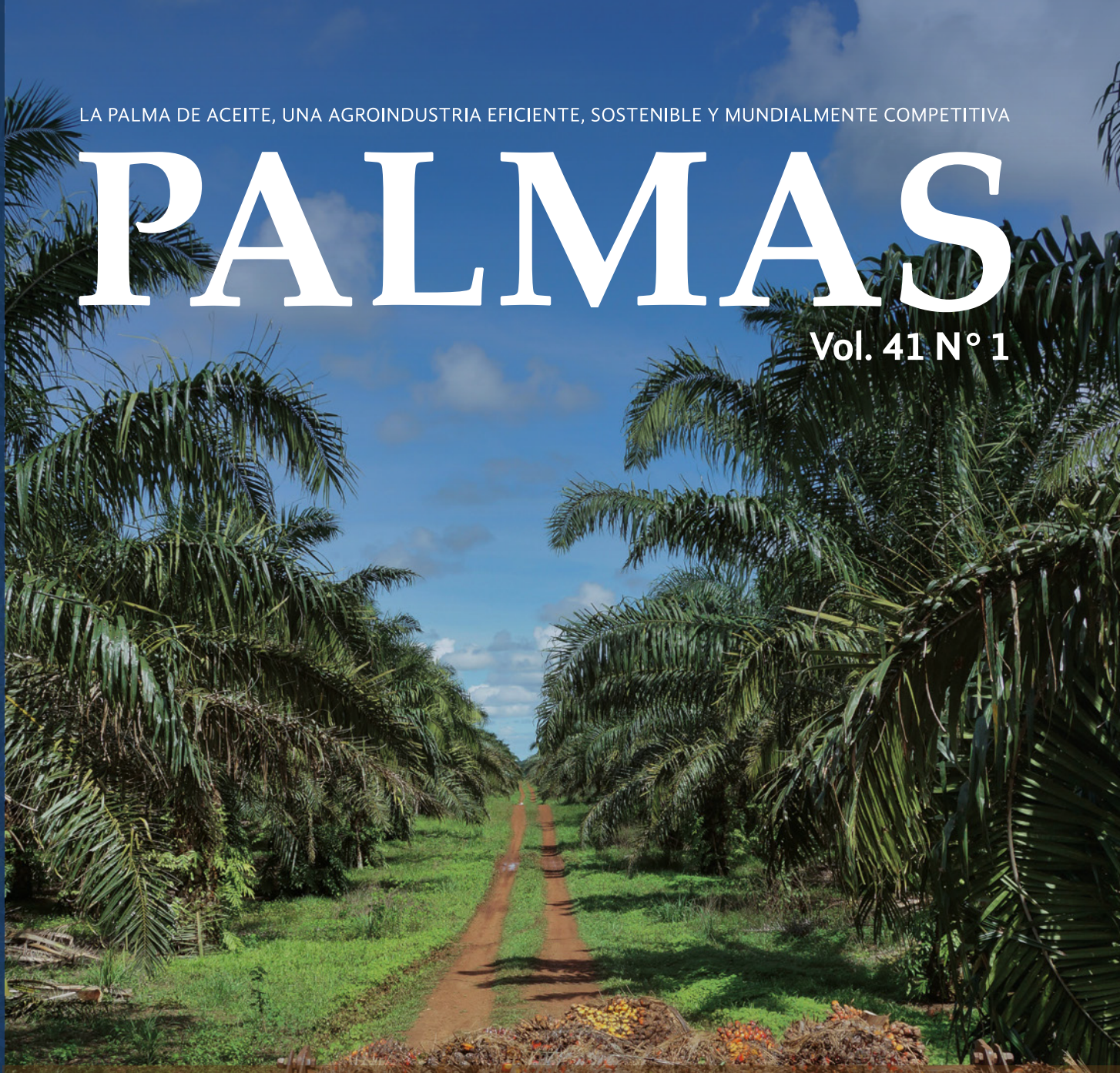
Volumen 41 N° 1 de 2020 • pp. 1 - 132 • enero-marzo 2020 • ISSN 0121- 2923 • Tarifa Postal Reducida Servicios Postales Nacionales S.A. Nº 2017-203 4-72, vence 31de diciembre de 2020.

LA PALMA DE ACEITE, UNA AGROINDUSTRIA EFICIENTE, SOSTENIBLE Y MUNDIALMENTE COMPETITIVA

PALMAS

Vol. 41 N° 1



SANIDAD

Herramientas de apoyo para el seguimiento y manejo preventivo a palmas (*Elaeis guineensis* Jacq.) con síntomas asociados a marchitez

EXTENSIÓN

¿Los agricultores ricos implementan mejores prácticas agrícolas? Una evaluación de la implementación de buenas prácticas agrícolas entre diferentes tipos de pequeños productores independientes de palma de aceite en Riau, Indonesia

SOSTENIBILIDAD

Aprendiendo a amar al cultivo más odiado del mundo

Publicación de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite en circulación desde 1980.

fedepalma

CON EL APOYO DEL FONDO DE FOMENTO PALMERO

monómeros

HOY MÁS QUE NUNCA

ESTAMOS EN SUS MANOS

DURANTE AÑOS NUESTROS PALMICULTORES HAN CULTIVADO LA PALMA DE ACEITE QUE MUEVE A COLOMBIA Y HOY ESTÁ EN SUS MANOS SEGUIR COSECHANDO LOS FRUTOS DEL FUTURO.

LAVÁNDONOS CON FRECUENCIA LAS MANOS EVITAMOS LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

#EstamosEnTusManos

Nuestras marcas: NUTRIMON® | ecofértil® | NUTRICALFOS®

fedepalma
CON EL APOYO DEL FONDO DE FOMENTO PALMERO

Calle 98 No. 70-91
Tel: 313 86 00
www.fedepalma.org
Bogotá D. C., Colombia

Esta publicación cuenta
con el patrocinio del
Fondo de Fomento Palmero

Fotografía: archivo Fedepalma

La revista Palmas no se hace responsable
de las opiniones emitidas por los autores.

Incluida en el portal de revistas de
la BVS de BIREME/OPS/OMS

Versión digital en OJS:
https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas

Jens Mesa Dishington
Presidente Ejecutivo de Fedepalma

Editor
Andrés Felipe García Azuero
Director de Planeación Sectorial y Desarrollo Sostenible

Comité Editorial
Jens Mesa Dishington
Boris Hernández Salame
Jaime González Triana
Juan Fernando Lezaca Mendoza
Carolina Gómez Celis

Comité Científico
Álvaro Campo Cabal, *Ph.D.*
Álvaro Silva Carreño, *Ph.D.*
Carlos Beltrán Roldán, *M.Sc.*
Fernando Munévar Martínez, *Ph.D.*
Luis Eduardo Zapata Munévar, *Ph.D.*

Coordinación Editorial
Ana Marcela Hernández Calderón

Responsable de Publicaciones
Yolanda Moreno Muñoz

Centro de Información y Documentación
Martha Helena Arango de Villegas

Traductor
Carlos Arenas

Diagramación
Fredy Johan Espitia B.

Impresión
Legis

Cualquier utilización por terceros, de todo o parte del contenido de la revista Palmas, deberá ir acompañada de su nota bibliográfica y estar claramente referenciada (indicando en cada caso el nombre de la revista, volumen, número y año de edición). Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los artículos con fines comerciales.

Contenido

Editorial

6 Fortalecer la cadena de suministro del aceite de palma, un gran reto que nos deja el COVID-19
Strengthen the Palm Oil Supply Chain: A Great Challenge Brought by COVID-19
Jens Mesa Dishington

Sanidad

13 Herramientas de apoyo para el seguimiento y manejo preventivo a palmas (*Elaeis guineensis* Jacq.) con síntomas asociados a marchitez
Support Tools for Monitoring and Preventive Management of Palms (Elaeis guineensis Jacq.) with Symptoms Associated with Wilt
Mario A. Lasso. L, Gustavo A. Rosero E., Libardo Santacruz A.

Extensión

36 ¿Los agricultores ricos implementan mejores prácticas agrícolas? Una evaluación de la implementación de buenas prácticas agrícolas entre diferentes tipos de pequeños productores independientes de palma de aceite en Riau, Indonesia
Do Wealthy Farmers Implement Better Agricultural Practices? An Assessment of Implementation of Good Agricultural Practices among Different Types of Independent Oil Palm Smallholders in Riau, Indonesia
Idsert Jelsma, Lotte S. Woittiez, Jean Ollivier, Arya Hadi Dharmawan

Sostenibilidad

64 Aprendiendo a amar al cultivo más odiado del mundo
Learning to Love the World's most Hated Crop
Trevor A. Jackson, J. W. Crawford, C. Traeholt, T. A. B. Sanders

88 Expansión neutral de carbono de plantaciones de palma de aceite en el neotrópico
Carbon Neutral Expansion of Oil Palm Plantations in the Neotropics
Juan Carlos Quezada, Andrés Etter, Jaboury Ghazoul, Alexandre Buttler, Thomas Guillaume

Salud y nutrición humana

110 Estudio de un caso real sobre los cambios fisicoquímicos del aceite de palma crudo (*Elaeis guineensis*) durante la fritura de *akara*, albóndigas de pasta de alubia tradicionales, en Brasil

A Real Case Study on the Physicochemical Changes in Crude Palm Oil (Elaeis guineensis) during the Deep-frying of Akara, Traditional Cowpea-paste Balls, in Brazil

Feitosa, S., Boffo, E. F., Batista, C. S. C., Velasco, J., Silva, C. S., Bonfim, R., Almeida, D. T.

Publicaciones de la Federación en otros medios

124 Publicaciones de Fedepalma y Cenipalma en otros medios

Publications by Fedepalma and Cenipalma in other Media

Reconocimiento

128 Ian E. Henson, despedida a un gran científico

Cualquier utilización por terceros, de todo o parte del contenido de la revista Palmas, deberá ir acompañada de su nota bibliográfica y estar claramente referenciada (indicando en cada caso el nombre de la revista, volumen, número y año de edición). Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los artículos con fines comerciales.

Política editorial Revista Palmas

PALMAS es una publicación de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma) fundada en 1980, de circulación trimestral a nivel nacional e internacional.

PALMAS es una revista de análisis especializada en la agroindustria de la palma de aceite con artículos sobre el desarrollo de nuevas tecnologías para el cultivo, el procesamiento y la extracción de aceite de palma, aspectos nutricionales del consumo de aceites y grasas, análisis de mercados y comercialización, así como el registro de los eventos gremiales de la Federación.

Está dirigida a todo el sector palmicultor, los gerentes, administradores y agrónomos de las plantaciones, a las entidades representativas del sector agropecuario en general, a los diferentes estamentos del gobierno, a las industrias de aceites y grasas, a los alimentos concentrados, a las industrias con aplicaciones no comestibles de los aceites de palma, y a los centros educativos y de investigación nacionales e internacionales. Circula, además, en países de América, Europa y Asia.

Se publican trabajos inéditos, resultados de investigación, artículos preparados con base en tesis de grado, informes o avances técnicos, artículos traducidos de otras publicaciones, ponencias de eventos, artículos de revisión.

Las opiniones expresadas en los artículos reflejan el pensamiento y opinión de los autores y no necesariamente los de Fedepalma.

El Comité Editorial se reserva el derecho de aceptar los artículos que se van a publicar, previa revisión por personal técnico y pares.

Los artículos deben cumplir con las normas editoriales elaboradas por Fedepalma. Todos los artículos serán sometidos a una corrección de estilo realizada por un experto.

Nota para los autores: normas para la elaboración de artículos en Palmas

Presentación de artículos

- Enviar un original en Word en medio digital a 12 puntos y doble espacio por medio del portal OJS de la Federación (publicaciones.fedepalma.org). Las tablas y figuras preferiblemente en Excel o su programa original.
- Todos los artículos deben incluir resumen en español y en inglés, y palabras clave en los dos idiomas.
- Los artículos científicos no deben exceder de 25 páginas.
- El nombre del autor debe indicar los dos apellidos cuando los use, y los datos de dirección, cargo y empresa en caso de que los tenga.
- Los títulos de primer orden deben ir en mayúsculas y negritas; los de segundo orden en minúsculas y negritas y los de tercer orden en cursivas.

Para artículos científicos o técnicos la estructura debe ser la siguiente

- Título: debe ser corto, no debe exceder de 15 palabras, de lo contrario deberá incluirse un subtítulo. Se publica en español e inglés.
- Autores: colocar el primer nombre e inicial del segundo, primer apellido e inicial del segundo. La dependencia a que pertenecen y la dirección postal completa.
- Resumen en español e inglés: no debe superar las 250 palabras.
- Palabras clave: pueden colocarse hasta ocho palabras que faciliten el uso de los sistemas de catalogación y búsqueda de información por computador.
- Introducción: se define el problema por estudiar y se indica la importancia de la investigación. Con citas bibliográficas se sustenta la revisión de literatura sobre el tema.
- Materiales y métodos: se deben describir los detalles y características del sitio, materiales, técnicas, diseño experimental y análisis estadísticos.
- Resultados y discusión: es preferible presentarlos unidos. Los resultados deben describirse en forma concisa y utilizar tablas, figuras y fotografías. En la discusión se hará la evaluación de los resultados obtenidos y se relacionan con los resultados de otras investigaciones, sustentados con citas bibliográficas dentro del texto.
- Conclusiones: deben ser breves y corresponden a las recomendaciones, sugerencias e hipótesis nuevas. No debe repetir los resultados.
- Bibliografía: se debe limitar a la estrictamente necesaria y en relación directa con la investigación realizada. Todas las referencias listadas deben estar citadas en el texto. Se deben colocar en orden alfabético por apellido e incluyen: autor, año, título, número de edición, casa editora, lugar de publicación, número de páginas, siguiendo las normas de citación de la American Psychological Association (APA), sexta edición. En caso de ser publicación periódica se debe citar el nombre de la revista y entre paréntesis el país, volumen, número y páginas, si corresponde a una serie o colección.

Advertencia. Los contenidos de los avisos publicitarios de esta revista son atribuibles y responsabilidad exclusiva de los anunciantes o pautantes. Para interponer cualquier reclamación relacionada con los contenidos publicitarios insertados en la revista Palmas, pueden dirigirse a la siguiente dirección de correo electrónico atencionalafiliado@fedepalma.org y desde allí se hará el contacto con el pautante.

Editorial Policy for Palmas Journal

PALMAS is a publication of the National Federation of Oil Palm Growers (Fedepalma) founded in 1980, published quarterly with national and international circulation.

PALMAS is an analysis journal specialized in the oil palm agro-industry, with articles on the development of new technologies for cultivation, processing and extraction of palm oil, nutritional aspects of oils and fats consumption, market analysis and marketing, as well as the record of the trade association events of Fedepalma.

The journal is aimed at the entire oil palm sector, plantation managers, directors, and agronomists, the representative bodies of the agricultural sector in general, the different institutions of the government, the oils and fats industries, animal feed industry, industries with non-edible applications of palm oils, and national and international research and educational centers. It also circulates in countries of America, Europe, and Asia.

Unpublished works, research results, articles prepared on the basis of degree thesis, technical reports or advances, articles translated from other publications, papers from events, and review articles are published in this journal.

The opinions expressed in the articles reflect the view and opinion of the authors and not necessarily those of Fedepalma.

The Editorial Committee reserves the right to accept the articles to be published, after review by technical staff or peer review.

The articles must comply with the publishing guidelines established by Fedepalma and submitted to the Office of Publications of Fedepalma in digital form. All articles will be subject to proofreading by an expert.

Note for the Authors: Guidelines for the Preparation of Articles in Palmas

Articles Submission

- Submit an original in Word format 12 points and double space; tables and figures preferably in Excel. Submissions should be process via OJS through publicaciones.fedepalma.org
- All articles must have a summary in Spanish, and whenever possible in English, and keywords.
- Scientific articles should not exceed 25 double-spaced pages.
- Authors' name must indicate both surnames if used, and data of address, position and company in case of having them.
- First-order headings must be in upper case and bold; second-order in lower case and bold, and third-order in italics.

For scientific or technical articles, the structure should be the following:

- Title: should be short, maximum 15 words, otherwise a subtitle should be included.
- Authors: place first name and middle initial, first surname and initial of the second; provide organizational affiliation and full postal address.
- Abstract should not exceed 250 words.
- Keywords: up to eight words can be placed to facilitate the use of modern computer-based systems for cataloguing and retrieval of information.
- Introduction: the problem to be studied is defined and the importance of the research is indicated. Literature review on the topic is supported with bibliographic citations.
- Materials and Methods: details and characteristics of site, materials, techniques, experimental design, and statistical analysis should be described
- Results and Discussion: It is preferable to present them together. Results should be described in a concise manner using tables, figures, and photographs. In the discussion, an evaluation of the results obtained will be done and related to other research results, supported with bibliographic citations within the text.
- Conclusions: they should be brief and correspond to the new recommendations, suggestions, and hypotheses. Do not repeat results.
- References: should be limited to the strictly necessary and directly related to the research done. All listed references should be cited in the text. They should be placed in alphabetical order by surname and include: author, year, title, issue number, publishing house, place of publication, page numbers, following the American Psychological Association (APA), sixth edition, referencing and style system. In the event of being a periodical publication, the name of the journal should be cited and in parenthesis the country, volume, number and pages if it corresponds to a series or collection.

EDITORIAL

Fortalecer la cadena de suministro del aceite de palma, un gran reto que nos deja el COVID-19

A finales del año pasado, el mundo se enteró de que en una ciudad China, llamada Wuhan, se estaba iniciando un virus contagioso denominado coronavirus, el cual afectaba las vías respiratorias y era la causa de muerte de un número importante de personas en el gigante asiático. Desde la distancia, veíamos cómo, en pocas semanas, armaban un hospital de campaña para superar una situación que había colapsado su sistema de salud. Aunque mirábamos lo que sucedía con interés histórico y con empatía frente al dolor humano, como siempre, asumimos que esta problemática no llegaría a nuestro territorio y mucho menos que alcanzaría a nuestras familias en tan corto tiempo.

Hoy en día, después de pocos meses, el mundo entero está sufriendo la enfermedad. Al 30 de abril de este año, contábamos con más de 3,2 millones de casos confirmados y más de 231 mil muertos a nivel mundial, hechos que llevaron a que todos los países tuvieran como primera línea de acción la prevención, mitigación y contención del coronavirus, COVID-19. Esta situación ha puesto a prueba la capacidad de respuesta y de adaptación de todas las culturas e ideologías políticas, exigiendo unidad y trabajo en equipo para combatir un enemigo totalmente nuevo.

En todos los medios se habla de que estamos viviendo en un momento de "economía de guerra", en donde, si bien, el actuar de los gobiernos está focalizado en preservar la vida, asegurar la salud y, por ende, la seguridad alimentaria, también es necesario mantener el funcionamiento de las actividades económicas indispensables. En Colombia, gracias al aislamiento obligatorio, al último día de abril la curva de contagios y muertes no era muy pronunciada, con 6.507 casos confirmados y 293 muertos; máxime si lo comparábamos con países como Brasil, que a la fecha contaba con más de 78.000 contagios y cerca de 5.400 decesos; o Perú, con más de 40 mil casos positivos y 1.124 muertos. Es así como estamos llenos de incertidumbre en el tema económico, buscando ser asertivos en los pasos hacia un aislamiento inteligente que nos permita retomar las actividades productivas.

Nos estamos enfrentando a dos crisis de grandes dimensiones, una por la vida y otra por la supervivencia económica. Los hechos son avasalladores, según el Programa Mundial de Alimentos (PMA), debido a la pandemia del COVID-19, la situación de hambre aguda puede duplicarse en número, es decir que para finales de este año cerca de 265 millones de individuos podrían estar cerca de morir por esta causa. El reporte del PMA sitúa al 65 % de esta población en tan solo 10 países, como son: Congo, Afganistán, Venezuela, Etiopía, Sudán del Sur, Siria, Sudán, Nigeria y Haití.

Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Latinoamérica se contraerá un 5,3 % en 2020 debido a la pandemia, lo que generará casi 11,5 millones de nuevos desempleados y cerca de 30 millones más de personas pobres. Los países más afectados, según esta entidad, serán Venezuela con un -18,5 %; México con un -6,5 %, al igual que Argentina y Ecuador; seguidos por Nicaragua con un -5,9 %; y Brasil con -5,2 %; quedando Colombia con un -2,6 %, encontrándose entre los países con menor impacto.

En cuanto a la agroindustria palmera, si bien se ha podido continuar trabajando bajo las excepciones previstas por el Decreto 531 de 2020 sobre el aislamiento obligatorio, esta debe cumplir con las especificaciones dadas por el Ministerio de Salud y Protección Social para el adecuado funcionamiento y, además, desarrollar y aplicar estrictamente protocolos de prevención y mitigación. Todo esto, poniendo siempre en primer lugar el cuidado de la salud y la vida de los empleados, y de las comunidades en los lugares donde nos encontramos laborando, y a la vez, garantizando la operación de nuestra actividad económica.

Así mismo, es importante tener en cuenta que la comercialización del aceite de palma enfrenta retos significativos, en la medida en que el aislamiento obligatorio impacta la demanda local en segmentos alimenticios como el institucional y el de HORECA (hoteles, restaurantes y cafeterías), que no logra ser compensada ni siquiera por el aumento en la demanda de aceites de cocina, margarinas y productos procesados en los hogares. De igual forma, se calcula que la demanda de biocombustibles podría llegar a disminuir más del 50 %, dependiendo de cuánto se aumente el periodo de aislamiento, lo cual baja la venta de biodiésel y, por tanto, la demanda local de aceite de palma.

En el ámbito internacional, si bien las exportaciones de aceites de palma han tenido fluidez y la dinámica exportadora ha permitido que la presión sobre los niveles de inventarios en plantas de beneficio no sean tan críticos como se pensaba inicialmente, la caída en la demanda mundial tanto en usos alimenticios como no alimenticios dan cuenta de una descolgada de los precios internacionales del aceite de palma, entre enero y finales de abril, del 32 %, siendo uno de los *commodities* del agro más afectados por el COVID-19.

Sin duda, los flujos de comercio y la economía globalizada están pasando por un periodo de evaluación, lo que genera cierta incertidumbre, dado que el mercado local para el aceite de palma no logra absorber rápidamente la producción que se está teniendo en este periodo del año. Por lo tanto, es necesario que como sector avancemos estratégicamente en la modernización y eficiencia de la cadena de suministro para colocar en las mejores condiciones posibles nuestros productos, tanto en el mercado local como de exportación, y así enfrentar de la mejor manera su comercialización en una coyuntura como esta.

Examinando nuestra historia, encontramos publicaciones realizadas por Fedepalma que se remontan a 1987, en las que se evidencian diferentes coyunturas, ninguna con la gravedad actual. En estas, el gremio invitó a los palmicultores a aumentar su capacidad de almacenamiento en plantas de beneficio, pensando en el largo plazo. Si bien se ha logrado un importante avance, pues hoy en día su capacidad es del orden de 162.000 toneladas, equivalente a 33 días de producción promedio, y en puertos está cercana a 120.000 toneladas, aún estamos lejos de alcanzar un nivel de 90 días de producción promedio, que es el recomendado.

Desde el gremio, se han propuesto al Gobierno colombiano acciones y medidas concretas para incrementar las ventas de aceite de palma en el mercado local: aumentar las compras públicas, suspender temporalmente la importación de aceites de palma, universalizar las operaciones de estabilización del FEP Palmero y aumentar la mezcla de biodiésel. Pero estas acciones toman

tiempo, implican decisiones de diferentes ministerios y, por lo tanto, no son fáciles de ejecutar; y si se lograran en corto plazo, sería necesario, estratégicamente, que el sector aumentara su capacidad de almacenamiento de aceite.

En este punto también hemos acompañado la búsqueda de financiamiento y subsidios para incrementar el almacenamiento, y ayudado a encontrar alternativas a corto plazo como la construcción de lagunas con geomembranas, entre otras; salidas costosas que en algunos casos ha sido necesario asumir, decisiones empresariales onerosas que, de haberse contado con un almacenamiento en tanques suficiente, hubieran significado incluso una ventaja competitiva en momentos tan críticos como estos.

Es importante anotar que, adicionalmente, nos encontramos otra vez en un momento de precios inesperadamente bajos. Veníamos, después de dos años de una tendencia a la baja, con un aumento gradual de precios, a partir del segundo semestre del año pasado, pero por el COVID-19 hemos tenido, de enero a abril, una caída muy fuerte. La economía palmera se estaba recuperando con precios superiores a 700 USD/t y hoy se encuentran por debajo de 480 USD/t, lo cual nos pone en una situación aún más difícil. En ese sentido, se requieren soluciones sectoriales para mejorar la logística de transporte de los aceites de palma y repensar nuestro modelo actual, en aras de hacer viables eficiencias derivadas del trasporte férreo o fluvial. En condiciones de bajos precios, costos logísticos altos implican aún menores ingresos para los productores.

Mientras hay lugares donde los productores no saben qué hacer con su producción, existen poblaciones, incluso en Colombia, que no tienen acceso a estos alimentos por problemas de transporte e infraestructura. Algo que se hace más visible en esta coyuntura, en donde la producción contrasta con las difíciles condiciones de comercialización por el acceso y la salida de los productos desde las distintas regiones del país.

Por ello, queremos nuevamente invitarlos a pensar más estratégicamente a mediano y largo plazo, a darle prioridad a la logística de los procesos productivos y de comercialización, a contar con una mayor capacidad de almacenamiento, y a desarrollar estrategias de servicio al cliente que permitan la fidelidad de nuestros compradores aun en momentos de crisis, buscando con todo esto una mejor planeación de nuestra comercialización y mayor capacidad para gerenciar nuestro portafolio de productos en momentos adversos. Necesitamos que como productores seamos artífices de nuestra propia realidad de mercado, y no quedar supeditados al actuar de los demás actores de la cadena o a las volatilidades propias de las coyunturas.

Strengthen the Palm Oil Supply Chain: A Great Challenge Brought by COVID-19

Late last year, the world learned that in the Chinese city of Wuhan, a new, contagious coronavirus was spreading, affecting the respiratory tract and causing the death of a significant number of people in the Asian giant. From a distance, we saw how they built a temporary hospital in a matter of weeks to cope with a situation that overwhelmed their health care system. Although we looked at what was happening with historical interest and empathy in the face of human pain, we assumed that this problem would not reach our country, much less our families in such a short time.

Today, just a few months later, the disease has spread all over the world. By April 30 of this year, there were over 3.2 million confirmed cases and over 231 thousand people had died around the world. These events made all countries adopt the prevention, mitigation, and contention as the first response to the COVID-19 coronavirus. This situation has tested the response and adaptation capacities of all cultures and political ideologies, requiring unity and teamwork to fight an entirely new enemy.

All the media mention that we are living under a "war economy," where although the actions of the governments focus on preserving life, ensuring health care and, thus, food safety, the operation of essential economic activities must also be maintained. In Colombia, thanks to the mandatory isolation, by the last day of April the contagion curve was not very steep, with 6,507 confirmed cases and 293 deaths; especially when compared to countries such as Brazil, which by then had over 78,000 confirmed cases and approximately 5,400 deaths; or Perú, with over 40,000 thousand positive cases and 1,124 deaths. Thus, the economic uncertainty is considerable, as we seek to be assertive in the steps towards intelligent isolation that allows us to reactivate productive activities.

We are now facing two major crises: one for life, and another for economic survival. The facts are overwhelming. According to the World Food Programme (WFP), by the end of the year the COVID-19 pandemic is set to double the global hunger situation; that is, about 265 million individuals may be at risk of dying from starvation. The WFP report places 65% of this population in only ten countries: Congo, Afghanistan, Venezuela, Ethiopia, South Sudan, Syria, Sudan, Nigeria, and Haiti.

According to the Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC), in 2020, Latin America will contract by 5.3% due to the pandemic, causing the loss of almost

11.5 million jobs and nearly 30 million new poor. According to this entity, the most affected countries will be Venezuela, with -18.5%; Mexico, Argentina, and Ecuador, with -6.5%; followed by Nicaragua with -5.9% and Brazil, with -5.2%, Colombia will be one of the least affected countries, with a -2.6% contraction.

Regarding the oil palm agribusiness, although we have managed to continue working under the exceptions provided by Decree 531/2020 on the mandatory isolation, we must comply with the operation specifications issued by the Ministry of Health and Social Protection and strictly develop and apply prevention and mitigation protocols, always putting the health and life of our employees and the communities where we work first while ensuring the operation of our economic activity.

Similarly, note that the trade of palm oil is also facing significant challenges as the mandatory isolation affects the local demand in foo segments such as the institutional and HORECA (hotels, restaurants, and cafeterias), which is not compensated by the increased demand for cooking oils, margarine and processed products in the households. Likewise, we calculate that the demand for biofuels could decrease by more than 50% depending on how long the isolation goes for, which lowers biodiesel's sales and thus the local palm oil demand.

In the international arena, although palm oil exports have been fluid and the export dynamic has meant that pressure on inventory levels in mills is not as critical as initially thought, the fall in the global demand for both food and non-food uses accounts for a 32% drop in international palm oil prices between January and the end of April, making it one of the agricultural commodities most affected by COVID-19.

Undoubtedly, trade flows and the globalized economy are going through a period of evaluation, creating some uncertainty, as the local palm oil market cannot quickly absorb the production of this time of year. Therefore, as a sector, we must advance strategically in the modernization and efficiency of our supply change to place our products in the local and export markets under the best conditions possible and face the current situation as best as possible.

Studying our history, we found some publications by Fedepalma dating back to 1987 showing other crises, none as severe as the current one. In these publications, the industry invited palm growers to increase their mills' storage capacity, thinking about the long term. Although there has been a significant process, the mills' capacity currently sits at about 162,000 tons, i.e., 33 days of average output, and the ports' capacity is of around 120,000 tons. We are still far from reaching the recommended capacity of 90 days of average output.

We have proposed the Colombian Government to implement specific actions and measures to increase the palm oil sales in the local market: increasing public procurement, temporary suspending palm oil imports, universalize the stabilization operations of the Price Stabilization Fund for Kernel, Palm Oil and their Fractions (FEP Palmero, acronym in Spanish) and increase the biodiesel mix. However, these actions take time and imply decisions by various ministries and, therefore, are not easy to implement. Even if implemented in the short term, the sector would have the strategic need of increasing its oil storage capacity.

We have also supported the search for funding and subsidies to increase storage. We have helped to find short-term alternatives such as the construction of lagoons with biomembranes, among others, including expensive solutions and costly corporate decisions that had to be made but which would have even meant a competitive advantage in such critical times if we had sufficient storage in tanks.

Note that, once again, the prices are unexpectedly low. Following two years of a downward trend, with a gradual increase in the second half of last year, this year, the prices have dropped significantly due to COVID-19. The palm economy was recovering with prices above 700 USD/t, but now sit below 480 USD/t, putting us in an even more difficult situation. Therefore, we require sector-specific solutions to improve palm oil transport logistics and rethink our current model to make the efficiencies derived from railway or river transport viable. Under low-price conditions, high logistics prices imply even lower income for producers.

Whereas some producers do not know what to do with their production, some populations —even in Colombia— do not have access to this food due to transport and infrastructure problems. This becomes more visible under the current situation, where the production contrasts with the challenging trading conditions due to the access and exit of products from various regions of the country.

Thus, once again we would like to invite you to think more strategically in the medium and long term, further prioritize the logistics of the production and trade processes, have larger storage capacity and develop customer service strategies that ensure the loyalty of our buyers even in times of crisis, seeking better planning of our trade and a greater ability to manage our product portfolio in challenging times. As producers, we need to be the architects of our market reality and not depend on the actions of the other actors of the supply chain or the fluctuations inherent to each particular situation.

MANOS COLOMBIANAS CULTIVAN
Y PRODUCEN EL ACEITE DE PALMA
EN ESTA TIERRA, Y AHORA MÁS
QUE NUNCA ESTÁN **UNIDAS PARA**
CONSTRUIR UN FUTURO MEJOR.

SIEM
PRE
CONTI
GO

ACEITE
DE PALMA
— 100% —
COLOMBIANO

SOMOS FRUTO DEL CAMPO
COLOMBIANO

fedepalma | cenipalma
CON EL APOYO DEL FONDO DE FOMENTO PALMERO

Herramientas de apoyo para el seguimiento y manejo preventivo a palmas (*Elaeis guineensis* Jacq.) con síntomas asociados a marchitez*

Support Tools for Monitoring and Preventive Management of Palms (*Elaeis guineensis* Jacq.) with Symptoms Associated with Wilt

Citación: Lasso-L., M. A., Rosero-E., G. A. & Santacruz-A., L. (2020). Herramientas de apoyo para el seguimiento y manejo preventivo a palmas (*Elaeis guineensis* Jacq.) con síntomas asociados a marchitez. *Palmas, 41*(1), 13-35.

Palabras clave: marchitez, pudrición de estípite, estrés hídrico, termometría infrarroja, análisis de correspondencia múltiple, análisis de clasificación jerárquica.

Keywords: Wilting, stem rot, water stress, infrared thermometry, multiple correspondence analysis, hierarchical classification analysis.

* Artículo de investigación científica y tecnológica

Recibido: marzo de 2020
Aprobado: abril de 2020

Mario A. Lasso L.
Ingeniero Agrónomo Pasante de Guaicaramo S. A. S.
lassomario6@gmail.com

Gustavo Rosero E.
Jefe de Investigación Desarrollo Productividad e Innovación de Guaicaramo S. A. S.
g.rosero@guaicaramo.com

Libardo Santacruz A.
Gerente de Investigación Desarrollo Productividad e Innovación.
Guaicaramo S. A. S.
ls@guaicaramo.com

Resumen

En la actualidad, la Zona Oriental de Colombia se ha visto afectada por una variedad de disturbios en las siembras nuevas y de renovación de palma de aceite, con síntomas asociados a marchitez, los cuales pueden ser atribuidos en su mayoría a la enfermedad Marchitez letal (ML), sin embargo, con las distintas confusiones que se pueden presentar en la identificación de enfermedades, cualquiera de estos disturbios puede estar siendo reportado confusamente. Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó un seguimiento a palmas (*Elaeis guineensis*) con síntomas de marchitez, por medio de una matriz en la que se evaluaron: variables cualitativas correspondientes a síntomas externos e internos de diferentes estructuras de la palma, y variables cuantitativas relacionadas con termometría infrarroja. El análisis inicial de correspondencia múltiple (ACM) para las 74 variables cualitativas, indicó que el 79,79 % de la variabilidad

total estaba explicada por 19 factores. Se realizó un segundo análisis donde se descartaron las categorías con frecuencias bajas, en donde resultó que, para las 21 categorías restantes, el 74,57 % de la variabilidad estaba explicada por 6 factores. El análisis de clasificación jerárquica para caracteres cualitativos determinó 3 grupos, los cuales se diferenciaron principalmente por los síntomas externos observados en las palmas. La temperatura infrarroja y el delta o diferencia con la temperatura del ambiente mostró diferencias altamente significativas entre palmas enfermas y palmas aparentemente sanas.

Abstract

In recent times, the eastern part of Colombia has been affected by a variety of disturbances in new plantings and oil palm renewal. These disturbances have been associated in most cases with lethal wilt disease (LW). However, with the various confusions that arise in the identification of diseases, any alteration can be mistakenly associated with a single disease. Therefore, a follow-up was made to the palms (*Elaeis guineensis*) with symptoms of wilting, where they were evaluated: qualitative variables corresponding to symptoms, coloration, and consistency; quantitative variables corresponding to infrared thermometry and geospatial patterns of wilting cases. The initial multiple correspondence analysis (MCA) for the 75 qualitative variables, designated that 79,79% of the total variability was explained by 19 factors. A second analysis was performed where the categories with low frequencies were discarded, where it was indicated that, for the remaining 21 categories, 75% of the variability was explained by 6 factors. The hierarchical classification analysis for qualitative characters determined 3 groups, which were mainly differentiated by the external symptoms observed in the palms. The IT and the DIFF with the environment showed highly significant differences between the diseased and apparently healthy palms.

Introducción

La palma de aceite es uno de los cultivos más importantes en Colombia y el mundo. Su alta productividad, unida a su naturaleza perenne, ha llevado a una expansión acelerada de las áreas sembradas en el mundo. Según Fedepalma (2018b), Colombia tiene 537.177 hectáreas tanto en producción como en desarrollo, siendo el primer productor de Latinoamérica y el cuarto en el mundo. De las cuatro regiones palmeras que se han caracterizado en el país, la de mayor crecimiento y desarrollo es la Zona Oriental (Llanos Orientales), donde las proyecciones de expansión son inmejorables.

Según Fedepalma (2018), la Zona Oriental cuenta con un total de 215.763 hectáreas tanto en producción como en desarrollo, lo que representa el 40 % del total del área sembrada en el país. Sin embargo, han aparecido fenómenos patológicos que aún tienen muchos aspectos desconocidos, tales como, agentes causales, sintomatología característica y epidemiología, los cuales en diversa proporción afectan los cultivos y su rendimiento; comprometiendo la producción total, expresada en toneladas de racimos de fruta fresca (RFF) y la producción de aceite por hectárea (Acevedo *et al*., 2000).

Son muchas las enfermedades que afectan en la actualidad a las palmas jóvenes que proceden de renovaciones o de siembras nuevas, varios de estos disturbios pueden estar siendo asociados erróneamente a una sola enfermedad, dada la variabilidad de síntomas que se presentan generando confusiones, puesto que, Marchitez letal (ML), Marchitez sorpresiva (MS), pudriciones de estípite (PE) e incluso el estrés hídrico (EH), han sido descritas por varios autores con síntomas

similares, tales como, secamientos foliares, cambio de coloración de foliolos, pudrición o secamiento de racimos e inflorescencias, pudrición de raíces y cambio de coloración en el interior del estípite.

Según el informe de 2019, generado por la Coordinación de Manejo Fitosanitario de la Zona Oriental, se reportaron para los 20 Núcleos Palmeros vinculados (169.100 hectáreas), un total de 149.483 casos asociados a Marchitez letal (ML) para el año 2018 y 150.809 casos para el 2019, es decir que en estos dos periodos se han erradicado alrededor de 2.150 hectáreas. Con relación a la zona del Bajo Upía se reportaron en el año 2019 un total de 12.158 casos asociados a Marchitez letal.

Partiendo de la problemática actual referente a la caracterización incorrecta de enfermedades, un gran número de los casos reportados como ML por muchas plantaciones podrían ser erróneos, conllevando a prácticas y manejos sanitarios incorrectos. Debido a esta situación, se realizó un seguimiento a palmas con síntomas de marchitez con la implementación de dos herramientas de apoyo que permitieran un mejor reconocimiento: una matriz de síntomas, con la finalidad de realizar una descripción detallada de los síntomas presentes en las diferentes estructuras de la palma; y un termómetro infrarrojo, para identificar las temperaturas propias de las palmas tanto enfermas como aquellas que estaban aparentemente sanas.

Con las variables cualitativas identificadas en la matriz se realizó un análisis de correspondencia múltiple (ACM) y un análisis de clasificación (clúster); la significancia de la temperatura fue evaluada mediante una prueba t de Student.

Análisis de correspondencia múltiple (ACM)

Esta es una técnica que permite representar las categorías de más de dos variables cualitativas en un espacio de pequeñas dimensiones. Ello implica, que la representación se hace agrupando las categorías en función de las similitudes que presenten en las variables relacionadas. Considerando la similitud entre categorías se produce una síntesis, reducción o resumen de estas en torno a pequeñas dimensiones. En este sentido, las dimensiones son sinónimo de factores. Esta es una técnica para el estudio de las relaciones de dependencia entre variables categóricas presentadas en forma de tablas de contingencia (Rodríguez y Mora, 2001).

Análisis de clasificación clúster

Es conocido como análisis de conglomerados. Es una técnica estadística multivariante que busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre ellos (De La fuente, 2011). Este análisis permite diferenciar los disturbios mediante las características agrupadas en cada clúster, lo que contribuye a describir correctamente la enfermedad.

Prueba t de Student

Es un tipo de estadística deductiva. Se utiliza para determinar si hay una diferencia significativa entre las medias de dos grupos (SEFO, 2019).

Materiales y métodos

Localización

Este estudio se realizó en cuatro plantaciones de la subzona del Bajo Upía de la Zona Oriental de Colombia: Guaicaramo S. A. S. localizada en el municipio de Barranca de Upía, departamento del Meta, ubicada a 4° 29’ N y 72° 57’ O. Palmas del Casanare S. A. S. ubicada a 4° 34’ N y 72° 49’ O, Palmar de Oriente S. A. S. ubicada a 4° 29’ N y 72° 57’ O, e Inversiones los Maracos S. A. S. ubicada a 4° 32’ N y 72° 45’ O, localizadas estas tres últimas en el municipio de Villanueva, departamento del Casanare (Figura 1).

Evaluaciones

Se programaron visitas semanales a cada plantación, en donde se escogieron los lotes con palmas (*Elaeis guineensis*) con edades de siembra entre tres y seis años. En cada jornada se visitaron todas las palmas y se identificaron las que presentaban anomalías asociadas a marchitez. El seguimiento fue realizado en tres evaluaciones:

- *Primera evaluación:* 1 día después de observada.
- *Segunda evaluación:* a los 6 días después de observada.
- *Tercera evaluación:* a los 10 días después de observada.

Una vez completados los 10 días, se procedió a erradicar la palma con la finalidad de conocer el estado interno (Figura 2).

Variables evaluadas

Se evaluaron variables cualitativas correspondientes a: sintomatología, coloración y consistencia. Se evaluó la temperatura del follaje de las palmas enfermas y de las palmas ubicadas a su alrededor mediante termometría infrarroja. La Tabla 1 muestra las variables estudiadas con relación a las tres evaluaciones.

Figura 1. Localización de la zona de estudio

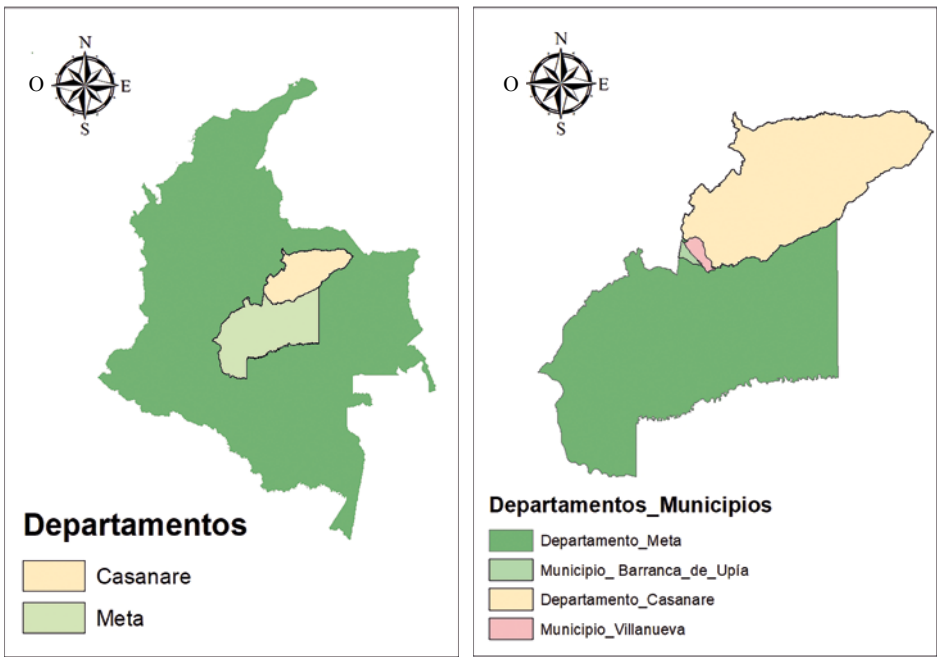


Figura 2. Erradicación de palma A: volcamiento con utilización de palín; B: corte transversal con motosierra; C: corte longitudinal con motosierra

Sintomatología

La descripción de las sintomatologías observadas se registró en una matriz elaborada para este estudio. En esta se describieron 30 síntomas cualitativos, 17 correspondientes a síntomas externos y 13 a síntomas internos.

Dentro de los externos, ocho describen hojas, cinco foliolos y cuatro los racimos e inflorescencias.

Dentro de los síntomas internos, cuatro describen las raíces y nueve el estado interno del estípite (Tabla 2).

La Tabla 3 muestra el formato de la matriz de síntomas, la cual está dividida en: follaje, foliolos, racimos e inflorescencias, raíces y parte interna del estípite.

Tabla 1. Variables evaluadas en el seguimiento a palmas con marchitez

Variable	Primera evaluación (1 ddo)	Segunda evaluación (6 ddo)	Tercera evaluación (10 ddo)
Sintomatología externa	X	X	X
Sintomatología interna			X
Coloración	X	X	X
Consistencia	X	X	X
Termometría infrarroja	X	X	X

* ddo: días después de observación

Tabla 2. Descriptores cualitativos utilizados en el seguimiento a palmas con marchitez

No.	Descriptor	Abrev.
1	Secamiento ordenado de hojas	SOH
2	Secamiento desordenado de hojas	SDH
3	Secamiento ascendente	SAsc
4	Secamiento descendente	SDsc
5	Clorosis en hojas nuevas	CHN
6	Acumulación de flechas	AF
7	Pudrición de flecha	PF
8	Hojas superiores con puntas afectadas	HSPA
9	Secamiento a partir del ápice	SAp
10	Secamiento a partir de la base	SBs
11	Secamiento precedido de coloración amarilla	SPCA
12	Entorchamiento de foliolos a partir del ápice	EF
13	Secamiento de foliolos rudimentarios	SFR
14	Racimos podridos	RP
15	Inflorescencias podridas	IP
16	Frutos con fácil desprendimiento y pudrición a partir de la base	FDPB
17	Frutos momificados y con fácil desprendimiento	FMD
18	Abundancia de sistema radicular	ASR
19	Escasez de sistema radicular	ESR
20	Raíces aparentemente sanas	RS
21	Raíces visiblemente en mal estado	RME
22	Coloración normal de estípite	CNE
23	Coloración amarillenta de estípite	CAE
24	Zonas rojizas al interior del estípite	ZRE
25	Zonas con aparentes pudriciones secas	ZPS
26	Zonas con aparentes pudriciones húmedas	ZPH
27	Galerías causadas por *Strategus*	GS
28	Lesiones sin olor fétido	LSO
29	Lesiones con olor fétido	LCO
30	Halo rojizo en el interior del estípite	HRE

Tabla 3. Formato elaborado para la evaluación de palmas con síntomas de marchitez

Apariencia general del follaje				
N° Palma	Secamiento ordenado de hojas	Secamiento desordenado de hojas	Secamiento ascendente	Secamiento descendente
	Clorosis hojas nuevas	Acumulación flechas	Pudrición flecha	Hojas superiores con puntas afectadas

Apariencia general de foliolos					
N° Palma	Secamiento a partir del ápice	Secamiento a partir de la base	Secamiento precedido de coloración amarilla	Entorchamiento de foliolos a partir del ápice y por los bordes de los foliolos	Secamiento foliolos rudimentarios

Racimos y frutos				
N° Palma	Racimos podridos	Inflorescencias podridas	Frutos con fácil desprendimiento y pudrición a partir de la base	Frutos momificados y con fácil desprendimiento

Estado de raíces				
N° Palma	Abundancia sistema radicular	Escasez sistema radicular	Raíces aparentemente sanas	Raíces visiblemente en mal estado

Parte interna del estípite					
N° Palma	Coloración normal de estípite	Coloración amarillenta de estípite	Zonas rojizas al interior del estípite	Zonas con aparentes pudriciones secas	Zonas con aparente pudrición húmeda
	Galerías causadas por *Strategus*	Lesiones con olor fétido	Lesiones sin olor fétido	Halo rojizo en el interior del estípite	

Coloración

Se describieron las tonalidades observadas desde el ápice hasta la base, de los foliolos del tercio inferior, medio y superior (Figura 3) en el formato de la Tabla 4.

Consistencia

Se determinó la consistencia de las puntas de los foliolos frotando con los dedos índice y pulgar la parte afectada, conociendo de esta manera su turgencia o flexibilidad o, como caso contrario, su característica quebradiza.

Termometría infrarroja

Se registraron las temperaturas infrarrojas de las palmas afectadas y del anillo de palmas situado a su alrededor utilizando un termómetro infrarrojo EVEREST 6210L® (Figura 4a). Para esta medición, se tuvo como referencia la metodología utilizada por Arango *et al.* (2017), (Figura 4b), la cual consiste en situarse a un metro de la gotera de la palma, sin que los rayos del sol influyan sobre el frente del termómetro y dirigirlo hacia la parte media de la palma.

Resultados y discusión

Se evaluaron entre las cuatro plantaciones una totalidad de 86 palmas durante los meses de febrero a noviembre de 2018. En la Tabla 5 se muestran las características de los lotes evaluados.

Matriz de síntomas

Síntomas externos e internos

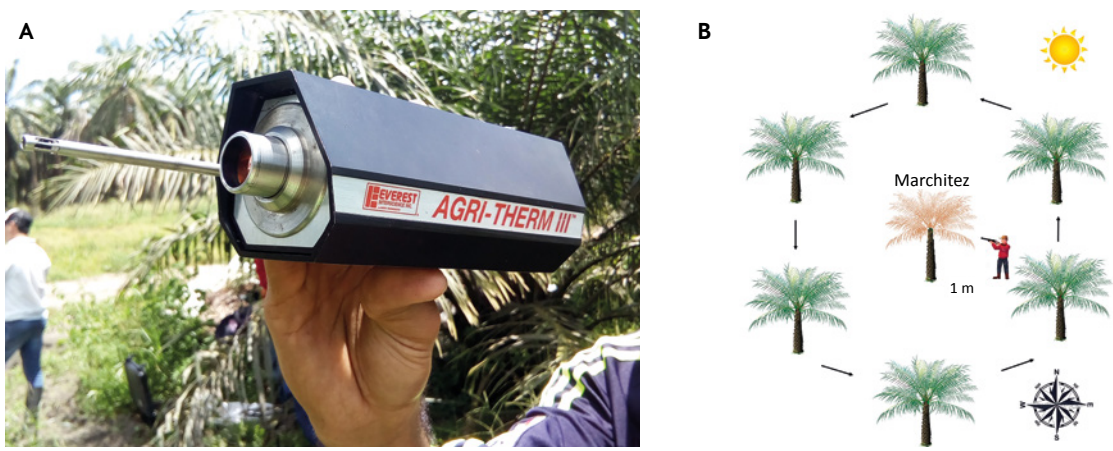
En la totalidad de las palmas evaluadas, cinco síntomas considerados en la matriz no fueron observados:

Figura 3. Determinación de tonalidades

Tabla 4. Formato elaborado para descripción de tonalidades (más adelante se presentan las tonalidades observadas)

Coloración foliolos				
Hojas tercio	**Color 1**	**Color 2**	**Color 3**	**Color 4**
Inferior				
Medio				
Superior				

Figura 4. A: termómetro utilizado para la evaluación; B: metodología para toma de datos de temperatura



secamiento desordenado de hojas (SDH), secamiento descendente (SDsc), secamiento a partir de la base (SBs), coloración normal de estípite (CNE) y zonas con aparentes pudriciones secas (ZPS). En cambio, sí se identificó secamiento ordenado de hojas (SOH), secamiento ascendente (SAsc), secamiento a partir del ápice (SAp), entorchamiento de foliolos (EF), coloración amarilla en estípite (CAE), en las 86 palmas objeto de observación.

Coloración

Mediante las observaciones en campo se encontraron 6 diferentes colores (Tabla 6), los cuales se combinaban en los foliolos llegando a formar 10 diferentes combinaciones (Tabla 7, Figura 5).

Análisis de correspondencia múltiple

Para realizar el análisis estadístico de correspondencia múltiple (ACM), se agrupó en 11 variables todas las categorías cualitativas que fueron observadas en las palmas evaluadas, teniendo un total de 75 categorías (Tabla 8). De estas, fueron descartadas 23 por el programa estadístico SPAD, dado que este elimina por defecto aquellas categorías con una frecuencia baja (Bécue, 2005).

Tabla 5. Características de lotes evaluados

Plantación	Lote	Material	Año de siembra
Guaicaramo S. A. S.	B.7	IRHO	2015
	B.340	IRHO	2014
Palmas del Casanare S. A. S.	E	IRHO	2014
	D	IRHO	2015
Palmar de Oriente S. A. S.	14	IRHO	2015
Inversiones los Maracos S. A. S.	C	Unipalma	2012

Tabla 6. Tonalidades observadas en foliolos afectados

Color	Abreviatura
Café claro	Cc
Café	C
Amarillo	A
Verde	V
Gris	G
Verde amarillo	Va

Tabla 7. Combinaciones de tonalidades observadas

No.	Color 1	Color 2	Color 3	Color 4	Abreviatura
1	Café claro	Café	Amarillo	Verde	CcCAV
2	Café claro	Café	Café	Café	CcCCC
3	Café claro	Café	Verde	Verde	CcCVV
4	Café claro	Café claro	Café claro	Café claro	CcCcCcCc
5	Café claro	Café	Verde amarillo	Verde amarillo	CcCVaVa
6	Gris	Café	Amarillo	Verde	GCAV
7	Gris	Café	Verde amarillo	Verde amarillo	GCVaVa
8	Gris	Café	Verde	Verde	GCVV
9	Gris	Gris	Gris	Gris	GGGG
10	Verde	Verde	Verde	Verde	VVVV

Figura 5. Combinaciones de tonalidades observadas. A: CcCAV; B: CCCC; C: CcCcCcCc; D: CcCVV; E: CcCVaVa; F: GCAV; G: GCVaVa; H: GCVV; I: GGGG; J: VVVV

El análisis inicial indicó que, para las 53 categorías el 79,79 % de la variabilidad total está explicada en 19 factores o dimensiones, lo cual según Bécue (2005) es habitual en el análisis de correspondencias múltiples, ya que la variabilidad inicial suele ser elevada.

Se realizó un segundo análisis en donde se descartaron las categorías menos representativas, teniendo como referencia la tabla de frecuencias (Tabla 9).

Tabla 8. Agrupación de variables y categorías

Variable	Categorías
Hojas	13
Foliolos	2
Racimos e inflorescencias	7
Raíces	3
Estípite	13
Color hojas tercio inferior (CHTI)	10
Color hojas tercio medio (CHTM)	10
Color hojas tercio superior (CHTS)	10
Consistencia hojas tercio inferior (CHTI)	2
Consistencia hojas tercio medio (CHTM)	2
Consistencia hojas tercio superior (CHTS)	2

Tabla 9. Frecuencias de las categorías

Parte evaluada	Síntoma	Frecuencia
HOJAS	SOH-SAsc	21
	SOH-SAsc-AF	5
	SOH-SAsc-AF-PF	1
	SOH-SAsc-CHN	22
	SOH-SAsc-CHN-AF	6
	SOH-SAsc-CHN-AF-PF	4
	SOH-SAsc-CHN-HSPA	8
	SOH-SAsc-CHN-HSPA-AF	1
	SOH-SAsc-CHN-HSPA-PF	5
	SOH-SAsc-CHN-PF	5
	SOH-SAsc-HSPA	4
	SOH-SAsc-HSPA-PF	2
	SOH-SAsc-PF	2
COLORACIÓN HOJAS TERCIO INFERIOR	CcCAV	29
	CcCCC	9
	CcCVV	14
	CcCcCcCc	7
	CcCVaVa	19
	GCAV	3
	GCVaVa	3
	GCVV	1
	GGGG	1
	VVVV	0
COLORACIÓN HOJAS TERCIO MEDIO	CcCAV	45
	CcCCC	3
	CcCVV	6

Continúa

Parte evaluada	Síntoma	Frecuencia
FOLIOLOS	SAp-EF-SFR	31
	SAp-SPCA-EF-SFR	55
RACIMOS E INFLORESCENCIAS	FMD	1
	IP	1
	IP-FMD	42
	RP-FDPB	3
	RP-FDPB-FMD	2
	RP-IP-FDPB	17
	RP-IP-FDPB-FMD	17
RAÍCES	ASR-RME	13
	ASR-RS	72
	ESR-RS	1
ESTADO INTERNO ESTÍPITE	CAE	13
	CAE-HRE	5
	CAE-ZPH-GS-LCO	1
	CAE-ZPH-LCO	1
	CAE-ZRE	39
	CAE-ZRE-GS	5
	CAE-ZRE-GS-LCO	2
	CAE-ZRE-HRE	12
	CAE-ZRE-HRE-GS	1
	CAE-ZRE-LSO	1
	CAE-ZRE-ZPH-GS-LCO	1
	CAE-ZRE-ZPH-LCO	3
	CAE-ZRE-ZPH-LSO	2
COLORACIÓN HOJAS TERCIO MEDIO	CcCcCcCc	2
	CcCVaVa	24
	GCAV	2
	GCVaVa	2
	GCVV	1
	GGGG	1
	VVVV	0
COLORACIÓN HOJAS TERCIO SUPERIOR	CcCAV	8
	CcCCC	0
	CcCVV	4
	CcCcCcCc	0
	CcCVV	2
	GCAV	0
	GCVaVa	0
	GCVV	0
	GGGG	0
	VVVV	72
CONSISTENCIA HOJAS TERCIO INFERIOR	Turgente	43
	Quebradizo	43
CONSISTENCIA HOJAS TERCIO MEDIO	Turgente	65
	Quebradizo	21
CONSISTENCIA HOJAS TERCIO SUPERIOR	Turgente	84
	Quebradizo	2

SOH: secamiento ordenado de hojas; SAsc: secamiento ascendente; AF: acumulación de flechas; PF: pudrición flecha; HSPA: hojas superiores con puntas afectadas: SAp: secamiento a partir del ápice; SPCA: secamiento precedido de coloración amarilla; EF: entorchamiento de foliolos; SFR: secamiento de foliolos rudimentarios; FMD: frutos momificados con fácil desprendimiento; IP: inflorescencias podridas; RP: racimos podridos; FDPB: frutos con fácil desprendimiento y pudrición a partir de la base; ASR: abundancia de raíces; RME: raíces en mal estado; RS: raíces sanas; ESR: escasez de raíces; CAE: coloración amarilla de estípite; HRE: halo rojizo en estípite; ZPH: zonas con pudriciones húmeda; GS: galerías causadas por *Strategus*; LCO: lesiones con olor; HRE: halo rojizo en estípite; ZRE: zonas rojizas en estípite; LSO: lesiones sin olor. El ancho del color indica la mayor o menor contribución de las variables en cada uno de los factores.

El segundo análisis indicó que para las 21 categorías restantes el 74,57 % de la variabilidad total está explicada en 6 factores (Tabla 10). El primer factor explica el 21,55 % de la variabilidad total, mientras que el segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto contribuyen con el 15,23 %, 10,62 %, 9,87 %, 9,36 %, 7,93 %, en su respectivo orden.

Tabla 10. Valores propios y proporción de la varianza resultante del Análisis de correspondencia múltiple

Factor	Valor propio	Varianza (%)	Varianza acumulada (%)
1	0,2874	21,6	21,6
2	0,2031	15,2	36,8
3	0,1416	10,6	47,4
4	0,1315	9,9	57,3
5	0,1248	9,4	66,6
6	0,1057	7,9	74,6

Las variables que más contribuyeron a la conformación del factor 1 fueron: secamiento a partir del ápice-entorchamiento de foliolos-secamiento foliolos rudimentarios (SAp - EF - SFR = 14,87 %), coloración hojas tercio inferior café claro-café-amarillo-verde (CHTI - CcCAV = 10,10 %), coloración hojas tercio medio café claro-café-verde amarillo-verde amarillo (CHTM - CcCVaVa = 9,45 %).

El factor 2 está definido principalmente por consistencia hojas tercio superior quebradiza (CONSHTS - Qbz = 17,82 %), secamiento ordenado de hojas-secamiento ascendente-clorosis hojas nuevas (SOH - SAsc - CHN = 13,68 %), secamiento ordenado de hojas-secamiento ascendente (SOH - SAsc = 11,90 %).

El factor 3 está representado por coloración amarillenta de estípite-zonas rojizas en estípite-halo rojizo en estípite (CAE - ZRE - HRE = 26,12 %), abundancia sistema radicular-raíces en mal estado (ASR - RME = 19,35 %).

En el factor 4 aportaron las variables coloración amarillenta de estípite-zonas rojizas en estípite (CAR - ZRE = 23,28 %), coloración hojas tercio inferior café claro-café-verde-verde (CHTI - CcCVV = 20,54 %).

El factor 5 con abundancia sistema radicular-raíces en mal estado (ASR - RME = 31,40 %)

En el factor 6 aportaron las variables racimos podridos-inflorescencias podridas-frutos con fácil desprendimiento y pudrición basal (RP - IP - FDPB = 35,09 %), racimos podridos-inflorescencias podridas-frutos con fácil desprendimiento y pudrición basal-frutos momificados con fácil desprendimiento (RP - IP - FDPB - FMD = 26,79 %).

En la Tabla 11 se muestra la contribución de los valores propios a la formación de cada uno de los factores.

Análisis de clasificación jerárquica (clúster)

De acuerdo con el análisis de clasificación jerárquica, las 86 palmas evaluadas se clasificaron en 3 grupos (clúster) (Figura 6).

Clúster 1

Está conformado por 23 palmas que corresponden al 25,58 % del total de la población, agrupando las siguientes variables y categorías (Tabla 12, Figura 7).

Tabla 11. Contribución de factores a la variación total

Característica	Abreviaturas	Contribución factores					
		1	2	3	4	5	6
HOJAS	SOH-SAsc	1,38	11,90	0,34	0,13	1,60	1,02
	SOH-SAsc-CHN	1,59	13,68	0,39	0,15	1,84	1,17

Continúa

Característica	Abreviaturas	Contribución factores					
		1	2	3	4	5	6
FOLIOLOS	SAp-EF-SFR	14,87	0,90	0,22	4,65	1,07	0,50
	SAp-SPCA-EF-SFR	8,38	0,51	0,13	2,62	0,60	0,28
RACIMOS E INFLORESCENCIAS	IP-FMD	8,95	0,21	3,06	0,32	1,11	0,04
	RP-IP-FDPB	8,57	0,45	0,98	0,05	3,10	35,09
	RP-IP-FDPB-FMD	3,11	1,72	12,49	0,40	10,28	26,79
RAÍCES	ASR-RME	0,15	0,21	19,35	0,05	31,40	6,57
	ASR-RS	0,03	0,04	3,76	0,01	6,11	1,28
ESTÍPITE	CAE	0,16	4,76	4,41	20,33	16,37	5,19
	CAE-ZRE	0,38	0,77	3,99	23,28	1,67	0,80
	CAE-ZRE-HRE	1,80	0,60	26,12	9,01	3,84	12,88
COLOR HOJAS TERCIO INFERIOR	CcCAV	10,10	0,00	5,99	0,07	4,06	1,70
	CcCVV	2,95	6,14	0,00	20,54	8,53	0,21
	CcCVaVa	4,71	5,34	7,96	14,30	0,08	3,76
COLOR HOJAS TERCIO MEDIO	CcCAV	5,33	2,51	2,82	0,43	0,28	0,29
	CcCVaVa	9,45	4,46	5,00	0,76	0,50	0,51
CONSISTENCIA HOJAS TERCIO INFERIOR	Turgente	5,74	11,10	1,44	1,39	0,00	0,00
	Quebradizo	5,74	11,10	1,44	1,39	0,00	0,00
CONSISTENCIA HOJAS TERCIO MEDIO	Turgente	1,61	5,76	0,03	0,03	1,84	0,47
	Quebradizo	5,00	17,82	0,08	0,08	5,71	1,45

SOH: secamiento ordenado de hojas; SAsc: secamiento ascendente; CHN: clorosis en hojas nuevas, SAp: secamiento a partir del ápice; EF: entorchamiento de foliolos; SFR: secamiento de foliolos rudimentarios; IP: inflorescencias podridas; FMD: frutos momificados con fácil desprendimiento; RP: racimos podridos; FDPB: frutos con fácil desprendimiento y pudrición a partir de la base; FMD: frutos momificados con fácil desprendimiento; ASR: abundancia de raíces; RME: raíces en mal estado; RS: raíces sanas; CAE: coloración amarilla de estípite; ZRE: zonas rojizas en estípite; HRE: halo rojizo en estípite; CcCAV: café claro-café-amarillo-verde; CcCVV: café claro-café-verde-verde; CcCVaVa: café claro- café- verde amarillo-verde amarillo. El ancho del color indica la mayor o menor contribución de las variables en cada uno de los factores.

Figura 6. Dendrograma del análisis de clasificación jerárquica de las 86 palmas evaluadas

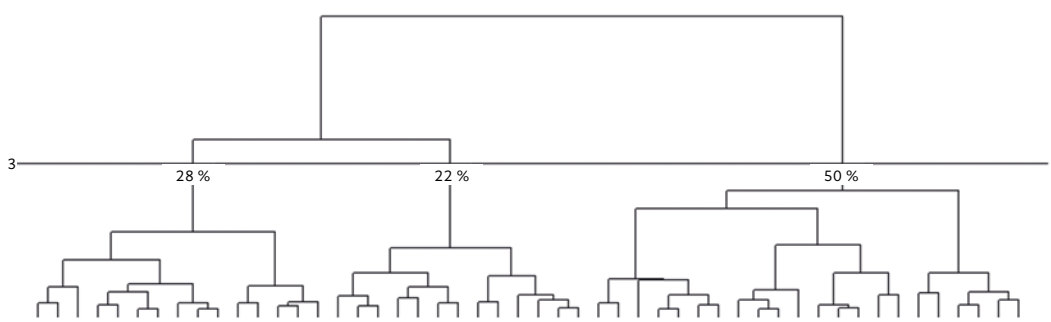


Tabla 12. Variables y categorías agrupadas en el clúster 1

Variables	Categorías	Porcentaje del grupo en la categoría
HOJAS	SOH-SAsc-CHN	54,5
FOLIOLOS	SAp-EF-SFR	58,1
RACIMOS E INFLORESCENCIAS	IP-FMD	45,2
COLORACIÓN HOJAS TERCIO INFERIOR (CHTI)	CcCVaVa	73,7
COLORACIÓN HOJAS TERCIO MEDIO (CHTM)	CcCVaVa	75,0

SOH: secamiento ordenado de hojas; SAsc: secamiento ascendente; CHN: clorosis hojas nuevas; SAp: secamiento a partir del ápice; EF: entorchamiento de foliolos; SFR: secamiento foliolos rudimentarios; IP: inflorescencias podridas; FMD: frutos momificados con fácil desprendimiento: CcCVaVa: café claro-café-verde amarillo-verde amarillo.

Figura 7. Sintomatología palmas agrupadas en este clúster. A: SOH-SAsc-CHN; B: SAp-EF y CcCVaVa; C: IP; D: SFR; E-F: FMD

Se presenta a continuación una comparación de algunas características agrupadas en este clúster, que son similares a las descritas por varios autores en la caracterización de enfermedades (Tabla 13). De acuerdo con la revisión de literatura, dos enfermedades presentan similitud sintomatológica con relación a las características presentadas en este clúster.

Los tipos de pudrición de estípite, seca (*Ceratocystis* sp.), basal (*Ganoderma* sp.), húmeda (bacterias), corchosa (*Kretzschmaria deusta*) y pudrición alta del tallo (*Phellinus noxius*), presentan afecciones como: descomposición de estípite, coloración marrón oscura en la zona afectada, tejido corchoso, húmedo, algodonoso o esponjoso y quebradizo, dependiendo del tipo de pudrición de estípite presente (Nieto, 1994; Albertazzi, 2017). Estas características no se agruparon en este clúster, por lo que en primera instancia se descartaría la posibilidad de una pudrición de estípite, sin embargo, Nieto (1994), menciona que la sintomatología foliar en palmas con pudriciones basales del tallo se caracteriza por ser más pálida o con pérdida de color (cloróticas) pero afirma que es muy parecida a la de otros disturbios como Marchitez sorpresiva, Anillo rojo o desnutrición.

La pudrición de racimos e inflorescencias no ha sido reportada como consecuencia de una pudrición de estípite, haciendo necesario el desarrollo de experimentos de patogenicidad en palmas jóvenes con los agentes causales de esta pudrición, para determinar las sintomatologías causadas por esta enfermedad. Una característica importante observada en este grupo, es que cuando hay presencia de pudrición de racimos, sus frutos pierden su brillo y se secan completamente.

Fusarium oxysporum f. sp. *elaeidis*, causante de la enfermedad Marchitez vascular en palma de aceite, es un hongo habitante natural del suelo, el cual penetra a la palma por las raíces y se moviliza por el xilema donde produce una obstrucción de vasos, lo cual conlleva al marchitamiento y muerte de la palma (Renard y Quillec, 1985). Al verse interrumpido el transporte de agua y otras sustancias, afecta el desarrollo de muchos órganos, siendo una posible causa de la desecación o momificación de los frutos ya formados y la pudrición de las inflorescencias. Sin embargo, autores como (Renard, 1979; Turner, 1981; Flood y Mepsted, 1991; Franqueville y Renard, 1990) afirman que la pudrición de racimos e inflorescencias no se ha reportado en palmas que padecen fusariosis.

Sánchez (1966) postula que esta enfermedad fue reconocida en el país para palma de aceite, sin embargo, esta forma especial del género *Fusarium* aún no ha sido confirmada en Colombia. No obstante, trabajos realizados en el país por Sánchez *et al*. (2003) demuestran que la fusariosis no es causante de las sintomatologías de los nuevos disturbios al realizar pruebas de patogenicidad en plántulas de vivero, a pesar de ello, consideran que es necesario desarrollar

Tabla 13. Reporte de varios autores en la caracterización de enfermedades

Enfermedad	Autor(es)	Característica
Marchitez vascular (*Fusarium oxysporum*)	Turner (1981)	Coloración amarillo-limón en hojas jóvenes
		Hojas de la corona se secan tomando color gris-café
		Desecación de la hoja comienza por el ápice
	Franqueville y Diabaté (1995)	Amarillamiento y decoloración café, parte media de la corona
	Elliott (2010)	Los foliolos presentan tonos amarillentos o más frecuentemente tendrán una sombra de color marrón
Pudrición de estípite	Idris (2013)	Amarillamiento de un solo lado o moteado de las hojas bajeras seguido de necrosis
		Hojas recién desplegadas son cloróticas
		La necrosis empieza en las hojas más viejas y se extiende progresivamente hacia arriba a través de la corona

experimentos de patogenicidad en palmas jóvenes y adultas para determinar si algún miembro del género *Fusarium* es el agente causal de los nuevos disturbios.

Clúster 2

Está conformado por 19 palmas que corresponden al 22,09 % de la población total, agrupando las siguientes variables y categorías (Tabla 14, Figura 8).

Se presenta a continuación una comparación de algunas de las características agrupadas en este clúster, que son similares a las descritas por varios autores en la caracterización de enfermedades (Tabla 15). De acuerdo con la revisión de literatura, tres enfermedades presentan similitud sintomatológica.

Según Idris (2013), las palmas inmaduras con pudrición de estípite presentan acumulación de flechas acompañada de una clorosis o amarillamiento de las hojas superiores; sin embargo, este conjunto de palmas no agrupó ninguna característica con relación a la parte interna del estípite, ni a las características externas de los casos que presentaron pudrición húmeda

Tabla 14. Variables y categorías agrupadas en el clúster 2

Variables	Categorías	Porcentaje del grupo en la categoría
HOJAS	SOH-SAsc-CHN-AF-PF	100,0
COLORACIÓN HOJAS TERCIO INFERIOR (CHTI)	CcCcCcCc	85,7
CONSISTENCIA HOJAS TERCIO INFERIOR	Quebradizo	48,8
CONSISTENCIA HOJAS TERCIO MEDIO	Quebradizo	95,2

SOH: secamiento ordenado de hojas; SAsc: secamiento ascendente; CHN: clorosis hojas nuevas; AF: acumulación flechas; PF: pudrición flecha; CcCcCcCc: café claro-café claro-café claro-café claro.

Figura 8. Sintomatología palmas agrupadas en este clúster. A: SOH-SAsc-CHN; B: AF; C: PF; D-E: CcCcCcCc

de estípite en este estudio, por lo tanto, sería incorrecto calificarlas con esta enfermedad.

La Pudrición del cogollo (PC) puede presentar una variedad de síntomas dependiendo del periodo y el avance en el que se encuentre. Una acumulación de varias flechas sin abrir puede preceder a esta enfermedad (Chinchilla, 2008). Un amarillamiento o clorosis en las hojas jóvenes, además de la pudrición de la flecha puede notarse en estados avanzados (Nieto, 1992). En los Llanos Orientales en periodos secos, la enfermedad se presenta como una pudrición de flecha y en invierno la pudrición avanza a los tejidos internos y manifiesta una sintomatología típica de Pudrición del cogollo (Martins, 1990; Nieto, 1992). Con base en lo anterior, es claro reconocer que estamos frente a una PC, sin embargo, es importante analizar las demás características agrupadas, dado que el estrés hídrico (EH) ocasiona muchas de estas.

Según Arango *et al.* (2011), el EH presenta características muy puntuales en los foliolos afectados, tal como el no cambio de tonalidad en la región de avance (Figura 7D), consistencia quebradiza de la parte afectada y acumulación de flechas. Todos estos síntomas hacen parte de las características mostradas en este grupo. Por lo tanto, se concluye que las palmas presentan PC y EH.

Clúster 3

Está conformado por 43 palmas que corresponden al 50 % de la población total, agrupando las siguientes categorías y variables (Tabla 16, Figura 9).

Tabla 15. Reporte de varios autores en la caracterización de enfermedades

Enfermedad	Autor(es)	Característica
Pudrición de estípite	Idris (2013)	Acumulación de varias flechas sin abrir
		Clorosis en hojas jóvenes
Pudrición del cogollo	Nieto (1992) y Cenipalma (2016)	Pudrición de flecha
Estrés hídrico	Arango *et al.* (2011)	Acumulación de flechas
		No cambio de tonalidad en foliolos
	Cornaire (1994)	Numerosas flechas cerradas

Tabla 16. Variables y categorías agrupadas en el clúster 3

Variables	Categorías	Porcentaje del grupo en la categoría
HOJAS	SOH-SAsc	76,2
FOLIOLOS	SAp-SPCA-EF-SFR	70,9
RACIMOS E INFLORESCENCIAS	RP-IP-FDPB	94,1
RACIMOS E INFLORESCENCIAS	RP-IP-FDPB-FMD	23,8
ESTÍPITE	CAE-ZRE-HRE	58,3
COLOR HOJAS TERCIO INFERIOR (CHTI)	CcCAV	96,6
COLOR HOJAS TERCIO MEDIO (CHTM)	CcCAV	84,4
CONSISTENCIA HOJAS TERCIO INFERIOR	Turgente	67,4
CONSISTENCIA HOJAS TERCIO INFERIOR	Turgente	61,0

SOH: secamiento ordenado de hojas; SAsc: secamiento ascendente; SAp: secamiento a partir del ápice; SPCA: secamiento precedido por coloración amarilla; EF: entorchamiento foliolos; SFR: secamiento foliolos rudimentarios; RP: racimos podridos IP: inflorescencias podridas; FDPB: frutos con fácil desprendimiento y pudrición a partir de la base; FMD: frutos momificados con fácil desprendimiento; CAE: coloración amarilla en estípite; ZRE: zonas rojizas en estípite; HRE: halo rojizo en estípite; CcCAV: café claro-café-amarillo-verde.

Se presenta a continuación una comparación de algunas de las características agrupadas en este clúster, que son similares a las descritas por varios autores en la caracterización de enfermedades (Tabla 17). De acuerdo con la revisión de literatura, solamente la ML presenta similitud sintomatológica con relación a las características presentadas en este clúster.

Las palmas agrupadas con estas características pueden catalogarse con ML, puesto que presentan la mayoría de los síntomas descritos por los autores para esta enfermedad. La única excepción evidenciada es que la característica secamiento desordenado o disperso de hojas no fue observada en ninguna de las palmas evaluadas. Es recomendable hacer seguimiento a las que tienen Marchitez letal y comprobar si esa característica es típica de la enfermedad.

En estas palmas agrupadas, se observó una característica en la distribución del secamiento en los foliolos, que debe ser tenida en cuenta para la correcta identificación de la ML.

Figura 9. Sintomatología palmas agrupadas en este clúster. A: SOH-SAsc; B: SAp-SPCA-CcCAV; C: SFR; D: RP; E: FDPB; F: FDPB-FMD; G: IP; H-I: HRE; J-K: CAE-ZRE

En la Figura 10 se observa que el secamiento de coloración café inicia por el ápice del foliolo afectado, distribuyéndose posteriormente hacia los bordes. El margen de color amarillo únicamente precede este secamiento, es decir, no se observa la coloración amarilla en lugares donde no haya necrosis, a diferencia de las demás combinaciones de colores que se presentan en otros foliolos asociados a marchitez (Figura 5).

La Figura 11 muestra las características de las cinco palmas que presentaron Pudrición húmeda de estípite (PHE), que al igual a lo descrito por Albertazzi (2017), se observó un exudado con olor desagradable en la parte basal del estípite.

Estas palmas fueron descartadas en el análisis estadístico por presentar una frecuencia baja, sin embargo, es muy importante conocer los síntomas característicos para poder diferenciarse de otras enfermedades.

Es necesario resaltar que la matriz permite organizar y describir detalladamente los síntomas presentes en cada estructura de la palma y se convierte en una herramienta de apoyo en campo, complementaria a pruebas que se puedan realizar en laboratorio según sea necesario, para un correcto reconocimiento.

Tabla 17. Reporte de varios autores en la caracterización de enfermedades

Enfermedad	Autor(es)	Características
Marchitez letal	Arango *et al*. (2011)	Secamiento foliar ascendente
		Secamiento de foliolos precedido de coloración amarillenta
	Acosta *et al*. (2001)	Foliolos lateralmente toman un color marrón que avanza por su margen, precedido de una coloración amarillenta
		Racimos podridos
		Frutos con fácil desprendimiento y pudrición a partir de la base
		Pudrición de inflorescencias
		En algunos casos es posible encontrar un halo necrótico a lo largo del estípite
	Sánchez *et al*. (2003)	Presencia muy frecuente de un halo variable en color, que va desde la base del estípite (de color crema oscuro) al bajo meristemo (de color crema oscuro a violáceo)
		Cambios de coloración en el estípite (de color crema a salmón)

Figura 10. Disposición de la afección en foliolos en palmas con ML

Termometría infrarroja

Se registraron las temperaturas infrarrojas de las palmas enfermas identificadas y de las aparentemente sanas ubicadas a su alrededor.

Se realizó una prueba t de comparación de muestras independientes, cuyo análisis mostró los resultados presentados en la Tabla 18.

La temperatura infrarroja (TI) y la temperatura DIF (la diferencia entre la temperatura ambiente y

Figura 11. Sintomatología palmas con Pudrición húmeda de estípite. A: SOH-SAsc-CHN; B: HSPA; C: GS; D: LCO; E: CAE-ZRE

Tabla 18. Resultados del análisis de prueba t

Valor	Estado					
	Enferma			Sana		
	TA	TI	DIF	TA	TI	DIF
n	26	26	26	25	25	25
Media	33,68	30,75	-2,7	33,58	28,96	-4,56
DE	1,93	1,36	1,52	1,95	1,36	1,41
p-valor	0,8538	<0,05**		0,8538	<0,05**	

TA: temperatura ambiental; TI: temperatura infrarroja; Dif: diferencia con el ambiente; **altamente significativo.

la infrarroja) de las 26 palmas evaluadas, mostraron diferencias estadísticas altamente significativas para ambos grupos de palmas. Las evaluadas con síntomas de marchitez presentaron una mayor temperatura infrarroja de 30,75 y -2,70 °C, con relación a las palmas aparentemente sanas que presentaron una temperatura de 28,96 y -4,56 °C, evidenciando una diferencia entre los grupos de 1,79 °C.

Cabe aclarar que la temperatura DIF de las medias no es igual a las diferencias entre la temperatura ambiente (TA) y la infrarroja (TI), pero muy cercana (decimales), debido a que la temperatura ambiente no es constante en el tiempo y se ve afectada por movimiento de corrientes de aire y al brillo solar del momento de la evaluación.

Estos resultados son similares a los publicados por Cayón *et al.* (2007), Romero (2012) y Arango *et al.* (2017) quienes encontraron que las palmas enfermas muestran valores superiores a 31 °C y las palmas aparentemente sanas, valores por debajo de 29 °C.

Romero *et al.* (2006), explican que la enfermedad ML causa un desbalance en las relaciones hídricas de la palma, ocasionando cierre de estomas y menor transpiración, que resultan en la inhabilidad para bajar la temperatura de la hoja y como consecuencia hacer que esta se eleve. Sin embargo, como se ha tratado anteriormente en este estudio, es posible que se hayan observado varias enfermedades en los casos evaluados, así que el aumento de temperatura no necesariamente es variable para una sola. Por lo tanto, esta medición se convierte en una herramienta importante si se realiza un seguimiento a la temperatura infrarroja a aquellas palmas enfermas que aún no expresan algún tipo de síntoma, con miras al diagnóstico temprano de enfermedades.

Conclusiones y reflexiones

La asociación de los síntomas resultantes del análisis de clasificación jerárquica (clúster), mostró varios disturbios, los cuales presentaron diferencias específicas en la coloración de foliolos y la afección en frutos.

La matriz de síntomas es una herramienta de apoyo que permite organizar las alteraciones presentes en hojas, foliolos, racimos, inflorescencias, raíces y estípite de una palma afectada, lo cual garantiza que se realice una correcta identificación de la enfermedad, basada en pruebas de laboratorio, de ser necesarias, que permitan la aplicación de los manejos preventivos adecuados.

La termometría infrarroja se convierte en una herramienta importante si se realiza un seguimiento a la temperatura del follaje y la diferencia existente con la temperatura ambiental, a aquellas palmas que aún no expresan algún tipo de síntoma, con miras a la identificación temprana de enfermedades.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las plantaciones Guaicaramo S. A. S., Palmas Casanare S. A. S., Palmar del Oriente S. A. S. e Inversiones los Maracos S. A. S., en especial a los ingenieros Mauricio Arango, Martha Lía Hernández, Gina Garzón, Freddy Suesca y a los colaboradores Ricardo Villa y Carlos Vaca, Adelmo Muñoz y Grimaldo Roa por su contribución en este trabajo.

Referencias

Acevedo, N., Buriticá, P., García, J. & Galvis, N. (2000). Valoración económica de las pérdidas en aceite generadas por la Pudrición de cogollo en los Llanos Orientales de Colombia. *Palmas*, *21*(2), 53-54.

Acosta, A. & Calvache, H. (2001). Una Marchitez Vascular, nueva enfermedad de la palma de aceite. *Ceniavances, 85*, 4p.

Albertazzi, H. (2017). *Pudriciones basales del estípite en palma aceitera*. Recuperado de https://docplayer.es/72152861-Pudriciones-basales-del-estipite-en-palma-aceitera-ing-agr-hector-albertazzi-l-msc-proteccion-de-cultivos.html.

Arango, M., Hernández, D., Bustillo, A. & Beltrán, J. (2017). *Termometría infrarroja como un método de diagnóstico temprano de palmas afectadas por la Marchitez letal*. Recuperado de http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Cenipalma/posteresrtnacional/17_Termometriainfrarroja_como_metodo_diagnostico_temprano_de_ML.pdf.

Arango, M., Rairán, N., Martínez, G. & Beltrán, J. (2011). *Reconocimiento y manejo de la Marchitez letal (ML) en palma de aceite*. Recuperado de https://issuu.com/fedepalma/docs/gui__a_de_marchitez_letal_

Bécue, M. (2005). *Manual de introducción a los métodos factoriales y clasificación con SPAD*. Recuperado de http://sct.uab.cat/estadistica/sites/sct.uab.cat.estadistica/files/manualSPAD.pdf

Cayón, G., Avellaneda, C. & Rodríguez, F. (2007). Aspectos fisiológicos asociados a la Marchitez letal de la palma de aceite. *Palmas, 28*, 373-381.

Cenipalma. (2016). *Guía de bolsillo para el reconocimiento y manejo de las principales enfermedades e insectos plaga en el cultivo de la palma de aceite*. Bogotá: Cenipalma. 4p.

Cornaire, B. (1994). Comportamiento de la palma de aceite bajo estrés hídrico. *Palmas*, *15*(3), 61-64.

Chinchilla, C. (2008). Las muchas caras de las pudriciones de cogollo (y de flechas) en palma aceitera y la importancia de un enfoque integral para su manejo. ASD Oil *Palm Papers (Costa Rica), 32*, 11-23.

De la Fuente, S. (2011). *Análisis conglomerados*. Recuperado de http://www.estadistica.net/Master-Econometria/Analisis_Cluster.pdf

Elliott, M. (2010). Marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum*. *Palmas*, *31*(1), 367-375.

Fedepalma. (2018b). *La palma de aceite en Colombia*. Recuperado de http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/semanariopalmero/publicaciones/Infograf%C3%ADa%20Colombia%202018%20en%20espa%C3%B1ol_baja.pdf.

Fedepalma. (2018). *Sistema de información estadística del sector palmero*. Recuperado de http://sispa.fedepalma.org/sispaweb/

Flood, J. & Mepsted, R. (1990). Marchitez vascular de la palma africana: ¿un problema potencial para Malasia? *Palmas*, *12*(1), 15-19.

Franqueville H. & Diabaté, S. (1995). La fusariose du palmier á huile en Afrique de l'Ouest. *Plantations, recherche, développement 2*(4), 5-13.

Franqueville, H. & Renard, J. L. (1990). Improvement of oil palm vascular wilt tolerance results and development of the disease at the R. Michaux plantation. *Oleagineux (Francia), 45*, 399-403.

Idris, A. S. (2013). Estado actual de la investigación y desarrollo (I+D) sobre *Ganoderma* en Malasia. *Palmas*, *34* (1), 100-116.

Martins, H. E. (1990). *Contribuicao ao conhecimiento sobre "pudrición de cogollo" PC de palma africana en Colombia*. Brasil: Empresa brasilera de pesquisa agropecuaria. Mimeografiado sin publicar. 14p.

Nieto, L. (1992). Síntomas y evolución del complejo Pudrición del cogollo de la palma de aceite en los Llano Orientales de Colombia. *Palmas*, *13*(2), 68-73.

Nieto, L. (1994). Pudrición basal del tallo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) causada por *Ganoderma* sp. *Palmas, 15*(2), 31-38.

Renard, J. L. (1979). La fusariose du palmier a huile. Diagnostic en plantation. Methodes de lutte. *Oleagineux (Francia)*, *34*, 59-63.

Renard. J. & Quillec, G. (1985). Enfermedades destructoras de la palma africana en el África y Suramérica. *Palmas*, *6*(1), 9-17.

Rodríguez, M. & Mora, R. (2001). Análisis de correspondencia. En Rodríguez, M. J. y Mora-Catalá, R. *Estadística informática: casos y ejemplos con el SPSS*. Alicante: Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2001. ISBN 84-7908-638-6, pp. 43-56.

Romero, H., Ayala, I. & Navia, E. (2006). Alteraciones fisiológicas en palmas afectadas por la Marchitez letal. *Ceniavances*, *140*, 1-4.

Romero, H. (2012). Uso de la temperatura foliar como indicador fisiológico temprano de la Marchitez letal (ML) en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Ceniavances*, *170*, 1-3.

Sánchez, A. (1966). Enfermedades del algodonero, del cocotero y de la palma africana en Colombia. *Acta Agronómica*, *16*(1-2), 1-13.

Sánchez, N., Fuentes, F., Torres, M., Rocha, P., Calvache, H. & Gómez, P. (2003). La Marchitez letal no es la Marchitez vascular africana causada por *Fusarium*. *Palmas*, *24*(4), 9-20.

SEFO. (2019). *Prueba "t" de Student*. Recuperado de https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/wp-content/uploads/2019/01/Prueba-t-de-Student.pdf

Turner, P. (1981). *Oil palm diseases and disorders*. Kuala Lumpur: Oxford University Press, 297p.

¿Los agricultores ricos implementan mejores prácticas agrícolas? Una evaluación de la implementación de buenas prácticas agrícolas entre diferentes tipos de pequeños productores independientes de palma de aceite en Riau, Indonesia*

Do Wealthy Farmers Implement Better Agricultural Practices? An Assessment of implementation of Good Agricultural Practices among Different Types of Independent Oil Palm Smallholders in Riau, Indonesia

Citación: Jelsman, I., Woittiez, L. S., Ollivier, J. & Arya Hadi Dharmawan. (2019) ¿Los agricultores ricos implementan mejores prácticas agrícolas? Una evaluación de la implementación de buenas prácticas agrícolas entre diferentes tipos de pequeños productores independientes de palma de aceite en Riau, Indonesia (Traductor Arenas, C.). *Palmas, 41*(1), 36-63.

Palabras clave: palma de aceite, pequeños productores, tipología de agricultores, uso de la tierra, intensificación, Indonesia.

Keywords: Oil palm, smallholders, farmer typology, land use, intensification, Indonesia.

* Traducido del original *Do Wealthy Farmers Implement Better Agricultural Practices? An Assessment of Implementation of Good Agricultural Practices among Different Types of Independent Oil Palm Smallholders in Riau, Indonesia,* publicado en la revista Agricultural Systems y editado por Elsevier volumen 170, p. 63-76, disponible en doi: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X18306668

Este artículo se publica bajo la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinDerivados 4.0 Licencia pública internacional

Idsert Jelsma
Facultad de Geociencias, Universidad de Utrecht, Países Bajos, con sede en el Centro para la Investigación Forestal Internacional
ijelsma@gmail.com

Lotte S. Woittiez
Grupo de Sistemas de Producción de Plantas, Universidad de Wageningen, Países Bajos

Jean Ollivier
CIRAD, Desempeño de Sistemas Basados en Cultivos Arbóreos, departamento PERSYST, Francia

Arya Hadi Dharmawan
Sociología Rural en el departamento de Ciencias de la Comunicación y Desarrollo Comunitario, Universidad Bogor Agricultural, Indonesia

Resumen

Durante los últimos 30 años el aceite de palma se convirtió en el principal aceite vegetal, y los pequeños productores en Indonesia, el principal productor de aceite de palma (*Elaeis guineensis*) del mundo con más de 12 millones de hectáreas, adoptaron este cultivo de forma masiva. En Sumatra, donde se cultiva más del 60 % del aceite de palma de Indonesia, los pequeños productores cubren aproximadamente el 50 % del área actual sembrada con este cultivo. Sin embargo, su rápida expansión no ha estado libre de controversias. En los esfuerzos actuales del gobierno de Indonesia, la empresa privada y varias ONG para mejorar el desempeño del sector, los pequeños productores suelen ser caracterizados como el talón de Aquiles debido a sus pobres prácticas y bajos rendimientos, en comparación con las compañías. No obstante, "pequeños productores de palma de aceite"

es un concepto global y solo existe una limitada investigación respecto a su diversidad, más allá de la división de agricultores independientes frente a organizados. Esta investigación ahonda en la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) en siete tipos de pequeños productores independientes en el distrito (Kabupaten) de Rokan Hulu, en la provincia de Riau. La investigación fue realizada en un área agrícola establecida relacionada con suelos minerales y en una frontera relativa, principalmente a turba. Los tipos de productores variaron de pequeños locales a grandes agricultores que, usualmente, residían en áreas urbanas apartadas de sus plantaciones y que consideraban el cultivo de la palma de aceite como una oportunidad de inversión. La hipótesis subyacente es que los grandes agricultores tienen más capital y, por lo tanto, implementan mejores prácticas agrícolas que los pequeños, quienes suelen tener más limitaciones de dinero. Se aplicaron varios métodos, incluyendo encuestas a agricultores y sobre las fincas, teledetección, análisis de tejidos e interpretación de fotografías por expertos. Estos métodos proporcionaron datos sobre el uso de fertilizante, las condiciones de nutrientes de las palmas de aceite, material y patrones de siembra y otras prácticas de manejo en las plantaciones. Los resultados mostraron que los rendimientos eran pobres, la implementación de BPA era limitada y que había mucho por mejorar entre todos los tipos de agricultores. Los materiales de siembra deficientes, patrones de siembra cuadrados y la aplicación limitada de nutrientes fueron particularmente comunes. Esto implicó que las varias tipologías de agricultores eligieran un sistema de baja demanda de insumos y baja productividad por varias razones, y que bajo las condiciones actuales, sea poco probable que iniciativas como optimizar el acceso a fondos o a la disponibilidad de buenos materiales de siembra, mejoren significativamente, por sí solas, la productividad y sostenibilidad del sector de los pequeños productores de palma de aceite.

Abstract

Palm oil has become a leading vegetable oil over the past 30 years and smallholder farmers in Indonesia, with more than 12 million hectare the world's largest producer of palm oil, have massively engaged in oil palm (*Elaeis guineensis*) cultivation. In Sumatra, where more than 60 % of Indonesian palm oil is cultivated, smallholders currently cover roughly 50 % of the oil palm area. The rapid expansion of palm oil however did not happen without controversy. In current efforts by the Indonesian government, NGO's and private sector to improve sector performance, smallholders are often characterized as the Achilles heel of the oil palm sector due to poor practices and low yields compared to companies. However, 'oil palm smallholders' is a container concept and there has been only limited research into smallholder diversity beyond the organised versus independent farmer dichotomy. This research delves into the implementation of Good Agricultural Practices (GAP) among seven types of independent smallholders in Rokan Hulu regency, Riau province. The research area consisted of a relative established agricultural area on mineral soils and a relative frontier, mostly on peat. Smallholder types ranged from small local farmers to large farmers who usually reside in urban areas far from their plantation and regard oil palm cultivation as an investment opportunity. The underlying hypothesis is that larger farmers have more capital and therefore implement better agricultural practices than small farmers, who are usually more cash constrained. A wide range of methods was applied, including farmer and farm surveys, remote sensing, tissue analysis and photo interpretation by experts. These methods provided data on fertilizer use, nutrient conditions in oil palms, planting material, planting patterns, and other management practices in the plantations. Results show that yields are poor, implementation of GAP are limited and there is much room for improvement among all farmer types. Poor planting materials, square planting patterns, and limited nutrient applications were particularly prevalent. This implies that farmers across different typologies opt for a low-input low-output system for a myriad of reasons and that under current conditions, initiatives such as improving access to finance or availability of good planting material alone are unlikely to significantly improve the productivity and sustainability of the smallholder oil palm sector.

Introducción

El de palma se ha convertido en el aceite vegetal más producido y comercializado del mundo (USDA, 2016), en gran parte, debido a su proporción inigualable entre tierra y aceite. El principal país productor es Indonesia, que cubre el 54 % de la producción mundial. El aceite de palma es una de las principales fuentes de moneda extranjera en Indonesia, con ingresos por exportaciones de 15.400 millones de dólares en 2015 y, por lo tanto, de vital importancia para el país (DJP, 2017b). El sector emplea directa e indirectamente a un estimado de 4,3 millones y 12 millones de personas, respectivamente (BPDPKS, 2017). Los agricultores de palma de aceite en Indonesia se clasifican en tres categorías: compañías privadas, compañías públicas y pequeños productores. Por lo general, las compañías administran miles de hectáreas para alimentar sus plantas de beneficio (Byerlee y Deininger, 2013) y cubren un estimado del 60 % del área de palma de aceite en Indonesia. El 40 % restante del área de palma de aceite está cubierta por pequeños agricultores, principalmente en Sumatra y Kalimantan (DJP, 2017b).

La notable expansión de la palma de aceite en las últimas cuatro décadas ha estado acompañada de controversias. El sector ha sido asociado con la deforestación (Gaveau *et al.,* 2016; Abood *et al*., 2014) y la pérdida de biodiversidad (Sayer *et al*., 2012; Obidzinski *et al.,* 2012). Los incendios de turba y el humo asociado, que cubrieron grandes partes de Indonesia, Malasia y Singapur en 2015, son una gran fuente de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y suelen relacionarse con la expansión de la palma de aceite (Gaveau *et al*., 2014; Purnomo *et al*., 2017). Esta industria también ha sido criticada frecuentemente por sus impactos sociales negativos sobre las comunidades locales (Colchester *et al*., 2006; Afrizal, 2013), pactos injustos con estas comunidades y las compañías (Cramb, 2013; Gillespie, 2010) y acaparamiento de tierras (Gellert, 2015). Estas controversias llevaron a una mayor demanda por sostenibilidad y transparencia en el sector de la palma de aceite debido, principalmente, a la demanda de clientes de los países norteños (Hidayat *et al*., 2015). Es así como se están tomando medidas para mejorar el desempeño de la industria, principalmente mediante esquemas de certificación.

La Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible (RSPO), un esquema de certificación voluntaria fundado por grandes compradores y ONG, es considerada como una de las iniciativas de certificación más exigentes (Rival *et al*., 2016; Ivancic y Koh, 2016). La RSPO ha promovido mejores estándares de producción mediante el desarrollo de principios y criterios de sostenibilidad. Parcialmente en reacción a esta iniciativa por parte de un actor no estatal, en 2009 el gobierno de Indonesia lanzó la certificación obligatoria en Aceite de Palma Sostenible de Indonesia (ISPO). Actualmente, se está revisando y fortaleciendo el marco ISPO para aumentar su reconocimiento internacional. Además de estas iniciativas, la Asociación Indonesia de Aceite de Palma (IPOA), el grupo de presión de los productores de palma de aceite a gran escala, defiende firmemente la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA). Si bien se debaten en la academia (Alcott, 2005; Villoria *et al*., 2013; Byerlee *et al.,* 2014), estos actores promueven una narrativa en la que las BPA llevan a un mayor rendimiento por hectárea, de manera que se requiere menos tierra para satisfacer la demanda mundial de aceite de palma. De esta forma se protege el medio ambiente mientras los agricultores reciben mayores ingresos por sus plantaciones. Corley (2009) sugirió que la palma de aceite tiene un potencial teórico de 18 Mt de aceite ha^{-1} $año^{-1}$ y Mathews y Fong (2010) informaron que los mejores rendimientos para fincas completas son de aproximadamente 8 Mt de aceite ha^{-1} $año^{-1}$. No obstante, en 2015 la productividad en Indonesia fue de tan solo 3,6 Mt de aceite ha^{-1} $año^{-1}$, con los pequeños productores obteniendo, en promedio, 20 % menos por ha que las compañías privadas (DJP, 2017b). Si bien hay bastante potencial para la intensificación en el sector, en este momento los pequeños productores son el eslabón más débil en términos de productividad (Molenaar *et al*., 2013; Lee *et al*., 2013).

No obstante, es probable que el segmento de pequeños productores del sector siga expandiéndose en los próximos años (Auler *et al.,* 2017) a medida que abrir grandes tramos de tierra se vuelva más difícil para las compañías, pues la mayoría de las áreas adecuadas ya están ocupadas. Otros factores que limitan la expansión de las compañías a través de concesiones, incluyen el escrutinio creciente al desempeño social y ambiental de estas empresas y los impactos

relacionados con la financiación (Van Gelder *et al*., 2017), y la veda a la palma de aceite que congela la expedición de nuevos permisos para estas plantaciones (Busch *et al*., 2015). También hay un mayor reconocimiento de los derechos de los pueblos indígenas (Forest People Program, 2013), un buen escrutinio de parte de las agencias anticorrupción y las autoridades fiscales (KPK, 2016) y nuevas tecnologías que permiten el fácil rastreo (y, potencialmente, el castigo) de las compañías (p. ej. https://www.cifor.org/map/atlas/ para ver todas las concesiones y plantas de beneficio en Borneo). El desarrollo de vías y plantas de beneficio por parte de las grandes empresas de palma de aceite ha abierto el camino para que actores más pequeños puedan acceder a los mercados de forma más efectiva y cultiven las parcelas restantes de tierra disponible. Esto ha ocurrido particularmente en Sumatra (62 % de los 11,3 millones de ha de palma de aceite de Indonesia en 2015), donde el auge de esta plantación se dio a través de la expansión corporativa, y donde los pequeños productores abarcaron el 49 % del área de palma de aceite (DJP, 2017b; Bissonnette y De Koninck, 2017). En otras partes de Indonesia, principalmente en Kalimantan, la expansión a gran escala comenzó después, y los pequeños productores abarcaron tan solo el 26 % del área de palma de aceite (DJP, 2017b). Si bien puede esperarse que el área y la participación de los pequeños productores aumenten en el futuro cercano, estos últimos están en una posición vulnerable, ya que suelen ser incluidos en la cadena de valor bajo términos desfavorables. Estos incluyen, sin limitación, acceso deficiente a materiales de siembra certificados y conocimiento tecnológico, y una mala posición de negociación en la venta de sus productos, lo que lleva a precios bajos y a que sean los últimos en la línea al vender sus racimos de fruta fresca (RFF) cuando la oferta es amplia (Hidayat, 2017; Cramb y McCarthy, 2016). La RSPO reconoce la débil posición de los pequeños productores y la aborda trabajando para volver a desarrollar su enfoque de certificación con el fin de que se ajuste a estos, priorizando que implementen BPA por encima de la certificación misma (RSPO, 2017). No obstante, en este momento los pequeños productores son propensos a ser excluidos de las cadenas de valor debido a su gran número, los altos costos relacionados con la certificación y sus pobres prácticas de cultivo actuales (Brandi *et al*., 2015).

Por lo general, la poca literatura disponible sobre las prácticas de siembra de los pequeños productores (véase, p. ej. Euler *et al*., 2017; Lee *et al*., 2013) solo diferencia entre los independientes y los que pertenecen a un esquema. Los pequeños productores que pertenecen a un esquema abarcan aproximadamente el 40 % del área de pequeños productores (Zen *et al*., 2015; Hidayat, 2017). A pesar de que estos esquemas son muy diversos respecto al apoyo y a las configuraciones de manejo (Gillespie, 2011), estos se caracterizan por una sociedad entre agricultores y compañías en la que estas últimas suelen sembrar las plantaciones de los pequeños productores, y los racimos de fruta son vendidos a las plantas de beneficio socias (Hidayat, 2017). Por otro lado, las plantaciones de los independientes suelen desarrollarse autónomamente, sin "recursos de", ni "compromisos con", las compañías de palma de aceite (Hidayat *et al*., 2015). Por lo general, los pequeños productores que pertenecen a un esquema tienen un mejor desempeño que los agricultores independientes, pues tienen una buena integración a los sistemas de siembra de grandes compañías y, por lo tanto, suelen tener rendimientos cercanos a los de los actores corporativos. Las plantaciones de pequeños productores independientes, que abarcan aproximadamente 2,8 M ha, son las menos productivas y es entre estos agricultores que la promoción de BPA parece ser más importante.

Las BPA para la palma de aceite se definen con base en una amplia investigación en plantaciones de compañías, institutos de investigación y universidades, y sobre principios agronómicos básicos (véase Fairhurst y Härdter (2003) y Corley (2009) para una buena visión general). En pocas palabras, las BPA en las plantaciones se enfocan en el manejo de suelos y la cobertura vegetal, manejo del dosel, cosecha, nutrición de las plantas y manejo de plagas y enfermedades (Rankine y Fairhurst, 1998). Durante la siembra, las BPA incluyen el uso de materiales de alta calidad y sembrar a la distancia correcta y en el patrón apropiado. Un buen manejo de campo incluye mantener una cobertura con plantas arvenses (particularmente helechos *Nephrolepis*, ciertos pastos y plantas leguminosas de cobertura), un excelente acceso a la plantación, cosecha adecuada y poda correcta de las palmas. El uso apropiado de los fertilizantes es crucial para mejorar la productividad, reduciendo los impactos negativos sobre el medio

ambiente y, en algunos casos, los costos de los insumos por el empleo ineficiente de los mismos (Goh *et al*., 2003; Soliman *et al*., 2016). Los pequeños productores operan bajo condiciones diferentes a las plantaciones de las compañías (como cosechar RFF en vez de aceite como su producto terminado y la existencia de más limitaciones en el acceso a insumos y maquinaria pesada), pero los mismos principios agronómicos aplican a los campos de estos productores.

En este artículo se explora el uso de BPA por varios grupos de pequeños productores independientes de palma de aceite, incluyendo plantaciones que están en (o más allá de) los difusos límites entre fincas familiares y plantaciones a gran escala (Bissonnette y De Koninck, 2017; McCarthy y Zen, 2016). La tipología de agricultores aplicada está basada en el estudio de Jelsma *et al.* (2017a), que resalta que los pequeños productores independientes no son un grupo homogéneo. Nuestro objetivo es entender el uso de BPA entre diferentes tipos de agricultores en Riau para identificar los aspectos por mejorar, y para apoyar el desarrollo de políticas y enfoques diferenciados encaminados a aumentar la productividad. Para lograrlo, se emplea una variedad de métodos, incluyendo encuestas a agricultores, visitas de campo, muestreo de tejidos y análisis fotográfico y de imágenes satelitales. Mientras que Jelsma *et al*. (2017a) se enfocaron en los vínculos del mercado, la diversidad social y los aspectos legales, este artículo ahonda en la implementación de BPA dado su papel protagónico en las discusiones actuales sobre la sostenibilidad del sector de los pequeños productores de palma de aceite y explora a fondo la hipótesis de que los grandes agricultores tienen más capital y, por lo tanto, implementan mejores prácticas agrícolas que los pequeños, quienes suelen tener más limitaciones de dinero.

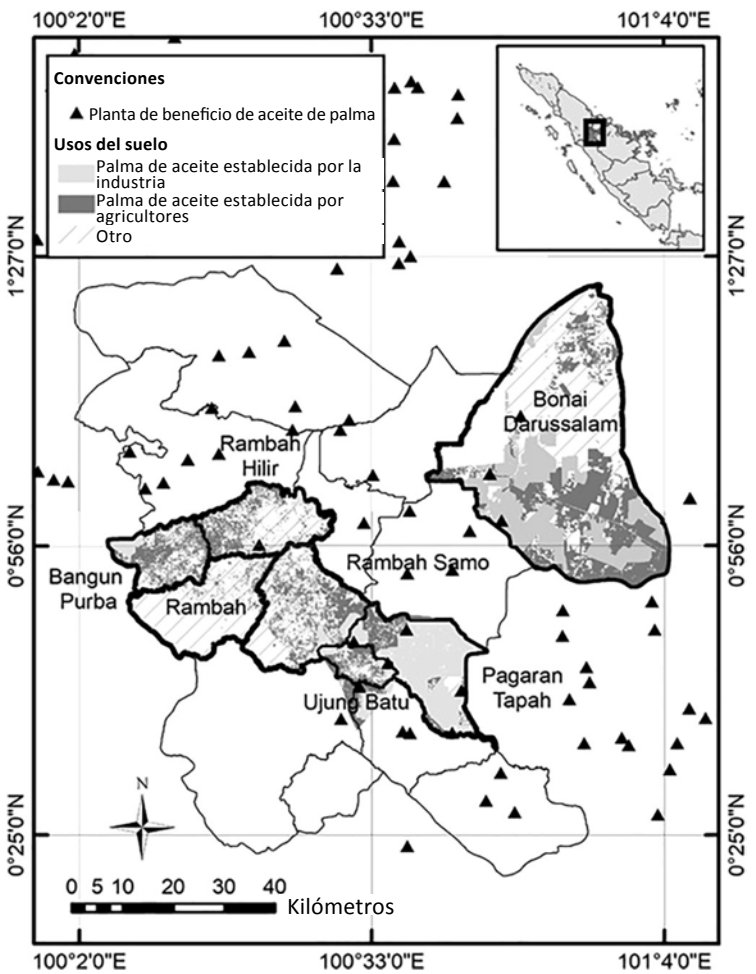


Figura 1. Vista del área de investigación, mapeo de plantaciones de palma de aceite y plantas de beneficio en el área.

Fuente: mapeo de plantas de beneficio CIFOR y datos propios

Antecedentes

La investigación se realizó en Riau en Sumatra, la principal provincia palmera en Indonesia (2,46 millones de hectáreas). Aproximadamente el 28 % de la tierra cultivable de Riau está sembrada con palma de aceite y el 59 % de los cultivos pertenecen a pequeños productores (DJP, 2015). Cerca del 33 % de la capacidad de procesamiento de Riau viene de plantas de beneficio independientes (DIS-BUN Propinsi Riau, 2015), que no son dueñas de plantaciones y usualmente obtienen insumos de este tipo de productores. Esto indica la importancia del sector de los pequeños productores independientes para la industria de la palma de aceite de Riau. En esta provincia, la investigación se concentró en el distrito de Rokan Hulu (Figura 1) que, con 39 plantas de beneficio (17 sin plantaciones propias) y una capacidad total de procesamiento de 1.605 Mt de racimos de fruta fresca (RFF) por hora, tiene la mayor capacidad de la provincia (DIS-BUN Propinsi Riau, 2015).

La investigación incluyó dos áreas diferentes en Rokan Hulu (Figura 1), lo que permitió incluir a una diversidad de pequeños productores y paisajes. La primera fue Bonai Darussalam (en adelante, BD, 0° 52'-1° 24' N, 100° 39'-101° 05' E) en el nordeste, un subdistrito individual, que tiene una topografía plana y consiste principalmente en suelos de turba (histosoles). El área ha sufrido una deforestación considerable desde el 2000 y ahora tiene una baja densidad de especímenes. Los incendios de turba relacionados con el desarrollo de la palma de aceite fueron comunes en BD, donde la mayoría de la tierra se clasifica oficialmente como dominio forestal. Si bien esto implica que, legalmente, gran parte de esta no puede utilizarse para palma de aceite, de hecho mucha de la expansión de este cultivo en BD ha tenido lugar en el dominio forestal. Esta zona puede considerarse como una frontera agrícola relacionada en el contexto de Riau.

La otra área de investigación fue el Centro de Rokan Hulu (conformado por 6 subdistritos y, en adelante, llamada CRH, 0° 36'-1° 03' N, 100° 05'-100° 45' E) que tiene una topografía plana a ligeramente montañosa en sus regiones de producción de palma de aceite y consiste, predominantemente, en suelos minerales (principalmente acrisoles). Desde hace mucho, ha sido habitada por pueblos indígenas y, desde la década de 1980, tuvo una afluencia considerable de migrantes espontáneos y patrocinados por el gobierno. La mayoría de la tierra está clasificada para 'otros usos' (Areal Penggunaan Lain [APL]) y, por lo tanto, puede ser sembrada con palma de aceite legalmente. El dominio forestal abarca principalmente las colinas boscosas de las montañas de Barisan y una plantación de pulpa y papel. CRH tiene una densidad de población de 151 habitantes por km^{-1} (BPS Rokan Hulu, 2015) y puede ser considerada como un área agrícola relativamente establecida. Ambas áreas tienen poco bosque restante (Tabla 1 para más información sobre el lugar de investigación).

Tabla 1. Investigación y características

	Frontera (BD)		Área agrícola establecida (CRH)		Total (subdistritos estudiados)	
Densidad de población (personas $^{-1}$ km^2)	29		151		95,1	
Uso de la tierra	Área (ha)	Porcentaje	Área (ha)	Porcentaje	Área (ha)	Porcentaje
Deforestación entre 2000 y 2013	84,739	61 %	6, 222	4 %	90,961	30 %
Bosque restante en 2013	7,379	5 %	16,743	10 %	24,122	8 %
Palma de aceite	75,275	54 %	76,302	46 %	151,577	50 %
Palma de aceite de pequeños productores independientes	39,252	28 %	43,133	26 %	82,385	27 %
Palma de aceite desarrollada por compañías	36,023	26 %	33,169	20 %	69,192	23 %
Tierra boscosa no estatal (APL)	51,399	37 %	101,050	62 %	152,449	50 %
Dominio forestal	87,538	62 %	64,367	38 %	151,905	50 %
Turba (> 100 cm)	101,635	73 %	0	0 %	101,635	33 %
Área total	138,949	46 %	164,321	54 %	303,270	100 %

Fuentes: investigación propia y (CIFOR, 2014; BPS Rokan Hulu; MoA, 2011; MoF, 2014)

La tipología de pequeños productores se desarrolló mediante un Análisis de Agrupamiento Jerárquico (AAJ) entre 1.728 agricultores y se describe con mayor detalle en Jelsma *et al*. (2017a). Las variables utilizadas para su elaboración fueron inspiradas por el trabajo de McCarthy y Zen (2016) sobre la diferenciación rural, mediante desarrollos de palma de aceite por pequeños productores en Jambi, comparando pequeños productores migrantes y locales, dotación de recursos y fincas de diferentes tamaños. Los determinantes clave utilizados para desarrollar la tipología fueron: 1) área del pequeño productor de palma de aceite (agente para riqueza); 2) origen de los agricultores (locales o migrantes); 3) residencia (agricultores ausentes o residentes); 4) turba o suelos minerales; 5) estado de la tierra (APL o dominio forestal estatal). Los siete grupos derivados en Jelsma *et al*. (2017a) fueron utilizados posteriormente en este análisis, y la Tabla 2 contiene una porción del estudio para caracterizar los diferentes tipos de agricultores.

Tabla 2. Tipos y características de las fincas Jelsma *et al*. (2017a) y tamaños de muestra[a].

	Grupo	Pequeños agricultores locales (SLF)	Agricultores locales medianos (MLF)	Grandes agricultores residentes (LRF)	Pequeños agricultores migrantes (SMF)	Agricultores migrantes medianos (MMF)	Agricultores de turba pequeños y medianos (SMPF)	Grandes inversionistas de turba (LPI)
Tamaño de la finca (ha)	Tamaño promedio del lote	1,1	2,9	52,3	1,4	3,4	4,2	179,2
	Promedio del área total con palma de aceite	1,7	6,9	94,5	2,3	6,8	5,1	241,0
Lugar principal de residencia	En el subdistrito	100 %	100 %	67 %	87 %	76 %	65 %	18 %
	Por fuera del distrito	0 %	0 %	15 %	6 %	8 %	29 %	78 %
Origen	Dentro del subdistrito	100 %	100 %	29 %	4 %	2 %	5 %	2 %
	Por fuera del distrito	0 %	0 %	67 %	90,%	89 %	93 %	95 %
Etnia	Malay	62 %	48 %	22 %	10 %	7 %	7 %	3 %
	Batak	21 %	31 %	41 %	17 %	24 %	40 %	54 %
	Javanesa	17 %	20 %	29 %	72 %	66 %	52 %	15 %
	Sino-Indonesia	0 %	0 %	2 %	0 %	0 %	0 %	24 %
	Otra	0 %	1 %	6 %	1 %	4 %	1 %	3 %
Tipo de suelo	Suelo de turba	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %	100 %
	Suelos minerales	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0 %	0 %
Clasificación de la tierra	Por fuera del dominio forestal (APL)	74 %	56 %	59 %	83 %	74 %	26 %	26 %
	Dominio forestal	28 %	47 %	43 %	18 %	27 %	76 %	86 %
Ubicación	Centro de Rokan Hulu	95 %	96 %	80 %	87 %	87 %	0 %	0 %
	Bonai Darussalam	5 %	4 %	20 %	13 %	13 %	100 %	100 %
Prevalencia	Porcentaje del total de agricultores en el área de investigación[a]	19 %	11 %	6 %	29 %	20 %	13 %	2 %
	Porcentaje del área total de investigación[a]	7 %	8 %	18 %	10 %	14 %	13 %	31 %
Encuestas a agricultores y en fincas (231)		30	32	34	33	40	30	32
Encuestas e interpretaciones fotográficas válidas emparejadas (220)		29	31	33	31	39	29	28
Muestras de tejidos (118)		13	10	19	15	14	23	24

[a] Sesgo de la muestra corregido; para más información, véase Jelsma *et al*. (2017a)

Metodología

Muestreo

El marco del muestreo está basado en un muestreo espacial, utilizando imágenes satelitales recientes de alta resolución de Google Maps. A partir de estas, se mapearon las plantaciones de los pequeños productores. Posteriormente, se dividió el área de investigación en celdas de 25 ha, de las cuales se visitó una muestra aleatoria del 5 % (287 celdas, que contienen 4.451 ha de plantaciones de pequeños productores). Los pequeños agricultores fueron relativamente prevalentes en áreas agrícolas establecidas donde la frontera estaba dominada por los grandes cultivadores. Dado que el área de frontera, en especial, tenía más agricultores que ocupaban varias de las celdas muestreadas, el número de encuestas fue menor que el número de celdas visitadas. En este estudio se utilizaron un total de 231 encuestas a agricultores y fincas, incluyendo entre 30 y 40 agricultores de cada tipo (véase la Tabla 2 para más información sobre los tamaños de la muestra por tipo de agricultor). Para todos los parámetros que incluyeron una evaluación fotográfica por expertos, el tamaño de la muestra se redujo a 220 porque las imágenes de algunas plantaciones no tenían la calidad suficiente para ser evaluadas. Para más información sobre el muestreo y las herramientas aplicadas, véase Jelsma *et al.* (2017a).

Encuestas y visitas a las plantaciones para evaluar la implementación de buenas prácticas agrícolas

El trabajo de campo se realizó en mayo-junio y agosto-septiembre de 2015. Los instrumentos de ejecución fueron una encuesta a fondo a los agricultores y un formulario de inspección visual de la plantación para los encuestadores (Material complementario 1). Mientras que Jelsma *et al.* (2017a) se enfocaron en desarrollar la tipología y su artículo contiene más información sobre los aspectos sociojurídicos y económicos, tales como la proporción de los ingresos de la palma de aceite, otras fuentes de ingresos, fuentes de capital para el desarrollo de las plantaciones y el tipo de documentos sobre propiedad de la tierra, este artículo utiliza el componente de las prácticas agrícolas de la encuesta y resalta aspectos como el rendimiento, tasa de aplicación de fertilizantes, frecuencia de cosecha y materiales de siembra.

Las evaluaciones (o auditorías) de las plantaciones son una práctica común en los cultivos de las compañías (Fairhurst y Griffiths, 2014) y también se realizaron para este estudio. Los indicadores de BPA están basados en un instrumento diagnóstico de encuestas a pequeños productores desarrollado por Aidenvironment (2013) y el manual del pequeño productor de palma de aceite de Woittiez *et al.* (2015). Ambos documentos están ampliamente ilustrados con material fotográfico y proporcionan un extenso conjunto de criterios y guías de inspección sobre cómo evaluar las plantaciones de pequeños productores. Con el permiso de los autores, se tradujeron secciones de estos documentos, las cuales se utilizaron como materiales de capacitación y se compartieron con los encuestadores como elemento de referencia. Para la nutrición de las plantas, buscamos la presencia de síntomas comunes de deficiencia de nutrientes (particularmente P, K, Mg y B) en el follaje y en los estípites; la ocurrencia de estos síntomas demuestra una implementación insuficiente de BPA. Para el manejo de suelos y de la cobertura vegetal, buscamos una cobertura continua de leguminosa (usualmente *Mucuna bracteata*) o helechos *Nephrolepis*, la ausencia de suelos sin vegetación, señales de deshierbe (pero no de desbroce) y la falta de hierbas leñosas. Para el manejo del dosel, los encuestadores observaron la retención de dos o tres frondas por debajo de los racimos maduros de palmas de hasta cuatro metros de alto y una o dos frondas para palmas de más de cuatro metros de alto, la ausencia de hojas muertas en la palma y el reciclaje de frondas podadas en pilas al interior de la plantación. Para la cosecha, verificamos las prácticas de deshierbe en círculo, la facilidad de acceso de los cosechadores a la plantación (teniendo en cuenta si los caminos de cosecha eran lo suficientemente amplios y limpios, sin muchos baches y si eran generalmente accesibles; por ejemplo, sin mayores anegaciones) y la frecuencia en que se recogía el fruto. Para el patrón y la densidad de siembra, observamos la siembra en triángulos con imágenes satelitales (que se explican con mayor detalle en el siguiente subtítulo). Para el material de siembra, buscamos la presencia de frutos de Tenera (DxP) de cáscara delgada, abriendo una

muestra de 20 frutos sueltos por agricultor; las BPA mostrarían una ocurrencia de >99 % de frutos Tenera, pero para esta investigación utilizamos 95 % como punto de corte, permitiendo que una fruta fuera Dura. Se realizó un conteo de racimos negros (BBC) en 20 árboles como método alternativo para evaluar los rendimientos (Sección *Cálculos*) y así permitir su triangulación con otras herramientas de evaluación de rendimiento, como encuestas a agricultores y conceptos de expertos. Además de los indicadores de BPA, también se recolectó información básica sobre la plantación, como la edad de las palmas de aceite y la calidad del camino a la plantación. Los criterios para la calidad de la vía se limitaron al número de baches y la ausencia de indicios de anegación de vías, puentes dañados u otros obstáculos claros que impidieran el transporte de RFF o mayores costos debido al daño probable a los vehículos, tal como se describe y se ilustra en Aidenvironment (2013).

Se tomaron muestras de tejido en 118 fincas para determinar el contenido de nutrientes en las hojas y el raquis, y evaluar la condición nutricional de la plantación. Se combinó en una muestra un mínimo de cuatro palmas no seleccionadas al azar. Los criterios de elección fueron la ubicación (al menos a dos hileras de la vía, y preferiblemente, por lo menos, a cinco palmas de distancia de las otras muestreadas) y la ausencia de anormalidades visibles. Las muestras fueron recolectadas según el protocolo descrito en Woittiez *et al.* (2018), y Central Plantations Services realizó los análisis de laboratorio en Pekanbaru.

Debido a limitaciones de presupuesto y al alto costo de las pruebas de laboratorio, no se logró obtener muestras de todas las fincas encuestadas. El submuestreo se realizó de forma semiestratificada, tomando muestras proporcionales de los sitios de CRH y BD para capturar ambos paisajes y tipos de suelo. Dado que ni el análisis de la base de datos ni el desarrollo de la tipología había comenzado al momento de recolectar los tejidos, fue imposible tomar muestras proporcionales de los tipos de agricultores. Durante este proceso, parece que, en especial los agricultores pequeños y medianos en suelos de turba, que se esperaba conformaran categorías separadas, fueron recolectados muy limitadamente. Por lo tanto, se decidió aumentar aleatoriamente el número de agricultores pequeños y medianos en turba y el de pequeños agricultores, a expensas de los grandes agricultores que, en números absolutos, recibieron la mayoría de muestreo de tejidos (Tabla 3). No obstante, la muestra eventual encontró un equilibrio entre la difusión, la cobertura geográfica de todos los tipos de agricultores y la presencia en el paisaje, con los agricultores pequeños y medianos de turba formando una categoría y, en consecuencia, siendo ligeramente sobremuestreados (Tablas 2 y 3).

Interpretación fotográfica de las plantaciones de pequeños productores por parte de expertos

Para permitir a los expertos evaluar las plantaciones sin necesidad de una visita de campo, se fotografiaron los cultivos durante la auditoría. En promedio, se capturaron ocho imágenes en cada plantación,[1] mostrando los diferentes aspectos del suelo (círculo, pilas, visión general) y los doseles, en varios ángulos (Material Complementario 2). Tres expertos auditaron las plantaciones con base en el conjunto de fotografías y se utilizaron sus evaluaciones para triangular los resultados de las visitas de campo y la encuesta. Los expertos estimaron la edad de las palmas de aceite, el peso y rendimiento de los racimos y clasificaron la condición de la plantación como pobre, razonable o buena. Las estimaciones de rendimiento se dieron en intervalos de 5 Mt ha^{-1} $año^{-1}$ (0-5, 5-10, etc.), creando, efectivamente, un promedio de 'rendimiento hasta'. También se proporcionaron estimaciones del peso de los racimos en intervalos de 5 kg por racimo $maduro^{-1}$. Posteriormente, se utilizaron los promedios de intervalos en cálculos para considerar los menores valores en estos

1 Las instrucciones fueron tomar fotografías de: 1) el estípite de una palma representativa de la plantación, incluyendo la corona y los racimos; 2) varias palmas, mostrando la condición general y las hierbas; 3) círculo; 4) camino de cosecha; 5) pilas de frondas muertas; 6) abrir frutos para determinar la proporción de Dura a Tenera; 7) Ejemplo de las hojas con clara deficiencia de nutrientes según el encuestador; 8) canales y superficies freáticas, de ser relevantes. No obstante, en algunos casos, fallos en el *software* y el *hardware* limitaron la cantidad de fotografías que podían tomarse y las evaluaciones no fueron posibles o se realizaron con menos imágenes.

rangos y evitar evaluaciones abiertamente positivas.[2] La edad de la plantación se estimó en años. Para el mantenimiento, el tercer autor evaluó las prácticas de deshierbe y poda por separado.

Los expertos fueron un académico especializado en prácticas agronómicas en plantaciones de palma de aceite de pequeños productores (el segundo autor de este artículo), un agricultor de Rokan Hulu, que también es un representante de *Serikat Petani Kepala Sawit* (Sindicato de Pequeños Productores de Palma de Aceite [SPKS, por sus siglas en inglés]) y un experimentado agrónomo de palma de aceite que trabaja en CIRAD (el tercer autor). Los tres han visitado ampliamente las plantaciones de los pequeños productores pero no para esta investigación ni tenían información sobre los agricultores o las plantaciones antes de completar las evaluaciones de las fotografías de los agricultores.

La densidad y el patrón de siembra (rectangular o triangular) se determinaron trazando las diagonales de las filas de palma en imágenes satelitales de alta resolución (Figura 2). Las distancias promedio entre las coronas de las palmas se midieron en metros utilizando Google Earth a partir de dos o tres diagonales, dependiendo de si los patrones eran rectangulares o triangulares, respectivamente. Con esto, se calcularon las densidades de siembra por hectárea. Las filas medidas eran preferiblemente de más de 20 palmas, pero era menor en plantaciones pequeñas.

Cálculos

Los patrones estacionales en el rendimiento se derivaron con base en los datos de una plantación de una compañía cercana, que mostró que los rendimientos eran mayores en agosto y más bajos en febrero (Material Complementario 3a y 3b). Para tener en cuenta estos patrones, se pidió a los agricultores estimar el rendimiento por cosecha en el pico y en la temporada baja del año pasado. Estos se promediaron, se multiplicaron con la frecuencia de cosecha y se dividieron entre el tamaño del lote. Este enfoque se justifica dado que los registros de rendimiento son principalmente ausentes para estos agricultores. Los rendimientos se referenciaron con una curva de producción de 20 Mt ha^{-1} $año^{-1}$ deducida de Cramb y McCarthy (2016: p. 32) y se presentaron como una porción de la curva de producción de referencia a una edad determinada.

Dado que las valoraciones de los agricultores no siempre son confiables, se utilizaron las evaluaciones de los expertos y el conteo de racimos negros para proporcionar estimaciones adicionales de rendimiento que permitieran triangular los resultados. Se calcularon los rendimientos basados en BBC, tomando el promedio de BBC de 20 palmas por plantación y multiplicándolo por el peso promedio de los racimos maduros para obtener el peso total de racimos por palma. No fue posible medir el peso de los racimos maduros dado que solo están disponibles en el campo durante el corto tiempo entre la cosecha y el transporte. Por este motivo, se valoró el peso de estos racimos promediando las estimaciones de los expertos con base en las fotografías, con las estimaciones de las observaciones de campo del encuestador. Los pesos totales de los racimos por palma se multiplicaron por tres (asumiendo que los racimos maduran en un periodo de cuatro meses) y por la densidad de siembra. Se desarrollaron factores de corrección para compensar la fecha de la encuesta con base en las curvas de productividad promedio a partir de los datos mensuales de rendimiento suministrados por tres compañías cercanas (Material complementario 3a). La evaluación comparativa del rendimiento de las encuestas con la curva de producción se basó en las estimaciones de rendimiento de la encuesta y los datos de edad de la misma. La evaluación comparativa del rendimiento de los expertos se basó en las estimaciones de rendimiento de los expertos y las estimaciones de edad de los mismos. Para la evaluación comparativa del rendimiento de BBC, las estimaciones de rendimiento de BBC se relacionaron con la edad promedio de la plantación determinada por los encuestadores y los expertos (Material complementario 2).

Para determinar las prácticas de fertilizante, calculamos los requerimientos y el balance de nutrientes. Ng *et al.* (1999) indican que para una plantación madura en suelos tropicales de baja fertilidad, la demanda total para producir 20 Mt de RFF ha^{-1} $año^{-1}$ es de 112,5 kg N; 14,0 kg P; 202,4 kg K y 33,2 kg Mg; y para 30 Mt

2 Las categorías de peso de los racimos se transformaron así en valores de 3 kg $racimo^{-1}$ (dado que los racimos maduros en esta categoría pesaron de 1 a 5 kg), 7,5 kg $racimo^{-1}$, 12,5 kg $racimo^{-1}$, 17,5 kg $racimo^{-1}$ y 22,5 kg $racimo^{-1}$, respectivamente.

de RFF ha^{-1} año^{-1}, 145,5 kg N; 19,2 kg P; 247,5 kg K y 44,4 kg Mg. En suelos de turba, las cantidades de nutrientes removidos en los racimos de fruta fue similar, pero el balance de nutrientes fue diferente, con más N y menos K disponible en el suelo (Goh, 2005). Para compensar por esta diferencia, los requerimientos estimados de N y K en turba se establecieron en 84,4 kg (25 % menos) y 303,6 kg (50 % más), respectivamente, que los requerimientos en suelos minerales (Ng *et al.*, 1990). Se calculó un balance de nutrientes para cada plantación con la siguiente ecuación:

$$B = (Fe + De) - (Y \times c) + Tr + Ru + Er + Le)$$

Con B = equilibrio de nutrientes (kg ha^{-1}), Fe = entrada a través de fertilizantes, De = deposición en aguas lluvias, Y = rendimiento reportado, c = concentración de nutrientes en el RFF, Tr = nutrientes consumidos para el crecimiento del tronco, Ru = pérdida por escorrentía, Er = pérdida por erosión y Le = pérdida por lixiviación (Material complementario 4 para los valores utilizados).

Se utilizó SPSS versión 19 para calcular las diferencias entre las medias de los tipos de agricultores, incluyendo, ya sea, el Análisis de Varianza de una vía (ANOVA, para variables escalares) o la prueba de Chi-Cuadrado (para variables categóricas). Se realizaron pruebas posteriores apropiadas, como la de Tukey y Games-Howell para calcular las diferencias de pares entre tipos de agricultores. Las letras iguales en las Figuras y Tablas indican que no habían diferencias significativas, según las pruebas posteriores. Cuando los ANOV revelaron diferencias estadísticamente significativas, en algunos casos las pruebas posteriores no indicaron dónde se encontraban. Esto puede atribuirse al tamaño de la muestra, a un débil efecto global y a diferencias entre los métodos para lidiar con los errores Tipo I.

Resultados

Edad y rendimientos

El rendimiento es el producto final de tres factores: genotipo, manejo y entorno (p. ej., Tester y Landgridge, 2010). En los cultivos perennes, el rendimiento depende de la edad del cultivo y, por consiguiente, puede presentarse tanto en términos absolutos como en una desviación de una curva de producción de referencia (%). Utilizamos una curva de producción de referencia para un ciclo de producción completo de 25 años, con un rendimiento pico de 20 Mt ha^{-1} año^{-1}, derivado de Cramb y McCarthy (2016, p. 32).

Las estimaciones de rendimiento de las encuestas, los análisis fotográficos de los expertos y los BBC proporcionaron un patrón razonablemente uniforme (Figura 3). Se percibieron diferencias limitadas entre los tipos de agricultores, observadas en su mayoría entre agricultores en suelos minerales y tipos de agricultores en suelos de turba. Los tres métodos de evaluación de rendimiento indicaron que, por lo general, los agricultores en turba tenían bajos rendimientos.

Aplicación de fertilizantes y balances de nutrientes

En general, las aplicaciones de fertilizante por parte de los pequeños productores fue limitada, poco balanceada y variable entre los agricultores y los diferentes tipos de agricultores (véase Material complementario 5 para más información sobre el uso de fertilizantes). En promedio, las tasas de aplicación de nitrógeno fueron más bajas de la demanda esperada, en 20 Mt de RFF ha^{-1} año^{-1}, con la excepción de agricultores migrantes y grandes agricultores residentes (Figura 4). Las aplicaciones promedio de P parecieron ser suficientes entre la mayoría de los tipos de agricultores, con los pequeños agricultores locales y grandes inversionistas de turba aplicando muy poco en promedio para llegar a 20 Mt de RFF ha^{-1} año^{-1}. Las aplicaciones promedio de K fueron limitadas entre todos los tipos, con los pequeños agricultores locales aplicando tan solo 32,1 kg ha^{-1} año^{-1} en promedio. Menos del 25 % de los agricultores emplearon suficiente K para satisfacer la demanda para producir 20 Mt de RFF ha^{-1} año^{-1}. Las aplicaciones promedio de Mg fueron, en general, insuficientes, especialmente entre los agricultores en suelos minerales. Los pequeños agricultores locales fueron más propensos a no aplicar ningún fertilizante, pero las diferencias entre tipos de agricultores no fueron significativas (Figuras 4 y 6 y Material complementario 5).

Mientras que la Figura 4 resalta los requerimientos de nutrientes para producir 20 Mt de RFF ha^{-1} $año^{-1}$ y las aplicaciones actuales de nutrientes de los tipos de agricultores, la Figura 5 muestra el balance de nutrientes, utilizando los rendimientos reportados por los agricultores y el consumo estimado de Ng *et al.* (1999) para calcular los requerimientos de nutrientes.

Tabla 3. Promedio de análisis de hojas y raquis, desviación estándar y densidad de siembra por tipo de agricultor (SLF = Pequeños Agricultores Locales, MLF = Agricultores Locales Medianos, LRF = Grandes Agricultores Residentes, SMF = Pequeños Agricultores Migrantes, MMF = Agricultores Migrantes Medianos, SMPF = Agricultores en Turba Pequeños y Medianos, LPI = Grandes Inversionistas de Turba). Los niveles críticos de nutrientes son de Fairhurst y Mutert (1999) para las hojas, y de Foster y Prabowo (2006) para el raquis. Los valores críticos son para palmas >6 años después de la siembra; son ligeramente más altos para palmas más jóvenes. MS = Materia Seca. Nivel de significancia p <0,05 y es p <0,01 se indican con * y **, respectivamente.

	Valor crítico (unidades)		SLF	MLF	LRF	SMF	MMF	SMPF	LPI	Valores F (ANOVA)
N en hoja	2,3 (% MS)	% MS	$2,14_{a}$	$2,13_{a}$	$2,17_{a}$	$2,19_{a}$	$2,17_{a}$	$2,22_{a}$	$2,24_{a}$	$2,620_{(6,111)*}$
		SD	0,09	0,08	0,11	0,11	0,08	0,11	0,12	
P en hoja	0,14 (% MS)	% MS	$0,13_{a}$	$0,14_{ab}$	$0,14_{ab}$	$0,13_{ab}$	$0,14_{ab}$	$0,15_{bc}$	$0,15_{c}$	$7,063_{(6,111)**}$
		SD	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	
K en hoja	0,75 (% MS)	% MS	$0,71_{a}$	$0,60_{a}$	$0,66_{a}$	$0,63_{a}$	$0,66_{a}$	$0,71_{a}$	$0,79_{a}$	$1,864_{(6,111)}$
		SD	0,28	0,18	0,12	0,10	0,07	0,13	0,01	
Mg en hoja	0,20 (% MS)	% MS	$0,26_{a}$	$0,37_{ab}$	$0,29_{a}$	$0,34_{ab}$	$0,33_{ab}$	$0.,39_{b}$	$0,42_{b}$	$5,460_{(6,111)**}$
		SD	0,11	0,09	0,12	0,10	0,07	0,12	0,11	
B en hoja	8,0 (mg/kg)	(mg/kg)	$10,3_{ab}$	$10,4_{ab}$	12.2_{ab}	$10,0_{a}$	$10,6_{ab}$	$13,4_{b}$	$13,0_{ab}$	$3,102_{(6,111)**}$
		SD	1,7	2	3,5	1,5	2.2	6,8	3,1	
Cu en hoja	3,0 (mg/kg)	(mg/kg)	$3,9_{a}$	$4,7_{a}$	$3,9_{a}$	$4,0_{a}$	4.3_{a}	$4,0_{a}$	2.8_{b}	$5,914_{(6,111)**}$
		SD	1,1	1,1	0,8	1,0	1,1	1,2	0,7	
P en raquis	0,09 (% MS)	% MS	$0,07_{ab}$	$0,06_{a}$	$0,06_{a}$	$0,05_{a}$	$0,07_{a}$	$0,08_{ab}$	$0,13_{b}$	$5,673_{(6,111)**}$
		SD	0,07	0,03	0,03	0,02	0,03	0,05	0,07	
K en raquis	1,1 (% MS)	% MS	$0,63_{a}$	$0,57_{a}$	$0,58_{a}$	$0,57_{a}$	$0,65_{a}$	$0,61_{a}$	$0,89_{a}$	$1,833_{(6,111)}$
		SD	0,36	0,23	0,28	0,2	0,29	0,37	0,46	
Densidad de siembra		Media	$143,2_{a}$	$136,6_{ab}$	$134,0_{b}$	$142,6_{ab}$	$140,2_{ab}$	$137,3_{ab}$	$135,9_{ab}$	$2,643_{(6,224)*}$
		SD	14,9	11,6	13,1	11,1	12,5	12,5	9,9	

Figura 2. Ejemplo de imágenes satelitales de las plantaciones de pequeños agricultores en el centro de Rokan Hulu y en Bonai. Nótese las diferencias en los patrones de siembra entre los pequeños agricultores, demostrando patrones rectangulares y triangulares. En la imagen de la izquierda se observa un ejemplo típico de un mosaico de plantaciones de pequeños productores en el centro de Rokan Hulu. La imagen de la derecha muestra patrones de siembra rectos y un pequeño productor de gran tamaño la parte de arriba de la imagen.

Fuente: Google Earth, consultado el 16-12-2017

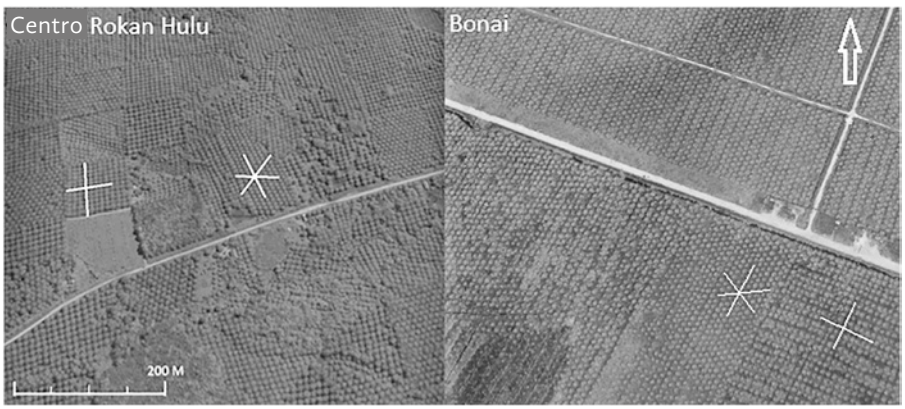
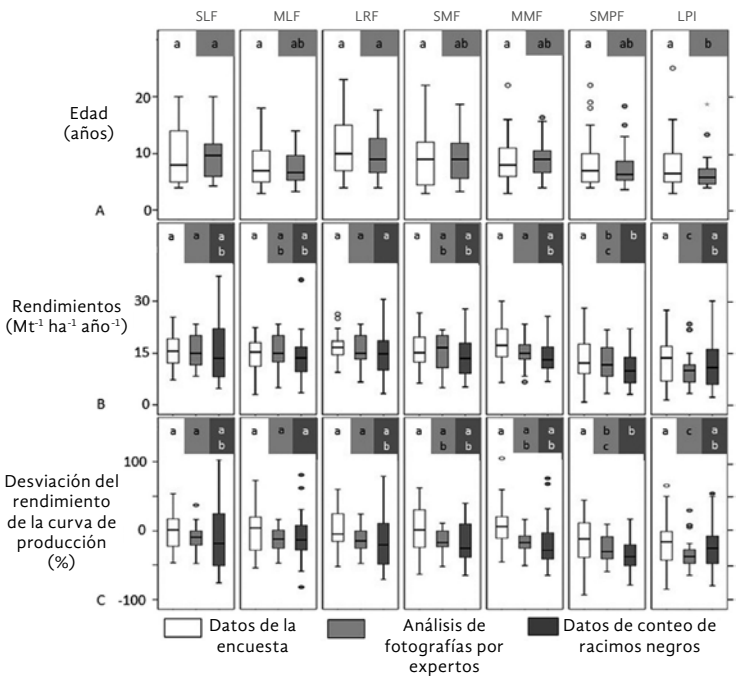


Figura 3. Edad y diferencias de rendimiento entre tipos de agricultores, utilizando tres métodos diferentes (SLF = Agricultores Locales Pequeños, MLF = Agricultores Locales Medianos, LRF = Agricultores Residentes Grandes, SMF = Agricultores Migrantes Pequeños, MMF = Agricultores Migrantes Medianos, SMPF = Agricultores en Turba Pequeños y Medianos, LPI = Grandes Inversionistas de Turba). Los bigotes de la gráfica muestran los valores mínimos y máximos, la caja muestra los cuartiles primero y tercero; la línea muestra la mediana. Los valores >1,5 del rango intercuartílico (IQR) se muestran como círculos y los de >3,0 IQR se muestran como asteriscos. Nivel de significancia p <0,5. Las diferencias significativas entre pares se indican únicamente por método y no entre métodos.



Los balances de nutrientes que se muestran en la Figura 5 indican que los agricultores locales pequeños, principalmente, tenían balances negativos de N, P y especialmente de K. Las insuficiencias de potasio fueron comunes entre todos los tipos de agricultores y <75 % de ellos aplicaron suficiente K para mantener sus niveles de producción estimados. Los agricultores de turba aplicaron más Mg, principalmente como dolomita, que es una forma barata de cal, de la cual ellos creen que neutraliza los suelos acídicos de turba. Sin embargo, es probable que la eficiencia de esta práctica sea limitada considerando la alta capacidad de amortiguación de dichos suelos (Bonneau *et al.*, 1993).

Análisis de hoja y raquis

Se analizaron las muestras de hojas y raquis de 118 plantaciones para evaluar las deficiencias de nutrientes. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Si bien existen diferencias significativas, estos resultados indican que, en promedio, las concentraciones de tejido de los distintos macronutrientes (además de Mg) estaban por debajo de las concentraciones críticas en hoja y raquis para todos los tipos de pequeños productores de la muestra, especialmente con las concentraciones de K, pareciendo muy bajas. Los agricultores de turba tuvieron un desempeño relativamente bueno y las diferencias entre los agricultores de suelos minerales fueron mínimas. Las concentraciones de micronutrientes como el cobre y el boro estuvieron, en promedio, por encima de los valores críticos, excepto para el cobre en las plantaciones de los grandes inversionistas de turba.

Buenas prácticas agrícolas en plantaciones de pequeños productores

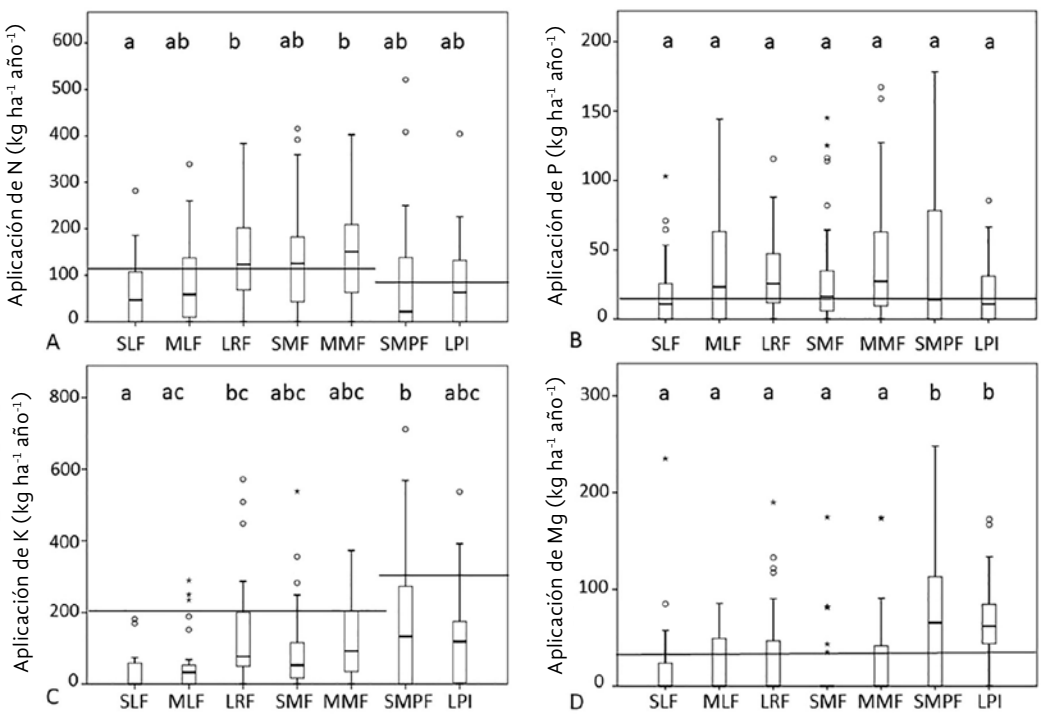
En las plantaciones de compañías, la disposición suele implicar un camino de cosecha entre dos filas de palmas, seguido por un *pasir mati*, o una línea con hojas muertas podadas, que pueden apilarse como una fila o en forma de 'U' alrededor de las palmas, con el lado abierto formando los caminos de cosecha. Las filas o formas en 'U' limpias permiten el fácil acceso a la plantación, aumentan el reciclaje de nutrientes y proporcionan cobertura terrestre. Se encontraron pilas limpias con mayor frecuencia en las plantaciones en suelos minerales que en los de turba, pero las diferencias entre los tipos de agricultores no fueron significativas (χ^2 = 10,911, df = 6, p = 0,091) (Figura 6). Las diferencias significativas se observaron respecto a la presencia de caminos de cosecha cada segunda fila (χ^2 = 13,317, df = 6, p = 0,038), con los agricultores locales pequeños y medianos ya que tenían una menor probabilidad de contar con estos caminos de cosecha, en comparación, especialmente, con agricultores pequeños y medianos de turba y grandes agricultores residentes. Si bien algunas palmas pueden ser menos accesibles debido a una falta de caminos estructurados, el acceso para cosecha al interior de las plantaciones fue, en general, bueno y no hubo diferencias significativas entre los tipos de agricultores (χ^2 = 7,743, df = 6, p = 0,258). Sin embargo, los agricultores en suelos minerales tuvieron un acceso ligeramente mejor al interior de sus plantaciones en comparación con los de turba (véase Figura 6 para información sobre la implementación de BPA). Esto se debió en gran medida a problemas de anegación y crecimiento excesivo de hierbas en las plantaciones en turba.

Los datos de las encuestas indicaron que los suelos sin cultivar, que son propensos a la erosión y la escorrentía de fertilizantes, estaban ausentes en el 80-91 % de los lotes, sin diferencias significativas entre los tipos de agricultores (χ^2 = 3,369, df = 6, p = 0,761). Esto estuvo en línea con las interpretaciones de fotografías realizadas por los expertos. Los cultivos de cobertura leguminosa, que pueden fijar nitrógeno y suprimir hierbas no deseadas como *Imperata* y *Chromolaena*, se observaron únicamente en una finca (agricultor residente grande). El deshierbe fue una práctica común en todos los tipos de pequeños productores (χ^2 = 3,989, df = 6, p = 0,678). Se encontraron diferencias en los métodos de deshierbe entre los tipos de agricultores: los locales pequeños y, en menor medida, los otros tipos de agricultores en suelos minerales preferían especialmente el deshierbe manual o mecánico (χ^2 = 24,070, df = 6, p = 0,001), mientras que los agricultores de turba eran significativamente más propensos a implementar el deshierbe químico (χ^2 = 33,190, df = 6, p = 0,000). Se utilizó la ausencia de arbustos leñosos como indicador de buenas prácticas de deshierbe, pero la mayoría de las plantaciones contenían

hierbas leñosas (χ^2 = 8,996, df = 6, p = 0,174). Las pequeñas plantaciones locales fueron las más infestadas comúnmente; solo el 24 % de estas no tenía arbustos leñosos en sus campos. En algunas plantaciones en turba fue difícil observar este tipo de arbustos, ya que las hierbas no leñosas cubrían todo. El deshierbe en círculo era común y mientras que los pequeños agricultores locales y los grandes de turba eran los menos propensos a establecer estos círculos de deshierbe, las diferencias entre los tipos de agricultores no fueron significativas (χ^2 = 11,292, df = 6, p = 0,080). Similarmente, no hubo diferencias en las prácticas de poda (χ^2 = 5,825, df = 6, p = 0,443).

Respecto a la cosecha, se observaron diferencias entre los tipos de agricultores, con los agricultores residentes grandes y los grandes de turba pareciendo más propensos a implementar ciclos de cosecha de 10 días o menos, en comparación con los demás tipos (<7 %). Si bien los ciclos de cosecha más frecuentes pueden ser un indicio de altos rendimientos (p. ej. Lee *et al*., 2003), no encontramos algunos que fueran significativamente más altos entre los tipos de agricultores grandes. Puede ser que las frecuencias de cosecha de estos estuvieran infladas debido a malinterpretaciones, dado que ellos suelen recolectar con mayor continuidad debido a la gran área que manejan, mientras que,

Figura 4. Tasas de aplicación de nutrientes por tipo de agricultor (SLF = Agricultores Locales Pequeños, MLF = Agricultores Locales Medianos, LRF = Agricultores Residentes Grandes, SMF = Agricultores Migrantes Pequeños, MMF = Agricultores Migrantes Medianos, SMPF = Agricultores en Turba Pequeños y Medianos, LPI = Grandes Inversionistas de Turba). Los bigotes de la gráfica muestran los valores mínimos y máximos; la caja muestra los primeros y terceros cuartiles; las líneas muestran la mediana. Los valores >1,5 del rango intercuartílico (IQR) se muestran como círculos y los de >3,0 IQR se muestran como asteriscos. Nivel de significancia p <0,5. Las diferencias significativas entre pares se indican únicamente por método y no entre métodos. Los valores anormales de la aplicación de nutrientes con valores >3,0 IQR en la muestra combinada y en los grupos de agricultores fueron eliminados de los análisis posteriores. Las líneas horizontales indican los requerimientos a 20 Mt RFF ha^{-1} año^{-1} para suelos minerales (primeros cinco tipos de agricultores) y por separado para suelos de turba (los últimos dos tipos de agricultores), donde los requerimientos de N y K son diferentes. Nivel de significancia p <0,05.



de hecho, no cosechan las mismas palmas más que una vez cada dos semanas. Excepto por los grandes agricultores, las frecuencias fueron muy similares entre los tipos restantes de agricultores, con 97-100 % indicando que cosechan cada 14 días o dos veces al mes.

Las evaluaciones holísticas de las plantaciones, realizadas por los expertos, solo indicaron diferencias limitadas en la condición de la plantación entre los tipos de agricultores (Figura 6). Al promediar las evaluaciones de los tres expertos para todos los tipos de agricultores, estas indicaron que el 17 % de las plantaciones estaban en malas condiciones, el 66 % en condiciones razonables y el 18 % en buenas condiciones. Si bien los grandes agricultores residentes tenían el mayor porcentaje de plantaciones en buenas condiciones (22 %), también tuvieron el segundo puntaje más alto en malas condiciones (21 %). En promedio, los grandes inversionistas de turba recibieron la peor evaluación, con el 29 % de las plantaciones en malas condiciones. La prueba de los rangos con signo de Wilcoxon indica que no hay diferencias significativas entre los tipos de agricultores (χ^2 = 9,186, df = 12, p = 0,687 y χ^2 = 12,205, df = 12, p = 0,439, respectivamente). Solo el agricultor experto indicó diferencias significativas entre los tipos de agricultores (χ^2 = 27,290, df = 12, p = 0,007), encontrando que las condiciones de las plantaciones de los grandes agricultores de turba eran significativamente peores en comparación con los otros tipos de agricultores (Material complementario 6).

Figura 5. Equilibrio de nutrientes basado en los datos de rendimiento suministrados por los agricultores, por tipo de agricultor (SLF = Agricultores Locales Pequeños, MLF = Agricultores Locales Medianos, LRF = Agricultores Residentes Grandes, SMF = Agricultores Migrantes Pequeños, MMF = Agricultores Migrantes Medianos, SMPF = Agricultores en Turba Pequeños y Medianos, LPI = Grandes Inversionistas de Turba). Los bigotes de la gráfica muestran los valores mínimos y máximos; la caja muestra los primeros y terceros cuartiles; la línea deja ver la mediana. Los valores >1,5 del rango intercuartílico (IQR) se muestran como círculos y los de >3,0 IQR se muestran como asteriscos. Los valores anormales de la aplicación de nutrientes con valores >3,0 IQR en la muestra combinada y en los grupos de agricultores fueron eliminados de los análisis posteriores. Nivel de significancia p <0,05.

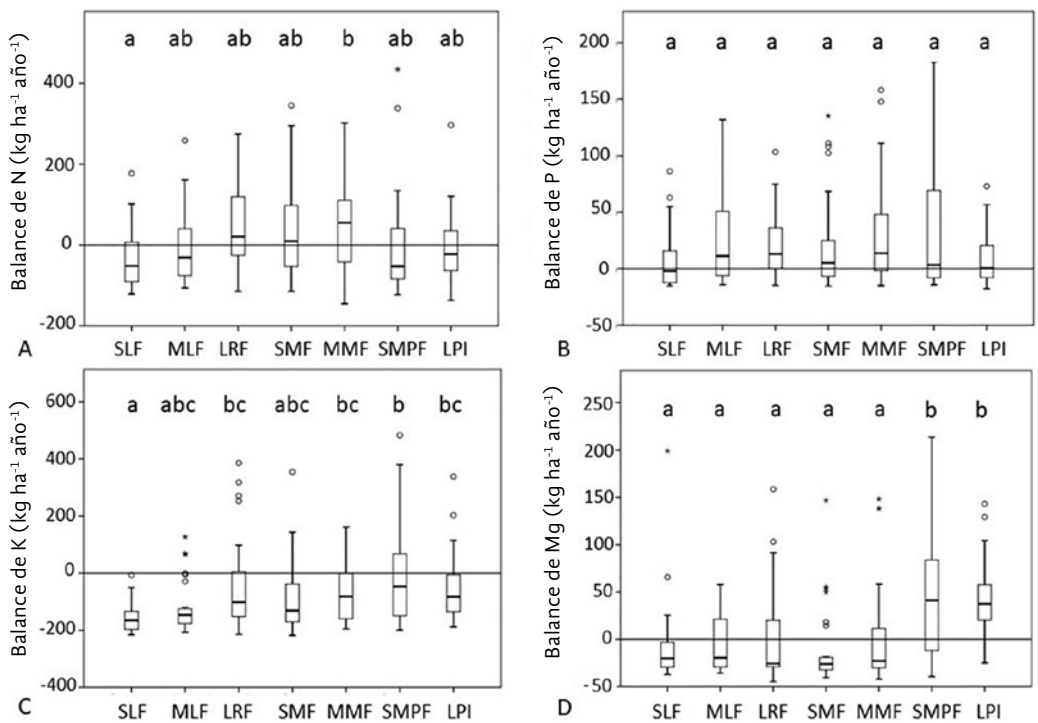
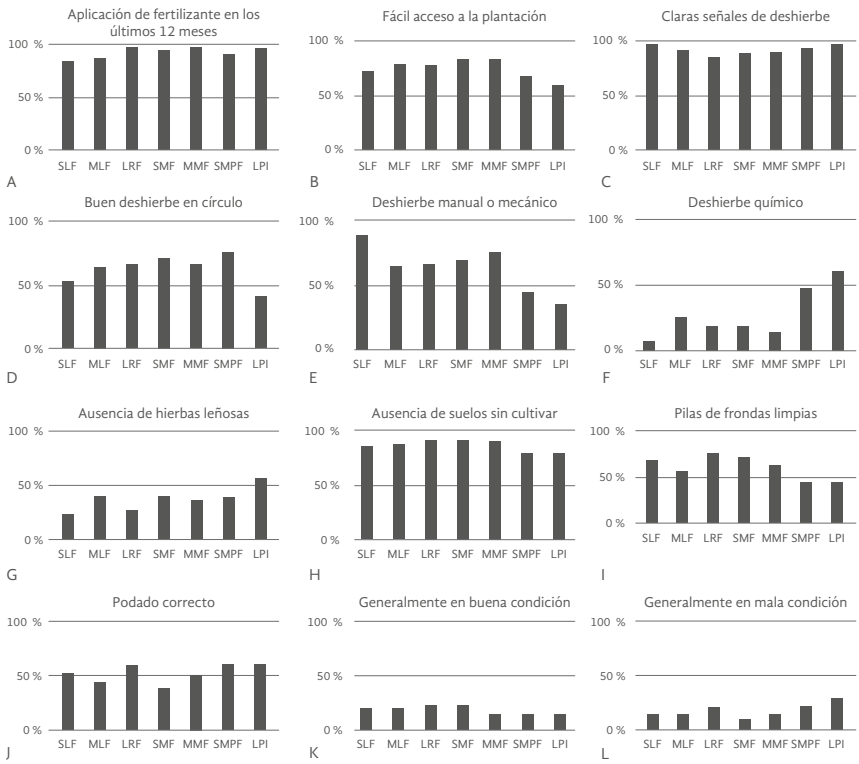


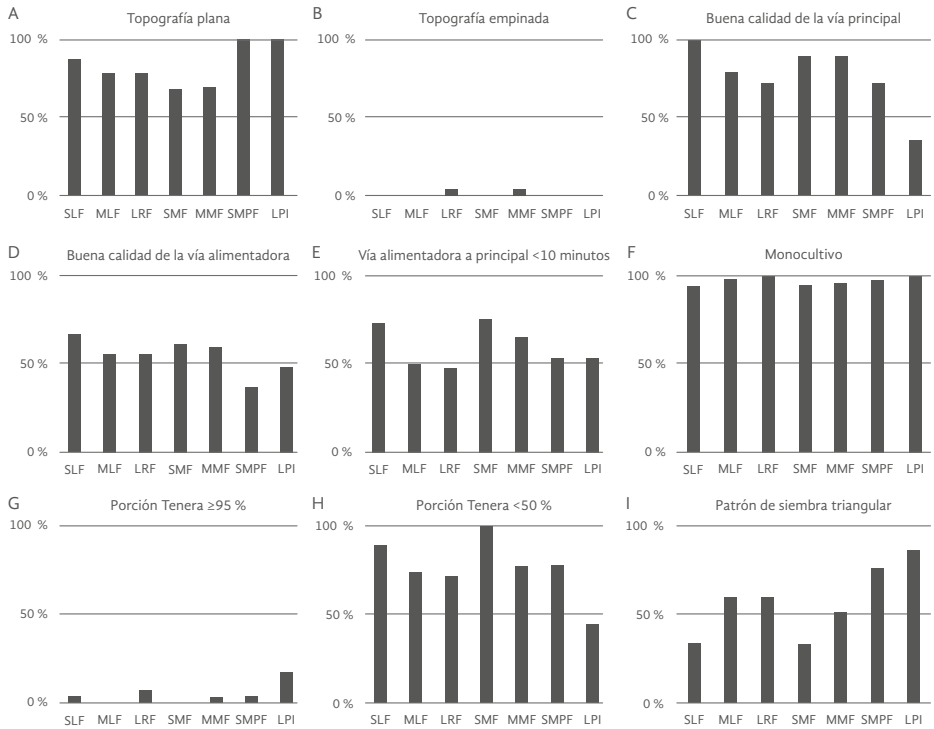
Figura 6. Proporción de agricultores por tipo de agricultores que implementaron BPA (SLF = Agricultores Locales Pequeños, MLF = Agricultores Locales Medianos, LRF = Agricultores Residentes Grandes, SMF = Agricultores Migrantes Pequeños, MMF = Agricultores Migrantes Medianos, SMPF = Agricultores en Turba Pequeños y Medianos, LPI = Grandes Inversionistas de Turba). Subfigura 6K y L se refieren a las evaluaciones de las fotografías de las prácticas de manejo por expertos. El eje Y indica la proporción de agricultores, mientras que el eje X muestra los tipos de agricultores



También hay condiciones que son más difíciles y costosas de corregir para los agricultores individuales, una vez se ha establecido la plantación. Estas, se muestran en la Figura 7. Respecto a la topografía, las plantaciones muestreadas de pequeños productores eran razonablemente similares: la mayoría planas o con pendientes ligeras, con solo unos pocos grandes agricultores residentes y medianos migrantes operando parcialmente en pendientes más pronunciadas. No se encontraron terrazas u otras medidas de conservación de suelos en las pocas plantaciones en pendientes pronunciadas. Las subfiguras 7C y D muestran que los caminos de alimentación (que conectan las plantaciones con las vías principales) y las vías principales en turba tienen una calidad significativamente inferior que las de los suelos minerales (χ^2 = 7,204, df = 6, p = 0,302 y χ^2 = 45,842, df = 6, p = 0,000, respectivamente).

Se encontraron diferencias importantes en los patrones de siembra entre los tipos de agricultores. La gran mayoría de los grandes agricultores en turba implementaron patrones triangulares correctos, en comparación con el 33 % de los pequeños agricultores locales y los pequeños agricultores migrantes (χ^2 = 31,908, df = 6, p = 0,000). Con un promedio de 143,2 palmas ha^{-1}, los pequeños agricultores locales tendieron a sembrar con una densidad relativa y significativamente mayor que los grandes agricultores residentes, que tuvieron la densidad promedio más baja con 134,0 palmas ha^{-1} (Tabla 3). Si bien observamos variaciones en las densidades de siembra en cada tipo de agricultor, estas fueron bastante similares y estaban en línea con las densidades de siembra comúnmente recomendadas de 136-143 palmas por hectárea (Uexküll *et al.*, 2003). El monocultivo fue la práctica estándar entre

Figura 7. Condiciones semipermanentes de plantación entre los varios tipos de agricultores (SLF = Agricultores Locales Pequeños, MLF = Agricultores Locales Medianos, LRF = Agricultores Residentes Grandes, SMF = Agricultores Migrantes Pequeños, MMF = Agricultores Migrantes Medianos, SMPF = Agricultores en Turba Pequeños y Medianos, LPI = Grandes Inversionistas de Turba). El eje Y indica la proporción de agricultores por condición de la plantación, mientras que el eje X muestra los tipos de agricultores



todos los tipos de pequeños productores agricultores (χ^2 = 4,381, df = 6, p = 0,625), pero se observaron algunos cultivos de piña en suelos de turba y cultivos intercalados de caucho y cacao en suelos minerales.

Los datos del material de siembra muestran que las palmas Dura fueron comunes entre todos los tipos de agricultores. En promedio, la mayoría de las plantaciones tenían >50 % de estas palmas. En varias ocasiones, los agricultores pequeños y medianos mencionaron que las frutas Dura eran deseables, pues las nueces grandes son pesadas y el intermediario paga a los agricultores por kilo, no por la calidad del fruto. Sin embargo, en suelos minerales (únicamente) un modelo de regresión lineal indicó que los números de racimos aumentan significativamente con una porción de Tenera en las plantaciones (Material complementario 7). La proporción de fincas con >95 % de frutos Tenera fue baja en todos los tipos de agricultores, pero había diferencias significativas, con el 17 % de grandes agricultores de turba y 7 % de grandes agricultores residentes teniendo > 95 % Tenera, mientras que los agricultores locales medianos y pequeños migrantes nunca tuvieron >95% de frutos Tenera (χ^2 = 14,025, df = 6, p = 0,029). Una porción de >50 % de palmas Dura fue común, especialmente entre los pequeños agricultores locales y los pequeños agricultores migrantes y las diferencias entre los tipos de agricultores fueron significativas, con los grandes teniendo un mejor desempeño (χ^2 = 28,283, df = 6, p = 0,000).

Discusión

Al analizar las prácticas de aplicación de fertilizantes, balance de nutrientes y concentraciones de nutrientes en tejidos, nuestros resultados muestran que las tasas de aplicación de fertilizante entre los varios tipos de agricultores fueron limitadas, particularmente para K. Las deficiencias de potasio fueron comunes en la

muestra y se observaron también en las plantaciones de pequeños agricultores independientes en Jambi y Kalimantan Occidental (Woittiez *et al*., 2018). La diseminación activa del conocimiento sobre la importancia y necesidad de una nutrición balanceada para la buena productividad de la palma de aceite, junto con los esfuerzos para hacer que los fertilizantes necesarios sean asequibles para los pequeños productores, son medidas importantes para mejorar el estado nutricional y la productividad de las plantaciones de los pequeños productores. La capacitación sobre los requerimientos específicos de nutrientes de las plantaciones en turba es un ejemplo de una medida enfocada en aumentar el uso efectivo de fertilizantes. La aplicación de racimos vacíos (RV) fue poco común entre todos los tipos de pequeños productores, lo que indica que hay opciones para mejorar el ciclo y reducir la pérdida de nutrientes en sus plantaciones. Además de educar a los agricultores sobre las ventajas bien documentadas de la aplicación de RV (Comte *et al*., 2013; Woittiez *et al*., 2018), mejorar los enlaces entre las plantas de beneficio y los agricultores y promover la devolución de los RV a los pequeños productores parece ser una valiosa estrategia para mejorar el balance de nutrientes y el manejo de suelos. Nos llamó la atención que cinco de los siete que utilizan RV fueron grandes agricultores, que tienen un mejor acceso directo a las plantas de beneficio, en comparación con los pequeños y medianos, quienes por lo general venden a intermediarios y no tienen una relación directa con dichas plantas (Jels-ma *et al*., 2017a). Mientras que Soliman *et al*. (2016) afirman que el uso de fertilizante no debe aumentar, solo con base en la aplicación de N los resultados de este estudio muestran que, en promedio, las tasas de N parecen ser suficientes para que los agricultores grandes residentes y migrantes produzcan 20 Mt de RFF ha^{-1} $año^{-1}$, pero que, en general, las cantidades de nutrientes suministrados quedan cortos para producir y mantener grandes rendimientos.

Los materiales de siembra suelen tener una calidad inferior a la estándar, limitando el potencial para aumentar el rendimiento mediante la implementación de BPA. Además de limitar el potencial de rendimiento de los RFF, los racimos Dura también contienen aproximadamente 30 % menos aceite (Corley, 2009), reduciendo así su rendimiento sustancialmente y explicando de manera parcial los bajos precios de los RFF para los agricultores, pues los intermediarios no suelen otorgar precios distintos según las diferencias de calidad o variedad de los agricultores individuales (Jelsma *et al*., 2017a). Las palmas Dura fueron particularmente prevalentes en las plantaciones de pequeños agricultores locales y pequeños agricultores migrantes, usualmente junto con patrones de siembra cuadrados. Estos, suelen utilizar materiales de siembra no certificados, que están disponibles con facilidad, ya sea como frutos sueltos o mediante comerciantes ilegales de plántulas que actúan sin que las autoridades locales se interpongan, mientras que los grandes agricultores parecen tener un mejor acceso a productores oficiales de plántulas y tienen más capital disponible para adquirir material de siembra. En las discusiones con las principales compañías productoras de semillas durante la reunión anual de GAP-KI en 2018, se informó que los esfuerzos de estas para contactar a los pequeños productores independientes se limitaron a suministrar semillas a un precio reducido, mientras que el aspecto crucial como el acceso fácil y local, incluyendo los requerimientos y costos administrativos, continuaron siendo un obstáculo clave para que los pequeños productores compraran materiales de siembra certificados. Solo el Instituto Indonesio de Investigación en Palma de Aceite visitó con regularidad las aldeas con tres automóviles y vendió semillas en Sumatra (entrevistas, noviembre 1-3 de 2017). Los productores industriales de palma de aceite, los bancos y el gobierno de Indonesia, mediante el fondo ACP (DJP, 2017a), apoyan los esfuerzos de resiembra de los pequeños productores, y recomiendan aumentar las campañas de concienciación que demuestran las potenciales pérdidas de rendimiento debido a un material de siembra deficiente, los patrones de siembra correctos y los costos relativamente bajos de los materiales de siembra de alta calidad, el aumento del número de centros de distribución con materiales de siembra de alta calidad, combinados con la prohibición de vendedores de plántulas no certificadas y, posiblemente, subsidiar materiales de siembra adecuados. No obstante, los impactos sobre los agricultores actuales serán menores, dado que las palmas suelen ser jóvenes, y es poco probable que los más pequeños y pobres las corten y acepten tres años adicionales sin ingresos hasta que sus palmas produzcan rendimientos de nuevo. Los efectos negativos de los patrones de siembra cuadrados, que reducen significativamente el potencial de rendimiento y crecimiento de las palmas debido a la disponibilidad

reducida de luz solar, pueden aminorarse mediante el raleo selectivo (Uexküll *et al*., 2003) y la poda rigurosa. Si bien existe un apoyo por parte del fondo ACP, el presidente del sindicato de agricultores de pequeños productores de palma de aceite expresó su temor por la "*plasmafication*" de los pequeños productores independientes (SPKS, 2018), refiriéndose a quedar atado a relaciones no deseadas con las compañías, los bancos y la burocracia. Esto fue un motivo clave por el que la anterior política de *revitalización,* que buscaba apoyar a los pequeños productores con la resiembra, falló (Zen *et al.,* 2016).

Las buenas prácticas de siembra y aplicación de nutrientes deben venir acompañadas de otras BPA si se quiere lograr la intensificación del sector de los pequeños productores. Nuestros resultados muestran que la poda, el deshierbe, el uso de cultivos de cobertura de leguminosas y las prácticas de apilamiento de frondas son similares entre todos los tipos de agricultores y, por lo general, requieren mejoras. La transferencia de conocimientos sobre buenas prácticas en el cultivo de palma de aceite a los pequeños productores ha sido limitada en nuestras áreas de investigación, pues los agricultores reciben muy poca capacitación formal y la mayoría del conocimiento viene de los proveedores de insumos y sus colegas agricultores (Woittiez *et al*., 2018; Jelsma *et al.,* 2017a). Si bien la organización de pequeños productores en cooperativas o grupos es una condición clave para la certificación RSPO o ISPO, y aunque hay evidencia de que los pequeños productores organizados pueden mantener sistemas con altos insumos y producción (Jelsma *et al*., 2017b), aún existen múltiples barreras para mejorar las prácticas. En Indonesia, los servicios de extensión son débiles, el conocimiento sobre las BPA y la certificación no está ampliamente disponible y rara vez hay estructuras institucionales fuertes, a través de las cuales se pueda distribuir el conocimiento entre los pequeños productores con facilidad (Brandi *et al*., 2015; Hidayat, 2017). Para hacer la situación más compleja, se deben diseñar estrategias individuales según los tipos específicos de agricultores para que sean efectivas. Idealmente, esto constituiría un acceso fácil a información de calidad mediante centros locales de capacitación para agricultores manejados por compañías, en colaboración con el gobierno para apoyar a los agricultores pequeños y medianos que, en su mayoría, residen localmente. Los grandes inversionistas de turba pueden necesitar un enfoque diferente, pues la escala de sus actividades es mucho más grande y su entorno representa otros desafíos. Los rendimientos en las plantaciones de turba fueron significativamente menores, lo que se puede atribuir a mayores grados de abstencionismo, decisiones especulativas de inversión, dificultades para recolectar los RFF debido a anegaciones en la temporada de lluvias y otras dificultades agroecológicas de los suelos de turba para cultivar palma de aceite en comparación con suelos minerales.

Si bien una comparación directa es difícil debido a las diferentes metodologías, existen similitudes claras entre los tipos de agricultores identificados por McCarthy y Zen (2016) y los tipos utilizados en nuestro estudio. Los "agricultores prósperos" identificados por McCarthy y Zen (2016) parecen ser similares a los tipos de agricultores grandes identificados en Jelsma *et al*. (2017a), pues poseen tierras y un capital considerable, pero utilizan materiales de siembra deficientes, pues carecen de acceso a materiales de siembra apropiados. Los agricultores pobres mencionados por McCarthy son, principalmente, los locales de Melayu que están "*… atrapados entre sus actividades agrícolas y su trabajo como jornaleros, con poco tiempo para invertir en mejorar sus lotes"* y, de hecho, parece que estos, en especial, utilizan menos fertilizantes o herbicidas. Los agricultores medianos locales y medianos migrantes pueden asociarse con los progresivos mencionados por McCarthy y Zen (2016), dado que tienen una mayor propiedad de palma de aceite en comparación con los agricultores pobres, frecuentemente tienen otros trabajos, por ejemplo funcionarios públicos, y difícilmente trabajan como jornaleros (Jelsma *et al.* 2017a). No obstante, si bien McCarthy afirma que los agricultores prósperos invierten más en fertilizantes y mano de obra y, por lo tanto, tienen rendimientos relativamente mejores que los agricultores pobres o progresivos, no se encuentra evidencia de esto. Por este motivo, se considera que mejorar las condiciones que permitan la implementación de BPA es relevante para todos los tipos de agricultores.

La falta de apoyo técnico e institucional respecto al manejo de las necesidades de las plantaciones de pequeños productores debe considerarse en un marco más amplio de las restricciones que obstaculizan la

intensificación de rendimientos y la implementación de BPA. La infraestructura desarrollada y mantenida deficientemente, como las vías o el acueducto, obstaculizan la intensificación. Entre los grandes agricultores de turba, la falta de sistemas de drenaje coordinados fue problemática. Para los productores más remotos en suelos minerales (empinados), la infraestructura fue especialmente deficiente. Usualmente, estas áreas estaban relativamente ocupadas por agricultores grandes y durante las encuestas y entrevistas, los cuidadores indicaban que no todos los racimos se cosechaban durante la temporada de lluvias debido al poco acceso que tenían algunas partes de sus plantaciones. Además de la anegación, la frecuente ocurrencia de incendios en la turba aumentaba los riesgos de pérdida de inversión para los agricultores (Gaveau *et al*., 2014; Purnomo *et al*., 2017). Estos grandes riesgos no representan un entorno apropiado para las inversiones en BPA. Medidas como el desarrollo de infraestructura y la prevención de incendios son prerrequisitos relevantes para su implementación y la intensificación de rendimientos.

La mano de obra es conocida como una limitación clave para el cultivo intensivo de palma de aceite por parte de pequeños productores (Soliman *et al*., 2016) y parece ser una de las principales razones por las que los agricultores prefieren este cultivo por encima del caucho (Euler *et al*., 2017; Feintrenie *et al*., 2010). Si bien se requiere una mano de obra suficiente y bien capacitada para implementar BPA, los problemas de esta también preocupan a las compañías porque sus crecientes costos son los "asesinos silenciosos" de la rentabilidad, pues la productividad apenas aumentó en los últimos 20 años (Liwang, 2017). Estos costos fueron relevantes para la agricultura de palma de aceite de los pequeños productores, pues muchos de los agricultores encuestados también contrataron jornaleros (Jelsma *et al*., 2017a). Dado que a los trabajadores se les paga por destajo, sus intereses están en cosechar o en podar tantas palmas como sea posible en el menor tiempo, en vez de realizar estas actividades de forma correcta. Por este motivo, la implementación de BPA requeriría de un monitoreo constante por parte de los agricultores. Los beneficios relacionados con la agricultura de pequeños productores, como la facilidad de monitorear los campos y el interés directo en la producción (Hazell *et al*., 2010; Hayami, 2010; Bissonette y De Koninck, 2017), parecen ser solo de poca relevancia para ciertos tipos de pequeños productores de palma de aceite. Esto resalta el área gris entre los pequeños productores como agricultores de familia y como plantaciones de compañías (Bisonnette y De Koninck, 2017). Esta área se distinguió con fuerza en los suelos de turba, donde los gerentes de los agricultores grandes se quejaron del número limitado de trabajadores (principalmente migrantes que estaban domiciliados en barracas al interior de la plantación). Como los agricultores de turba suelen residir por fuera del distrito (Jelsma *et al*., 2017a), la mano de obra y el monitoreo parecen ser problemas en la frontera, complicando la implementación de BPA.

Creemos que se requiere investigación adicional para determinar en qué medida los pequeños productores cultivan palma de aceite para recibir ingresos de su rendimiento o con fines especulativos, pues transformar "tierras baldías" en plantaciones de palma de aceite genera ingresos para muchos actores (p. ej. Purnomo *et al*., 2017; Prabowo *et al*., 2017). Muchas plantaciones en turba están ubicadas dentro del dominio forestal y ni las compañías ni el gobierno tienen legalmente permitido apoyar a los agricultores en estas tierras obtenidas por medios ilegales. La documentación de los terrenos, especialmente entre agricultores de turba y locales, y en menor medida migrantes, no suele ser reconocida por el Estado (Jelsma *et al*., 2017a). Esto genera riesgos para los propietarios y reduce el interés en las medidas de intensificación de rendimientos, que toman tiempo antes de que las inversiones den frutos. La intensificación es especialmente relevante cuando las poblaciones están aumentando y la tierra es escasa, pero este no es el caso en grandes partes de las islas menores de Indonesia. En Rokan Hulu, las compañías madereras y de palma de aceite recientemente desarrollaron la infraestructura para abrir nuevas tierras que ahora están disponibles con más facilidad que la mano de obra (Feintrenie *et al*., 2010). Si bien actualmente las oportunidades de expansión para las grandes compañías son limitadas, aún hay muchas tierras "baldías" pequeñas, que parecen ser ocupadas por inversionistas a escala relativamente pequeña (Bissonnette y De Koninck, 2017; Susanti y Maryudi, 2016). Y aunque es probable que la meta de la intensificación para ahorrar tierras vale la pena, se vislumbra una paradoja de Jevons, dado que esta intensificación hace que convertir el terreno en palma de aceite sea más interesante. Por

lo tanto, es necesario que los programas de intensificación incluyan regulaciones, monitoreo y vigilancia apropiada sobre el uso de tierras, si el objetivo es mejorar la sostenibilidad del sector.

En esta investigación se utilizaron varios métodos para evaluar el desempeño de diferentes tipos de pequeños productores. Las incertidumbres relacionadas con las encuestas eran: que los agricultores no solían llevar registros de la finca y que los tamaños reales de las plantaciones eran ligeramente diferentes a lo mencionado por los pequeños productores. Las estimaciones de rendimiento basadas en BBC eran propensas a errores en las evaluaciones de campo (es sabido que se incluyeron los racimos maduros, aumentando el rendimiento ligeramente) y otras suposiciones, todas las cuales afectaron los cálculos de rendimiento. Los equilibrios de nutrientes y los análisis de hojas y raquis son métodos comunes para evaluar las condiciones de nutrientes en plantaciones de palma de aceite de compañías. Sin embargo, si bien los valores críticos únicos pueden proporcionar indicadores del estado nutricional de las palmas, de hecho estos umbrales no son estáticos, pues las concentraciones de nutrientes varían con la edad, las condiciones y el entorno de la palma. Los valores críticos utilizados más comúnmente suelen desarrollarse en materiales de siembra más viejos y, por lo tanto, deben tomarse únicamente como indicativos e interpretarse junto con los datos de rendimiento y aplicación de fertilizantes, y con los síntomas visuales en campo (Fairhurst y Mutert, 1999; Corley, 2009). No obstante, dado que el objetivo principal de este estudio era comparar el desempeño de diferentes tipos de pequeños productores y no desarrollar regímenes de fertilización enfocados, los valores suministrados son suficientes para utilizarlos como punto de referencia. Las interpretaciones fotográficas permitieron a varios expertos compartir su experiencia y evaluar las plantaciones, pero no pueden reemplazar las visitas de campo. La diversidad de herramientas aplicadas en este estudio demostró ser lo suficientemente sensible para detectar las diferencias entre una amplia gama de tipos de pequeños productores y paisajes en los que operan y proporcionan una visión relativamente consistente de las condiciones de las plantaciones de estos productores. Los resultados indican que hay mucho por mejorar en las prácticas de los pequeños productores independientes y están en línea con publicaciones anteriores (Soliman *et al.*, 2016; Woittiez *et al.*, 2018; Molenaar *et al.*, 2013).

Conclusión

El sector de los pequeños productores independientes de palma de aceite puede mostrarse como el talón de Aquiles para la sostenibilidad del sector. Aunque nuestra investigación incluyó una amplia variedad de tipos de agricultores, las diferencias en la adopción de BPA fue limitada, además se observaron rendimientos deficientes entre todos los tipos de pequeños productores independientes en este estudio. Nuestros resultados sugieren que la idea de que es más probable que los agricultores grandes y con mayor capital inviertan en BPA, no tiene fundamento. Las razones subyacentes son variadas. Los pequeños agricultores locales y migrantes están atrapados en un sistema que no es amigable con las inversiones y puede tener un potencial de rendimiento limitado debido a patrones y materiales de siembra deficientes. Los programas recientes que buscan aumentar el acceso a fondos para comprar materiales de siembra o fertilizantes apropiados podrían aumentar el potencial de rendimiento con estos grupos. No obstante, viendo que no es más probable que los agricultores grandes, para quienes el capital financiero es comparativamente asequible, inviertan en BPA comparado con los agricultores pequeños y menos capitalizados, es incierto que mejorar el acceso a finanzas llevará a cambios significativos en las prácticas. Las elecciones de los agricultores están informadas por una compleja amalgama de factores que incluye, entre otros, el acceso a mano de obra y conocimiento; cultivos y modos de vida alternativos; la calidad de la infraestructura; peligros de incendios; la situación jurídica de las plantaciones; los mercados de tierras; las políticas gubernamentales y los cambios en los mismos; el acceso al mercado y la incertidumbre de precios del producto; y otras evaluaciones de riesgo que los agricultores hacen. Si bien reconocemos las limitaciones de nuestra investigación (p. ej. tamaño de la muestra, cobertura geográfica limitada), nuestros resultados exponen que, en las condiciones actuales, los pequeños productores en general prefieren una estrategia de bajos insumos y producción por varios motivos. Esto representa un reto importante para iniciativas como ISPO, RSPO y otros promotores

de BPA, y podría resultar en una mayor marginalización de los pequeños productores independientes, si se aumentan los umbrales de sostenibilidad. Para apoyar la implementación de BPA, se recomienda realizar investigaciones adicionales para identificar y cuantificar las aspiraciones y estrategias de los agricultores, pues se relacionan con la intensificación; además de, emplear enfoques que reconozcan la diversidad de los agricultores y los entornos en los que operan, y aceptar que es probable que ciertos tipos de agricultores, como por ejemplo, agricultores en turba con un desempeño deficiente que operan en dominio forestal o en tierras recientemente deforestadas, deban ser excluidos de la cadena de valor para mejorar la sostenibilidad del sector. Relacionar el desempeño con la reclasificación y legalización de tierras en turba también puede ser un camino para aumentar la sostenibilidad. Entre tanto, los responsables de las políticas deberían aunar esfuerzos para hacer que los pequeños productores tengan acceso a materiales de siembra adecuados y a conocimiento sobre BPA, como primer requisito para la intensificación. Los organismos gubernamentales y las ONG deberían buscar el apoyo de los socios de la industria que cuentan con experiencia técnica y que pueden ser una fuente importante de inversión en el subsector. Si se quiere mejorar la sostenibilidad, es imperativo observar más allá de la implementación de BPA, y hay una clara necesidad de reconocer el contexto general en el que estos agricultores operan.

Reconocimientos

Los técnicos de campo fueron Junardi, Siregar, Harry Putra Utama, Tian Hadi Syaputra, Jiani, Iyhaul, Parno y Jojo, quienes hicieron un maravilloso trabajo visitando las plantaciones, encontrando a los agricultores y tomando muestras de las hojas. Pt. Dami Mas y PT. Asian Agri fueron indispensables, pues nos enseñaron a tomar las muestras de las hojas, y agradecemos a PT. PN 5, PRT. Astra y PT. First Resources por compartir los datos de rendimiento para desarrollar los factores de compensación para las evaluaciones de rendimiento de BBC. Se agradece la revisión realizada por el Dr. G. C. Schoneveld y el Prof. Dr. K. E. Giller. Por supuesto, también agradecemos a RISTEK-DIKTI, a dos revisores anónimos, a todos los agricultores, a funcionarios del gobierno, RT y RW y a los que nos ayudaron en el campo. Este trabajo recibió el apoyo de CIFOR, el programa Know For II de DFID y el programa de Gobernanza en Paisajes de Aceite de Palma de USAID, a quienes agradecemos.

Apéndice A. Información complementaria

La información complementaria de este artículo puede ser consultada en línea en https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.11.004.

Referencias

Abood, S. A., Lee, J. S. H., Burivalova, Z., Garcia-Ulloa, J., Koh, L. P., 2014. Relative contributions of the logging, fiber, oil palm, and mining industries to forest loss in Indonesia. Conservation Lett. 1, 58-67.

Afrizal, 2013. Oil palm plantations, customary rights, and local protests: a West Sumatra Case Study. En: Anton Lucas, C. W. (Ed.), Land for the People: the State and Agrarian Conflict in Indonesia. Ohio University Press, pp. 149-182.

Aidenvironment, 2013. Diagnostic Smallholder Survey Instrument; Smallholder Survey Guidance-Inglés. (Amsterdam, 48 páginas).

Alcott, B., 2005. Jevons' paradox. Ecol. Econ. 54, 9-21.

Bissonnette, J.-F., De Koninck, R., 2017. The return of the plantation? Historical and contemporary trends in the relation between plantations and smallholdings in Southeast Asia. J. Peasent Stud. 44 (4), 918-938.

Bonneau, X., Ochs, R., Quasairi, L., Lubis, L. N., 1993. Hybrid coconut mineral nutrition on peat, from the nursery to the start of production. Oleagineux 48, 9-26.

BPDPKS, 2017. Smallholder plantation replanting program: challenges and Opportunities. En: 13th Indonesian Palm Oil Conference and 2018 Price Outlook; Growth through Productivity and Partnership with Smallholders, Session 2 Palm Oil for Indonesian Welfare. IOPA, Bali Nusa Dua Convention Centre, Nusa Dua, Bali (1-3 November).

Brandi, C., Cabani, T., Hosang, C., Schirmbeck, S., Westermann, L., Wiese, H., 2015. Sustainability standards for palm oil: challenges for smallholder certification under the RSPO. The Journal of Environment & Development 24 (3), 292-314.

Busch, J., Ferretti-Gallon, K., Engelmann, J., Wright, M., Austin, K. G., Stolle, F., Turubanova, S., Potapov, P. V., Margono, B., Hansen, M. C., Baccini, A., 2015. Reductions in emissions from deforestation from Indonesia's moratorium on new oil palm, timber, and logging concessions. Proc. Natl. Acad. Sci. 112 (5), 1328-1333.

Byerlee, D., Deininger, K., 2013. The rise of large farms in land-abundant countries: do they have a future? En: Holden, S. T., Otsuka, K., Deininger, K. (Eds.), Land Tenure Reform in Asia and Africa: Assessing Impacts on Poverty and Natural Resource Management. Palgrave Macmillan Reino Unido, Londres, pp. 333-353.

Byerlee, D., Stevenson, J., Villoria, N., 2014. Does intensification slow cropland expan sion or encourage deforestation? Global Food Security 3 (2), 92-98.

CIFOR, 2014. Pre-fire deforestation in Riau from 1990 to 2013. http://gislab.cifor.cgiar. org/geoportal/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7b7CCA4303-DC884A68-878FBC38B28F3BE8%7d (accessed on 16-05-2016).

Colchester, M., Jiwan, N., Andiko Sirait, M., Firdaus, A. Y., Surambo, A., Pane, H., 2006. Palm Oil and Land Acquisition in Indonesia: Implications for Local Communities and Indigenous Peoples. Moreton-in-Marsh and Bogor: Forest Peoples Programme. Perkumpulan Sawit Watch, HuMa, World Agroforestry Centre.

Comte, I., Colin, F., Grünberger, O., Follain, S., Whalen, J. K., Caliman, J. -P., 2013. Landscape-scale assessment of soil response to long-term organic and mineral fertilizer application in an industrial oil palm plantation, Indonesia. Agric. Ecosyst. Environ. 169, 58-68.

Corley, R. H. V., 2009. How much palm oil do we need? Environ. Sci. Policy 12 (2), 134-139. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2008.10.011.

Cramb, R. A., 2013. Palmed off: incentive problems with joint-venture schemes for oil palm development on customary land. World Dev. 43, 84-99.

Cramb, R., McCarthy, J. F., 2016. The Oil Palm Complex: Smallholders, Agribusiness and the State in Indonesia and Malaysia. NUS Press, Singapur.

DIS-BUN Propinsi Riau, 2015. Lampiran Surat Kepala Dinas Perkebunan Provinsi Riau; 503/ Disbun-Pengemb/tangal 01 September 2015 (Excel file only). Dinas Perkebunan Propinsi Riau, Pekanbaru.

DJP, 2015. Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kelapa Sawit 2014-2016 Directorate General of Estate Crops, Yakarta, pp. 69.

DJP, 2017a. Pedoman peremajaan tanaman kelapa sawit pekebun, pengembangan sumber daya manusia dan bantuan sarana dan prasarana dalam kerangka pendanaan badan pengelola dana perkebunan kelapa sawit. En: 29/KPTS/KB.120/3/2017. Direktorat Jenderal Perkebunan, Yakarta.

DJP, 2017b. Statistik Perkebunan Indonesia; Kelapa Sawit 2015-2017. Direktorat Jenderal Perkebunan, Yakarta.

Euler, M., Krishna, V., Schwarze, S., Siregar, H., Qaim, M., 2017. Oil palm adoption, household welfare, and nutrition among smallholder farmers in Indonesia. World Dev. 93, 219-235.

Fairhurst, T.H., Griffiths, W., 2014. Oil palm: best management practices for yield in tensification. International Plant Nutrition Institute (IPNI), Singapur.

Fairhurst, T., Härdter, R., 2003. The Oil Palm. Management for Large and Sustainable Yields. Singapore: Potash & Phosphate Institute of Canada, Potash & Phosphate Institute. International Potash Institute.

Fairhurst, T. H., Mutert, E., 1999. Interpretation and management of Oil Palm Leaf Analysis Data. Better Crops International 13 (1), 48-51.

Feintrenie, L., Chong, W., Levang, P., 2010. Why do farmers prefer oil palm? Lessons learnt from Bungo district, Indonesia. Small-Scale Forestry 9 (3), 379-396.

Forest People Program, 2013. Constitutional Court Ruling Restores Indigenous Peoples' Rights to their Customary Forests in Indonesia. https://www.forestpeoples.org/en/topics/rights-land-natural-resources/news/2013/05/constitutional-court-rulingrestores-indigenous-pe(accessed on 05-05-2018).

Foster, H. L., Prabowo, N. E., 2006. Partition and transfer of nutrients in the reserve tissue and leaves of oil palm. En: Workshop on Nutrient Needs in Oil Palm. IPNI, Singapur, pp. 18 (17-18 de octubre).

Gaveau, D. L. A., Salim, M. A., Hergoualc'h, K., Locatelli, B., Sloan, S., Wooster, M., Marlier, M. E., Molidena, E., Yaen, H., Defries, R., Verchot, L., Murdiyarso, D., Nasi, R., Holmgren, P., Sheil, D., 2014. Major atmospheric emissions from peat fires in Southeast Asia during non-drought years: evidence from the 2013 Sumatran fires. Sci. Rep. 4, 6112.

Gaveau, D. L. A., Pirard, R., Salim, M. A., Tonoto, P., Parks Husnayaen S. A., Carmenta, R., 2017. Overlapping land claims limit the use of satellites to monitor No-Deforestation commitments and No-Burning compliance. Conserv. Lett. 10 (2), 257-264.

Van Gelder, J. W., Sari, A., Pacheco, P., 2017. Managing Palm Oil Risks: a brief for financiers. RSPO (November). Gellert, P., 2015. Palm oil expansion in Indonesia: Land grabbing as accumulation by dispossession. World Dev. 33 (8), 1345-1364.

Gillespie, P., 2010. Politics, power and participation: a political economy of oil palm in the Sanggau district of West Kalimantan. Australian National University, Canberra (PhD. tesis).

Gillespie, P., 2011. How does legislation affect oil palm smallholders in the Sanggau District of Kalimantan, Indonesia? Australas. J. Nat. Resour. Law Pol. 14 (1), 1-37.

Goh, K. J., 2005. Fertilizer recommendation systems for oil palm: estimating the fertilizer rates. En: Malaysian Oil Scientists' and Technologists' Association (MOSTA) Best Practices Workshops 2004: Agronomy and Crop Management, March to August 2004, pp. 235-268 Kuala Lumpur.

Goh, K. J., Härdter, R., Fairhurst, T. H., 2003. Fertilizing for maximum return. En: Härdter, R., Fairhurst, T. H. (Eds.), Oil Palm: Management for Large and Sustainable Yields. PPI/PPIC and IPI, Singapore, pp. 279-306.

Hayami, Y., 2010. Chapter 64 Plantations Agriculture. En: Prabhu, P., Robert, E. (Eds.), Handbook of Agricultural Economics. vol. 4. Elsevier, pp. 3305-3322.

Hazell, P., Poulton, C., Wiggins, S., Dorward, A., 2010. The future of small farms: trajectories and policy priorities. World Dev. 38 (10), 1349-1361.

Hidayat, N. K., 2017. At the bottom of the value chain: Sustainability certification and the livelihoods of palm oil smallholders in Indonesia. Maastricht University, Maastricht (PhD. tesis).

Hidayat, K. N., Glasbergen, P., Offermans, A., 2015. Sustainability certification and palm oil smallholders' livelihood: a comparison between scheme smallholders and in dependent smallholders in Indonesia. Int. Food Agribus. Man. 18 (3).

Ivancic, H., Koh, L. P., 2016. Evolution of sustainable palm oil policy in Southeast Asia. Cogent Environmental Science 2 (1).

Jelsma, I., Schoneveld, G. C., Zoomers, A., van Westen, A. C. M., 2017a. Unpacking Indonesia's independent oil palm smallholders: an actor-disaggregated approach to identifying environmental and social performance challenges. Land Use Policy 69, 281-297.

Jelsma, I., Slingerland, M., Giller, K. E., Bijman, J., 2017b. Collective action in a small holder oil palm production system in Indonesia: the key to sustainable and inclusive smallholder palm oil? J. Rural. Stud. 54, 198-210.

KPK, 2016. Kajian Sistem Pengelolaan Komoditas Kelapa Sawit. Direktorat Penelitian dan pengembangan kedeputian bidang pencegahan komisi pemberantasan korupsi Republik Indonesia, Yakarta, pp. 53.

Lee, J., Ghazoul, J., Obidzinski, K., Koh, L., 2013. Oil palm smallholder yields and in comes constrained by harvesting practices and type of smallholder management in Indonesia. Agron. Sustain. Dev. 34, 1-13.

Liwang, T., 2017. Support of research to increase palm oil productivity with special reference to improved planting materials. En: 13th Indonesian Palm Oil Conference and 2018 Price Outlook; Growth through productivity and Partnership with Smallholders, Session 3. Increasing productivity through intensification and efficiency. IOPA, Bali Nusa Dua Convention Centre, Nusa Dua (1-3 November).

Mathews, J., Foong, L. C., 2010. Yield and harvesting potentials. Planter 86, 699-709.

McCarthy, J. F., Zen, Z., 2016. Agribusiness, agrarian change, and the fate of oil palm smallholders in Jambi. En: McCarthy, J. F., Cramb, R. (Eds.), The Oil Palm Complex: Smallholders and the State in Indonesia and Malaysia. National University of Singapore, Singapore, pp. 109-154.

MoA, 2011. Peta sebaran lahan gambut di Sumatera. En: Balau besar penelitian dan pengembangan sumberdaya lahan pertanian Badan Penelitian dan Pengembangen Pertanian Kementerian Pertanian RI, (Yakarta).

MoF, 2014. SK.878/MenHut-II/2014 Tentang Kawasan Hutan Provinsi Riau. (Yakarta).

Molenaar, J. W., Persch-Orth, M., Lord, S., Taylor, C., Harms, J., 2013. Diagnostic Study on Indonesian Palm Oil Smallholders: Developing a better understanding of their performane and potential. International Finance Corporation, Yakarta.

Ng, S. K., Uexküll, H. R. v., Thong, K. C., Ooi, S. H., 1990. Maximum exploitation of genetic yield potentials of some major tropical tree crops in Malaysia. En: Symposium on Maximum Yield Research, (17 August, Kyoto).

Ng, P. H. C., Chew, P. S., Goh, K. J., Kee, K. K., 1999. Nutrient requirements and sustain ability in mature oil palms - an assessment. The Planter 75, 331-345.

Obidzinski, K., Andriani, R., Komarudin, H., Andrianto, A., 2012. Environmental and social impacts of oil palm plantations and their implications for biofuel production in Indonesia. Ecol. Soc. 17 (1), 25.

Prabowo, D., Maryudi, A., Senawi, Imron, M. A., 2017. Conversion of forests into oil palm plantations in West Kalimantan, Indonesia: Insights from actors' power and its dy namics. Forest Policy Econ. 78, 32-39.

Purnomo, H., Shantiko, B., Sitorus, S., Gunawan, H., Achdiawan, R., Kartodihardjo, H., Dewayani, A. A., 2017. Fire economy and actor network of forest and land fires in Indonesia. Forest Policy Econ. 78, 21-31.

Rankine, I., Fairhurst, T., 1998. Oil Palm Field Handbook; Mature. Potash & Phosphate Institute, Singapore.

Rival, A., Montet, D., Pioch, D., 2016. Certification, labelling and traceability of palm oil: can we build confidence from trustworthy standards? OCL 23 (6), D609.

Rokan Hulu, B. P. S., 2015. Kabupaten Rokan Hulu dalam angka 2015. Badan Pusat Statistik Kabupaten Rokan Hulu.

RSPO, 2017. RSPO Smallholder Strategy; Objectives, Outputs and Implementation. Kuala Lumpur.

Sayer, J., Ghazoul, J., Nelson, P., Klintuni Boedhihartono, A., 2012. Oil palm expansion transforms tropical landscapes and livelihoods. Glob. Food Sec. 1 (2), 114-119.

Soliman, T., Lim, F. K. S., Lee, J. S. H., Carrasco, L. R., 2016. Closing oil palm yield gaps among Indonesian smallholders through industry schemes, pruning, weeding and improved seeds. Royal Soc. Open Sci. 3 (8).

SPKS, 2018. Undangan Diskusi National Definisi dan Karakterstik Petani Swadaya Kelapa Sawit. SPKS, Hotel Sari Pan Pacific, Yakarta (8 February).

Susanti, A., Maryudi, A., 2016. Development narratives, notions of forest crisis, and boom of oil palm plantations in Indonesia. Forest Policy Econ. 73, 130-139.

Tester, M., Langridge, P., 2010. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. Science 327 (5967), 818-822.

Uexküll, H.v., Henson, I. E., Fairhurst, T., 2003. Canopy management to optimize yield. En: Härdter, R., Fairhurst, T. H. (Eds.), Oil Palm Management for Large and Sustainable Yields. Potash & Phosphate Institute of Canada, Potash & Phosphate Institute, International Potash Institute, Singapore, pp. 163-180.

USDA, 2016. Oilseeds: World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service, Washington D. C.

Villoria, N. B., Golub, A., Byerlee, D., Stevenson, J., 2013. Will yield improvements on the forest frontier reduce greenhouse gas emissions? A global analysis of oil palm. Am. J. Agric. Econ. 95 (5), 1301-1308.

Woittiez, L. S., Haryono, S., Turhina, S., Dani, H., Dukan, T. P., Smit, H., 2015. Smallholder Oil Palm Handbook (beta version). Wageningen & The Hague: Wageningen University and SNV International Development Organisation.

Woittiez, L. S., Slingerland, M., Rafik, R., Giller, K. E., 2018. Nutritional imbalance in smallholder oil palm plantations in Indonesia. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 111 (1), 73-86.

Zen, Z., McCarthy, J. F., Chalil, D., Sitorus, H., Shahputra, M., 2015. High Carbon Stocks (HCS) and the socio-economics of palm oil: Towards improving the sustainability of the oil palm sector in Indonesia.

Zen, Z., Barlow, C., Gondowarsito, R., McCarthy, J. F., 2016. Interventions to promote smallholder oil palm and socio-economic improvement in Indonesia. En: Cramb, R., McCarthy, J. F. (Eds.), The Oil Palm Complex: Smallholders, agribusiness and the State in Indonesia and Malaysia. National University of Singapore, Singapur, pp. 78-108.

Aprendiendo a amar al cultivo más odiado del mundo*

Learning to Love the World's most Hated Crop

Citación: Jackson, T. A., Crawford, J. W., Traeholt, C. & Sanders, T. A. B. (2018). Aprendiendo a amar al cultivo más odiado del mundo (Traductor Arenas, C.). *Palmas, 41*(1) 64-87.

Palabras clave: palma de aceite, sostenibilidad, respuesta a críticos.

Keywords: oil palm, sustainability, response to critics.

* Traducido del original *Learning to Love the World's most Hated Crop*, publicado en la revista Journal of Oil Palm Research, volumen 31, número 3 de 2009 p. 331-347, disponible en https://doi.org/10.21894/jopr.2019.0046

Este artículo ha sido traducido y publicado con el permiso de la Junta de Aceite de Palma de Malasia.

T. A. Jackson
Científico principal, Ag Research Ltd.
trevor.jackson@agresearch.co.nz

J. W. Crawford
Programa de Sistemas Sustentables, Rothamstead Research

C. Traeholt
División de Investigación y Conservación, zoológico de Copenhague

T. A. B. Sanders
Departamento de Ciencias Nutricionales, King's College London

Resumen

El informe Cambio Climático y Tierra de 2019 del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) resaltó la urgencia y escala del impacto ambiental que tienen las transformaciones antropogénicas en el paisaje. Históricamente, el aceite de palma ha tenido una reputación negativa por impulsar la deforestación, la pérdida de biodiversidad, las emisiones de gases de efecto invernadero, la explotación social y causar daños a la salud. A los ojos de muchos, en el mundo occidental es considerado como el cultivo más odiado. Sin embargo, la palma es altamente productiva en comparación con otros cultivos y genera el 40 % del aceite comestible del planeta con tan solo el 5 % de tierras productoras de aceite vegetal y el 0,4 % del total de tierras agrícolas. Tiene el potencial de satisfacer la demanda futura de aceite con mínimo impacto ambiental y climático en comparación con otras fuentes de aceite vegetal.

La densidad de alto valor relacionada tiene el potencial de sacar a millones de pequeños productores agrícolas de la pobreza. Dadas las conclusiones del informe Cambio Climático y Tierra del IPCC, es importante reexaminar la reputación de este cultivo a la luz de la evidencia acumulada y entender adecuadamente todos los impactos que tiene en factores ambientales, sociales, económicos y de salud. En este artículo se presenta una crítica integral de los beneficios y riesgos del cultivo en estas dimensiones y se proporciona una nueva síntesis. Se concluye que aunque la palma de aceite ha tenido un impacto negativo en el hábitat y la biodiversidad, juega un papel menor en comparación con la caza furtiva, la tala ilegal y las amenazas del cambio climático. Hay oportunidades importantes para que la industria reverse este daño. Su reputación negativa frente a la salud no está sustentada por evidencia científica y, de hecho, reemplazar algunos aceites en la dieta con aceite de palma puede ser benéfico. Los impactos económicos y sociales son más obvios en áreas en las que se han establecido economías de mercado adecuadas, pero puede haber impactos negativos significativos en áreas menos desarrolladas. También se concluye que gran parte de la reputación del aceite de palma no está basada en una interpretación equilibrada de la evidencia científica. Siempre y cuando los desarrollos futuros utilicen tecnologías de captura de metano en las plantas de beneficio, empoderen a los pequeños productores indígenas, apoyen la regeneración de bosques secundarios y no impliquen deforestación ni ocurran en turba, concluimos que la palma de aceite puede ser el medio más sostenible ambiental, social y económicamente viable para satisfacer la demanda futura de aceite vegetal. De hecho, con colaboraciones proactivas con organizaciones no gubernamentales relevantes, la palma de aceite puede ser parte de la solución para reversar la degradación de los biomas de bosques tropicales.

Abstract

The 2019 Inter-governmental Panel (IPCC) Report on Climate Change and Land highlighted the urgency and scale of the environmental impact from human-induced landscape change. Palm oil has historically had a particularly negative reputation for driving deforestation, biodiversity loss, greenhouse gas emissions, social exploitation and damaging health. In the eyes of many in the West, it is regarded as the world's most hated crop. However, palm is highly productive compared with other crops and produces 40% of the worlds edible oil from only 5% of vegetable oil producing land and 0.4% of agricultural land in total. It has the potential to meet future demand for oil with minimum additional environmental and climate impact compared with other sources of vegetable oil. The related high value density has the potential to move millions of vulnerable smallholder farmers out of poverty. Given the conclusions of the IPCC Climate and Land Report, it is therefore important to re-examine the crop's reputation in light of the accumulated evidence and to properly understand the full impacts across the environmental, health, social and economic factors. We present a comprehensive review of the benefits and risks of the crop across these dimensions and provide a new synthesis. We conclude that while oil palm has had a significant negative impact on habitat and biodiversity, it plays a minor role compared with poaching, illegal logging and threats from climate change. There are important opportunities for the industry to reverse this damage. Its reputation for negative health impacts are not backed up by the scientific evidence and indeed there may be health benefits from substituting some oils in the diet with oil palm. Positive social and economic impacts are most obvious in areas where proper market-led economies are in place, but there can be significant negative social impacts in less developed areas. We conclude that much of the reputation of palm oil is not based on a balanced interpretation of the scientific evidence. Provided future development is zero deforestation, does not occur on peat, uses methane capture technology at the mills, empowers indigenous smallholders and supports the regeneration of secondary forest, we conclude that oil palm can be the most environmentally, socially and economically sustainable means to meet future demand for vegetable oil. Indeed, with pro-active collaboration with relevant non-government organisations, oil palm can be part of the solution to reversing the degradation of tropical forest biomes.

Introducción

En 2017, la prestigiosa revista científica Nature publicó un artículo refiriéndose a la palma de aceite como el cultivo más odiado del mundo (Yan, 2017). El documento resaltó la percepción que se tiene de que este cultivo causa deforestación, afectando el clima mediante la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), llevando la vida icónica salvaje a la extinción y causando daños a las comunidades y pueblos indígenas locales. Estos problemas fueron utilizados para justificar las prohibiciones del uso de aceite de palma en alimentos y cosméticos. Las compañías, desde supermercados hasta zoológicos, han declarado dicha prohibición en sus productos/propiedades, y varias organizaciones no gubernamentales (ONG) han hecho campañas por "No al aceite de palma" (Figura 1).

La percepción de la palma de aceite como una amenaza polifacética para el planeta contrasta fuertemente con las opiniones sobre el cultivo expresadas tiempo atrás, en las que es visto como la panacea para proporcionar alimento, energía e ingresos a una región subdesarrollada del planeta (Gilbert, 2012). En términos comerciales, la introducción de la palma de aceite africana (*Elaeis guineensis*) y de la palma de aceite americana (*Elaeis oleifera*) al Sudeste Asiático ha sido un éxito sin precedentes en el establecimiento de plantaciones comerciales y plantas de beneficio, de manera que en esta región se ha producido el 85 % del aceite de palma del mundo y más de un tercio de los aceites vegetales comercializados en el planeta (IndexMundi, valores estimados para 2019). No obstante, este éxito ha traído consecuencias poco positivas que no habían sido previstas. Esta industria ha conocido los impactos negativos de la producción no regulada de aceite de palma y ha sido la primera en establecer un código de conducta, a través de la Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible (RSPO) en 2004 y de un conjunto de principios en evolución, encaminados a hacer que la palma de aceite sostenible sea la norma en la industria (RSPO, 2019) (Figura 2).

A pesar del establecimiento del Código de Conducta y de los compromisos de la industria y los gobiernos con la sostenibilidad, varias ONG y otras organizaciones han liderado una campaña constante, a menudo maliciosa, en contra del aceite de palma y el cultivo de la palma de aceite con base en cinco grandes factores: degradación ambiental, pérdida de biodiversidad, emisiones de GEI, efectos sociales e impacto para la salud. En este artículo abordamos estos factores con la esperanza de aportar a un debate más equilibrado, matizado y productivo sobre el futuro del cultivo; y de promover la colaboración para desarrollar objetivos comunes para el futuro.

Impacto ambiental

Los campesinos han cultivado palma de aceite como fuente de alimento por más de 4.500 años en África (D'Andrea *et al*., 2006). Hace más de 100 años se introdujo la palma de aceite africana (*Elaeis guineensis*) en el Sudeste Asiático, donde se desarrolló, adaptó y actualmente existe como un cultivo comercial en plantaciones que se renuevan cada 20-30 años. Se cultiva

Figura 1. Campaña "No al aceite de palma"

Figura 2. Principios y criterios de la Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible

Fuente: RSPO (2018)

principalmente en Malasia e Indonesia y también se produce en Suramérica, África y las islas del Pacífico. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) coteja el área cosechada por país regularmente y la reporta en las Bases de Datos Estadísticas (FAOSTATS, 2017) y, más recientemente, el área cultivada con palma de aceite ha sido estimada con mapas publicados, incorporados en el Sistema de Información Geográfica (SIG) complementados con datos Landsat (D'Andrea *et al*., 2006). La FAO estima un área total cultivada de palma de aceite de 21,40 millones de hectáreas en 45 países, mientras que Meijaard *et al.* (2018) estiman un total de 18,7 millones de hectáreas plantadas con palma de aceite (Tabla 1).

De esos 45 países, el 85 % del área total en producción está concentrado en Malasia e Indonesia (IndexMundi, valores estimados para 2019). La palma de aceite es un cultivo importante en África occidental, donde la mayoría de la producción es hecha por pequeños cultivadores que cosechan el fruto para consumo local. La producción de plantaciones está establecida en Latinoamérica, pero sigue siendo a pequeña escala. Las estimaciones de Meijaard *et al.* (2018) para Malasia son muy similares a las de MPOB (2018), utilizando un enfoque similar (peninsular, 2,73 millones de hectáreas; Sarawak, 1,55 millones; Sabah, 1,57 millones). Las estimaciones más altas de datos Landsat pueden explicarse por el cese de la cosecha durante dos o tres años durante la resiembra y establecimiento de nuevas plantaciones que aún no son productivas. Es importante reconocer la dificultad de incluir a los pequeños productores dispersos, que pueden ser un factor en la aparente subestimación de Landsat del área derivada de palma de aceite entre los productores de países más pequeños (Papúa Nueva Guinea, Islas Salomón y Ecuador).

Los datos de satélite proporcionan una estimación del área sembrada con palma de aceite que puede compararse con el área total en los países/regiones productores. Las mayores cifras derivadas de Landsat muestran que las plantaciones de palma de aceite cubren 18,4 % del área de Malasia, 6,1 % de Indonesia y 0,3 % de Papúa Nueva Guinea. La distribución de la palma de aceite en Malasia se presenta en los mapas elaborados por la Junta de Aceite de Palma de Malasia (MPOB, por sus siglas en inglés), que muestran con precisión el tamaño y distribución de las plantaciones en todo el país y proporciona una confirmación visual del alcance real de este cultivo (Figura 3).

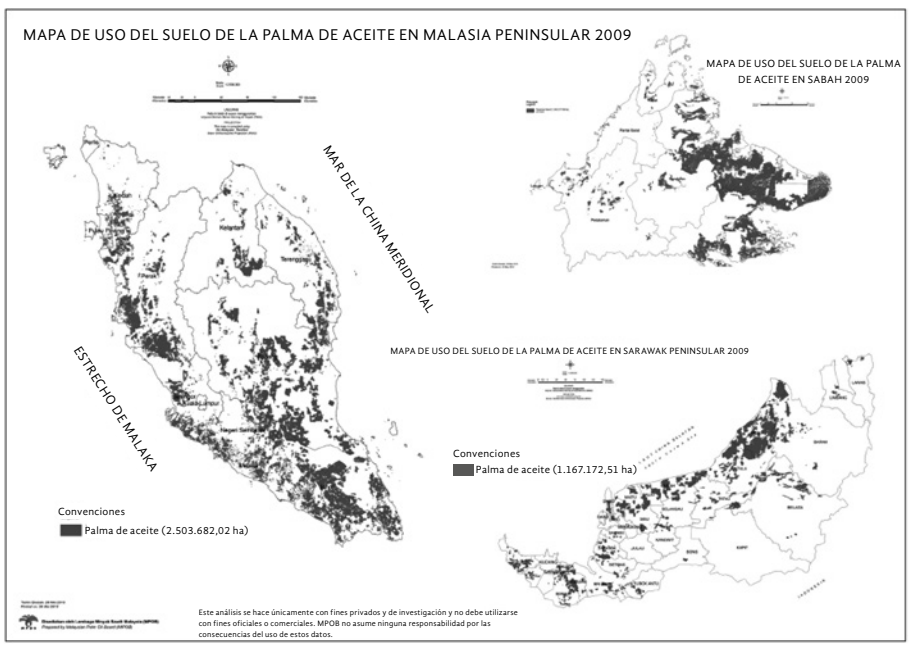
Tabla 1. Área sembrada con palma de aceite por país/región, estimada por la FAO estadísticas de cosecha, SIG y datos Landsat expresados en valores absolutos (millones de hectáreas) y porcentaje del área total

País	Región	Área total (millones de hectáreas)*	Área de palma de aceite sembrada FAO, 2017 (porcentaje de área total)	Área de palma de aceite** (porcentaje de área total)
Malasia		32,86	5,11 (14 %)	6,03 (18,4 %)
	Peninsular	13,23	-	2,72 (20,6 %)
	Sarawak	12,45	-	1,68 (13,5 %)
	Sabah	7,36	-	1,63 (22,1 %)
Indonesia		181,16	9,30 (4,1 %)	11,13 (6,1 %)
	Sumatra	47,35	-	5,86 (12,4 %)
	Kalimantan	74,33	-	5,06 (6,8 %)
	Papúa	31,90	-	0,21 (0,7 %)
Papúa Nueva Guinea	-	45,29	0,18 (0,4 %)	0,14 (0,3 %)
Islas Salomón	-	27,99	0,02 (0,1 %)	0,01 (<0,1 %)
Colombia	-	110,95	0,28 (0,3 %)	0,29 (0,3 %)
Ecuador	-	27,68	0,26 (0,9 %)	0,02 (0,01 %)
Nigeria	-	91,08	3,04 (3,3 %)	Sin datos
Ghana	-	22,75	0,36 (1,6 %)	0,02 (0,1 %)
Costa de Marfil	-	24,57	0,35 (1,3 %)	Sin datos
Guinea	-	31,80	0,31 (1,1 %)	0,08 (0,3 %)

Fuente: * Banco Mundial (2018), ** Meijaard (2018).

Figura 3. Distribución de plantaciones de palma de aceite en Malasia (2009)

Fuente: Mapas cortesía de MPOB (2019)



En el caso de Borneo, que incluye los estados malasios de Sarawak y Sabah y la provincia indonesia de Kalimantan, la palma de aceite cubre aproximadamente el 10 % del área, que se ilustra junto con los cambios en el uso de la tierra en los mapas presentados por Gaveau *et al.* (2016a). Si bien el área total sembrada con palma de aceite ha sido, a menudo, pasada por alto en favor de citar porcentajes de cambio, es importante observar la calidad de la tierra que se ha utilizado para sembrarla y el problema de la deforestación. Malasia tiene la mayor densidad de palma de aceite, pero también conserva el 61 % de su cobertura forestal (incluyendo bosque primario y secundario, pero excluyendo palma de aceite y agroforestería) (RSPO, 2013). Si bien una alta proporción de este bosque se ha degradado por la tala, el 16 % (3,9 millones de hectáreas) permanecen como bosque primario. La cobertura forestal en la parte del Borneo indonesio se mantiene en 76,8 %, con 46 % de este como bosque primario, pero grandes áreas fueron adjudicadas como concesiones para palma de aceite, plantaciones de madera y tala.

Global Rainforest Watch (2019) informa que entre 2001 y 2017 se perdieron 6,87 y 21,96 millones de hectáreas de cobertura arbórea en Malasia e Indonesia, respectivamente. Esto es comparable con la tasa anual promedio de pérdida de cobertura forestal absoluta en el Amazonas durante el mismo periodo (INPE, 2019). Sin embargo, estas tasas de pérdidas fueron dos veces mayores antes de 2001. Desde 1970, el Amazonas ha perdido el 20 % de su cobertura forestal, equivalente a 75 millones de hectáreas o a 1,5 millones de hectáreas por año. La mayoría ocurrió antes de 2004 y, desde entonces, las tasas de pérdida de bosque en el Amazonas se han reducido significativamente, siendo la de 2018, el 27 % del total de la tasa de pérdida más alta evidenciada en 1994. No obstante, la tasa de pérdida en junio de 2019 fue 90 % más alta que la del mismo mes, pero de 2018 (INPE, 2019) como resultado de los cambios en el tema político en Brasil, junto con un clima inusualmente seco e incendios. Pero ninguna de estas pérdidas es comparable con la destrucción histórica de bosques en Europa. Por ejemplo, según Woodland Trust, solo el 13 % del área del Reino Unido está cubierta con bosques y, de esa, solo el 2,3 % es de bosques antigüos (pero no necesariamente vírgenes). La mayoría de la deforestación en el Reino Unido ocurrió antes de la Edad Media (cuando la cobertura forestal ya había bajado al 15 %), con una reducción posterior a menos del 5 % a comienzos del siglo XX.

El papel del desarrollo de la palma de aceite en la deforestación ha sido controversial, con los defensores de las plantaciones afirmando que, en su mayoría, se ha limitado a tierras anteriormente degradadas, mientras que los opositores afirman que ha impulsado la deforestación. Las estimaciones de la expansión de las plantaciones de palma de aceite y la pérdida del área boscosa indican que existen factores adicionales al desarrollo de este cultivo (Tabla 2). Abood *et al.* (2015) concluyeron que de los 6 millones de hectáreas de pérdida boscosa en Indonesia entre 2000 y 2010, la palma de aceite fue la tercera causa (≈ 1 millón de hectáreas), después de la pérdida por plantaciones de fibra (≈ 1,9 millones de hectáreas) y tala (≈ 1,8 millones de hectáreas). Gaveau *et al.* (2016) señalan que aproximadamente el 60 % de las plantaciones de palma de aceite en Borneo se sembraron en tierras que solían ser bosques y consideran que el desarrollo de plantaciones de palma de aceite fue el factor principal que condujo a la deforestación.

Tabla 2. Expansión de la palma de aceite y pérdida de área boscosa en Malasia e Indonesia (2001-2017) (millones de hectáreas)

	Área de palma de aceite (2000)	Área de palma de aceite (2017)[3]	Expansión del área de palma de aceite	Pérdida de área boscosa[4]
Indonesia	4,0[1]	7-11	3,0 -7,0	21,96
Malasia	4,0[2]	6,0	2,0	6,87

Fuente: [1]Servicio Agrícola en el Extranjero del Departamento de Agricultura de EE. UU. (USDA FAS, 2000). [2]WWF (2018a). [3]Meijaard (2018). [4]Global Rainforest Watch (2019).

A medida que ha crecido la conciencia sobre las presiones que impulsan el aumento de la producción y la necesidad de proteger el medio ambiente natural, la industria de la palma de aceite ha respondido con la creación de la RSPO y la introducción gradual de mayor regulación sobre la planificación del paisaje y la protección de los bosques. No puede, y no debe negarse que la expansión de las plantaciones de palma de aceite ha sido un importante generador de deforestación y la tecnología satelital ha puesto esto a la vista de todos. Gaveau *et al*. (2018) utilizaron imágenes Landsat para mapear la expansión de la palma de aceite y la pérdida de bosque primigenio en Borneo, y concluyeron que estas alcanzaron su punto más alto en 2009-2012, desde entonces, se ha reducido. Lo que atribuyeron a factores externos como el precio, el clima y los incendios, pero le dieron poco crédito a los efectos de la autorregulación de la industria. Bajo el liderazgo de la RSPO, la industria de la palma de aceite ha avanzado hacia una mejor protección del medio ambiente, y en noviembre de 2018 votó mayoritariamente para prohibir la expansión de las plantaciones hacia suelos de turba, y refrendó la cero deforestación (RSPO, 2018). Además, los principales comerciantes se comprometieron a eliminarla en sus cadenas de suministro para 2020. No obstante, la capacidad de la industria para monitorearse a sí misma y controlar la expansión hacia áreas ambientalmente sensibles ha sido cuestionada y Greenpeace (2018) ha reportado casos recientes de deforestación.

Pero Fassler (2016) señaló que, de hecho, renunciar al aceite de palma puede ser malo para el ambiente. Se ha demostrado que es rentable y que se expandió en el Sudeste Asiático debido a su alta productividad por hectárea. Las plantaciones en esta parte del mundo producen un promedio de 20 toneladas (t) de racimos de fruta fresca por hectárea (ha^{-1}) por $año^{-1}$, que producen más de 4 t de aceite. Esto supera, por mucho, el rendimiento de aceite de cultivos oleaginosos alternativos, que por lo general producen entre 0,3 y 1 m^2 t por ha^{-1} por $año^{-1}$, u otros cultivos arbóreos como el coco o el olivo, que producen aproximadamente 0,3 y 2,0 t por ha^{-1} por $año^{-1}$, respectivamente (Murphy, 2014). La palma de aceite produce el 38 % del suministro mundial de aceite vegetal en solo el 5 % del área cultivable del planeta asignada a esta producción, equivalente a 0,4 % de la tierra agrícola del mundo. Reemplazar este con otros aceites vegetales transfiere los problemas ambientales de la producción agrícola intensiva a otras partes del mundo, pero de forma menos eficiente. Adicionalmente, la palma de aceite ha evolucionado en los trópicos húmedos, lo que es apropiado para su producción en esta región, donde ofrece una excelente oportunidad para apoyar la creación de riqueza en las zonas rurales de países en desarrollo.

Conservación de la vida silvestre

La palma de aceite africana, *Elaeis guineensis,* y la palma de aceite americana, *Elaeis oleifera,* son especies exóticas en el Sudeste Asiático, donde se cultivan en monocultivos, principalmente en grandes plantaciones. Obviamente, esto desplaza a la vida silvestre endémica. En Borneo se cultivan 7 millones de hectáreas de palma de aceite en tierras anteriormente cubiertas por selvas bajas, el hábitat primario de varias especies emblemáticas de vida silvestre, incluyendo el orangután (*Pongo pygmaeus*), el elefante de Borneo (*Elephas maximus borneensis*) y el rinoceronte de Sumatra (*Dicerorhinus sumatrensis*). En Malasia peninsular, los ejemplares de especies como el tigre malasio (*Panthera tigris jacksoni*) bajaron de más de 1.000, antes de 1990 (Topani, 1990), a menos de 200 en 2019 (informe no publicado por Global Tiger Recovery Programme, 2019), mientras que es probable que el gaur malasio (*Bos gaurus hubbacki*) sea el próximo gran mamífero en extinguirse localmente (Duckworth *et al*., 2016) después del rinoceronte de Sumatra, que fue declarado localmente extinto recientemente (Havmøller *et al*., 2016). A pesar de que se considera que gran parte de la tierra convertida en cultivos de palma de aceite ya fue modificada de bosque primario por la tala o producción agrícola (Jonas *et al*., 2017), la escala masiva en la conversión de bosques a plantaciones de monocultivos en el periodo 1990-2014 ha tenido un grave impacto en la biodiversidad de Malasia peninsular, Borneo y Sumatra. Varios estudios han mostrado que estas plantaciones mantienen un conjunto de diversidad muy pobre en comparación con el bosque tropical primario, e incluso el secundario altamente alterado (p. ej. Canale *et al.,* 2012; Ghazali *et al*., 2014; Stibig *et al*., 2014). Los efectos colaterales de la fragmentación extrema del hábitat, junto con el mayor acceso de cazadores furtivos a zonas remotas a las que era imposible

acceder anteriormente, han resultado en rápidas bajas en la población de la mayoría de las especies que se han monitoreado a la fecha (Gibson *et al*., 2013; Koh, 2008; Laurance *et al*., 2011; Petrenko *et al*., 2016; Sasidhran *et al*., 2016; Voigt *et al*., 2018; Yue *et al*., 2015).

El rinoceronte de Sumatra, la especie más pequeña del mundo, está al borde de la extinción. En 1984 se estimaba que entre 45 y 75 ejemplares rondaban en Malasia peninsular (Flynn y Abdullah, 1984), pero la última señal de esta especie se registró en 2007 y en 2019 se consideró extinta (Havmøller *et al*., 2016). En Sabah, el último individuo salvaje fue capturado en una plantación de palma de aceite en 2014, sufrió una patología severa en su sistema reproductivo y era infértil (Kretzchmar *et al*., 2016). En 2004 se estimaba que la población de la única especie del gran simio de Asia, el orangután (Figura 4), llegaba a los 55.000 ejemplares (Wich *et al*., 2008), pero, actualmente, el consenso es que la especie está distribuida más extensamente que lo anteriormente estimado y que puede haber hasta 100.000 orangutanes en Borneo (Wich *et al*., 2012). No obstante, Voigt *et al*. (2018) estimaron que la población del orangután en Borneo se había reducido ~50 % desde 1999 y consideraba el desarrollo de la palma de aceite como responsable de una gran parte de esta reducción.

Sin embargo, el paisaje actual de plantaciones mantiene más de 10.000 orangutanes (Meijaard, 2018), lo que hace que este sea esencial para su conservación en el futuro y, de hecho, para la conservación de especies en general. Los enormes bancos de tierra de propiedad privada presentan oportunidades inexploradas para esto. El requerimiento de conservar áreas evaluadas como Altos Valores de Conservación (AVC) al interior de las plantaciones (por ejemplo, franjas ribereñas, selvas tropicales no perturbadas, suelos de turba, puntos calientes de biodiversidad) y esquemas de reforestación son medidas positivas. Estos requerimientos se han integrado como parte del esquema de certificación Aceite de Palma Sostenible de Indonesia (ISPO, por sus siglas en inglés) y Aceite de Palma Sostenible de Malasia (MSPO, por sus siglas en inglés) y, poco a poco, se están convirtiendo en la norma para toda la industria. No obstante, en un contexto de conservación se requieren muchas más acciones que 'reservas de cumplimiento'. Una industria que abarca millones de hectáreas de tierra también debe asumir responsabilidad por la protección del medio ambiente en estas áreas. La pregunta es: ¿cómo?

Emisiones de gases de efecto invernadero

La expansión de la palma de aceite se ha asociado con un aumento en las emisiones de GEI por la intensificación, deforestación y quema. Sin embargo, es im-

Figura 4. Orangután salvaje en la zona de reforestación de Ulu Segama del norte

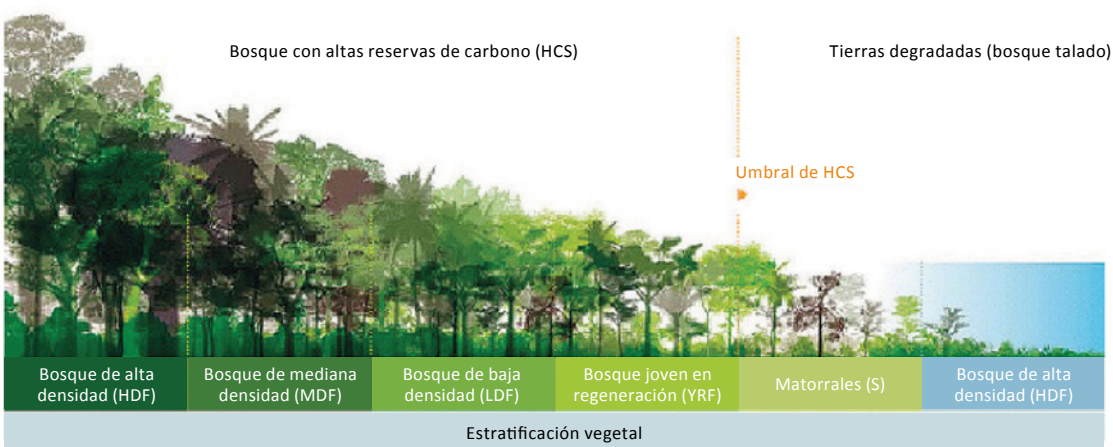
Fotografía: cortesía de Jackson, T. (2016).

portante definir su papel en estos problemas y discutir las maneras de corregir o revertir estos efectos negativos. La palma de aceite se cultiva en rotaciones, con una vida típica de 20 a 30 años. Las reservas de carbono en una plantación dependen de su edad y, para los efectos de este artículo, lo que se hizo fue adoptar el valor típico del total de biomasa en pie (incluyendo biomasa superficial y subterránea) de la palma de aceite cultivada en suelos minerales o de turba, promediada durante la vida total de una plantación. Según un metaanálisis de Kho y Jepsen (2015), en Malasia este valor, aunque varía entre sitios, se ha estimado en 29 Mg C ha^{-1}. Esto puede compararse con la biomasa en pie del bosque primario, que varía entre 156 Mg C ha^{-1} y 252 Mg C ha^{-1}, y el bosque secundario (bosque talado) de 59 Mg C ha^{-1} (Kho y Japsen, 2015). Claramente, las plantaciones de palma de aceite representan una reducción significativa en la biomasa en pie en comparación con el bosque primario y secundario. Sin embargo, donde se planta palma de aceite en suelos degradados por tala, cultivo o quema (lo que resulta en una baja biomasa de carbono) esta se convierte en un sumidero neto de carbono. Gingold (2010) informó que varios millones de hectáreas en Indonesia cumplen con los criterios de suelos degradados. Para aclarar estos criterios, el grupo de Rosoman *et al.* (2017), conformado por la industria y varias ONG, produjeron el conjunto de herramientas del Enfoque de Altas Reservas de Carbono (HCS, por sus siglas en inglés) para mantener dichas reservas y manejar los GEI, proporcionando una guía para evaluarlas y para administrar el inventario de carbono (Figura 5). Llevando este enfoque más allá, el Fondo para la Defensa del Medio Ambiente (Miller y Cai, 2015) propuso áreas de cero deforestación en Indonesia, pero también recomendó satisfacer la necesidad futura de aceite de palma intensificando la producción y expandiéndola hacia suelos degradados.

Dado que la palma de aceite se siembra como un cultivo comercial y se utiliza para varios propósitos, su impacto sobre la biomasa en pie es, tan solo, una parte de la historia. Para entender por completo dicho impacto es necesario incluir los aportes de GEI más allá de la etapa de cultivo, incluyendo el procesamiento, el transporte y el consumo. Posteriormente, estos datos se pueden comparar con otras opciones para producir aceites vegetales que tienen el mismo fin pero que provienen de fuentes diferentes. Los impactos de varios aceites vegetales sobre las emisiones de GEI pueden compararse mediante el análisis de ciclo de vida (ACV), especialmente cuando se utiliza el aceite como biocombustible (práctica adoptada en la Unión Europea) para reemplazar combustibles fósiles como fuente de energía, con el objetivo de descarbonizar esta energía. Los análisis de ACV han identificado que gran parte de la emisión de GEI ocurre durante el

Figura 5. Diferencias en las altas reservas de carbono (HCS) entre bosques y suelos degradados

Fuente: Rosoman *et al.* (2017).



procesamiento en la planta de beneficio. Por ejemplo, Stichnothe y Schuchard (2011) calcularon que se puede lograr una reducción cuádruple en las emisiones de GEI (460 kg CO_{2eq} por tonelada de racimos de fruta fresca versus 110 kg CO_{2eq} por tonelada de racimos de fruta fresca) capturando el método de los estanques de efluentes y compostando los racimos de fruto vacíos, y devolviéndolos a la plantación. Estas prácticas se están convirtiendo en la norma dentro de la industria. Al 2015, 246 de las 445 plantas de beneficio en Malasia contaban con tecnología de captura de metano instalada o en etapa de planeación y construcción (Enström *et al*., 2018).

O'Connell *et al.* (2019) demostraron la importancia de capturar el metano en un ACV reciente en el que compararon las emisiones de GEI del uso de diferentes aceites como biocombustible para la aviación. Compararon los aceites de canola, girasol, soya y palma con cálculos separados para la palma de aceite sembrada en suelo mineral o de turba y con o sin captura de metano. Todos los cálculos se hicieron con la suposición de que no había cambios en el uso del suelo (por ejemplo, deforestación) asociados con el sistema de producción. Los análisis mostraron que el aceite de palma producido con palmas sembradas en suelos minerales y con captura de metano tenían las mejores emisiones de GEI por unidad de energía de combustible producida (34,7 g CO_{2eq} por MJ), seguido del aceite de soya (39 g CO_{2eq} por MJ), de girasol (41,4 g CO_{2eq} por MJ), de canola (51,1 g CO_{2eq} por MJ), de palma sembrado en suelos minerales sin captura de metano (52,8 g CO_{2eq} por MJ) y, por último, el mejor escenario para el aceite de palma, es decir la sembrada en turba (sin cambio del uso del suelo y con captura de metano) (117,6 g CO_{2eq} por MJ). Por lo tanto, la palma de aceite puede tener las menores emisiones de GEI entre los cultivos oleaginosos comparables más próximos cuando se utiliza como biocombustible para aviación, siempre y cuando no haya cambios en el uso del suelo, se recupere y se utilice el metano, y la palma se siembre en suelos minerales. Los ACV que incluyen el impacto del cambio en el uso del suelo son una minoría y las diferencias en la forma en la que se establecen estos ACV hacen que la comparación entre estudios sea difícil (Archer *et al*., 2018). Al incorporar el cambio en el uso del suelo, las emisiones de GEI asociadas con la producción de palma de aceite aumentan significativamente, en especial para la palma de aceite sembrada en suelos de turba, donde las emisiones de GEI son más altas. En respuesta a estos hallazgos, la RSPO, los principales grupos de plantaciones y más de 50 compañías que utilizan aceites vegetales se comprometieron a eliminar la deforestación y la conversión de turba de sus sistemas de producción.

Mirando hacia el futuro, y siempre y cuando se pueda eliminar la siembra en suelos de turba de las futuras expansiones de la palma de aceite (y que se progrese en el rendimiento mediante la mejora genética y agronómica), las emisiones netas de GEI de la palma de aceite serán menores que las de otras fuentes de aceite vegetal. Adicionalmente, es posible lograr mayores compensaciones de carbono si una mayor intensidad en la producción se complementa con programas integrados de regeneración de bosques, mediante nuevas colaboraciones entre las plantaciones y las ONG para restaurarlos y restaurar los suelos degradados en el entorno de la palma de aceite, mediante la resiembra. Riutta *et al.* (2018) compararon la producción primaria neta (PPN) de los bosques primarios y secundarios en Sarawak. Si bien la PPN de los bosques secundarios fue significativamente menor, esto se debió a la relativa escasez de árboles debido a los vacíos dejados por la tala. Si los bosques secundarios se manejan activamente para restaurar su densidad arbórea (basal) original, los datos sugieren que la PPN puede superar en 40 % la de los bosques primarios. Tomando un valor promedio de 1 Mg C ha^{-1} $año^{-1}$ para la PPN de una plantación de palma de aceite (Kaniah *et al*., 2014) y 13 Mg C ha^{-1} $año^{-1}$ como el valor del bosque primario, si se restauran 2 ha de bosque secundario por cada 3 ha de plantación, es posible que la palma de aceite sea neutra en carbono. Dado que la PPN es la misma para bosques primarios y secundarios, esto es cierto independientemente de si se talan bosques primarios o secundarios para la producción.

Impacto social de la palma de aceite

La industria de la palma de aceite suele ser criticada por abusar de los derechos de los trabajadores, realizar trabajo infantil y por no respetar los derechos de los pueblos indígenas y de las comunidades. Si bien han existido claros ejemplos de violaciones a los derechos humanos, es importante observarlos en

el contexto de las industrias que se desarrollan rápidamente en economías emergentes. La expansión de la palma de aceite ha tenido un impacto masivo en las economías en desarrollo de Malasia e Indonesia que han visto un rápido crecimiento de su Producto Interno Bruto (PIB) en las últimas décadas, pero el PIB per cápita sigue siendo bajo, de 1.390 dólares y 4.180 dólares, respectivamente. El aceite de palma es el principal aportante agrícola al PIB de Malasia, con un total de 44.800 millones de RM (moneda de Malasia) o 3,8 % del aporte al PIB de 2017. Esta también es la industria agrícola más importante en Indonesia, aportando entre 1,5 % y 2,5 % del PIB de la nación e ingresos para 6 millones de trabajadores en un país en el que el 50 % de ellos solo tienen empleo informal y el nivel educativo es bajo.

La alta productividad y rentabilidad de la palma de aceite ofrece a los trabajadores de las plantaciones y a las comunidades de pequeños productores una oportunidad de mejorar significativamente su bienestar social, incluyendo mayores ingresos y acceso a educación y salud. Las condiciones económicas en la región en las últimas décadas proporcionaron un grupo de trabajadores de bajo costo que laboraron para expandir la industria. No obstante, los bajos salarios y las pobres condiciones en algunas fincas fueron objeto de críticas por sindicatos y ONG. En línea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas No. 8, "promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos", la Organización Internacional del Trabajo (OIT) diagnosticó las condiciones laborales en el sector de la palma de aceite en Indonesia, dando como resultado un acuerdo entre la industria, el gobierno y organizaciones sociales de un plan nacional de acción para promover el trabajo decente en las plantaciones de palma de aceite (OIT, 2015). Este acuerdo se desarrolló aún más, como resultado de un diálogo nacional entre empleadores y organizaciones de trabajadores para abordar los problemas del sector (OIT, 2017). La situación es diferente en Malasia, donde hay una fuerte dependencia de trabajadores inmigrantes, que suelen llevar vidas precarias para el trabajo de campo en las plantaciones de palma de aceite (Pye *et al*., 2012). La MPOB está buscando hacer frente a la escasez de mano de obra y aumentar la productividad de los trabajadores mediante grandes inversiones en investigación para mecanización (Kushari *et al*., 2019). En respuesta a estos problemas, la RSPO creó el Grupo de Trabajo sobre Derechos Laborales (LTF, por sus siglas en inglés) para fortalecer los estándares y procesos de protección laboral y mejorar el nivel de implementación y cumplimiento entre sus miembros (RSPO, 2017). Los resultados de estas iniciativas aún deben ser determinados.

Si bien la RSPO es vista como una fuerza líder para la sostenibilidad y la certificación, es cuestionada por su alcance limitado y por su conveniencia en la industria. El esquema se diseñó originalmente para evitar el impacto ambiental de las grandes plantaciones (Morgans *et al*., 2018), pero también se basó en la protección de las dimensiones sociales y económicas de la sostenibilidad. Como resultado, los pequeños productores no fueron tenidos en cuenta, lo suficiente, durante las etapas iniciales de la RSPO, pero esto fue abordado en revisiones posteriores (por ejemplo, RSPO Next). No obstante, la RSPO sigue presentando barreras para la certificación de los campesinos más pobres debido a las inversiones financieras requeridas y a su complejidad (Morgans *et al*., 2018; Paoli *et al*., 2010). Aunque es claro que la RSPO produce mejores beneficios económicos, su impacto sobre la reducción de la pobreza o la mejora de la salud es cuestionada (Morgans *et al*., 2018). Tal vez no es sorpresa que, actualmente, solo un 20 % del cultivo se produzca bajo la certificación RSPO. De estos, Tullis (2019) menciona que solo la mitad de la producción certificada es vendida a un precio *premium* y que incluso este es bajo. Reitberg y Slingerland (2016) reportan un aumento de entre el 1 % y el 4 % para el aceite de palma crudo (APC) de palma certificada. El costo y escala de la implementación de la certificación a menudo significa que las necesidades de los pequeños productores no tienen representación (Morgans *et al*., 2018). Para ser inclusivos, Malasia e Indonesia introdujeron esquemas de certificación para pequeños productores (MPSO, ISPO). Si bien se consideran menos exigentes que el esquema de la RSPO, son el primer paso para educar y comprometer a los campesinos a superar los desafíos ambientales.

Que los pequeños productores siembren palma de aceite indica que lo ven como una opción rentable para su sector; sin embargo, a menudo no tienen el conocimiento ni las capacidades para beneficiarse completamente del cultivo. Para hacer frente a este problema,

la MPOB y el Instituto de Investigación de Aceite de Palma de Indonesia (IOPRI, por sus siglas en inglés) se han enfocado en la extensión y capacitación de pequeños productores para mejorar su productividad e ingresos. La medida en la que esta oportunidad se ha materializado varía significativamente y depende de la historia socioeconómica de la aldea. En un estudio de caso sobre el impacto de la palma de aceite en la vida de los aldeanos en Kalimantan, Sanitika *et al.* (2019) indican que las aldeas que se encontraban en áreas ampliamente deforestadas y que tenían medios de subsistencia orientados al mercado, contaban con mayores probabilidades de tener una mejora en su situación social y económica. A modo de comparación, las que se encontraban en áreas ampliamente boscosas, con poca infraestructura de apoyo, tenían una menor tasa de mejora.

La deforestación ha afectado los derechos de las comunidades indígenas que viven en la selva, causando conflictos directos con la industria de la palma de aceite (p. ej. Mickute, 2018). Colchester *et al.* (2007) entrevistaron a estas comunidades que habían sido afectadas por la palma de aceite en Sarawak, y encontraron serias preocupaciones sobre un aparente desprecio hacia los derechos de los indígenas, con muchos casos que han sido llevados a las cortes. El consentimiento previo, libre e informado de los pueblos indígenas a las actividades planeadas en sus tierras es un requisito del derecho internacional, pero el respeto de estos derechos se reduce mediante un mapeo pobre de la tierra y la falta de transparencia de las leyes relacionadas con el desarrollo de la misma. Estos derechos fueron reconocidos por la RSPO, que emitió una *Guía del consentimiento libre, previo e informado para miembros de la RSPO* (RSPO, 2015). Nesadurai (2013) consideró que la RSPO ha sido mucho más sensible que los gobiernos a los derechos sobre la tierra de las comunidades indígenas y rurales, proporcionando un debido proceso para los reclamantes de tierras y reconociendo que estas comunidades pueden tener un derecho legítimo sobre la misma, incluso si los gobiernos otorgaron a las compañías la propiedad legal. A medida que se afianza el compromiso con la cero deforestación de la industria de la palma de aceite, el alcance de los nuevos conflictos con los habitantes indígenas de la selva debería disminuir teniendo en cuenta los errores del pasado para establecer programas de propiedad indígena en la reforestación.

Impacto sobre la salud

Las críticas de los impactos del aceite de palma en la salud se han enfocado en los posibles efectos sobre los individuos en países occidentales y no en su importancia en la nutrición, especialmente en el mundo en desarrollo. Es necesario reconocer que la palma de aceite es más eficiente al producir grasa que la soya, la canola y el girasol y que reducir la producción podría poner en riesgo la seguridad alimentaria mundial. La mayoría de los pronósticos de crecimiento de la población en el planeta y el aumento en la demanda por alimentos tendrá lugar en Asia y África, donde se cultiva la palma de aceite. Además de proporcionar energía, el aceite de palma tiene otras ventajas para las regiones tropicales. Es más estable a temperatura ambiente que otros aceites vegetales, importante para su uso repetido en la fritura y en las economías emergentes en las que los refrigeradores domésticos no están ampliamente disponibles.

El APC es rico en betacaroteno, tocotrienoles y está libre de colesterol, la mitad de sus ácidos grasos están presentes como ácido palmítico, con ácidos oleico (40 %) y linoleico (10 %), los cuales proporcionan equilibrio. Se han hecho afirmaciones de los efectos beneficiosos teóricos de los tocotrienoles para la salud humana, incluyendo propiedades contra el cáncer. Sin embargo, han sido basadas en experimentos en células y animales, a menudo utilizando ingestas más allá del rango que probablemente se encontraría en el consumo de aceite de palma. Por lo tanto, no hay suficiente evidencia de estudios en humanos que demuestre que los tocotrienoles tienen efectos importantes para la salud. Los principales beneficios nutricionales del aceite de palma son: es una fuente oxidativa estable de energía alimentaria; y facilita la absorción de vitaminas solubles en grasa, particularmente vitamina A, que es importante en economías emergentes y de bajos ingresos. El aceite de palma rojo es consumido ampliamente en África occidental y hace grandes aportes a la ingesta de vitamina A, pero el APC se refina físicamente (eliminando los carotenos) para producir un aceite más estable. El aceite de palma juega un papel importante en reducir la ingesta de ácidos grasos *trans* dañinos. El aceite de palma refinado es una fuente importante de espesantes en mezclas interesterificadas libres de ácidos grasos *trans* como la margarina, esparcibles y

grasas para pastelería (Mensink *et al*., 2016). Los lípidos estructurados de la fórmula para lactantes con ácido palmítico en la posición *sn*-2, que promueve la digestión de grasas en los infantes y aumenta la absorción de calcio, también están hechos de oleína de palma, utilizando interesterificación dirigida por enzimas. La presencia de ácido palmítico en la posición *sn*-2 puede tener efectos beneficiosos para la salud intestinal (Miles y Calder, 2017), y un artículo reciente de la Sociedad Europea de Gastroenterología, Hepatología y Nutrición Pediátrica (EPSGAN, por sus siglas en inglés) concluyó que no existe justificación científica para eliminar este aceite de la fórmula para lactantes, generando críticas de algunos activistas ambientales (Bronsky *et al*., 2019).

El ácido palmítico es un componente esencial de todas las membranas celulares en el cuerpo humano, es un intermediario clave en el metabolismo del ácido graso y está presente en todas las grasas y aceites. Recientemente, las guías dietéticas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomendaron que los ácidos grasos saturados (AGS) no deberían suministrar más del 10 % de la energía para evitar enfermedades cardiovasculares (ECV). Sin embargo, las tasas de ECV en Europa, Norteamérica y Australia han caído marcadamente durante los últimos 30 años y, actualmente, la ingesta promedio de AGS proporciona el 12 % o menos de la energía, y se obtiene principalmente a partir de carnes y productos lácteos, no de aceites vegetales. Durante el pico de la epidemia de enfermedades coronarias en la década de 1970, el aceite de palma nunca fue un componente sustancial del consumo dietético de los países afectados. Hoy en día las dietas de estos han cambiado sustancialmente desde este periodo, con un mayor consumo de frutas y vegetales, de aceites vegetales y aves de corral y una reducción en el uso de grasas hidrogenadas y de origen animal. Los metaanálisis de los estudios observacionales prospectivos más recientes, realizados principalmente en Norteamérica y Europa, no lograron demostrar una relación entre la ingesta de AGS y el riesgo de ECV (Chowdhury *et al*., 2013; De Sousa *et al*., 2015). Adicionalmente, un gran Estudio Prospectivo de Epidemiología Urbana y Rural (PURE, por sus siglas en inglés) de cohorte realizado en economías de ingresos medios y emergentes, incluyendo Malasia, no encontró ninguna relación entre la ingesta total de AGS y la mortalidad por ECV (Dehghan *et al*., 2017). No obstante, debe notarse que el consumo de AGS en los países que participaron en el PURE, estaban por debajo o cerca de los niveles de ingesta recomendados por la OMS. Algunas personas siguen debatiendo, con base en datos observacionales obtenidos principalmente de estudios de cohorte prospectivos en Estados Unidos, que reemplazar los AGS con ácidos grasos poliinsaturados puede reducir el riesgo de ECV, a pesar de la evidencia de varios ensayos controlados que no han logrado demostrar que seguir esta indicación tenga algún efecto sobre la mortalidad por ECV (Hamly, 2017). Nueva evidencia, utilizando biomarcadores, que son indicadores confiables del consumo, muestran que la falta de ácido linoleico en la dieta está asociada con un riesgo 22 % mayor de ECV (Marklund *et al*., 2019). Las bajas ingestas de ácido linoleico están asociadas con el consumo de productos cárnicos rojos o procesados, lo que está consistentemente relacionado con un mayor riesgo de ECV. Por el contrario, el aceite de palma contiene aproximadamente cuatro veces la cantidad de ácido linoleico encontrada en otros aceites tropicales (p. ej. coco, manteca de cacao, karité) y grasas de animales rumiantes. Esto puede explicar, en parte, la falta de asociación del aceite de palma con ECV.

Estudios sobre alimentación controlada de humanos (Fillipou *et al*., 2014; Fattore *et al*., 2014) encontraron que el ácido palmítico suministrado como aceite de palma resultó en un pequeño aumento (0,044 mmol litro-1) en las concentraciones de colesterol de lipoproteína de baja densidad en plasma (LDL, por sus siglas en inglés), en comparación con el ácido oleico por cada 1 % de energía intercambiada, lo que podría predecirse que tiene un efecto significativo sobre el riesgo de ECV (menos del 1 %). Estudios de alimentación en Asia, incluyendo China (Sun *et al*., 2018), encontraron que intercambiar la oleína de palma por aceite de oliva, con ingestas de entre 30 y 40 g por día, no tenía efectos sobre el colesterol LDL. El aceite de palma no afecta otros factores de riesgo de ECV como la presión arterial, la función vascular, la sensibilidad a la insulina, los marcadores inflamatorios y la actividad procoagulante. Adicionalmente, su composición de ácidos grasos es maleable y puede ser modificada mediante la crianza selectiva de plantas para producir variedades o

fracciones que contengan más ácido oleico y menos ácido palmítico que el requerido, para formular alimentos con un perfil de ácidos grasos que cumpla con las guías dietéticas actuales.

Por lo tanto, si bien el aceite de palma es importante para satisfacer los requisitos mundiales de alimentos, especialmente en Asia y África, no hay evidencia que sustente las afirmaciones de que esté asociado con resultados nutricionales adversos para los humanos. Es así como, el llamado a los aliados para que se unan a la "generación de pruebas y promoción en torno a los impactos perjudiciales del aceite de palma en los humanos y la salud planetaria" (Kadandale *et al*., 2019) parece infundado.

Discusión

Durante las últimas décadas, la percepción del público sobre la palma de aceite en algunos sectores ha cambiado de ser un cultivo milagroso y un árbol de bosque natural para alimentar al mundo, a ser un presagio de colapso ambiental. Esta opinión emergente suele ser promovida con un uso selectivo de la información y poco conocimiento de un contexto más amplio en los países productores. El éxito y expansión de la palma de aceite ha proporcionado una meta a aquellos preocupados por el ambiente, la salud y los derechos humanos. Si bien existen problemas que no se pueden negar, el enfoque para abordarlos debe ser examinado.

La Unión de Científicos Preocupados (2013) mencionó, con aparente alarma, que las plantaciones de palma de aceite cubren un área del tamaño del estado de Georgia (Estados Unidos). Sin embargo, debe considerarse notable, que debido a la productividad de la palma de aceite, se pueden producir más de un tercio de los aceites vegetales del mundo en un área no mayor a la de un estado mediano de los Estados Unidos. En contraste, en 2018, el área mundial de plantaciones de soya se estimaba en 122 millones de hectáreas, que es 8 veces el área del estado de Georgia. Adicionalmente, solo produjo el 10 % de la cantidad de aceite, de un área equivalente de cultivo de palma de aceite. A medida que la población y los ingresos mundiales aumentan, la demanda de aceites vegetales crece. Esta se puede satisfacer mediante intensificación o expansión. Murphy (2014) señala que los rendimientos actuales están muy por debajo del potencial y que nuevas selecciones y manejos podrían ayudar a cerrar la brecha. Los pequeños productores cultivan palma en aproximadamente el 40 % del área cubierta por el cultivo en el Sudeste Asiático, y el rendimiento es tan solo del 50-60 % de lo producido por los mejores cultivadores en plantaciones o estaciones de investigación. Hay una oportunidad clara para cerrar la brecha de rendimiento con los pequeños productores, mejorar sus medios de vida y cubrir la demanda futura de seguridad alimentaria. Incluso con aumentos potenciales en el rendimiento, los aumentos esperados en la demanda solo pueden lograrse expandiendo el área sembrada con palma de aceite. Se estima que para 2050 la necesidad futura de aceite vegetal podrá satisfacerse con tan solo 6 millones adicionales de producción de palma de aceite (Corley, 2009), que pueden desarrollarse en suelos degradados. El éxito de la palma de aceite al producir una proporción tan alta de las necesidades mundiales de energía alimentaria en un área pequeña no está exento de riesgos. Los monocultivos, como los desarrollados para la palma de aceite, son altamente susceptibles a la invasión de plagas y enfermedades y se debe mantener un programa activo de bioseguridad.

No se puede negar que la expansión de la palma de aceite, particularmente en el Sudeste Asiático, ha tenido un impacto negativo en el medio ambiente y la biodiversidad, pero es tan solo uno de los muchos factores involucrados y, con una cobertura <20 % de Malasia y <6 % de Indonesia, este cultivo no puede asumir toda la responsabilidad por las afectaciones ambientales de la región. Los últimos 25 años de pérdida de biodiversidad terrestre en el Sudeste Asiático han sido principalmente atribuidos a la desaparición del hábitat y a la caza furtiva. Si bien estos dos factores son promotores importantes, la falta de una gestión de población dedicada, juega un papel igual o más relevante. La pérdida del tigre de Java, el rinoceronte de Sumatra, el pavo real cuelliverde y el dúgon (de Malasia occidental) continuó, a pesar de tener el conocimiento para prevenirlo y suficiente hábitat disponible para conservar las especies. Sin embargo, las poblaciones aisladas de una variedad de especies en peligro de extinción están evolucionando en subpoblaciones aún más pequeñas. La convicción común sigue siendo que estas especies deben ser "salvadas" en áreas protegidas y, en consecuencia, la mayoría

de las compañías de aceite de palma siguen lidiando con los orangutanes residentes, removiéndolos con la ayuda de ONG y "rescatándolos" en instalaciones de cautiverio, donde la mayoría vivirá sus últimos días. Si bien varios centros han comenzado a devolver y a liberar especímenes, el número de reintroducciones a la vida silvestre continúa siendo mucho menor al de especímenes nuevos en los centros de rescate. A pesar de que los Principios y Criterios de la RSPO solicitan "manejar los AVC y las especies", ninguna compañía lo está haciendo a la escala necesaria. Ni las reservas de cumplimiento ni el monitoreo a la extinción son suficientes (Kenney *et al*., 2014; Laurance *et al*., 2017). Las especies deben tratarse en su hábitat natural, incluso si solo quedan algunos especímenes en un fragmento aislado de bosque. La necesidad de manejo metapoblacional es más relevante que nunca porque trabajar sobre el riesgo de extinción se ha vuelto más importante que solo prevenirlo. Es necesario enlazar genéticamente a las poblaciones aisladas, ya sea reestableciendo corredores ecológicos que permitan la migración natural o mediante intervención humana, esto garantizará el flujo genético mediante el movimiento y cruce de especímenes en intervalos definidos. El manejo metapoblacional sigue siendo una de las tareas más desafiantes de la industria. Incluso las ONG más ambientalistas tienen dificultades conceptualizando y planeando este enfoque ¿Cómo se va a implementar? Queda en manos de los actores más dedicados de la industria comenzar con esta tarea, ya que las oportunidades de éxito son extraordinarias. De hecho, este enfoque puede ser la principal actividad que ayudará a cambiar la imagen negativa del sector de la palma de aceite por una imagen positiva, proactiva y progresiva.

Es reconfortante que el manejo de la vida silvestre concurre con la reducción de los GEI. Prevenir la deforestación adicional o sembrar en humedales de turba, ambos hábitats importantes de fauna silvestre, reduce su origen, mientras que sembrar en suelos degradados proporciona un sumidero de carbono. Manejar toda una industria para que se enfoque en los resultados ambientales positivos es un desafío importante y se basa en la colaboración y las buenas intenciones de muchos actores. El enfoque de AVC para el manejo de la tierra (Rosoman *et al*., 2017) es un progreso importante, pues proporciona una guía práctica para realizar esta labor y un camino para que el deseo de la RSPO y la industria de la cero deforestación sea una realidad. Lograr la certificación y el reconocimiento de la sostenibilidad de la palma de aceite requiere el compromiso de los productores y también la aplicación de sanciones a los infractores.

En 2019, la Comisión EAT-Lancet publicó una propuesta para la salud mundial en 2050. La dieta recomendada estaba basada en cereales integrales, variedad de frutas y vegetales, legumbres y nueces, con el mínimo posible de azúcar añadido y una reducción severa en el consumo de carnes rojas y productos lácteos. Sorprendentemente, el informe recomendó una ingesta relativamente alta de grasas añadidas de 50 g por día, con 6,9 g por día (rango de 0 a 6,9 g) de aceite de palma y 40 g por día de aceites vegetales altos en ácidos grasos insaturados, particularmente aceite de soya. El aceite de palma es una fuente mucho más eficiente de ácidos grasos insaturados que otros aceites vegetales. Según lo discutido, a diferencia de fuentes de ácidos grasos *trans* (grasas parcialmente hidrogenadas y grasas de animales rumiantes), no existe evidencia de que el aceite de palma tenga efectos negativos para la salud, excepto por el pequeño efecto del ácido palmítico sobre el marcador indirecto de riesgo para enfermedades coronarias (colesterol LDL). Si este efecto del ácido palmítico es visto como problemático, entonces este nivel puede reducirse mediante el mejoramiento genético o mediante tecnologías de procesamiento como el fraccionamiento.

Parece que la "dieta planetaria" fue formulada sin considerar dónde ocurre la mayoría del crecimiento poblacional del mundo y qué alimentos se pueden cultivar y en qué áreas. La falta de reconocimiento de la importancia del aceite de palma en África, Asia y Mesoamérica para reducir la pobreza, y el potencial impacto devastador sobre el ambiente de reemplazar el aceite de palma con aceite de soya, es apabullante. Cumplir con la meta de aceites vegetales insaturados establecida para 2050 sin aumentar el cultivo de palma de aceite requeriría cuadruplicar el área que se necesita para la producción de aceite de soya, mucho del cual sería modificado genéticamente y producido en Norte y Suramérica. Además, aceleraría la deforestación en la cuenca del Amazonas, aumentaría la dependencia del glifosato que se aplica a las variedades modificadas genéticamente (MG) y resistentes al herbicida, a lo cual

se oponen varios grupos ambientalistas. Más importante aún, detener la producción de aceite de palma en Asia y en África llevaría a la pobreza a millones de pequeños productores en las partes más densamente pobladas de Malasia e Indonesia. También resultaría en la dependencia de aceite de soya y canola importado de Norte y Suramérica.

Si bien el aceite de palma ha mejorado las economías de Malasia e Indonesia, hay un debate en curso sobre quién se ha beneficiado más. Santika *et al.* (2019) informaron que cuando se sembraron plantaciones de palma de aceite en áreas en las que la agricultura comercial ya estaba establecida, la población local se benefició, mientras que en lugares donde las plantaciones se establecieron en bosques convertidos, sin infraestructura física o social adecuada, la población local no obtuvo beneficio.

Todaro y Smith (2009) plantearon que no es razonable que las personas que viven en comunidades pobres y aisladas asuman solos la tarea y los costos de proteger los bosques húmedos tropicales que quedan en el mundo. Mientras que otros se han beneficiado de la tala y la conversión del suelo para cultivos productores, los habitantes de la selva siguen siendo marginalizados y pobres. Es necesario abordar estos problemas a nivel regional, donde una parte de las ganancias de la producción de la palma de aceite puedan aplicarse para apoyar objetivos sostenibles alternativos en áreas de conservación. También hay posibilidades de ofrecer oportunidades de compensación de carbono a muchas industrias intensivas en carbono que tienen relaciones con Malasia e Indonesia. Los consumidores también pueden contribuir a los sistemas de producción ética pagando un precio extra por los productos elaborados bajo esta línea. Este sistema fue proyectado por World Wildlife Fund (WWF) y otros, con la creación de la RSPO y un sistema para producir aceite sostenible certificado. La realidad fue una mínima recompensa económica para los productores con certificación RSPO, lo que resultó en una baja adopción, especialmente en los pequeños productores. No obstante, la RSPO asumió el liderazgo y abordó muchos de los problemas de la producción de la palma de aceite mencionados por los críticos y las ONG. Tal vez sea momento de que los consumidores de toda la cadena de suministro valoren el esfuerzo de los agricultores y procesadores certificados y paguen una suma adicional por un producto certificado.

Aunque durante años, muchas ONG han mermado su oposición frente al aceite de palma e incluso han aprobado el aceite de palma certificado, mucho tiempo de campaña ha dejado la impresión general de que este es malo. En una columna para The Telegraph, el escritor de comida Morrissy Swann (2018) titula "¿Qué es el aceite de palma, dónde se encuentra y cómo puedes evitarlo?", y propone que "la respuesta obvia es buscar el texto aceite de palma en la etiqueta y devolverlo al estante". Adicionalmente, una exploración rápida en Internet de la frase "No al aceite de palma" entrega la mayoría de los resultados sin cualificaciones de aceptabilidad del producto certificado. Al enfocarse en "No al aceite de palma", las ONG no están viendo el cuadro completo. Incluso la afirmación de Greenpeace de las 130.000 ha de bosque y turba despejadas para sembrar palma de aceite en 2015 (Greenpeace, 2018) se vuelve insignificante al compararla con los 12 millones de hectáreas de bosque tropical que se pierden por año, según las estimaciones de Global Rainforest Watch (2014). Esto no es para sugerir que se debe aceptar cualquier deforestación adicional. Los comerciantes y productores de palma de aceite, y los gobiernos, han aceptado el desafío de "cero deforestación, turba o explotación". Al hacer esto una realidad, el aceite de palma se convertirá en un modelo de sostenibilidad.

Si bien la maliciosa campaña continúa desde algunos sectores, parece que el centro del debate ha pasado de un genérico "No al aceite de palma" a la oposición hacia el aceite palma "sucio". Tal y como lo explica Ryan Schleeter (Greenpeace, 2018): "Greenpeace no está pidiendo que se haga boicot o se prohíba el aceite de palma. El aceite de palma es un cultivo muy eficiente… La solución es que las grandes marcas solo compren aceite de palma de productores responsables que protejan los bosques tropicales". Si bien ha sido crítica de los impactos del desarrollo de la palma de aceite sin restricciones y poco regulado, la Unión de Científicos Preocupados (UCS, 2013) propone soluciones que son bastante compatibles con las de la RSPO: "Los agricultores mejoran el rendimiento y siembran en suelos degradados; los gobiernos formulan sus políticas de biocombustibles para prevenir las consecuencias no deseadas y para garantizar que se cumpla con las metas

críticas respecto al clima; las compañías en negocios relacionados con el aceite de palma actúan para garantizar que ninguna de sus materias primas contribuyan a la deforestación tropical o al agotamiento de la turba; los consumidores ejercen influencia". En los últimos años, se ha adoptado el modelo inclusivo establecido por la RSPO de involucrar a representantes de todas las partes interesadas en la toma de decisiones para abordar los problemas más importantes que enfrenta la industria desde los estándares de AVC para el aceite de palma. Según concluye WWF (2018a), los "boicots al aceite de palma no protegerán ni restaurarán la selva tropical, mientras que las compañías que tomen acciones para una industria más sostenible están contribuyendo a una solución duradera y transparente".

El aceite de palma sostenible será una realidad cuando el concepto sea aceptado por los productores, los consumidores y el público. En Malasia, la sostenibilidad es central en la campaña "Love Palm Oil" (Ama al aceite de palma), lanzada en 2019 para promoverlo como fuente de seguridad alimentaria, salud, calidad de vida y medio ambiente entre los malasios. Como dijo Teresa Kok Suh Sim, Ministra de Industrias Primarias, el objetivo de la campaña era generar orgullo nacional y un mayor aprecio por el aceite de palma malasio, enfocándose en la importancia socioeconómica, en la salud, nutrición y aplicaciones alimentarias y no alimentarias (The Star, 2019). El apoyo del público permitirá a la industria de la palma de aceite alinearse con el desarrollo de políticas para la sostenibilidad, como la Política Forestal de Sabah (Gobierno de Sabah, 2018; WWF, 2018b), que pretende restaurar los bosques degradados y cumplir las metas de sostenibilidad y los objetivos de biodiversidad. La política incluye mantener al menos el 50 % de la tierra de Sabah como reserva forestal y con cobertura arbórea y garantizar que a 2025 el 30 % del área de Sabah esté totalmente protegida.

La expansión de la palma de aceite, "el cultivo de oro", especialmente en el Sudeste Asiático, ha traído consigo el éxito económico, pero también consecuencias imprevistas. Es necesario reconocer el impacto directo que tiene sobre la biodiversidad y los GEI, la conversión del suelo a plantaciones de palma de aceite, y cuando este sea negativo, debe mejorarse y no repetirse. La industria se ha movido en esta dirección declarando "no deforestación, no turba" para desarrollos futuros y apoyando la restauración de bosques. En vez de ser el problema, la producción de aceite de palma podría ser la parte central de la solución a la deforestación, la protección de la fauna silvestre, el desarrollo social, la seguridad alimentaria y las emisiones controladas de GEI. La prohibición a la expansión de la palma de aceite hacia el bosque o en turba y la regulación efectiva de la industria ayudará a salvar las selvas tropicales que quedan en la región y a la vida silvestre que vive en ellas. Esto puede lograrse únicamente con un monitoreo, protección y cumplimiento efectivo, que solo es posible con recursos de una fuerte industria que mantiene las economías regionales.

Conclusión

La industria de la palma de aceite puede cambiar la percepción de ser odiada a ser aceptada y eventualmente amada si construye confianza mediante total transparencia, y siguiendo reglas claras con acciones basadas en ciencia para preservar el medio ambiente, si produce un producto de calidad y si genera calidad de vida para sus trabajadores y comunidades asociadas. Estas reglas y acciones deben verificarse mediante una certificación. No obstante, la producción y manejo del cultivo en beneficio del medio ambiente es un bien común que tiene un costo para los productores. El valor ambiental agregado debe recompensarse reconociendo el bien ambiental mediante el pago de un precio extra. Amar al aceite de palma y comportarse de forma responsable permitirá garantizar la producción sostenible, preservando el medio ambiente y permitiendo que este juegue un papel fundamental para garantizar la seguridad alimentaria mundial en el futuro.

Reconocimientos

Los autores quieren agradecer a los miembros de la comunidad de la palma de aceite, a nuestros colegas científicos y quienes se dedican a la conservación en todo el mundo, por las discusiones que llevaron a las ideas expresadas en este artículo.

Referencias

Abood, S. A., Janice, S. H. L., Zuzana, B., John, G. A. & Lian, P. K. (2015). Relative contributions of the logging, fiber, oil palm, and mining industries to forest loss in Indonesia. *Conservation Letters, 8 (1)*, 58-67.

Ancrenaz, M., Wich, S., Meijaard, E. & Simery, J. (2016). *Palm oil paradox: sustainable solutions to save the great apes*. UNEP/GRASP, Nairobi. 57 pp. Recuperado de http://www.un-grasp.org/videos-resources/ publications/

Archer, S. A., Murphy, R. J. & Steinberger-Wilckens, R. (2018). Methodological analysis of palm oil biodiesel life cycle studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 94*, 694-704.

Bronsky, J., Campoy, C., Embleton, N., Fewtrell, M., Mis., N. F., Gerasimidis, K., Hojasak, I., Hulst, J., Indrio, F., Lapilionne, A., Molgaard, C., Moltu, S. J., Verduci, E., Vora, R. & Domelloh, M. (2019*).* Palm oil and beta-palmitate in infant formula: A position paper by the European Society for Pediatric Gastroenterology, Hepatology and Nutrition (ESPGHAN) Committee on Nutrition. *J. Pediatr. Gastroenterol Nutr., 68*(5), 742-760.

Canale, G. R., Peres, C. A., Guidorizzi, C. E., Gatto, C. A. F. & Kierulff, M. C. M. (2012). Pervasive defaunation of forest remnants in a tropical biodiversity hotspot. *PLoS ONE, 7*(8), e41671. doi:10.1371/journal.pone.0041671.

Chowdhury, R., Warnakula, S., Kunutsor, S., Crowe, F., Ward, H. A., Johnson, L., Franco, O. H., Butterworth, A. S., Forouhi, N. G., Thompson, S. G., Khaw, K. T., Mozaffarian, D., Danesh, J. & Di Angelantonio, E. (2014). Association of dietary, circulating, and supplement fatty acids with coronary risk: A systematic review and meta-analysis. *Ann. Intern Med., 160*(6), 398-406.

Colchester, M., Wee, A. P., Wong, M. C. & Jalong, T. (2007*). Land is life: Land rights and oil palm development in Sarawak, report of the Forest Peoples' Program and Sawit Watch*. 136 pp. Recuperado de http://www. forestpeoples.org/en/topics/palm-oil-rspo/publication/2010/land-life-land-rights-and-oilpalm-development-sarawak)

Corley, R. H. V. (2009). How much palm oil do we need? *Environmental Science and Policy, 12*(2), 134-139.

D'Andrea, A. C., Logan, A. L. & Watson, D. J. (2006). Oil palm and prehistoric subsistence in tropical West Africa. *J. African Archaeology, 4*, 1612-1651.

De Souza, R. J., Cozma, A. I., Ukeryk, E., Schunemann, H. & Anand, S. S. (2015). Intake of saturated and *trans* unsaturated fatty acids and risk of all-cause mortality, cardiovascular disease, and type 2 diabetes: Systematic review and meta-analysis of observational studies. *BMJ., 351*, h3978.

Dehghan, M., Mente, A., Zhang, X., Swaminathan, S., Wei, L. & Mohan, V. (2017). Prospective Urban Rural Epidemiology (PURE) study investigators. Associations of fats and carbohydrate intake with cardiovascular disease and mortality in 18 countries from five continents (PURE): A prospective cohort study. *Lancet., 390*(10107), 2050-2062.

Duckworth, J. W., Sankar, K., Williams, A. C., Samba Kumar, N. & Timmins, R. J. (2016). Bos gaurus. *The IUCN Red List of Threatened Species 2016*: e.T2891A46363646. doi: 10.2305/ IUCN.UK.2016-2.RLTS.T2891A46363646

Enström, A., Haatainen, T., Suharto, A., Giebels, G. & Kuan, L. Y. (2018). Introducing a new GHG emission calculation approach for alternative methane reduction measures in the waste water treatment of a palm oil mill. *Environment, Development and Sustainability*: 1-12. doi: 10.1007/ s10668-018-0181-4

FAO Statistical Databases (FAOSTATS). (2017). Food and Agriculture data. United Nations. Recuperado de www.fao.org

Fattore, E., Bosetti, C., Brighenti, F., Agostoni, C. & Fattore, G. (2014). Palm oil and blood lipid-related markers of cardiovascular disease: A systematic review and meta-analysis of dietary intervention trials. *Am. J. Clin. Nutr.*, *99*(6), 1331-1350.

Filippou, A., Teng, K. T., Berry, S. E. & Sanders, T. A. (2014). Palmitic acid in the *sn*-2 position of dietary triacylglycerols does not affect insulin secretion or glucose homeostasis in healthy men and women. *Eur. J. Clin. Nutr., 68*(9), 1036-1041.

Fassler, J. (2016). Giving up palm oil might actually be bad for the environment. *Smithsonian Magazine March 2016*. Recuperado de https://www.smithsonianmag.com/ science-nature/giving-up-palm-oil-might-actuallybe-bad-environment-180958092/, accessed on 28 April 2019.

Flynn, R. W. & Tajuddin Abdullah, M. (1984). Distribution and status of the Sumatran rhinoceros in Peninsular Malaysia. *Biological Conservation, 28*, 253-273.

Gaveau, D. L. A., Locatelli, B., Salim, M. A., Yaen, H., Pacheco, P. & Sheil, D. (2018). Rise and fall of forest loss and industrial plantations in Borneo (20002017). *Conservation Letters, 2018*, e12622. doi: 10.1111/conl.12622

Gaveau, D. L. A., Salim, M. & Arjasakusuma, S. (2016a). Deforestation and industrial plantations development in Borneo. doi: 10.17528/CIFOR/DATA.00049, Center for International Forestry Research (CIFOR), V2.

Gaveau, D. L. A., Sheil, D., Husnayaen, Salim, M. A., Arjasakusuma, S., Ancrenaz, M., Pacheco, P. & Meijaand, E. (2016b). Rapid conversions and avoided deforestation: Examining four decades of industrial plantation expansion in Borneo. *Nature Scientific Reports*: 32017. doi: 10.1038/srep32017.

Gibson, L., Lynam, A. J., Bradshaw, C. J. He, F., Bickford, D. P., Woodruff, D. S., Bumrungsri, S. & Laurance, W. F. (2013). Near-complete extinction of native small mammal fauna 25 years after forest fragmentation. *Science, 341*, 1508-1510.

Gilbert, N. (2012). Palm-oil boom raises conservation concerns. *Nature, 487* (7405), 14-15.

Ghazali, A., Asmah, S., Syafiq, M., Yahya, M., Aziz, N., tan, L., Norhisham, A. R. & Puan, L. (2016). Effects of monoculture and polyculture farming in oil palm smallholdings on terrestrial arthropod diversity. *J. Asia Pac. Entomol., 19*(2), 415-421.

Gingold, B. (2010). FAQ: Indonesia, degraded land and sustainable palm oil. World Resources Institute. Recuperado de http://www.wri.org/blog/2010/11/faqindonesia-degraded-landand-sustainable-palm-oil

Global Rainforest Watch. (2019). Recuperado de https://www. globalforestwatch.org/

Greenpeace (2018). The final countdown: Now or never to reform the palm oil industry. Recuperado de https://www. greenpeace.org/international/publication/18455/the-final-countdown-forests-indonesia-palm-oil/

Hamley, S. (2017). The effect of replacing saturated fat with mostly n-6 polyunsaturated fat on coronary heart disease: A meta-analysis of randomised controlled trials. *Nutr. J.,16*, 30. doi: 10.1186/s12937017-0254-5.

Havmøller, R. G., Payne, J., Widodo, R., Susie Ellis, Yoganand, K. Long, B., Dinerstein, E., Williams, A. C. Putra R. H., Gawi, J., Talukdar, B. K. & Burgess, N. (2016). Will current conservation responses save the critically endangered Sumatran rhinoceros *Dicerorhinus sumatrensis*? *Oryx, 50*(02), 355-359. doi:10.1017/s0030605315000472.

OIT. (2015). Promoting decent work on oil palm plantation in Indonesia. Recuperado de https://www.ilo.org/ jakarta/whatwedo/projects/WCMS_624552/lang-en/index.htm

OIT. (2017). Palm oil multi-stakeholder national dialogue. Recuperado de https://www.ilo.org/jakarta/ whatwedo/eventsandmeetings/WCMS_581467/ lang--en/index.htm

INPE (National Institute for Space Research, Brazil). (2019). Recuperado de https//terrabrasilis.dpi.impe.br/en/ homepage/

Kadandale, S., Marten, R. & Smith, R. (2019). The palm oil industry and non-communicable diseases. *Bulletin of the World Health Organization 2019*, 118-128.

Kanniah, K. D. Muhamad, N. & Kang, C. S. (2014). Remote sensing assessment of carbon storage by urban forest. International Symposium on Digital Earth, 26-29 August 2013, Kuching, Sarawak, Malaysia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 18*: 012151.

Kenney, J., Allendorf, F. W., McDougal, C. & Smith, J. L. D. (2014). How much gene flow is needed to avoid inbreeding depression in wild tiger populations? *Proc. R. Soc. B*., *281*, 20133337. doi: 10.1098/rspb.2013.3337

Kretzschmar, P., Kramer-Schadt, S., Ambu, L., Bender, J., Bohm, T., Ernsing, M., Goritz, F., Hermes, R., Payne, J., Schaffer, N., Thayaparan, S. T., Zainal, Z. Z., Hilderbrandt, T. B. & Hofer, H. (2016). The catastrophic decline of the Sumatran rhino (*Dicerorhinus sumatrensis harrissoni*) in Sabah: Historic exploitation, reduced female reproductive performance and population viability. *Global Ecology and Conservation, 6*, 257-275. doi:10.1016/j.gecco.2016.02.006.

Jonas, H., Abram, N. K. & Ancrenaz, M. (2017). *Addressing the impact of large-scale oil palm plantations on orangutan conservation in Borneo: A spatial, legal and political economy analysis.* 94 pp. London: IIED. Recuperado de http://pubs.iied.org/ pdfs/12605IIED.pdf

Koh, L. P. (2008). Can oil palm plantations be made more hospitable for forest butterflies and birds? *J. Appl. Ecol.*, 45, 1002-1009.

Kho, L. K. & Jepsen, M. R. (2015). Carbon stock of oil palm plantations and tropical forests in Malaysia: A review. *Singapore J. Tropical Geography*, 249-268.

Kushairi, A., Meilina Ong-Abdullah, Balu Nambiappan, Elina Hishamuddin, Mohd Noor Izuddin Zanal Bidin, Razmah Ghazali, Vijaya Subramaniam, Shamala Sundram & Ghulam Kadir Ahmad Parveez. (Kanniah). (2019) Oil palm economic performance in Malaysia and R&D progress in 2018. *J. Oil Palm Res., 31*(2), 165-194.

Laurance, W. F., Camargo, J. L. C., Luizao, R. C. C., Laurance, S. G., Pimm, S. L., Bruna, E. M., Stouffer, G. B., Williams, J., Benitez-Malvido, H. L., Vasconcelos, K. S., Van Houtan, C. E., Zartman, S. A., Boyle, R. D., Andrade, A. & Lovejoy, T. E. (2011). The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. *Biological Conservation, 144*, 56-67. doi: 10.1016/j.biocon.2010.09.021

Laurance, W. F. (2017). An Amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of global change. *Biological Reviews, 93*(1), 223-247. doi:10.1111/ brv.12343

Marklund, M., Wu, J. H. Y., Imamura, F., Del Gobbo, L. C. Fretts, A., De Goede, J., Shi, P., Tintle, N., Wennberg, M., Aslibekyan, S., Chen, T. A., De Oliveira Otto, M. C., Hirakawa, Y., Eriksen, H. H., Kröger, J., Laguzzi, F., Lankinen, M., Murphy, R. A., Prem, K., Samieri, C., Virtanen, J., Wood, A, C., Wong, K., Yang, W. S., Zhou, U. X., Baylin, A., Boer, J. M. A., Brouwer, I. A., Campos, H., Chaves, P. H. M., Chien, K .L. De Faire, U., Djoussé, L., Eiriksdottir, G., El-Abbadi, N., Forouhi, N. G., Michael-Gaziano, J., Geleijnse, J. M. Gigante, B., Giles, G., Guallar, E., Gudnason, V., Harris, T., Harris, W. S., Helmer, C., Hellenius, M. L., Hodge, A., Hu, F. B., Jacques, P. F., Jansson, J. H., Kalsbeek, A., Khaw, K. T., Koh, W. P., Laakso, M., Leander, K., Lin, H. J., Lind, L., Luben, R., Luo, J., Mcknight, B., Mursu, J., Ninomiya, T., Overvad, K., Psaty, B. M., Rimm, E., Schulze, M. B., Siscovick, D., Skjelbo-Nielsen, M., Smith, A. V., Steffen, B. T., Steffen, L., Sun, Q., Sundström, J., Tsai, M. Y., Tunstall-Pedoe, H., Uusitupa, M .I. J., Van Dam, R. M., Veenstra, J., Monique-Verschuren, W-M, Wareham, N., Willett, W,. Woodward, M., Yuan, J. M., Micha, R., Lemaitre, R. N., Mozaffarian, D., Risérus, U., Cohorts for Heart and Aging Research in Genomic Epidemiology (CHARGE) Fatty Acids and Outcomes Research Consortium (FORCE). (2019). Biomarkers of dietary omega-6 fatty acids and incident cardiovascular disease and mortality. *Circulation, 139*(21), 2422-2436.

Meijaard, E. (2018). *Oil palm and biodiversity. A situation analysis by the IUCN oil palm task force*. IUCN Oil Palm Task Force Gland, Switzerland: IUCN. p. xiii, 16 pp.

Mensink, R. P., Sanders, T. A., Baer, D., Hayes, K. C., Howles, P. N. & Maranggoni, A. (2016). The increasing use of interesterified lipids in the food supply and their effects on health parameters. *Adv Nutr., 7*(4), 719-729.

Mickute, V. (2018). Palm oil threatens indigenous life in Malaysia. Recuperado de https://www.aljazeera.com/ news/2018/08/palm-oil-threatens-indigenous-lifemalaysia-180817060716266.html

Morgans, C. L., Meijaard, E., Santika, T., Law, E., Budiharta, S., Ancrenaz, M. & Wilson, K. A. (2018). Evaluating the effectiveness of palm oil certification in delivering multiple sustainability objectives. *Environ. Res. Lett., 13*, 064032.

MPOB. (2018). Oil palm planted area 2018. Recuperado de http://bepi.mpob.gov.my/index.php/en/statistics/ area/189-area-2018/857-oil-palm-planted-area-asat-dec-2018.html

Miles, E. A. & Calder, P. C. (2017). The influence of the position of palmitate in infant. *Nutr. Res., 44*, 1-8.

Morrissy-Swan, T. (15 de noviembre de 2018). What is palm oil, where is it found, and how can you avoid it? *The Telegraph*. Recuperado de https://www. telegraph.co.uk/food-and-drink/news/palm-oilfound-can-avoid.

Murphy, D. J. (2014). The future of oil palm as a global crop: Opportunities and challenges. *J. Oil Palm Res.,* 26, 1-4.

Nesadurai, H. E. S. (2013). Food security, the palm oil land conflict nexus, and sustainability: A governance role for a private multi-stakeholder regime like the RSPO? *The Pacific Review, 26*, 505-529.

Paoli, G. D., Yaap, B., Wells, P. L. & Sileuw, A. (2010). CSR, oil palm and the RSPO: Translating boardroom philosophy into conservation action on the ground. *Tropical Conservation Science, 3*(4), 438-446.

O'Connell, A., Kousoulidou, M., Lonza, L. & Weindorf, W. (2019). Considerations on GHG emissions and energy balances of promising aviation biofuel pathways. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 101, 504-515.

Petrenko, C. Paltseva, J. & Searle, S. (2016). *Ecological impacts of palm oil expansion in Indonesia*. ICCT: Washington D. C., USA. 28 pp.

Pye, O., Daud, R., & Harmono, Y. (2012). Precarious lives: Transnational boundaries of migrant oil palm workers. *Asia Pacific Viewpoint, 53*, 330-342.

Rietberg, P. & Slingerland, M. (2016). *Barriers to smallholder RSPO certification*. A science-for-policy paper by the SEnSOR programme. 38 pp.

Riutta, T., Malhi, Y., Kho, L. K., Marthews, T. R., Huasco, W. H., Khoo, M., Tan, S., Turner, E., Reynolds, G., Both, S., Burslem, D. F. R. P., Teh, Y. A., Vairappan, C., Majalap, N. & Ewers, R. (2018). Logging disturbance shifts net primary productivity and its allocation in Bornean tropical forests. *Glob. Change Biol.,* 24, 29132928. doi: 10.1111/gcb.14068.

Rosoman, G., Shuen, S. S., Opal, C., Anderson, P. & Trapshah, R. (Eds). (2017). *The HCS approach toolkit*. Singapore: HCS Approach Steering Group. 28 pp. Recuperado de http://highcarbonstock.org/wp-content/ uploads/2017/05/HCSA-Toolkit-v2.0-Module-1Introduction-190917-web.pdf

RSPO. (2015). *Free, prior and informed consent guide for RSPO members*. 123 pp. Recuperado de https://rspo.org/ news-and-events/announcements/free-prior-andinformed-consent-guide-for-rspo-members-2015endorsed

RSPO. (2017). *Formation of the RSPO Labour Rights Task Force (LTF)*. https://rspo.org/news-andevents/announcements/formation-of-the-rspolabour-rights-task-force-ltf, accessed on 30 April 2019.

RSPO. (2018). *Principles and criteria for the production of sustainable palm oil*. 91 pp. Recuperado de https://ga.rspo.org/ ga15/Resolutions/RSPO_P&C_2018.pdf

RSPO. (2019). *Transforming Markets to Make Sustainable Palm Oil the Norm*. 10 pp. Recuperado de https://rspo.org/about

Sabah Government. (2018). *Sabah Forest Policy*. 60 pp. Recuperado de http://www.forest.sabah.gov.my/images/ pdf/publications/DH-Sabah.2018.pdf

Santika, T., Kerrie, A. W., Budiharta, S., Law, E. A., Poh, T. M. Ancrenaz, M., Struebig, M. & Meijaard, E. (2019). Does oil palm agriculture help alleviate poverty? A multidimensional counterfactual assessment of oil palm development in Indonesia. *World Development,* 20, 105-117.

Sasidhran, S. (2016). Habitat occupancy patterns and activity rate of native mammals in tropical fragmented peat swamp reserves in Peninsular Malaysia. *For. Ecol. Manage.,* 363, 140-148.

Stibig, H. J. (2014). Change in tropical forest cover of Southeast Asia from 1990 to 2010. *Biogeosciences,* 11, 247-258.

Stichnothe, H. & Schuchardt, F. (2011). Life cycle assessment of two palm oil production systems. *Biomass and Bioenergy,* 35, 3976-3984.

Sun, G., Xia, H., Ma, S., Zhou, H., Shu, G., Wang, S., Yang, X., Wang, F., He, Y., Ding, R., Yin, H., Wang, Y., Yang, Y. & Yang, L. (2018). Effects of palm olein and olive oil on serum lipids in a Chinese population: A randomized, double-blind, cross-over trial. *Asia Pac. J. Clin. Nutr., 27*(3), 572-580.

Todaro, M. P. & Smith, S. C. (2009). The environment and development. *Economic Development*. Essex: Pearson Education Limited. p. 483-529.

Topani, R. (1990). Status and distribution of tiger in Peninsular Malaysia. *J. Wildlife Parks (Malaysia), 9*, 71-102.

Tullis, P. (10 February 2019). How the world got hooked on palm oil? *The Guardian*. Recuperado de https:// www.theguardian.com/news/2019/feb/19/palmoil-ingredient-biscuits-shampoo-environmental.

The Star. (2019). Palm oil awareness starts with Malaysians. *The Star, 9.*

Union of Concerned Scientists (UCS). (2013). *Palm oil and global warming.* Cambridge, MA. 5 pp. Recuperado de https://www.ucsusa.org/sites/default/files/ legacy/assets/documents/ global_warming/palmoil-and-global-warmingpdf

Voigt, M., Serge, A. W., Ancrenaz, M., Meijaad, E., Abram, N., Banes, G. L., Campbell-Smith, G., D'arcy, L. J., Delgado, R. A., Erman, A., Gaveau, D., Goossen, B., Heinicke, S., Houghton, M., Husson, S., Leiman, A., Sanchez, K. L., Makinuddin, N. & Kuhl, H. S. (2018). Global demand for natural resources eliminated more than 100.000 Bornean orangutans. *Current Biology,* 28, 761-769.

Wich, S. A., Gaveau, D., Abram, N., Ancrenaz, M., Baccini, A., Brend, S., Curran, L., Delgado, R. A., Erman, A., Fredriksson, G. M., Goossens, B., Husson, S. & Lackman, L. (2012). Understanding the impacts of land-use policies on a threatened species: Is there a future for the Bornean orangutan? *PLoS ONE, 7*(11), e49142.

Wich, S. A., Meijaard, E., Marshall, A. J. & Husson, S. (2008). Distribution and conservation status of the orangutan (*Pongo* spp.) on Borneo and Sumatra: How many remain? *Oryx, 42*(3), 1-11.

World Bank. (2018). *Land area* (sq km). Recuperado de https://data. worldbank.org/indicator/ ag.lnd.totl.k2

WWF. (2018a). *Position statement: Why palm oil boycotts are not as helpful as they might seem*. 2 pp. Recuperado de http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/ downloads/wwf_position_ on_po_boycott_ november_2018.pdf

WWF. (2018b). *Sabah Forest Policy 2018. A step forward in Sabah's environmental conservation*. 2 pp. Recuperado de https://wwf.panda.org/knowledge_hub/where_we_ work/borneo_forests/?341254/Sabah-Forest-Policy2018-A-Step-Forward-in-Sabahs-environmentalConservation

Yan, N. W. (2017). A makeover for the world's most hated crop. *Nature,* 543, 306-308.

Expansión neutral de carbono de plantaciones de palma de aceite en el neotrópico*

Carbon Neutral Expansion of Oil Palm Plantations in the Neotropics

Citación: Quezada, J. C., Etter, A., Jaboury, G. Buttler, A. & Guillaume, T. (2019). Expansión neutral de carbono de plantaciones de palma de aceite en el neotrópico (Traductor Arenas, C.). *Palmas, 41*(1) 88-109.

* Traducido del original *Carbon Neutral Expansion of Oil Palm Plantations in the Neotropics*, publicado en la revista Science Advances, volumen 31, número 3 de 2009 p. 331-347, disponible en https://advances.sciencemag.org/content/5/11/eaaw4418

Este artículo es distribuido bajo una Licencia Creative Commons de Atribución no comercial 4.0 (C BY-NC).

Juan Carlos Quezada
Laboratorio de Sistemas Ecológicos (ECOS).
Instituto Federal Suizo para la Investigación de Bosques, Nieves y el Paisaje (WSL).
quezadarivera@gmail.com

Andrés Etter
Departamento de Ecología y Territorio, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Jaboury Ghazoul
Presidente de Manejo del Ecosistema, Instituto de Ecosistemas Terrestres, departamento de Ciencias de Sistemas Ambientales.
Centro de Bosques y Paisajes Sostenibles, Universidad de Edimburgo.

Alexandre Buttler
Laboratorio de Sistemas Ecológicos (ECOS)
Instituto Federal Suizo para la Investigación de Bosques, Nieves y el Paisaje WSL
Laboratoire de Chrono-Environnement

Thomas Guillaume
Laboratorio de Sistemas Ecológicos (ECOS).
Instituto Federal Suizo para la Investigación de Bosques, Nieves y el Paisaje (WSL).

Resumen

Se requieren alternativas a las trayectorias de cambio de uso del suelo con deforestación, las cuales son ecológicamente devastadoras, para reducir la huella de carbono de las plantaciones de palma de aceite (PA) en el trópico. Si bien se han propuesto varias opciones de cambio, hasta el momento no existen datos empíricos sobre sus efectos a largo plazo en las reservas de carbono del ecosistema. Nuestros resultados muestran que la conversión de pastos a cultivos de PA en regiones de sabana no modifica el almacenamiento de carbono después de 56 años en Colombia. En comparación con la conversión de selvas tropicales, este cambio del uso del suelo alternativo reduce las pérdidas netas de carbono del ecosistema en 99,7 ± 9,6 %. El carbono orgánico del suelo (COS) se redujo hasta 36 años después de la conversión debido a la

rápida descomposición del carbono derivado de pastos, contrarrestando las ganancias de este en la biomasa de PA. La recuperación del contenido de carbono en la capa superior del suelo sugiere que las reservas de COS podrían recobrarse parcialmente durante un tercer ciclo de plantación. Por lo tanto, se puede lograr una mayor sostenibilidad de la PA si su expansión se encamina hacia pastizales.

Abstract

Alternatives to ecologically devastating deforestation land use change trajectories are needed to reduce the carbon footprint of oil palm (OP) plantations in the tropics. Although various land use change options have been proposed, so far, there are no empirical data on their long-term ecosystem carbon pools effects. Our results demonstrate that pasture-to-OP conversion in savanna regions does not change ecosystem carbon storage, after 56 years in Colombia. Compared to rainforest conversion, this alternative land use change reduces net ecosystem carbon losses by 99.7 ± 9.6%. Soil organic carbon (SOC) decreased until 36 years after conversion, due to a fast decomposition of pasture-derived carbon, counterbalancing the carbon gains in OP biomass. The recovery of topsoil carbon content, suggests that SOC stocks might partly recover during a third plantation cycle. Hence, greater OP sustainability can be achieved if its expansion is oriented toward pasture land.

Introducción

Las selvas tropicales han sido una gran fuente de tierra para plantaciones de palma de aceite (PA) establecidas de manera reciente, particularmente en los principales países productores como Indonesia y Malasia (*1, 2*). La conversión de selvas tropicales a plantaciones de PA afecta negativamente a una serie de funciones del ecosistema incluyendo el almacenamiento de carbono (C), la fertilidad del suelo y la biodiversidad (*3, 4*). En el Sudeste Asiático, un punto caliente mundial para las emisiones de gases de efecto invernadero por la deforestación y el cambio de uso del suelo, la deforestación para el cultivo de PA fue la segunda fuente de emisiones de CO_2 [~0,3 gigatoneladas (GT) de CO_2 año^{-1}] (*5*). El reemplazo de las áreas boscosas con plantaciones de PA reduce el almacenamiento de C del ecosistema en hasta 173 Mg C ha^{-1}, debido principalmente a la abrupta pérdida de biomasa (*6, 7*). Estas pérdidas de C en el ecosistema se exacerban cuando se establecen plantaciones de PA en turba tropical, como ha ocurrido en el Sudeste Asiático (*8, 9*).

En respuesta al impacto ambiental negativo asociado con la deforestación, se han propuesto varias trayectorias de cambio en el uso del suelo que no incluyen esta actividad, para lograr una expansión de PA más sostenible, entre las que se encuentran el uso de tierras marginales y la conversión de sabanas y pastizales (*10, 11*). De estos, el último es de mucho interés debido a la gran cantidad de tierra con sistemas pastoriles y sus bajas reservas de biodiversidad y C de biomasa (*3, 12, 13).* Esta conversión en el uso del suelo incluso tiene potenciales beneficios de mitigación del cambio climático, aumentando el secuestro de C dado que la PA tiene más biomasa de C por encima del suelo que los pastizales (*11*). No obstante, aún hay varias incertidumbres (*2, 14*), particularmente respecto a los cambios totales de carbono (CTC) en el ecosistema, las reservas de carbono orgánico del suelo (COS) y otras propiedades del mismo. Estudios de metaanálisis sobre la conversión de pastizales en plantaciones perennes (usualmente llamada aforestación) mostraron cambios contrastantes en las reservas de COS (*15, 16*). Tan solo dos investigaciones recientes han cuantificado los efectos de la conversión de prados y pastizales en plantaciones de PA sobre el almacenamiento de COS, pero sus resultados se contradicen (*17, 18*). Los estudios sobre la trayectoria del cambio del uso del suelo con deforestación para el desarrollo de PA en tierras boscosas son mucho más numerosos. La mayoría reportan que la

conversión de bosque a PA lleva a la degradación del suelo y a pérdidas de C debido a un menor consumo de materia orgánica (MO) y a la erosión (*4, 17, 19, 20*), aunque algunos han notado efectos positivos o poco claros sobre el COS (*17, 21, 22*). Además, y a pesar de la visión generalmente aceptada sobre las pérdidas de COS en plantaciones de PA y el papel fundamental de la materia orgánica del suelo (MOS) sobre la productividad del mismo, parece que su fertilidad química y la disponibilidad de nutrientes no se ven afectadas negativamente por el cultivo de PA, probablemente debido al uso de fertilizantes minerales en las plantaciones (*4, 23*).

Los cambios informados en el COS, después de una conversión en el uso del suelo a PA ocurrieron principalmente en las capas superficiales (0 a 30 cm) y no se detectaron efectos en el subsuelo. No obstante, hasta ahora la literatura se ha enfocado en el primer ciclo de rotación de PA (25 a 30 años) o incluso en periodos más cortos, lo cual puede no ser suficiente tiempo para comprender los efectos de los procesos subterráneos en curso. La evidencia de otros tipos de cambio del uso del suelo ha demostrado que el tiempo después del cambio en la vegetación (*16, 24, 25*) y la profundidad de la muestra (*26*) juegan un papel importante en la magnitud y dirección de lo que sucede en las reservas de COS. El tiempo después del cambio en el uso del suelo requerido para que los suelos alcancen, ya sea, un nuevo estado de equilibrio de C o una recuperación posterior después de las pérdidas iniciales de C, ocurre únicamente después de varias décadas (*25, 26*). En una revisión integral sobre las funciones del ecosistema en PA se enfatizó en la necesidad de considerar estudios a más largo plazo para evaluar los efectos de este cultivo en dichas funciones (*4*). La falta de respuestas observadas en las capas subterráneas puede explicarse por los cortos periodos considerados después de la conversión del uso del suelo. Los aportes de MO fresca de raíces profundas de palmas y de los nutrientes de lixiviación pueden ocurrir y estimular la mineralización microbiana de las grandes reservas de COS almacenadas en los subsuelos (*27, 28*). La ausencia de cambios en las reservas de COS en el subsuelo no necesariamente indica que el COS viejo estabilizado durante los usos previos del suelo no se vio afectado por la conversión, pues puede ser reemplazado por nuevo COS derivado de los insumos de la PA. Esto puede investigarse cuando se establece PA, que tiene un metabolismo fotosintético C3, en pastizales o sabanas tropicales, dominados por pastos con un metabolismo fotosintético C4 (*29*). Las diferentes intensidades de fraccionamiento de los dos metabolismos fotosintéticos resultan en diferencias en el isótopo trazador (δ^{13} C) de la biomasa, permitiendo determinar el origen del COS (*30*). Esto proporciona una poderosa herramienta para determinar la descomposición y estabilización de COS después de un cambio en el uso del suelo.

En Colombia, la expansión de las plantaciones de PA ha ocurrido principalmente en pastos sembrados en sabanas despejadas y, en cierta medida, también en sabanas tropicales nativas. Estos cambios en el uso de la tierra contrastan con las trayectorias de deforestación de los principales países productores de PA en el Sudeste Asiático (*14, 31*). La cobertura de la PA en Colombia, actualmente el cuarto productor en el mundo, ha aumentado rápidamente, triplicándose en las últimas dos décadas y pasando de 160.000 a 480.000 hectáreas (*32*). De esta expansión, cerca del 60 % involucró el uso de pastizales de baja productividad (*31*). Casi la mitad del área dedicada al cultivo de PA en Colombia ocurre en la región de los llanos, en el oriente colombiano, donde la ganadería es el principal uso de la tierra (*33, 34*) y los escenarios futuros predicen una rápida tasa de crecimiento de la industria de la PA en esta región (*31*).

Este estudio pretende evaluar la transición de pasto a PA como una alternativa a la deforestación para mitigar las pérdidas netas de CTC frente a la expansión futura de PA. Específicamente, nuestra hipótesis es que las ganancias de C en la biomasa de PA pueden contrarrestarse con las pérdidas de C en el suelo. Las reservas de COS se afectarían hasta los 50 cm de profundidad, pero se alcanzaría un nuevo equilibrio en todas las capas después de dos ciclos de rotación. Debido a la fertilización química a largo plazo en las plantaciones de PA, esperamos observar intercambios entre los servicios del ecosistema del suelo, tales como el almacenamiento de C y la provisión de nutrientes. Para probar estas hipótesis cuantificamos las dinámicas de las reservas de C en biomasa de PA, las reservas de COS derivadas de PA y pastizales hasta los 50 cm de profundidad, y la disponibilidad de nutrientes durante una cronosecuencia, a largo plazo, de 56 años de plantaciones de PA establecidas en antiguos pastizales en Colombia, sacando ventaja del cambio de vegetación C4 a C3.

Resultados

Dinámicas de reservas de carbono en el suelo

El cultivo de PA en antiguos pastizales afectó severamente las reservas de COS a una profundidad de 50 cm (Figura 1). De los 102 ± 8 Mg C ha^{-1} almacenados en el pasto, COS 39 ± 8% se perdieron después de 56 años del cultivo de PA. No obstante, las dinámicas de pérdida de C no siguieron una tendencia lineal ni exponencial; por el contrario, siguieron dos tendencias en una, las cuales se ajustan a un modelo de regresión segmentada (Figura 1 y Tabla S1, véase material complementario). Las reservas de COS hasta los 50 cm se redujeron constantemente hasta el comienzo del segundo ciclo de PA (punto de quiebre, 36,1 ± 9,0 años) a una tasa de 1,26 ± 0,26 Mg C ha^{-1} $año^{-1}$, después de lo cual se estabilizaron durante el segundo ciclo de rotación de PA.

Las dinámicas de las reservas totales de COS hasta los 50 cm resultaron de la combinación de tasas y patrones variables en la acumulación de C derivado de PA y la descomposición de C producto de pastizales a diferentes profundidades (Figura 2). En la capa superficial del suelo (0 a 10 cm), las reservas de COS sin cultivos se redujeron drásticamente a una tasa de 0,42 ± 0,08 Mg C ha^{-1} $año^{-1}$ hasta 39,1 ± 4,5 años, y luego se estabilizaron durante el resto del tiempo del cultivo. La reducción inicial en estas reservas fueron impulsadas por una pérdida marcada en el C derivado de pastizales (77 % después de 39 años) que no fue totalmente compensada por la acumulación de C producto de PA durante el mismo periodo (Figura 2A). La descomposición del COS derivado de pastizales ocurrió después de un declive de primer orden con una vida media de 18,7 años (k = 0,037 ± 0,0038; Tabla 1). La acumulación de COS derivado de PA en la capa superficial del suelo se ajustó de mejor manera a un aumento exponencial en el modelo de equilibrio, indicando una saturación en la acumulación de C derivado de PA. El aporte bruto estimado de C derivado de PA fue de 0,62 ± 0,10 Mg C ha^{-1} $año^{-1}$, y su tasa de decaimiento anual fue de 0,038 ± 0,010 $año^{-1}$. Las constantes de la tasa de decaimiento de MOS entre el C derivado de PA y el derivado de pastos fue similar, sugiriendo que no hay una fuente de C preferencial para los descomponedores.

Al punto de quiebre (39 años), la diferencia neta entre las tasas cinéticas de cambio (según la diferencia entre la primera derivada de las Ecuaciones 4 y 5) fue muy baja (-0,13 Mg C ha^{-1} $año^{-1}$). Las reservas de COS en los primeros 10 cm alcanzarían el equilibrio a 16,33 Mg ha^{-1} (calculado como la división entre los parámetros A y k de la Ecuación 4), según el modelo basado en los isótopos C; es decir, un nivel similar al estimado mediante la regresión segmentada basada en el COS sin cultivo (15,46 Mg C ha^{-1}; Tabla 1). Estas últimas dos estimaciones validaron los dos enfoques (COS sin cultivo e isotópico) utilizados para estimar la dinámica de C en este artículo de forma cruzada.

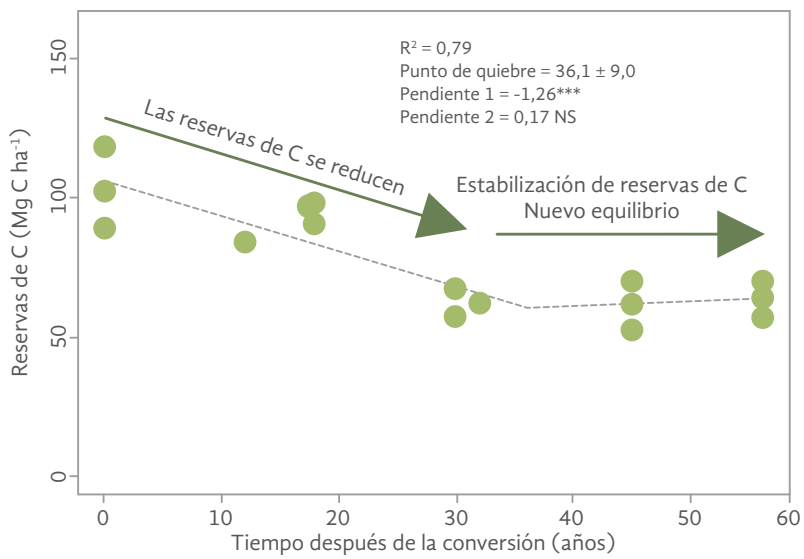


Figura 1. Reservas de carbono en el suelo después de la conversión de pastos a plantaciones de PA, a 0-50 cm de profundidad. La línea punteada representa la ecuación de regresión segmentada ajustada. Se indica la significancia de los coeficientes de la pendiente en cada punto de quiebre (***P <0,001)

Las dinámicas de reservas de COS sin cultivos en las dos capas de suelo más profundas (10 a 20 cm y 20 a 30 cm) mostraron patrones similares, es decir, una reducción constante seguida de una estabilización de existencias a lo largo de la segunda rotación (Figuras 2B y 2C; Tabla 1). Sin embargo, las tasas de pérdida de C para estas dos capas de suelo fueron 14 % y 46 % menos pronunciadas que las de la capa superficial del suelo, pero se estabilizaron en un tiempo similar: 37,8 ± 4,4 y 38,9 ± 10,3 años para las profundidades de suelo de 10 a 20 cm y de 20 a 30 cm, respectivamente. La descomposición del COS derivado de pastos también siguió un decaimiento exponencial en las capas de 10 a 20 cm y de 20 a 30 cm. Sin embargo, las tasas de declive fueron inferiores, resultando en una vida media más grande para estos grupos en comparación con la capa superficial (18,7, 34,7 y 40,8 años para las profundidades de suelo de 0 a 10 cm, de 10 a 20 cm y de 20 a 30 cm, respectivamente). En contraste con la capa superficial del suelo, la acumulación de C derivado de la PA no mostró ninguna saturación, con tasas constantes de acumulación de 0,10 ± 0,01 y 0,07 ± 0,01 Mg C ha^{-1} $año^{-1}$ para las capas de 10 a 20 cm y de 20 a 30 cm, respectivamente, a lo largo de dos ciclos de rotación (Figuras 2B a 2D; Tabla 1).

Tal y como se mencionó arriba, las reservas de COS sin cultivos alcanzaron un equilibrio en la capa de 0 a 30 cm. En contraste, estas reservas, en la capa más profunda del suelo (30 a 50 cm) seguían decreciendo a una tasa de 0,25 Mg C ha^{-1} $año^{-1}$ ± 0,04 (R^2 = 0,71; Tabla 1) después de 56 años. Estos hallazgos son importantes pues, hasta ahora, ningún estudio ha reportado los

Figura 2. Dinámicas del C derivado del C4 de pasto y C3 de PA después de la conversión de pastizales a plantaciones de PA. (A) Capa del suelo de 0 a 10 cm, (B) capa del suelo de 10 a 20 cm, (C) capa del suelo de 20 a 30 cm y (D) capa del suelo de 30 a 50 cm. Los gráficos insertados muestran las reservas de COS sin cultivos para cada capa. Véase la Tabla 1 para las funciones utilizadas y sus parámetros cinéticos.

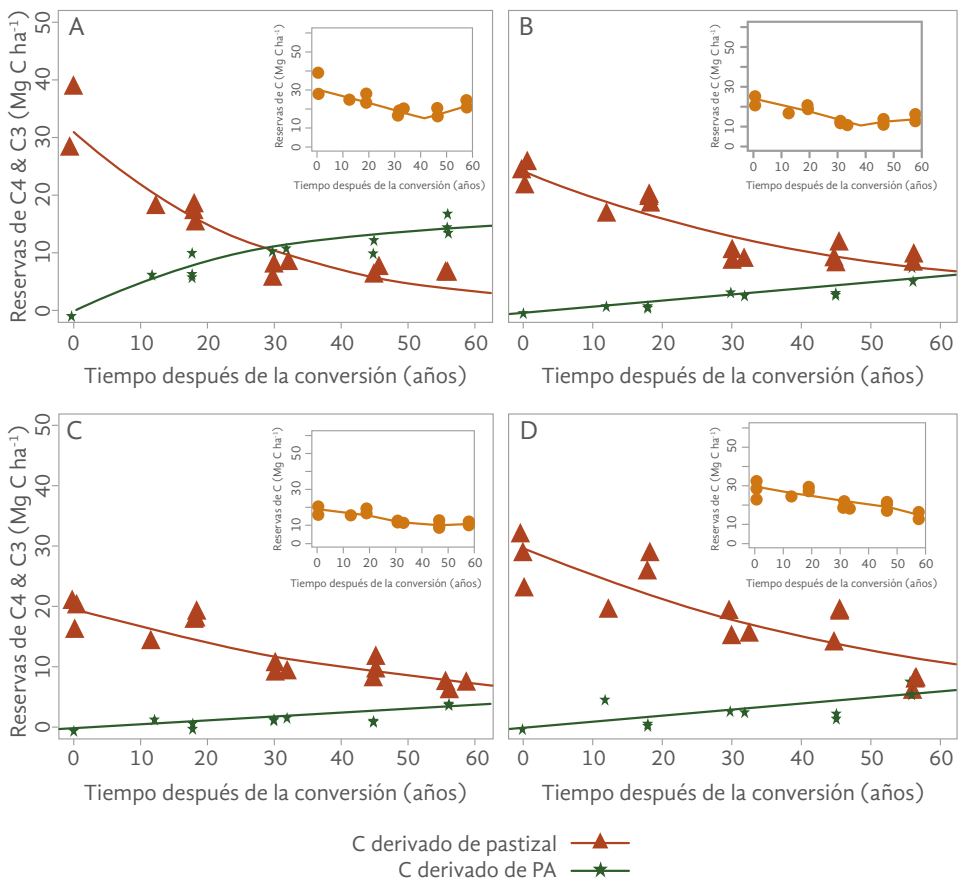


Tabla 1. Lista de funciones y parámetros cinéticos. Los parámetros describen cambios en las reservas de COS sin cultivos y reservas de C derivadas de C3 y C4, en las cuatro capas del suelo muestreadas. R^2: coeficiente de determinación; pendientes 1 y 2: significancia de las dos pendientes para el análisis de regresión segmentada; *k*: tasa constante; *A*: aporte anual de C3-C; C_0: reservas de COS antes del cambio de pastizal a PA. **P <0,01; *** P < 0,001 NS = No significativo

Capa del suelo	Tipo de modelo	Función	R^2	Pendiente 1	Pendiente 2	AIC	*k* (*año*$^{-1}$)	Vida media	*A*	C_0
Suelo no cultivado, 0 a 10 cm	Segmentado	$F(t) = 31,87 - 0,42*t$	0,75	***	NS	88,26	-	-	-	-
C derivado de PA, 0 a 10 cm	Aumento exponencial a equilibrio	$F(t) = -0,62*\exp(-0,038*t) + 0,62/0,038$	0,91	-	-	66,0	**	18,1	***	-
C derivado de pastizales, 0 a 10 cm	Decaimiento único exponencial	$F(t) = 31,4*\exp(t* - 0,037)$	0,91,	-	-	86,2	***	18,7	-	***
Suelo no cultivado, 10 a 20 cm	Segmentado	$F(t) = 24,49 - 0,36*t$	0,83	***	NS	75,52	-	-	-	-
C derivado de PA, 10 a 20 cm	Lineal	$F(t) = -0,27 + 0,10*t$	0,85	-	-	46,4	-	-	-	-
C derivado de pastizales, 10 a 20 cm	Decaimiento único exponencial	$F(t) = 24,1*\exp(t* - 0,02)$	0,84	-	-	80,7	***	34,7	-	***
Suelo no cultivado, 20 a 30 cm	Segmentado	$F(t) = 19,91 - 0,23*t$	0,75	***	NS	75,08	-	-	-	-
C derivado de PA, 20 a 30 cm	Lineal	$F(t) = 0,20 - 0,07*t$	0,7	-	-	45,56	-	-	-	-
C derivado de pastizales, 20 a 30 cm	Decaimiento único exponencial	$F(t) = 19,8*\exp(t*-0,02)$	0,79	-	-	77,7	***	40,8	-	***
Suelo no cultivado, 30 a 50 cm	Lineal	$F(t) = 29,42 - 0,25+t$	0,71	-	-	87,73	-	-	-	-
C derivado de PA, 30 a 50 cm	Lineal	$F(t) = 0,02 + 0,10*t$	0,60	-	-	66,39	-	-	-	-
C derivado de pastizales, 30 a 50 cm	Decaimiento único exponencial	$F(t) = 29,8*\exp(t* - 0,016)$	0,69	-	-	99	***	43,3	-	***

efectos del cambio en el uso de la tierra a PA sobre los horizontes del subsuelo. Las tasas de pérdida de C obtenidas para las reservas de COS sin cultivo (pendiente 1 para las tres capas superiores del suelo y pendiente de regresión lineal para la capa más profunda) se redujeron gradualmente con la profundidad del suelo de 0,42 Mg C ha^{-1} año^{-1} en la superficie de 10 cm a 0,13 Mg C ha^{-1} año^{-1} en la profundidad de 30 a 50 cm y de 40 a 50 cm (calculada a partir de la mitad de la profundidad de 30 a 50 cm).

Reservas de carbono en el ecosistema

Las plantaciones de PA contienen una biomasa total (aérea y subterránea) sustancialmente mayor que la de los pastizales. La biomasa total de PA aumentó a una tasa de acumulación de 3,3 ± 0,1 Mg C ha^{-1} año^{-1}, durante los 30 años del primer y segundo ciclo de cultivo. Esto corresponde con las reservas de C en biomasa de PA promediadas en tiempo de 49,5 ± 1,5 Mg C ha^{-1}, es decir, cinco veces más que los 10 Mg C ha^{-1} que suelen encontrarse en los pastizales de esta región (*35, 36*). Si bien las reservas de COS variaron con la edad de la plantación, en general el suelo era el principal reservorio de C en el ecosistema. El aporte de las reservas de COS a CTC cambió del 38 % en el primer ciclo de plantación de 30 años de edad al 87 % en el segundo ciclo de plantación de 2 años de edad, recientemente resembrado (32 años).

El CTC promediado en el tiempo en pastizales llegó a 112,8 ± 8,3 Mg C ha^{-1}, asumiendo reservas de COS constantes (102,8 ± 8,3 Mg C ha^{-1}) y una biomasa total

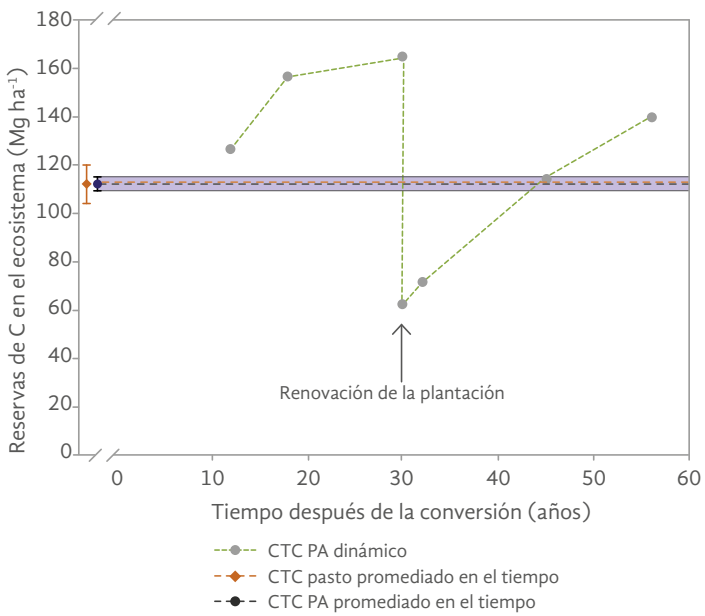
del pastizal de 10 Mg C ha^{-1} (Figura 3). Durante un gran número de ciclos de rotación de PA, las reservas de COS promediadas en el tiempo de plantaciones serían iguales a las reservas en equilibrio (62,61 ± 2,73 Mg C ha^{-1}; Figura 1). En consecuencia, el CTC promediado en el tiempo en plantaciones de PA llega a 112,3 ± 3,2 Mg C ha^{-1} (Figura 3). Lo que indica que la conversión de pastizales a plantaciones de PA en esta región está cercana a la neutralidad de carbón (-0,5 ± 8,8 Mg C ha^{-1}) considerando varios ciclos de PA. La tasa de acumulación de C en la biomasa fue mayor (3,3 ± 0,1 Mg C ha^{-1} $año^{1}$) que la tasa de pérdidas de COS (1,26 ± 0,3 Mg C ha^{-1} $año^{-1}$). Como resultado, el CTC durante el primer ciclo de rotación siempre fue mayor que en el pastizal, pero solo durante aproximadamente la mitad del tiempo para el segundo ciclo de rotación, cuando las reservas de COS alcanzaron el equilibrio (Figura 3). Por lo tanto, las plantaciones de PA fueron un sumidero de C continuamente, incluso durante la fase de pérdidas de COS, excepto en el momento de la resiembra de la plantación, cuando se destruyó la biomasa de PA.

Fertilidad del suelo

El contenido de COS, a diferencia de las reservas de COS, aumentó significativamente 41,1 ± 2,7 años después de una reducción inicial en los 0 a 10 cm. Sin embargo esa recuperación de C no alcanzó el contenido inicial de C en el suelo presente bajo el pasto (2,5 ± 0,1 %; Figura 4A). La tasa de aumento en el contenido de C en el suelo fue casi el doble en comparación con la reducción (-0,03 ± 0,02 %). Esta recuperación parcial de contenido de COS se observó hasta una profundidad de 30 cm, pero no más allá, donde el contenido de COS continuaba decreciendo linealmente (R^2 = 0,75) 56 años después de la siembra de PA.

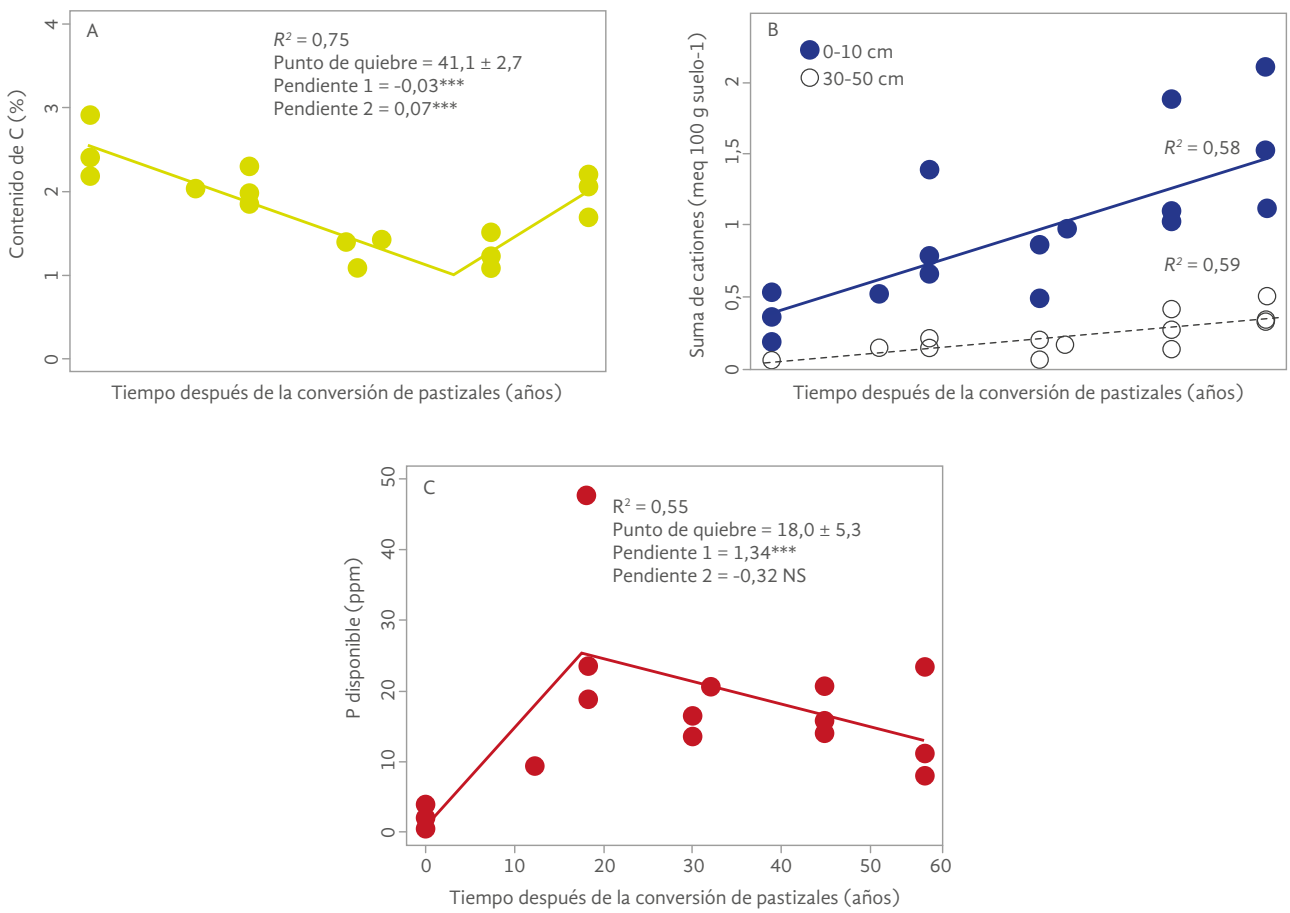
La disponibilidad de macronutrientes mejoró fuertemente hasta una profundidad de 50 cm (Tabla S2, véase material complementario). La suma de los cationes mostró una tendencia decreciente con profundidad en todos los sitios. No obstante, la totalidad de las capas presentaron un factor de enriquecimiento similar de 3,9 a 5,6 de la suma de cationes, indicando el lixiviado de nutrientes, de los nutrientes aplicados

Figura 3. Reservas de CTC. El CTC en plantaciones de PA y pastizales incluye biomasa aérea y subterránea y reservas de COS hasta los 50 cm (pero no árboles muertos después de la resiembra). El diamante anaranjado y sus barras verticales de error estándar (SE) corresponden a las reservas CTC en pastizales, promediadas en el tiempo. El círculo morado y sus barras verticales de SE corresponden a las reservas CTC de PA promediadas en el tiempo y la barra morada indica las reservas CTC promediadas en el tiempo ruante los 56 años de cultivo de PA.



mediante fertilización. El enriquecimiento de estos nutrientes no mostró saturación con el tiempo (Figura 4B). La saturación base (SB) aumentó en las cuatro capas, hasta por un factor de 4, 56 años después de la conversión en la capa de 30 a 50 cm de profundidad. El P Bray disponible mostró un patrón diferente. Este alcanzó el pico en 18,0 ± 5,3 años y después se niveló en valores más altos que en los pastos en los 10 cm superiores (Figura 4C). Este mismo patrón, con pequeñas variaciones en el punto de quiebre estimado, se encontró para la profundidad del suelo de 30 a 50 cm. Sin embargo, un decrecimiento significativo durante los últimos años del primer ciclo y la totalidad del segundo ciclo le siguió al pico observado. Esto sugiere el lixiviado de P hacia el subsuelo en el corto plazo (primer ciclo de PA). Los valores de pH del suelo mostraron un rango estrecho de 4,0 a 4,6 en varios usos y profundidades del suelo.

Figura 4. Dinámicas de fertilidad química del suelo. (A) El contenido de C del suelo como función del tiempo después de la conversión de pastizal a plantaciones de PA en la superficie del suelo (0 a 10 cm). La línea amarilla representa la ecuación de regresión segmentada ajustada. Se indica la significancia de los coeficientes de pendiente para cada lado de los puntos de quiebre (****P <0,001*). (B) Suma de cationes como función del tiempo después de la conversión de pastizal a plantaciones de PA en dos profundidades del suelo: círculos coloreados (0 a 10 cm), círculos delineados, (30 a 50 cm). Las líneas representan las ecuaciones de regresiones lineales. (C) Fósforo disponible (P Bray) como función del tiempo después de la conversión de pastizal a plantaciones de PA en la superficie del suelo (0 a 10 cm). La línea roja representa la ecuación de regresión segmentada ajustada. Se indica la significancia de los coeficientes de pendiente para cada lado de los puntos de quiebre (****P* <0,001).



El cultivo de PA no tuvo un efecto constante a lo largo de los dos ciclos de rotación y la profundidad del suelo, tal y como lo muestra el análisis de componentes principales (ACP; Figura 5). Durante el primer ciclo, la cantidad (contenido de COS) y calidad (proporción C/N) de MO se redujo, mientras que los nutrientes y densidad aparente (DA) aumentaron en las capas de superficie (0 a 10 cm) y en el subsuelo (30 a 50 cm), tal y como lo muestra el primer componente principal (PC1, 35,7 % a 0 a 10 cm y 45,1 % a 30 a 50 cm). Durante el segundo ciclo, los efectos del cultivo siguieron siendo similares en el subsuelo (Figura 5B), mientras que la capa de suelo superficial mostró una recuperación parcial del contenido pero no de la calidad de COS, lo que sugiere una ligera mejora en la fertilidad superficial en las plantaciones más viejas.

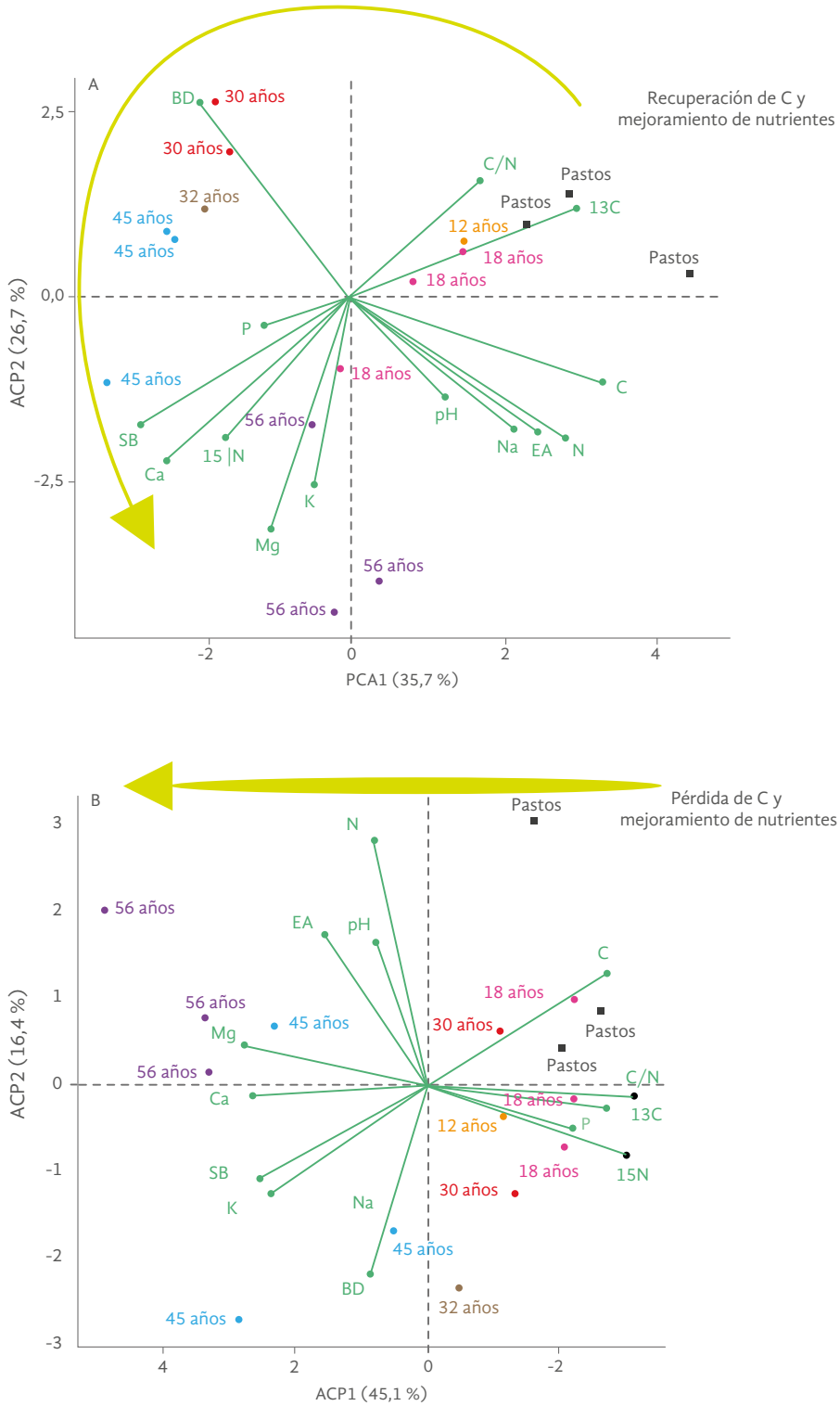
Discusión

Demostramos que la conversión de pasto a PA en Colombia se compara favorablemente, en términos de cambios en el C del ecosistema, a la expansión de la PA en áreas boscosas, como suele ocurrir en los principales países productores de PA del Sudeste Asiático. Si bien la conversión de selvas tropicales en Sumatra (*6*) llevó a una pérdida de 173 Mg C ha^{1}, la conversión de pastizales a plantaciones de PA fue neutral en C (-0,5 ± 8,8 Mg C ha^{-1}), reduciendo las pérdidas de CTC en 99,7 ± 9,6 %. Adicionalmente, establecer PA en pastizales no solo evita la gran pérdida inicial de C almacenada en la biomasa de la selva tropical, sino también aumenta las reservas de C en biomasa. No obstante, convertir pastizales a PA no actuó como un sumidero de C porque la conversión causó grandes reducciones de COS que contrarrestaron las ganancias en C de biomasa de la PA.

El C almacenado en PA promediado en el tiempo se ve principalmente afectado por la longitud de los ciclos de rotación (*6*). Acortar este tiempo a 25 años, como es común en el Sudeste Asiático, reduciría el C en biomasa promediado en el tiempo en 17 % (aproximadamente 8 Mg C ha^{-1}), llevando a una pequeña pérdida de C después del cambio en el uso del suelo. El C de biomasa de PA encontrado en las plantaciones de Colombia fue similar al reportado para las plantaciones de Indonesia (*6, 37*). Las reservas de carbono que no se midieron en este estudio, como las pilas de frondas o la vegetación del subsuelo, si las hay (<3 Mg C ha^{-1}) tienen un aporte insignificante al CTC (*37*). El factor principal que determina si el cambio en el uso del suelo resultará en pequeñas ganancias o pérdidas de C es la cantidad inicial de COS en el ecosistema de pastizales convertido. Las pérdidas de este, después del cambio en el uso del suelo no son constantes, pero sí son proporcionales con las reservas iniciales del mismo (*20*). La viabilidad inicial de las reservas de COS en los pastizales estudiados (Desviación estándar (SD) de 14,3 Mg C ha^{-1}) excedió por sí sola el C almacenado en la biomasa de pasto. El manejo de los pastos investigados en este estudio podría representar el tipo de uso del suelo con el mayor almacenamiento de COS inicial en suelos bien drenados en esta región, dado que los pastos brachiara favorecen el secuestro de C en el suelo cuando reemplazan áreas boscosas o de pastizales en el neotrópico (*38, 39*). Adicionalmente, dado que la pluviosidad y la duración de la temporada de lluvias son mayores, los suelos en el piedemonte suelen contener reservas de C ligeramente más altas que las sabanas que se encuentran al este. Cuando se establecen plantaciones de PA en pastos degradados o en otras partes de los llanos se esperan menores pérdidas de COS y, en consecuencia, un cambio positivo en el almacenamiento de C en el ecosistema (*40*). El mismo argumento suele utilizarse para justificar la transformación de las sabanas nativas sin considerar los valores de biodiversidad y servicios de estos ecosistemas naturales. Dado que se espera que los llanos continúen siendo un área importante para la expansión de PA en Colombia, se debería prestar especial atención a la pérdida de sabanas nativas en lugar de a los pastos.

La cantidad de COS perdido después de la conversión de estos pastizales fue mayor que la reportada cuando se convirtieron selvas tropicales en plantaciones de PA, probablemente debido a la alta cantidad de COS (102 Mg ha^{-1}) almacenada hasta los 50 cm en los pastizales estudiados (*19, 20, 41*). Este hallazgo está alineado con lo encontrado anteriormente en un estudio brasileño, donde las pérdidas de COS eran más pronunciadas para las plantaciones de PA derivadas de pastizales que para las derivadas de áreas boscosas (*17*). Sin embargo, la proporción del COS inicial perdido en este estudio (39 %) fue similar a la reportada para las plantaciones derivadas de selva tropical, con la diferencia de que tomó más tiempo llegar a un nuevo equilibrio en las plantaciones derivadas de pastizales (*20*).

Figura 5. ACP de las propiedades del suelo en pastos y plantaciones de PA derivado de pastos. (A) La superficie del suelo (0 a 10 cm) y (B) el subsuelo (30 a 50 cm); BD: densidad sin cultivo; C: N, proporción de C y N; ^{13}C, $\delta^{13}C$; N: nitrógeno; EA: acidez intercambiable; Na: sodio; K: potasio; Mg: magnesio; ^{15}N, $\delta^{15}N$; Ca: calcio; SB: saturación base; y P: fósforo disponible (P Bray). Se indican los lotes de PA con el tiempo después de la conversión en años.



Suele asumirse que las dinámicas de las reservas de COS después del cambio en el uso del suelo siguen un decaimiento único exponencial hasta llegar a un nuevo equilibrio, es decir, la mayoría de las pérdidas ocurren dentro de la década siguiente a la conversión (*20, 42, 43*). En este estudio, las pérdidas fueron constantes y se extendieron durante más tiempo. La rápida reducción inicial, seguida de una fase de estabilización, confirma la lenta respuesta del COS al cambio en el uso del suelo y resalta la importancia de evaluar alteraciones en las dinámicas de los ciclos del C, ya sea a lo largo de escalas de tiempo más largas o investigar indicadores de COS más sensibles, es decir, MO particulada, en vez del tamaño total de las reservas de COS, cuando solo se estudian las plantaciones durante el primer ciclo de rotación. Las dinámicas de las reservas totales de COS fueron el resultado neto de varios patrones de dinámicas de reservas de C que dependen de la profundidad del suelo y el origen de este elemento. La descomposición de COS derivado de pastizales siguió a una sola disminución exponencial en cada capa, mientras que el COS derivado de PA se acumuló a una tasa constante, excepto para la profundidad de 0 a 10 cm, donde la acumulación de COS alcanzó la saturación. A pesar de la estabilización aparente de las reservas totales de COS hasta los 50 cm durante el segundo ciclo de rotación, el enfoque isotópico demostró que solo la capa de los primeros 10 cm se encontraba cerca al nivel de equilibrio (Figura 2A). En las profundidades de 10 a 30 cm, las tasas de pérdida de C derivado de pastizales y la estabilización de C derivado de PA fueron similares en las plantaciones más viejas, de manera que parece que las reservas sin cultivar alcanzaron el equilibrio. La tasa de descomposición en la capa de 30 a 50 cm siguió siendo más rápida que la tasa de estabilización, lo que explica que el subsuelo seguía perdiendo C 56 años después del cultivo de PA. Este hallazgo es relevante, pues hasta el momento ningún estudio ha informado sobre los efectos del cambio del uso del suelo a PA en los horizontes del subsuelo, presumiblemente debido a la relativa duración a corto plazo de la literatura existente.

Aún no es posible determinar en qué nivel se estabilizarán las reservas de COS para las capas por debajo de 10 cm dado que la acumulación de C derivado de PA no mostró ningún signo de saturación incluso después de 56 años. Bajo ciertas condiciones, las reservas de COS alcanzan un mínimo antes de volver a aumentar, justo como la forma común en U reportada en otros estudios dinámicos de COS a largo plazo (*44, 45*). Dado que la tasa de pérdidas de COS derivadas de pastizales se redujo con el tiempo después de la conversión, las tasas de estabilización pueden superar a las de descomposición si la estabilización no se satura antes. Este mecanismo puede explicar la recuperación del contenido de C en los primeros 10 cm (Figura 4) y confirmaría la tendencia similar observada para las reservas de COS al menos hasta los 20 cm de profundidad (Figuras 2 A y 2B). Se suele observar que el recambio de COS se desacelera con el aumento de la profundidad debido al mayor nivel de protección de COS de los minerales, la reducida actividad microbiana o los menores aportes de C de las raíces (*46*). Gracias a las dinámicas de C más lentas en el suelo profundo, es posible que las capas por debajo de los 10 cm de profundidad alcancen la fase de recuperación observada en la superficie durante el tercer ciclo de rotación. No obstante, es cuestionable si el suelo por debajo de los 30 cm seguirá las mismas dinámicas que la capa superior para llegar eventualmente a esta misma fase de recuperación (Figura 5B). El sistema de raíces de la PA tiene una arquitectura específica, con raíces finas creciendo hacia la superficie a partir de las gruesas raíces exploratorias que crecen horizontalmente a una profundidad aproximada de 30 cm (*47*). En consecuencia, la biomasa y la actividad de las raíces son mayores en los primeros 30 cm. Las capas por debajo de esta medida, reciben menos aportes de C de las raíces, pero siguen enriqueciéndose altamente con los nutrientes lixiviados de la fertilización pesada, favoreciendo la mineralización del COS. En consecuencia, a pesar de la estabilización de reservas de COS durante el segundo ciclo de rotación, las reservas pueden aumentar o disminuir ligeramente durante los siguientes ciclos, dependiendo de la intensidad de recuperación en la capa superior y del nivel de estabilización por debajo de los 30 cm de profundidad.

Nuestros hallazgos demuestran que la conversión de pastizales a PA tuvo un impacto importante en las reservas de COS. Los cambios a largo plazo más relevantes en su almacenamiento ocurrieron durante el primer ciclo de rotación de PA, en el que se perdió el 39 % del COS original. La segunda fase se caracterizó

por una redistribución del COS en el perfil del suelo, en el que una recuperación de este en la superficie compensó una reducción en el subsuelo, llevando a una estabilización de las reservas totales de COS hasta los 50 cm de profundidad. El impacto negativo de la PA sobre el almacenamiento de COS fue alto cuando se cultivó en pastizales, pero fue comparable con el impacto del cultivo intensivo de otras plantaciones no perennes en pastizales o selvas tropicales (*16, 26*). La degradación del suelo estuvo limitada principalmente por una reducción de MOS. Las típicas amenazas que afectaban la calidad física del suelo en plantaciones de PA establecidas en selvas tropicales, como la erosión y la compactación, fueron limitadas en los cultivos estudiados (*19, 48*). Si bien los suelos de pastizales pueden haberse compactado por el pisoteo, los de sabana nativa en la región de los llanos son compactos por naturaleza y, por lo tanto, menos sensibles a la compactación adicional (*49*). Además, la topografía de la región de los llanos está compuesta principalmente por áreas planas (es decir, piedemonte y llanuras altas y planas), reduciendo el riesgo de erosión del suelo, y en contraste con las islas de Indonesia, donde las plantaciones se ven afectadas por la erosión severa (*19, 50*).

Debido a la preparación del suelo antes del establecimiento de PA y las frecuentes aplicaciones de fertilizantes, inherentes a la baja calidad de los suelos locales, su fertilidad química y física fue similar o incluso mayor después de dos ciclos de cultivo de PA. Específicamente, mientras que el COS se redujo, la suma de las bases intercambiables aumentó durante la transición de pastizales a PA, implicando un intercambio entre las propiedades químicas del suelo y el COS en el largo plazo. Esto sugiere que el suministro de nutrientes de la PA se basa principalmente en la aplicación frecuente de fertilizantes minerales y no en los nutrientes liberados de la mineralización de la MOS por microorganismos. No obstante, los suelos no mostraron signos de degradación que pudieran evitar el establecimiento de nuevos cultivos o la restauración de comunidades de plantas seminaturales después del cultivo de PA. Esto es fundamental porque los cambios en el CTC siguen siendo teóricos, pues se asume que el cultivo de PA será permanente. En últimas, el impacto del cambio en el uso del suelo dependerá del que se le dé a la tierra después de la PA. Dado que las ganancias en las reservas de C por biomasa desaparecen rápidamente mientras que las pérdidas de COS permanecen, el siguiente tipo de uso del suelo comenzaría con una deuda de C de aproximadamente 40 Mg C ha^{-1} en el suelo después de 60 años de cultivo de PA. Por lo tanto, es importante mantener las propiedades físicas y químicas del mismo porque las pérdidas de COS por esta causa son, en un alto grado, reversibles (*26*). En consecuencia, la sostenibilidad del cultivo de PA se beneficiaría de la implementación de prácticas de manejo que incorporen residuos orgánicos, ya sea como racimos de fruta vacíos, compost o utilizando cultivos de cobertura como parte de los programas regulares de manejo de suelos.

Los suelos con plantaciones de PA en este estudio estaban lejos de la saturación de C, tal y como lo indican las reservas de COS más bajas que las encontradas en los pastos, y el aumento lineal del C derivado de PA observado en las capas del subsuelo. Por lo tanto, si aumentan los aportes de MO, puede esperarse un gran potencial para el secuestro de C en los suelos sujetos a esta alternativa, cuando se haga el cambio del uso. Adicionalmente, si se incrementa el COS y los nutrientes de manera orgánica limita el intercambio que afecta negativamente la biota del suelo al aumentar las sinergias entre las propiedades químicas del mismo y el COS (*51, 52*). Reemplazar la actividad biológica del suelo con fertilización mineral es riesgoso si los costos del fertilizante aumentan o su suministro se reduce en el futuro. Adicionalmente, la biota mejora la estabilidad y resiliencia del suelo, facilitando la restauración de antiguas plantaciones de PA (*53*).

Los pastizales tienden a emitir más óxido nitroso (N_2O) que las selvas tropicales (*54*); por lo tanto, si se expande la PA a los pastizales, es posible que este cambio alternativo en el uso del suelo se compare positivamente con el escenario ordinario de deforestación en términos de emisiones de N_2O. Si se incentiva la adopción de un conjunto de prácticas para un mejor manejo de nutrientes, es decir, programas personalizados de fertilización en las plantaciones de PA, no solo se reducirían las pérdidas de nutrientes minerales, también se limitaría su efecto estimulante sobre la descomposición de MOS en las capas subterráneas, favoreciendo el agotamiento de COS profundo y reduciendo el presupuesto de emisiones de gases de efecto invernadero para prevenir las emisiones de N_2O.

La PA es culpada por sus grandes impactos ambientales, especialmente por la reducción de reserva de C y biodiversidad, debido a la conversión se selvas tropicales; en consecuencia, la búsqueda de alternativas de cambio de uso del suelo de bajo impacto es imperativa. Este estudio proporciona evidencia empírica basada en campo de que la conversión de pastos a PA es neutral en C desde una perspectiva de almacenamiento de C del ecosistema. La disponibilidad de grandes áreas de pasto en el trópico, particularmente en Latinoamérica, podría limitar los impactos negativos de la expansión de PA en curso a las sabanas nativas y los bosques naturales (*2, 14*). Nuestros hallazgos indican que la conversión de pastos a PA puede ser una oportunidad para preservar e incluso aumentar el secuestro de C en el trópico y reducir la gran huella de C del desarrollo de este cultivo en tierras boscosas. Estudios recientes sobre la biodiversidad en el neotrópico también han demostrado que las plantaciones de PA establecidas en pastizales pueden permitir el desarrollo de otros ecosistemas que son mucho más ricos en vertebrados endémicos y en peligro de extinción (*55, 56*).

El diseño espacial de las plantaciones de PA también puede sacar mejor provecho de otros elementos de la cobertura terrestre natural, incluyendo bosques y sabanas restantes. Es probable que este mosaico de paisaje más heterogéneo proporcione una mayor resiliencia al ecosistema, favoreciendo tanto la productividad como la conservación. Se espera que el estudio incentive investigaciones sobre otros aspectos fundamentales de la expansión de la PA en áreas de pastizales, tales como la escasez estacional de agua y los temas socioeconómicos. Reconocemos que un cambio en la expansión de PA de tierras boscosas a pastizales no productivos necesita de un soporte de políticas. Mejorar los servicios de apoyo, incluyendo el desarrollo de infraestructura como plantas de beneficio, instalaciones de transporte y que suplan las necesidades sustanciales de mano de obra, podrían incentivar el desarrollo de PA en regiones en las que hay pastizales improductivos. Medidas adicionales, como la prohibición a la conversión de bosques o, por parte del consumidor, demandar esquemas de certificación efectivos para la producción de PA, también podrían reducir la deforestación para la expansión de PA y sus marcados impactos ambientales.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en La Cabaña, una plantación comercial de PA a gran escala (73°22'E, 4°16'N) y en tres fincas ganaderas adyacentes, cerca al municipio de Cumaral, en el departamento del Meta en Colombia. El área está ubicada en el piedemonte de la región, en los Llanos Orientales, cerca de la cordillera de los Andes, a una altitud de 300 m s. n. m. (Figura S1, véase material complementario). El clima del área es tropical, con una temporada seca bien marcada que va de diciembre a marzo. La pluviosidad anual es de aproximadamente 3.400 mm y la temperatura media es de 27 °C. El área de estudio se encuentra en las terrazas aluviales bien drenadas del pleistoceno y terciario tardío, donde los suelos son predominantemente inceptisoles distróficos (*oxic distropepts*) con una profundidad efectiva de 60 a 70 cm que traslapa los sedimentos aluviales gruesos sobre una topografía plana.

En general, los llanos son un vasto territorio dominado principalmente por ecosistemas de mosaico de sabana (dominado por C4) y bosques en galería que, durante las últimas décadas, han experimentado un rápido cambio en el uso del suelo hacia la agricultura comercial intensiva, y suelen considerarse como una de las últimas fronteras para la expansión agrícola en Suramérica (*34, 57*). La región abarca aproximadamente una cuarta parte de territorio nacional, es decir, 22 millones de hectáreas (*34, 58*). La ganadería es el principal uso del suelo en el piedemonte y en los llanos en general, donde se han despejado grandes áreas de bosques y sabanas para sembrar variedades mejoradas de pastos brachiaria durante décadas (*Brachiaria* spp.) (*59*). Estos pastos son de origen africano y se usan ampliamente en sistemas mejorados de pastizales C4 en Suramérica. No obstante, durante los últimos 40 años, las crecientes áreas de estos pastizales y las sabanas naturales han transitado hacia la agricultura intensiva de plantaciones de arroz y PA. Debido a los beneficios económicos y sociales, un conjunto de condiciones climáticas favorables en el piedemonte andino de los llanos y mayores estímulos del gobierno, desde hace más de medio siglo se han establecido plantaciones de PA, y se predice que su expansión continuará (*32*). Como es el caso de la

mayoría de las plantaciones de PA en Colombia, las de La Cabaña derivaron de pastizales que habían sido sembrados en las antiguas sabanas bien drenadas.

Enfoque y sitios de estudio

Se utilizó un espacio para el enfoque de sustitución temporal (cronosecuencia), con el fin de cuantificar los impactos a largo plazo sobre las propiedades de la biomasa y el suelo, incluyendo cambios en las reservas de COS y en las características de fertilidad química del suelo después de la conversión de pastizales en plantaciones de PA. Dado que se pretendía estudiar los efectos a largo plazo del cultivo en las propiedades del suelo, se consideraron los lotes de PA con palmas que estaban pasando el primer ciclo de rotación (hasta 30 años) y el segundo ciclo de rotación (nuevas palmas trasplantadas después del primer ciclo). Se seleccionaron 6 lotes de PA que iban de los 12 a 56 años después de la conversión de pastizal, y 3 pastizales de referencia. Todos los lotes de PA fueron parte de una plantación a gran escala, que podía tener el historial más largo de cultivo en los llanos y su manejo era representativo del típico que se daba en las plantaciones de PA en esta región de Colombia. Los sitios de referencia fueron fincas ganaderas que estaban adyacentes a la de PA muestreada. El principal criterio para seleccionar los lotes de PA fue la existencia de pastizales como el único uso anterior de la tierra. Esta información se obtuvo mediante comunicación directa con el personal a cargo de la operación de la plantación de PA y las fincas ganaderas vecinas. Adicionalmente, durante el proceso de selección de lotes se excluyeron los sitios con pendientes pronunciadas, partes anegadas o que estaban ubicados en las llanuras inundables con un manejo diferente a las prácticas agrícolas generales. Los lotes de PA fueron sembrados en un diseño triangular con 9 m de distancia, resultando en una densidad de 143 palmas ha^{-1}. Todos los lotes, excepto el de 32 años recientemente resembrado, presentaron cuatro zonas de manejo bien diferenciadas: (i) las pilas de frondas ubicadas entre las palmas y donde se acumulan las frondas taladas de las PA; (ii) el camino de cosecha, que es el área de tráfico para la operación mecanizada, es decir, la cosecha de racimos y entre las líneas paralelas de palmas; (iii) el plato, que es un área alrededor del tronco de la palma de unos 5 m de diámetro, donde se encuentra la mayoría del aporte de fertilizante hasta los 5 a 6 años; y (iv) entre las filas, donde casi no se realizan operaciones de campo y crece la vegetación dispersa del subsuelo, es decir, hierbas. La tierra fue preparada con un arado de cincel a una profundidad de 10 a 15 cm antes de establecer la plantación. Se añadió cal dolomita para aumentar el pH del suelo. Las prácticas de fertilización fueron, en general, las recomendadas para la región y se hicieron periódicamente cada año en dos aplicaciones, en el plato, a edades tempranas y se extendieron por toda la plantación, excepto por el camino de cosecha en las plantaciones maduras (con más de 5 años). Se aplicó fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) de entre 150 a 725 kg ha^{-1} $año^{-1}$, dependiendo de la edad de las palmas, es decir, 725 kg de fertilizante completo NPK aplicado a plantaciones de más de 10 años. También se aplicaron otros nutrientes, incluyendo boro y magnesio, con regularidad anual.

Selección y muestreo del sitio

Se tomaron muestras de suelo de una cronosecuencia de PA con palmas de 12, 18, 30, 32, 45 y 56 años, los tres primeros bloques correspondían a plantaciones de primer ciclo y los últimos tres a plantaciones del segundo ciclo. Los bloques de PA tenían un tamaño de entre 20 y 30 hectáreas. Adicionalmente, se tomaron muestras en 3 fincas ganaderas como sitios de referencia. Todos los lugares seleccionados estaban ubicados en un área que abarcaba aproximadamente 5.000 hectáreas.

Se recolectaron muestras del suelo de los lotes de PA utilizando una metodología de transecto modificado (*60*). Esta estrategia permite tener muestras mixtas que representan la variabilidad espacial en las plantaciones de PA debido a las prácticas de manejo. Adicionalmente, también se adapta a las medidas en las plantaciones resembradas dado que la distribución espacial de las zonas de manejo es diferente entre los ciclos de PA. Se marcaron 20 puntos de muestreo uniformemente a lo largo de un transecto diagonal de 50 m a aproximadamente 60° (considerando una palma seleccionada en la fila 1 del transecto como punto de referencia). Los transectos diagonales cruzaron 6 filas de PA y, en general, se encontraron las 4 zonas de manejo en las plantaciones comerciales de

PA. Para capturar la variabilidad espacial en cada uno de los bloques de PA, se trazaron 3 transectos paralelos, excepto en los bloques de PA de 12 y 32 años; las muestras se tomaron en 2016, con algunas complementarias en 2017. Se estableció 1 transecto en una posición central, en relación con el número de filas de palma y el número promedio de palmas por fila en cada bloque. Los otros 2 transectos se establecieron al menos a 120 m de distancia de cada lado del primer transecto. Los transectos se establecieron al menos a 50 m de distancia de los bordes del lote. En los tres sitios con pasto brachiaria, se trazó 1 transecto diagonal de 50 m de largo orientado de este a oeste, con 20 puntos de muestreo ubicados uniformemente. En todos los transectos diagonales (bloques de PA y sitios de pastizales) se tomaron un total de 20 testigos del suelo. La mitad de estos testigos se tomaron a una profundidad de 30 cm y la otra mitad a los 50 cm de manera alternativa, utilizando un taladro de suelo de 6 cm de diámetro. Los testigos se dividieron en cuatro intervalos de profundidad: 0 a 10 cm, 10 a 20 cm, 20 a 30 cm y 30 a 50 cm. Por lo tanto, las muestras de los 0 a 10 cm, 10 a 20 cm y 20 a 30 cm estaban conformadas de 20 testigos y las de los 30 a 50 cm estaban conformadas de 10 testigos. Las muestras finales de cada transecto se agruparon en una muestra compuesta, teniendo así una para cada profundidad en cada transecto. Estas fueron homogeneizadas, secadas al aire, tamizadas a 2 mm, selladas en bolsas y almacenadas a temperatura ambiente hasta su transporte al laboratorio en Lausana (Suiza). Los análisis físicos, químicos e isotópicos del suelo se llevaron a cabo después del secado a 35 °C en hornos de aire forzado.

Se cavaron agujeros en una posición representativa media a lo largo de los primeros transectos lineales de 50 m para determinar la DA del suelo en cada en cada bloque de PA y en un sitio de referencia a 70 cm de profundidad. Se insertaron dos testigos de volumen de acero inoxidable horizontalmente en uno de los muros del agujero en cada incremento de profundidad. El suelo de ambos testigos fue mezclado y secado en horno a 105 °C durante 48 horas para calcular la DA.

Biomasa aérea (AGB) y subterránea

En los transectos diagonales centrales descritos anteriormente de cada lote de PA muestreado se midieron las alturas de 10 palmas elegidas aleatoriamente. Se midió desde la base de la palma a la base de la hoja expandida más joven (*61*). La estimación de la biomasa aérea se basó en la altura de la palma, utilizando la ecuación alométrica para suelos minerales (*37*).

$$\text{AGB PA} = 0{,}0923\ (\text{altura}) + 0{,}1333 \qquad (1)$$

La biomasa subterránea de PA se estimó de acuerdo con el modelo alométrico basado en la edad de la plantación de PA (Ecuación 2) (*62*).

$$\text{AGB PA} = 1{,}45\ (\text{edad}) + 9{,}88\ (143\ \text{palmas ha}^{-1}) \qquad (2)$$

Se estimaron las reservas de C en biomasa utilizando un factor de 41,3 % de la biomasa aérea y subterránea de PA (*62*). El C promedio en el tiempo en la biomasa de PA se estimó como las reservas de C acumuladas a la mitad de un ciclo de rotación; en consecuencia, la reserva de C de biomasa en una plantación de PA de 30 años de edad se dividió en dos (*63*).

Análisis de laboratorio

Los análisis del tamaño de las partículas del suelo se realizaron en suelos secados por aire mediante el método del hidrómetro después de remover la fracción orgánica con 30 % H_2O_2 (*64*). El pH del suelo se determinó con una pasta de 1:2,5 suelo a agua. Se extrajeron las muestras de suelo con una solución Mehlich-III (*65*) y se analizaron para los cationes disponibles, incluyendo Ca, K, Na y Mg, utilizando un espectrómetro de plasma emparejado inductivamente (PerkinElmer, Waltham, MA, EE. UU.). La acidez intercambiable se determinó extrayendo 2 g de suelo con 10 ml de 1N KCl, agitando durante 30 minutos a 200 r. p. m. Se dejaron reposar las muestras durante 30 minutos; luego, se filtraron y se lavaron los embudos de extracción 3 veces con 30 ml de 1N KCl. Se realizó la titulación con 0,01 N NaOH después de añadir fenolftaleína al extracto (*66*). Se estimó la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) sumando la cantidad de carga por unidad de suelo (meq 100 g^{-1}) de los cationes principales (Ca, K, Na y Mg) más la acidez intercambiable. Se obtuvo la SB dividiendo la suma total de carga por unidad de suelo de Ca, K, Na y Mg por CICE. Se midieron los contenidos

totales de C y N, ^{13}C y ^{15}N en suelo secado con aire y de la tierra pesado en tazas de hojalata con un analizador de elementos (EuroVector) emparejado con un espectrómetro de masas de relación isotópica (Delta plus, Thermo Fisher Scientific) en un laboratorio de isótopos estables en el Instituto Federal Suizo para la Investigación de Bosques, Nieves y el Paisaje WSL Birmensdorf, Suiza. El contenido total de C corresponde con el contenido orgánico total debido a la ausencia de carbonatos en suelos muy erosionados.

Se calcularon las reservas de COS como el producto de la DA del suelo, el grosor de la capa y la concentración de COS. El aporte del C nuevo y viejo al COS total se calculó como se muestra en la Ecuación 3 (*67*).

$$f = (\eth sam - \eth ref/\eth op - \eth ref) \qquad (3)$$

Donde *f* es la proporción relativa de C derivado de PA (Ce) en las reservas de COS. *ðsam* es el $\eth^{13}C$ de la muestra de suelo y *ðref es el* $\eth^{13}C$ de la profundidad del suelo correspondiente del pasto como suelo de referencia C4. ðop es el $\eth^{13}C$ de nueve muestras de C de biomasa de nueve raíces delgadas. El método tiene en cuenta el aumento natural de la marca $\eth^{13}C$, por lo general observando la profundidad en los suelos e ignorando el fraccionamiento ^{13}C que podría ocurrir en el primer paso de la formación de COS.

Análisis estadístico

El análisis de datos se realizó utilizando el *software* estadístico RStudio versión 3.4.0 (R Development Core Team 2017). Se utilizó el análisis de regresión lineal para examinar los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo (es decir, cationes mayores y DA) en relación con el aumento en el tiempo después de la conversión de pastizales a plantaciones de PA. Se verificó la suposición de normalidad para todos los análisis con el Test de Shapiro-Wilk y la inspección visual de lotes de normalidad. Si no se cumplía con la suposición de normalidad, entonces se realizaban pruebas de permutación, como en el caso de Ca, suma de cationes y SB. Se examinaron los patrones en los cambios de las reservas de C en el suelo durante el tiempo de la cronosecuencia de PA para el suelo no cultivado y para cada una de las cuatro capas del suelo muestreadas utilizando modelos de regresión. Se utilizaron las funciones de mínimos cuadrados no lineales "nls" y de modelo lineal "lm" en R para ajustar los modelos de regresión no lineal y lineal, respectivamente. Además, se utilizó la función "segmentada" para realizar un análisis de regresión segmentado (línea punteada). La significancia estadística se declaró en $P<0,05$. Similarmente, también se examinó el ajuste de modelo para los cambios en C derivado de PA C3 y C derivado de pastizales C4 durante el tiempo de la cronosecuencia para cada una de las cuatro capas de suelo estudiadas probando los modelos mencionados anteriormente. Estos análisis de regresión permitieron estimar las tasas de acumulación de C3 y descomposición de C4 y las constantes de decaimiento (*k*), las tasas de reducción total del C en el suelo y los puntos de quiebre en los cambios de las reservas de C en el mismo (momento en el cual ocurrió una variación en la dirección de cambio de las reservas de C).

Después de probar varios modelos (monoexponenciales y biexponenciales), la evaluación del desempeño de estos se basó en los valores del criterio de información de Akaike (AIC) y en el coeficiente de determinación (R^2). Se seleccionaron los modelos con los mayores valores R^2 y los menores valores AIC (Tabla S1, véase material complementario). En consecuencia, (i) los cambios en las reservas totales de C del suelo y las reservas de C en cada capa del suelo se describieron ajustando los modelos de regresión segmentada (excepto por la regresión lineal en la capa de suelo más profunda de 30 a 50 cm), proporcionando puntos de quiebre estimados; (ii) el C derivado de C3 en las capas de suelo de 10 a 20 cm, de 20 a 30 cm y de 30 a 50 cm se describió con modelos lineales, mientras que el patrón en el C derivado de C3 en la capa superficial del suelo (0 a 10 cm) se describió con el modelo de aumento exponencial a equilibrio de la forma

$$y = ((k^* y0 - A) * \exp(-k * t + A) / k \qquad (4)$$

donde *y* es la reserva de C, *k* es la constante de decaimiento anual de la reserva, *y0* es la reserva de C-C3 antes de que comenzará el cultivo de PA (es decir, 0), *A* es el aporte anual de C3 a la reserva C3 y *t* es el tiempo después de la conversión; (iii) se ajustó un modelo de decaimiento de primer orden a los datos de C derivados de pastizales en las cuatro capas de suelo estudiadas

$$y = c^{*}\exp(-k{*}t) \qquad (5)$$

donde y es la reserva de C, c es la reserva original de C antes del cultivo de PA, k es la constante de la tasa de decaimiento y t se refiere al tiempo. La vida media (HL) de la reserva original de C en la Ecuación 5 y del aporte de PA en la Ecuación 4 se calculó como

$$HL = \ln(2)/k \qquad (6)$$

Se realizó un ACP para explorar más a fondo las relaciones entre los parámetros del suelo que pueden verse afectados por el cultivo (DA, C: N, ^{13}C, C, N, EA, Na, pH, K, M, ^{15}N, Ca, S y P).

Materiales complementarios

El material complementario para este artículo está disponible en http://advances.sciencemag.org/cgi/content/full/5/11/eaaw4418/DC1

Figura S1. Mapa de los sitios de estudio y el área potencial de expansión de PA a pastizales en el neotrópico.

Tabla S1. Conjunto de modelos probados para el carbón derivado de suelos sin cultivar, pastizales y PA.

Tabla S2. Propiedades químicas, físicas e isotópicas del suelo.

Referencias y notas

1. D. L. A. Gaveau, D. Sheil, Husnayaen, M. A. Salim, S. Arjasakusuma, M. Ancrenaz, P. Pacheco, E. Meijaard, Rapid conversions and avoided deforestation: Examining four decades of industrial plantation expansion in Borneo. *Sci. Rep. 6*, 32017 (2016).

2. V. Vijay, S. L. Pimm, C. N. Jenkins, S. J. Smith, The impacts of oil palm on recent deforestation and biodiversity loss. *PLoS ONE 11*, e0159668 (2016).

3. E. B. Fitzherbert, M. J. Struebig, A. Morel, F. Danielsen, C. A. Brühl, P. F. Donald, B. Phalan, How will oil palm expansion affect biodiversity? *Trends Ecol. Evol. 23*, 538-545 (2008).

4. C. Dislich, A. C. Keyel, J. Salecker, Y. Kisel, K. M. Meyer, M. Auliya, A. D. Barnes, M. D. Corre, K. Darras, H. Faust, B. Hess, S. Klasen, A. Knohl, H. Kreft, A. Meijide, F. Nurdiansyah, F. Otten, G. Pe'er, S. Steinebach, S. Tarigan, M. H. Tölle, T. Tscharntke, K. Wiegand, A review of the ecosystem functions in oil palm plantations, using forests as a reference system. *Biol. Rev. 92*, 1539-1569 (2017).

5. S. Henders, U. M. Persson, T. Kastner, Trading forests: Land-use change and carbon emissions embodied in production and exports of forest-risk commodities. *Environ. Res. Lett. 10*, 125012 (2015).

6. T. Guillaume, M. M. Kotowska, D. Hertel, A. Knohl, V. Krashevska, K. Murtilaksono, S. Scheu, Y. Kuzyakov, Carbon costs and benefits of Indonesian rainforest conversion to plantations. *Nat. Commun. 9*, 2388 (2018).

7. D. Boucher, in *Tropical Forest and Climate Initiative* (Union of Concerned Scientists, 2011), pp. 1-5.

8. J. Lucey, J. Hill, P. van der Meer, G. Reynolds, F. Agus, Change in carbon stocks arising from land-use conversion to oil palm plantations (2014).

9. L. P. Koh, J. Miettinen, S. C. Liew, J. Ghazoul, Remotely sensed evidence of tropical peatland conversion to oil palm. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 108*, 5127-5132 (2011).

10. L. P. Koh, J. Ghazoul, Spatially explicit scenario analysis for reconciling agricultural expansion, forest protection, and carbon conservation in Indonesia. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 107*, 11140-11144 (2010).

11. J. Garcia-Ulloa, S. Sloan, P. Pacheco, J. Ghazoul, L. P. Koh, Lowering environmental costs of oil-palm expansion in Colombia. *Conserv. Lett. 5*, 366-375 (2012).

12. A. D. Ziegler, J. Phelps, J. Q. Yuen, E. L. Webb, D. Lawrence, J. M. Fox, T. B. Bruun, S. J. Leisz, C. M. Ryan, W. Dressler, O. Mertz, U. Pascual, C. Padoch, L. P. Koh, Carbon outcomes of major land-cover transitions in SE Asia: Great uncertainties and REDD+ policy implications. *Glob. Chang. Biol. 18*, 3087-3099 (2012).

13. J. J. Gilroy, G. W. Prescott, J. S. Cardenas, P. González del Pliego Castañeda, A. Sánchez, L. E. Rojas-Murcia, C. A. Medina-Uribe, T. Haugaasen, D. P. Edwards, Minimizing the biodiversity impact of Neotropical oil palm development. *Glob. Chang. Biol. 21*, 1531-1540 (2015).

14. P. R. Furumo, T. M. Aide, Characterizing commercial oil palm expansion in Latin America: Land use change and trade. *Environ. Res. Lett. 12*, 024008 (2017).

15. D. Li, S. Niu, Y. Luo, Global patterns of the dynamics of soil carbon and nitrogen stocks following afforestation: A meta-analysis. *New Phytol. 195*, 172-181 (2012).

16. L. B. Guo, R. M. Gifford, Soil carbon stocks and land use change: A meta analysis. *Glob. Chang. Biol. 8*, 345-360 (2002).

17. L. A. Frazão, K. Paustian, C. E. Pellegrino Cerri, C. C. Cerri, Soil carbon stocks and changes after oil palm introduction in the Brazilian Amazon. *GCB Bioenergy 5*, 384-390 (2013).

18. I. Goodrick, P. N. Nelson, M. Banabas, C. M. Wurster, M. I. Bird, Soil carbon balance following conversion of grassland to oil palm. *GCB Bioenergy 7*, 263-272 (2015).

19. T. Guillaume, M. Damris, Y. Kuzyakov, Losses of soil carbon by converting tropical forest to plantations: Erosion and decomposition estimated by $\delta^{13}C$. *Glob. Chang. Biol. 21*, 3548-3560 (2015).

20. O. van Straaten, M. D. Corre, K. Wolf, M. Tchienkoua, E. Cuellar, R. B. Matthews, E. Veldkamp, Conversion of lowland tropical forests to tree cash crop plantations loses up to one-half of stored soil organic carbon. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 112*, 9956-9960 (2015).

21. N. Khasanah, M. van Noordwijk, H. Ningsih, S. Rahayu, Carbon neutral? No change in mineral soil carbon stock under oil palm plantations derived from forest or non-forest in Indonesia. *Agric. Ecosyst. Environ. 211*, 195-206 (2015).

22. D. R. Smith, T. J. Townsend, A. W. K. Choy, I. C. W. Hardy, S. Sjögersten, Short-term soil carbon sink potential of oil palm plantations. *GCB Bioenergy 4*, 588-596 (2012).

23. K. Allen, M. D. Corre, A. Tjoa, E. Veldkamp, Soil nitrogen-cycling responses to conversion of lowland forests to oil palm and rubber plantations in Sumatra, Indonesia. *PLoS ONE 10*, e0133325 (2015).

24. T. G. Bárcena, L. P. Kiær, L. Vesterdal, H. M. Stefánsdóttir, P. Gundersen, B. D. Sigurdsson, Soil carbon stock change following afforestation in Northern Europe: A meta-analysis. *Glob. Chang. Biol. 20*, 2393-2405 (2014).

25. K. I. Paul, P. J. Polglase, J. G. Nyakuengama, P. K. Khanna, Change in soil carbon following afforestation. *For. Ecol. Manage. 168*, 241-257 (2002).

26. A. Don, J. Schumacher, A. Freibauer, Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks - a meta-analysis. *Glob. Chang. Biol. 17*, 1658-1670 (2011).

27. N. Fierer, A. S. Allen, J. P. Schimel, P. A. Holden, Controls on microbial CO_2 production: A comparison of surface and subsurface soil horizons. *Glob. Chang. Biol. 9*, 1322-1332 (2003).

28. S. Fontaine, S. Barot, P. Barré, N. Bdioui, B. Mary, C. Rumpel, Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. *Nature 450*, 277-280 (2007).

29. E. Medina, Physiological ecology of neotropical savanna plants, en *Ecology of Tropical Savannas* B. J. Huntley, B. H. Walker, Eds. (Springer, 1982), pp. 308-335.

30. J. Balesdent, A. Mariotti, B. Guillet, Natural ^{13}C abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. Soil Biol. *Biochem. 19*, 25-30 (1987).

31. C. Castiblanco, A. Etter, T. M. Aide, Oil palm plantations in Colombia: A model of future expansion. *Environ. Sci. Policy 27*, 172-183 (2013).

32. A. Rueda-Zárate, P. Pacheco, *Políticas, mercados y modelos de producción* (CIFOR, 2015).

33. Fedepalma, Balance económico del sector palmero colombiano en 2014, *Boletín Económico* (2015).

34. E. Guimarães, Agropastoral Systems for the Tropical Savannas of Latin America (CIAT, 2004).

35. S. P. Braz, S. Urquiaga, B. J. R. Alves, C. P. Jantalia, A. Paula, P. Guimarães, C. A. dos Santos, S. C. dos Santos, É. F. Machado Pinheiro, R. M. Boddey, Soil carbon stocks under productive and degraded Brachiaria pastures in the Brazilian cerrado. *Soil Sci. Soc. Am. J. 77*, 914-928 (2013).

36. O. Mosquera, P. Buurman, B. L. Ramírez, M. C. Amézquita, Carbon stocks and dynamics under improved tropical pasture and silvopastoral systems in Colombian Amazonia. *Geoderma* 189-190, 81-86 (2012).

37. N. Khasanah, M. van Noordwijk, H. Ningsih, S. Wich, Aboveground carbon stocks in oil palm plantations and the threshold for carbon-neutral vegetation conversion on mineral soils. *Cogent Environ. Sci. 1*, 1119964 (2015).

38. C. E. P. Cerri, M. Easter, K. Paustian, K. Killian, K. Coleman, M. Bernoux, P. Falloon, D. S. Powlson, N. H. Batjes, E. Milne, C. C. Cerri, Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030. *Agric. Ecosyst. Environ. 122*, 58-72 (2007).

39. M. J. Fisher, S. P. Braz, R. S. M. Dos, S. Urquiaga, B. J. R. Alves, R. M. Boddey, Another dimension to grazing systems: Soil carbon. *Trop. Grasslands 41*, 65-83 (2007).

40. J. J. Jiménez, R. Lal, Mechanisms of C sequestration in soils of Latin America. *Crit. Rev. Plant Sci. 25*, 337-365 (2006).

41. T. Chiti, E. Grieco, L. Perugini, A. Rey, R. Valentini, Effect of the replacement of tropical forests with tree plantations on soil organic carbon levels in the Jomoro district, Ghana. *Plant and Soil 375*, 47-59 (2014).

42. M. de Blécourt, R. Brumme, J. Xu, M. D. Corre, E. Veldkamp, Soil carbon stocks decrease following conversion of secondary forests to rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations. *PLoS ONE 8*, e69357 (2013).

43. I. Lobe, W. Amelung, C. C. Du Preez, Losses of carbon and nitrogen with prolonged arable cropping from sandy soils of the South African Highveld. *Eur. J. Soil Sci. 52*, 93-101 (2001).

44. W. W. Covington, Changes in forest floor organic matter and nutrient content following clear cutting in northern Hardwoods. *Ecology 62*, 41-48 (2011).

45. D. R. Zak, D. F. Grigal, S. Gleeson, D. Tilman, Carbon and nitrogen cycling during old-field succession: Constraints on plant and microbial biomass. *Biochemistry 11*, 111-129 (1990).

46. J. Balesdent, I. Basile-Doelsch, J. Chadoeuf, S. Cornu, D. Derrien, Z. Fekiacova, C. Hatté, Atmosphere-soil carbon transfer as a function of soil depth. *Nature 559*, 599-602 (2018).

47. C. Jourdan, H. Rey, Modelling and simulation of the architecture and development of the oil-palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) root system. *Plant and Soil 190*, 217-233 (1997).

48. T. Guillaume, D. Maranguit, K. Murtilaksono, Y. Kuzyakov, Sensitivity and resistance of soil fertility indicators to land-use changes: New concept and examples from conversion of Indonesian rainforest to plantations. *Ecol. Indic. 67*, 49-57 (2016).

49. P. Lavelle, N. Rodríguez, O. Arguello, J. Bernal, C. Botero, P. Chaparro, Y. Gómez, A. Gutiérrez, M. del Pilar Hurtado, S. Loaiza, S. X. Pullido, E. Rodríguez, C. Sanabria, E. Velásquez, Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco river basin of Colombia. *Agric. Ecosyst. Environ. 185*, 106-117 (2014).

50. M. Gharibreza, J. K. Raj, I. Yusoff, Z. Othman, W. Z. W. M. Tahir, M. A. Ashraf, Land use changes and soil redistribution estimation using ^{137}Cs in the tropical Bera Lake catchment, Malaysia. *Soil Tillage Res. 131*, 1-10 (2013).

51. H.-H. Tao, E. M. Slade, K. J. Willis, J.-P. Caliman, J. L. Snaddon, Effects of soil management practices on soil fauna feeding activity in an Indonesian oil palm plantation. *Agric. Ecosyst. Environ. 218*, 133-140 (2016).

52. H.-H. Tao, J. L. Snaddon, E. M. Slade, J.-P. Caliman, R. H. Widodo, Suhardi, K. J. Willis, Longterm crop residue application maintains oil palm yield and temporal stability of production. *Agron. Sustain. Dev. 37*, 33 (2017).

53. S. F. Bender, C. Wagg, M. G. A. van der Heijden, An underground revolution: Biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends Ecol. Evol. 31*, 440-452 (2016).

54. J. Van Lent, K. Hergoualc'h, L. V. Verchot, Reviews and syntheses: Soil N_2O and NO emissions from land use and land-use change in the tropics and subtropics: a metaanalysis. *Biogeosciences 12*, 7299-7313 (2015).

55. N. Ocampo-Peñuela, J. Garcia-Ulloa, J. Ghazoul, A. Etter, Quantifying impacts of oil palm expansion on Colombia's threatened biodiversity. *Biol. Conserv. 224*, 117-121 (2018).

56. G. W. Prescott, J. J. Gilroy, T. Haugaasen, C. A. Medina Uribe, W. A. Foster, D. P. Edwards, Reducing the impacts of Neotropical oil palm development on functional diversity. *Biol. Conserv. 197*, 139-145 (2016).

57. R. Lal, Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science 304*, 1623-1627 (2004).

58. M. Romero-Ruiz, A. Etter, A. Sarmiento, K. Tansey, Spatial and temporal variability of fires in relation to ecosystems, land tenure and rainfall in savannas of northern South America. *Glob. Chang. Biol. 16*, 2013-2023 (2010).

59. A. Etter, A. Sarmiento, M. Romero, Land Use Changes (1970-2020) and Carbon Emissions in the Colombian Llanos, in Ecosystem Function in Savannas, M. J. Hill, N. P. Hanan, Eds. (Taylor & Francis Group, 2010), pp. 383-402.

60. P. N. Nelson, M. Banabas, I. Goodrick, M. J. Webb, N. I. Huth, D. O'Grady, Soil sampling in oil palm plantations: A practical design that accounts for lateral variability at the tree scale. *Plant and Soil 394*, 421-429 (2015).

61. M. M. Kotowska, C. Leuschner, T. Triadiati, S. Meriem, D. Hertel, Quantifying above- and belowground biomass carbon loss with forest conversion in tropical lowlands of Sumatra (Indonesia). *Glob. Chang. Biol. 21*, 3620-3634 (2015).

62. C. V Göttingen, Syahrinudin, The potential of oil palm and forest plantations for carbon sequestration on degraded land in Indonesia (Cuvillier Verlag, 2005), *Ecology and Development Series*, 28, p. 115.

63. J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, F. Wagner, *Intergovernmental Panel on Climate Change Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry Edited by* (2003); www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf, vol. 177.

64. G. W. Gee, J. W. Bauder, Particle-size analysis, in *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods, Agronomy Monograph No. 9, 2nd Edition* (American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, Madison, WI 1986), pp. 383-411.

65. P. Taylor, M. Street, L. Wt, N. Carolina: [suscripción número 731847469] Communications in Soil Science and Plant Analysis Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant, 37-41 (1984).

66. J. Major, M. Rondon, D. Molina, S. J. Riha, J. Lehmann, Nutrient Leaching in a Colombian savanna Oxisol amended with biochar. *J. Environ. Qual. 41,* 1076-1086 (2012).

67. J. Balesdent, A. Mariotti, Measurement of soil organic matter turnover using 13C natural abundance, in *Mass Spectrometry Soils*, T. W. Boutton, S. Yamasaki, Eds. (Marcel Dekker, 1996), pp. 83-111.

Reconocimientos: Agradecemos a las siguientes personas de Hacienda La Cabaña S. A. por permitirnos el acceso para realizar el trabajo de campo, por su información y su hospitalidad: J. Zambrano, Y. Mejía. W. Mican, C. Colmenares y otros. También agradecemos a R. Schlaepfer y P. Mariotte del laboratorio ECOS por su apoyo en el análisis estadístico. Financiación: este trabajo fue financiado por la Fundación Nacional Suiza de Ciencia (r4d-Ecosystems) "Paisaje Adaptable de la Palma de Aceite" No. 152019. Aportes de los autores: TG, JCQ y AB concibieron y diseñaron el estudio. AE contribuyó al trabajo de campo. JCQ llevó a cabo la investigación asistida por TG. JCQ realizó el análisis estadístico con aportes de TG y AB. JCQ preparó el manuscrito con contribuciones de todos los autores. TG, AB, AE y JG revisaron el manuscrito. Conflicto de intereses: todos los autores declaran que no tienen ningún conflicto de interés. Fecha y disponibilidad de materiales: todos los datos requeridos para evaluar las conclusiones en este artículo se encuentran en el mismo y/o en el material complementario. Los datos adicionales relacionados con este artículo pueden ser solicitados a los autores.

Estudio de un caso real sobre los cambios fisicoquímicos del aceite de palma crudo (*Elaeis guineensis*) durante la fritura de *akara*, albóndigas de pasta de alubia tradicionales, en Brasil*

A Real Case Study on the Physicochemical Changes in Crude Palm Oil (*Elaeis guineensis*) During the Deep-frying of *Akara*, Traditional Cowpea-paste Balls, in Brazil

Citación: Feitosa, S., Boffo, E. F., Batista, C. S. C., Velasco, J., Silva, C. S., Bonfim, R. & Almeida, D. T. Estudio de un caso real sobre los cambios fisicoquímicos del aceite de palma crudo (*Elaeis guineensis*) durante la fritura de *akara*, albóndigas de pasta de alubia tradicionales, en Brasil (Traductor Arenas, C.). *Palmas, 41*(1) 110-123.

Palabras clave: *akara*, aceite de palma crudo, fritura, Fri-check, RMN, Testo.

Keywords: Akara, crude palm oil, deep-frying, Fri-check, NMR, Testo.

* Traducido del original *A Real Case Study on the Physicochemical Changes in Crude Palm Oil (Elaeis guineensis) During the Deep-frying of Akara, Traditional Cowpea-paste Balls, in Brazil. Grasas Aceites* 70 (2), e305. doi: 10.3989/gya.0703182

©2019 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto, es distribuido bajo los términos de Licencia con la Atribución 4.0 Internacional de Creative Commons (CC BY 4.0).

Feitosa, S.
Facultad de Nutrición, Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Boffo, E. F.
Departamento de Química Orgánica, Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Batista, C. S. C.
Departamento de Química Orgánica, Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Velasco, J.
Instituto de la Grasa, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Silva, C. S.
Facultad de Nutrición, Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Bonfim, R.
Facultad de Nutrición, Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Almeida, D. T.
Facultad de Nutrición, Universidade Federal da Bahia (UFBA)
delia@ufba.br

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar los cambios fisicoquímicos del aceite de palma crudo durante un caso real de fritura de *akara*, pasta de alubia con forma redondeada cocinada y vendida en la calle en Brasil. *Akara* fue preparada de acuerdo con las prácticas tradicionales. Se aplicó fritura discontinua en cinco días consecutivos, fritando cinco horas al día. La formación

de compuestos polares se evaluó mediante el método oficial IUPAC y a través de pruebas rápidas basadas en medidas de propiedades físicas, Testo 270 y Fri-check. Además, se aplicó espectroscopía 1H-RMN para evaluar cambios fisicoquímicos. Los resultados mostraron que después de 15 horas de fritura el contenido de los compuestos polares totales (CPT) excedía el límite del 25 % establecido en la mayoría de las recomendaciones y regulaciones sobre aceites calentados. Este nivel fue alcanzado rápidamente debido al alto contenido de compuestos hidrolíticos detectados en el aceite fresco y al uso inapropiado de mezclas de aceite fresco y usado, utilizadas para la reposición de aceite. Las dos pruebas rápidas presentaron valores significativamente más bajos de CPT que el método oficial, probablemente debido a la elevada hidrólisis del aceite fresco. Por el contrario, los resultados de 1H-RMN exhibieron cambios en la composición de ácidos grasos que fueron similares a los proporcionados por el análisis común de cromatografía de gases (CG). Se recomienda el uso de aceites de palma crudos de mejor calidad inicial y reposición únicamente con aceite fresco para mejorar la calidad de *akara*.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the physicochemical changes in crude palm oil during a real case of deep-frying of *akara*, cowpea-paste balls, fried and sold in the streets of Brazil. Discontinuous frying over five consecutive days, using 5-h frying a day, was performed according to traditional practices. The formation of polar compounds was evaluated by the IUPAC official method and by quick tests based on mea-sures of physical properties, Testo 270 and Fri-check. In addition, 1H-NMR spectroscopy was applied to evalu-ate physicochemical changes. The results showed that after 15-h frying the total content of polar compounds (TPC) exceeded the limit of 25 % established in most of the recommendations and regulations on heated oils. Such a level was reached quickly due to the high content of hydrolytic compounds present in the fresh oil and to the inappropriate use of blends of fresh and used oil in the oil replenishment. The two quick tests presented significantly lower values for TPC than the official method, probably due to the elevated hydrolysis of the fresh oil. In contrast, 1H-NMR results exhibited changes in the fatty acid composition which were similar to those provided by the common GC analysis. The use of crude palm oils of better initial quality and replenishment with fresh oil only are recommended to improve the quality of the oil absorbed by *akara*.

Introducción

Los aceites de palma se derivan del fruto de la palma (*Elaeis guineensis*) con una relación equilibrada de ácidos grasos saturados e insaturados: 40 % de ácido oleico (ácido graso monoinsaturado); 10 % de ácido linoleico (ácido graso poliinsaturado); 45 % de ácido palmítico y 5 % de ácido esteárico (ácidos grasos saturados). Es una fuente rica en fitonutrientes como tocotrienoles, tocoferoles, carotenoides, fitoesteroles, escualeno y coenzima Q10, todos los cuales presentan propiedades nutricionales y contribuyen a aportar la estabilidad oxidativa (Baharin *et al*., 2011; Almeida *et al*., 2013).

Varios estudios realizados a lo largo de más de 50 años han evaluado las propiedades fisicoquímicas y el rendimiento de fritura de aceite de palma (AP) refinado, blanqueado y desodorizado (Machado *et al*., 2008; Koushki *et al*., 2015; Aniolowska y Kita, 2016). Este es uno de los aceites más producidos y consumidos en el mundo. Es utilizado en más de 150 países (USDA, 2018). Sin embargo, los estudios sobre el aceite de palma crudo (APC), especialmente los relacionados con los cambios fisicoquímicos durante la fritura, son escasos (Felzenszwalb *et al*., 2014; Almeida *et al*., 2015; 2017; Correia *et al*., 2017).

El APC ha sido utilizado en la región de Bahía durante siglos, después de que esclavos lo llevaron de

África a Brasil en el siglo XVI. Este APC es parte de la recreación de una sofisticada y extensa gastronomía bahiana y es, sin duda, uno de los principales aportes a la cocina brasileña, indispensable en varios platos típicos de este país (Almeida *et al*., 2013).

Considerado como uno de los tesoros nacionales irremplazables de Brasil, *akara* es una pasta de alubia que se hace en dicha nación. Mujeres vestidas en trajes regionales, llamadas *bainas de acarajé* las preparan y venden en las calles. En su elaboración, las alubias (*Vigna unguiculata* L. Walp) son partidas, decorticadas y maceradas en una pasta. Luego, se sazonan con cebolla rayada y sal, se les da forma de bola con una cuchara de madera y se fritan en APC (Rogério *et al*., 2014; Feitosa *et al.*, 2015). El *akara* es rico en proteínas, una fuente de micronutrientes esenciales y una comida callejera barata y accesible a las personas económicamente desfavorecidas que a menudo la comen como plato principal (Feitosa *et al*., 2015). Es preparado en las calles sin control de calidad. El momento de reemplazar la grasa se basa en la experiencia de la persona que lo cocina, que se basa en cambios fisicoquímicos observables, incluyendo cambios en el color, olor, gusto o sabor y liberación de humo.

La fritura profunda es un método de cocción que se caracteriza por el uso de altas temperaturas las cuales ocasionan procesos de degradación en el aceite debido a reacciones de polimerización, oxidación e hidrólisis. Estos llevan a cambios en las propiedades físicas, químicas y nutricionales del aceite. La formación de compuestos tóxicos y la reducción de los antioxidantes naturales compromete la esencia nutricional y los beneficios para la salud del aceite de fritura (Faladae *et al*., 2017). En la mayoría de los países con regulaciones o recomendaciones sobre los aceites comestibles calentados a temperaturas de fritura, el nivel de degradación está limitado al 25 % (w/w) de compuestos polares totales (CPT) (Firestone, 2007), llamados así debido a su mayor polaridad en comparación con los triacilgliceroles no alterados. En Bahía, se suele obtener APC de frutos que se han deteriorado debido a técnicas de cosecha y tratamientos agrícolas inapropiados (Almeida *et al*., 2013). Cuando el fruto sufre daños, las lipasas endógenas y exógenas de origen microbiano entran en contacto con el aceite y catalizan la degradación hidrolítica (Sambanthamurthi *et al*., 2000).

Considerando la relevancia del *akara* en Brasil y algunos estudios de fritura respecto a su APC, el objetivo de esta investigación fue evaluar los cambios fisicoquímicos de este durante la fritura del *akara* para conocer la calidad del aceite que se incorpora a la comida. Se realizó un estudio de seguimiento durante la fritura discontinua de la preparación del *akara.* Se evaluó la formación de compuestos polares siguiendo el método oficial IUPAC, y con pruebas rápidas basadas en la medición de propiedades físicas, Testo 270 y Fri-check. Adicionalmente, se aplicó una espectroscopia H-RMN para evaluar los cambios fisicoquímicos. Se evaluaron las pruebas rápidas y el método de espectroscopia para determinar su utilidad.

Materiales y métodos

Muestras de aceite

El *akara* fue preparado por una *baiana de acarajé* siguiendo las prácticas tradicionales (Rogéiro *et al*., 2014). Se adquirió un volumen de 30 L de APC (una mezcla de fases líquidas y sólidas) obtenido mediante extracción industrial en la ciudad de Nazaré (Brasil) y acondicionado en latas de aluminio en el Mercado de San Joaquín, en la ciudad de Salvador (Brasil). El aceite fue homogeneizado por completo a 45 °C. Se filtró un volumen de 20 mL de aceite fresco en un filtro de fibra de vidrio, se protegió con nitrógeno y se almacenó en una botella de ámbar a -20 °C hasta el momento del análisis (Jorge y Gonçalves, 1998).

La preparación siempre se hizo al aire libre. El tiempo total de fritura fue de 5 h por día, y este proceso se realizó durante 5 días consecutivos. La fritura comenzó con 5 L de APC, calentados en una sartén esmaltada (10 L de capacidad; 46 y 26 cm de diámetro externo e interno, respectivamente; 13 cm de altura) durante 12 minutos con presencia de cebolla blanca (~60 g). Cinco unidades de masa cruda (bolas uniformes de 95 g cada una) fueron añadidas sucesivamente y fritadas en el APC (475 g/L de aceite). La temperatura varió de 143 a 188 °C al comienzo (día 1) y de 159 a 178 °C al final (día 5). El aceite fue decantado al acabar el día, filtrado caliente y almacenado a temperatura ambiente en una sartén esmaltada con tapa hasta el siguiente día. Se repitió el mismo procedimiento durante los cuatro días siguientes. El tiempo total de fritura fue de 25 h.

La reposición del aceite se realizó según las prácticas de la *baiana*. Se añadió aceite fresco en los días 1 y 2, mientras que en los días siguientes se utilizaron mezclas de aceite fresco y usado (Tabla 1).

Determinaciones analíticas

Carotenoides totales

Se analizó el contenido total de carotenoides mediante una espectrofotometría, según Rodríguez-Amaya y Kimura (2004). El análisis se realizó en triplicado.

Valor de peróxido (VP)

Se analizaron los peróxidos en triplicado siguiendo el método AOCS Cd 8b-90 (AOCS, 2003).

Índice de estabilidad oxidativa (OSI)

Se realizó el OSI para las muestras de aceite en triplicado con un dispositivo Rancimat, utilizando un modelo 743 (Metrohm CH-9101, Herisau, Suiza). Se pesaron tres gramos de aceite en el recipiente de reacción y se tomaron las medidas a 120 °C con un caudal de aire de 20 L/h (Läubli y Bruttel, 1986).

Compuestos polares totales

Método estándar. El contenido de CPT se determinó mediante una cromatografía de adsorción según Dobarganes *et al.* (2000) con ligeras modificaciones. Se fraccionó una solución de 0,5 g/mL en el solvente de elución en una columna de vidrio (150 mm de largo, 10 mm i.d.) llena con gel de sílice (tamaño de partícula 0,063-0,200 mm y malla de 70-230). El sílice se preparó utilizando 5 g en 10 mL del solvente de elución. El contenido de agua del gel de sílice se ajustó previamente al 5 %. El solvente de elución consistió en petróleo ligero (b.p. 40-60 °C) y dietiléter 94:6 (v/v). Se obtuvo una primera fracción, consistente en compuestos no polares, con 60 mL del solvente de elución. Posteriormente, esta fracción fue elucidada con 50 mL de dietiléter. El solvente fue evaporado en un evaporador rotativo y luego con una corriente de nitrógeno. El contenido total de compuestos polares se determinó gravimétricamente.

Testo 270. Las muestras se analizaron insertando el sensor Testo en el aceite caliente (45 °C). Las mediciones se tomaron después de 30 s. El sensor fue calibrado antes de los análisis.

Fri-check. Las mediciones Fri-check se realizaron a 52 °C siguiendo el procedimiento descrito por Osawa *et al.* (2012).

Composición de los compuestos polares

Las fracciones polares obtenidas con el método estándar fueron analizadas mediante una cromatografía de exclusión por tamaño de alto rendimiento (HPSEC) con detección del índice refractivo para determinar los polímeros de triacilglicerol (TGP), los dímeros de triacilglicerol (TGD), monómeros oxidados de triacilglicerol (oxTGM), diacilgliceroles (DG) y ácidos grasos libres (FFA), es decir, grupos de compuestos con diferente peso molecular según Dobarganes *et al.* (2000). Las fracciones polares se disolvieron en tetrahidrofurano a una concentración de 10 mg/mL y fueron analizadas mediante HPSEC. El cromatógrafo HPSEC estaba equipado con un inyector Rheodyne 7725i con un bucle de muestras de 10-µL, una bomba HPLC Knauer 120 (Knauer, Berlín, Alemania) y un detector de índice refractivo Merck L-7490 (Merck, Darmstadt, Alemania). Se utilizaron dos columnas Å Ultrastyragel 100 y 500 (25 cm x 0,77 cm d. i.) lleno de copolímeros de estireno-divinilbenceno porosos y altamente reticulados (5 µm) (Agilent Technologies, Palo Alto, CA). Tetrahidrofurano a 1 mL/min fue la fase móvil.

Composición de ácidos grasos

La composición de ácidos grasos se determinó según el método del Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2005) para transformar las cadenas de acilo graso en ésteres metílicos de ácido graso (FAME) seguido de cromatografía de gas-líquido. Se utilizó un cromatógrafo de gases Shimazu, modelo 17A (Shimadzu gas, Japón), equipado con un inyector fraccionado/sin fracción, una columna capilar CP-Sil 88 (100 m x 0,25 mm d. i., 0,25 µm de grosor de película) (CP 7420 Varian, EE. UU.) y un detector de ionización de llama (FID). Los análisis se obtuvieron utilizando un volumen de inyección de un µL, una división de 1/40, He

Tabla 1. Volumen inicial y final (L) de aceite en la sartén y reabastecimiento durante la fritura discontinua de *akara*

		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Aceite inicial		5	4[a]	3,5[b]	3,5[d]	4[f]
Reabastecimiento	Aceite fresco	2	3	1,5	-	-
	Aceite usado	-	-	1,3[c]	1,5[c] 0,7[c]	2,3[e]
Aceite final		4[a]	5,6[b]	4,8[d]	4[f]	5,2

[a] aceite usado el día 1; [b] aceite usado el día 2; [c] mezcla de 3 L de aceite fresco con 2,1 L de aceite b; [d] aceite usado el día 3; [e] mezcla de 1 L de aceite fresco con 1,3 L de aceite d; [f] aceite usado el día 4. Según las prácticas de la *baiana*, el aceite se añadía cuando el volumen bajaba.

como gas portador a 1 mL·min^{-1} y aplicando el siguiente programa de temperatura: la temperatura del horno se mantuvo a 45 °C durante 2 min, luego se aumentó a 165 °C a 20 °C min^{-1} y se mantuvo durante 15 min, y luego se volvió a aumentar a 220 °C a 4 °C·min^{-1} y se mantuvo durante 35 min. El inyector y el detector se establecieron a 250° C. Los análisis se realizaron en triplicado.

La cantidad absoluta de ácidos grasos individuales se calculó considerando que los ácidos grasos saturados no sufren cambios sustanciales durante la fritura comparados con los insaturados. Por lo tanto, las cantidades de estos últimos fueron corregidas asumiendo que la suma total de ácidos grasos saturados fue constante durante la fritura (Dobarganes y Pérez-Camino, 1988).

Adquisición espectral 1H-RMN

Las muestras de APC que se mantuvieron congeladas a -20 °C fueron descongeladas inicialmente a temperatura ambiente en la oscuridad y posteriormente vortexadas durante 30 s. Las muestras fueron preparadas en triplicado disolviendo 30 mg del APC en 600 µL de $CDCI_3$ (99,8 %) que contiene 1 % de TMS. El solvente fue de Cambridge Isotope Laboratories, Inc. (EE. UU.). Todos los experimentos de RMN se registraron a 300 K utilizando un espectrómetro Varian Inova 500 operando a 11,7 T, equipado con una sonda de detección directa de 5-mm y observando ^{1}H a 500 MHz.

Se adquirieron los espectros 1H-RMN utilizando un ancho espectral de 5.998 Hz; 65.536 puntos de datos; ancho de pulso de 10,1 µs (90 °); retraso en la relajación de 3,0 s; tiempo de adquisición de 10,9 s y 64 escaneos. El retraso en la relajación se determinó mediante mediciones de T_1 con la ayuda de la recuperación de la inversión de la secuencia de pulsos y cambiando los valores de *t* de 0,1 a 10 s. Los espectros se procesaron utilizando 32.768 puntos de datos y aplicando una ampliación de la línea exponencial de 0,3 Hz para mejorar la sensibilidad antes de la transformación de Fourier. Los espectros se escalonaron con precisión y se ajustaron a la línea de base. Para evaluar la reproducibilidad de las mediciones ^{1}H-RMN, se analizaron tres réplicas de cada muestra. La corrección de fases para cada espectro se realizó manualmente y la corrección de línea de base se aplicó a todo el rango espectral. Los cambios químicos en ^{1}H-RMN se refirieron a la señal TMS (a 0,00 ppm) utilizando el *software* ACD/NMR Processor (Academic Edition, v. 12,01, Advanced Chemistry Development Inc.).

También se calculó la cantidad absoluta de ácidos grasos individuales considerando que los ácidos grasos saturados no sufren cambios sustanciales durante la fritura, en comparación con los ácidos grasos insaturados (Dobarganes y Pérez-Camino, 1988).

Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos se hicieron con *SPSS* 24. Todas las determinaciones analíticas se hicieron en triplicado. Se aplicó un análisis de regresión para evaluar las relaciones entre los parámetros de degradación química y física. El ajuste del modelo se juzgó por el coeficiente de determinación (R^2). La correlación lineal se evaluó mediante la correlación de Spearman (*r*).

Se aplicó un ANOVA de un factor muestra por muestra para evaluar las diferencias entre el método estándar de compuestos polares, el Testo y las pruebas Fri-check. Las diferencias entre las medias se determinaron utilizando la prueba de Tukey. Para evaluar los cambios fisicoquímicos en el aceite durante el tiempo de fritura se aplicó un Modelo Lineal General (GLM) con mediciones repetidas. Las diferencias entre los pares de medias se determinaron mediante la prueba de Bonferroni. La significancia se estableció en p <0,05.

Resultados y discusión

Caracterización del aceite fresco

Los resultados obtenidos para el aceite fresco se muestran en la Tabla 2. La composición de ácidos grasos y los niveles de carotenoides fueron típicos para el aceite de palma de *Elaeis guineensis*, que presenta una proporción de ácidos grasos saturados e insaturados de casi 50:50 % y un contenido de carotenoides de casi 600 mg/kg de aceite. Los contenidos de ácidos grasos individuales y carotenoides totales estaban dentro de los rangos encontrados en el *Codex Alimentarius* (2017) y los reportados anteriormente por los aceites de palma crudos de Brasil (Almeida *et al.,* 2013). El VP también corresponde con los valores normales para aceites crudos según el *Codex Alimentarius* (2017), que recomienda un máximo de 15 meq O_2/kg de aceite. Los niveles de los compuestos polares fueron relativamente altos, pero comunes para el aceite de palma crudo (Almeida *et al*., 2013).

Cambios fisicoquímicos en el aceite durante la fritura

Compuestos polares. El contenido total de compuestos polares (CPT) ha sido ampliamente utilizado para evaluar la calidad de los aceites de fritura. Corresponden a los productos formados durante las principales reacciones que tienen lugar durante la fritura. El CPT está compuesto de triacilgliceroles polimerizados, triacilgliceroles oxidados, diacilgliceroles y ácidos grasos libres, es decir, compuestos formados mediante degradación térmica, oxidativa e hidrolítica, respectivamente (Dobarganes *et al*., 2002).

Los cambios en los contenidos de CPT observados durante la fritura se muestran en la Tabla 3.

El contenido de CPT aumentó linealmente con el tiempo de fritura (R^2 = 0,96), según se observa en varios estudios sobre este tema (Olivero-David *et al*., 2017). Sin embargo, no se encontró un incremento significativo entre el primer y segundo día de fritura, es decir, entre los aceites utilizados durante 5 y 10 h, respectivamente. Este hecho puede atribuirse a la adición de aceite fresco. Esta adición no solo causa un efecto de dilución en los productos de la degradación, sino también proporciona protección debido a la reposición de antioxidantes (Romero *et al*., 1998). Después de 15 h de fritura, el APC excedió el límite del 25 % establecido en la mayoría de las recomendaciones y regulaciones de varios países (Firestone, 2007). Este hecho fue concomitante con la adición de una mezcla de aceite fresco y usado a partir del tercer día del estudio, lo cual enfatiza la importancia de reabastecer con aceite fresco.

En comparación con el método estándar, las dos pruebas rápidas, Testo 270 y Fri-check, proporcionaron niveles menores de CPT, entre 9,5 y 22,2 % y entre 5,2 y 16,7 %, respectivamente. Estas diferencias considerables con el método estándar pueden estar relacionadas con los niveles inusualmente altos de productos de hidrólisis que se encuentran en este tipo de aceite. Es bien sabido que la polimerización y la oxidación son las reacciones predominantes bajo condiciones de fritura. También ocurre hidrólisis, pero a un nivel mucho más inferior (Sebedio *et al*., 1996). La calibración de las pruebas rápidas, incluyendo aquellas basadas en propiedades físicas, se suele realizar utilizando aceites vegetales refinados comunes que suelen obtenerse de las semillas oleaginosas. Los niveles de productos de la hidrólisis en estos aceites son mínimos en comparación con los que se encuentran en el aceite de palma y más específicamente en los aceites crudos, como el utilizado en el presente estudio. Como resultado, se calibran las pruebas rápidas para medir los cambios causados por los compuestos más abundantes que se forman durante la fritura, es decir, polímeros y triacilgliceroles oxidados. A modo de ejemplo, el aporte de los productos de la hidrólisis a la viscosidad del aceite debería ser mucho menor que el producido por los compuestos de la polimerización, lo cual explicaría los bajos valores proporcionados por la prueba Fri-check.

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica del aceite de palma crudo (APC) fresco

Composición de ácidos grasos (%)	CODEX	APC
C10:0	nd	nd
C12:0	nd-0,5	0,21 ± 0,03
C14:0	0,5-2,0	0,75 ± 0,07
C16:0	39,3-47,5	39,19 ± 0,00
C18:0	3,5-6,0	5,48 ± 0,07
C18:1	36,0-44,0	43,3 ± 3,7
C18:2	9,0-12,0	10,62 ± 0,00
C20:0	nd-1,0	0,07 ± 0,10
C18:13	nd-0,5	nd
Saturados		45,7 ± 0,1
Insaturados		54,3 ± 3,7
Carotenoides (mg/kg)		584,9 ± 5,0
VP (meq/kg)		4,8 ± 0,1
CPT (%)		15,2 ± 0,1
TGP /%)		nd
TGD /%)		nd
oxTGM (%)		1,3 ± 0,1
DG (%)		8,7 ± 1,2
AGL* (%)		5,2 ± 0,5
OSI_{120}		4,8 ± 0,0

nd: no detectado; VP: valor de peróxido; CPT: total de compuestos polares; TGP: polímeros de triacilglicerol; TGD: dímeros de triacilglicerol; oxTGM: monómeros de triacilglicerol oxidados; DG: diacilgliceroles; AGL*: ácidos grasos libres y componentes polares menores; OSI_{120}: índice de estabilidad oxidativa a 120 °C. Los resultados expresan el valor medio ± la desviación estándar (n=3).

Tabla 3. Contenidos de los compuestos polares totales (CPT) determinados por el método estándar y estimado mediante Testo 270 y Fri-check en el APC durante la fritura

Tiempo de fritura (h)	CPT (%)	Testo 270 (%)	Fri-check (%)
0	14,0 ± 0,1 c	9,5 ± 0,5 b	5,2 ± 0,7 a
5	20,2 ± 1,5 c	11,5 ± 0,0 b	6,5 ± 0,6 a
10	20,1 ± 0,6 c	14,7 ± 0,7 b	7,0 ± 0,3 a
15	24,7 ± 0,2 c	17,5 ± 0,0 b	6,2 ± 06 a
20	27,5 ± 0,3 c	19,5 ± 0,5 b	7,9 ± 0,4 a
25	29,8 ± 0,7 c	22,2 ± 0,3 b	16,7 ± 1,4 a

Los resultados expresan el valor medio ± la desviación estándar (n = 3). Se aplicó ANOVA de un factor para la comparación de medias. Las diferencias se determinaron aplicando la prueba de Tukey. Las letras para cada muestra denotan diferencias significativas (p <0,05).

A pesar de las diferencias en los niveles de CPT proporcionadas por las pruebas Testo y Fri-check, ambas pruebas mostraron fuertes correlaciones lineales con el método estándar (r = 0,860 para Testo 270 y r = 0,947 para Fri-check). Este hecho indica que las dos pruebas respondieron bien a los cambios fisicoquímicos que ocurren en el aceite durante la fritura. En un estudio anterior, Testo 270 también mostró una correlación lineal con el método estándar, pero la correlación presentada por Fri-check fue pobre (Almeida *et al.*, 2017). La principal diferencia entre el estudio anterior y este es que, en ese momento, se evaluaron una gran variedad de aceites de palma crudos para fritura (recolectados en cada punto de venta de *akara*), con diferentes contenidos de sólidos. Por lo tanto, puede ser que la baja correlación estuviera ligada con la heterogeneidad de las muestras analizadas.

La formación de los compuestos polares fue analizada mediante HPSEC en muestras seleccionadas y los resultados se observan en la Tabla 4. Si bien no se encontró ninguna diferencia significativa para el contenido de CPT entre los aceites utilizados para la fritura de 5 y 10 h, la proporción de componentes fue ligeramente diferente. Según lo esperado, los niveles de los compuestos de polimerización y oxidación fueron un poco mayores para la muestra de 10 h. De acuerdo con otros estudios, no se encontraron diferencias significativas para los compuestos de hidrólisis, es decir, DG y AGL, como consecuencia de la fritura (Sebedio *et al.*, 1996; Olivero-David *et al.*, 2017). Considerando que los niveles de los productos de la hidrólisis fueron altos en el aceite fresco, el límite de 25 % de CPT se alcanzó cuando las degradaciones térmicas y oxidativas no fueron elevadas, en comparación con los aceites refinados obtenidos de semillas oleaginosas. Este hecho es de interés desde el punto de vista nutricional porque los DG y los AGL son los mismos compuestos producidos en la digestión de grasas y, por lo tanto, no afectan el valor nutricional de los aceites.

Composición de ácidos grasos. Según lo esperado, la composición de ácidos grasos determinada por la cromatografía de gases (CG) (Tabla 5) mostró pérdidas considerables de ácidos grasos insaturados durante la fritura. Se detectaron pérdidas significativas incluso a las 5 h de fritura. Al final del estudio, las pérdidas de ácidos oleicos y linoleico fueron del 13 % y el 26 %, respectivamente. Mientras que las pérdidas relativas fueron mayores para el ácido graso poliinsaturado, el ácido oleico mostró una mayor reducción en las cantidades absolutas (5,6 g/100 g de aceite). Este hecho puede atribuirse al contenido mucho más alto de ácido oleico y, especialmente, a las interacciones entre las reacciones termooxidativas de los ácidos oleico y linoleico (Morales *et al.*, 2012).

Carotenoides. Una caída constante en los carotenoides ocurrió simultáneamente con la formación de compuestos de la degradación. Al final del estudio, el nivel de carotenoides estaba prácticamente agotado, cayendo de 584,9 (± 5,0) $mg \cdot kg^{-1}$ a 21,5 (± 1,2) $mg \cdot kg^{-1}$, lo cual coincide con un informe previo (Correia *et al.*, 2017). Por lo tanto, debido a las pérdidas en estos componentes con propiedades antioxidantes, el aceite quedó parcialmente desprotegido después de 25 h de fritura.

Tabla 4. Formación de compuestos polares en el APC durante la fritura

Tiempo de fritura (h)	Total (%)	TGP (%)	TGD (%)	oxTGM (%)	DG (%)	AGL* (%)
0	15,2 ± 0,1 a	-	-	1,3 ± 0,1 a	8,7 ± 1,2 ab	5,2 ± 0,5 ab
5	20,2 ± 1,5 b	1,8 ± 0,2 a	0,7 ± 0,1 a	3,2 ± 0,2 b	8,7 ± 0,6 ab	5,7 ± 0,4 b
10	20,1 ± 0,6 b	2,3 ± 0,2 b	0,8 ± 0,0 a	4,6 ± 0,2 c	7,6 ± 0,3 a	4,7 ± 0,2 a
25	29,8 ± 0,7 c	6,1 ± 0,1 c	2,0 ± 0,1 b	6,4 ± 0,2 d	10,0 ± 0,3 b	5,3 ± 0,3 ab

Para las abreviaturas, véase la Tabla 1. Los resultados expresan el valor medio ± la desviación estándar (n=3). Se aplicó GLM con mediciones repetidas para comparar medias (n = 3). Las diferencias se determinaron aplicando la prueba de Bonferroni. Las letras para un grupo determinado de compuestos, denotan diferencias significativas (p <0,05).

Tabla 5. Cambios en la composición de ácidos grasos* de APC durante la fritura

	0 h	5 h	10 h	15 h	20 h	25 h
Ácidos grasos C12:0	0,21 ± 0,03	0,21 ± 0,00	0,21 ± 0,01	0,21 ± 0,00	0,20 ± 0,00	0,20 ± 0,00
C14:0	0,75 ± 0,07	0,73 ± 0,00	0,73 ± 0,04	0,73 ± 0,00	0,72 ± 0,01	0,73 ± 0,00
C16:0	39,19 ± 0,00	39,35 ± 0,25	39,35 ± 2,20	39,38 ± 0,04	39,38 ± 0,43	39,37 ± 0,02
C18:0	5,48 ± 0,07	5,28 ± 0,02	5,30 ± 0,29	5,31 ± 0,00	5,33 ± 0,05	5,35 ± 0,01
C18:1	43,27 ± 3,70 a	39,09 ± 0,19 ab	39,09 ± 2,36 ab	38,40 ± 0,02 ab	38,11 ± 0,39 b	37,68 ± 0,06 b
C18:2t	-	0,51 ± 0,00	0,51 ± 0,03	0,51 ± 0,00	0,50 ± 0,00	0,49 ± 0,00
C18:2	10,62 ± 0,00 a	9,57 ± 0,04 b	9,22 ± 0,52 bc	8,79 ± 0,00 cd	8,36 ± 0,08 de	7,88 ± 0,01 e
C20:0	0,07 ± 0,10	0,13 ± 0,00	0,13 ± 0,01	0,08 ± 0,07	0,06 ± 0,06	0,06 ± 0,05
Saturados	45,70 ± 0,14	45,70 ± 0,52	45,70 ± 1,60	45,70 ± 0,32	45,70 ± 0,73	45,70 ± 0,27
Insaturados	53,89 ± 3,70 a	49,17 ± 0,19 ab	48,82 ± 2,42 b	47,70 ± 0,02 b	46,97 ± 0,40 b	46,05 ± 0,06 b

*Datos corregidos considerando que los ácidos grasos saturados permanecieron sin cambios durante la fritura. Los resultados expresan el valor medio ± la desviación estándar (n = 3). Se aplicó GLM con mediciones repetidas para comparar medias (n = 3). Las diferencias se determinaron aplicando la prueba de Bonferroni. Las letras diferentes para un grupo determinado de compuestos denotan diferencias significativas (p <0,05).

Índice de estabilidad oxidativa. El índice de estabilidad oxidativa (OSI), determinado por la prueba Rancimat, es una medición ampliamente utilizada de la resistencia de los aceites a la oxidación bajo condiciones aceleradas, es decir, alta temperatura y disponibilidad de oxígeno. El OSI no proporciona información sobre el desempeño en fritura de los aceites exactamente debido a las diferentes condiciones y mecanismos de reacción involucrados en la prueba. No obstante, es una medida útil para evaluar varios aceites en un corto tiempo y para establecer un orden relativo de estabilidad oxidativa. A menos que el oxígeno no sea un factor limitante, el orden de estabilidad proporcionado por la prueba debería ser prácticamente el mismo que el obtenido a temperatura ambiente o moderada. Por lo tanto, el OSI puede utilizarse para conocer el comportamiento oxidativo de los aceites o alimentos que contienen grasa durante el almacenamiento (Velasco y Dobarganes, 2002). Adicionalmente, es una medida indirecta del equilibrio de antioxidantes/prooxidantes. De hecho, puede definirse como el tiempo necesario para agotar los antioxidantes por completo en las condiciones de prueba, es decir, cuando el aceite queda desprotegido y la oxidación se acelera. Según lo esperado, el OSI del aceite en este estudio bajó progresivamente durante la fritura como consecuencia de la acumulación de compuestos termooxidantes, los cuales aceleraron el proceso de degradación del aceite y de la pérdida gradual en los antioxidantes mencionada anteriormente (Figura 1). El OSI se redujo en 62,5 % al final del estudio de fritura.

Mediciones espectroscópicas de ^{1}H-RMN. La espectroscopia ^{1}H-RMN puede aplicarse para cuantificar las cadenas de ácidos grasos de triacilgliceroles y así estimar la composición de ácidos grasos (Barison *et al.*, 2010). La Figura 2 muestra los espectros obtenidos en el presente estudio. Las señales A y B corresponden al enlace de hidrógenos a β carbonilo carbono y a enlaces de hidrógeno a carbonos de metileno ubicados entre dos enlaces dobles (linoleato), respectivamente. Por lo tanto, las señales A y B se utilizan para determinar los ácidos grasos saturados y poliinsaturados, respectivamente. Además de la composición de ácidos grasos, el espectro ^{1}H-RMN también proporciona información sobre los productos de la degradación. Por ejemplo, los 1,2-diacilgliceroles se pueden estimar mediante los hidrógenos en las posiciones *sn*-3 y *sn*-2, proporcionados por las señales C y D, respectivamente. También es posible determinar los aldehídos del núcleo mediante la señal E, que corresponde al hidrógeno de los grupos formilo.

Figura 1. Cambios en el índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de palma crudo durante la fritura. Los resultados expresan el valor medio y las barras de error indican la desviación estándar (n = 3). Se aplicó GLM con mediciones repetidas para comparar medias (n = 3). Las diferencias se determinaron aplicando la prueba de Bonferroni. Las diferentes letras para un grupo determinado de compuestos denotan diferencias significativas (p < 0,05)

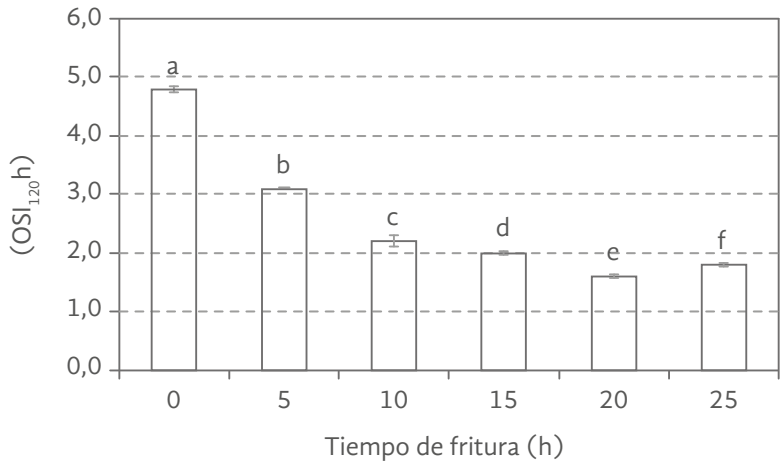


Figura 2. Espectro de ^{1}H-RMN del aceite de fritura utilizado. A: enlace de hidrógenos con β carbonilo carbono; B: enlace de hidrógenos a carbonos de metileno ubicados entre dos enlaces dobles (linoleato); C: CH_2OH (sn-3) de 1,2-diacilgliceroles; D: CHOCOR (sn-1) de 1,2-diacilgliceroles; E: n-aldehído formado durante el calentamiento

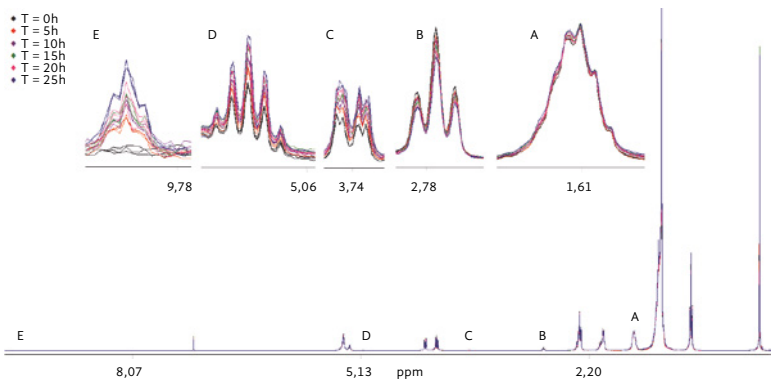


Tabla 6. Cambios en la composición de ácidos grasos* medidos mediante ^{1}H-RMN en el APC durante la fritura

	0 h	5 h	10 h	15 h	20 h	25 h
C18:1	40,51 ± 0,32 a	39,60 ± 0,43 b	39,00 ± 0,32 c	38,72 ± 0,18 de	38,30 ± 0,45 de	38,13 ± 0,37 f
C18:2	9,18 ± 0,50 a	8,48 ± 0,38 bc	8,24 ± 0,81 bc	7,50 ± 0,63 de	7,39 ± 0,57 de	6,80 ± 0,63 f
C18:3	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Saturados	50,31 ± 0,33	50,31 ± 0,61	50,31 ± 0,24	50,31 ± 0,49	50,31 ± 0,30	50,31 ± 0,43
Insaturados	49,69 ± 0,72 a	48,09 ± 0,62 b	47,24 ± 0,91 c	46,22 ± 0,71 d	45,69 ± 0,91 e	44,93 ± 0,53 f

* Datos corregidos considerando que los ácidos grasos saturados permanecieron sin cambios durante la fritura. Los resultados expresan el valor medio ± la desviación estándar (n = 3) nd = no detectado. Se aplicó GLM con mediciones repetidas para comparar medias (n = 3). Las diferencias se determinaron aplicando la prueba de Bonferroni. Las letras para un grupo determinado de compuestos denotan diferencias significativas (p <0,05).

Los resultados para la composición de ácidos grasos en las muestras de aceite estimada mediante ^{1}H-RMN se mencionan en la Tabla 6. Se observó un aumento significativo en la señal A al final del proceso de fritura, lo que indica un crecimiento en los compuestos saturados. Aunque esta señal se utiliza normalmente para mostrar un aumento en los ácidos grasos saturados (Barison *et al*., 2010), la formación de hidrógeno de metileno no significa necesariamente la formación de ácidos grasos saturados simples. Es sabido que la pérdida en los enlaces dobles ocurre simultáneamente con la formación de grupos funcionales que contienen oxígeno o en reacciones de condensación para formar compuestos de polimerización. En este aspecto, los resultados de Frankel *et al*. (1981) han mostrado que el metil oleato y el metil linoleato descompuestos térmicamente producían cerca del 77 % y el 67 % de los compuestos saturados, respectivamente.

Según lo esperado, con ^{1}H-RMN (Tabla 6) se observó una reducción progresiva en el ácido linoleico, que coincide con los resultados obtenidos por CG. En este aspecto, la reducción en la señal C con la fritura puede observarse en la Figura 2. El ácido oleico también se redujo de forma similar a lo observado por CG.

Conclusiones

Los resultados de este estudio muestran que el límite a los compuestos polares establecidos en la mayoría de las regulaciones y recomendaciones sobre grasas y aceites calentados se alcanzó cuando los compuestos de polimerización y oxidación aún eran bajos debido a los altos niveles de productos de la hidrólisis detectados en el aceite fresco. Las dos pruebas rápidas, Testo y Fri-check, difirieron del método oficial para detectar compuestos polares, probablemente debido, también, al alto nivel de hidrólisis en el aceite fresco. Adicionalmente, la espectroscopia ^{1}H-RMN puede ser una herramienta útil para estimar los cambios en la composición de ácidos grasos durante la fritura de forma rápida. Para mejorar la calidad del *akara*, se debería utilizar aceite de palma crudo de mejor calidad y cambiarse la preparación tradicional, utilizando aceite fresco únicamente para el reabastecimiento.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES) por la beca que recibieron y a Associação das Baianas de Acarajé e Mingau (ABAM) Salvador-Bahia por su cooperación.

Referencias

Almeida DT, Curvelo FM, Costa MM, Viana TV, Lima PC. 2017. Oxidative stability of crude palm oil after deep frying *akara* (Fried Bean Paste). *Food Sci. Tech-Brazil* 38, 142-147. https://doi.org/10.1590/1678-457x.02217

Almeida DT, Nunes IL, Conde PL, Rosa RPS, Rogério WF, Machado ER. 2013. A quality assessment of crude palm oil marketed in Bahia, Brazil. *Grasas Aceites* 64, 387-394. https://doi.org/10.3989/gya.118412

AOCS. 2003. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists` Society. 4th ed. Champaign, USA, AOCS [AOCS Official Methods Ca 5a-40, AOCS, Cd 8b-90].

Aniołowska M, Kita A. 2016. The effect of frying on glyceryl esters content in palm oil. *Food Chem.* 203, 95-103. https:// doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.028

Baharin BS, Latip RA, Man YC, Rahman RA. 2001. The effect of carotene extraction system on crude palm oil quality, carotene composition, and carotene stability during storage. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 78, 851-855. https://doi. org/10.1007/s11746-001-0354-4

Barison A, Silva CWP, Campos FR, Simonelli F, Lenz CA, Ferreira AG. 2010. A simple methodology for the determination of fatty acid composition in edible oils through ^{1}H-NMR spectroscopy. *Mag. Reson. Chem*. 48, 642-650. https://doi.org/10.1002/mrc.2629

Codex Alimentarius. 2017. Codex standard for named vegetable oils (Codex STAN 210-1999). Revisión 2017.

Correia LCA, Feitosa S, Matos DB, Almeida DT. 2017. Efeito da fritura de acarajé na composição de carotenoides e atividade antioxidante de óleo de palma bruto. *B. Cent. Pesqui. Proc. A* 34, 1-10. https://doi.org/10.5380/cep.v34i2.53184

Dobarganes MC, Pérez-Camino MC. 1988. Fatty acid composition: a useful tool for the determination of alteration level in heated fats. *Rev. Franc. Corps Gras* 35, 67-70.

Dobarganes MC, Velasco J, Dieffenbacher A. 2000. Determination of polar compounds polymerized and oxidized triacylglycerols, and diacylglycerols in oils and fats. *Pure Appl. Chem.* 72, 1563-1575. https://doi.org/10.1351/pac200072081563

Falade AO, Oboh G, Okoh AI. 2017. Potential health implications of the consumption of thermally-oxidized cooking oils - a Review. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 67, 95-105. https:// doi.org/10.1515/pjfns-2016-0028

Feitosa S, Korn MGA, Pinelli MS, Oliveira TRS, Boffo E, Greiner R, Almeida DT. 2015. Content of minerals and antinutritional factors in *akara* (Fried Cowpea Food). *IJFPT* 2, 43. https:// doi.org/10.13140/RG.2.1.1456.1127

Felzenszwalb I, Mazzei JLC, Feitosa S, Aiub CF, Almeida DT. 2014. Toxicological assessment of crude palm oil (*Elaeis guineensis* Jacq.) used in deep frying of *akara* (cowpea paste finger food). *Grasas Aceites* 65, 1-8. https://doi.org/10.3989/ gya.086913

Firestone D. 2007. Regulation of frying fat and oil, in Erickson MD (Ed.) *Deep Frying: Chemistry, Nutrition and Practical Applications*. 2nd ed, American Oil Chemists' Society Press, Champaign, USA. 373-385.

Frankel EN, Neff WE, Selke E. 1981. Analysis of autoxidized fats by gas chromatography-mass spectrometry: VII. Volatile thermal decomposition products of pure hydroperoxides from autoxidized and photosensitized oxidized methyl oleate, linoleate and linolenate. *Lipids* 16, 279-285. https://doi. org/10.1007/BF02534950

IAL. Instituto Adolfo Lutz. 2005. Óleos e gorduras, en IAL. (4ª ed.) Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Instituto Adolfo Lutz, São Paulo, 4-989.

Jorge N, Gonçalves AG. 1998. Comportamento do óleo de girassol, com alto teor de ácido oléico em termoxidação e fritura. *Food Sci. Tech-Brazil* 18, 335-342. https://doi. org/10.1590/S0101-20611998000300015

Koushki M, Nahidi M, Cheraghali F. 2015. Physico-chemical properties, fatty acid profile and nutrition in palm oil. *JPS* 6, 117-134. https://doi.org/10.22037/jps.v6i3.9772

Läubli MW, Bruttel PA. 1986. Determination of the oxidative stability of fats and oils: Comparison between the active oxygen method (AOCS Cd 12-57) and the Rancimat method. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 63, 792-795. https://doi. org/10.1007/BF02541966

Loganathan R, Subramaniam KM, Radhakrishnan AK, Choo Y, Teng K. 2017. Health-promoting effects of red palm oil: evidence from animal and human studies. *Nutr. Rev.* 75, 98-113. https://doi.org/10.1093/nutrit/nuw054

Machado ER, Dobarganes MC, Abrantes SMP. 2008. Palm and soybean oils alterations in the discontinued frying of potatoes. *Food Sci. Tech-Brazil* 28, 786-792. https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000400004

Morales A, Marmesat S, Dobarganes MC, Márquez-Ruiz G, Velasco J. 2012. Formation of hydroperoxy-, keto- and hydroxy-dienes in FAME from oils: Influence of temperature and addition of a-tocopherol. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 89, 675-684. https://doi.org/10.1007/s11746-011-1961-2

Olivero-David R, Mena C, Sánchez-Muniz FJ, Pérez-Jiménez MA, Holgado F, Bastida S, Velasco J. 2017. Frying performance of two virgin oils from *Cornicabra* olives with different ripeness indices. *Grasas Aceites* 68, e223. https:// doi.org/10.3989/gya.0666171

Osawa CC, Gonçalves LAG, Gumerato HF, Mendes FM. 2012. Study of the effectiveness of quick tests based on physical properties for the evaluation of used frying oil. *Food Control* 26, 525-530. https://doi.org/10.1016/j. foodcont.2012.01.008

Rodriguez-Amaya DB, Kimura M. 2004. *Harvestplus handbook for carotenoid analysis (HarvestPlus Technical Monograph Series 2*). International Food Policy Research Institute, Washington.

Rogério WF, Greiner R, Nunes IL, Feitosa S, Furtunato DMN, Almeida DT. 2014. Effect of preparation practices and the cowpea cultivar *Vigna unguiculata L. Walp* on the quality and content of *myo*-inositol phosphate in *akara* (fried bean paste). *Food Sci. Tech-Brazil* 34, 243-248. https://doi. org/10.1590/fst.2014.0040

Romero A, Cuesta C, Sánchez-Muniz J. 1998. Effect of oil replenishment during deep-fat frying of frozen foods in sunflower oil and high-oleic acid sunflower oil. *J. Am. Oil Chem. Soc*. **75**, 161-167. https://doi.org/10.1007/s11746-998-0028-5

Sambanthamurthi R, Sundram K, Tan Y-A. 2000. Chemistry and biochemistry of palm oil. *Progr. Lipid Res.* **39**, 507-558. https://doi.org/10.1016/S0163-7827(00)00015-1

Sebedio JL, Dobarganes MC, Márquez G, Wester I, Christie WW, Dobson G, Zwobada F, Chardigny JM, Mairot Th, Lahtinen R. 1996. Industrial production of crisps and pre-fried French fries using sunflower oils. *Grasas y Aceites* 47, 5-13. https://doi.org/10.3989/gya.1996.v47.i1-2.836

USDA. 2018. Oilseeds: World Markets and Trade. *United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, Office of Global Analysis*. World Agricultural Outlook Board, USDA. [Online]. Available: https://apps.fas.usda. gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf

Velasco J, Dobarganes C. 2002. Oxidative stability of virgin olive oil. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 104, 661-676. https:// doi.org/10.1002/1438-9312(200210)104:9/10<661::AID-EJLT661>3.0.CO;2-D

Publicaciones de Fedepalma y Cenipalma en otros medios

Publications by Fedepalma and Cenipalma in other Media

En esta edición compartimos cuatro trabajos de investigadores de Cenipalma que fueron publicados en medios internacionales. Los temas tratados fueron el desempeño económico del sector de palma de aceite y las emisiones de gases de efecto invernadero; también, el mejoramiento del proceso de monitoreo de la biodiversidad en las plantaciones de palma de aceite certificadas; otro documento publicado fue el uso de la tomografía de impedancia para diagnosticar presencia de la Pudrición basal del estípite; y además se publicó un trabajo sobre *Haplaxius crudus,* el transmisor del patógeno causante de la Marchitez letal, y la manera de controlar sus ninfas con la selección de nematodos entomopatógenos.

Los artículos originales pueden ser consultados en el CID Palmero. Para mayor información escribir al correo cidpalmero@fedepalma.org

Artículo

Emisiones de GEI y desempeño económico del sector del aceite de palma colombiano, estado actual y perspectivas a largo plazo

Autores: Nidia Elizabeth Ramírez-Contreras, David Arturo Munar Florez, Jesús Alberto García Núñez, Mauricio Mosquera Montoya & André PC Faaij.

Publicado en: *Journal of Cleaner Production,* volumen 258, febrero, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120757

Resumen: el aumento de las plantaciones de palma de aceite, tanto para obtener aceite de palma crudo (APC) como para el uso de la biomasa de palma para producir bioenergía y materiales, ha generado una creciente preocupación por el impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el ambiente. Colombia tiene el potencial de generar productos sostenibles a partir de biomasa de

palma de aceite, pero las emisiones nacionales de GEI provenientes de este sector aún no han sido reportadas. Aunque lograr la recopilación de los datos primarios totales del sector de la palma de aceite en Colombia, implica un gran desafío, para este estudio, se logró la recolección de datos del 70 % de la producción de racimos de fruta fresca (RFF). Por lo tanto, se analiza la situación actual de la producción de APC en Colombia, incluyendo 1) cálculo de emisiones de GEI, 2) índice de energía neta (NER) y 3) desempeño económico. Además, el análisis incluye dos escenarios futuros, donde la cadena de producción de APC es optimizada con el fin de reducir las emisiones de GEI. En el escenario futuro A la cadena de producción incluye biodiésel (BD), biogás, cogeneración (calor y electricidad) y compost; mientras que en el escenario futuro B se produce BD, biogás, cogeneración y *pellets*. Para todos los escenarios se utiliza como metodología de evaluación el ciclo de vida y el análisis económico. Los resultados muestran un potencial significativo para mejorar la producción actual de aceite de palma, incluida una reducción del 55 % en las emisiones de GEI. Sin embargo, para lograr esta reducción se debe mitigar el impacto del cambio en el uso del suelo, por lo que la expansión sostenible de la palma de aceite debería llevarse a cabo en áreas con bajo contenido de carbono o en áreas adecuadas/disponibles para el cultivo (p. ej. tierras de cultivo, pastizales). El cultivo de palma de aceite debe evitar la deforestación de los bosques naturales. Además, se debe aumentar el rendimiento del cultivo para minimizar el uso de la tierra, usar la biomasa para producir bioenergía y materiales, y capturar el biogás para reducir las emisiones de metano. En el ciclo de vida de producción de biodiésel, el análisis NER muestra que la energía fósil consumida es menor que la energía renovable producida. Con respecto al desempeño económico, muestra que, en una cadena de producción optimizada, el gasto de capital y el gasto operativo disminuirán aproximadamente un 20 %.

Artículo

Mejorar la gestión y el monitoreo de la biodiversidad a largo plazo en plantaciones certificadas de palma de aceite en Colombia centralizando los esfuerzos a nivel sectorial

Autores: Paul R. Furumo, Edgar Ignacio Barrera, Juan C. Espinosa, Gustavo Adolfo Gómez Zuluaga & T. Mitchell Aide

Publicado en: *Frontiers in Forests and Global Change* 2:46, agosto 2019, Australia, Open Access. doi: 10.3389/ffgc.2019.00046

Resumen: la expansión de los cultivos de productos básicos sigue siendo uno de los principales impulsores de la deforestación y la difamación en los trópicos. Las normas de certificación voluntaria son el mecanismo principal para hacer que la producción de productos básicos sea más sostenible y se basan en el marco de Alto Valor de Conservación (AVC) para proteger la biodiversidad en las fincas. En el sector de la palma de aceite, el enfoque de AVC requiere que los productores creen un plan de gestión y monitoreo para las especies y el hábitat en la finca, pero muchas empresas luchan con la interpretación e implementación de las recomendaciones de los informes de AVC. En este estudio, exploramos los desafíos para el monitoreo efectivo de la biodiversidad en las plantaciones de palma de aceite mediante la consulta de recomendaciones de veintiún informes de AVC para proyectos certificados por RSPO en América Latina, y entrevistas semiestructuradas con ocho extractoras de aceite de palma con certificación RSPO en Colombia para comprender cómo las empresas adoptan recomendaciones. Identificamos varias deficiencias en el proceso de monitoreo y gestión de AVC, incluida la falta de indicadores y orientación en los informes de AVC, el énfasis en el monitoreo operativo (es decir, de procedimiento) sobre el

estratégico (es decir, la efectividad), la excesiva dependencia de los encuentros incidentales de vida silvestre para el monitoreo de poblaciones, e importantes barreras técnicas y financieras que enfrentan las empresas. Proporcionamos recomendaciones para mejorar estos aspectos, incluida la adopción de variables esenciales de biodiversidad (VEB), variables de estado de población que unen los datos en bruto con indicadores globales para los formuladores de políticas, para guiar y estandarizar el monitoreo de las plantaciones. Concluimos proponiendo una estrategia para el monitoreo de la biodiversidad a largo plazo, impulsada por los VEB, y centralizada a nivel sectorial en Colombia para mejorar la estandarización y reducir los costos. Los esfuerzos actuales de la compañía hacen un seguimiento de los impulsores de las tendencias de biodiversidad que complementan los VEB, y deben continuar alentando la aceptación y la conciencia del personal sobre la importancia de la conservación de la biodiversidad.

Artículo

Evaluación del uso de la tomografía de impedancia eléctrica para determinar la presencia de la Pudrición basal del estípite (PBE) en cultivos de palma de aceite

Autores: Luis Felipe González Concha, Juan Sebastián Hernández, Edwin David Henao Henao, Mauricio Mosquera, Greicy Andrea Sarria, Elena Varón De Agudelo

Publicado en: *Fitopatología Colombia 2019*, volumen 43, número 1. https://bit.ly/2W5V67w

Resumen: La Pudrición basal del estípite (PBE) causada por *Ganoderma* spp., es la enfermedad más limitante de la palma de aceite en el Sudeste Asiático. En Colombia está creciendo su incidencia en áreas donde ha habido varias renovaciones de palma de aceite. No existe un método que permita la detección temprana de la PBE, porque cuando se detectan las estructuras de *Ganoderma* es demasiado tarde para realizar estrategias de manejo y evitar su diseminación. El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia y la rentabilidad del uso de la tomografía de impedancia eléctrica (TIE) para la detección temprana de la PBE. Esta investigación se llevó a cabo en Palmeras de la Costa (El Copey, Cesar). Se seleccionaron 209 Palmas, 138 aparentemente sanas y 71 con basidiocarpos de *Ganoderma*. Las palmas se analizaron mediante tomografía de impedancia eléctrica. La interpretación de estas imágenes fue realizada según el valor mínimo de resistencia eléctrica (Ω). Los resultados muestran que las palmas enfermas exhiben valores de resistencia eléctrica menores a 40Ω, mientras que en las palmas sanas el promedio fue de 62Ω. Se logró diferenciar tres grados de degradación del tejido (1-15Ω mayor degradación, 16-30Ω, intermedia y 31-40Ω menor degradación). El análisis de costo-beneficio indica que no es factible utilizar la tomografía de impedancia eléctrica, ya que los costos de determinar si una palma está afectada con PBE aumentarían de $ 117/palma a $ 85.308/palma. Este resultado es importante porque los cultivadores de palma afectados por la PBE tenían inquietudes acerca de la viabilidad de la TIE para su detección temprana.

Artículo

Selección de nematodos entomopatógenos para controlar las ninfas de *Haplaxius crudus* (Van Duzee) (Hemiptera: Cixiidae)

Autores: Miriam Rosero Guerrero y Álex Enrique Bustillo

Publicado en: *American Journal of Entomology*, volumen 3, número 1. doi: 10.11648/j.aje.20190301.14

Resumen: *Haplaxius crudus* es el transmisor del patógeno causante de la Marchitez letal, una de las principales enfermedades de la palma de aceite en Colombia. Su estado ninfal se alimenta de las gramíneas presentes en las plantaciones y el adulto del follaje de la palma. Con el objetivo de controlar el estado ninfal de *H. crudus* se evaluó la eficacia de los nematodos entomopatógenos: *Steinernema colombiense*, *S. websteri*, *Steinernema* sp. 1, *Steinernema* sp. 2, *Heterorhabditis bacteriophora*, *Heterorhabditis* sp. (Gua 31), *Heterorhabditis* sp. (Gua 236), *Heterorhabditis* sp. (CPHsp1301) y *Heterorhabditis* sp. (CPHsp1302). La patogenicidad se evaluó bajo condiciones de laboratorio en cajas Petri con raíces de *Paspalum virgatum*. La evaluación de la virulencia se realizó en casa de malla utilizando tubos de PVC y bandejas plásticas con *P. virgatum*. Una vez seleccionado el nematodo más virulento, se evaluó en tres dosis bajo condiciones simuladas de campo, para seleccionar la más eficaz. Todas las especies de nematodos evaluadas fueron patógenas a las ninfas de *H. crudus* siendo el IV estadío ninfal más susceptible alcanzando mortalidades superiores a 80 %. En relación con la virulencia, se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($P \leq 0,05$), causando los nematodos mortalidades entre 28,3 y 88,2 %. Se seleccionó *Heterorhabditis* sp. (CPHsp1301) colectado del suelo en plantaciones de palma, ya que causó una mortalidad del 78,4 % en dosis de 1.300 JI/cm^2 del área del suelo asperjada. Los resultados son promisorios para continuar con estudios bajo condiciones de plantaciones de palma de aceite comerciales.

Ian E. Henson

Despedida a un gran científico

Foto: Rodrigo Ruiz R.

Después de una larga enfermedad, Ian Henson, científico, fisiólogo, botánico, amigo de Colombia, del sector palmero, de Fedepalma y de Cenipalma, falleció el 20 de abril de 2020 en Inglaterra.

Su vida profesional empezó con el pregrado en Horticultura en la Royal Horticultural Society del Reino Unido. Luego obtuvo el grado en Botánica en la Universidad de Durham, seguido de un *PhD.* en Fisiología Vegetal, en la University College of Wales, Aberystwyth. Su amplia experiencia profesional incluyó investigación posdoctoral en el Departamento de Botánica de la Universidad de Glasgow, trabajos sobre resistencia a la sequía en el Instituto de Fitomejoramiento en Cambridge (en asocio con el Instituto Internacional de Investigación del Arroz de Filipinas) e investigación de la sequía en Australia Occidental. En los años 80 se vinculó al estudio en palma de aceite como Investigador Senior del Instituto de Investigación del Aceite de Palma (PORIM, por sus siglas en inglés), donde dirigió el programa de fisiología de la palma de aceite y después de un tiempo fuera, volvió a Malasia para vincularse a la Palm Oil Board (MPOB). Finalizó su actividad laboral como consultor independiente.

Ian Henson asesoró a Cenipalma en 1998-1999 y posteriormente en 2001-2002, y fue miembro del Consejo Técnico Consultivo 2010-2011. Durante su trayectoria, publicó extensamente en las áreas de fisiología de plantas y cultivos, micrometeorología de cultivos y modelamiento, con más de 100 artículos y reseñas sobre palma de aceite, y un número similar sobre otros temas. Además, desarrolló programas de *software* informático para simular la floración, el crecimiento y el rendimiento de la palma de aceite, y recientemente, para evaluar la huella de carbono de las plantaciones de palma de aceite.

Deja en el sector palmero colombiano un grato recuerdo como gran científico, y múltiples enseñanzas a sus alumnos, Hernán Mauricio Romero y Rodrigo Ruiz, quienes seguirán aportando a la investigación en palma de aceite.

Paz en su tumba.

Estas son algunas de sus publicaciones que pueden consultar en el CID Palmero, una forma de seguir transmitiendo su legado:

Henson, I. E. (2001). Marco analítico para identificar los factores que determinan las tasas de extracción de aceite. *Palmas, 22*(3), 29-38.

Henson, I. E. (2002). La poda en palma de aceite y relación entre el área foliar y el rendimiento. Una breve revisión de experimentos previos. *Palmas*, *23*(1), 9-14.

Henson, I. E. (2003). Promedio nacional de palma de aceite en Malasia: concepto y evaluación. *Palmas, 24*(4), 73-84.

Henson, I. E. (2004) ¿Puede la palma de aceite sustituir el bosque húmedo tropical? *Palmas, 25* (1) 95-105.

Henson, I. E. (2010). Modelos fisiológicos para la estimación del crecimiento, la floración y la producción del aceite de palma. *Palmas, 31*(especial), 278-290.

Henson, I. E. & Chang, K. C. (2010). Evaluación del impacto de la producción de aceite de palma sobre el calentamiento global (I) Un modelo de campo. *Palmas, 31*(3), 47-61.

Henson, I. E. & Chang, K. C. (2010). Evaluación del impacto de la producción de aceite de palma sobre el calentamiento global (II) Modelo para un cultivo individual. *Palmas, 31*(3), 63-77.

Henson, I., Ruiz-Romero, R. & Romero, H. M. (2012). The greenhouse gas balance of the oil palm industry in Colombia: a preliminary analysis. I. Carbon sequestration and carbon offsets. *Agronomía Colombiana*, *30*(3), 359-369.

Henson, I., Ruiz-Romero, R. & Romero, H. M. (2012). The greenhouse gas balance of the oil palm industry in Colombia: a preliminary analysis. II. Greenhouse gas emissions and carbon budget. *Agronomía Colombiana*, *30*(3), 370-378.

Ya están disponibles

Lineamientos generales del Plan gremial para la prevención y mitigación del contagio del COVID-19 en el sector palmero colombiano

En cumplimiento de las medidas de la declaratoria de emergencia sanitaria del Ministerio de Salud y Protección Social

Descargue el documento aquí:

https://www.cenipalma.org/wp-content/uploads/2020/05/lineamientos-generales-plan-gremial-COVID19.pdf

cenipalma | CON EL RESPALDO DE fedepalma

CON EL APOYO DEL FONDO DE FOMENTO PALMERO

Paute con nosotros

Comercialización
Alberto Vidal
Responsable de Mercadeo y Ventas

avidal@fedepalma.org
Teléfono: 3138600 ext. 1105
Celular: 301 695 2413
Bogotá, Colombia

En este número:

Monómeros	**Tapa 1**
Somos fruto del campo colombiano	**12**
AV composting	**123**
Lineamientos Covid-19	**130**
Fondo de Fomento Palmero	**Tapa 2**

Línea de atención al cliente:
(57 - 1) 472 2000 en Bogotá
01 8000 111 210 a nivel Nacional
www.4-72.com.co

El servicio de ***envíos*** de Colombia

4-72

Esta publicación es propiedad de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma, por tanto, ninguna parte del material ni su contenido, ni ninguna copia del mismo puede ser alterada en forma alguna, transmitida, copiada o distribuida a terceros sin el consentimiento expreso de la Federación. Al realizar la presente publicación, la Federación ha confiado en la información proveniente de fuentes públicas o fuentes debidamente publicadas. Contiene recomendaciones o sugerencias que profesionalmente resultan adecuadas e idóneas con base en el estado actual de la técnica, los estudios científicos, así como las investigaciones propias adelantadas. A menos que esté expresamente indicado, no se ha utilizado en esta publicación información sujeta a confidencialidad ni información privilegiada o aquella que pueda significar incumplimiento a la legislación sobre derechos de autor. La información contenida en esta publicación es de carácter estrictamente referencial y así debe ser tomada y está ajustada a las normas nacionales de competencia, Código de Ética y Buen Gobierno de la Federación, respetando en todo momento la libre participación de las empresas en el mercado, el bienestar de los consumidores y la eficiencia económica.

LA PALMA DE ACEITE, UNA AGROINDUSTRIA EFICIENTE, SOSTENIBLE Y MUNDIALMENTE COMPETITIVA

PALMAS

La Revista Palmas Volumen 41, Número 1, fue editada por la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma. Se terminó de imprimir y encuadernar en los talleres de Legis en la ciudad de Bogotá-Colombia, con un tiraje de 2.050 ejemplares sobre papel Earth Pack de 90 g.

Gracias a la oportuna contribución de los palmicultores al Fondo de Fomento Palmero

trabajamos por una palmicultura colombiana competitiva y sostenible

La cuenta del Fondo de Fomento Palmero es administrada por la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma

Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma
Centro Empresarial Pontevedra. Calle 98 #70-91, piso 14
PBX: (57-1) 313 8600
Bogotá, D.C. - Colombia
www.fedepalma.org