

Inteligencia de Plantaciones de palma de aceite: análisis de datos de producción para la toma de decisiones agronómicas efectivas y el manejo de fertilizantes*

Oil Palm Plantation Intelligence: Production Data Analysis for Effective Agronomic Decision Making and Fertilizer Management

AUTORES: Thomas Oberthür, Simon Cook, Cristopher Donough, James Cock, Suan Pheng Kam, Ya Li Lim.

CITACIÓN: Oberthür, T., Cook, S., Donough, C., Cock, J., Pheng, S., & Li, Y. (2016). Inteligencia de Plantaciones de palma de aceite: análisis de datos de producción para la toma de decisiones agronómicas efectivas y el manejo de fertilizantes. *Palmas* 37(Especial Tomo I), pp. 235-242.

PALABRAS CLAVE: fertilizantes, plantaciones de palma de aceite, análisis de datos, productividad.

KEYWORDS: Fertilizers, oil palm plantations, data analysis, yield.

*Artículo original recibido en inglés y traducido por Adriana Arias de Hassan.



THOMAS OBERTHÜR

Director Regional, Programa del Sudeste Asiático, IPNI. Regional Director IPNI Southeast Asia Program, toberthur@ipni.net

Resumen

La industria de la palma de aceite se encuentra en un punto de inflexión. Lo sucedido durante los últimos dos decenios de crecimiento espectacular, apoyado en la adquisición de tierras no se prolongará por siempre. Los propietarios de las plantaciones afrontan hoy no solamente una falta de tierras adecuadas sino también el deterioro del valor del aceite de palma, la ambigüedad de la productividad, la escasez de mano de obra y una imagen pública deslucida. La industria debe encontrar un nuevo asidero, diseñar mejores procesos y hacer más con menos. Debe forjar un nuevo futuro para el aceite de palma como elemento creíble de contribución a la seguridad alimentaria, energética y ambiental, tanto a nivel local como global. La promesa de la Inteligencia de Plantaciones (IP) radica en implementar e impulsar este cambio a través de la generación y el análisis de las grandes bases de datos (*Big Data*). La producción de aceite de palma es una actividad rica en datos pero pobre en información. La industria hace acopio de grandes cantidades de datos pero muy pocos se analizan para mejorar la gestión. Sin embargo, los

datos encierran la clave para desarrollar mejores prácticas agronómicas, asignar mejor los recursos y tomar mejores decisiones de gestión. La IP es un proceso de aprendizaje adaptativo basado en el análisis de grandes bases de datos de desempeño del cultivo para lograr una mayor productividad. Algunos factores como el clima y el suelo no se pueden controlar, mientras que otros como la fertilización y los protocolos de cosecha se pueden manipular. La experiencia del Instituto Internacional de Nutrición Vegetal (IPNI) sugiere que adoptar la IP es algo relativamente sencillo para las plantaciones comerciales. Entre los beneficios se cuentan una evaluación exacta del desempeño, el rendimiento sobre la inversión y la identificación de los obstáculos que impiden una producción eficiente.

En este artículo introducimos el concepto de la IP y demostramos la forma de utilizarla para comprender mejor la respuesta de la palma de aceite a los fertilizantes y a los factores que interactúan con ella a fin de identificar y poner en marcha estrategias de gestión de los nutrientes que mejoren el desempeño global de la plantación.

Abstract

The oil palm industry is at an inflection point. The last two decades of spectacular growth through unrestricted land acquisition can not go on forever. Plantation owners now face not only a lack of suitable land but also declining value, yield ambiguity, labor shortage, and a lack luster public image. The industry needs to find a new footing. Devise better processes. Do more with less. It needs to develop a new future for oil palm as a credible contributor to local and global food, energy, and environmental security. The promise of Plantation Intelligence (PI) is about implementing and accelerating this change, through Big Data generation and analysis. Oil palm production is a data-rich but information-poor activity. The industry collects vast amounts of data but relatively little is analyzed to improve management. The data itself holds the key to better agronomic practices, better resource allocation, and better management decisions. Plantation Intelligence is an adaptive learning process based on the analysis of a large data base of crop performance data to achieve better yield. Some of these factors cannot be controlled, such as climate and soil, while others can be manipulated, such as fertilization and harvesting protocols. IPNI's experience suggests that it is fairly straight forward for commercial plantations to adopt PI. Among the benefits: an accurate assessment of performance, return-on-investment, and obstacles to efficient production.

In this paper we introduce the concept of PI, and then demonstrate how it is used to better understand oil palm response to fertilizer, and the factors interacting with it, in order to identify and implement strategies for nutrient management that enhances a plantation's overall performance.

□

Motores del desarrollo de la Inteligencia de Plantaciones

Se espera que la población mundial alcance una cifra superior a 9 mil millones para el año 2050, y que la mayoría vivirá en las ciudades (Clay, 2011). Una población más grande con mayores ingresos disponibles y los consiguientes cambios en la alimentación, incluida una mayor demanda de alimentos procesados, productos de origen animal y biocombustibles,

apunta a la necesidad de incrementar la producción agrícola total durante los próximos decenios (FAO, 2006). Sin embargo, hay abundante evidencia de que la productividad de muchos cultivos se ha estancado (Fischer y cols., 2009, Ramankutty, 2010, Byerlee & Deininger, 2010, Kushairi, 2010), incluida la de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), la fuente

más importante de aceites vegetales (Fry, 2010). La mayoría de los aumentos de la producción de palma de aceite durante los últimos años se ha asociado con el incremento del área sembrada y hay preocupación acerca de cómo aumentar la productividad para satisfacer las exigencias futuras (Corley, 2009). El único medio posible para cumplir con las metas de producción sin invadir las tierras de bosque es aumentar la productividad de las plantaciones actuales e incorporar tierras degradadas con rendimientos aceptables.

Sin embargo, hay dudas respecto de si se pueden lograr los mayores rendimientos y si hay capacidad para mejorar la productividad de las tierras degradadas hasta un nivel aceptable. Corley (1998) ha propuesto una posible productividad teórica de >18 t/ha de aceite por año. La progenie seleccionada ha producido 12,2 t de aceite de palma crudo (APC) por hectárea por año (Rajanaidu *et al.*, 1990) y las palmas individuales han producido el equivalente de 13,6 t de APC por hectárea por año (Sharma & Tan, 1999). Donough (2010) ha reportado rendimientos de aceite cercanos a 20 t de APC por hectárea por año a partir de mediciones efectuadas en una plantación comercial totalmente maduro. Se calcula que la productividad máxima de aceite que se puede obtener a escala comercial es de 10 a 11 t de APC por hectárea por año (Breure, 2003). Una plantación de la Malaysian IOI Corporation Berhad produjo un promedio de 38 t de RFF/ha/año, con un rendimiento estimado de aceite de más de ocho t por hectárea por año (Donough *et al.*, 2006). Las plantaciones más eficientes de Indonesia producen más de seis t de APC por hectárea por año (Donough, 2010). A estos niveles de productividad será posible satisfacer la demanda futura de aceite de palma a partir del área actual en producción y de posibles desarrollos nuevos en tierras degradadas marginales. Infortunadamente, a nivel de Indonesia los promedios quinquenales de 3,30; 3,92; 3,41; 3,47; 3,56 y 3,64 t de APC por hectárea indican muy poco o ningún aumento de la productividad, y la existencia de una brecha entre el promedio de las plantaciones (FAOSTAT, 2011). Por tanto, la posibilidad de cerrar la brecha de productividad dependerá en gran medida de las innovaciones introducidas como consecuencia del mejoramiento continuo de las prácticas de manejo.

Inteligencia de la Plantación como soporte para el manejo de las plantaciones

El Programa del IPNI en el Sudeste Asiático (SEAP) ha desarrollado un enfoque de gestión basado en las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) a fin de reducir la brecha de productividad entre las distintas plantaciones de palma adulta (Witt & Donough, 2007) en concordancia con los principios de la Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible (RSPO). Se han demostrado resultados exitosos en diversas plantaciones de gran escala. Un estudio hecho en seis plantaciones de aceite de palma reveló un promedio de aumento en un lapso de cuatro años de 4,6 a 25,6 %. La mejor plantación produjo un promedio de más de 30 t de RFF por año por hectárea, y la menos productiva tuvo un rendimiento de más de 20 t. El mejor bloque produjo un promedio anual de 36,2 t de RFF durante un período de cuatro años. La mayor producción anual de uno de los bloques comerciales fue de 38,2 t de RFF en Kalimantan, lo cual equivale a una producción de APC de más de 7,6 t (a una tasa supuesta de extracción de 20 %). Durante cuatro años, dos plantaciones superaron anualmente las 6 t de APC, y una plantación alcanzó 5,7 t.

Si bien ha sido muy exitoso, el desarrollo del método de las MPM también reveló la complejidad de su implementación. Según Kaydos (1999), la definición de sostenibilidad es la capacidad de cambiar los procesos en respuesta a los factores impulsores del cambio. Esos factores son muy impredecibles debido a la complejidad de las fuerzas económicas, sociales y políticas que los generan. A fin de lograr incrementos sostenibles de producción es necesario armonizar múltiples MPM con condiciones ambientales muy heterogéneas. Además, las empresas que se encuentran en situaciones ambientales semejantes pueden manejar sus plantaciones con filosofías comerciales diferentes, lo cual crea aún mayor complejidad. Sin embargo, es vital adaptarse para aumentar la productividad. Proponemos que se requieren procesos complementarios para desplegar unas MPM sostenibles y exitosas. Las empresas que se adaptan cambiando fundamentalmente los procesos son más exitosas a largo plazo que las que se adaptan cambiando sola-

mente los factores porque, con el tiempo, las condiciones cambiantes anulan los pequeños cambios factoriales, mientras que las empresas que modifican procesos pueden continuar adaptándose. Hoy se hace énfasis con frecuencia en la importancia de la inteligencia del negocio para facilitar la adaptación, y en el surgimiento del *Big Data* como componente esencial de la estrategia empresarial. Algunas de las afirmaciones pueden ser exageradas, pero varios informes recientes (Pearson y Wegener, 2013, Brown *et al.*, 2014, McAfee y Brynjolfsson, 2012) presentan datos confirmatorios. Las compañías que utilizan inteligencia del negocio son más rentables y tienen mayor probabilidad de explotar mercados nuevos y adoptar procesos nuevos. Es cierto que no sorprende el éxito de compañías que utilizan el *Big Data* como Google o Amazon, puesto que ya están ubicadas en la “banda de la información” dentro del espectro industrial. Después de todo, es claro que las empresas construidas sobre tecnologías que evolucionan a gran velocidad tienen mayor probabilidad de beneficiarse de la adopción de las tecnologías de la información que aquellas que se benefician de las dotaciones de recursos. Es más fácil comprender cómo el análisis de los datos mejora el *marketing* –un proceso intangible esencialmente– que la forma como mejora unos procesos de producción conectados a unos procesos biológicos en el mundo real.

Sin embargo, sugerimos algunas posibles aplicaciones de los análisis de los datos para los operadores de la industria de la palma de aceite (Cook *et al.*, 2014):

- a) Evaluación precisa del desempeño, incluido el análisis de las fuentes de rentabilidad, pérdidas o valoración de los activos de operaciones grandes y altamente variables.
- b) Análisis del rendimiento sobre la inversión (incluido el retorno por el uso de fertilizantes) de palmas de composición genética variable sometidas a distintos climas y cultivadas en suelos diferentes.
- c) Identificación de los obstáculos que impiden mejorar los procesos de producción, como la falta de mano de obra calificada o de oportunidades de mecanización.
- d) Soporte para las decisiones tácticas que requieren análisis de procesos complejos y/o a largo plazo. Entre ellos están, por ejemplo, evaluar la rentabilidad futura de los bloques considerando las pro-

yecciones inciertas del precio del APC, los eventos climáticos o la disponibilidad de mano de obra.

Cook *et al.*, (2014) plantean una pregunta válida con respecto a la inteligencia que podría requerirse en el caso del negocio de la palma de aceite. Si bien es razonable suponer que la mayoría de los gerentes conocen su negocio suficientemente bien como para que el análisis fuera innecesario, un cúmulo de estudios resumidos por Kahneman (2011) sugiere lo contrario. Esta investigación cataloga muchos tipos de sesgos y errores de criterio a los cuales son susceptibles hasta los mejores gerentes, independientemente del tipo de industria en la que se desenvuelven como la “desventaja” de lidiar con un mundo incierto y cambiante. La consecuencia práctica es que cuando los gerentes están bajo presión, tienden a dejarse llevar principalmente por la intuición a la hora de tomar decisiones. Cuanto más inciertas las condiciones, más arriesgadas tienden a ser esas decisiones.

Propósito de la Inteligencia de Plantaciones

Hemos desarrollado una adaptación de la inteligencia del negocio para apoyar concretamente a los gerentes y propietarios de las plantaciones en sus decisiones tácticas y estratégicas. El objetivo de la IP es proporcionar un análisis de las operaciones comerciales de la palma de aceite para que sirva de apoyo a la hora de tomar decisiones en condiciones de incertidumbre. Algunos ejemplos de tales situaciones (Cook *et al.*, 2014) podrían ser los siguientes:

- a) La expansión de la producción de palma de aceite a otras zonas en donde el conocimiento actual sobre la producción es extremadamente limitado.
- b) Cambios futuros de los términos del comercio. La probabilidad de que los precios mejoren en el futuro es menor que la probabilidad de que aumenten los costos de los insumos y la mano de obra, lo cual implica que los términos del comercio de la palma de aceite pueden tender a la baja, como se ha documentado durante los últimos 40 años para toda una gama de productos básicos diferentes a los combustibles (Spatafora y Tytell, 2009).

- c) La mayor tensión por cumplir con las presiones ambientales y sociales cuando los actores externos pueden restringir el espacio operativo disponible en el que los productores puedan tomar decisiones estratégicas.
- d) Consolidación del área de producción, lo cual se traduce en presiones para los operadores para extraer más de la tierra y de los recursos laborales existentes a fin de satisfacer a los inversionistas y a otras partes interesadas.

Mecánica y proceso de la Inteligencia de Plantaciones

La IP es un proceso adaptativo de aprendizaje basado en el análisis de una gran base de datos de desempeño del cultivo encaminado a lograr mayor productividad. Los gerentes participantes aprenderán a manejar diversos factores que afectan la productividad. La IP ilustra la variación del desempeño del cultivo y de los factores que afectan el desempeño. Algunos de esos factores como el clima y el suelo no se pueden controlar, mientras que otros se pueden manipular, como los protocolos de fertilización y de cosecha. Los análisis de la base de datos producen un portafolio de intervenciones recomenda-

das que se pueden llevar posteriormente a la práctica mediante las MPM existentes. Las MPM se pueden implementar directamente o someterse a prueba en un experimento a escala de finca a fin de lograr una confirmación adicional de su efectividad (Figura 1).

La producción de palma de aceite es una actividad rica en datos pero pobre en información. La industria recopila grandes cantidades de datos pero son muy pocos los que se analizan para mejorar la gestión. Esta falta de análisis se traduce en oportunidades perdidas. La “variación no gestionada” en las plantaciones de palma de aceite representa un medio para reclamar esas oportunidades perdidas a fin de innovar a través de la IP, puesto que son los datos los que encierran la clave para mejorar las prácticas agronómicas, asignar mejor los recursos y tomar mejores decisiones de gestión. La IP puede mejorar las habilidades de los gerentes al aclarar los efectos de los diversos insumos y vencer los sesgos naturales de criterio. Las intervenciones recomendadas más prometedoras se pueden implementar fácil e inmediatamente porque (a diferencia de los experimentos tradicionales de laboratorio) un experimento a escala de finca se puede hacer como parte de la operación de rutina de una plantación comercial, con mínima perturbación de las actividades diarias. Con el tiempo, a medida que se agregan datos nuevos, el ge-



Figura 1. La Inteligencia de Plantaciones es una herramienta analítica que examina los datos existentes y los procesos de producción como base para desarrollar y/o desplegar ideas nuevas e innovaciones para toda una plantación en un lugar específico.

rente tendrá un conjunto de cifras cada vez más confiables con las cuales trabajar. Esto permite crear una estrategia más dirigida para incrementar la productividad con mayor responsabilidad, maximizando la producción de cada lote de tierra cultivada independientemente de las características originales de la plantación.

La experiencia del IPNI sugiere que adoptar la IP es algo bastante sencillo para las plantaciones comerciales puesto que el proceso de generación es el mismo para todos los gerentes de las plantaciones. El ejercicio se puede diseñar de tal manera que refleje las prioridades de la gerencia de una plantación o de su junta directiva.

En la IP los gerentes y analistas determinan conjuntamente las fuentes de variación importantes para los gerentes. El análisis consta de ocho pasos en los cuales interactúan los gerentes y los analistas (Cook *et al.*, 2014). Los pasos comprenden la adquisición de los datos, el análisis preliminar, las conversaciones con la gerencia, un análisis más a fondo y su discusión y, finalmente, la evaluación. Es importante comprender el sistema de producción antes de tratar de analizar un componente específico de las operaciones de campo, como puede ser el uso de fertilizantes. El objetivo es eliminar la incertidumbre causada por la variación a escala de campo y así apoyar a la gerencia en sus decisiones. El ciclo análisis-interpretación-decisión-evaluación mejora progresivamente la certeza de los gerentes de campo, quienes utilizan los resultados para sustentar los cambios en la práctica. El valor del método radica en la exploración progresiva de los datos para la totalidad del área, la cual les permite a los gerentes monitorizar la pertinencia práctica de cada conocimiento adquirido.

En nuestra conferencia ilustramos la forma como la IP contribuye a la consolidación de la producción en las áreas existentes. En particular, demostramos la forma como se utiliza para comprender mejor la respuesta de la palma de aceite al fertilizante en situación comercial y los factores que interactúan con ella, a fin de identificar e implementar estrategias de gestión de los nutrientes para mejorar el desempeño global de la plantación.

Inteligencia de Plantaciones en la gestión de los fertilizantes

Los resultados presentados en la conferencia representan siete años de datos recopilados de cientos de blo-

ques, es decir, las unidades más pequeñas de gestión de la plantación, abarcando más de 10.000 hectáreas de dos plantaciones comerciales en Indonesia y Malasia. Los datos para cada bloque incluyen el área total y el área sembrada, el año de siembra, el número total de palmas, y el tipo predominante de suelo y la clase de pendiente. Un experto en suelos clasificó los suelos en grupos de manejo después de desarrolladas las plantaciones. La clasificación se basó en la profundidad, la textura, el drenaje y la fertilidad del suelo. La precipitación mensual y el número de días de lluvia se registraron en toda el área del estudio. Se utilizaron los registros mensuales del número y el peso total de los RRF para cada bloque. Se registraron las cantidades anuales de cada fertilizante aplicadas a cada bloque, se convirtieron en nutrientes N, P, K, y Mg y se sumaron para obtener el total anual de N-P-K-Mg aplicado. Se aplicaron suficientes micronutrientes para suplir las deficiencias conocidas, pero estas no se consideraron en el análisis. Se registró el número de veces que se cosechó cada bloque y el número total de días-hombre de cosecha (DHC) en cada ocasión.

Estos datos se registraron cada mes, pero se sumaron para obtener el total anual de DHC para cada bloque. Antes del análisis revisamos lo que se había registrado y eliminamos los datos incompletos, con lo cual se redujo el conjunto de datos. Calculamos el índice promedio de productividad de los fertilizantes (PPF) (FAO, 2006) utilizando el formato general aplicado en control de procesos. La variación en el producto es función de las variables controlables (VC), las variables no controlables pero conocidas (NC) y las variables no controlables desconocidas (aleatorias). Las VC son insumos de fertilizantes e intensidad de la cosecha (definida como el número de DHC por hectárea). Las NC corresponden a datos como el área del bloque, la edad de las palmas, la densidad de siembra, la topografía, el tipo de suelo y la precipitación. Exploramos el efecto de las NC sobre la respuesta en productividad a los fertilizantes. La productividad en RFF y la cantidad de fertilizante aplicado muestran grandes variaciones en el año y entre años. Redujimos la variación interactivamente mediante la regresión lineal gradual incorporada en el *software* Spotfire de TIBCO (TIBCO, 2014). El analista pudo monitorizar los componentes de la variación puesto que cada uno influye individualmente en el cálculo de la respuesta estimada al fertilizante.

Se necesitan 30 meses desde el momento en que se determina el sexo de la florescencia de una palma de aceite y el momento en que se cosecha un racimo maduro (Breure, 2003). Por tanto, para el cálculo de la respuesta en productividad a los fertilizantes se debe relacionar la productividad en RFF con el fertilizante aplicado durante el período de desarrollo del racimo. Tomamos en cuenta el período de seis meses entre la polinización y la cosecha: la productividad en RFF no responde al fertilizante aplicado en los seis meses previos a la cosecha, es decir, desde la polinización hasta la madurez. Sin embargo, los rendimientos de RFF sí responden al fertilizante aplicado durante los dos años transcurridos entre la diferenciación sexual y la polinización. Por tanto, la productividad en RFF durante cualquier año calendario se relaciona con la suma de 50 % de los nutrientes aplicados en ese año, la cual toma en consideración los seis meses previos a la cosecha, 100 % en el año anterior y 50 % en el año anterior a ese. De esta forma, sumamos el fertilizante aplicado durante los dos años anteriores a la polinización, la cual ocurre seis meses antes de la cosecha.

Resumen de los resultados presentados en la Conferencia

Brindamos un procedimiento para analizar los datos comerciales de las plantaciones de palma de aceite para identificar la relación entre el uso de fertilizante y la productividad en RFF. Hasta donde sabemos, es la primera vez que se han utilizado datos de la plantación para identificar la respuesta al fertilizante a escala comercial. Hay datos disponibles para todas las plantaciones comerciales. Consideramos que este análisis podría convertirse en elemento central de las plantaciones de palma de aceite que monitorizan constantemente el desempeño. El análisis complementa los experimentos convencionales de lotes. Explica las observaciones en

grandes áreas comerciales y apoya las inferencias sobre el desempeño futuro. El análisis arroja luces sobre las respuestas al fertilizante, las cuales aplican directamente a las áreas y a la escala en la cual se toman las decisiones sobre los fertilizantes. Se puede extrapolar fácilmente a áreas más grandes. El análisis toma en consideración las fuentes individuales de variación a cada paso, algo que los gerentes comprenden fácilmente.

La principal debilidad del método es su especificidad. No se pueden generalizar los resultados con certeza más allá de las áreas analizadas. La confianza en los resultados se basa en la variación del producto en relación con la variación de los insumos. En las operaciones comerciales, los insumos variables no tienen por objeto aportar máxima claridad sino generar utilidades. Este procedimiento les brinda a los operadores cálculos directos de la respuesta a los fertilizantes en áreas grandes, sin costos adicionales aparte del análisis. Con base en los resultados, los gerentes pueden optar por aplicar más fertilizante a los bloques de mejor desempeño. También pueden explorar si están justificadas las inversiones como las hechas en drenaje para lograr una productividad mayor y más estable. En caso de que la gerencia decida que no es rentable mejorar los bloques de mal desempeño, otra alternativa podría ser aplicar menos fertilizante. Los gerentes tendrán que reexaminar la programación de la mano de obra para tomar en consideración las respuestas esperadas al uso del fertilizante. Quizá deban concentrar más mano de obra costosa y difícil de conseguir en los bloques más productivos.

Agradecimientos

Los resultados reportados son producto de un proyecto de colaboración que se encuentra en marcha entre el Programa de IPNI en el Sudeste Asiático, Wilmar International Limited e IJM Plantations Berhad, con fondos de IPNI y Canpotex Limited.

Referencias

- Breure, C J. (2003). The search for yield in oil palm: Basic principles. In: *Oil palm – management for large and sustainable yields* (Fairhurst&Härdter, eds). IPNI.
- Brown, B., Court, D., McGuire, T. (2014). Views from the front lines of the data-analytics revolution. McKinsey Insight Publication, March 2014. Available at: http://www.mckinsey.com/insights/business_technology/views_from_the_front_lines_of_the_data_analytics_revolution

- Byerlee, D., Deininger, KW(2010). *The global land rush: Can it yield sustainable and equitable benefits?* Washington, D. C.: The World Bank.
- Clay, J. (2011). Freeze the footprint of food. *Nature* 475:287-289.
- Cook S., Lim, CH, Mohanaraj, SN, Samosir, YMS, Donough, C., Oberthür T. (2014). Palm oil at the crossroads: The concept of Plantation Intelligence to support change, profit and sustainability. *The Planter*, 90(1061), 563-575.
- Corley, RHV(2009). How much palm oil do we need? *Environmental Science & Policy* 12:134-139.
- Corley, RHV(1998). What is the upper limit to oil extraction ratio? International Conference on Oil and Kernel Production in Oil Palm – A Global Perspective. (Rajanaidu, Henson, Jalani, eds.) PORIM.
- Donough, CR, Witt, C, Fairhurst, TH, Griffiths, W., Gfoerer-Kerstan, A. (2006). Concept and implementation of best management practice for maximum economic yield in oil palm plantations. 5th International Planters Conference. Malaysia.
- Donough, CR, Witt, C., Fairhurst, TH(2010). Yield intensification in oil palm using BMP as a management tool. Proceedings of the International Oil Palm Conference. IOPRI.
- Donough, CR, Oberthür, T., Cock, J., Rahmadsyah, Abdurrohman, G., Indrasuara, K., Lubis, A., Dolong, T., Witt, C., Fairhurst, T. (2011). Successful yield intensification with best management practices (BMP) for oil palm at six plantation locations representing major growing environments of Southeast Asia. PIPOC 2011, Kuala Lumpur, Malaysia.
- FAO (2006). World agriculture: towards 2030/2050: Interim report. Global Perspective Studies Unit Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, June 2006.
- FAOSTAT (2011). <http://faostat.fao.org/>
- Fischer, RA, Byerlee, D, Edmeades, GO(2009). Can technology deliver on the yield challenge to 2050? *How to feed the World in 2050*. Economic and Social Development Department FAO.
- Fry, J. (2010). The Importance of the Global Oils and Fats Supply and the Role that Palm Oil Plays in Meeting the Demand for Oils and Fats Worldwide. *Journal of the American College of Nutrition* 29:245–252.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, Fast and Slow*. Farrar, Straus and Giroux. New York.
- Kaydos, W. (1999). *Operational Performance Measurement. Increasing Total Productivity*. Boca Raton: CRC Press.
- Kushairi, A., Tarmizi, AH, Zamzuri, I, Ong-Abdullah, M, Samsul Kamal, R., Ooi, SE, Rajanaidu, N. (2010). Production, Performance and Advances in Oil Palm Tissue Culture. International Seminar on Advances in Oil Palm Tissue Culture. International Society for Oil Palm Breeders (ISOPB).
- Mcafee, A., Brynjolfsson, E. (2012). *Big Data: The Management Revolution*. *Harvard Business Review*. October 2012. Online at: hbr.org/2012/10/
- Pearson, T., Wegener, R. (2013). *Big Data: The organizational challenge*. Boston: Bain & Company. URL: www.bain.com
- Rajanaidu, N., Rao, V., Halim, AH, Ong, SH(1990). Genetic resources: New developments in oil palm breeding. *Elaeis* 1:1-10.
- Ramankutty, N. (2010). Agriculture and Forests: Recent Trends, Future Prospects. In Linkages of Sustainability, ed. T. Graedel and E. van der Voet, 4:11-31. *Strüngmann Forum Reports*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Sharma, M., Tan, YP. (1999). Oil palm breeding programmes and the performance of DxP planting materials at United Plantations Berhad. Seminar on Sourcing of Oil Palm Planting Materials for Local and Overseas Joint Venture. PORIM.
- Spatafora, N., Tytell, T. (2009). Commodity Terms of Trade: The History of Booms and Busts. IMF Working Paper WP/09/205. IMF, Washington.
- TIBCO(2014). TIBCO Spotfire v 6.5.1. TIBCO Software Inc. Boston. Website: www.spotfire.tibco.com
- Witt, C., Donough, CR(2007). Oil palm management: Ecological yield intensification through BMP. 5th Roundtable (RT5) on Sustainable Palm Oil, Malaysia.