ha sido implementado con éxito para mapear los cambios de LULC a escala regional

e intercontinental (Clark, Aide, Grau & Riner, 2010; Alvarez-Berrios & Aide, 2015). En resumen, por medio de una aplicación basada en la web *Land Mapper*, desarrollada por *Sieve Analytics*, se integraron las fuentes de información, se crearon modelos de clasificación y se produjeron mapas sobre cambios en el uso del suelo y en las coberturas del suelo en Latinoamérica y el Caribe para 2014 (Sieve Analytics, 2016). Los polígonos de palma de aceite para 2014 ($n = 1479$) fueron exportados a GE con el objetivo de determinar el tipo de uso del suelo inmediatamente anterior a la conversión a palma de aceite.

Los polígonos de color *verde* representan plantaciones incluidas en el análisis LUC, mientras que los polígonos de color *verde oscuro* corresponden a plantaciones mapeadas en 2014 pero no incluidas en el análisis debido a la baja calidad de las imágenes de satélite. El color *verde oliva* representa áreas aptas para el cultivo de palma de aceite con base en filtros geofísicos (incluye áreas <700 m.s.n.m. y con pendiente de 12 %, así como áreas contenidas dentro de biomas secos tropicales [ver material complementario]). La capa *verde claro* representa los límites administrativos de los países incluidos en el estudio. Nótese que solo

Figura 2. Mapa de las plantaciones de palma de aceite en la región LAC para 2014 a partir de imágenes MODIS (resolución 250 m).



se incluyen los estados de Chiapas en México, Orellana y Sucumbíos en Ecuador y Pará en Brasil. Los recuadros representan áreas de alta deforestación a causa de la expansión de la palma de aceite ((a) – Petén, Guatemala; (b)– Loreto, Perú; (c) Pará, Brasil).

Por medio del software *Land Mapper* se recolectaron muestras de referencia (225.000 píxeles MODIS) a lo largo del área de estudio para entrenar el algoritmo de clasificación. *Land Mapper* superpone la cuadrícula de píxeles MODIS de 250 x 250 m con imágenes de satélite de alta resolución (VHR, por sus siglas en inglés) en la plataforma de GE. Esto permite al usuario visualizar el LULC de alta resolución a escala de píxel y crear polígonos de entrenamiento para cada clase de LULC. Adicionalmente, se recolectaron datos de entrenamiento para cada clase principal de LULC adaptados de Clark *et al.* (2010) – *banano, descubierta, construida, tierras de cultivo, vegetación herbácea, madera mixta, palma de aceite adulta, siembra de árboles, agua y vegetación boscosa* (Clark *et al.*, 2010). *Land Mapper* registra la fecha de adquisición de las imágenes de alta resolución de GE utilizadas para cada muestra de entrenamiento, con el fin de referenciar las imágenes MODIS correspondientes durante el proceso de clasificación. La información de referencia de alta resolución definida por el usuario es, por lo tanto, cotejada con las variables de series de tiempo de MODIS para el año de adquisición de la imagen.

Las variables de series de tiempo de MODIS se derivan del producto *Índices de Vegetación de 250 m MOD13Q1* (Colección 5), el cual es una compilación de 16 días (23 escenas por año) de los píxeles de mayor calidad de las imágenes capturadas a diario (NASA, 2014). Cada píxel contiene valores de datos basados en las 12 capas de datos científicos (SDS) MOD13Q1 (Didan, 2015). La clasificación propuesta en este trabajo se realizó con base en las estadísticas anuales – media, máximo, mínimo, desviación estándar, curtosis y asimetría – para diez de estas variables de serie de tiempo o capas SDS. Estas capas incluyen dos índices de vegetación (VI): Índice Normalizado de Diferencia en Vegetación (NDVI) e Índice Mejorado de Vegetación (EVI); tres bandas de referencia: roja, casi infrarroja (NIR), e infrarroja media (MIR); tres ángulos de obser-

vación: vista de ángulo cenital, ángulo de elevación solar y ángulo azimut relativo; y dos capas de evaluación de calidad (QA): calidad VI y confiabilidad del píxel. Los píxeles con un valor de confiabilidad de tres (valor = 3) fueron considerados no confiables y por lo tanto removidos antes de obtener las estadísticas.

Clasificador de selvas aleatorias

Para entrenar el algoritmo (construcción de modelos) y clasificar las imágenes, utilizamos un clasificador de selvas aleatorias (RF, por sus siglas en inglés) (Breiman, 2001), implementado en R [v. 2. 12.2; 34] (R Core Team, 2012) con el paquete *RandomForest* [v. 4.6-2; 35] (Liaw & Wiener, 2002). Este clasificador reconstruye una serie de árboles de decisión no correlacionados con base en un conjunto aleatorio de variables de predicción (las variables anuales de series de tiempo MODIS), con lo cual se evita el ajuste excesivo del conjunto de entrenamiento. Adicionalmente, se asignaron diferentes tipos de cobertura terrestre a cada píxel con base en la probabilidad RF por píxel, con el requisito de que cada uno de estos contenga al menos 60 % de probabilidad de dicha clase.

Debido a la enorme y heterogénea región de estudio, la cual abarca dos continentes y varios biomas, se desarrollaron 16 modelos específicos de clasificación del suelo. La mayoría de los modelos se diseñaron a escala país, sin embargo, los países más grandes (Colombia y Perú) requirieron múltiples modelos para capturar la variabilidad entre las diferentes zonas de producción. Los modelos se parametrizaron con 2.000 plantas de palma de aceite, un mínimo de 5 nodos terminales por planta y un número máximo ilimitado de nodos terminales. La precisión global promedio fue de 96 %, con una precisión para productores de palma de aceite y compradores de aceite de palma de 98 y 93 %, respectivamente.

Precisión del mapa

Se construyeron mapas anuales de LULC a 2014 utilizando los 16 modelos de clasificación de uso del suelo. Después de un post-proceso que eliminó detecciones menores a 50 hectáreas (ver material complementa-

rio), se evaluó manualmente la precisión de la clasificación de palma de aceite propuesta por los autores. Además, se crearon archivos en forma de polígonos de palma de aceite ($n = 2063$) en ArcGIS 10.2, los cuales fueron superpuestos a las imágenes de alta resolución de GE para inspeccionar visualmente cada polígono. Nuestra clasificación de palma de aceite en 2014 tuvo una precisión total de 93 % para la región de estudio. Del margen de error de 7 %, la mayoría (48 %) estuvo relacionada con cobertura terrestre de madera mixta – mosaicos heterogéneos de vegetación de madera con otras coberturas terrestres, pero ninguna clase superó el 40 % de cobertura de un píxel (Clark *et al.*, 2010). Posteriormente, antes de proceder con el análisis de cambio en el uso del suelo, los falsos positivos fueron removidos, excluyendo aquellos polígonos que no pudieron ser clasificados como palma de aceite.

Cambio en el uso del suelo

Utilizando los polígonos confirmados de palma de aceite restantes ($n = 1.479$), se determinó la vocación en el uso del suelo de estas áreas previo a la expansión de los cultivos de palma. Para cada polígono se analizó y estimó manualmente el porcentaje de cada clase de cobertura terrestre en la imagen más reciente de GE antes de la conversión a palma de aceite. En cuanto fue posible, se emplearon imágenes VHR para el análisis de LUC, las cuales se encontraban disponibles desde 2000 para algunas áreas. En aquellos casos en que las imágenes VHR no se encontraban disponibles, se emplearon las imágenes base de GE compuestas de mosaicos *Landsat*, lo cual limitó la especificidad temporal pero permitió caracterizar una mayor área de palma de aceite. En particular, es difícil confirmar el factor inmediato de deforestación y la cobertura terrestre anterior a la palma de aceite. Por ejemplo, áreas boscosas en las imágenes base que eventualmente se convierten en palma de aceite pueden haber tenido un uso intermedio de la tierra, lo cual pudo haber sido la causa inicial de la deforestación en determinada área. Como resultado, puede que se haya sobreestimado la conversión de vegetación boscosa a plantaciones de palma de aceite, especialmente en Suramérica, donde la calidad de las imágenes es menos consistente.

Los sitios de muestra empleados representaron al menos el 25 % del área cultivada con palma de aceite adulta para cada país a 2014 reportada por la FAO (Tabla 1) La única excepción fue Ecuador, donde solo se muestreó 7 % del área (15.475 ha) debido a imágenes satelitales de baja calidad. Las tendencias reportadas a nivel país se basan en el cambio del porcentaje para cada clase de cobertura terrestre en relación con el área de expansión de palma de aceite muestreada en 2014. Con el fin de escalar los datos a nivel país y poder llevar a cabo comparaciones interregionales entre Centro y Suramérica, nos permitimos normalizar y agregar información a nivel de país, ponderando estos datos con el área total sembrada con palma de aceite para cada país de acuerdo con datos de la FAO.

Información comercial

Con el fin de determinar los flujos económicos comerciales de la producción de aceite de palma en Latinoamérica, se realizó la consulta de bases de datos internacionales de comercio de materias primas (FAO, UN COMTRADE), con el objetivo de recopilar información sobre las importaciones y exportaciones de aceite de palma y sus fracciones para cada país estudiado durante el periodo 2001-2014. En lugar de tomar un único año de referencia, se obtuvo la suma de la producción anual, las importaciones y las exportaciones para un periodo de 14 años, con el fin de evitar anomalías en los flujos comerciales. Adicionalmente, se emplearon los totales de estos 14 años para comparar los flujos comerciales de aceite de palma al interior de la región, el volumen de aceite comercializado en LAC y fuera de la región y la cantidad comercializada entre países de LAC y el resto del mundo.

Resultados

Cambio en el uso del suelo

Para esta fase se realizó el mapeo de 538.433 ha de plantaciones de palma de aceite en LAC para 2014 (Figura 2). Nicaragua y República Dominicana fueron

excluidos del análisis LULC. En el caso de Nicaragua no se encontraron imágenes sin la presencia de nubes que permitieran llevar a cabo la clasificación de manera adecuada; en cuanto a República Dominicana, solo se detectaron 145 ha de expansión de palma de aceite, del total restante, 35 % (183.061 ha) ya habían sido establecidas como palma de aceite de acuerdo con la imagen disponible más antigua de GE, por lo que no fue posible determinar el anterior uso del suelo. En virtud de lo anterior, el análisis del cambio en el uso del suelo toma como referencia 342.032 ha de expansión del cultivo de palma de aceite en diez países de LAC (Tabla 1). Se estima que 21 % de la expansión de este cultivo se dio en zonas con vegetación boscosa, 56 % en áreas de vegetación herbácea, 18 % en zonas agrícolas, 4 % en áreas de cultivo de banano y 1 % en zonas de plantaciones de árboles (Figura 3). En otras palabras, 79 % de la expansión de la palma de aceite ha ocurrido en tierras que habían sido intervenidas con anterioridad o que se encontraban bajo la influencia de otro sistema de producción, mientras que el 21 % se desarrolló en zonas de bosque. Las zonas de vegetación herbácea

eran dominadas por pastos, pozos de agua y árboles remanentes; las áreas de humedales y sabanas naturales contribuyeron en menor medida. Es de mencionar que en los Llanos Orientales de Colombia la producción de aceite de palma ocurre principalmente en el bioma de pradera natural, aunque la mayoría de la palma de aceite detectada en esta región se asienta en el piedemonte de los Andes en el departamento de Meta, una región con una larga historia de producción ganadera y de transformación de la tierra (Etter, McAlpine & Possingham, 2008).

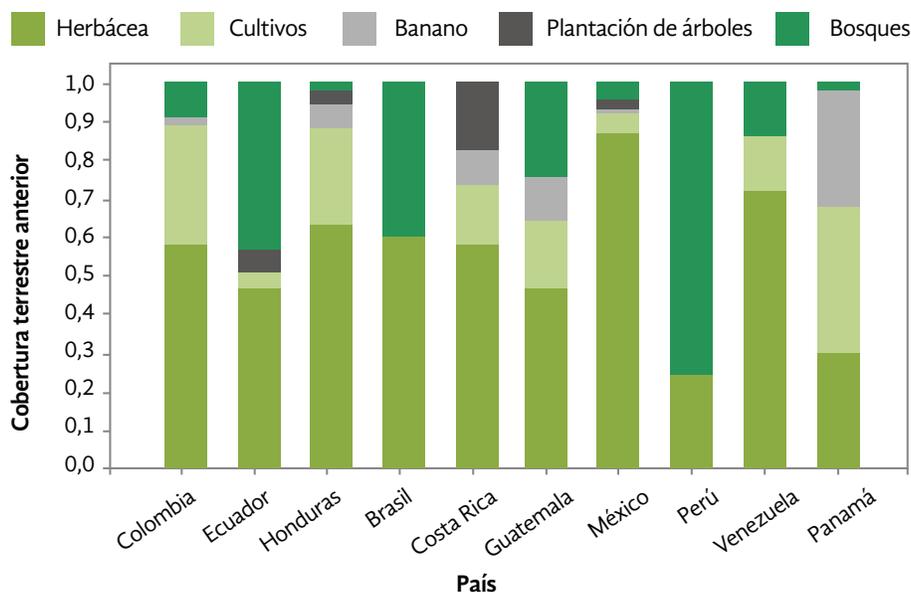
Considerar el área de estudio como dos subregiones – Centroamérica (CA) y Suramérica (SA) – permite identificar distinciones entre áreas. Es así como se llega a concluir que 52 % del área actual cultivada en CA se encontraba ya establecida al momento de consultar las imágenes más antiguas de GE, mientras que en el caso de SA la cifra era tan solo de 42 %; lo cual sugiere una tasa mayor de expansión de este cultivo en esta última región. La mayor parte de la conversión a palma de aceite en CA y SA se dio en áreas de vegetación herbácea

Tabla 1. Porcentaje mapeado del área total sembrada en cada país para 2014 (según reportes de la FAO) y expansión observada para el análisis de cambio en el uso del suelo (LUC). Valores en hectáreas (ha).

País	Área total cultivada FAO	Área mapeada	Expansión palma de aceite	% mapeado del total FAO
Colombia	270.000	233.456	144.396	86
Ecuador	214.570	15.475	3.665	7
Honduras	130.650	49.259	18.584	38
Brasil	126.559	80.190	70.923	63
Costa Rica	77.750	30.580	11.319	39
Guatemala	70.000	58.296	47.689	83
México	50.868	12.477	7.462	25
Perú	49.230	21.898	20.529	44
Venezuela	40.198	16.170	12.010	40
Rep. Dominicana	17.100	6.051	145	35
Panamá	5.510	7.792	5.455	132
Nicaragua	5.000	7.289	n/a	146
Total	1.057.435	538.433	342.032	51

Figura 3. Cambio en la cobertura del uso del suelo (LULC) debido a la expansión de palma de aceite.

La gráfica representa la proporción de cada clase de cobertura terrestre convertida a palma de aceite, como un porcentaje de la expansión total de palma de aceite mapeada en cada país. Las categorías inferiores (por debajo de 'bosques') representan la expansión de palma de aceite a tierras intervenidas con anterioridad.



cea (64 y 54 %, respectivamente) y suelos agrícolas (17 y 14 %, respectivamente). Las plantaciones de banano representaron 7 % de la expansión del cultivo de palma CA y tan solo 1 % en SA; en CA el área de cultivos de banano convertida a palma de aceite es casi el triple que en SA. La transición *banano – palma de aceite* se concentró en Guatemala (5.409 ha), Panamá (1.627 ha), Honduras (1.186 ha), Costa Rica (1.066 ha) y el departamento del Magdalena en Colombia (3.541 ha). La conversión de otros tipos de especies de cultivo (por ejemplo, eucalipto) a palma de aceite fue el camino de transición menos sobresaliente (3.720 ha en total), representando 6 % de la expansión en CA y 2 % en SA.

Pérdida de bosques

En CA, la conversión de vegetación boscosa a palma de aceite representó una trayectoria de cambio en el uso de la tierra relativamente menor, en donde solo el 6 % de la expansión del cultivo de palma de aceite reemplazó vegetación de este tipo. Esto ocurrió casi exclusivamente en Guatemala (11.573 ha o 93 % de la pérdida total de bosque detectada en CA), con la mayor parte de pérdida de bosque (10.296 ha) detectada en el departamento norteño de Petén. Por su parte, en SA, encontramos 59.848 ha de vegetación boscosa con-

vertidas a palma de aceite, lo cual es casi cinco veces la cantidad observada en CA, representando 30 % del área total convertida a palma de aceite en esta región durante el periodo de estudio. Ecuador (13 %), Brasil (7 %) y Perú (5 %) fueron los países que más contribuyeron a esta tendencia regional de deforestación, según la ponderación total del área cultivada en cada país.

A nivel país, Perú experimentó la tasa más alta de pérdida de vegetación natural a causa de la expansión de la palma de aceite (76 %), alcanzando un total de 15.685 ha. Esta fue particularmente amplia en la región de Loreto del Amazonas peruano, donde 86 % (11.884 ha) de la expansión total de este cultivo ocurrió a expensas de bosques naturales. Por otro lado, en Ecuador, debido a la pobre calidad de las imágenes, solo fue posible mapear palma de aceite en los departamentos de Sucumbíos y Orellana en la región del Amazonas ecuatoriano, donde se detectaron 15.475 ha de plantaciones de palma de aceite en 2014; 3.665 de las cuales se asociaron a conversión de los suelos, incluyendo 1.582 ha de pérdida de vegetación boscosa (43 %).

El estado de Pará, en el Amazonas brasileño, representó la mayor área de pérdida de bosque relacionada con la expansión de palma de aceite a nivel

país: se detectaron 70.923 ha de expansión de palma de aceite, de las cuales 40 % (28.405 ha) reemplazaron vegetación nativa. En Colombia, solo el 9 % (12.474 ha) de la reciente expansión del cultivo de palma reemplazó vegetación nativa. Esta se concentró en la Zona Central, específicamente en la región del Magdalena Medio y en el Catatumbo a lo largo de la frontera con Venezuela. Los departamentos de Colombia con la pérdida de vegetación más significativa durante el periodo de estudio fueron Norte de Santander (5.525 ha), Santander (2.484 ha), Cesar (1.638 ha) y Bolívar (1.283 ha).

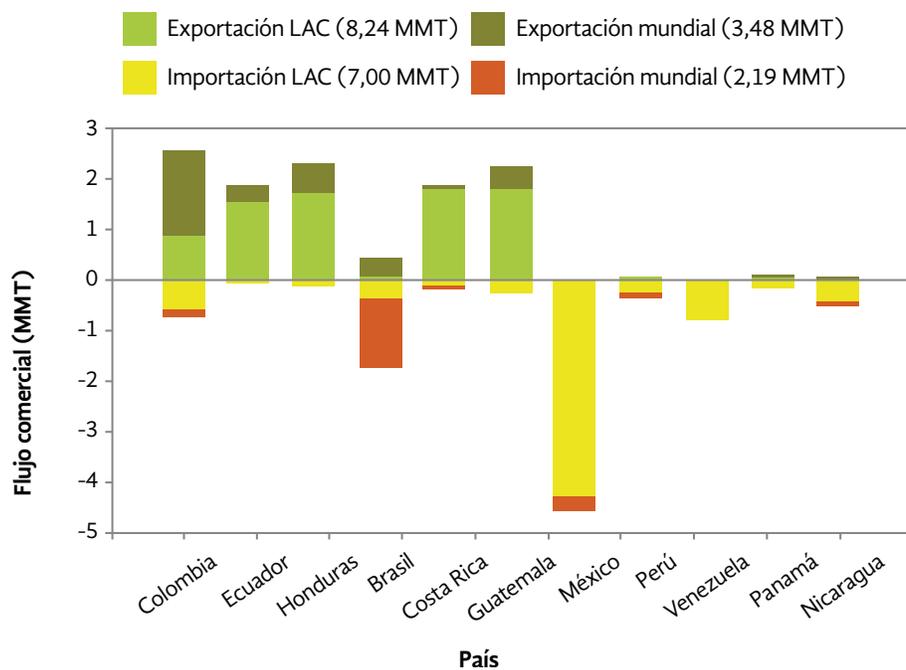
Información comercial

Entre 2001 y 2014, LAC produjo 29,95 millones de toneladas métricas (MMT) de aceite de palma. Los países productores de palma de aceite de esta región son exportadores netos de aceite de palma, pero solo ligeramente, dado que exportaron 11,84 MMT e importaron 9,28 MMT; es de anotar que la mayoría de este comercio permanece en la región. La cantidad de aceite importado proveniente de esta misma región es casi tres veces superior al volumen de importaciones provenientes del resto del mundo y se destaca que 70 % de estas exportaciones permanecieron en LAC

(Figura 4). Los países exportadores netos fueron Colombia, Ecuador, Honduras, Costa Rica, Guatemala y Panamá, mientras que los países importadores netos fueron Brasil, México, Perú, Venezuela y Nicaragua.

México fue por amplio margen el principal importador de aceite de palma de la región, con cerca de la mitad (4,54 MMT) del total de importaciones y 61 % de las importaciones al interior de la región de LAC. Por su parte, Colombia, México y Brasil fueron los principales consumidores de aceite de palma de LAC. A pesar de la tendencia hacia el comercio intrarregional, una excepción entre las naciones importadoras netas fue Brasil, el cual importó casi cinco veces más aceite de palma (1,38 MMT) de afuera de la región – principalmente Indonesia – que de los otros países de LAC; situación que ha derivado principalmente del interés por reemplazar el aceite de soya en la industria de los alimentos (César, Batalha & Zopelari, 2013). Entre los países exportadores netos una excepción fue Colombia, el cual exportó 1,62 MMT de aceite de palma a países fuera de la región durante el periodo de estudio, representando un 63 % de sus exportaciones totales. La mayoría de este aceite de palma tuvo como destino Europa, específicamente Reino Unido (37 %), Países Bajos (26 %) y Alemania

Figura 4. Flujos comerciales de palma de aceite en la región LAC (verde claro y amarillo) y el resto del mundo (verde oliva y naranja). Las exportaciones se muestran como valores positivos (parte superior), mientras que las importaciones son representadas como valores negativos (parte inferior). Los valores fueron compilados por la FAO y el UN COMTRADE durante 2001-2014 y corresponden a millones de toneladas métricas (MMT).



(22 %); de hecho, Europa fue el socio comercial externo más representativo para el sector palmero en LAC, en tanto 93 % del total de las exportaciones de palma de aceite a países externos a la región tuvieron como destino Europa. Por otra parte, la mayor parte de las exportaciones restantes (6 %) tuvieron como destinos EE.UU. y Canadá.

Discusión

Expansión en suelos anteriormente despejados

Transición pastos – palma de aceite

La expansión del cultivo de palma de aceite en América Latina está siguiendo una trayectoria de uso de la tierra diferente a la extendida deforestación asociada con la agroindustria palmera del Sureste de Asia. En nuestro análisis, cada país de LAC (excepto México) es considerado como boscoso o tiene la mitad de su territorio cubierto de bosques naturales (Harris *et al.*, 2012). A pesar de que la mayoría del área forestal es apropiada para el cultivo de palma de aceite (Butler & Laurance, 2009), los pastos para la ganadería continúan siendo la fuente más significativa de suelos para el establecimiento de nuevas plantaciones de palma de aceite en toda la región. Esta trayectoria se puede explicar parcialmente con los principios de renta de la tierra de Von Thünen, y además reflejan el legado de uso de la tierra en la región de LAC.

Latinoamérica cuenta con una amplia historia de urbanización y una densidad de población rural más baja que Asia, caracterizada por pastos de ganadería de baja productividad como el factor común de los paisajes rurales (Grau & Aide, 2008). La predominancia de la transición *pasto – palma de aceite* a lo largo del área de estudio, sugiere el importante papel que la actividad ganadera puede representar para la reconversión de suelos ante la eventual expansión de los cultivos comerciales, especialmente en América Latina (Macedo *et al.*, 2012; Geist & Lambin, 2002). La actividad ganadera ha propiciado un aumento en la renta del suelo, especialmente en zonas de fronte-

ra, por medio del desmonte de tierras para la agricultura y el favorecimiento de la accesibilidad a zonas rurales. La teoría de la renta y la oferta establece que la transición *pasto – palma de aceite* aumenta los valores de aquellas propiedades cercanas o con conectividad a los centros de comercio, lo cual favorece la expansión de actividades productivas hacia tierras con alta accesibilidad sobre una posible expansión a zonas remotas (Meyfroidt *et al.*, 2014; Walker, 2004).

Los mapas elaborados para este estudio soportan la afirmación sobre la importancia de la infraestructura y la conectividad para la agroindustria de la palma de aceite, revelando la tendencia de las plantaciones a agruparse en diferentes zonas de producción. Esto ocurre a diferentes escalas espaciales, en donde se puede encontrar desde una planta extractora individual con proveedores cercanos, hasta zonas de producción a nivel país que operan bajo condiciones climáticas y socioeconómicas completamente diferentes (Castiblanco, Etter & Ramirez, 2015). La *clusterización* de la producción se debe además al hecho de que los racimos de fruta fresca (RFF) deben procesarse dentro de las siguientes 48 horas al proceso de recolección, en aras de garantizar la calidad del aceite extraído. La aglomeración de plantaciones comerciales se refuerza aún más por factores económicos tales como la competencia, la disponibilidad de mano de obra y la transferencia de conocimiento (Garrett, Lambin & Naylor, 2013). La acumulación de estos factores beneficia a la industria al ser enlazados con el desarrollo de actividades posteriores de procesamiento (por ejemplo, construcción de plantas extractoras y refinerías) y pueden llevar a reforzar los ciclos de las economías de escala que aumentan la renta agrícola y estimulan una mayor expansión de este tipo de cultivos (Angelsen, 2007).

La extensión de la infraestructura y la ganadería pueden ser consideradas como las causas próximas de la expansión de la palma de aceite en Latinoamérica. Similarmente, estos son dos poderosos agentes de transformación de la tierra que han sido prominentes en la mayoría de los casos documentados de deforestación en la región (Geist & Lambin, 2002) y que pueden ser útiles al conceptualizar la expansión

de cultivos productivos a futuro (Macedo *et al.*, 2012). La agroindustria palmera puede haber contribuido a evitar la deforestación a gran escala en Latinoamérica simplemente porque es una actividad más factible y rentable que la crianza de ganado, o porque hace ya bastante tiempo que los extensos pastizales de vocación pecuaria deforestaron los paisajes productivos de Latinoamérica, aislando las fronteras naturales a márgenes donde la palma de aceite aún no ha penetrado.

Dado que nuestro enfoque tomó el retrato de la transición en el uso del suelo más inmediato al cultivo de la palma de aceite, reconocemos que esta limitación temporal puede ignorar dinámicas anteriores de LUC importantes para la narrativa de la expansión de la palma de aceite. En algunos casos, es posible que la vegetación herbácea que absorbe la expansión de la palma de aceite haya sido recientemente tomada de bosques, como un pretexto especulativo por establecer derechos de propiedad sobre la tierra mientras que los poseedores esperan oportunidades de inversión (Barbier, 2012). Sin embargo, la mayor parte de la cobertura herbácea clasificada en nuestro estudio corresponde a pastizales de vocación ganadera y no a suelos desmontados recientemente, lo cual concuerda con otras investigaciones en donde se señala que la crianza de ganado continúa siendo el primer factor relacionado con la deforestación en la región (De Sy *et al.*, 2015).

Transición banano – palma de aceite

La palma de aceite africana fue introducida en Latinoamérica en 1920 como cultivo comercial alternativo, con el fin de diversificar la dominante industria bananera (Umaña, 1998). Con la proliferación de *Fusarium wilt* (enfermedad de Panamá) en la primera mitad del siglo XX, el sector bananero se vio duramente afectado, por lo que otros cultivos productivos empezaron a reemplazar la siembra de este producto (Richardson, 1995). Otro de los factores que contribuyó a la transición de estos cultivos es que la producción comercial de banano y de palma de aceite requiere de una infraestructura similar. Así mismo, al igual que la palma de aceite, el sector bananero es altamente intensivo en mano de obra, por lo que la

transición de los cultivos de banano a los de palma conllevaría a una abundancia de mano de obra, reduciendo potencialmente los salarios y aumentando la renta agrícola (ver material complementario) y contribuyendo a una mayor expansión de los cultivos de palma de aceite en estas áreas (Angelsen, 2007).

Es probable que la conversión de banano a palma de aceite representara un evento más significativo en las décadas anteriores al periodo de estudio, aún más si se considera que en este trabajo estamos tan solo capturando el final de este proceso de transición. En efecto, la línea costera de Puntarenas, Costa Rica, actualmente dominada por cultivos de palma de aceite, alguna vez fue un importante centro bananero en este país para la *United Fruit Company*. En Suramérica, la transición banano – palma de aceite solo fue detallada para la Zona Bananera del municipio de Magdalena en Colombia, en la cual actualmente predomina el cultivo de palma de aceite. Para el caso específico de esta región, el aceite de palma se ha vuelto un producto más valioso que el banano debido a la relativa estabilidad de su precio y a la resistencia a eventos como sequías, inundaciones y vientos rápidos. Sin embargo, con el reciente fortalecimiento del dólar estadounidense, las exportaciones de banano resultan ser más rentables que las de aceite de palma. Sumado a esto, frente al panorama de propagación de la enfermedad de la Pudrición del cogollo (PC) en la Zona Norte de Colombia, algunos dueños de tierras se han inclinado por reemplazar las siembras de palma por cultivos de banano (observación personal).

Variabilidad intrarregional de pérdida de bosque

Si bien la expansión de la palma de aceite ocurrió generalmente en tierras anteriormente intervenidas en el contexto regional, observamos importantes peculiaridades relacionadas con la pérdida de bosque. Aún cuando estas han sido discutidas con anterioridad a escala continental para el caso de Latinoamérica (Vijay *et al.*, 2016), encontramos que la variabilidad intrarregional es aún más aguda, con incidencia a niveles nacionales e incluso subnacionales. Con las tierras anteriormente intervenidas para diferentes usos, en

particular, pastos para ganado (una constante en la región de LAC), es probable que las diferencias en el alcance de la deforestación causada por la expansión de la agroindustria palmera puedan ser atribuidas principalmente a las condiciones locales. Los factores económicos e institucionales, junto con los factores demográficos (en menor medida), han sido descritos como los aspectos más relevantes de la deforestación en Latinoamérica (Geist & Lambin, 2002). Por lo anterior, se decidió explorar el papel de tales variables en los contextos nacionales y subnacionales de deforestación por la expansión de la palma de aceite.

Tendencias nacionales

Perú. En el Amazonas, grandes áreas de expansión del cultivo de palma de aceite han reemplazado bosques primarios. Las zonas de producción de palma de aceite que mapeamos en esta región se expandieron a grandes zonas de bosque justo hacia los límites de la frontera agrícola. El tamaño de las plantaciones de la zona puede ser un factor importante para determinar en qué medida la palma de aceite ha ocasionado deforestación en áreas fronterizas (Hansen *et al.*, 2008). Nuestros hallazgos en Perú están en línea con un estudio en el que se reporta que las plantaciones comerciales a gran escala son una de las causas más significativas del desmonte de tierras, comparado con los efectos ocasionados por los pequeños propietarios de tierras (Gutiérrez-Vélez, 2011). Al respecto, nos dimos a la tarea de mapear dos grandes plantaciones de escala industrial en los departamentos de Loreto y San Martín, que en conjunto son responsables del 77 % (12.097 ha) del total de la deforestación ocasionada por el cultivo de palma de aceite en el Perú, pero que solo representan 59 % del total de la expansión nacional de este cultivo durante el periodo de estudio. Encontramos además evidencia de dos siembras a escala industrial en etapa de desarrollo localizadas en el departamento de Ucayali, con un total de más de 10.000 ha (Finer & Novoa, 2015), las cuales fueron clasificadas como vegetación herbácea (desmonte de tierras) en 2014.

Sin duda, las grandes operaciones a escala industrial serían las responsables de la deforestación en áreas remotas, donde las vías de acceso limitarán la

penetración de pequeños propietarios y productores que dependerían de las plantas de beneficio comerciales para la venta de RFF. Bajo este panorama, únicamente las operaciones de palma de aceite a gran escala, con suficiente capital para construir una planta extractora en sitio, encontrarán que es viable aventurarse hacia áreas silvestres más allá de la frontera agrícola en donde los ríos suelen ser la principal infraestructura de interconexión de estas áreas de producción remotas con los mercados para sus productos. Considerando el modelo de renta de la tierra de Von Thünen (ver material complementario), el aumento en los costos del área (v) puede ser compensado con menores costos de defensa de los derechos a la propiedad (c), ya que la presencia del estado es reducida en estas zonas aisladas, lo cual hace que este tipo de inversiones resulten rentables (Angelsen, 2007).

Es evidente que ciertas condiciones del entorno local, particularmente una presencia débil del gobierno y un pobre cumplimiento de la ley, han permitido la conversión de grandes porciones de bosque a palma de aceite en Perú (EIA, 2015). Si bien las leyes peruanas de silvicultura prohíben actividades de uso de la tierra que afecten la cobertura vegetal y la conservación de los recursos forestales, ciertas compañías han adquirido concesiones para cultivar palma de aceite en áreas primordialmente boscosas mediante un vacío legal que les permite cambiar la designación del uso de la tierra si se considera que las mismas tienen potencial agrícola; este vacío legal es conocido como 'mejor capacidad en el uso de la tierra' (BLUC, por sus siglas en inglés), el cual ignora la vegetación natural establecida y toma como referencia únicamente las características edafoclimáticas del suelo para realizar cambios en su uso, sometiendo a bosques naturales a un proceso de desarrollo productivo con el aval del Ministerio de Agricultura (EIA, 2015).

Ecuador. La alta tasa de deforestación que nosotros y otros autores han reportado en Ecuador (Vijay *et al.*, 2016), puede ser en parte un cálculo errado, dado que la mayoría del área muestreada es densamente boscosa y gran parte de la producción de palma de aceite ocurre en áreas dispersas entre sí. La disponibilidad de imágenes recientes en alta resolución

restringió nuestro análisis a la zona oriental de este país, específicamente a las provincias de Orellana y Sucumbíos en el Amazonas, la cual representa únicamente 7 % (~ 20.000 ha) del área total sembrada con palma aceite. La mayor parte (84 %) de la producción de palma de aceite en Ecuador ocurre en la zona occidental, incluyendo plantaciones en las regiones sureñas de Esmeraldas, Santo Domingo, Los Ríos y Guayas (Fedapal, 2012), en donde imágenes históricas de satélite revelan una larga historia de intervención con grandes áreas de cultivos y pastizales. Por lo tanto, se esperaría que la tasa nacional de deforestación causada por el cultivo de palma de aceite en Ecuador sea menos severa a lo señalado por nuestros hallazgos.

Brasil. La expansión de la palma de aceite brasileña se concentra en el estado de Pará, el cual actualmente representa 95 % de la producción nacional de aceite de palma (Monteiro-de-Carvalho, Silveira, La Rovera & Iwama, 2015). Por lo general, la expansión de este cultivo en la zona reemplazó bosque primario y las tierras de vocación agrícola fueron comparativamente menos dominantes. Aun cuando en 1965 se implementó un código nacional de bosques, gran parte de la deforestación en esta región está relacionada con débiles leyes sobre la tenencia de tierras, originadas durante un periodo de incentivos fiscales para el desarrollo económico y la integración de la frontera del Amazonas que condujo a un proceso de adquisición de tierras por parte de compañías agrícolas de mediana y gran escala en las décadas de 1970 y 1980 (Brandao & Schoneveld, 2015). Con la introducción de una nueva ley de biodiésel en 2005 (mezcla de 7 % para 2014), se originó una nueva ola de inversión en este cultivo liderada por grandes inversionistas nacionales y extranjeros; actualmente, cerca del 75 % del área cultivada con palma de aceite en Brasil es propiedad de solo tres compañías (Brandao & Schoneveld, 2015). Por otro lado, las preocupaciones sobre la deforestación están siendo abordadas con una mayor vigilancia. Como ejemplo, se puede mencionar la adopción del Programa de Producción Sostenible de Palma de Aceite (SPOPP, por sus siglas en inglés) en 2010, el cual promueve el uso de suelos anteriormente intervenidos en el Amazonas para la expansión futura de cultivos

y prohíbe la expansión hacia bosques naturales y tierras deforestadas antes de 2008.

Tendencias subnacionales

Guatemala. Petén es un vasto departamento fronterizo que contiene gran parte de la Reserva de la Biosfera Maya y ha sido testigo de una considerable proliferación de la actividad ganadera durante la última década (Graesser, Aide, Grau & Ramankutty, 2015). Al respecto, estimamos que 24 % de la expansión del cultivo de palma de aceite en Guatemala se ha llevado a cabo en áreas de vegetación boscosa, de las cuales 89 % se encuentran ubicadas en Petén. Estas plantaciones se desarrollaron a escala industrial (como en el caso de Perú) en zonas cercanas a la municipalidad de Sayaxché, en Petén, y representan una de las mayores expansiones del cultivo de palma de aceite documentadas en Guatemala (>3.000 ha). Tal expansión ha sido directamente relacionada con la degradación ambiental de los suelos más allá de la frontera agrícola de este país (Chávez, 2016). Las regulaciones gubernamentales que han incentivado la activación de tierras productivas por encima de la conservación de áreas naturales y que promueven la colonización de las zonas fronterizas mediante el desarrollo subsidiado, han contribuido a los niveles de pérdida de bosque observada en Guatemala (Quezada, Arroyo-Rodriguez, Perez-Silva & Aide, 2013). Así mismo, débiles leyes sobre la tenencia de tierras y el aumento en los valores de la renta de estas a causa de la migración masiva de personas, han creado un mercado extralegal que hace que el precio de la tierra continúe en aumento y se promueva la especulación, estimulando a la vez el desmonte de tierras (Gould, Carter & Shrestha, 2006).

Históricamente, la tierra en Guatemala se ha concentrado en manos de unos pocos, incluyendo inversionistas extranjeros; tendencia que solo ha empeorado con el paso del tiempo, pues en 2006 el 50 % de la población controlaba el 93 % de la tierra (Gould, Carter & Shrestha, 2006). En el caso de este país, se afirma además que la expansión de los cultivos de palma de aceite propicia la invasión de la zona de amortiguación de la Reserva de la Biosfera Maya, por

lo que algunos investigadores sugieren que se puede estar ocasionando un cambio en el uso del suelo en la reserva, al forzar a los habitantes rurales pobres a desplazarse hacia áreas de bosques no protegidas (Hodgdon, Hughell, Ramos & McNab, 2015).

Colombia. Si bien solo 9 % de la expansión del cultivo de palma de aceite en Colombia reemplazó áreas de vegetación natural, varios departamentos han reportado tasas de deforestación considerablemente superiores; incluyendo Norte de Santander (35 %), Bolívar (20 %), Santander (18 %) y la región del norte de Cesar (18 %). Los bosques húmedos tropicales del Magdalena Medio contienen algunos de los últimos restos de bosque tropical por fuera del Amazonas, pero siguen siendo de las zonas menos protegidas en el país (Forero-Medina & Joppa, 2010). Estos departamentos conforman la Zona Central palmera de Colombia y coinciden con áreas en las que las fuerzas armadas ilegales han hecho presencia a lo largo de la historia reciente del país. La participación de grupos paramilitares en el sector palmero con el fin de controlar el territorio ha sido bien documentada (Ocampo, 2009) y además representa un factor inmediato de la pérdida de bosques. En relación con esta situación, Sabogal (2008) realizó un análisis espacial del desplazamiento forzado en los municipios productores de aceite de palma, hallando que entre 2002 y 2009 en estos municipios se reportaron el doble de casos de personas desplazadas en comparación con municipios no productores. Si bien no es claro si las plantaciones de palma de aceite son las principales responsables de las tendencias locales en cuanto a la pérdida de bosques naturales, los municipios en donde se ha presentado la más alta incidencia de desplazamiento forzoso se encuentran en los departamentos que reportan mayores índices de deforestación (Sabogal 2008). Por otra parte, en contraposición a lo que ocurre con la expansión en el Amazonas y en Petén, encontramos que la mayor proporción de vegetación natural convertida a palma de aceite en Colombia y otros países de LAC se dio en fragmentos de bosque y en bosques en proceso de regeneración, en vez de zonas de bosques primarios no intervenidos (Castiblanco *et al.*, 2013).

Información comercial e iniciativas de biodiésel

El flujo del aceite de palma latinoamericano puede ilustrar un cambio en los factores subyacentes a la expansión. La región es un exportador neto de aceite de palma, pero solo ligeramente, ya que consume 90 % de lo que produce; menos del 12 % es exportado hacia afuera de la región. En contraste, solo el 9 % de las exportaciones de aceite de palma de Malasia e Indonesia tuvieron como destino otros países del Sureste Asiático en 2013 (FAO, 2016). Los flujos comerciales demuestran una alta demanda de aceite de palma en LAC, la cual está siendo satisfecha principalmente por los mismos países productores de la región; en contraste con otras regiones productoras de aceite de palma. Este fenómeno rompe con la visión convencional del aceite de palma como una materia prima global que fluye de sur a norte y con las suposiciones intrínsecas sobre la deforestación ocasionados por este cultivo basadas en una teoría de intercambio desigual (Jorgenson, 2006).

Un factor institucional potencialmente importante que contribuye a esta tendencia divergente, es la reciente creación de programas de biocombustibles por los gobiernos de América Latina. Las iniciativas de biocombustibles introducidas después de la crisis financiera mundial de 2006-2007 y el subsiguiente aumento en los precios del petróleo, soportan una mayor inversión en el sector de la palma de aceite con miras a cumplir con las futuras metas de energía (Castiblanco *et al.*, 2013; Gerasimchuk & Koh, 2013). Si bien el etanol a base de caña de azúcar domina la actual agenda de biocombustibles en la región, existen varias iniciativas ambiciosas de biodiésel en Latinoamérica que, probablemente, serán satisfechas por el creciente sector de la palma de aceite. Estas incluyen a Colombia (B8-10), Brasil (B7), Ecuador (B5), Perú (B2) y Costa Rica (B20) (Fedapal, 2012; Lane, 2016; Sorda, Banse & Kemfert, 2010), para lo cual cada país cuenta con una significativa producción industrial de palma de aceite, aun cuando la medida en la que este sector contribuye a las metas de biodiésel varía; por ejemplo, la demanda total de biodiésel de Colombia se satisface con aproximadamente la mitad de su producción nacional, mientras que la contribución de la palma de aceite a la demanda de B7 de Brasil actualmente es menos del 1 %, ya que la

soya y el cebo vacuno son las principales materias primas (César *et al.*, 2013; Brandao & Schoneveld, 2015).

Los gobiernos suelen exigir que se cumpla con las metas de biocombustible a partir del consumo local creando una estructura de incentivos financieros (reducción de impuestos, acceso a créditos, etc.) que contribuya a perpetuar la expansión. La manera en que estos instrumentos financieros afectarán el LUC, tanto directa (zonificación de materias primas de biocombustibles) como indirectamente (desplazamiento de la agricultura de subsistencia), dependerá de fuerzas locales inmediatas y subyacentes. En el caso de Colombia, los incentivos estatales han ocasionado que los inversionistas adquieran menos tierra productiva para la expansión de la palma de aceite, principalmente pastos (Pacheco, 2012). Los factores institucionales y de políticas locales también pueden crear complejas interacciones en el sector de las semillas oleaginosas, incluyendo señales de comercio indirecto que tienen consecuencias en el uso de la tierra. Por ejemplo, en Brasil el 75 % de la producción de biodiésel se realiza con aceite de soya, razón por la cual una mayor producción de soya se utiliza para cumplir con las metas energéticas nacionales y las importaciones de aceite de palma cubren el vacío en el suministro de aceite vegetal de la industria de los alimentos procesados, principalmente porque es considerada como la alternativa más saludable dentro de las semillas oleaginosas (César *et al.*, 2013).

El aceite de palma también se está convirtiendo en una importante fuente de combustible en Europa. Durante 2006-2012 la Unión Europea ha aumentado el uso de aceite de palma en la producción de biocombustibles a razón de 365 %, lo que representa una cantidad de 1,6 MMT de aceite o el 20 % del total de las materias primas requeridas para la producción de biodiésel en esta región (Gerasimchuk & Koh, 2013). Nuestra información muestra que, durante el mismo periodo, LAC exportó 1,79 MMT de aceite de palma fuera de la región, de las cuales 1,67 MMT (93 %) tuvo como destino la Unión Europea, cifra que equivale al consumo de aceite de palma para la industria del biodiésel en esta región.

Más allá de las demandas energéticas, otra explicación para la retención del aceite de palma en la

región es que los países de LAC no son tan competitivos en mercados mundiales como sus contrapartes del Sureste Asiático, donde los costos de transporte y producción (principalmente mano de obra) son más bajos (Brandao & Schoneveld, 2015). Por ejemplo, se considera que Brasil tiene los mayores costos de mano de obra de cualquier país productor de palma de aceite – 65 % más altos que en Indonesia – lo cual demuestra la importancia de los precios premium obtenidos por programas de certificación sostenible para acceder a mercados extranjeros (Brandao & Schoneveld, 2015; Brito, 2014).

Dado que el aceite de palma es una materia prima comercializada en todo el mundo y que se utiliza en varias cadenas de suministro, los esfuerzos encaminados a la sostenibilidad de la industria han sido más efectivos por medio de iniciativas basadas en el mercado. El ejemplo más notable es la Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible (RSPO, por sus siglas en inglés), la cual permite a los cultivadores de palma de aceite y a otros actores de la cadena de valor obtener un precio especial por el aceite de palma producido de manera sostenible de acuerdo con los requerimientos de la certificación RSPO. Estos incentivos son promovidos principalmente por la sociedad civil y los consumidores en mercados afluentes, particularmente en EE.UU. y en Europa. Si el aceite de palma se retiene en Latinoamérica para su consumo local, especialmente para uso en combustibles en vez de alimentos, puede haber menor presión para certificar la producción local. De hecho, la certificación de la producción sostenible está ganando impulso en Latinoamérica. La RSPO ha realizado avances recientes al duplicar la membresía de cultivadores certificados en los últimos dos años (11 en total) y aumentando el área total certificada a 258.180 ha en 2016, lo cual representa un aumento del 65 % respecto al año anterior (RSPO, 2016). Actualmente, el suministro regional de aceite de palma es comparable con el promedio mundial (~20 %) (RSPO, 2016), por lo que es probable que los productores de aceite de palma en Latinoamérica continúen buscando certificar su producción para seguir siendo competitivos y garantizar el acceso a los mercados internacionales.

Conclusiones

La agroindustria de la palma de aceite ha sido objeto de un álgido debate a causa de los niveles de deforestación que su desarrollo ha ocasionado en Asia. En Latinoamérica, áreas similares cultivadas con palma de aceite son convertidas a partir de zonas de pastos en vez de bosques naturales. Latinoamérica tiene el mayor potencial para un aumento en la expansión agrícola (Graesser *et al.*, 2015), siendo casi seguro que la agroindustria de la palma de aceite continúe su actual tendencia de crecimiento (Wicke, Sikkema, Dornburg & Faaij, 2011). Al respecto, la pregunta no es si la industria de la palma de aceite *debería* continuar su desarrollo, sino *cómo* puede este sector seguir por un camino más sostenible, para lo cual el cambio en el uso del suelo relacionado con el establecimiento de nuevas plantaciones es decisivo.

La expansión futura deberá evitar la deforestación con el fin de reducir los costos socio-ecológicos y minimizar la compensación entre las prioridades económicas y ambientales. Las tierras anteriormente degradadas abundan en LAC y cuentan con el potencial para asumir la futura demanda de aceite de palma sin pérdidas adicionales de bosque (Wicke *et al.*, 2011; Smith *et al.*, 2013). No obstante, coor-

dinar la expansión a estas tierras requiere de apoyo institucional mediante la regulación y la asignación de incentivos (García-Ulloa, 2012). Políticas encaminadas a la expansión de la palma de aceite, como ZAE-palma en Brasil (la cual se enfoca a un crecimiento hacia tierras anteriormente degradadas y prohíbe la deforestación), pueden ser efectivas, especialmente cuando se combinan con certificaciones internacionales de sostenibilidad que suelen ser más exigentes que las políticas nacionales (Garrett, Carlson, Rueda & Noojipady, 2016). Los compromisos hacia la conservación de los entornos naturales, junto con una tendencia regional del uso del suelo hacia el desarrollo de tierras anteriormente intervenidas, le dan a Latinoamérica la oportunidad de llevar a cabo una producción de aceite de palma más sostenible.

Agradecimientos

Al programa NSF-IGERT y a la Universidad de Puerto Rico – Río Piedras, por el apoyo financiero e institucional. A *Sieve Analytics* por su apoyo técnico con el software *Land Mapper*. También agradecemos a Chao Wang por su ayuda con el análisis espacial, Isabel Katsí Parés por la estética de los mapas y a Nora Alvarez-Berrios por la revisión de nuestro manuscrito.

Referencias bibliográficas

- Alvarez-Berrios, N. L., & Aide, T. M. (2015). Global demand for gold is another threat for tropical forests. *Environ. Res. Lett.*, *10*, 029501.
- Angelsen, A. (2007). *Forest cover change in space and time: combining the Von Thunen and Forest Transition theories*. World Bank Policy Research Working Paper.
- Barbier, E. B. (2012). Scarcity, frontiers and development. *Geogr. J.*, *178*, 110-22.
- Barnes, A. D., Jochum, M., Mumme, S., Haneda, N. F., Farajallah, A., Widarto, T. H., Brose, U. (2014). Consequences of tropical land use for multitrophic biodiversity and ecosystem functioning. *Nat. Communications*, *5*, 5351. doi:10.1038/ncomms6351.

- Brandão, F., & Schoneveld, G. (2015). *The state of oil palm development in the Brazilian Amazon*. Working Paper No. 198. CIFOR. Bogor, Indonesia. Breiman, L. (2001). Random forests. *Mach. Learn.*, 45, 5-32.
- Brito, M. (2014). Porquê o Óleo de Palma não avança no Brasil? En: *Conferência Internacional Biodiesel BR*. São Paulo, Brasil, Noviembre de 2014.
- Butler, R. A., & Laurance, W. F. (2009). Is oil palm the next emerging threat to the Amazon? *Tropical Conservation Science*, 2, 1-10.
- Carlson, K. M., Curran, L. M., Asner, G. P., McDonald, A., Trigg, S. N., & Adeney, J. M. (2012). Carbon emissions from forest conversion by Kalimantan oil palm plantations. *Nat. Clim. Change*, 3, 283-287.
- Carter, C., Finley, W., Fry, J., Jackson, D. & Willis, L. (2007). Palm oil markets and future supply. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 109, 307-14.
- Castiblanco, C., Etter, A., & Aide, T. M. (2013). Oil palm plantations in Colombia: a model of future expansion. *Environ. Sci. Policy*, 27, 172-183.
- Castiblanco, C., Etter, A., & Ramirez, A. (2015) Impacts of oil palm expansion in Colombia: what to do socioeconomic indicators show? *Land Use Policy*, 44, 31-43.
- César, A. S., Batalha, M. O., & Zopelari, A. L. M. S. (2013). Oil palm biodiesel: Brazil's main challenge. *Energy*, 60, 485-491.
- Chávez, C. (2016). *Guatemala's La Pasion River is still poisoned, nine months after an ecological disaster*. Disponible en: <https://news.mongabay.com/2016/02/guatemalas-la-pasion-river-iss-till-poisoned-nine-months-after-an-ecological-disaster/>. Accesado: 16 de febrero.
- Clark, M. L., Aide, T. M., Grau, H. R., & Riner, G. (2010). A scalable approach to mapping annual land cover at 250m using MODIS time series data: A case study in the Dry Chaco ecoregion of South America. *Remote Sens. Environ.*, 114, 2816-2832.
- Craven, C. (2011). The Honduran palm oil industry: employing lessons from Malaysia in the search for economically and environmentally sustainable energy solutions. *Energ. Policy*, 39, 6943-6950.
- DeFries, R. S., Herold, M., Verchot, L., Macedo, M. N., & Shimabukuro, Y. (2013). Export-oriented deforestation in MatoGrosso: harbinger or exception for other tropical forests? *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 368, 20120173.
- DeFries, R. S., Rudel, T. K., Uriarte, M. & Hansen, M. (2010). Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nat. Geoscience*, 3, 178-81.

- De Sy, V., Herold, M., Achard, F., Beuchle, R., Clevers, J. G., Lindquist, E. & Verchot, L. (2015). Land use patterns and related carbon losses following deforestation in South America *Environ. Res. Lett.*, 10, 124004.
- Didan, K. (2015). *MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006*. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Disponible en: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.006>.
- Environmental Investigation Agency – EIA (2015). *Deforestation by definition: the Peruvian government fails to define forests as forests*. Lima, Perú: EIA.
- Erb, K. H., Krausmann, F., Lucht-Wand-Haberl, H. (2009). Embodied HANPP mapping the spatial disconnect between global biomass production and consumption. *Ecol. Econ.*, 69, 328-34.
- Etter, A., McAlpine, C., & Possingham, H. (2008). Historical patterns and drivers of landscape change in Colombia since 1500: a regionalized spatial approach. *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, 98 2-23.
- Fedapal (2012). *El Aceite de Palma en el Ecuador*. Quito, Ecuador: Fedapal.
- Finer, M., & Novoa, S. (2015). *Large-Scale Oil Palm Causes Deforestation of Primary Forest in the Peruvian Amazon*. Disponible en: <http://maaproject.org/2015/04/image-4-oil-palm-projects-causedeforestation-of-primary-forest-in-the-peruvian-amazonpart-1-nueva-requena/>.
- Fitzherbert, E. B., Struebig, M. J., Morel, A., Danielsen, F., Bruhl, C. A., Donald, P. F., & Phalan, B. (2008). How will oil palm expansion affect biodiversity? *Trends Ecol. Evol.*, 23 538-545.
- Food and Agriculture Organization – FAO (2016). FAOSTAT Online Database 2016. Disponible en: <http://foostat3.fao.org>. Accesado en julio 2016.
- Forero-Medina, G., & Joppa, L. (2010). Representation of global and national conservation priorities by Colombia's protected area network. *PLoS ONE*, 5, e13210.
- Foster, *et al.* (2011) Establishing the evidence base for maintaining biodiversity and ecosystem function in the oil palm landscapes of South East Asia. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 366, 3277-3291.
- Garcia-Ulloa, J., Sloan, S., Pacheco, P., Ghazoul, J., & Koh, L. P. (2012). Lowering environmental costs of oil-palm expansion in Colombia. *Conservation Lett.*, 5, 366-375.
- Garrett, R. D., Carlson, K. M., Rueda, X., & Noojipady, P. (2016). Assessing the potential additivity of certification by the Roundtable on Responsible Soybeans and the Roundtable on Sustainable Palm Oil. *Environ. Res. Lett.*, 11(4), 045003.
- Garrett, R. D., Lambin, E. F., & Naylor, R. L. (2013). The new economic geography of land use change: supply chain configurations and land use in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy*, 34, 265-275.

- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience*, 52, 143-150.
- Gerasimchuk, I., & Koh, P. Y. (2013). *The EU biofuel policy and palm oil: cutting subsidies or cutting rainforest?* Geneva: International Institute of Sustainable Development. Disponible en: https://www.iisd.org/gsi/sites/default/files/bf_eupalmoil.pdf.
- Gibbs, H. K., Ruesch, A. S., Archard, F., Clayton, M. K., Holmgren, P., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2010). Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 107, 16732-16737.
- Gilroy, J. J., Prescott, G. W., Cardenas, J. S., Castaneda, P., Sanchez, A., Rojas-Murcia, L. E., Uribe, C. A., Haugaasen, T., & Edwards, D. P. (2014). Minimizing the biodiversity impact of Neotropical oil palm development. *Glob. Change Biol.* 21, 1531-1540.
- Gould, K. A., Carter, D. R., & Shrestha, R. K. (2006). Extra-legal land market dynamics on a Guatemalan agricultural frontier: implications for neoliberal land policies. *Land Use Policy*, 23, 408-420.
- Graesser, J., Aide, T. M., Grau, H. R., & Ramankutty, N. (2015). Cropland/pastureland dynamics and the slowdown of deforestation in Latin America. *Environ. Res. Lett.*, 10, 034017.
- Grau, H. R., & Aide, T. M. (2008). Globalization and land-use transitions in Latin America *Ecology and Society*, 13(2). Disponible en: <https://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art16/>.
- Gregory, P., & Ingram, J. (2014). Food production and land use. In: Seto, K., & Reenberg, A. (Eds.). *Rethinking Global Land Use in an Urban Era* (pp. 23-34). Cambridge, MA, USA: MIT Press.
- Gutiérrez-Vélez, V. H., DeFries, R., Pinedo-Vasquez, M., Uriarte, M., Padoch, C., Baethgen, W., Fernandes, K., & Lim, Y. (2011). High-yield oil palm expansion spares land at the expense of forests in the Peruvian Amazon *Environ. Res. Lett.*, 6, 044029.
- Hansen, *et al.* (2008). Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified by using multitemporal and multiresolution remotely sensed data. *Proc. Natl Acad. Sci.*, 105, 9439-9444.
- Harris, N. L., Brown, S., Hagen, S. C., Saatchi, S. S., Petrova, S., Salas, W., Hansen, M. C., Potapov, P. V., & Lotsch, A. (2012). Baseline map of carbon emissions from deforestation in tropical regions. *Science*, 336, 1573-1576.
- Hodgdon, B. D., Hughell, D., Ramos, V. H., & McNab, R. B. (2015). *Deforestation trends in the Maya Biosphere Reserve*. Guatemala City: Guatemala Rainforest Alliance.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt – AvH (2000). Incentivos económicos perversos para la conservación de la biodiversidad: el caso de la palma africana. *Biosintesis*, 21, 1-4.

- Jorgenson, A. K. (2006). Unequal ecological exchange and environmental degradation: a theoretical proposition and cross-national study of deforestation, 1990–2000. *Rural Sociol.*, 71, 685-712.
- Koh, L. P., & Wilcove, D. S. (2008). Is oil palm agriculture really destroying tropical biodiversity? *Conserv Letters*, 1, 60-4.
- Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proc. Natl Acad. Sci.*, 108, 3465-3472.
- Lane, J. (2016). *Biofuels mandates around the world: 2016*. Disponible en: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2016/01/03/biofuels-mandates-around-the-world-2016/>.
- Liaw, A., & Wiener, M. (2002). Classification and regression by randomForest. *R. News*, 2, 18-22.
- Liu, J. *et al.* (2013). Framing sustainability in a telecoupled world. *Ecol. Soc.*, 18, 26.
- MacDonald, G. K., Brauman, K. A., Sun, S., Carlson, K. M., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., & West, P. C. (2015). Rethinking agricultural trade relationships in an era of globalization. *BioScience*, 65, 275-289.
- Macedo, M. N., DeFries, R. S., Morton, D. C., Stickler, C. M., Galford, G. L., & Shimabukuro, Y. E. (2012). Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. *Proc. Natl Acad. Sci.*, 109, 1341-1346.
- Meyfroidt, *et al.* (2014). Multiple pathways of commodity crop expansion in tropical forest landscapes. *Environ. Res. Lett.*, 9, 074012.
- Monteiro-de-Carvalho, C., Silveira, S., La-Rovere, E. L., & Iwama, A. Y. (2015). Deforested and degraded land available for the expansion of palm oil for biodiesel in the state of Pará in the Brazilian Amazon. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 44, 867-876.
- NASA (2016). *Earth Science Data Washington*, DC. Disponible en: <http://eosps.nasa.gov/>.
- Ocampo, S. (2009). Agroindustria y conflicto armado: El caso de la palma de aceite. *Colombia Internacional*, 70, 169-190.
- Pacheco, P. (2012). *Soybean and oil palm expansion in Latin America*. Working paper No. 90 C FOR. Bogor: Indonesia. doi: 10.17528/cifor/003776.
- Quezada, M. L., Arroyo-Rodriguez, V., Perez-Silva, E., & Aide, T. M. (2013). Land cover change in Lachua region, Guatemala: Patterns, proximate causes, and underlying driving forces over the last 50 years. *Reg. Environ. Change*, 14, 1139-1149.
- R Core Team (2012). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

- Richardson, D. L. (1995). The history of oil palm breeding in the United Fruit Company. *ASD Oil Palm papers*, 11, 1-22.
- Roundtable on Sustainable Palm Oil – RSPO (2016). Impact Report 2016. Disponible en: <http://www.rspo.org/key-documents/impact-reports>.
- Rudel, T. K., Defries, R., Asner, G. P., & Laurance, W. F. (2009). Changing drivers of deforestation and new opportunities for conservation. *Conserv. Biol.*, 23, 1396-1405.
- Sabogal, C. R. (2008). Análisis especial de la correlación entre cultivo de palma de aceite y desplazamiento forzado en Colombia. *Cuadernos de Economía*, 32(61), 683-718.
- Sanquetta, C. R., Netto, S. P., Dalla, A. P., Rodrigues, A. L., Behling, A. & Inoue, M. N. (2015). Quantifying biomass and carbon stocks in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Northeastern Brazil. *African J. Agric. Res.*, 10, 4067-4075.
- Savilaakso, *et al.* (2014). Systematic review of effects on biodiversity from oil palm production *Environ. Evidence*, 3(4). doi: 10.1186/2047-2382-3-4.
- Sieve Analytics (2016). *Land Mapper*. Disponible en: www.sieve-analytics.com.
- Smit *et al* (2013). Breaking the link between environmental degradation and oil palm expansion: a method for enabling sustainable oil palm expansion. *PLoS ONE*, 8, e68610.
- Sorda, G., Banse, M. & Kemfert, C. (2010). An overview of biofuel policies across the world *Energ. Policy*, 38, 6977-6988.
- Umaña, C. H. (1998). Desarrollo del cultivo de la palma de aceite en Centroamérica. *Palmas*, 19(Especial), 266-272.
- 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, e0159668.
- Walker, R. (2004). Theorizing land-cover and land-use change: the case of tropical deforestation *Int. Regional Sci. Rev.* 27, 247-270.
- Wicke, B., Sikkema, R., Dornburg, V., & Faaij, A. (2011). Exploring land use changes and the role of palm oil production in Indonesia and Malaysia. *Land Use Policy*, 28, 193-206.