



Revista de Ingeniería

ISSN: 0121-4993

reingeri@uniandes.edu.co

Universidad de Los Andes

Colombia

Lizarazo Salcedo, Iván Alberto; Alfonso Carvajal, Oscar Alberto  
Aplicaciones de la agricultura de precisión en palma de aceite "Elaeis Guineensis" e híbrido O x G  
Revista de Ingeniería, núm. 33, enero-junio, 2011, pp. 124-130  
Universidad de Los Andes  
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121022658013>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Aplicaciones de la agricultura de precisión en palma de aceite “*Elaeis Guineensis*” e híbrido $O \times G$

## Precision Agriculture Applications in the Cultivation of *Elaeis Guineensis* and Hybrid $O \times G$ Oil Palms

Iván Alberto Lizarazo Salcedo<sup>a</sup>, Oscar Alberto Alfonso Carvajal<sup>b</sup>

### PALABRAS CLAVES

Agricultura específica por sitio, sanidad de cultivos, sistemas de información geográfica, trazado de plantaciones.

### RESUMEN

La agricultura de precisión está basada en el reconocimiento de la variabilidad espacial y temporal del clima, los suelos y los cultivos, y consecuentemente, de la importancia de proporcionar un manejo agronómico específico que tenga en cuenta esas diferencias. En este artículo se describe la perspectiva y los conceptos de agricultura de precisión que se están desarrollando en el sector de la palma de aceite en Colombia. En particular, se presentan dos aplicaciones que resuelven las limitaciones asociadas a las prácticas agrícolas convencionales: una, relacionada con el trazado de una plantación; y otra referida al manejo de plagas y enfermedades.

### KEYWORDS

Crop health, geographic information systems, plantation layout, site-specific agriculture.

### ABSTRACT

Precision agriculture is based on the recognition of the spatial and temporal variability of weather, soils and crops. Thus, its importance lies in providing a specific agricultural management that takes into account these differences. This article describes the vision and concepts developed for precision farming of oil palm in Colombia. In particular, there are two applications that address the limitations associated with conventional farming practices: one is connected to plantation layouts, and the other to pest and disease management.

<sup>a</sup> PhD en Geografía. Investigador Titular, Área de Geomática, Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite - Cenipalma. Bogotá D.C., Colombia. ✉ ilizarazo@cenipalma.org

<sup>b</sup> Ingeniero agrícola. Auxiliar de Investigación, Programa de Agronomía, Proyecto Mecanización Agrícola, Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite - Cenipalma. Villavicencio, Colombia. ✉ oalfonso@cenipalma.org

## INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión, conocida también como agricultura específica por sitio, usa tecnologías de información espacial, tales como los sistemas de posicionamiento global (GPS) y sistemas de información geográfica (SIG), para mejorar las decisiones agronómicas de diferentes cultivos.

La agricultura de precisión integra diversas tecnologías para optimizar la productividad de un cultivo, al mismo tiempo que minimiza su impacto ambiental [1]. Esta disciplina reconoce la variabilidad espacial inherente que está asociada a cada plantación o lote destinado a la producción agrícola [2]. Una vez que se reconoce, localiza, cuantifica y registra la variabilidad espacial y temporal de cada unidad agrícola, es posible proporcionar un manejo agronómico diferenciado en cada sitio específico [1].

En el cultivo de palma de aceite, la meta final de la agricultura de precisión es que el manejo agronómico sea lo más específico posible; es decir, a nivel de cada lote y, en algunos casos, a nivel de cada palma. Para que esta meta se pueda cumplir, un requerimiento básico es la creación de un sistema de información para el manejo agronómico cuyos principales componentes son [3]:

- Un subsistema de adquisición de datos en campo, que usualmente incluye el uso de equipos de posicionamiento global satelital (GPS), estaciones agrometeorológicas y dispositivos móviles de captura de datos.
- Un subsistema de almacenamiento de datos, que suele incluir el uso de un manejador relacional de base datos (DBMS).
- Un subsistema de producción y análisis de información, que usualmente incluye el uso de un programa para el manejo de información geográfica (SIG).

Dicho sistema debe apoyar actividades como el monitoreo de la sanidad de las palmas, el seguimiento de la producción, la aplicación de fertilizantes y, eventualmente, la programación de riegos, teniendo en cuenta

la variabilidad espacial y temporal de cada unidad del cultivo [3].

Cenipalma realiza investigación sobre las diferentes fases del cultivo: la planeación, la adecuación y la preparación de los suelos, la producción del material de siembra, el establecimiento, el manejo del cultivo, al igual que la cosecha y la postcosecha del fruto. Este artículo tiene como objetivo ilustrar dos ejemplos de aplicación de la agricultura de precisión: el primero es el trazado automático de plantaciones y el segundo es el apoyo de tecnología de información para el manejo de plagas y enfermedades.

## TRAZADO AUTOMÁTICO DE PLANTACIONES

El cultivo de la palma de aceite tiene gran capacidad de adaptación a diferentes condiciones, su potencial de producción se expresa bajo condiciones favorables de clima y suelo [4, 5]. Las etapas de previvero y vivero son fundamentales para el correcto desarrollo y crecimiento de las plantas; allí se debe dar el manejo óptimo de fertilización, riego, sanidad y llevar a campo las mejores palmas con una edad entre 12 y 14 meses después de la siembra [6].

En Colombia el principal material comercial es *Elaeis Guineensis*, el cual se siembra cada 9 m con una densidad de 143 palmas/hectárea [6]; en el caso del híbrido O x G, se siembra cada 9,5 m con densidad de 128 ó cada 10 m para una densidad de 116 palmas/hectárea [7, 8].

El trazado de siembra al tres bolillo es una labor dispendiosa cuyo rendimiento varía entre 6 y 11 hectáreas/día con una cuadrilla de 3 a 4 hombres. Este rendimiento depende de la experiencia de los trabajadores, la topografía del terreno y la metodología de campo [9]. El procedimiento estándar de trazado del campo comienza con la ubicación de la línea norte-sur; luego, se realiza la triangulación a 9 ó 45 m con guayas marcadas a la distancia de siembra; finalmente, se realiza la ubicación de la palma en los sitios intermedios.

La Agricultura de Precisión (AP) permite la distribución eficiente de insumos, recursos y mano de obra, haciendo uso de tecnologías de punta como son: *GIS*, *GPS*, *DGPS*, *VRT*, *RS*<sup>1</sup> entre otras. El objetivo de esta aplicación es establecer las ventajas de la AP para el trazado del campo mediante la tecnología *AMS*<sup>2</sup> (receptor *starfire iTC*, piloto automático *autotrac*, pantalla *greenstar GSD 2600* y ordenador móvil)<sup>3</sup> en comparación con el sistema de trazado manual.

#### METODOLOGÍA

Las pruebas se realizaron en la Hacienda La Cabaña, Cumaral (Meta), en terreno plano correspondiente a una pradera con pasto natural. Antes de iniciar las pruebas respectivas, se hizo la calibración del módulo de compensación del terreno (TCM) mediante la marcación en el computador portátil de la posición delantera y trasera del tractor. El TCM toma la medida de calibración como referencia y la compara constantemente para corregir las diferencias por desnivel del terreno en las condiciones de trabajo actual.

Las evaluaciones de trazado de campo se realizaron en dos hectáreas de terreno que fueron levantadas geodésicamente con el mismo equipo, una hectárea de terreno para el trazado diurno y otra hectárea para el trazado nocturno. Las evaluaciones iniciaron con la definición y marcación de una línea en sentido norte-sur, luego se trazaron líneas paralelas a esta. Después, se definió el ángulo con respecto a la norte-sur y se trazaron líneas rectas paralelas a la distancia definida. Para finalizar, se verificaron las distancias obtenidas en el campo mediante un decámetro y se tomaron 15 puntos en el lote para las dos distancias seleccionadas

de 9 m para *Elaeis Guineensis* y de 9,5 m para el híbrido interespecífico *O x G*.

El rendimiento potencial del sistema se estimó mediante la Ecuación 1, teniendo en cuenta los siguientes supuestos: velocidad de operación de 6 km/h, distancia entre pasadas de 7,8 m, eficiencia de la labor de 75%, 2 pasadas por unidad de área y tiempo en operación de 12 horas/día.

$$RP = f * \left( \frac{V_o * Dp * E * T_o}{N} \right) \quad \text{Ecuación 1.}$$

En donde, *RP*: rendimiento potencial (ha/día), *V<sub>o</sub>*: velocidad de operación (m/s), *Dp*: distancia entre pasadas (m), *E*: eficiencia de la labor (decimal), *T<sub>o</sub>*: tiempo en operación (h/día), *N*: pasadas por unidad de área (adimensional) y *f*: factor de conversión de unidades.

#### RESULTADOS

El computador mostró en la pantalla *greenstar* el ángulo de calibración para corregir por desnivel, que para este caso fue de -0,5°. Este valor corrige el receptor *starfire* con respecto al plano horizontal del terreno.

El sistema con señal *SF1* permite obtener una precisión de ±33 cm. De esta forma, se realizó el levantamiento geodésico y, para este fin, se recorrió la mitad del perímetro de un lote rectangular o cuadrado; al final del recorrido, se obtuvo el área de unidad de trabajo que fue de 1,1 y 1,15 ha. Una vez determinadas las áreas de trabajo, se ubicó el tractor en posición norte-sur y se marcó una línea recta; luego, se trazaron líneas paralelas a 7,8m de la línea inicial norte-sur (distancia entre las calles en *Elaeis Guineensis*) hasta

1 *GIS* (Geographic Information System), *GPS* (Global Positioning System), *DGPS* (Differential Global Positioning System), *VRT* (Variable Rate Technology), *RS* (Remote Sensing).

2 *AMS* (Ag Management Solutions).

3 Pantalla *greenstar*: Contiene los diferentes menús de operación y visualización de resultados para las diferentes opciones de la tecnología. Ordenador móvil: Es instalado en la parte trasera de la pantalla *greenstar* y sirve para almacenar parámetros de operación, cultivo, posición así como otras aplicaciones. Receptor *starfire*: Recibe la señal de posicionamiento global y corrección satelital de la red John Deere. Piloto automático: Permite brindar al sistema guiado automático del tractor, con múltiples opciones.

terminar el área marcada. Posteriormente, el tractor se ubicó para trazar líneas a  $60^\circ$  con respecto a las líneas iniciales y los puntos de corte correspondieron a la posición de siembra de las palmas, como se muestra en la Figura 1. En el caso del híbrido la distancia marcada es de 8,2 m.

En la Tabla 1 se indican los valores registrados para las dos distancias seleccionadas.

Los promedios encontrados se apartan en 2,2 cm (9m) y 1,7 cm (9,5 m) de las distancias requeridas para la siembra de *Elaeis Guineensis* y del híbrido interespecífico *O x G* alto oleico en las dos condiciones evaluadas (diurno y nocturno). Los valores obtenidos en el espaciamiento son similares y, desde el punto de vista de uso práctico, son aceptables. Los valores promedios pueden ser explicados a raíz de que el programa mostró una señal superior al 90% durante la evaluación. Según [10], el sistema permite tener precisión de 33 y 6,5 cm en el 95% y 65% del tiempo. En el caso de necesitar precisión de 2 cm se debe triangular con

una señal RTK en el terreno [10], o errores de distancia entre pasadas del 3% para trayectorias lineales a 7 y 15 km/h e independientes del tipo de señal *SF1* o *SF2*, según lo reportado por [11].

Bajo los supuestos considerados se encuentra un rendimiento de 21 ha/día, sin embargo, este valor puede ser superior en la medida que sea mayor la velocidad de operación, la cual depende de las condiciones del terreno, mayor la distancia de siembra y/o mayor el tiempo de operación.

#### MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

El cultivo de palma de aceite en Colombia es afectado por varios tipos de enfermedades e insectos plagas que ocasionan pérdidas de importancia económica. Cada una de las zonas palmeras de Colombia (norte, central, oriental y occidental) tiene diferentes condiciones agroclimáticas que favorecen la aparición y/o el desarrollo de enfermedades y plagas.

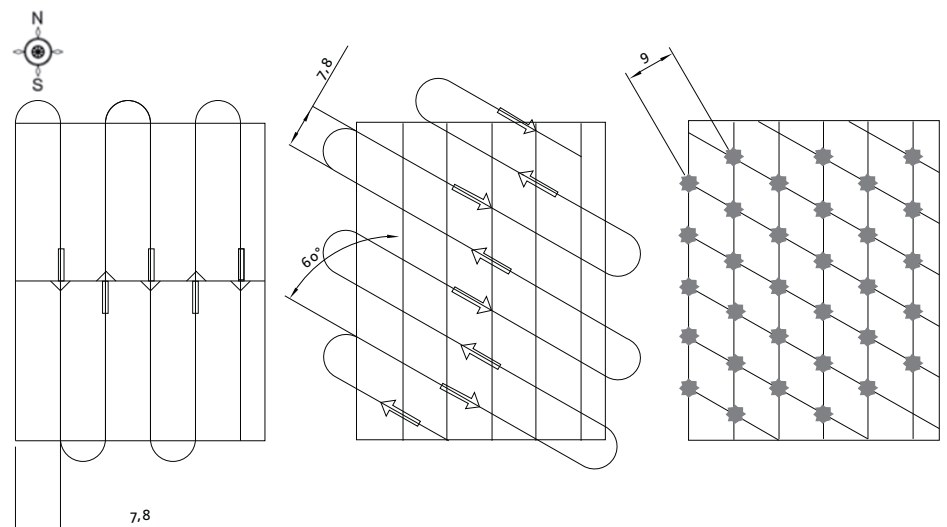


Figura 1. Trazado de campo para palmas a sembrar al tres bolillo de 9 m

	Distancia de siembra (cm)	Promedio (cm)	Desviación estándar (cm)	Máximo (cm)	Mínimo (cm)
Trazado <b>DIURNO</b> <i>Elaeis Guineensis</i>	900	897,8	6,3	909	891
Trazado <b>NOCTURNO</b> híbrido O <sub>x</sub> G	950	948,3	5,5	957	940

Tabla 1. Verificación en campo de las distancias marcadas con AP

La zona central palmera comprende los municipios de Barrancabermeja, Puerto Wilches, Sabana de Torres y San Vicente de Chucurí, en el departamento de Santander; Simití y San Pablo, en el departamento de Bolívar; Cúcuta, Sardinata y Tibú, en Norte de Santander; y Aguachica, San Alberto, San Martín y Río de Oro, en el departamento del Cesar. En esta zona el problema sanitario de mayor importancia económica es el ataque de insectos como los lepidópteros *Opsiphanes cassina*, *Stenoma cecropia* y *Euprosterna elaeasa*, que por su elevada capacidad defoliadora pueden originar considerables daños en la planta en poco tiempo [12]. No se conoce con certeza en qué época del año hay mayor prevalencia de estos insectos ni la existencia de diferencias significativas de sus poblaciones durante los fenómenos de “El Niño” y “La Niña”.

Uno de los conceptos claves para el manejo de pestes es el promovido por la FAO que se denomina “manejo integrado de plagas” (IPM, por sus siglas en inglés). El IPM es un sistema que, en el contexto de un medio ambiente específico y una dinámica particular de diseminación de una plaga determinada, utiliza todas las técnicas y métodos posibles (por ejemplo, control químico, control cultural, regulación biológica o control microbiológico) para mantener la población de plagas por debajo de los niveles que puedan causar pérdidas económicas [13]. Como se deduce de esa definición, existen dos elementos claves para el manejo integrado de pestes: la realización de muestreos para monitorear el nivel de diseminación de la plaga y la definición del umbral de población por

encima del cual la productividad del cultivo se afecta de manera sustancial<sup>4</sup>.

En Cenipalma, el manejo integrado de plagas está orientado a tres acciones principales: (i) manejo apropiado del cultivo, de la vegetación y del ecosistema circundante para prevenir la aparición de las plagas, (ii) realización de muestreos para detectar la aparición de focos, y (iii) el manejo de los focos detectados.

#### METODOLOGÍA

##### Georeferenciación del cultivo de palma

Un manejo apropiado del agrosistema del cultivo de palma de aceite empieza por una adecuada georeferenciación de los objetos que constituyen el cultivo; es decir, la plantación, los lotes, las líneas de palma (líneas-palma) y las palmas individuales. Por georeferenciación, se entiende la localización en el espacio geográfico de los objetos asociados al cultivo.

La georeferenciación de las plantaciones, de los lotes y de las líneas-palma se puede realizar utilizando receptores GPS del tipo “navegador” que son equipos de bajo costo (por debajo de dos millones de pesos) cuyos errores de posición oscilan entre 1 y 10 metros.

Luego de realizar la georeferenciación de los objetos palmeros se realiza la estructuración de los mismos para asegurar que los datos espaciales tengan la geometría y la topología apropiadas, y tengan asociados todos los atributos que se requieran desde el punto de vista agronómico. Esta labor se realiza utilizando software de sistemas de información geográfica (SIG)

4 Obviamente, en el caso de enfermedades letales, la mejor estrategia es erradicar la enfermedad antes de que se propague.

y almacenando la información resultante en un sistema manejador de bases de datos (DBMS).

La información geográfica almacenada en el sistema debe mantenerse actualizada con el propósito de que los usuarios puedan tomar decisiones apropiadas para el manejo agronómico de la plantación, tales como mantener una cobertura vegetal apropiada, controlar la aparición de malezas, preservar la vegetación natural circundante, realizar podas, programar el riego y la fertilización, asegurar un drenaje adecuado del lote, entre otras.

Adicionalmente, es fundamental contar con datos de variables meteorológicas que ayuden a monitorear el tiempo atmosférico, conocer la dinámica de cambio climático y establecer riesgos de infestación asociados a eventos meteorológicos extremos. Por ello, en la zona central palmera se ha instalado una red de diez (10) estaciones meteorológicas, las cuales transmiten automáticamente datos de radiación solar, temperatura, precipitación y humedad relativa.

#### **Detección de focos de enfermedad**

La detección de focos requiere la realización de muestreos periódicos en cada uno de los lotes del cultivo para realizar el conteo de huevos, larvas, pupas o insectos adultos para cada una de las plagas de interés. Para cada una de ellas se realiza un estudio previo de determinación del umbral por encima del cual el daño económico es inaceptable.

La realización de muestreos se realiza con una densidad tal que garantice un cubrimiento aceptable y que, al mismo tiempo, no sea muy onerosa. Una densidad apropiada está entre una (1) y tres (3) palmas por hectárea. El muestreo debe ser rápido de ejecutar y garantizar confiabilidad en los datos recolectados. Para el efecto, Cenipalma ha desarrollado aplicaciones de captura de datos en campo que utilizan dispositivos móviles de captura de datos, tales como asistentes digitales personales (PDA, por sus siglas en inglés). Estas aplicaciones reemplazan el uso de formularios en papel que son ineficientes y frágiles, y están propensos a errores.

#### **Manejo de los focos detectados**

El manejo de los focos de plagas que se detecten en los censos muestrales tiene que ver con la decisión de intervenir cuando la población de insectos supera el umbral económico de daño y se requiere realizar alguna acción de control biológico, microbiológico, cultural o químico. Para apoyar decisiones apropiadas el sistema de información provee reportes gráficos y tablas y dispara alertas tempranas cuando se alcanzan los niveles críticos asociados a cada plaga.

### **RESULTADOS**

Durante el año 2010, se realizó la georeferenciación de 325.000 hectáreas de cultivos de palma establecidos en el territorio nacional. Los datos estructurados se almacenaron en una base de datos MySQL y pueden ser consultados por los usuarios usando aplicaciones de software SIG de escritorio y mediante una interfaz web.

Igualmente, se inició la recolección de datos de censos de sanidad utilizando dispositivos móviles. De acuerdo con las pruebas realizadas en una plantación, la reducción del tiempo de realización de los censos es el orden del 30%. Sin embargo, el beneficio más importante es el aumento sustancial de la confiabilidad de los datos.

La disponibilidad de información georeferenciada ha permitido el diseño de redes de trapeo de insectos defoliadores a nivel regional. Estas redes se establecen en el perímetro de las plantaciones a una distancia regular, con el objeto de crear franjas de sanidad que permitan controlar las poblaciones de insectos.

La existencia de una red de estaciones meteorológicas en la zona central ha permitido iniciar el registro del comportamiento del tiempo atmosférico. Al mismo tiempo, se están desarrollando estudios para la determinación del ciclo de vida de los insectos más dañinos. Aunque la influencia de las variables meteorológicas en la población de insectos es bien conocida,

estos estudios apuntan a determinar cuáles son las variables claves que afectan su crecimiento y desarrollo, y cuáles son los umbrales que exacerbaban las plagas y enfermedades.

El análisis preliminar de los datos provenientes de las estaciones meteorológicas ha permitido establecer la hipótesis de que la incidencia de la enfermedad *Pudrición de Cogollo* (PC) aumenta significativamente cuando la precipitación mensual es mayor de 300 mm. Aunque se requieren experimentos adicionales para confirmar esta hipótesis, los indicios preliminares permiten establecer alertas para intensificar las acciones de diagnóstico y control de esta enfermedad.

### CONCLUSIONES

En relación con el trazado de plantaciones, se observa que la utilización de la tecnología AMS podría ayudar a incrementar el rendimiento de la labor en aproximadamente 48% con respecto al rendimiento máximo obtenido mediante trazado manual, con la ventaja de que se puede operar de noche o de día con igual precisión. El trazado con equipo AMS disminuyó los requerimientos de mano de obra en un 75%.

En cuanto al manejo de plagas y enfermedades, se demuestra que el uso apropiado de tecnologías de información geográfica, tales como GPS y SIG, contribuye a mejorar el manejo agronómico, la detección de focos y el control de plagas y enfermedades.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. Khosla. "Zoning in on Precision Agriculture". *Colorado State University Agronomy Newsletter*. Vol. 21, No. 1, 2001, pp. 2-4.
- [2] S. Thrikawala, A. Weersink, G. Kachanoski, G. Fox. "Economic feasibility of variable-rate technology for nitrogen on corn". *American Journal of Economics*. Vol. 81, No. 4, November 1999, pp. 914-927.
- [3] T. Fairhurst, I. Rankine, A.G. Kerstan, V. McAleer, C. Taylor and W. Griffiths. *A Conceptual Framework for Precision Agriculture in Oil Palm Plantations*. Singapore: ISBN 981-04-8485-2, 2003.
- [4] F. Bernal. *El cultivo de la palma de aceite y su beneficio guía para el nuevo palmicultor*. Colombia: Fedepalma, 2001, p. 186.
- [5] Z. R. Raygada. *Manual técnico para el cultivo de la palma aceitera*. Perú: Comisión nacional para el desarrollo y vida sin drogas – devida, Proyecto de desarrollo alternativo Tocache-Uchiza – Prodatu, Asociación de promoción agraria, 2005, p. 109.
- [6] D. Motta, J. Beltran. *Establecimiento y manejo de vivero de palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite*. Bogotá, D.C.: 2010, p. 161.
- [7] M. Amezcuita, L. Santacruz, J. Zambrano. *Manejo comercial de híbridos* (Elaeis Oleífera x Elaeis Guinensis) en la zona oriental. Sistematización de trabajos presentados en la Reunión Técnica Nacional sobre Palma de Aceite 2001-2008. Cenipalma, 2009.
- [8] L. Santacruz, J. Zambrano. *Manejo comercial de híbridos* (Elaeis oleífera x Elaeis guinensis) en dos plantaciones de la zona oriental. Sistematización de trabajos presentados en la Reunión Técnica Nacional sobre Palma de Aceite 2001-2008. Cenipalma 2009.
- [9] M. Ávila, D. Díaz, O. Mipaz, A. Rodríguez y J. Verdugo. *Trazado de plantación. Especialistas en manejo agronómico del cultivo de la palma de aceite*. Comunicación personal. Marzo 2011.
- [10] L. Limas, D. Ángel, L. Restrepo. *Gerencia de producto línea AMS Soluciones de gestión agrícola*. Bogotá D.C.: Casa Toro S.A. Maquinaria agrícola John Deere, 2008, p. 31.
- [11] P. Barreiro, B. Diezma, L. Ruiz, C. Valero. *Prueba en campo con el sistema de guiado integrado Autotrac de John Deere*. Madrid: Departamento de ingeniería rural, Universidad Politécnica de Madrid, 2007, p. 6.
- [12] Cenipalma. *Plagas de la palma de aceite en Colombia*. Santafé de Bogotá: Fedepalma – Cenipalma, 2000, p. 90.
- [13] A. Darus and M. B. Wabid. *Intensive IPM for Management of Oil Palm Pests*. Malaysian Palm Oil Board, 1999.