

Secuestro de carbono para altos rendimientos de la palma de aceite*

Sequestering Carbon for High Oil Palm Yields

CITACIÓN: Pulver, E. (2019). Secuestro de carbono para altos rendimientos de la palma de aceite. *Palmas*, 40 (Especial, tomo I), 177-184.

PALABRAS CLAVE: secuestro de carbono en el suelo, estrés por sequía, mejoras de rendimiento, mantillo.

KEYWORDS: carbon sequestration in soils, drought stress, yield improvements, mulch.

*Artículo original recibido en inglés y traducido por Carlos Arenas París.



EDWARD PULVER
Asesor internacional
International Advisor

Resumen

No existen otros cultivos agroindustriales que tengan tan mala fama como el de la palma de aceite. La deforestación, la destrucción del hábitat de la vida silvestre y la contaminación del aire producida por la combustión son apenas algunas de las descripciones negativas asociadas a este cultivo. Si bien la producción de palma de aceite en Colombia no ha surgido a expensas de grandes problemas ambientales, la imagen internacional salpica a todos los productores. Otro de los problemas que afronta Colombia a escala internacional es el rendimiento relativamente bajo y poco competitivo de su sector palmero, por lo que se hace necesario desarrollar un programa que haga énfasis en la producción ecológica y, en paralelo, estimule el rendimiento. Las principales regiones palmicultoras de Colombia muestran marcados períodos de sequía que varían de una región a otra, así como una disponibilidad de materia orgánica reducida, lo cual limita la retención de agua. Al respecto, la aplicación de mulch de racimos de fruta fresca, la colocación estratégica de hojas de poda y el uso eficaz de coberturas son medios para incrementar la

materia orgánica del suelo. Las observaciones realizadas en numerosos lotes cultivados demuestran que la adopción de estas sencillas prácticas permite incrementar por lo menos 1 % la materia orgánica del suelo, así como duplicar la retención de agua del cultivo de palma de aceite. Los efectos de agregar materia orgánica a los suelos son la reducción de las pérdidas de rendimiento por causa del estrés hídrico, el aumento de la infiltración de agua, la reducción de los costos de riego y el aumento de la eficiencia de los nutrientes, lo cual se traduce en un aumento significativo del rendimiento. Nuestro enfoque se asemeja a los del “cultivo de carbono” (*carbon farming*), el secuestro de carbono y la agricultura regenerativa, donde el uso de subproductos y coberturas con el fin de incrementar la materia orgánica del suelo tiene consecuencias benéficas sobre los gases de efecto invernadero; es decir, se secuestra más carbono en el suelo del que se emite como resultado de la producción. Sobre este escenario, Colombia debe fomentar la producción de palma ecológica de alto rendimiento, lo cual le daría a la producción nacional una ventaja competitiva frente a los demás países productores, demostrando que la producción de palma de aceite en Colombia puede ser parte de la solución del cambio climático.

Abstract

No other industrial crop suffers from such a bad image as oil palm. Deforestation, destruction of wildlife habitat and air pollution from burning are a few of the negative descriptions associated with this crop. Although oil palm production in Colombia has not occurred at the expense of the major environmental concerns, the international image affects oil palm producers worldwide. The other issue confronting Colombia on an international scale is the relatively low and uncompetitive yields. Therefore, oil palm agribusiness in this country needs to pursue a program that highlights ecofriendly production that simultaneously stimulates yields. The major palm producing regions in Colombia have a distinct dry season that is highly variable among regions and low soil organic matter that limits water retention. Mulch with empty fresh fruit bunches; strategically locating pruned leaves and effective use of cover crops are means of increasing soil organic matter. Observations from numerous farmers' fields demonstrate that soil organic matter can be increased by at least 1% year by these simple means and doubling water retention. The impact from additional soil organic matter is reduced yield losses due to water stress, increased water infiltration, reduced irrigation costs and greater nutrient efficiency, resulting in significantly higher yields. Our approach is similar to carbon farming, carbon sequestering and regenerative agriculture. Use of by-products and cover crops to increase soil organic matter is carbon sequestering that has a positive effect on greenhouse gases; that is, more carbon is sequestered in the soil than emitted from production. Colombia needs to promote high-yielding eco-friendly palm production thus giving national production a competitive edge. The work in Colombia clearly demonstrates that oil palm production can be part of the solution to climate change and not contribute to pollution.

Introducción

Existe evidencia convincente de que la producción de aceite de palma genera consecuencias ambientales graves. Lo más importante es la pérdida del *stock* de carbono sobre el suelo (SCS) cuando el bosque o turba se convierte a palma de aceite; conocido comúnmente como cambio del uso de la tierra (CUT) (Gibbs *et al.*, 2010; Henson, 2009; Lucey *et al.*, 2014; Wicke *et al.*, 2008). Un bosque tropical tiene apro-

ximadamente 400 t/ha de carbono almacenado, en contraste con una plantación madura de palma, que posee menos de 100 t/ha de carbono secuestrado (Barthel *et al.*, 2018). Es obvio que cuando un bosque se convierte en palma hay una pérdida neta de carbono secuestrado, emitido como CO₂, que contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Chase & Henson, 2010; Henson, 2009).

Por otra parte, el drenaje de los suelos de turba para el cultivo de palma, común en algunas partes del Sudeste Asiático, es aún más perjudicial, dado que el carbono secuestrado en la turba se estima en 1.500 t/ha (Koh *et al.*, 2011; Miettinen *et al.*, 2016). En conclusión, el CUT de suelos de bosque y turba para cultivar palma de aceite está contribuyendo a la generación de GEI, resultando en la caracterización de la palma de aceite como un “cultivo sucio” desde la óptica ambiental (Boucher *et al.*, 2011). Esta reputación está basada en las prácticas de Malasia e Indonesia, lo cual es entendible, desde una perspectiva global, dado que estos dos países representan más del 85 % de la producción mundial de palma de aceite.

En contraste con el Sudeste Asiático, el cultivo de palma en Colombia se ha desarrollado sobre pastos de baja biomasa y, en menor medida, arroz pluvial de mínima productividad (Henson *et al.*, 2012a; Henson, *et al.*, 2012b), cuyo secuestro de carbono se estima en menos de 40 t/ha para los pastizales (pastos no mejorados) y en menos de 5 t/ha para el caso de arroz pluvial. Sobre este tema, Henson *et al.* (2012b) reportaron que en todo el país el saldo de GEI era positivo, puesto que el total del carbono secuestrado por el cultivo de palma de aceite superaba las emisiones en más de 12.000 t/año. Este fenómeno hace que Colombia sea “única” en el mundo de la palma.

La información sobre las emisiones de GEI causadas principalmente por CUT se concentra en los *stocks* de SCS. Adicionalmente, los resultados muestran que el progreso de la palma de aceite en Colombia está ocurriendo con una clara conciencia ambiental. Este informe discute un tema que ha sido fuertemente promovido en el país: el secuestro de carbono en el suelo. Se hace énfasis en las actividades de Extensión que buscan fomentar el uso de residuos de cultivos y cultivos de cobertura para aumentar el material orgánico del suelo, el secuestro de carbono y, simultáneamente, los rendimientos.

Secuestro de carbono en el suelo

El suelo es el principal medio de almacenamiento del carbono producido por fotosíntesis (Swift, 2001). Se estima que el suelo acumula una mayor cantidad de carbono que la vegetación y la atmósfera de la tierra combinadas. Una plantación madura

de palma tiene aproximadamente 100 t/ha de carbono almacenado en los componentes que se encuentran por encima del suelo. Un suelo que contiene 2 % de materia orgánica tendrá cerca de 80 t/ha de este. El secuestro de C en el suelo ofrece un medio para mitigar el cambio climático. Además, la materia orgánica mejora la salud del suelo, aumentando la infiltración de agua, la capacidad de retención de agua y de nutrientes, al tiempo de apoyar la actividad microbiana beneficiosa.

El secuestro de carbono es altamente variable, pues depende de la composición y cantidad de biomasa, las propiedades fisicoquímicas del suelo y los factores ambientales. En el caso de la palma de aceite, la cantidad de carbono secuestrado se ve altamente afectada por el volumen de materia agregada al suelo, principalmente frondas, racimos de fruta fresca vacíos (RFFV) y residuos de cultivos de cobertura, los cuales serán abordados a continuación.

Frondas

La poda resulta en el reciclaje de biomasa y su cantidad depende de la edad, la nutrición, las condiciones hidrológicas, la incidencia de enfermedades/insectos y el material genético de la planta. Normalmente, las frondas frescas contienen aproximadamente 30 % de materia seca o 15 % de C. Se podan cerca de 25 frondas por palma en el año y en un cultivo maduro cada una pesará más o menos 3 kg, lo que equivale a 3 t/ha de materia seca asumiendo una población de 125 palmas/ha. Los híbridos producen frondas mucho más grandes, con aproximadamente 6 kg/fronda de peso fresco, resultando en un total de materia seca de casi 5 t/ha. Estos estimativos están basados en determinaciones hechas en la plantación por el personal de Extensión; sin embargo, en la literatura publicada, el reciclaje de frondas es altamente variable, entre 2 y 7 t/ha de materia seca.

Racimos de fruta fresca vacíos (RFFV)

La cantidad de C almacenada en los RFFV es directamente proporcional al rendimiento. Por lo general, los RFFV representan 40 % del peso fresco del racimo de fruta fresca (RFF). En consecuencia, un rendimiento de campo de 20 t/ha de RFF resultará en aproximada-

mente 8 t/ha de RFFV, lo que da como resultado 3,2 t/ha de materia orgánica seca con un rendimiento de campo de 20 t/ha. Cada vez es más frecuente procesar (prensar) los RFFV para remover pequeñas cantidades de aceite restante. Esto resulta en un producto que puede ser utilizado para absorber el efluente de la molienda del aceite de palma mediante compostaje. Esta técnica no afecta el secuestro de C en el suelo de los RFFV, pero tiene la ventaja añadida de que reduce significativamente las emisiones de metano del efluente (Rodríguez *et al.*, 2015).

Cultivos de cobertura

En Colombia se promueven tres cultivos de cobertura: *Mucuna bracteata*, *Mucuna pruriens* y *Desmodium maquenque*. La selección del cultivo de cobertura depende de su objetivo de uso, ya sea el establecimiento rápido, la facilidad de manejo o la capacidad para suprimir especies de gramíneas. En términos de producción de biomasa, en la región de los Llanos Orientales se prefiere el uso de *M. bracteata*, ya que es capaz de producir 2,8 t/ha de materia seca; sin embargo, esta también es la más difícil de manejar y debe ser cortada frecuentemente para evitar que trepe a la palma (Delgado *et al.*, 2015).

Se estima que la biomasa total de frondas recicladas, RFFV y cultivos de cobertura es de aproximadamente 10 t/ha de materia orgánica seca, con cada fuente aportando un tercio del total. Esto representa aproximadamente 5 t/ha de carbono al año que puede ser secuestrado en el suelo, sin considerar las pérdidas por la oxidación de la superficie durante la descomposición. El uso efectivo de los residuos de cultivos y los cultivos de cobertura para secuestrar el carbono del suelo, la reducción del metano GEI potencial por medio del compostaje de los RFFV y los efluentes de la molienda,

mejoran aún más la “singularidad” de la producción de palma de aceite en Colombia.

Uso de materia orgánica reciclada para mejorar la productividad

Las preocupaciones ambientales son un componente principal de la producción moderna de palma de aceite en Colombia. No obstante, las prácticas que son ambientalmente sólidas también deben ser económicamente viables para que los agricultores avancen hacia su adopción. Si bien hay diferencias entre las regiones, todas tienen un periodo de sequía. Se estima que el déficit hídrico en la Zona Oriental palmera es de aproximadamente 250 mm durante tres meses y en la Zona Central cercano a 200 mm en dos meses. En la Zona Norte el déficit es mucho más pronunciado, alcanzando los 600 mm durante los meses (4-5) de la temporada seca. Utilizando la “regla general” de que un déficit de agua de 100 mm reduce el rendimiento potencial en 10 %, se estima que las pérdidas en las zonas Oriental y Central son de aproximadamente el 25 % y de más del 60 % en la Zona Norte.

Casi todos los suelos en las regiones de cultivo de palma de aceite en Colombia han sido caracterizados como de baja materia orgánica (menos del 2 %) y con propiedades de textura que resultan en una capacidad de retención del agua limitada (Saxton & Rawls, 2006). Se estima que la demanda de agua del cultivo durante la temporada seca es de 1.500 m³/ha/mes, asumiendo una ETP de 150 mm/mes, y en la Zona Norte puede superar los 200 mm durante enero-febrero. Además, las propiedades del suelo limitan la capacidad de retención del agua a tan solo 500-800 m³, indicando que en las zonas Oriental y Central solo hay suficiente agua almacenada en el suelo para satisfacer

aproximadamente 15 días de demanda, lo cual significa que el cultivo sufrirá estrés hídrico durante, al menos, 45 días. Por su parte, en la Zona Norte es suficiente para tan solo 10 días, indicando que se requieren cuatro irrigaciones al mes para eliminar el estrés hídrico.

La selección del cultivo de cobertura depende de su objetivo de uso, ya sea el establecimiento rápido, la facilidad de manejo o la capacidad para suprimir especies de gramíneas.

La materia orgánica del suelo tiene grandes efectos sobre la retención de agua del suelo (Huntington, 2007). La diferencia entre el agua retenida a la “capacidad del campo” y el “punto permanente de marchitez” se define como la capacidad disponible de agua (CDA), la cual está directamente relacionada con la materia orgánica del suelo, dado que aumenta la cantidad de agua retenida a capacidad de campo muy por encima del punto de marchitez. En suelos de textura ligera, un incremento de 1 % en la materia orgánica acrecienta el volumen de agua retenida a capacidad de campo en más del triple, pero no tiene efectos sobre el agua retenida en el punto de marchitez, resultando en un aumento significativo en la CDA. En suelos de textura pesada, el volumen de agua retenido a capacidad de campo se eleva en cinco veces por cada aumento porcentual en la materia orgánica del suelo, mientras que el agua retenida en el punto de marchitez no cambia. La materia orgánica incrementa la retención de agua al alterar la estructura del suelo que aumenta su porosidad y, por lo tanto, la infiltración de agua.

Es pertinente mencionar que la materia orgánica del suelo altera enormemente la actividad microbiana y promueve las lombrices de tierra. Mejoras en la textura del suelo, la retención e infiltración de agua, junto con mayores sustratos por la descomposición de materia orgánica, producen un buen ambiente para la formación de raíces. Poco tiempo después de la aplicación de materia orgánica y debajo de esta, es común observar el crecimiento de raíces alimentadoras, cuya concentración permite la administración de fertilizantes directamente encima del mantillo, elevando así su eficiencia.

Mejorar la materia orgánica del suelo no es una tarea fácil. Aumentarla en 1 % dentro de una superficie de 50 cm requeriría casi 50 t/ha de materia orgánica seca. Anualmente, solo hay cerca de 10 t/ha de biomasa disponible de frondas, RFFV y cultivos de cobertura. Aunque existen varios informes respecto a la aplicación de RFFV en la palma, la mayoría han estado enfocados al reciclaje de nutrientes y utilizan grandes cantidades con varias aplicaciones anuales (Bakar *et al.*, 2011; Tao *et al.*, 2017). Sin embargo, en el trabajo reportado se observan aumentos en la materia orgánica del suelo, confirmando que el secuestro de carbono en el suelo con residuos de palma es posible.

En resumen, la cantidad total de biomasa que se recicla de la producción es significativa y puede resultar en un mayor secuestro de C en el suelo. No obstante, el aumento en la retención de agua del suelo debido a la aplicación de residuos de palma no ha sido estudiado, presumiblemente debido a la falta de estrés hídrico en Malasia, país que tiene una precipitación anual uniforme. Por lo general, las mejoras en la materia orgánica del suelo son a largo plazo debido a la disponibilidad limitada de residuos del cultivo y/o a los costos asociados con su transporte y aplicación en campo.

Creación de sumideros

Es claro que mejorar la materia orgánica del suelo en toda la superficie de un cultivo de palma no es posible desde una perspectiva práctica. Para superar esta limitación, la materia orgánica se aplica a un área de influencia alrededor de cada palma. Al ser mucho más pequeña, la cantidad requerida se reduce, pero sigue siendo adecuada para aumentar la retención de agua del suelo de manera significativa y, posteriormente, el rendimiento. El área superficial de influencia de una palma madura es de aproximadamente 70 m², asumiendo una población de 142 palmas/ha. La zona de raíz activa de un árbol maduro se concentra dentro de los primeros 50 cm del perfil del suelo, resultando en un volumen de cerca de 35 m³. Asumiendo una demanda de agua de 1.500 m³/mes (ETP de 150 mm), se debe almacenar dentro de 35 m³ para cumplir con los requisitos hídricos del cultivo, lo que representa un total de 10,5 m³/palma/mes.

Un anillo alrededor de la palma que comience en la línea goteo ocupa aproximadamente 20 m² y tiene un volumen de 10 m³, asumiendo una zona de raíz activa de 50 cm. Toda la materia orgánica se concentra en esta área, creando un “sumidero” o “banco” donde se puede almacenar el agua. Si bien el banco representa solo el 28 % del área, el rápido aumento en materia orgánica le permite retener un volumen de agua igual o mayor al 72 % restante. La aplicación continua de materia orgánica en el sumidero resulta en un rápido incremento de esta en el suelo y, tan solo cuatro años después, se puede almacenar agua adecuada para satisfacer por completo la demanda mensual en áreas de estrés hídrico limitado, tales como las zonas Oriental y Central.

El volumen del banco no es constante y se puede ampliar con el tiempo, dependiendo de la disponibilidad de materia orgánica. En el programa de Extensión es común comenzar a formar el anillo con RFFV y extender su tamaño utilizando frondas podadas y/o cortes de los cultivos de cobertura. El uso de estos últimos como mantillo se conoce como “cultivo de carbono” y, actualmente, es la tecnología agrícola más promovida en los Estados Unidos y en el Reino Unido.

Impacto sobre el rendimiento

El programa de Extensión de Cenipalma está enfocado en mejorar el rendimiento de los cultivos de palma de aceite en Colombia, siendo el uso de sumideros con alto contenido de materia orgánica uno de los principales objetos de estudio. En las fases iniciales, el apoyo del Fondo Común para Productos Básicos (*Common Fund for Commodities*) permitió que el trabajo incluyera a Ecuador. En este país, en menos de dos años mejoró el rendimiento de 22 fincas en 40 %. En Colombia, la mejora varía entre 4-7 t/ha/año y se estima que más de 120.000 ha están utilizando esta tecnología.

El impacto sobre el rendimiento es rápido. Dentro de los primeros seis meses se observaron aumentos significativos en el peso de los RFF y un año después se evidenció una mayor producción de RFF. La hipótesis es que los resultados inmediatos se deben a la mejor retención del agua, lo que permite que el RFF se llene completamente durante la sequía, evitando el aborto en las etapas tempranas del periodo reproductivo. Esto es inusual, ya que casi todos los reportes de incrementos de rendimiento en la palma solo se observan después de una fase de retraso de dos años. Adicionalmente se puede evidenciar la proliferación de raíces alimentadoras dentro del sumidero tan solo 30 días después de la aplicación de RFFV, permitiendo el uso de fertilizante solo sobre la materia orgánica, lo que aumentó en gran medida su eficiencia.

Conclusiones

Es poco común tener la oportunidad de impactar el rendimiento y los efectos ambientales de manera positiva, principal objetivo del programa de Extensión de Cenipalma. No obstante, existen otros factores in-

volucrados que deben ser abordados simultáneamente, tales como el manejo del agua (drenaje e irrigación efectiva), una nutrición balanceada de los cultivos y el manejo de plagas y enfermedades.

Un factor disuasivo importante para la adopción de esta tecnología es el costo presumido, especialmente respecto al uso de RFFV. Ubicar las frondas podadas en un área predeterminada es bastante simple, pues solo requiere capacitar al personal de campo. En contraste, el transporte y aplicación en campo de los RFFV suele verse como un costo y no como una inversión. Al respecto, los datos de campo de varios miles de hectáreas muestran con claridad que la relación costo-beneficio del uso de RFFV es de aproximadamente 1:4. En la mayoría de los casos, los costos de transporte y aplicación de RFFV en campo se recuperan dentro del primer año siguiente a su aplicación. En ambos casos, los beneficios se derivan de aumentos significativos en el rendimiento. Debido a las dificultades asociadas con la aplicación de RFFV y la disponibilidad limitada, la Unidad de Extensión de Cenipalma recomienda la aplicación de 200 a 300 kg RFFV/palma durante el primer año. En los siguientes, las frondas podadas y, en menor medida, los cultivos de cobertura, son la fuente de materia orgánica. Por lo general, los agricultores vuelven a aplicar RFFV en el año cuatro o cinco. Este procedimiento limita las inversiones iniciales, pero sigue produciendo resultados inmediatos en la mejora del rendimiento.

La aplicación de RFFV puede ser mecanizada, así como el corte de los cultivos de cobertura; sin embargo, pocas plantaciones en Colombia han mecanizado la aplicación de RFFV. Sobre este aspecto, es pertinente mencionar que se requieren más trabajos de investigación sobre la mecanización de esta práctica en el uso de los cultivos de cobertura, aunque pareciera que no es difícil.

El reciclaje de materia orgánica de las frondas podadas y RFFV junto con el uso de cultivos de cobertura produce un aumento en el secuestro de carbono del suelo y una posterior reducción en los GEI, y al mismo tiempo mejora la salud y la retención de agua del suelo, lo que resulta en una mayor productividad, estableciendo una situación “gana-gana” para el productor de palma de aceite y el medioambiente.

Referencias

- Bakar, R., Darus, S., Kulaseharan, S., & Jamaluddin, N. (2011). Effects of ten-year application of empty fruit bunches in an oil palm plantation on soil chemical properties. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 89(3), 341-349.
- Barthel, M., Jennings, S., Schreiber, W., Sheane, R., Royston, S., Fry, J., Leng-Khor, Y., & McGill, J. (2018). *Study on the environmental impact of palm oil consumption and on existing sustainability standards*. Report prepared by 3keel and LMC International for European Union. Available on-line.
- Boucher, D., Elias, P., Lininger, K., May-Tobin, C., Roquemore, S., & Saxon, E. (2011). *The root of the problem: What's driving tropical deforestation today?* Report by The Union of Concerned Scientists.
- Chase, L. D. C., & Henson, I. (2010). A detailed greenhouse gas budget for palm oil production. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 8, 199-214.
- Delgado, T., Rincón, A., & Molina, D. (2015). Establecimiento y manejo de leguminosas como cobertura en el cultivo de la palma de aceite. En: *Mejores prácticas agroindustriales del cultivo de la palma de aceite en Colombia* (pp. 133-154). Bogotá: Fedepalma.
- Gibbs, H. K., Ruesch, A., Achard, F., Clayton, M., Holmgren, P., Ramankutty, N., & Foley, J. (2010). Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Science*, 107, 16732-16737.
- Henson, I. E. (2009). Modelling carbon sequestration and greenhouse gas emissions associated with oil palm cultivation and land-use change in Malaysia. A re-evaluation and a computer model. *MPOB Technol*, 31, 116.
- Henson, I. E., Ruiz, R., & Romero, H. M. (2012a). 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. E., Ruiz, R., & Romero, H. (2012b). The greenhouse gas balance of the oil palm industry in Colombia. II. Greenhouse gas emissions and the carbon budget. *Agronomía Colombiana*, 30(3), 370-378.
- Huntington, T. G. (2007). Available water capacity and soil organic matter. In: *Encyclopedia of Soil Science* (Second Edition). New York: Taylor and Francis.
- Koh, L. P., Miettinen, J., Liew, S. C., & Ghazoul, J. (2011). Remotely sensed evidence of tropical peatland conversion to oil palm. *Proceedings of the National Academy of Science*, 108(12), 5127-5132.
- Lucey, J., Hill, J., van der Meer, P., Reynolds, G., & Agus, F. (2014). *Change in carbon stocks arising from land-use conversion to oil palm plantations: A science-for-policy paper for the Oil Palm Research-Policy Partnership Network*. Heslington, U. K.: University of York.
- Miettinen, J., Shi, C., & Liew, S. (2016). Land cover distribution in the peatlands of Peninsular Malaysia, Sumatra and Borneo in 2015 with changes since 1990. *Global Ecology and Conservation*, 6, 67-78.
- Saxton, K. E., & Rawls, W. J. (2006). Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 70, September-October.
- Rodríguez, D. T., Ramírez, N., & García-Núñez, J. (2015). Evaluación de la incidencia de la producción de compost, usando biomasa de la planta de beneficio, en la huella de carbono del aceite de palma. Estudio de caso. *Palmas*, 36(1), 27-39.
- Swift, R. S. (2001). Sequestration of carbon by soil. *Soil Science*, 166(11), 858-871.

- Tao, H., Snaddon, J., Slade, E., Caliman, J., Widodo, R., Suhardi, & Willis, K. (2017). Long-term crop residue application maintains oil palm yield and temporal stability of production. *Agron. Sustain Dev.*, 37, 33.
- Wicke, B., Sikkema, B., Dornburg, V., Junginger, H. M., & Faaij, A. (2008). *Drivers of land use change and the role of palm oil production in Indonesia and Malaysia. Overview of past developments and future projections*. Utrecht, The Netherlands: Copernicus Institute Science, Universiteit Utrecht.