

Agua y nutrición: eficiencias necesarias frente al cambio y la variabilidad climática

Water and Nutrition: Necessary Efficiencies Facing of Climate Change and Variability

CITACIÓN: Arias-A., N. A. (2021). Agua y nutrición: eficiencias necesarias frente al cambio y la variabilidad climática. *Palmas*, 42(1), 81-95.

PALABRAS CLAVE: Palma de aceite, Eficiencia de la nutrición, Uso eficiente del agua, Cobertura del suelo.

KEYWORDS: Oil palm, Nutrition efficiency, Efficient water use, Land cover.

ATANACIO A. NOLVER
Investigador Titular, Coordinador del
Programa de Agronomía de Cenipalma.
narias@cenipalma.org

Resumen

Las alteraciones en el clima asociadas con el cambio y la variabilidad climática son una realidad e impactan las actividades agrícolas. Los cambios generados en variables como: la temperatura, la concentración de CO₂ atmosférico, la intensidad y frecuencia de las lluvias, y la de los vientos, afectan variables del cultivo como la evapotranspiración, la fijación de CO₂ y, al final, los rendimientos, así como la disponibilidad de tierras para el cultivo.

Enfrentar los retos que plantean estos fenómenos climáticos implica el abordaje de múltiples estrategias. Sin embargo, el manejo eficiente del suelo, la nutrición y el agua en el cultivo, se constituyen en tres factores clave que ayudan a mitigar los impactos negativos previsibles. Entonces, es necesario: el incremento de la biodiversidad del suelo, la implementación de medidas de protección del suelo como las coberturas vegetales, el uso de microorganismos promotores de crecimiento, fuentes fertilizantes que incrementen la eficiencia, cultivares eficientes en el

uso de nutrientes y el agua, y medidas que favorezcan el secuestro de carbono como el acompañamiento de la mayor diversidad posible de plantas al cultivo y la reducción en el uso de agroquímicos que permitan disminuir la huella de carbono de la producción de aceite de palma crudo.

En este artículo se realiza una revisión de las eficiencias necesarias en cuanto al manejo de la nutrición y el agua en el cultivo de la palma para disminuir el riesgo asociado con el cambio y la variabilidad climática.

Abstract

Alterations in the climate associated with climate change and variability are a reality and impact agricultural activities. The changes generated in variables such as: temperature, the concentration of atmospheric CO₂, the intensity and frequency of the rains, and the intensity of the winds, affect crop variables such as evapotranspiration, CO₂ fixation and, ultimately, yields, as well, such as the availability of land for cultivation.

Facing the challenges posed by these climatic phenomena implies the approach of multiple strategies. However, the efficient management of soil, nutrition and water in the crop, constitute three key factors that help mitigate the foreseeable negative impacts. It is then necessary: the implementation of soil protection measures such as plant covers, the increase in soil biodiversity, the use of growth-promoting microorganisms, fertilizer sources that increase efficiency, efficient cultivars in the use of nutrients and water, and measures that favor carbon sequestration such as the accompaniment of the greatest possible diversity of plants to cultivation and the reduction in the use of agrochemicals that allow reducing the carbon footprint of crude palm oil production.

In this article, we will do a review of the efficiencies necessary in terms of nutrition and water management in palm cultivation is carried out to reduce the risk associated with climate change and variability.

Introducción

El manejo eficiente del agua y la nutrición son dos elementos clave para la sostenibilidad de la agroindustria de la palma de aceite en virtud de su impacto en los rendimientos y la viabilidad económica y social de este tipo de proyectos agrícolas. Por lo tanto, deben considerarse desde antes del establecimiento del cultivos para identificar la oferta ambiental de tierras y agua y, con base en esta, prever las medidas necesarias para desarrollar un cultivo de manera sostenible.

Con respecto a la nutrición del cultivo, se destaca además del impacto en los rendimientos, el efecto en los costos del mismo (Mosquera y Ruiz, 2016), la tolerancia ante factores abióticos como el estrés hídrico (Jazayeri *et al.*, 2015), el impacto en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (Rivera *et al.*, 2017) y la resistencia frente a plagas y enfermedades como la Pudrición del cogollo (PC) (Arias *et al.*, 2014) y la Marchitez vascular (Pontigo *et al.*, 2015). Entonces,

el manejo adecuado de la nutrición y el seguimiento a los factores que afectan su eficiencia resultan relevantes como mecanismos de adaptación frente al cambio y la variabilidad climática, así como también, frente a la realidad de los mercados de aceites y grasas, que invita a la reducción de costos no solamente con el aumento de los rendimientos, sino también a través de la optimización de procesos.

Es necesario considerar que la nutrición del cultivo es un proceso complejo que implica el conocimiento del suelo, de la planta y del ecosistema, y de los recursos disponibles para ejecutar esta labor (Figura 1) y que, en la medida que se cuente con la mayor información, es posible tomar decisiones más ajustadas a las realidades de cada condición de producción. Además, es pertinente el seguimiento de los programas de manejo nutricional a través del establecimiento de indicadores como herramienta para la implementación de mejoras a nivel de Unidades de Manejo Agronómico (UMA) y de la plantación.

Figura 1. Componentes y elementos a considerar para el manejo adecuado de la nutrición del cultivo de la palma de aceite

Suelo	Planta	Ecosistema	Gente
<ul style="list-style-type: none"> • Física • Química • Biología 	<ul style="list-style-type: none"> • Fisiología • Requerimientos nutricionales • Interacciones bióticas y abióticas 	<ul style="list-style-type: none"> • Tierras • Ambiente • Vegetación acompañante 	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimientos • Nivel de decisión y disponibilidad de recursos • Eficiencia

Con relación al manejo del agua, es evidente la importancia de este factor de producción en los rendimientos (Giller *et al.*, 2017), siendo uno de los que condiciona la posibilidad de establecer el cultivo de la palma de aceite en una zona agroecológica. Cuando el déficit hídrico anual es superior a 400 mm, se limita el potencial productivo de la planta (Carr, 2014; Sigalingging *et al.*, 2018), asociado con la reducción de la tasa de fotosíntesis, la emisión foliar, la menor asimilación de nutrientes y la predisposición a enfermedades y plagas, especialmente cuando se tienen excesos de humedad y, para los artrópodos plaga, cuando el déficit hídrico favorece su proliferación, al tiempo que se tienen plantas con deficiencias nutricionales que facilitan su reproducción.

Al igual que la nutrición, el manejo del agua implica la consideración de la oferta hídrica ambiental; los requerimientos hídricos del cultivo; las tecnologías disponibles para aplicación, manejo y conservación de la humedad óptima para el desarrollo del cultivo; y su mantenimiento. También se considera el impacto de las mejores prácticas agrícolas y el seguimiento a través del establecimiento de indicadores de eficiencia y, en últimas, el cálculo de la huella hídrica del cultivo, en el marco de las preocupaciones por el cambio y variabilidad climática, que impactan de manera significativa el comportamiento de las plantaciones y ponen en riesgo la sostenibilidad de las actividades agrícolas.

Teniendo en cuenta las variaciones e impredecibilidad de los fenómenos climáticos y la importancia

del manejo adecuado de la nutrición y el agua en la mitigación de los efectos adversos de esta variabilidad sobre los cultivos de palma de aceite, en este artículo se destacan los resultados de investigación y mejores prácticas que contribuyen a enfrentar estos fenómenos climáticos. El documento contempla las siguientes secciones: cambio y variabilidad climáticos, acciones frente a la variabilidad climática, eficiencias en el manejo del agua y del suelo, eficiencias en el aporte de nutrientes, cultivares tolerantes y palma como sumidero de carbono, y conclusiones.

Cambio y variabilidad climática

El cambio y la variabilidad climática son fenómenos reales que afectan, cada vez con mayor intensidad y frecuencia, las actividades humanas, y las agrícolas no son la excepción. Por cambio climático, se entiende como: el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (Ideam, 2015), lo que se ve reflejado en: incremento de la temperatura, derretimiento de los cascos polares, aumento del nivel del mar en zonas costeras, del dióxido de carbono en la atmósfera, de la frecuencia de fenómenos climáticos extremos (sequías e inundaciones), elevación de la radiación solar, crecimiento de la tasa de evaporación y evapotranspiración de los cultivos, también asociado con el incremento de la velocidad de los vientos.

Por otra parte, la variabilidad climática se presenta cuando con cierta frecuencia un fenómeno genera un comportamiento anormal del clima, pero es un fenómeno temporal, transitorio y natural, que denota un proceso que no es temporal y que puede verificarse revisando históricos climáticos. Las manifestaciones más frecuentes de esta variabilidad son los fenómenos conocidos como El Niño y La Niña (Eycott *et al.*, 2019; Stiegler *et al.*, 2019), los cuales, en función de la ubicación geográfica se asocian con incrementos o disminuciones significativas tanto en la intensidad como en la cantidad de las lluvias lo que, en general, influye de forma negativa en la sostenibilidad de los cultivos.

Estas variaciones climáticas afectan la evapotranspiración y la disponibilidad de agua en el suelo y se refleja en diferentes tipos de estrés fisiológico que terminan por incidir, casi siempre de manera negativa, en los rendimientos (CAF, 2016; Caliman y Southworth, 1998; Oettli, Behera, y Yamagata, 2018; Shanmuganathan y Narayanan, 2012). Con respecto a la evapotranspiración, inciden de manera directa: el incremento de temperatura, la velocidad de los vientos y el déficit de presión de vapor (DPV). En la planta, este tipo de estrés se ve reflejado en la reducción de la conductancia estomática, la tasa de fotosíntesis y la asimilación neta de CO₂. Adicionalmente, esto implica un mayor requerimiento de agua, lo que a su vez impacta la huella hídrica de la producción de palma de aceite.

Por otra parte, un incremento de la temperatura podría llegar a parecer beneficioso en la medida en que nuevas tierras se incorporarían al cultivo de palma (Hardwick *et al.*, 2015; Ideam, 2015; Madzen y Choy, 2017; Russell y Paterson, 2020; Savilaakso *et al.*, 2014; Wu, Chan, Melton y Versegny, 2017). Sin embargo, es necesario considerar que, bajo las condiciones ecuatoriales, donde actualmente se encuentran las plantaciones, el aumento de temperatura se asocia con el ascenso sobre el nivel del mar, es decir, en áreas montañosas en las cuales la competitividad del cultivo es inferior en virtud de la calidad de las tierras, la dificultad de implementación de tecnologías, el mayor riesgo ambiental y el aumento de los costos de producción. De igual manera, el incremento en los niveles de CO₂ podría pensarse como un efecto positivo, sin embargo, en ausencia del agua requerida y el mayor estrés por temperatura y radia-

ción no es posible considerar el efecto benéfico aislado de este factor.

Se ha reportado que incrementos de 2 °C en la temperatura, y lo que esto implica en términos de evapotranspiración y estrés de las plantas, puede llegar a representar una reducción cercana al 20 % de la producción de los cultivos de palma (Jamaluddin *et al.*, 2018; Xianhai, Denglang *et al.*, 2019).

Otro factor que puede influir en la disponibilidad de tierras para el cultivo de palma es el aumento del nivel del mar y las precipitaciones excesivas. Esto es particularmente importante para las zonas costeras de Malasia e Indonesia y para Colombia, en el caso de la Zona Norte (Jamaluddin *et al.*, 2018). Es previsible la reducción de las áreas aptas por incremento de los niveles freáticos y por inundación asociada con el cambio climático, y está demostrado el impacto de los niveles freáticos altos en la fisiología, producción y en mayor afectación por enfermedades (Henson, Harun y Chang, 2008; Lubis *et al.*, 2014; Othman *et al.*, 2010). Frente a esta posibilidad, la mejor alternativa es no establecer cultivos en áreas con riesgo potencial y desmontar gradualmente áreas actuales que representan riesgo en el futuro cercano.

Además, el exceso de precipitaciones impacta también de manera directa la escorrentía, la erosión y la lixiviación (Dewi *et al.*, 2017; Yahya *et al.*, 2017), fenómenos que, a su vez, influyen en la eficiencia de la nutrición por el incremento de las pérdidas de fertilizantes, con impactos en la emisión de gases efecto invernadero (GEI), la contaminación ambiental y la huella hídrica (Kospa *et al.*, 2017; Safitri *et al.*, 2018; Subramaniam, 2018). En resumen, se tiene claridad sobre los impactos potenciales del cambio y la variabilidad climática en la agroindustria de la palma de aceite y, por tanto, es conveniente revisar las tecnologías y prácticas de manejo, especialmente relacionadas con el agua y la nutrición, que pueden llegar a reducir dichos efectos y que contribuyen a la sostenibilidad del cultivo en Colombia.

Eficiencias en manejo del agua y el suelo

Una de las principales amenazas asociada con el cambio y la variabilidad climática es la reducción de la disponibilidad del agua para los cultivos, por lo tanto,

es necesario procurar la conservación de esta humedad en el suelo por el mayor tiempo posible (Morel *et al.*, 2012; Pardon *et al.*, 2017). Una de las prácticas recomendadas es el establecimiento de cultivos de coberturas, especialmente leguminosas, pero que no excluye el fomento de plantas nativas de hoja ancha como es el caso de *Asystasia intrusa* (Ariyanti *et al.*, 2017; Asbur *et al.*, 2018; Samedani *et al.*, 2012), la cual es normalmente considerada una maleza. Sin embargo, se ha demostrado que al comparar cultivos de palma con baja cobertura vegetal con respecto a otros que se manejan con un mayor número de especies vegetales, mantienen 20 % más de contenido de humedad en los primeros 40 cm del suelo, incluso en épocas de bajas precipitaciones.

Estudios recientes, desarrollados por Cenipalma, han permitido evidenciar que, si bien la evapotranspiración de coberturas como el *Desmodium ovalifolium* y la *Pueraria phaseoloides* puede llegar a ser cercana a 3 mm/día, al comparar áreas con y sin coberturas, la humedad del suelo (Figura 2) es siempre superior en aquellas áreas que poseen coberturas. Esto es para profundidades de 0-15 y 15-30 cm. Esto se explica por la reducción en la escorrentía, la lixiviación y la temperatura del suelo.

Con respecto a la escorrentía y a la erosión, resultan también apropiadas, además de la cobertura vegetal, la incorporación de biomasa del cultivo como las hojas de poda y cosecha, y también la aplicación de racimos vacíos provenientes de la planta de beneficio. Ashton-butt *et al.* (2018) y Eycott *et al.* (2019) encontraron que la erosión en suelos desnudos era de 4,9 t/ha/año, mientras que en suelos con cobertura más racimos vacíos, este valor fue cercano a 1 t/ha/

año. Esto es similar a lo encontrado por Husni *et al.* (2014), quienes reportan pérdidas de 21 t/ha/año sin aplicación de hojas, mientras que al aplicarlas fue cercana a 5 t/ha/año. Igualmente, la escorrentía se redujo. Al disminuir la pérdida de suelos también se aminora la de nutrientes, microorganismos y la materia orgánica del suelo. Con esto, es posible reducir 3,12 veces la pérdida de suelo e incrementar en 30 % el contenido de humedad en el mismo.

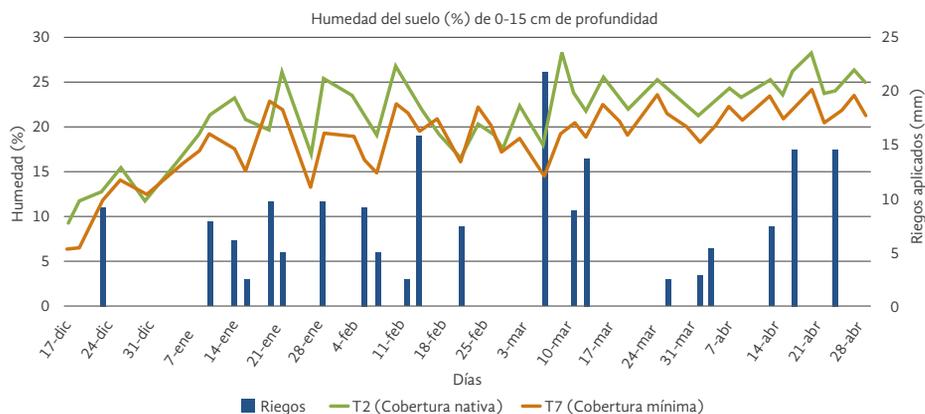
El efecto del reciclaje y adición de biomasa al suelo se asocia con el aumento de materia orgánica, microorganismos y porosidad. Aholoukpè *et al.* (2016) encontraron que la adición y el reciclaje de hojas de poda y cosecha incrementaron en 15 puntos porcentuales la porosidad total del suelo. Esto implica una mayor capacidad de almacenamiento de agua y de aire, y el crecimiento de raíces y la población de macro y microorganismos.

Con respecto a la porosidad del suelo, investigaciones recientes de Cenipalma han mostrado las relaciones existentes entre el incremento de la densidad de este, asociada con el aumento de la resistencia a la penetración y la disminución de la porosidad total (Tabla 1).

La porosidad total se reduce en cerca de 20 puntos porcentuales al incrementarse la densidad aparente desde valores de 1,15 a 1,6 g/cm³ e igualmente se reduce la conductividad hidráulica. Es decir, se disminuye la capacidad de almacenamiento del agua y se incrementa la posibilidad de escorrentía, y con esto la erosión y la pérdida de nutrientes y materia orgánica.

Por otra parte, el impacto del déficit hídrico en la palma de aceite inicia por el efecto de variables fisiológicas. En un experimento desarrollado por

Figura 2. Comportamientos de la humedad del suelo bajo dos condiciones de manejo de la cobertura vegetal



Cenipalma, en el cual se evaluaron 4 tratamientos: 0, 25, 50 y 75 % de déficit hídrico en función del requerimiento del cultivo, al finalizar la época seca, la tasa de fotosíntesis y transpiración en los 2 cultivares se reducen a partir de un 50 % de déficit de humedad en el suelo (Figura 3). Menor tasa de fotosíntesis y transpiración es también menor tasa de emisión foliar, área foliar y materia seca foliar.

Bajo condiciones de campo, una de las medidas para superar el déficit hídrico en los cultivos es el aporte de agua a través de diferentes sistemas de riego. Sin embargo, es importante tener en cuenta la eficiencia de estos, que puede estar alrededor de 30 % para riegos superficiales, mientras que en sistemas presurizados (goteo y aspersión) puede llegar a valores cercanos a 90 % (Álvarez *et al.*, 2018; Mejía, 2000). Las ineficiencias de los sistemas de riego igualmente se manifiestan en reducción de la fotosíntesis (Figura 4), pues su

mejor tasa se registra para los sistemas de aspersión, en los cuales existe una mejor distribución de agua, crecimiento de la cobertura y afectación de variables ambientales como el déficit de presión de vapor. Por el contrario, sistemas superficiales (por ventanas) registran reducción de la fotosíntesis superior al 60 % con respecto a la anteriormente explicada. De manera similar, la tasa de transpiración de la planta se redujo en un valor cercano al 70 % para el sistema de riego por superficie.

Esta menor tasa de fotosíntesis se asoció con el mayor déficit hídrico anual registrado en el sistema de riego por superficie, superior a 400 mm; mientras que el de aspersión fue inferior a 200 mm. Todo esto sin olvidar los mayores costos asociados con la operación de los sistemas superficiales y la mayor huella hídrica que implican las ineficiencias de los sistemas de riego. Además, la absorción de los nutrientes de la palma

Tabla 1. Comportamiento de la densidad aparente, la porosidad total y la conductividad hidráulica bajo el manejo de diferentes tratamientos de densidad aparente en condiciones de vivero

Tratamiento-Da (g/cm ³)	Da (g/cm ³)	Porosidad total (%)	Ksat (cm/h)
Testigo	1,04 ± 0,03	56,37 ± 1,37	26,32 ± 2,38
1,15	1,18 ± 0,03	50,42 ± 1,47	5,53 ± 0,16
1,3	1,31 ± 0,01	44,78 ± 0,56	1,76 ± 0,14
1,45	1,43 ± 0,02	40,02 ± 0,80	0,04 ± 0,01
1,6	1,55 ± 0,02	34,73 ± 0,68	0,01 ± 0,00

Da: densidad aparente.

Ksat: conductividad hidráulica saturada del suelo.

Figura 3. Impacto del déficit hídrico en la palma de aceite

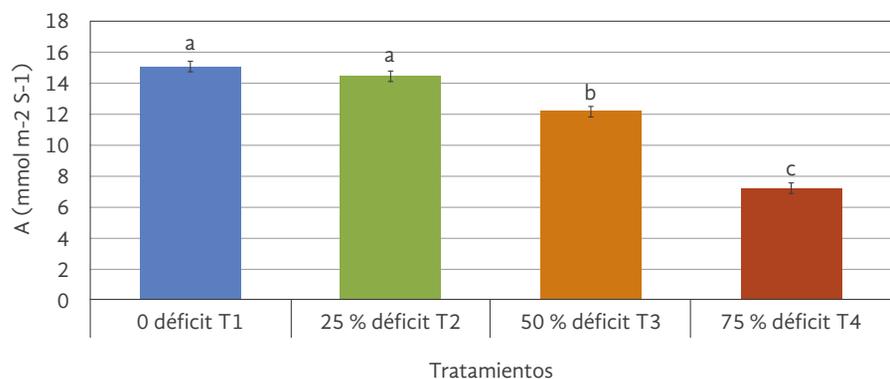
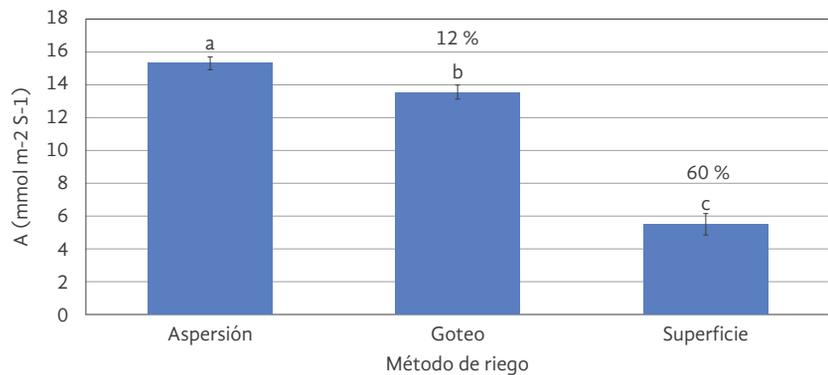


Figura 4. Comportamiento de la tasa de fotosíntesis bajo tres sistemas de riego en condiciones de la Zona Norte



está siendo afectada por las condiciones de humedad del suelo establecidas con cada método de riego, como le sucede al potasio (K) y al fósforo (P) cuando baja la eficiencia de los sistemas de riego. Para el caso del K, los valores en el tejido foliar fueron de 0,92 % y 0,84 % para el riego por aspersión y superficial, respectivamente.

Igualmente, la aplicación de dosis suficientes de K se relaciona con la reducción de impacto del déficit hídrico (Rhebergen *et al.*, 2019; Sim y Zaharah, 2014; Sun *et al.*, 2011). Najjihah *et al.* (2020) encontraron que bajo condiciones de vivero, la mayor altura de la palma se obtiene con la dosis alta de K y, cuando el déficit supera el 75 %, no hay respuesta a las aplicaciones de este elemento. La regulación de la apertura de estomas y la transpiración, que se traducen en mejor regulación del agua, son responsables de la mejor respuesta de la planta bajo condiciones de estrés hídrico (Gafur y Putra, 2019; Zörb *et al.*, 2014). De acuerdo con esto, la aplicación de dosis suficientes de K, combinado con un adecuado balance de nitrógeno/potasio, impactan de manera positiva el comportamiento fisiológico y productivo de las plantas.

Eficiencias en el aporte de nutrientes

El aporte de nutrientes a través de diversas fuentes fertilizantes es una práctica de manejo necesaria para la obtención de altos y sostenidos rendimientos en el cultivo de la palma de aceite (Rhebergen, 2012; Rhebergen *et al.*, 2018; Salmiyati *et al.*, 2014). También es claro que representa alrededor del 30 % de los costos variables de producción y que es susceptible de ineficiencias por factores edafoclimáticos, de manejo y de características intrínsecas de las fuentes utilizadas. Por lo tanto, es necesario considerar los factores que

afectan dichas fuentes para buscar su mitigación e incrementar su eficiencia.

Ante el cambio y variabilidad climática, se incrementa la probabilidad de ocurrencia de eventos de lluvia torrencial y, con esto, la escorrentía y la lixiviación. En este caso, los nutrientes aplicados se pierden tanto en el agua de arrastre como en los sedimentos (Murtalaksono *et al.*, 2018). Estas pérdidas pueden llegar a ser tan importantes como del 40 % del K en el agua de escorrentía y del 10 % del nitrógeno (N) en los sedimentos (Vijiandran *et al.*, 2017). Por lo tanto, las medidas que las reduzcan como: el mantenimiento de la cobertura vegetal, la aplicación y manejo de la biomasa del cultivo y de fuentes externas, así como el fraccionamiento y la época de aplicación; toman mayor importancia frente al cambio y la variabilidad climática.

Con respecto a la cobertura vegetal y en función del método de manejo, Formaglio *et al.* (2020), al comparar el efecto del manejo de arvenses con herbicidas vs. manualmente, encontraron que al hacerlo manual o mecánico era posible reducir en 25 % el K lixiviado con respecto a la aplicación de herbicidas, por lo tanto, el menor reciclaje de nutrientes y la menor presencia de raíces bajo condiciones de aplicación de herbicidas favorecen la lixiviación de los nutrientes. Si bien el uso de estos compuestos químicos es una estrategia más en el manejo de arvenses, especialmente en áreas del plato de la palma, es necesario restringir su uso en periodos cercanos a la aplicación de fertilizantes.

Otra variable a considerar es la naturaleza de las fuentes fertilizantes utilizadas y la posibilidad de incrementar la eficiencia de la nutrición. Tecnologías como la liberación controlada o la lenta liberación pueden contribuir con la disminución de pérdidas de

nutrientes. Landis y Dumroese (2009), al comparar el uso de fuentes de liberación con respecto a mezclas físicas de fertilizantes, encontraron reducción de pérdidas en función de la fuente, para K, alrededor de 9 puntos porcentuales y, para N, alrededor de 6 puntos porcentuales. Si bien las tecnologías de liberación controlada implican actualmente un mayor costo de las fuentes, es pertinente considerar el impacto que tienen en la reducción de pérdidas, su uso en las épocas más adversas para la aplicación de fertilizantes y la combinación con fuentes usuales.

Otra variable a considerar para el incremento de la eficiencia de la fertilización y la reducción de la huella de carbono es la incorporación de biofertilizantes y microorganismos benéficos que favorezcan la disponibilidad de nutrientes (Rahim, 2002; Siciua *et al.*, 2012), tal es el caso de las micorrizas y las bacterias promotoras de crecimiento (BPC) y solubilización de nutrientes como el P, el K, además de las bacterias simbióticas que son capaces de fijar el N atmosférico a formas utilizables por las plantas. Se destaca el auge de las bacterias promotoras de crecimiento, las cuales incrementan los niveles de las fitohormonas en la palma y también mejoran la asimilación de nutrientes. Bajo condiciones de vivero, Valente Lima *et al.* (2020) reportan que las concentraciones de ácido indolacético (AIA) fueron de 3,45 ng/g en plantas a las que se les aplicó BPC, mientras que en las no inoculadas fue de 2,02 ng/g. Esto influyó también en la asimilación neta de nutrientes, la cual para el caso del N y K fue 2,6 veces superior en las inoculadas con BPC, con respecto a las no inoculadas. Es posible, entonces, el incremento en la eficiencia en la toma de nutrientes sin incurrir en el aumento de las dosis aplicadas. Es conveniente destacar que las BPC ayudan a tomar los nutrientes existentes en el suelo o sustrato y, por lo tanto, siempre será necesario evaluar su cantidad.

Finalmente, en el cultivo de la palma es posible con la contribución de la reducción de GEI, tales como el óxido nitroso. Esto a través del reciclaje de la biomasa producida en el cultivo, especialmente racimos vacíos y hojas. Además de la protección del suelo, la conservación de la humedad y el incremento de la materia orgánica, esta puede representar hasta 27 % de los requerimientos de nutrientes (Kananam *et al.*, 2011; Tao *et al.*, 2017; Zahrim *et al.*, 2015). Al reciclar, se disminuye el aporte de fuentes inorgánicas de fertilizantes y

es posible la reducción de la huella de carbono asociada con la producción de aceite de palma.

Cultivares adaptados y palma como sumidero de carbono

Además de la implementación de las mejores tecnologías y prácticas de manejo del cultivo que contribuyan con una mejor adaptación al cambio y variabilidad climática, es necesario el establecimiento de cultivares mejor adaptados a condiciones extremas como el déficit hídrico o también que sean eficientes en el uso de nutrientes.

Con relación al uso eficiente del agua, existen cultivares que por su morfología, fisiología y aprovechamiento de nutrientes son capaces de adaptarse a condiciones de estrés y mantenerse con mejores rendimientos con respecto a otros (Hong Xing *et al.*, 2016; Mangena, 2018; Rivera *et al.*, 2013; Torres *et al.*, 2015). Uno de los mecanismos de adaptación de dichos cultivares tiene que ver con la capacidad de producción de raíces, las cuales permiten mayor acceso al agua disponible en el suelo. En este sentido, bajo condiciones de vivero de palma de aceite de Silva *et al.*, (2016) encontraron, al observar el comportamiento de 2 cultivares, uno sin estrés y otro bajo estrés hídrico, que en el primero, la reducción del peso seco de raíces fue del 42 %, mientras que en el segundo, bajo condiciones similares, tuvo una reducción del 59 %, es decir, el déficit hídrico tuvo un mayor impacto en esta variable y se vio reflejado igualmente en la parte aérea. Este tipo de cultivares con mejor adaptación al estrés también son parte de la estrategia de adaptación al cambio y variabilidad climática y permiten reducir la huella hídrica del cultivo en función de menores requerimientos hídricos.

Teniendo que en cuenta que el mayor porcentaje de huella hídrica del cultivo se asocia con el aporte de nutrientes, es deseable la identificación y establecimiento de cultivares que poseen alta eficiencia en su uso, es decir, que produzcan la mayor cantidad de aceite con el menor aporte de nutrientes, especialmente N y K, los cuales son los dos que se extraen por tonelada de racimos de fruta fresca (RFF). Sobre este, Ollivier *et al.* (2017) encontraron que para el caso del N existen cultivares que con dosis cercanas a 1.850 g de N/palma/año, producen 8,75 t de aceite de palma crudo (APC)/

ha/año, mientras que bajo condiciones similares otros cultivos producen 7,5 t de APC/ha/año, es decir, una diferencia de 1,25 t de APC/ha/año o el equivalente a 14,28 %. De manera similar, para el K se registran cultivos con dosis cercanas a 3.200 g de K/palma por año, existen cultivos que producen cerca de 9 t de APC/ha/año, mientras que otros alcanzan cerca de 7 t de APC/ha/año. Estas mayores eficiencias en el uso de nutrientes se asocian con una mejor distribución del sistema radical, la menor exportación de nutrientes contenidos en los racimos cosechados, en las hojas y raquis de la palma, como también con la menor acumulación en tejidos de reserva como los estípites.

Por otra parte, el cultivo de la palma de aceite es catalogado como sumidero de carbono (C), ya que presenta balance positivo en la fijación de carbono atmosférico, gracias al sistema radical y a la diversidad de plantas que pueden asociarse con el cultivo (Beyer *et al.*, 2020; Khasanah *et al.*, 2015). Se estima que la palma puede secuestrar alrededor de 4,55 t de C/ha/año, de las cuales el 52 % corresponde a la parte aérea del cultivo, 4 % a la vegetación acompañante, 6 % a los residuos del cultivo y 38 % a lo que se almacena en el suelo. Este último valor se asocia con el alto porcentaje de producción de raíces finas de la palma, las plantas asociadas y la incorporación continua de biomasa, pues en estos cultivos el suelo no se remueve por periodos que superan los 25 años, es decir, se permite la acumulación efectiva de carbono orgánico en este.

Continuando con el tema de la vegetación acompañante, además de los impactos anteriormente mencionados sobre la protección del suelo y la conservación de la humedad, a través de esta también existe la posibilidad de incrementar la captura de carbono. Aholoukpè *et al.* (2016) reportan que para cultivos de palma de aceite en etapa adulta, al comparar 2 sistemas de manejo, uno con alta y otro con baja población de plantas acompañantes, el carbono en el suelo fue de 58 t/ha en áreas con alta vegetación, mientras que en las áreas de baja vegetación el valor fue de 33 t/ha, es decir, 43 % menos de carbono almacenado cuando no se propicia la permanencia de plantas acompañantes. De acuerdo con esto, la palma de aceite puede contribuir con esta labor no solo en la acumulación de masa seca, sino también a través de la interacción con la diversidad de plantas asociadas al cultivo, que favorecen la conservación del suelo y la biodiversidad.

Conclusiones y recomendaciones

Frente al cambio y variabilidad climática, las acciones a desarrollar desde la agroindustria de la palma deberían enfocarse en los siguientes puntos:

- **Mejoramiento y protección del suelo, y conservación del agua.** La naturaleza del agroecosistema de la palma y la implementación de las mejores prácticas agronómicas permiten el mejoramiento de los suelos. Protegerlos significa mantener e incrementar la cobertura vegetal, así como, el reciclaje de la biomasa generada por el cultivo y aquella que pueda aportarse como fuente externa. Con esto es posible reducir la erosión, la pérdida de materia orgánica, nutrientes y el incremento de la biodiversidad y la conservación de humedad en el suelo.
- **Reducción de las emisiones asociadas con la nutrición del cultivo.** Es necesario incrementar la eficiencia de la nutrición con el reciclaje de los nutrientes contenidos en la biomasa, el uso de fuentes fertilizantes con tecnologías que permiten el mejor aprovechamiento de dichos nutrientes, la identificación y el establecimiento de cultivos eficientes en el uso de los mismos y tolerantes al déficit hídrico. Además, la incorporación de microorganismos promotores de crecimiento a través de la estimulación de fitohormonas en las palmas.
- **Eficiencias con base en la fertilidad biológica del suelo.** Las acciones dirigidas al mejoramiento de su biodiversidad impactan en la eficiencia de la nutrición y la sostenibilidad del cultivo. El seguimiento y el mantenimiento de buenas condiciones físicas y químicas del suelo influyen en la fertilidad biológica y una de las estrategias a implementar es el fomento de variedad de especies vegetales y el uso adecuado de agroquímicos, especialmente herbicidas.
- **Palma como sumidero de carbono.** El agroecosistema de la palma permite la captura de carbono y la reducción de emisiones GEI. Esto es particularmente importante en el suelo y tiene que ver con la densidad del sistema radical del cultivo y de las plantas asociadas,

y con la no remoción del suelo por periodos superiores a 25 años, que corresponden al ciclo productivo de la palma.

- *Conocimiento para la toma de decisiones.* Contar con información suficiente y actualizada es la base para disminuir el riesgo. El conocimiento del suelo en sus variables químicas, físicas y biológicas, el de la palma y su fisiología e interacciones con el ambiente, el de las tierras y las variables climáticas, además de, el de las tecnologías disponibles, son elementos necesarios para la toma de decisiones ajustadas a las particularidades de cada unidad de manejo agronómico y para la generación de indicadores que permitan rea-

lizar seguimiento a la eficiencia del uso del agua y la nutrición en el cultivo.

Agradecimientos

Al Fondo de Fomento Palmero (FFP), administrado por Fedepalma, por la cofinanciación de la investigación en Cenipalma, y a los integrantes del programa de Agronomía por sus contribuciones para la realización de este documento: Cristian Acero, Marco Olivares, Armando Manotas, Isaac Torres, Jari Rodríguez, Carlos Rodríguez, Luis Macías, Dora Martínez, Juan Artunduaga, Dianorgen Castro, Eleodoro Meneses, Wilson Pérez, Diego Molina, Jhon Jiménez, Arley Zapata, Álvaro Rincón, Víctor Rincón, Tulia Delgado, Greidy Ladino, Andrea Zabala, Osmar Barrera y Jorge Torres.

Referencias

- Aholoukpè, H. N. S., Amadji, G. L., Blavet, D., Chotte, J. L., Deleporte, P., Dubos, B., ... Jourdan, C. (2016). Effet de la gestion des feuilles d'égavage du palmier à huile sur le stock de carbone et les propriétés physico-chimiques du sol dans les palmeraies villageoises du Bénin. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 20(2), 171-182.
- Álvarez, O. M., Ruíz, E., Mosquera-M., M. & Humberto-S, J. (2018). Evaluación económica de sistemas de riego para plantaciones de palma aceitera en la Zona Norte de Colombia TT. *Palmas*, 39(1), 69-85. Recuperado de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12401>
- Arias, N. A., Beltrán, J. A., Guerrero, J. M. & Sánchez, A. C. (2014). Tecnologías para el manejo de la Pudrición del cogollo (PC) de la palma de aceite validadas en las zonas palmeras de Colombia. *Revista Palmas*, 35(2), 39-52. Recuperado de <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10978>
- Ariyanti, M., Mubarak, S. & Asbur, Y. (2017). Study of *Asystasia gangetica* (L.) T. Anderson as Cover Cop Against Soil Water Content in Mature Oil Palm Plantation. *Journal of Agronomy*, 16(4), 154-159. doi: 10.3923/ja.2017.154.159
- Asbur, Y., Purwaningrum, Y. & Ariyanti, M. (2018). Growth and nutrient balance of *Asystasia gangetica* (L .) T . Anderson as Cover Crop for Mature Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Plantations. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 78(December), 486-494. doi: 10.4067/S0718-58392018000400486

- Ashton-butt, A., Hood, A., Ashton-butt, A., Aryawan, A. A. K., Hood, A. S. C., Naim, M., ... Snaddon, J. (2018). *Understory Vegetation in Oil Palm Plantations Benefits Soil Biodiversity and Understory Vegetation in Oil Palm Plantations Benefits Soil Biodiversity and Decomposition Rates*, (octubre 2019). doi: 10.3389/ffgc.2018.00010
- Beyer, R., Durán, A., Rademacher, T., Martin, P., Tayleur, C., Brooks, S., ... Sanderson, F. (2020). *The Environmental Impacts of Palm Oil and its Alternatives*, 1-18. doi: 10.1101/2020.02.16.951301
- CAF. (2016). *El Niño en América Latina: ¿Cómo mitigar sus efectos en los sectores productivos?*
- Caliman, J. P. & Southworth, A. (1998). Effect of Drought and Haze on the Performance of Oil Palm. *International Oil Palm Conference*, (I). Recuperado de <http://agritrop.cirad.fr/401034/1/ID401034.pdf>
- Carr, M. K. V. (2014). The Water Relations and Irrigation Requirements of Cocoa (*Theobroma Cacao* L.). A Review. *Experimental Agriculture*, 50(01), 1-23. doi: 10.1017/S0014479713000288
- de Silva, J., Tuwei, G. & Zhao, F. J. (2016). Environmental Factors Influencing Aluminium Accumulation in Tea (*Camellia sinensis* L.). *Plant and Soil*, 400(1-2), 223-230. doi: 10.1007/s11104-015-2729-5
- Dewi, R. A. S., Indriyati, L. T., Sahari, B. & Sabiham, S. (2017). Loss of Soil Organic Matter, Lignocellulose and Microbial Population in Oil Palm Plantations Located at Different Slopes. *Journal of Tropical Soils*, 22(3), 175-181. doi: 10.5400/jts.2017.v22i3.175-181
- Eycott, A. E., Advento, A. D., Waters, H. S., Luke, S. H., Aryawan, A. A. K., Hood, A. S., ... Turner, E. C. (2019). Resilience of Ecological Functions to Drought in an Oil Palm Agroecosystem. *Environmental Research Communications*, 1(10), 101004. doi: 10.1088/2515-7620/ab48da
- Formaglio, G., Veldkamp, E., Duan, X., Tjoa, A. & Corre, M. (2020). Herbicide Weed Control Increases Nutrient Leaching as Compared to Mechanical Weeding in a Large-scale Oil Palm Plantation. *Biogeosciences Discussions*, (junio), 1-53. doi: 10.5194/bg-2020-153
- Gafur, M. A. & Putra, E. T. S. (2019). Effect of Drought Stress in Physiological Oil Palm Seedling (*Elaeis guineensis* Jacq.) Using Calcium Application. *Asian Journal of Biological Sciences*, 12(3), 550-556. doi: 10.3923/ajbs.2019.550.556
- Giller, K. E., Woittiez, L. S., van Wijk, M. T., Slingerland, M. & van Noordwijk, M. (2017). Yield Gaps in Oil Palm: A Quantitative Review of Contributing Factors. *European Journal of Agronomy*, 83, 57-77. doi: 10.1016/j.eja.2016.11.002
- Hardwick, S. R., Toumi, R., Pfeifer, M., Turner, E. C., Nilus, R. & Ewers, R. M. (2015). The Relationship between Leaf Area Index and Microclimate in Tropical Forest and Oil Palm Plantation: Forest Disturbance Drives Changes in Microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 201(March), 187-195. doi: 10.1016/j.agrformet.2014.11.010
- Henson, I. E., Harun, M. H. & Chang, K. C. (2008). Some Observations on the Effects of High Water Tables and Flooding on Oil Palm, and a Preliminary Model of Oil Palm Water Balance and Use in the Presence of a High Water Table. *Oil Palm Bulletin*, 56(May), 14-22.

- Hong Xing, C., Cheng Xu, S., Hong Bo, S. & Xin Tao, L. (2016). Effects of Low Temperature and Drought on the Physiological and Growth Changes in Oil Palm Seedlings. *African Journal of Biotechnology*, 10(14), 2630-2637. doi: 10.5897/ajb10.1272
- Husni, M. H. A., Bah, A., Ahmed, O. H., Syed Omar, S. R., Teh, C. B. S. & Rafii, M. Y. (2014). Reducing Runoff Loss of Applied Nutrients in Oil Palm Cultivation Using Controlled-Release Fertilizers. *Advances in Agriculture*, 2014(Diciembre), 1-9. doi: 10.1155/2014/285387
- Ideam. (2015). *Nuevos escenarios para el cambio climático para Colombia 2011-2100. Ideam*, 13. Recuperado de http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGI_AR5_TS_FAQ_ES.pdf http://www.enteregionsur.com.ar/variou/user_files/multimedia_1328640503.doc <http://www.fao.org/docrep/018/i3325e/i3325e00.htm> <http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/26a9.pdf>
- Jamaluddin, U. A., Lim, C. S. & Pereira, J. J. (2018). Implications of Climate Change on the Coastal Zone of Kuala Selangor, Malaysia. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 66(Febrero 2019), 107-119. doi: 10.7186/bgsm66201814
- Jazayeri, S. M., Rivera, Y. D., Camperos-Reyes, J. E. & Romero, H. M. (2015). Physiological Effects of Water Deficit on Two Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Genotypes. *Agronomía Colombiana*, 33(2), 164-173. doi: 10.15446/agron.colomb.v33n2.49846
- Kananam, W., Suksaroj, T. T. & Suksaroj, C. (2011). Biochemical Changes during Oil Palm (*Elaeis guineensis*) Empty Fruit Bunches Composting with Decanter Sludge and Chicken Manure. *ScienceAsia*, 37(1), 17-23. doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2011.37.017
- Khasanah, N., van Noordwijk, M., Ningsih, H. & Rahayu, S. (2015). Carbon Neutral? No Change in Mineral Soil Carbon Stock Under Oil Palm Plantations Derived from Forest or non-forest in Indonesia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 211, 195-206. doi: 10.1016/j.agee.2015.06.009
- Kospa, D., Lulofs, K. & Asdak, C. (2017). Estimating Water Footprint of Palm Oil Production in PTP Mitra Ogan. *International Journal of Advanced Engineering Information Technology*, 7(6), 2115-2121.
- Landis, T. D. & Dumroese, R. K. (2009). Using Polymer-coated Controlled-release Fertilizers in the Nursery and After Outplanting. *Forest Nursery Notes*, (C), 5-12.
- Lubis, M. E. S., Harahap, I. Y., Hidayat, T. C., Pangaribua, Y., Sutarta, E. S., Rahman, Z. A., ... Hanafi, M. M. (2014). Changes in Water Table Depth in an Oil Palm Plantation and its Surrounding Regions in Sumatra, Indonesia. *Journal of Agronomy*. doi: 10.3923/ja.2014.140.146
- Madzen, A. A. & Choy, L. K. (2017). Respons fenologi tumbuhan terhadap taburan hujan di johor menggunakan data indeks tumbuhan satelit MODIS-Aqua. *Sains Malaysiana*, 46(3), 421-428. doi: 10.17576/jsm-2017-4603-09
- Mangena, P. (2018). Water Stress: Morphological and Anatomical Changes in Soybean (*Glycine max* L.) Plants. *Plant, Abiotic Stress and Responses to Climate Change*, (mayo). doi: 10.5772/intechopen.72899

- Mejía, J. (2000). Consumo de agua por la palma de aceite y efectos del riego sobre la producción de racimos, una revisión de literatura. *Revista Palmas*, 21(1), 51-58. Recuperado de <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/726/726>
- Morel, M. a., Braña, V. & Castro-Sowinski, S. (2012). Legume Crops, Importance and Use of Bacterial Inoculation to Increase Production. *Crop Plant*, 217-240. doi: 10.5772/37413.
- Mosquera, M. & Ruiz, E. (2016). Costos de producción de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia en 2014, (Marzo).
- Murtlaksono, K., Ariyanti, M., Asbur, Y., Siregar, H. H., Sutarta, E. S., Yanya, S., ... Yusuf, M. (2018). Surface Runoff and Soil Erosion in Oil Palm Plantation of Management Unit of Rejosari, PT Perkebunan Nusantara VII. *Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 0-5. doi: 10.1088/1755-1315/196/1/012002
- Najihah, T. S., Ibrahim, M. H., Zain, N. A. M., Nulit, R. & Wahab, P. E. M. (2020). Activity of the Oil Palm Seedlings Exposed to a Different Rate of Potassium Fertilizer under Water Stress Sondition. *AIMS Environmental Science*, 7(1), 46-68. doi: 10.3934/environsci.2020004
- Oettli, P., Behera, S. K. & Yamagata, T. (2018). Climate Based Predictability of Oil Palm Tree Yield in Malaysia. *Scientific Reports*, 8(1), 1-13. doi: 10.1038/s41598-018-20298-0
- Ollivier, J., Flori, A., Cochard, B., Amblard, P., Turnbull, N., Syahputra, I., ... Gasselín, D. T. (2017). Genetic Variation in Nutrient Uptake and Nutrient Use Efficiency of Oil Palm. *Journal of Plant Nutrition*, 40(4), 558-573. doi: 10.1080/01904167.2016.1262415
- Othman, H., Mohammed, A. T., Harun, M. H., Darus, F. M. & Mos, M. (2010). Best Management Practices for Oil Palm Planting on Peat: Optimum Groundwater Table. *MPOB Information Series*. Recuperado de <http://palmoilis.mpob.gov.my/publications/TOT/TT-472.pdf>
- Pardon, L., Ian Huth, N., Netelenbos Nelson, P., Banabas, M., Gabrielle, B. & Bessou, C. (2017). Yield and Nitrogen Losses in Oil Palm Plantations: Main Drivers and Management Trade-offs Determined Using Simulation. *Field Crops Research*, 210(mayo), 20-32. doi: 10.1016/j.fcr.2017.05.016
- Pontigo, S., Ribera, A., Gianfreda, L., de la Luz Mora, M., Nikolic, M. & Cartes, P. (2015). Silicon in Vascular Plants: Uptake, Transport and its Influence on Mineral Stress under Acidic Conditions. *Planta*, 242(1), 23-37. doi: 10.1007/s00425-015-2333-1
- Rahim, K. a. (2002). Biofertilizers in Malaysian Agriculture: Perception, Demand and Promotion. *Country Report of Malaysia*, 1-6. Recuperado de http://www.fnca.mext.go.jp/english/bf/country_img/malaysia.pdf
- Rhebergen, T. (2012). *Analysis of Implementation of Best Management Practices in Oil Palm Plantations in Indonesia*. Wageningen Universiteit. doi: 10.1016/j.still.2014.08.005
- Rhebergen, T., Fairhurst, T., Whitbread, A. & Giller, K. E. (2018). Yield Gap Analysis and Entry Points for Improving Productivity on Large Oil Palm Plantations and Smallholder Farms in Ghana. *Agricultural Systems*, 165(febrero), 14-25. doi: 10.1016/j.agsy.2018.05.012

- Rhebergen, T., Fairhurst, T., Giller, K. E. & Zingore, S. (2019). The Influence of Water and Nutrient Management on Oil Palm Yield Trends on a Large-scale Plantation in Ghana. *Agricultural Water Management*, 221 (noviembre), 377-387. doi: 10.1016/j.agwat.2019.05.003
- Rivera, Y., Rodríguez, D. & Romero, H. (2017). *Huella de carbono de la producción de racimos de fruta fresca de palma de aceite en Colombia*. Recuperado de http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Cenipalma/posteres-rt-nacional/YRivera__Huella_de_carbono_de_la_produccion_de_racimos_de_fruta_fresca_RTN_2017_.pdf?fbclid=IwAR12ZbhbhJZHq-g9TlYFMBLcmAapZYVLwfgeUc-gjdYynQV3f01Oig-aDGs
- Rivera, Y., Moreno, A. & Romero, H. (2013). Biochemical and Physiological Characterization of Oil Palm Interspecific Hybrids (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) Grown in Hydroponics. *Acta Biológica Colombiana*, 18(3), 465-472.
- Russell, R. & Paterson, M. (2020). Depletion of Indonesian Oil Palm Plantations Implied from Modeling Oil Palm Mortality and *Ganoderma boninense*. *Rot under Future Climate*, 7(marzo), 366-379. doi: <https://doi.org/10.3934/environsci.2020024>
- Safitri, L., Hermantoro, H., Purboseno, S., Kautsar, V., Saptomo, S. K. & Kurniawan, A. (2018). Water Footprint and Crop Water Usage of Oil Palm (*Elaeis guineensis*) in Central Kalimantan: Environmental Sustainability Indicators for Different Crop Age and Soil Conditions. *Water (Switzerland)*, 11(1). doi: 10.3390/w11010035
- Salmiyati, heryansyah, A., Idayu, I. & Supriyanto, E. (2014). Oil Palm Plantations Management Effects on Productivity Fresh Fruit Bunch (FFB). *APCBEE Procedia*, 8(Caas 2013), 282-286. doi: 10.1016/j.apcbee.2014.03.041
- Samedani, B., Juraimi, A. S., Anwar, M. P., Rafii, M. Y., Awadz, S. A. S. & Anuar, A. R. (2012). Competitive Ability of Some Cover Crop Species Against *Asystasia gangetica* and *Pennisetum polystachion*. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 62(7), 571-582. doi: 10.1080/09064710.2012.677855
- Savilaakso, S., García, C., García-Ulloa, J., Ghazoul, J., Groom, M., Guariguata, M. R., ... Zrust, M. (2014). Systematic Review of Effects on Biodiversity from Oil Palm Production. *Environmental Evidence*, 3(1). doi: 10.1186/2047-2382-3-4
- Shanmuganathan, S. & Narayanan, A. (2012). Modelling the Climate Change Effects on Malaysia's Oil Palm Yield. *2012 IEEE Symposium on E-Learning, E-Management and E-Services, IS3e 2012*, 71-76. doi: 10.1109/IS3e.2012.6414948
- Sicuia, O. A., Oancea, F., Constantinescu, F., Dinu, S. & Cornea, C. P. (2012). Bacillus Strains Useful in Improving Vegetal Mulch Technology Through Bioactivation. *Romanian Biotechnological Letters*, 17(5), 7610-7619.
- Sigalingging, R., Sumono & Rahmansyah, N. (2018). Evapotranspiration and Crop Coefficient of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) on the Main Nursery in a Greenhouse. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 122(1). doi: 10.1088/1755-1315/122/1/012099
- Sim, C. C. & Zaharah, A. R. (2014). Potassium Uptake Kinetics by Oil Palm Root Via Radiotracer Techniques. *Asian Journal of Plant Sciences*, 13(4), 195-197. doi: 10.3923/ajps.2014.195.197

- Stiegler, C., Meijide, A., Fan, Y., Ashween Ali, A., June, T. & Knohl, A. (2019). El Niño-Southern Oscillation (ENSO) Event Reduces CO₂ Uptake of an Indonesian Oil Palm Plantation. *Biogeosciences Discussions*, 2015, 1-27. doi: 10.5194/bg-2019-49
- Subramaniam, V. (2018). *Charting the Water Footprint for Malaysian Crude Palm Oil*, 178. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.01.061
- Sun, C., Cao, H., Shao, H., Lei, X. & Xiao, Y. (2011). Growth and Physiological Responses to Water and Nutrient Stress in Oil Palm. *Journal of Biotechnology*, 10(51), 10465-10471. <https://doi.org/10.5897/AJB11.463>
- Tao, H., Snaddon, J. L., Slade, E. M., Caliman, J., Widodo, R. H. & Willis, K. J. (2017). *Long-term Crop Residue Application Maintains Oil Palm Yield and Temporal Stability of Production*. doi: 10.1007/s13593-017-0439-5
- Torres, J., Gutiérrez, M. & Chinchilla, C. (2015). Morpho-physiological Monitoring of Oil Palms (*Elaeis guineensis* Jacq.) Affected by Spear Rots (PC), 26-34.
- Valente Lima, J., Tinôco, R. S., Olivares, F. L., Moraes, A. J. G. de, Chia, G. S. & Silva, G. B. da. (2020). Hormonal Imbalance Triggered by Rhizobacteria Enhance Nutrient Use Efficiency and Biomass in Oil Palm. *Scientia Horticulturae*, 264 (enero). doi: 10.1016/j.scienta.2019.109161
- Vijiandran, J. R., Husni, M. H. A., Teh, C. B. S., Zaharah, A. R. & Xaviar, A. (2017). Nutrient Losses through Runoff from Several Types of Fertilisers under Mature Oil Palm. *Malaysian Journal of Soil Science*, 21(diciembre), 113-121.
- Wu, Y., Chan, E., Melton, J. R. & Versegny, D. L. (2017). A Map of Global Peatland Distribution Created using Machine Learning for use in Terrestrial Ecosystem and Earth System Models. *Geoscientific Model Development Discussions*, (julio), 1-21. doi: 10.5194/gmd-2017-152
- Xianhai, Z., Denglang, P., Weifu, L. & Zifan, L. (2019). Impact Analysis of Climatic Factors on Vegetative Growth, Yield and Cold Resistance of Oil Palm Introduced in Different Regions of Guangdong Province, China. *Journal of Oil Palm Research*, 31(1), 73-85. doi: 10.21894/jopr.2019.00p4
- Yahya, Z., Palm, M., Board, O., Hashim, Z., Palm, M., Board, O. & Syarif, Y. (2017). *Managing Soil Deterioration and Erosion under Oil Palm*.
- Zahrim, A. Y., Asis, T., Hashim, M. A., Al-Mizi, T. M. T. M. A. & Ravindra, P. (2015). A Review on the Empty Fruit Bunch Composting: Life Cycle Analysis and the Effect of Amendment(s). En Ravindra, P. (Ed.), *Advances in Bioprocess Technology SE-1* (pp. 3-15). Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-17915-5_1
- Zörb, C., Senbayram, M. & Peiter, E. (2014). Potassium in Agriculture-Status and Perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171(9), 656-669. doi: 10.1016/j.jplph.2013.08.008