

La teleobservación y las tecnologías digitales para el manejo de las plantaciones

Remote Sensing and Digital Technologies for Plantation Management



Patrick H.C. Ng. MSc

Investigador Senior de Applied
Agricultural Resources
patrickng@aarsb.com.my

**Totok. S,
S.H. Tey,
K.J. Goh**

Applied Agricultural Resources
Sdn. Bhd. No. 11 Jalan Technology
3/6, Taman Sains Selangor 1, Kota
Damansara, 47810 Petaling Jaya,
Selangor, Malaysia.
aarsb@aarsb.com.my.

Palabras CLAVE

Administración de plantaciones,
teleobservación, tecnología digital,
palma de aceite.

Plantation Management, remote
sensing, digital technologies, oil palm.

Traducido por Fedepalma

Versión original en inglés
en el Centro de Información
de Fedepalma



Resumen

La industria palmera, como muchas otras industrias, se ha beneficiado de los avances de las tecnologías digitales, incluida la percepción remota. Las tecnologías satelitales y de imágenes han mejorado mucho, al pasar de imágenes de baja resolución captadas por satélites con tiempo de revisita largo, a imágenes de resolución submétrica así como a satélites de tiempo de revisita diaria, aunque las dificultades para adquirir imágenes oportunas y sin nubes en el trópico, con satélites aerotransportados, sigue siendo un problema.

Recientemente, se han observado más esfuerzos en la adquisición de imágenes por vehículos aerotransportados para contrarrestar los problemas con la alta nubosidad asociada con las imágenes satelitales, aunque los avances en los vehículos aéreos sin tripulación (UAV, por su sigla en inglés), para adquirir imágenes de percepción remota, parecían ser muy prometedores. Con estos datos e imágenes de fácil disponibilidad, las plantaciones pueden tomar decisiones rápidas, desde la adquisición de tierras hasta la planificación de la siembra y el monitoreo de la sanidad y las enfermedades de la palma, entre otras.

Además de la percepción remota, muchas plantaciones también han emprendido el uso de varias tecnologías digitales para mejorar la gestión

agrícola. Esto incluye el uso de herramientas modernas de comunicación, asistentes digitales personales (ADP), dispositivos de Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por su sigla en inglés), que incluyen navegación, equipo de medición topográfica digital, fotografía digital, bases de datos, etcétera, para capturar y pasar información para una más eficaz toma de decisiones y solución de problemas.

Toda esta información disponible le permite a los cultivadores y agrónomos no solo planificar con anticipación, sino también dirigir todos sus esfuerzos a zonas con problemas, con un enfoque más específico por sitio, a fin de obtener rendimientos para permanecer competitivos así como para manejar las plantaciones de palma de aceite de una manera sostenible.

Abstract

Like many other industries, the oil palm industry has benefited from advances in digital technologies including remote sensing. From previously reported low resolution images captured by long-revisit time satellites, image and satellite technologies have improved tremendously to sub-meter resolution images as well as daily revisit time satellites although difficulties in acquiring timely, cloud-free images in the tropics with space-borne satellites remain an issue.

Recently, more effort has been noted in image acquisition by air-borne vehicles to counter problems with high cloud cover associated with satellite imagery although advances in unmanned aerial vehicles (UAV) to acquire remotely sensed images appeared to be most promising. With such readily available images and data, plantations are able to make quick decisions from as early as land acquisition to planning of planting and monitoring of palm health and diseases to name a few.

In addition to remote sensing, many plantations have also embarked on using various digital technologies to enhance agro-management. These include the use of modern communication tools, personal digital assistants (PDA), GPS (Global Positioning System) devices including navigation, digital surveying equipment, digital photography, databases etc. to capture and relay data for more efficient decision making as well as problem solving.

With such information available, planters and agronomists are not only able to plan in advance but also able to zero-in on problem areas in a more site specific approach, in order to raise yields to remain competitive as well as to manage oil palm plantations in a sustainable manner.



Introducción

Las tecnologías digitales han cambiado nuestra forma de vivir, trabajar y jugar. Las herramientas que solían ser solo para los usuarios *premium* se han convertido en aparatos “sen-cillos”, cotidianos e indispensables. Desde el humilde teléfono hasta los teléfonos móviles con diversas funciones y fines, hasta las cámaras digitales, las tabletas y los asistentes digitales personales (PDA, por su sigla en inglés), estos aparatos o equipos han producido un enorme impacto en la forma cómo nos co-

municamos, hacemos negocios, informamos, nos entretenemos, recopilamos datos, etcétera, que era inimaginable en el pasado. Al igual que muchas otras industrias, la de la palma de aceite también se ha beneficiado de los avances en estas tecnologías.

La industria de la palma de aceite debe continuar explotando los avances en las tecnologías digitales para mejorar aún más la productividad y la eficiencia de las plantaciones de palma para permanecer rentables



y sostenibles. Los rendimientos promedio de muchos grandes grupos de plantaciones, incluidos los de Malasia, se han estancado desde mediados de la década de 1980 en alrededor de cuatro toneladas de aceite de palma crudo por hectárea por año, muy por debajo de los potenciales de rendimiento en el sitio, como lo define Tinker (1984). Las limitaciones administrativas, agravadas con la continua escasez de mano de obra, con frecuencia se han planteado como la razón principal de la incapacidad de las plantaciones para implementar las prácticas de siembra deseadas, identificar rápidamente las deficiencias nutricionales, así como reaccionar rápidamente a los problemas de las plagas y enfermedades, y por tanto, no obtener los rendimientos y resultados deseados.

En cierta medida, la incapacidad de las plantaciones para identificar los anteriores problemas para lograr una rápida implementación, también se debe a las mayores responsabilidades de los cultivadores en términos de área, tipo y cantidad de trabajo y las altas expectativas de los resultados, pero con menos personal y recursos para los trabajadores en comparación con las anteriores. Por ello, se ha vuelto importante y urgente la necesidad de revisar y examinar los sistemas, las prácticas y las herramientas de trabajo actuales. Ng *et al.* (2000) y Abdullah (2012) han definido el papel y la responsabilidad del cultivador, que no solo incluye administrar grandes extensiones de tierras, gran cantidad de activos y mano de obra, sino también proporcionar la capacitación pertinente a sus subalternos para implementar mejores prácticas de manejo

Con el rápido desarrollo de las tecnologías de la información (TI) en las últimas dos o tres décadas junto con *hardware*, *software* y varias aplicaciones asequibles, ya es posible un nuevo impulso para llevar a cabo prácticas específicas por sitio aun en la agricultura extensiva como la industria de la palma de aceite. Mediante la adopción y adaptación de estas tecnologías, los cultivadores estarían en condiciones de tomar decisiones informadas y rápidas al momento de evaluar la idoneidad de nuevas tierras potenciales, ayudar en la planeación de una nueva plantación con respecto

al agromanejo y el medio ambiente, monitorear las operaciones diarias y reducir el tiempo de inactividad, hacer informes rápidos e identificar los problemas para encontrar soluciones específicas por sitio, entre otros.

Si estas tecnologías se pueden poner en práctica eficazmente, se podría conseguir una mayor productividad de los trabajadores y de las palmas y, como predijeron Gray y Siggs (1994), la rentabilidad depende en gran medida de la productividad, que a su vez depende de la gestión de la tecnología. Así pues, ¿cuáles son algunas de estas tecnologías digitales que los cultivadores pueden incorporar provechosamente para implementarlas de manera útil en las plantaciones de palma de aceite?

Tecnologías digitales para el manejo de las plantaciones

Los avances en las tecnologías digitales y de la información le ha presentado a la industria de la palma de aceite nuevas oportunidades y posibilidades para explotar, debido a que los propietarios de las empresas agrícolas ahora se dan cuenta de la gran cantidad de información valiosa que puede estar al alcance de sus manos simplemente con pulsar un botón. En el pasado, la mayor parte de esta información se perdía después de recopilada debido a que se registraba principalmente en lápiz y papel.

Si la información se recopila digitalmente, imagine la gran cantidad de información que después se puede convertir en conocimientos útiles, lo que permitirá a continuación el desarrollo de prácticas y sistemas por sitio específico prácticos, que luego podrían dar lugar a efectos significativos en los métodos y resultados administrativos (Kok *et al.*, 2000). Aún más conveniente sería convertir esta información útil en mapas de conocimiento georreferenciados, adecuados y orientados a la acción, en los que los cultivadores puedan interpretar y hacer seguimiento. Para que esto suceda, algunas tecnologías clave deben estar disponibles:

- a. Las tecnologías GPS/SIG (Sistema de Posicionamiento Global / Sistema de Información Geográfica).

- b. Los PDA (Asistentes Digitales Personales) u otros aparatos digitales para la recopilación de datos.
- c. Los computadores y las bases de datos.
- d. Las imágenes y sistemas de teleobservación.
- e. Las herramientas de comunicación digital.

Se abordará el tema de cómo se deben usar estas tecnologías en el contexto de un manejo de plantaciones. En la Figura 25, se presenta un diagrama esquemático que ilustra cómo estas tecnologías deben también integrarse en un Sistema Integrado de Gestión de la Información.

Las tecnologías GPS/SIG para fines cartográficos y el manejo de las plantaciones

El uso de las tecnologías GPS y SIG en las plantaciones de palma de aceite se considera una norma hoy en día, aunque los humildes comienzos de esta tecnología fue en su origen propuesta para su uso en las plantaciones de palma de aceite tanto por Sugih *et al.* (1996) como por Tey y Chew (1997).

El proyecto GPS que el Departamento de Defensa de los Estados Unidos desarrolló en 1973 como un sistema de navegación satelital espacial, originalmente operó con 24 satélites GPS y el

sistema pasó a ser completamente operativo en 1994 (NRC, 1995). Con la eliminación de la “Disponibilidad Selectiva” (OSTP, 2000) y la capacidad de los nuevos equipos GNSS (sistema global de navegación por satélite) que pueden recibir el Sistema Global de Navegación por Satélite ruso (Glonass) además de las señales GPS, la precisión de la mayoría de los receptores ha mejorado enormemente a unos pocos metros. La precisión submétrica también se puede lograr con receptores de grado topográfico de tiempo real cinemático (RTK, por su sigla en inglés).

Con el uso de las tecnologías GPS/SIG, la creación de mapas precisos y su actualización se han convertido en una dicha, y ejemplos de mapas de plantaciones creados con GPS/SIG pueden observarse de la Figura 1 a la Figura 4. Las ventajas de tener estos mapas en comparación con los convencionales, se enumeran en la Tabla 1.

La información adicional que se puede digitalizar, cartografiar o crear para superponer sobre los mapas GPS, incluiría la siguiente:

- a. Mapa topográfico y de suelos (ejemplo en la Figura 1).
- b. Mapa de relieve (ejemplo en la Figura 2).
- c. Mapa de censo de plagas y enfermedades (ejemplo en la Figura 3).
- d. Mapa de materiales de siembra (ejemplo en la Figura 4).

Tabla 1. Comparación de un mapa convencional frente a uno digital.

Mapa convencional	Mapa digital
Normalmente dibujado a mano.	Digitalizado en SIG o cartografiado con GPS.
Fotocopia, la forma más habitual de reproducir.	Impreso y controlado por <i>software</i>
Difícil para producir en diferentes escalas.	Se puede imprimir en muchas escalas diferentes o incluso solamente secciones del mapa.
Difícil para agregar o quitar características.	Se puede modificar fácilmente – al agregar o reducir características.
Mínima inversión en tecnología y destrezas.	Necesita inversión en tecnología y destrezas.
Solo se puede estimar el área (hectáreas, etcétera) ocupada por ciertas secciones del mapa.	Cálculo preciso del área de ciertas secciones del mapa (por ejemplo, las hectáreas ocupadas por un determinado bloque). El cálculo de la longitud de las vías o el perímetro también se puede hacer por <i>software</i> .
Menos flexible para superponer otra información.	La superposición de otra información (suelo, topografía, drenaje, etcétera) se puede hacer fácilmente por <i>software</i> .

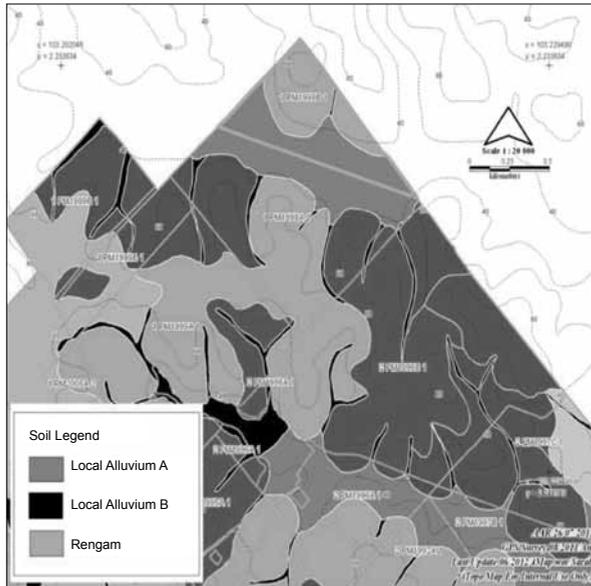


Figura 1. Mapa topográfico y de suelos de una plantación de palma de aceite.



Figura 2. Mapa de relieve de una plantación de palma de aceite.

- e. Mapa nutricional (ejemplo en la Figura 5).
- f. Mapa de rendimiento (ejemplo en la Figura 6).

El uso de mapas topográficos y de suelos superpuestos sobre los mapas de manejo de las plantaciones (mapas de bloques), le permitiría a los cultivadores y agrónomos tener una evaluación más detallada de un bloque específico. Por ejemplo el bloque 1PM1998B1 en la Figura 1. Este bloque específico tiene dos tipos principales de suelo y dos características topográficas distintas. Si resulta práctico o si el área de este bloque es suficientemente grande, debería dividirse en dos subbloques. Otra forma sería mantener el mismo bloque pero manejar los diferentes tipos de suelo y topografía de una manera muy diferente. La estimación del potencial de rendimiento en el sitio (Goh *et al.*, 2000), los requerimientos de fertilizantes (Kee *et al.*, 1994), la planificación de los insumos administrativos (por ejemplo, la aplicación mecanizada de fertilizantes frente a la manual) que se realizarán para este bloque tienen que tomar en cuenta los distintos tipos de suelo y topografía con el fin de lograr acciones y recomendaciones más específicas por sitio (Goh, Ng y Lee, 2009).

El mapa de relieve en la Figura 2 se puede hacer por GPS, digitalizar a partir de los datos

disponibles, incluidos los de la teleobservación (véase pag. 268) o incluso levantar por instrumentos de nivelación (véase página. 273). La disponibilidad de este mapa le permite a los cultivadores estimar los requerimientos generales de drenaje para el área con base en el análisis de captación (Figura 15). También se pueden afinar más los requerimientos y el diseño del drenaje interno si hay más datos precisos de altura disponibles obtenidos a partir de GPS de alta precisión o del levantamiento de nivelación, como se expone en la página 273 y se ilustra en la Figura 20.

Para afrontar los problemas de las plagas y enfermedades en la finca, se debe empezar con la identificación correcta de la plaga (o enfermedad), las etapas involucradas y la propagación. Esto se asimila, por ejemplo, a la recopilación de información de inteligencia en un ejercicio militar. Clásicamente, las plantaciones han recopilado estos datos a través de censos, pero la conversión de estos datos a información útil mostrándolos en un mapa digital sería más eficaz. En situaciones más avanzadas, las plantaciones también pueden recopilar los datos directamente por los dispositivos GPS o PDA con capacidades de GPS, lo que entonces reduciría la necesidad de una doble manipulación de los datos.

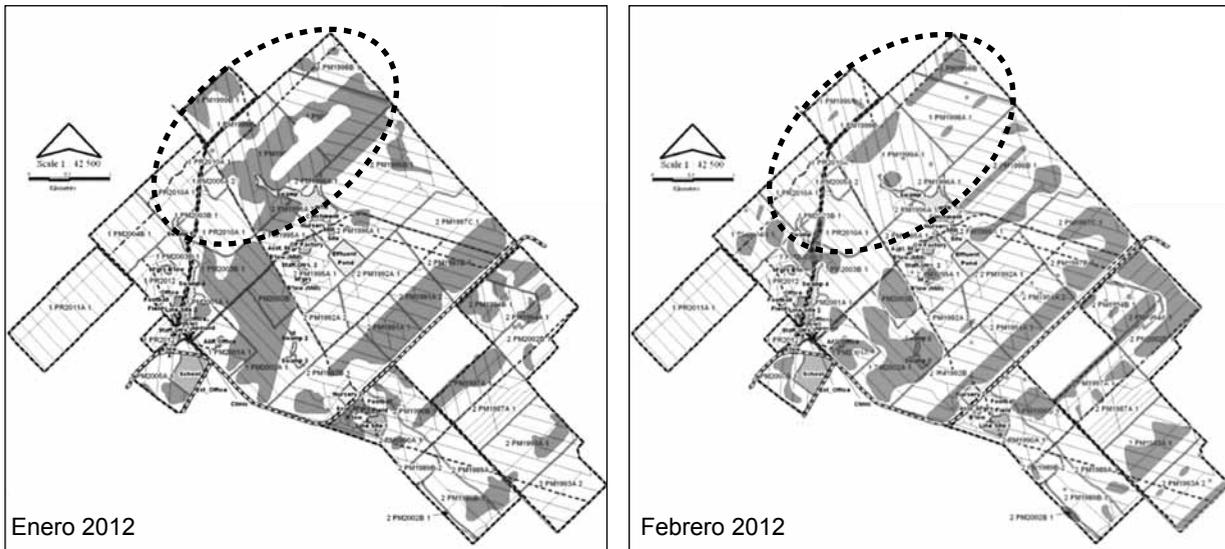


Figura 3. Mapa de censo de plagas y enfermedades (ratas) en dos periodos.

Al estudiar la extensión y las etapas de la plaga (o enfermedad) geoespacialmente y en una serie de tiempo, el cultivador puede entonces decidir si es necesario llevar a cabo un tratamiento o el momento y lugar adecuado donde el tratamiento debe enfocarse.

Además de priorizar el tratamiento de las plagas, los cultivadores también pueden determinar si el tratamiento realizado es eficaz, como se ilustra en la Figura 3. En esta figura, el daño fresco causado por las ratas en una sección de la plantación disminuyó donde se llevó a cabo el tratamiento (marcado con líneas punteadas), pero no se observó ningún cambio real en otras áreas.

Otros datos administrativos también se pueden resumir o mostrar fácilmente en mapas SIG, como los diferentes materiales de siembra que las fincas han plantado (Figura 4). Estos mapas pueden ayudar al cultivador a visualizar la distribución de los diversos materiales de siembra dentro de las plantaciones, que luego se pueden utilizar con paquetes de SIG para correlacionar con otros parámetros, tales como los rendimientos, la aparición de plagas y enfermedades, la nutrición, etcétera. Esta necesidad se ha vuelto más importante con la siembra por parte de las plantaciones de materiales distintivamente diversos, tales como los híbridos OxG que tienen características muy diferentes en comparación con los DxP

(Cristancho, Sanataacruz y Rosero, 2011) o incluso con las palmas de aceite clonales y pueden tener sus propias respuestas únicas a la nutrición y el crecimiento incluso en suelos y condiciones de cultivo similares.

La mayoría de las plantaciones llevarían a cabo análisis foliares periódicos y los clasificarían en diversos estados nutricionales para realizar diferentes prácticas de manejo agrícola. Con la capacidad en cartografía digital, esta

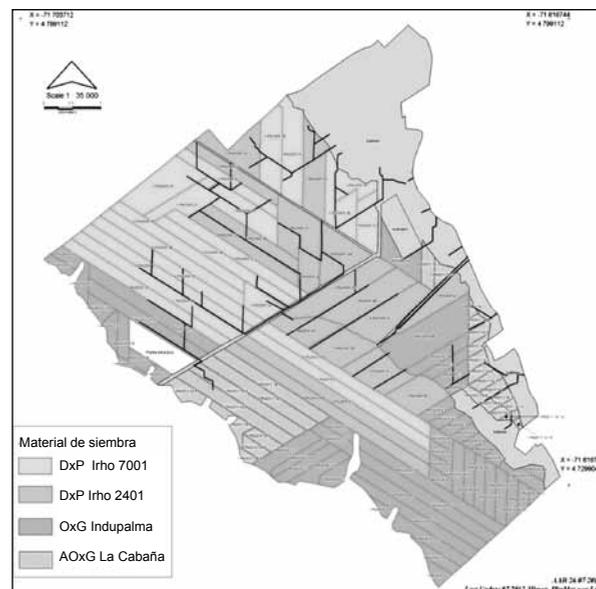
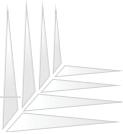


Figura 4. Mapa del material de siembra de una plantación en Colombia.



información no solo se puede mostrar en un mapa para fines de visualización, sino podría también utilizarse para estudiar las posibles implicaciones, como en los rendimientos.

La Figura 5 ilustra la distribución del % K foliar en una plantación en Indonesia, mientras que la Figura 6 ilustra la brecha de rendimiento de la misma plantación. La brecha de rendimiento se define aquí como la diferencia entre el potencial de rendimiento en el sitio y el rendimiento real obtenido por la finca. Incluso sin un análisis SIG, se puede observar que la esquina superior derecha de la plantación tenía una nutrición foliar de K más pobre y, en consecuencia, tenía brechas de rendimiento más grandes. Un trabajo más detallado se podría llevar a cabo si los datos agronómicos y de manejo de las plantaciones se capturan en una base de datos relacional y se vinculan los datos con mapas digitales mediante SIG (Fairhurst *et al.*, 2000; Ooi, Tey y Ng, 2001; y Ng *et al.*, 2002).

Si los rendimientos se recolectaran sobre una base más detallada, como por ejemplo a partir de cada tarea de cosecha, el rendimiento de las tareas también se podría visualizar para identificar las tareas de menor rendimiento para realizar verificaciones posteriores y, posiblemente, medidas correctivas. Las tareas de cosecha normalmente se asignan a cada cosechador (o recolector) y el tamaño de las tareas de cosecha es normalmente de una a dos hectáreas. En una plantación en Malasia, los racimos se cuentan por tarea para fines de pago y el peso promedio de los racimos para el bloque se obtiene cuando el peso total de RFF para el área se divide por el número total de racimos de la misma área. El proceso de conteo de los racimos lo realiza un contador de racimos mediante un dispositivo de lectura de códigos de barra.

Al final del día, los datos del dispositivo de código de barras se descargan entonces al

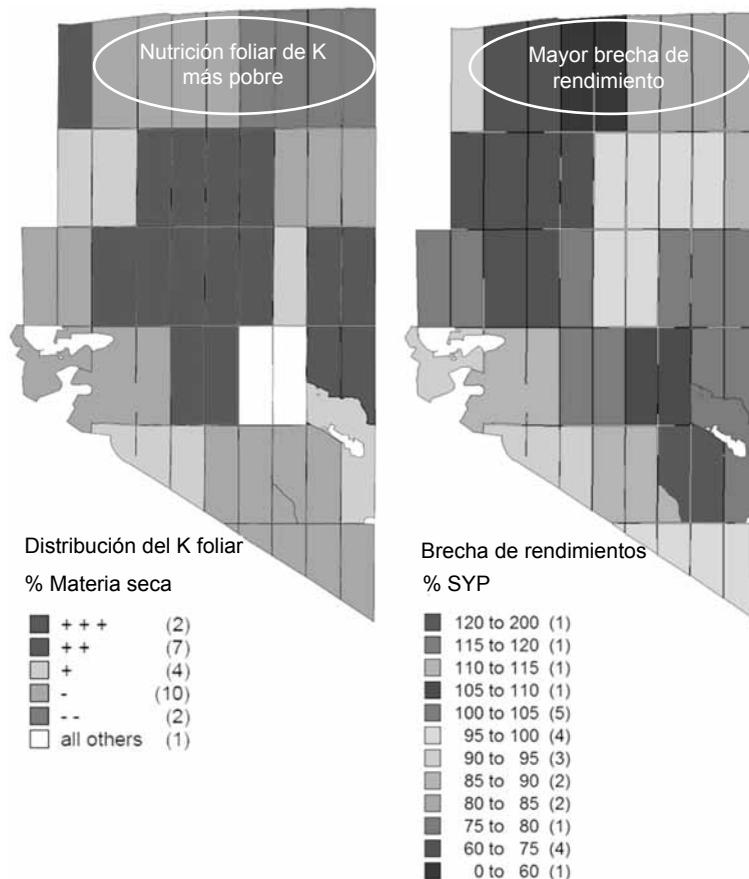


Figura 5. Mapa de nutrición de K y brecha de rendimiento de una plantación de palma de aceite.

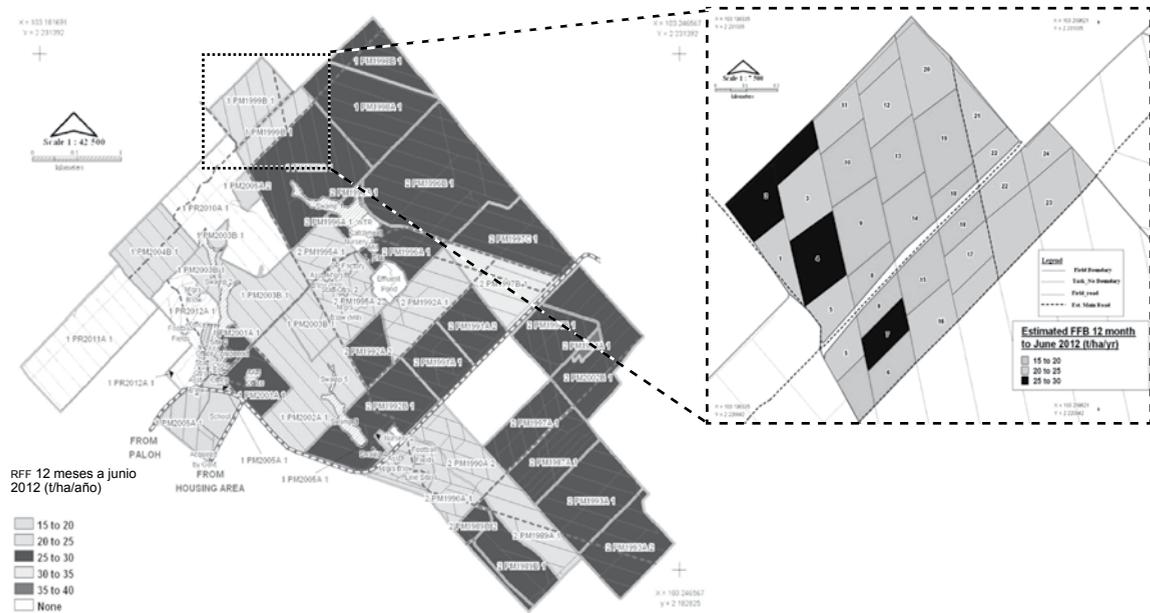


Figura 6. Mapa de rendimiento y mapa de rendimiento de tareas (parte superior derecha) de un bloque de menor rendimiento dentro de la misma plantación (el rendimiento promedio del bloque es de 21,6 toneladas/ha/año).

computador de la plantación, que tiene una base de datos sencilla para capturar y almacenar la información. Además de ayudar a la plantación en el pago para cada cosechador (con base en los racimos cosechados), los datos también se pueden utilizar para estimar el rendimiento para cada tarea individual al multiplicar el número de racimos y el peso promedio de los racimos. Esta información se puede entonces visualizar en un mapa digital como se ilustra en la Figura 6. Aunque el rendimiento de las tareas calculado por este método es solo una aproximación, puede utilizarse como una herramienta muy útil para posiblemente localizar las tareas problema o las tareas con rendimientos potencialmente más bajos. Con la disponibilidad de este sistema, los cultivadores podrían entonces verificar las razones por las cuales ciertas tareas están siendo menos productivas, como las de color gris oscuro en la Figura 6.

Muchas plantaciones en América Latina, en particular en Colombia, le pagan a los cosechadores por el peso real de RFF cosechados mediante mecanismos de pesaje fijados a las máquinas, tales como los de la Figura 7. El peso de RFF cosechados por cada cosechador o tarea de cosecha podría entonces convertirse a rendimiento/

ha y, por tanto, sería más exacto que el método descrito anteriormente.

Aún mejor, el mapa de rendimiento de las tareas se podría entonces convertir a un formato que se puede visualizar por un dispositivo GPS o un PDA con capacidad de GPS, como el 'teléfono inteligente' en la Figura 8. Los cultivadores y los supervisores pueden luego, al



Figura 7. Pesaje mecanizado de RFF.

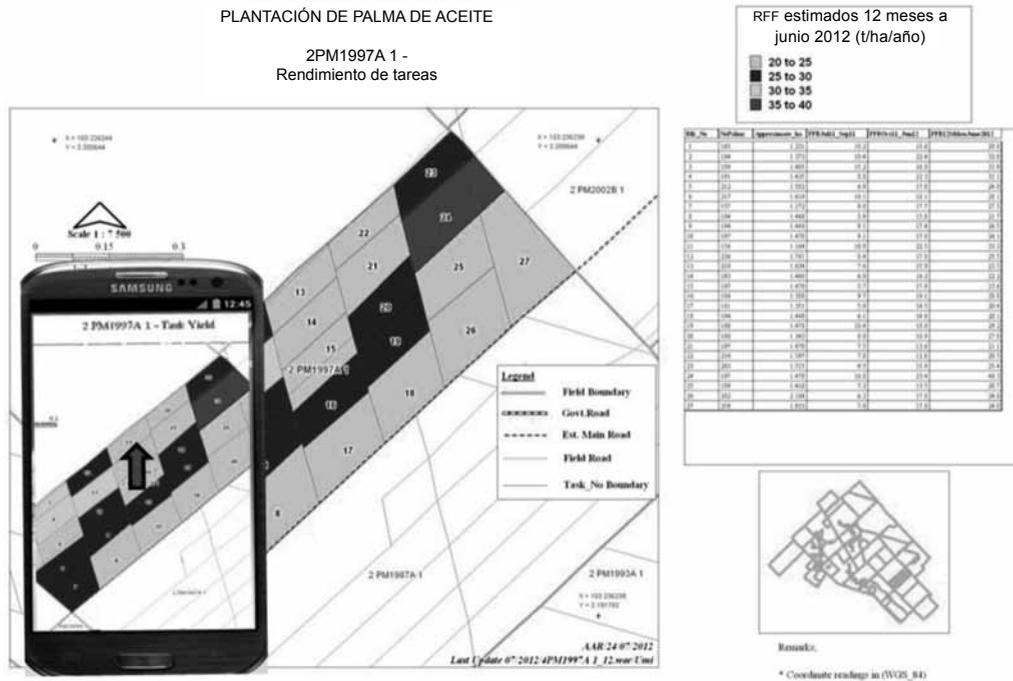


Figura 8. Mapa de rendimiento de una plantación – impreso y cargado en un PDA con tecnología GPS. Cada polígono representa los rendimientos calculados de RFF para la tarea en un rango definido de color.

desplazarse por sus plantaciones, ir a las ‘tareas más deficientes’ y evaluar la situación sobre el terreno para lograr un mejor manejo agrícola por sitio específico. Muchas veces, estas ‘tareas más deficientes’ se debieron a que los cosechadores no completaron sus operaciones de cosecha (algunas palmas se quedaron sin cosechar) debido a problemas de accesibilidad u otras limitaciones relacionadas con el manejo agrícola que se podrían identificar para tomar medidas correctivas. Al encontrar soluciones por sitio específico para estas limitaciones, los rendimientos en las ‘tareas más deficientes’ podrían mejorarse y, por tanto, se lograrían mayores rendimientos en general.

La teleobservación para el manejo de las plantaciones

El primer informe de teleobservación implementada en el manejo agrícola, aunque utilizada indirectamente, comenzó con la cartografía de los recursos del suelo a partir de fotografías aéreas en 1929 efectuada por Kellogg. En los años 1960, los intentos de entender las interacciones de la luz con los doseles de las plan-

tas se llevaron a cabo como estudios iniciales de la teleobservación seguido por la predicción de los rendimientos y estudios sobre las relaciones entre las hojas de las plantas y la temperatura (Frazier, Walters y Perry, 1997).

A esto siguió la utilización de la teleobservación en los cultivos de plantación con la producción de modelos digitales de elevación (DEM, por su sigla en inglés) (Tey *et al.*, 2000) y el uso de imágenes captadas por teleobservación para la detección de diversos parámetros vegetativos (McMorrow y Tey, 2000; Ibrahim, Hassan y Khalid, 2000; Koay *et al.*, 2009), incluidos la biomasa, la pérdida de doseles debido a las plagas, los estados nutricionales y la predicción de los rendimientos.

Los trabajos posteriores con la teleobservación también incluyeron su uso para detectar parámetros ambientales, tales como los puntos calientes o las actividades de quema a cielo abierto, el cambio de la vegetación del suelo o uso de la tierra, tales como de bosque a agricultura o de un cultivo a otro, e incluso para la identificación de las áreas que se clasifican como bosques con alto valor de conservación (BAVC) (Sulistioadi, Hussin y Sharifi, 2004).

El trabajo con la teleobservación, como se ha descrito anteriormente, fue posible para las plantaciones de palma de aceite con la mejora en la calidad y la disponibilidad de los datos de teleobservación en los últimos diez años. Las imágenes captadas por teleobservación se pudieron obtener principalmente de dos fuentes, esto es desde el espacio y aérea, y estas imágenes pueden oscilar entre una resolución más baja (mayor cobertura por escena) a una resolución alta (menor cobertura por escena) y puede o no incluir imágenes captadas con sensores multiespectrales. Los sensores multiespectrales son aquellos que pueden registrar simultáneamente múltiples imágenes (o bandas), por lo general hasta siete a diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético. Diferentes imágenes espectrales son más sensibles a diferente usos, por ejemplo, las imágenes captadas en el espectro infrarrojo cercano son más sensible al área foliar y a las estructuras de las plantas (McMorrow y Tey, 2000), etcétera.

La teleobservación desde el espacio

Hoy día, las estimaciones de los parámetros vegetativos, como el monitoreo del crecimiento de las palmas, e incluso para el cálculo de los rodales de palmas, el área foliar y el uso de la tierra, normalmente se llevan a cabo mediante imágenes ópticas de alta resolución de los satélites espaciales, tales como Quickbird, Ikonos, GeoEye y Worldview. Las imágenes provenientes de estos satélites de alta resolución pueden tener resoluciones de píxeles de 1 m o submétricos y con las imágenes de ar-



Figura 9. Imagen satelital de alta resolución proveniente de Google Earth de una plantación de palma de aceite.

chivo, la opción de obtenerlas puede ser relativamente menos costosa. Las imágenes de alta resolución en las áreas de palma de aceite se pueden obtener también de Google Earth, como se observa en las figuras 9 y 10.

Ejemplos de los usos de estas imágenes de alta resolución en las plantaciones de palma de aceite pueden observarse en las figuras 10 a 14. En las áreas recién sembradas de palma de aceite, las imágenes (figura 10) se pueden utilizar para la cartografía de escritorio al digitalizar las características requeridas de las imágenes, por ejemplo, vías, límites de los bloques y áreas no sembradas o de conservación. Con estas digitalizadas, el cálculo del área sembrada, la longitud de las vías, etcétera, se puede llevar a cabo con *software* de cartografía de escritorio, como Mapinfo Professional u otros *softwares* SIG. También puede ser una opción el conteo de los puntos de palmas dentro de cada bloque de manejo, como se observa en la Figura 11 y esto se puede utilizar posteriormente para calcular la densidad de las palmas ya que también se conoce el área sembrada para ese bloque específico.

Para las palmas sembradas en terrazas, las imágenes también se pueden utilizar para identificar las áreas llenas así como las áreas vacías, como se observa en la Figura 12 y la plantación puede entonces decidir si debe eliminar o adicionar nuevos puntos de siembra en esas áreas. Con las imágenes captadas en el espectro infrarrojo cercano (Figura 13), también se pueden identificar las palmas estresadas o menos normales. Los parches de palmas con crecimiento deficiente también se

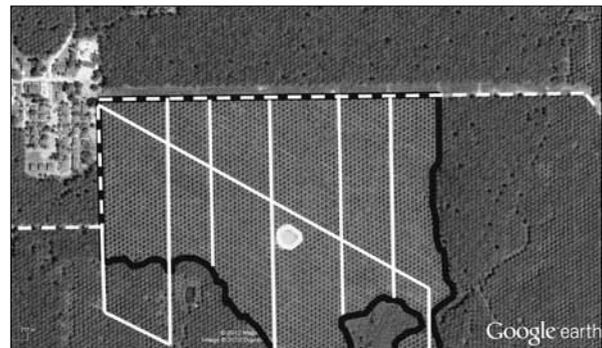


Figura 10. Imagen satelital de alta resolución (Google Earth) que puede utilizarse para la cartografía digital de escritorio.

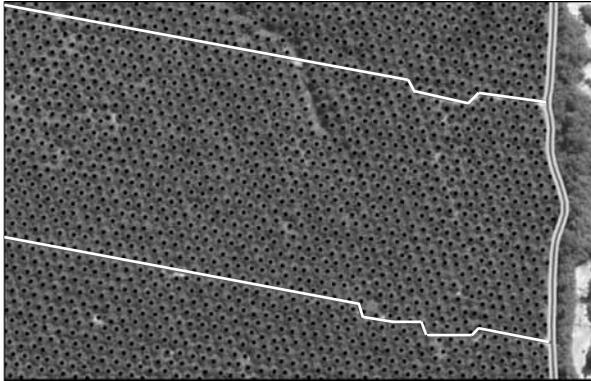


Figura 11. Cada punto digitalizado para conteo de las palmas (imagen de Geoeye).

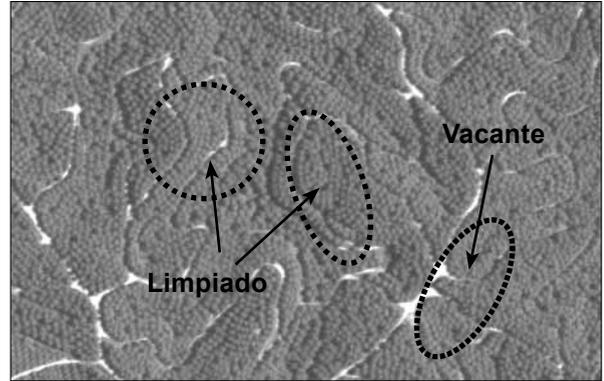


Figura 12. Imagen que ilustra las áreas llenas y vacías de palmas (Imagen de Quickbird).

pueden identificar con infrarrojo cercano de alta resolución e incluso con imágenes ópticas (recuadro de las figuras 13 y 14).

La naturaleza del estrés o las razones por las que el crecimiento de las palmas es más deficiente, sin embargo, deben ser realidad del terreno, ya que se pueden deber a diversas razones, tales como el alto nivel freático (incluida la inundación), la mala nutrición, los suelos más pobres, etcétera. En las plantaciones a gran escala, esta indicación preliminar mediante el uso de imágenes satelitales puede ser extremadamente ahorradora de tiempo y

útil para entonces tomar medidas más específicas por sitio.

Otros usos de las imágenes satelitales para el manejo de las plantaciones incluiría la estimación del índice de área foliar mediante imágenes multiespectrales (la banda verde o la roja) como lo afirman McMorrow y Tey, 2000. Los autores también produjeron un índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por su sigla en inglés) de su área de estudio y aunque el NDVI no mostró una buena correlación con el índice de área foliar, la estimación de las edades de las palmas fue posible. Los trabajos que utilizan un modelo de dispersión de microondas han comenzado (Koay *et al.*, 2009) y existe la posibilidad de utilizar este modelo para la detección de las incidencias de plagas y enfermedades.

El uso de imágenes satelitales para la planificación y diseño de los requerimientos de drenaje en las plantaciones también sería de gran



Figura 13. Imagen en el infrarrojo cercano de una plantación de palma de aceite en Indonesia.



Figura 14. Imagen de Google Earth con parches de palmas de aceite con crecimiento más deficiente.

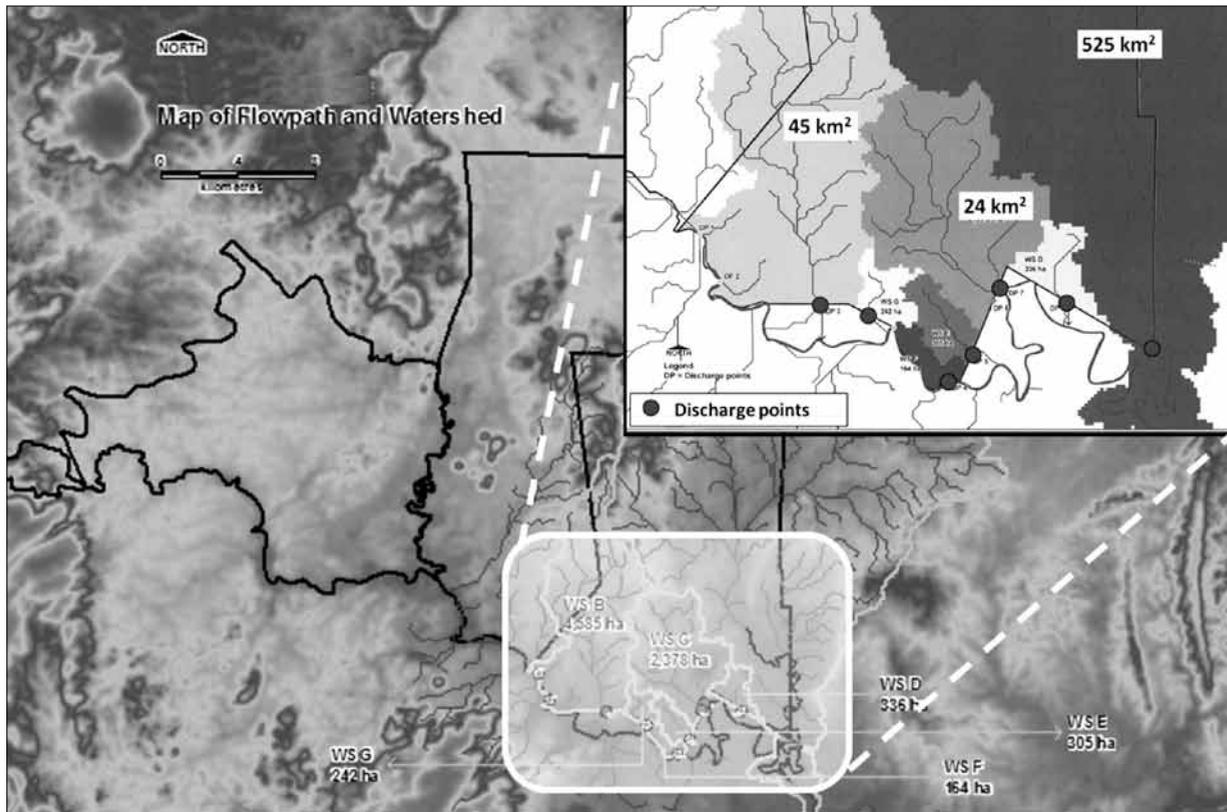


Figura 15. Mapa de las cuencas hidrográficas de una plantación en Indonesia.

utilidad, especialmente durante las etapas de desarrollo de la plantación, como se observa en la Figura 15. A partir de esto, se pueden identificar y diseñar los estudios de captación de agua, el flujo de drenaje, los puntos de salida, etcétera, antes de la construcción real.

La teleobservación aérea

A pesar de las numerosas e interesantes aplicaciones de la teleobservación desde el espacio, la adquisición de imágenes oportunas y libres de nubes sigue siendo un problema en los trópicos. Pese a la mejora significativa, la adquisición de las imágenes puede variar desde unos días hasta incluso seis meses dependiendo de diversos factores, como las condiciones meteorológicas, las nubes y la disponibilidad de satélites. Esto ha motivado mayores esfuerzos para analizar la utilización de vehículos aéreos para la adquisición de imágenes para contrarrestar los problemas de alta nubosidad asociada con las imágenes satelitales, así como el

largo periodo de retraso. Actualmente, los vehículos aéreos no tripulados (UAV, por su sigla en inglés) son los más prometedores en esta categoría, aunque los sensores instalados en aviones de ala fija fletados siguen estando disponibles comercialmente. Estos últimos son más apropiados para la adquisición de imágenes en una gran extensión de terreno en vista de su costo de operación relativamente más alto (requiere un piloto con licencia y una aeronave a escala completa). Además de los sensores ópticos, en tales aeronaves también se pueden instalar equipos con capacidades de RADAR (acrónimo del inglés *Radio Detection and Ranging*, detección y medición de distancias por radio) y LiDAR (acrónimo del inglés *Light Detection and Ranging*, detección y medición por luz)

Los UAV para la teleobservación tienen varias ventajas relevantes sobre la teleobservación desde el espacio y la realizada con aviones de ala fija fletados, y esto incluye:

a. Libre de nubosidad.

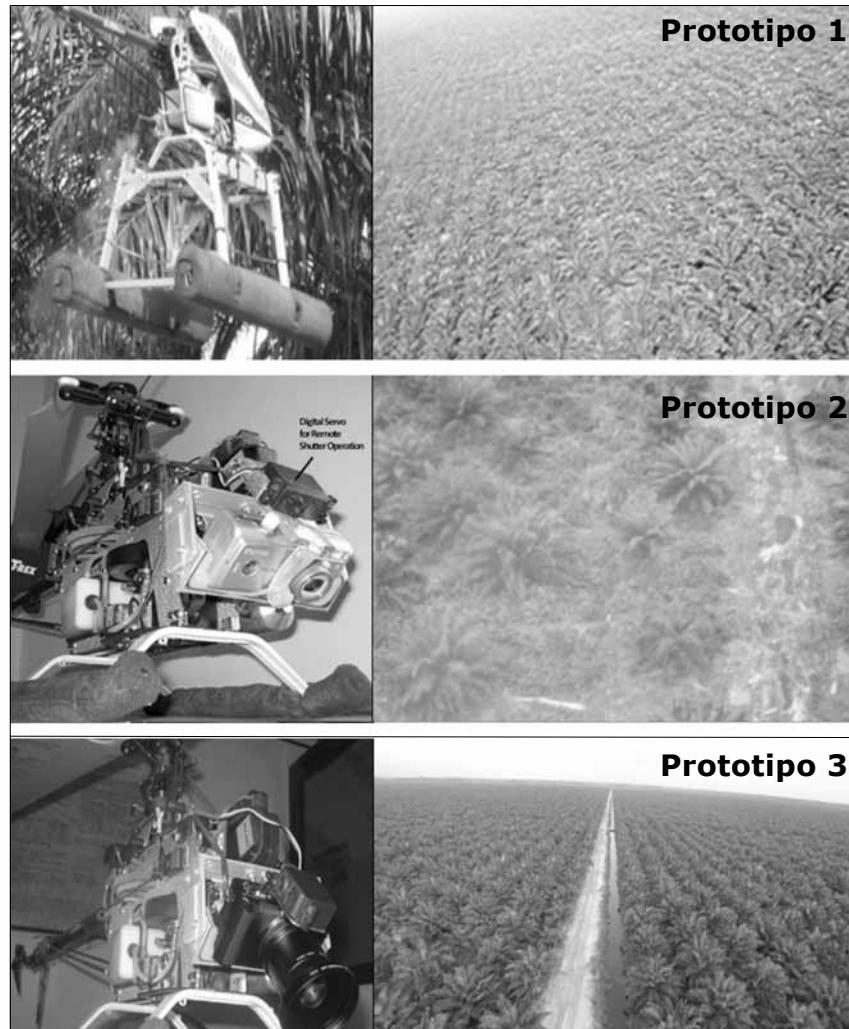


Figura 16. Prototipos de UAV para la teleobservación aérea a pequeña escala.

- b. Capaces de adquirir imágenes sobre áreas de estudio más pequeñas, esto es, sobre una plantación o secciones de esta según y cuando se requiera.
- c. Relativamente más sencillos de operar y de adquisición rápida para fines específicos.
- d. Capaces de adquirir imágenes durante periodos de tiempo preseleccionados, por ejemplo, para detectar el alcance de las inundaciones y qué tan rápido o despacio están retrocediendo las aguas.
- e. Relativamente más baratos.
- f. Muy alta resolución a altitudes más bajas.

Los UAV para teleobservación se pueden clasificar de modo general en dos, esto es, aeronaves UAV de ala fija y helicópteros UAV. Los trabajos en AAR (Applied Agricultural Resources Sdn.

Bhd.) han empezado con estos últimos con varios prototipos de UAV como se ilustra en la Figura 16, junto con las imágenes captadas por cada prototipo. Debido a que estos prototipos eran principalmente de naturaleza pequeña, la dificultad con el viento, especialmente a altitudes más altas y tiempo de vuelo corto, era un problema. Además, tenían un alcance y altitud de vuelo limitados (aproximadamente 200 m del usuario), debido a que se volaban manualmente (aunque a control remoto) y su vuelo dependía puramente de la visibilidad del UAV. Con las bajas altitudes, el alcance de la cobertura de la imagen era limitada y se requerían muchas secuencias de vuelo para captar las imágenes para un área de bloque particularmente grande. No obstante, con el Prototipo



Figura 17. UAV con motor a gasolina de 23 cc equipado con piloto automático.

3 se puede captar un área mucho más grande a una mejor resolución de imagen.

Con esas limitaciones, AAR buscó UAV alternativos y actualmente está evaluando un sistema más grande (Figura 17) que tiene un motor a gasolina de 23 cc y este helicóptero se puede volar en piloto automático con coordenadas y

elevaciones predefinidas. Los problemas con el viento se seguirían previendo pero en menor medida debido a su tamaño y peso.

Otras opciones incluirían el Gatewing X100 de Trimble (Figura 18) que es un UAV de ala fija con un metro de envergadura. El X100 puede volar a altitudes entre 100 y 750 m, hasta 45 minutos sin paradas, a una velocidad de crucero de 75 km/hora en piloto automático con rutas de vuelo con coordenadas GPS predefinidas. A la altitud de vuelo predeterminada de 150 m, las imágenes se captarían con resoluciones de 5 cm (plano XY) con una precisión de altura de 10 cm. La adquisición de imágenes para un vuelo promedio se estima que cubre de 100 a 300 ha con una superposición de imágenes muy alta. El X100 también está diseñado para operar en condiciones de lluvia ligera y una velocidad de viento de hasta 60 km/hora.

Las imágenes de las Figuras 18b y 18c fueron captadas a una altitud de 600 m por el X100. Además de las imágenes ópticas normales

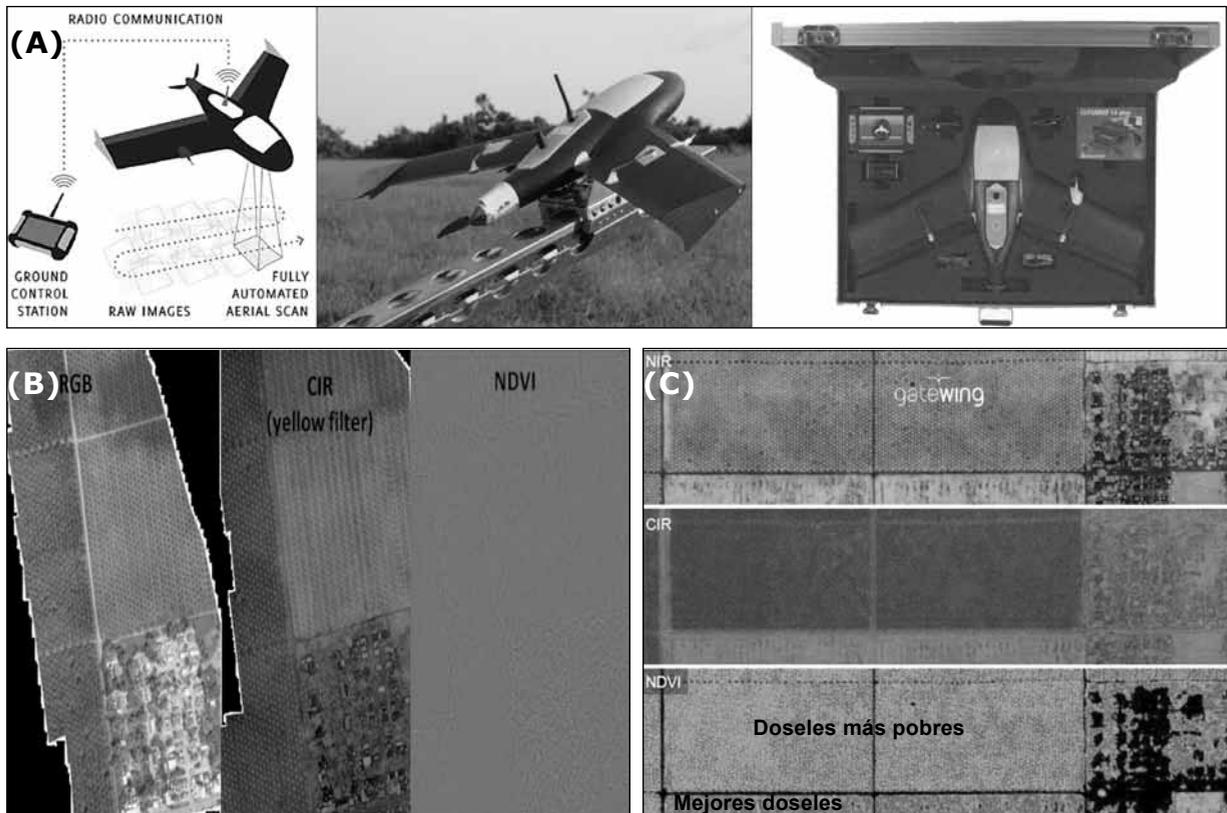


Figura 18. UAV Gatewing X100 de Trimble utilizado para la teleobservación en plantaciones de palma de aceite. (Fotos originales vienen en colores para observar el efecto de los filtros).



Figura 19. Estación total típica.

(RGB), el X100 también puede adquirir imágenes en el infrarrojo cercano (NIR, por su sigla en inglés), en el rojo y en otras partes del espectro y con distintos filtros, como el color infrarrojo (CIR) con filtro amarillo. Las imágenes también se pueden utilizar para producir una imagen NDVI ($NDVI = [NIR - Rojo] / [NIR + Rojo]$), en la que las palmas que tienen mejores doseles pueden ser diferenciadas. La imagen NDVI de la Figura 18c sugiere que el área en el sur tenía más vegetación (o doseles de palmas más densos) en comparación con el norte.

Levantamiento de nivelación y análisis del terreno

Uno de los principales problemas que afecta el crecimiento de las palmas de aceite en los suelos aluviales planos es el drenaje o la falta de él. Si bien la teleobservación se puede utilizar para la determinación del diseño general de drenaje, los equipos como la Estación

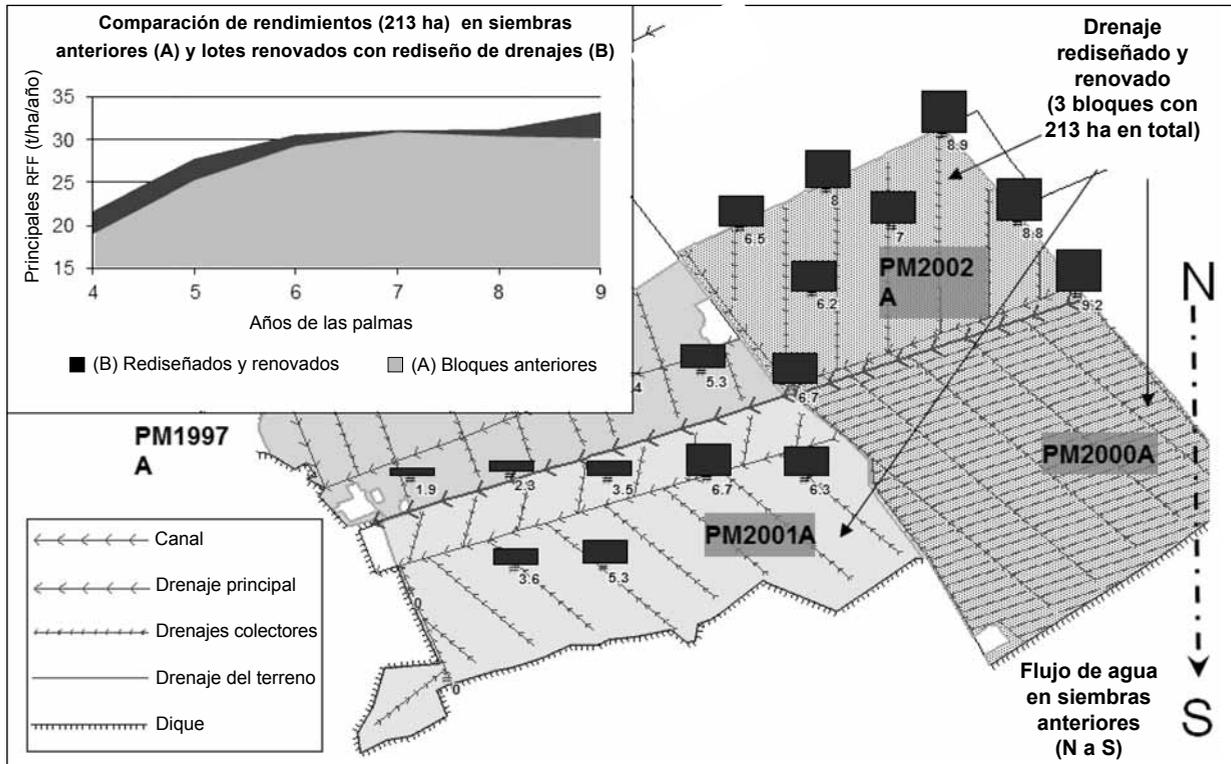


Figura 20. Proyecto de mejora de drenaje para una plantación de palma de aceite en el norte de Malasia Peninsular. El gráfico del recuadro ilustra los rendimientos promedio de RFF (promedio en 213 ha) para las palmas en las siembras anteriores (los años 1970) en comparación con las palmas renovadas (2000 a 2002) con drenaje rediseñado. Las columnas verticales (con números debajo) ilustran las diferencias relativas de altura del terreno en pies.

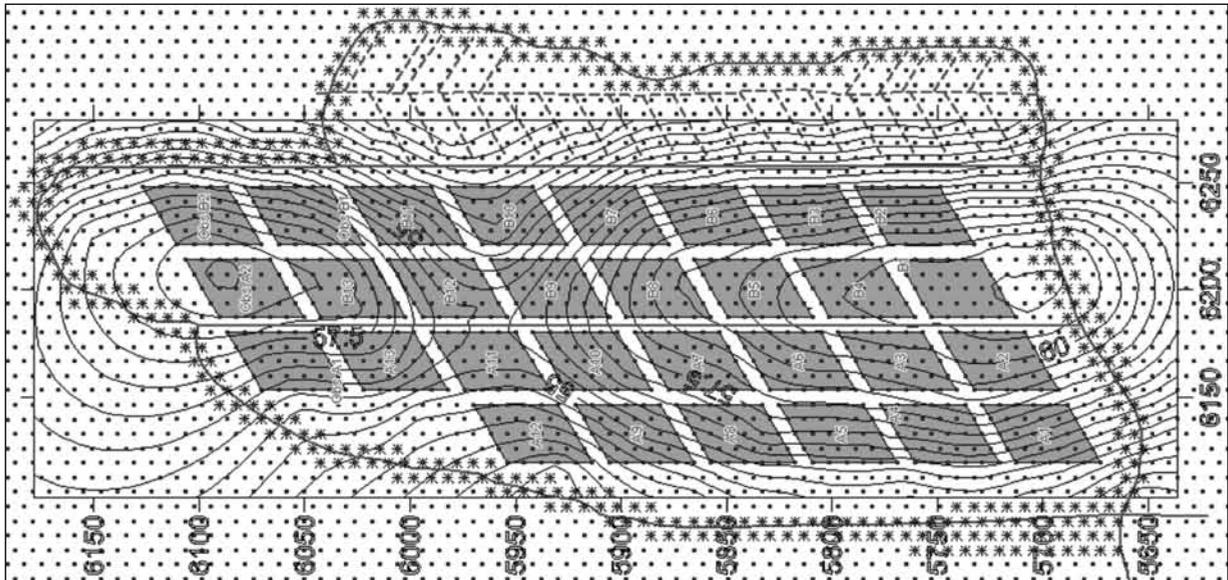


Figura 21. Mapa topográfico (intervalo de 30 cm) de las parcelas experimentales medidas.

Total (Figura 19) se podrían usar para determinar con mayor precisión la topografía y el flujo de agua para las plantaciones en terrenos planos y extensos. La estación total es básicamente un equipo de levantamiento topográfico electrónico, impermeable y computarizado o un teodolito electrónico incorporado con un medidor de distancia de alta precisión que puede entonces leer y determinar automáticamente las pendientes y distancias mediante el uso de los principios de la trigonometría. Con la estación total, los puntos medidos se almacenan automáticamente en el computador a bordo y la latitud, longitud y altitud de todos los puntos medidos se pueden calcular con una precisión de 3 mm con un punto de referencia conocido.

La Figura 20 ilustra una plantación en suelos planos costeros en el norte de Malasia Peninsular, que tiene drenaje intrínsecamente pobre. En el ciclo anterior de las palmas de aceite (sembradas en los años 1970), el flujo de agua estaba alineado hacia el sur (de N a S) debido a que la plantación supuso que el terreno era totalmente plano y, por tanto, el flujo de agua en todas las direcciones debería ser el mismo. A pesar de una densidad de drenaje adecuada (un drenaje de campo en cada cuatro hileras de palmas), el drenaje sigue siendo un problema durante los meses de fuertes precipitaciones.

Justo antes de la renovación (realizada entre 2000 y 2002), se llevó a cabo un levantamiento del nivel del terreno como parte del mejoramiento del drenaje de la plantación. A partir del levantamiento de nivelación, parece que la topografía general de la plantación, aunque plana a simple vista, tenía un gradiente natural desde el noreste que fluía hacia el sudoeste. Un nuevo sistema de drenaje se diseñó entonces para la plantación menos el bloque en la esquina superior izquierda, ya que esta área había sido renovada en 1997.

El crecimiento de las palmas y los rendimientos de RFF para las áreas rediseñadas (tres bloques para un total de 213 ha, marcados como B en el gráfico del recuadro de la Figura 20) se monitorearon y se compararon con las siembras anteriores (siembras de la década de 1970, marcadas como A en el mismo gráfico). Como era de esperar, se obtuvieron rendimientos iniciales más altos con los bloques rediseñados (B) y esta tendencia de mayores rendimientos continuó incluso hasta el noveno año después de la siembra (datos hasta el año 2011). Los rendimientos acumulados de seis años para el sistema de drenaje mejorado (B) totalizaron 2302 toneladas de RFF en las 213 ha o 10,8 toneladas/ha más altos.

La Estación Total también es muy útil para marcar las parcelas, tales como para fines de

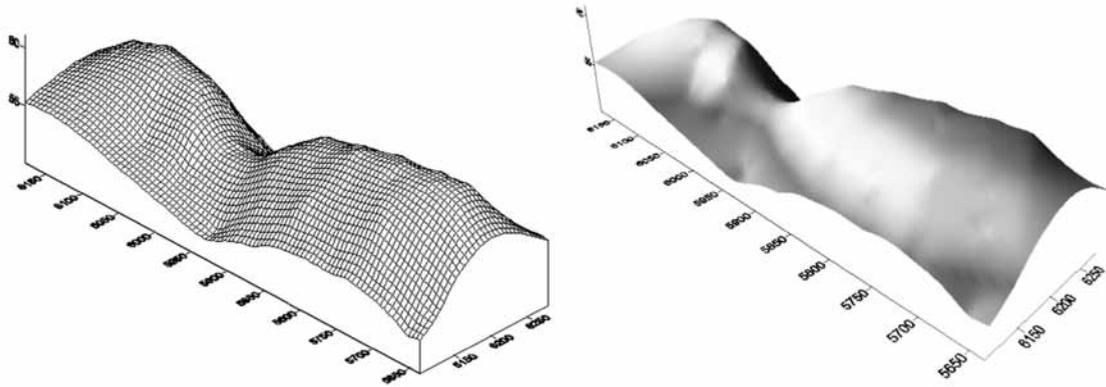


Figura 22. Modelo Digital de Elevación (DEM) en tres dimensiones (3D) de la misma área de estudio en la Figura 21.

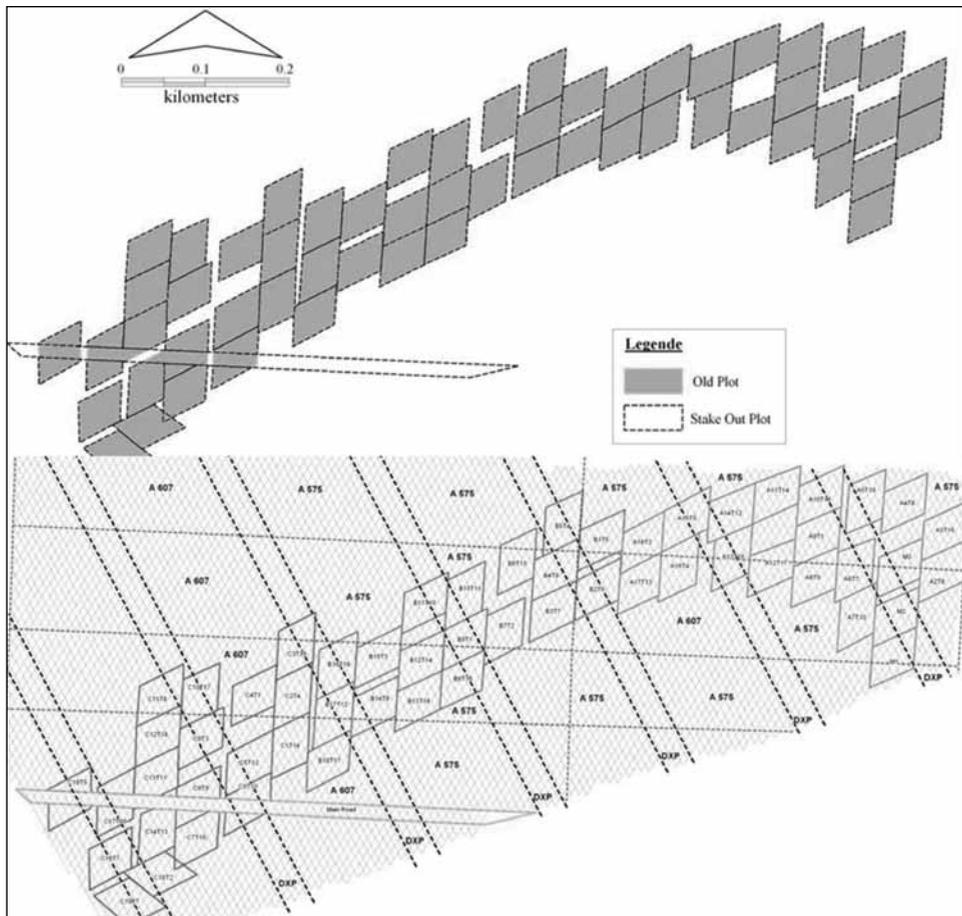


Figure 23. Arriba: Comparación de las parcelas viejas medidas y las parcelas recién 'delimitadas' (stake-out) con la Estación Total en un ensayo de fertilización en Sabah (exactitud obtenida dentro de los 5 cm). Abajo: Nuevas hileras de siembras y vías medidas y superpuestas con las parcelas de ensayos de fertilización gracias a la alta precisión de las mediciones de la Estación Total.

investigaciones de campo y para llevar a cabo estudios topográficos detallados debido a que con esta información, el efecto de la topografía

en los tratamientos realizados se puede apreciar mejor (Figura 21). Para visualizar mejor el terreno, los puntos medidos también se pueden



Figura 24. Escáner Láser 3D utilizado en una plantación de palma de aceite.

procesar con *software* SIG, como Idrisi o Surfer para crear un DEM, como se observa en la Figura 22.

El efecto de las aplicaciones anteriores de fertilizantes en los experimentos realizados en las plantaciones que han sido renovadas también se puede estudiar si las parcelas de fertilización viejas fueran premedidas con la Estación Total y después del ejercicio de renovación (tala, troceo, nueva alineación, nueva distancia de siembra, etcétera) las ubicaciones de estas parcelas viejas se restablecieran mediante la función de ‘delimitación’ (Figura 23). Un ejemplo de esto se llevó a cabo recientemente en un ensayo de fertilización en Sabah (Malasia Oriental), en el que las palmas de aceite que se sembraron en 1982 fueron taladas en 2011 y renovadas en 2012 y una nueva serie de ensayos de fertilización se realizó en la misma área.

Este nuevo experimento intentaría entonces evaluar por cuánto tiempo las parcelas previamente fertilizadas (por ejemplo con niveles altos de N y K) podrían sostener el crecimiento de las nuevas palmas de aceite con residuos de nutrientes disponibles y viceversa, cuántos nutrientes se requerirían para mejorar rápidamente las palmas en parcelas anteriormente bajas (por ejemplo con niveles bajos de N y K) o sin fertilizar (cero N y K).

También se pueden utilizar equipos más nuevos, como un escáner láser terrestre 3D (Figura 24) o un escáner láser aerotransportado con LiDAR (*Light Detection and Ranging*) para obtener datos sobre el terreno e imágenes captadas por teleobservación, respectivamente.

Herramientas de información y comunicación digital

El uso de la teleobservación y de la mayoría de los dispositivos digitales para el manejo de las plantaciones necesitaría complementarse con un sistema robusto de bases de datos y una buena capacidad de manipulación de datos para manejar la cantidad de datos recopilados, así como para transformar la información en conocimientos prácticos útiles. La Figura 25 ilustra un ejemplo de un flujo esquemático de un sistema de este tipo que podría integrarse, que se centra básicamente en un Sistema de Gestión de la Información, y vincularse bien con los protocolos de comunicaciones necesarios.

Un sistema de este tipo permitiría a las plantaciones obtener rápidamente información por sitio específico, resumirla para una rápida notificación tanto a la sede central como a la estación de investigación para tomar las decisiones antes ser canalizadas hacia abajo con precisión para apoyar a los subalternos de campo para las medidas posteriores y seguimiento. Esto se ha vuelto importante hoy día con el manejo de las plantaciones, que aumentan de tamaño con una gran dispersión de los trabajadores, el personal y los recursos. Un medio de comunicación rápido, práctico y por sitio específico entre los supervisores y los cultivadores es un “ahorrador de tiempo” valioso que se podría convertir en trabajo y resultados productivos.

Con los microcomputadores y los dispositivos de navegación asequibles (con GPS), también es posible el rastreo de vehículos y de recursos. Estos han sido utilizados desde hace mucho tiempo por el departamento de policía (Cronk, 1996), las empresas de manejo de flotas (Diplomat, 2001) e incluso por las plantaciones de palma de aceite (Ooi *et al.*, 2001). Estas últimas reportaron que dichos sistemas se pueden utilizar para rastrear y monitorear las esparcadoras mecánicas de fertilizantes en las plantaciones de palma de aceite. Se puede obtener un ‘mapa de fertilización según aplicación’ que indica en qué áreas se han aplicado fertilizantes (mediante una esparcadora manual de fertilizantes). Con los sensores instalados en las esparcadoras, también se puede conocer la dosis de aplicación.



Figura 25. Representación esquemática del Sistema Integrado de Gestión de la Información.

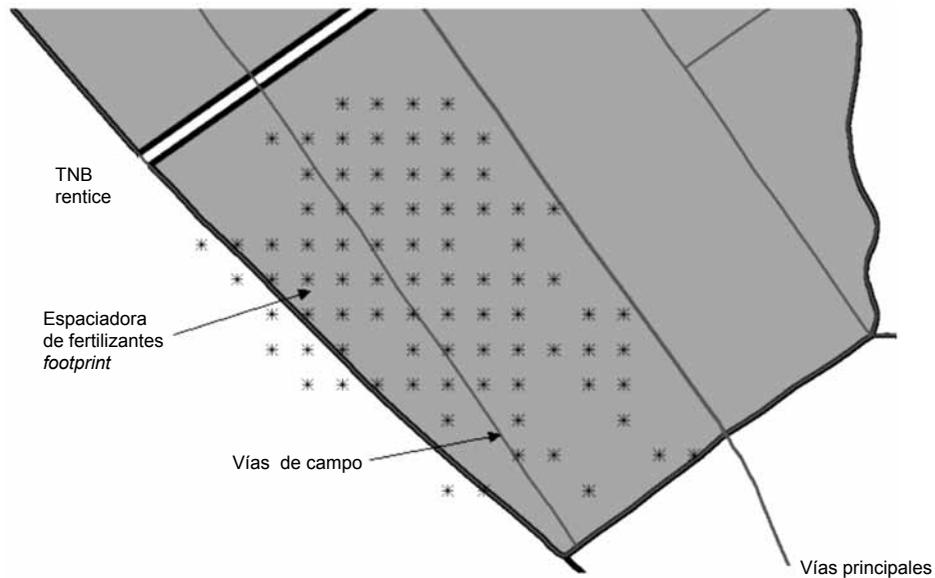


Figura 26. Mapa de cobertura ("footprint") de una esparcidora de fertilizantes (reproducido de Ooi *et al.*, 2001).

Al tener ese tipo de mapa e información, las plantaciones pueden entonces asegurarse que cada palma recibió su fertilizante designado, y las áreas en las que los fertilizantes se pasaron por alto por las esparcidoras mecánicas deben entonces corregirse mediante rondas de seguimiento o por medios manuales. Un ejemplo de la cobertura (*footprint*) de su esparcidora de fertilizantes se ha reproducido en la Figura 26. Un sistema similar también se podría establecer para recopilar automáticamente información del rendimiento de RFF en tiempo real en el campo.

Discusión y conclusiones

Con la creciente presión sobre los recursos laborales y mayores áreas de responsabilidades, las plantaciones necesitan garantizar continuamente que sus inversiones se manejan con eficacia con el fin de lograr los más altos rendimientos para permanecer rentables y sostenibles (Ng *et al.*, 1999). Esto solo se puede realizar si las plantaciones se siguen manejando de una manera por sitio específico con disponibilidad de la información y los datos necesarios para el análisis, de modo que puedan tomarse buenas decisiones de manejo agrícola en el menor tiempo posible para llevar a cabo las medidas de seguimiento y la implementación. La teleobservación y las tecnologías digitales han abierto estas posibilidades y pueden proporcionar el gran salto que se requiere con el fin de hacer frente a estos retos. Conviene señalar que la teleobservación y las tecnologías digitales no aportan las respuestas sino que simplemente son unas herramientas y unos medios para alcanzar los objetivos.

Además, con el uso de un Sistema Integrado de Gestión de la Información, gran cantidad de datos que actualmente se están recopilando manualmente (en lápiz y papel) se pueden transformar en mapas útiles basados en el conocimiento y planes de acción si estos datos de rutina se recopilan digitalmente. Con estos mapas basados en el conocimiento y planes de acción disponibles en los PDA modernos con capacidades de GPS, los cultivado-

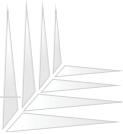
res y los agrónomos pueden entonces recorrer los cultivos con información y conocimientos literalmente en la punta los dedos, incluso en todos los rincones de la plantación.

Incluso con los sistemas más útiles disponibles, el logro de los objetivos dependería en gran medida de los mismos cultivadores. Por tanto, la industria de las plantaciones debe ser capaz de atraer y retener a los mejores y más brillantes talentos disponibles que puedan no solo adaptarse a los cambios y utilizar las nuevas herramientas y tecnologías, sino que también tengan la actitud correcta para hacer frente a los desafíos que vienen con el manejo de las plantaciones en el siglo XXI.

Las tecnologías, tanto en de las plantaciones como en otras industrias, ya están disponibles y como enfatizaron Gray y Siggs (1994), la rentabilidad, que depende en gran medida en la productividad, depende de la gestión de la tecnología. Transcurridos dieciocho años, esta afirmación sigue siendo válida en muchos sentidos, y una industria que se rezaga y no explota los usos de las tecnologías disponibles tendrá perspectivas limitadas. Por el contrario, una que continúe explotando las tecnologías disponibles de una manera correcta tendrá un futuro más seguro. Esto debería plantear un fuerte incentivo para que los productores de aceite de palma sigan adoptando las tecnologías con el fin de cumplir con la tarea de maximizar los beneficios a la luz de las situaciones económicas cambiantes que, por lo general, están muy por encima de su control.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Applied Agricultural Resources Sdn. Bhd. (AAR) y a sus directivos, señores Boustead Plantations Bhd. and Kuala Lumpur Kepong Bhd., por su permiso para presentar y publicar este trabajo. Asimismo desean agradecer a los organizadores de la conferencia por invitarlos a presentar este trabajo. También se agradece la contribución de Lynda Anne y su equipo de AAR en la preparación de algunos de los mapas digitales.



Bibliografía

- Abdullah, M. 2012. Are the plantations training enough managers? BorneoPost Online, 11 March 2012. [Disponible en: <http://www.theborneopost.com/2012/03/11/are-the-plantations-training-enough-managers/>].
- Cristancho, R. J. A.; Sanatacruz, L. A.; Rosero G. 2011. Leaf nutrient content differences between interspecific (OxG) and Tenera (DxP) oil palm hybrids at the immature stage of growth. Pipoc 2011, Kuala Lumpur.
- Cronk, M. 1996. Satellite and computer let cops ignore road maps. Article taken from San Jose Mercury News. Saturday, 31 de agosto.
- Diplomat. 2001. Darby corporate solutions: The Diplomat communication platform for mobile assets. Brochure taken from [www.dcs.com/diplomat.htm].
- Fairhurst, T. H.; Kerstan, A. G.; Rankine, I. R.; Kuruvilla, K. J. 2000. Use of geographic information systems in plantation agriculture: Linking digital maps to agronomic database sets. Proceedings of International Planters Conference. 17-20 mayo.
- Frazeir, B. E.; Walters, C. S.; Perry, E. M. 1997. Role of remote sensing in site-specific management. The state of site-specific management for agriculture. ASA, CSSA y SSSA Madison, WI., 149-157.
- Goh, K. J.; Kee, K. K.; Chew, P. S.; Gan, H. H.; Heng, Y. C.; Ng, H. C. P. 2000. Concept of site yield potential and its applications in oil palm plantations. Mosta Conference 2000 at PWTC KL.
- Goh, K. J.; Ng, P.H.C.; Lee C. T. 2009. Fertilizer management and productivity of oil palm in Malaysia. Proc. International Planters Conference, Kuala Lumpur 22-23, junio.
- Gray, B. S.; Siggs, J. 1994. Global perspective of the future of the plantation industry. En: Management for Enhanced Profitability in Plantations (K H Chee, ed). The Incorporated Society of Planters. Kuala Lumpur, 1-19.
- Ibrahim, S.; Hassan, Z. A.; Khalid, M. 2000. Application of optical remote sensing technology for oil palm management. Asian Conference on Remote Sensing, 4 pp.
- Kee, K. K.; Goh, K. J.; Chew, P. S.; Tey, S. H. 1994. An integrated site specific fertiliser recommendations system (Infers) for high productivity in mature oil palms. En: Managing Oil Palms for Enhanced Profitability (Chee, K. H., ed.). The Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur, 83-100.
- Koay, J. H.; Yan, T. Y.; Lim, K. S.; Ewe, H. T. 2009. A microwave scattering model for the remote sensing of oil palm plantations. Proceedings of Progress in Electromagnetics Research Symposium (Piers), Beijing (China), 23-27 marzo.
- Kok, T. F.; Goh, K. J.; Chew, P. S.; Gan, H. H.; Heng, Y. C.; Tey, S. H.; Kee K. K. 2000. Advances in oil palm agronomic recommendations. International Planters Conference, Kuala Lumpur, 17-20 May 2000. Plantation Tree Crops in the new Millennium: the way ahead.
- McMorrow, J. M.; Tey, S. H. 2000. The potential of LandsatTM remotely sensed images for oil palm estate management. International Planters Conference, Kuala Lumpur, 17-20 mayo. Plantation Tree Crops in the new Millennium: the way ahead.
- NRC. 1995. National Research Council, U.S. Committee on the Future of the Global Positioning System; National Academy of Public Administration - The global positioning system: a shared national asset: recommendations for technical improvements and enhancements. National Academies Press, p. 16
- Ng, P. H. C.; Chew, P. S.; Goh, K. J.; Kee, K. K. 1999. Nutrient Requirements and sustainability in mature oil palms – an Assessment. En: *The Planter*, 75(880), 331- 345.
- Ng, P.H.C.; Chew, P.S.; Goh, K.J.; Gan, H.H.; Heng, Y.C. 2000. Planters toolbox in the 21st century. En: Pushparajah, E. (ed.) International Planters Conference on Plantation Tree Crops in the New Millennium: The Way Ahead. Incorporated Society of Planters. Kuala Lumpur.; 717-737
- Ng, P. H. C.; Chew, P. S.; Goh, K. J.; Gan, H. H.; Heng, Y. C. 2002. Planter's tools for FFB yield maximisation. Proceedings of ISP Seminar, Sabah NE branch – Managing oil palms for maximum yield, 14 de octubre.
- OSTP. 2000. Office of Science and Technology Policy. Statement by the US President regarding the United State's Decision to stop degrading Global Positioning System accuracy, 1 mayo.
- Ooi, L. H.; Tey, S. H.; Ng, P. H. C. 2001. Innovations to management practices in oil palm estates. Proceedings ISP National Seminar: Strategic Directions for the sustainability of the oil palm industry. 11-12 junio.
- Sugih, W.; Ahmad, F.; Budiono, R.; Mayun, IB.; Heru, S. 1996. Contribution of Geographic Information Systems on Oil Palm Plantation Management. En: Isopa Seminar in Pekanbaru, 16-17 enero.
- Sulistioadi, Y. B.; Hussin, Y. A.; Sharifi, A. 2004. The identification of high conservation forest to support the criteria of sustainable forest management in Indonesia using remote sensing and GIS. Asian Conference on Remote Sensing, pp. 6.
- Tey, S. H.; Chew, P. S. 1997. GIS and GPS technologies for management and research in plantation crops. In: Plantation Management for the 21st Century (Pushparajah, E., ed). Incorporated Society of Planters. Kuala Lumpur, 47-59.
- Tey, S. H.; Goh, K. J.; Chew P. S. 2000. Digital elevation model (DEM) for site specific management in plantation crops. International Planters Conference, Kuala Lumpur, 17-20 May 2000. Plantation Tree Crops in the new Millennium: the way ahead.
- Tinker, P. B. 1984. Site-specific yield potentials in relation to fertilizer use in Nutrient balances and fertilizer needs in temperate agriculture, ed. Von Peter, A., Proc. 18th Colloquium Int. Potash Inst. Berna, 193-208.