

# La agricultura de precisión en el manejo del cultivo de la palma de aceite

## Precision Agriculture in the Management of Oil Palm Plantations

### AUTORES

**Hernán Mauricio Romero**

Departamento de Biología,  
Universidad Nacional de Colombia.  
Programa de Agricultura  
de Precisión,  
División de Agronomía, Cenipalma.  
hromero@cenipalma.org

**Leonardo Araque y**

**Diana Forero**

Programa de Agricultura  
de Precisión,  
División de Agronomía, Cenipalma.

### Palabras CLAVE

Agricultura específica por sitio,  
Sistemas de información geográfica,  
Sistemas expertos.

Site-Specific agricultura,  
Geographic Information  
Systems (GIS),  
Expert systems

Recibido: 6 marzo 2008  
Aceptado: 17 marzo 2008

### Resumen

La agricultura de precisión es un sistema moderno de manejo de cultivos a través del cual, de manera sostenible, se emplean tecnologías para la recopilación, análisis y manipulación de información relacionada con factores climáticos, edáficos y agronómicos que en un momento dado afectan al cultivo, con el objeto de tomar decisiones que permitan el incremento de los rendimientos, la disminución de costos de producción y la reducción de los impactos ambientales. (Srinivansan, 2006). En Colombia existen diferentes experiencias exitosas en el manejo de cultivos, utilizando metodologías de agricultura de precisión en caña de azúcar, banano, forestales y otras. En el cultivo de la palma de aceite, el manejo de plantaciones que utilizan conceptos de agricultura de precisión tiene la potencialidad de causar un impacto positivo en la reducción de costos y optimización de recursos. En este artículo se revisan los conceptos y bondades de la agricultura de precisión, pasando por diferentes cultivos, hasta llegar al de palma de aceite. Se hace una síntesis de la información sobre experiencias en el manejo por agricultura de precisión en Malasia, con especial referencia a los trabajos presentados en el marco del Pipoc 2007. Finalmente, se revisan las experiencias en agricultura de precisión en el cultivo de la palma de aceite en Colombia y se presenta al gremio palmicultor lo que constituirá el programa de investigación en Agricultura de Precisión de Cenipalma.

### Summary

Precision agriculture is a modern system of crop management through which different technologies are used in a sustainable manner to compile, analyze and handle soil, weather and agronomic condition data that affect the crop in a specific time point. The objective is to support decision making in order to increase yield, lower production



costs and reduce environmental impacts. In Colombia, there are different successful experiences in crop management using precision agriculture methodologies in sugar cane, banana, forest plantations and others. In the oil palm crop, plantation management using precision agriculture concepts has the potential to cause great impact in the reduction of costs and resources optimization. In this paper, concepts and positive aspects of precision agriculture are reviewed, going through different crops to oil palm crop. The information about precision agriculture and oil palm in Malaysia is summarized, with especial reference to research results presented in PIPOC 2007. Finally, the experiences using precision agriculture on oil palm crop in Colombia are reviewed and it is presented to the Colombian oil palm growers what constitutes the precision agriculture program at Cenipalma.



## Introducción

Los costos de producción de una tonelada de aceite de palma en Colombia son significativamente altos (333 dólares) y solo son superados por los de Nigeria (426 dólares); mientras que los de Indonesia casi equivalen a la mitad (176 dólares). Los rubros que más contribuyen en los costos variables son la fertilización (38,0%), cosecha (22,2%) transporte de fruto (12,4%), control de malezas (5,4%) y control sanitario (4,4%) (Mosquera y Sánchez, 2006).

La situación de costos elevados puede ser contrarrestada mediante la utilización de metodologías cuyo principio sea la optimización del uso de recursos utilizados en la producción (Jalali, 2007; Torbett et ál., 2007). Una de estas metodologías es la agricultura de precisión, cuya finalidad es brindar al productor información útil en la toma de decisiones que le permitan incrementar el rendimiento por área, disminuir los costos de producción y finalmente, reducir el impacto sobre el ambiente (Zhang et ál., 2002; Srinivansan, 2006; Tozer y Isbister, 2007).

La agricultura de precisión puede ser usada para mejorar un sistema productivo desde diferentes perspectivas:

- **Perspectiva agronómica:** ajuste de prácticas culturales para tomar en cuenta las necesidades reales del cultivo, por ejemplo, manejo específico de la fertilización y el riego (Inman et ál., 2007; Jain et ál., 2007; Thomsen et ál., 2007; Torbett et ál., 2007).
- **Perspectiva ambiental:** reducción de impactos agrícolas (por ejemplo, precisión en la estimación de necesidades de nitrógeno implica menos cantidad

de este liberado al ambiente) (Berntsen et ál., 2006; Biermacher et ál., 2006; Jain et ál., 2007).

- **Perspectiva económica:** incremento de la producción por unidad de área o reducción de insumos, incremento de la eficiencia (por ejemplo, bajos costos de fertilización con N) (Berntsen et ál., 2006; Korsæth y Riley, 2006; Qamar uz y Schumann, 2006).

El impacto positivo de la agricultura de precisión en otros cultivos en Colombia (caso caña de azúcar) y en el cultivo de palma en otras latitudes (Malasia e Indonesia) ha llevado a Cenipalma a delinear una estrategia de investigación en la cual la agricultura de precisión se convierte en una actividad transversal de los diferentes programas de investigación del Centro a través de la cual se espera brindar un sistema de toma de decisiones efectivo a los palmicultores de Colombia.

En esta revisión se presenta al gremio palmicultor los avances en agricultura de precisión que se pudieron observar durante la visita técnica a Malasia de Cenipalma y el Pipoc 2007. Además, se resume lo que a juicio de los autores debe ser la orientación de la investigación en agricultura de precisión en el cultivo de la palma de aceite en Colombia.

## ¿Qué es la agricultura de precisión?

El concepto de agricultura de precisión es un sistema alternativo sostenible utilizado en la producción agropecuaria mediante el cual se emplean diferentes métodos o herramientas tecnológicas, con el propósito



de recopilar información en tiempo real sobre lo que sucede o puede suceder en los suelos y en los cultivos, para proceder en la toma de decisiones que permitan el incremento de los rendimientos, la disminución de costos de producción y la reducción de los impactos ambientales (Zhang et ál., 2002; Srinivansan, 2006).

La agricultura de precisión, relaciona condiciones edafoclimáticas con la producción de materiales específicos (Junaidah y Chin, 2007). Se trabaja sobre el manejo específico del cultivo en relación con las características específicas del suelo, clima y tipo de material de tal manera que se particulariza e individualiza el manejo de cada planta como individuo, con el objeto de lograr los mayores rendimientos posibles a través de este tipo de manejo (Sadler et ál., 2007; Silva et ál., 2007; Tozer y Isbister, 2007).

En Colombia se han aplicado las tecnologías de agricultura de precisión en el manejo de diversos cultivos de importancia económica y estratégica para el país como la caña de azúcar, banano, forestales y cultivos semestrales como maíz y algodón a través de los centros de investigación, la generación de estadísticas de los distintos sectores agropecuarios y seguimiento sanitario, dirigidos por instituciones gubernamentales como el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y el ICA.

En el cultivo de banano Cenibanano-Augura han realizado proyectos de investigación relacionados con el control de enfermedades como la Sigatoka Negra en el departamento del Magdalena y CI Uniban ha establecido la correlación entre los factores de producción y productividad en banano. En cultivos forestales la agricultura de precisión ha tenido varios trabajos de investigación, entre ellos la modelación de la variabilidad espacial y de la disponibilidad de nutrientes en suelos de plantaciones en el departamento del Magdalena y la identificación y caracterización de índices de sitios, modelos de crecimiento e índices de calidad para el manejo de plantaciones forestales en Colombia mediante la utilización de tecnologías como los sensores remotos.

Llama la atención el caso de la caña de azúcar en el Valle del Cauca, cultivo en el cual durante los últimos veinte años el Centro de Investigaciones del gremio (Cenicaña) ha abanderado la implementación de tecnologías relacionadas con la agricultura de precisión.

Así, se han realizado procesos de georeferenciación y zonificación de áreas sembradas, dando lugar al desarrollo del Sistema de Información para el Manejo de la Caña de Azúcar (Simces) que permite hacer un análisis por sitio específico y durante un tiempo determinado, de la eficiencia productiva y económica del cultivo, utilizando como referencia los resultados históricos obtenidos en sitios con características agroecológicas similares. Los sitios son clasificados utilizando el concepto de Grupos de Suertes Homogéneas (GSH) o sitios con el mismo tipo de suelo dentro de una zona agroecológica y para cada GSH se definen tres niveles de productividad (bajo, medio y alto).

Adicionalmente, existe otro aspecto de la agricultura de precisión en el cual se han dado desarrollos en el cultivo de la caña de azúcar en Colombia, y es el desarrollo de un servidor de mapas en donde se pueden consultar diferentes capas de información que incluyen la cobertura, estudios detallados y semidetallados de suelos, grupos de manejo de suelos, drenaje natural, balance hídrico, grupos de humedad, zonas agroecológicas, grupos de suertes homogéneas, datos meteorológicos, comportamiento del clima y la producción comercial. Estos mapas que integran la información de producción con clima y suelos son de acceso a productores e investigadores en caña de azúcar, constituyéndose en una herramienta importante para la toma de decisiones.

## Agricultura de precisión y palma de aceite

En el contexto internacional, los primeros productores de aceite de palma en el mundo, Malasia e Indonesia, han integrado tecnologías como los GPS, información proveniente de sensores próximos y remotos y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en sistemas administradores de bases de datos agronómicos para incrementar la eficiencia en la utilización de fertilizantes, la productividad y el seguimiento a variables ambientales. En varias plantaciones, este proceso de implementación se ha llevado paso a paso, comenzando por la organización de los datos agronómicos en una base de datos. Una vez que se identifica y organiza la información, los GPS y los datos de imágenes satelitales pueden ser utilizados para preparar la cartografía básica para construir el Sistema

de Información Geográfica de la plantación. Un mayor nivel de análisis de datos se obtiene cuando se toma información palma a palma y se generan mapas de variabilidad continua (Fairhurst et ál., 2003).

La utilización de tecnologías para la agricultura de precisión puede mejorar la eficiencia en la toma de información en el campo, permitiendo a los administradores de las plantaciones acceder a la información actualizada sobre cada uno de los lotes o palmas, y ayudando en la toma de decisiones para mejorar el rendimiento y administración de los recursos con los que se cuenta (Fairhurst et ál., 2003; Koumpouros et ál., 2004).

En Malasia, la integración de las herramientas nombradas ha generado como producto el software OMP8 (Oilpalm Management Program), el cual ha sido diseñado como un sistema de soporte a decisiones y una herramienta para el manejo de la información en el manejo del cultivo de palma de aceite por sitio, bajo los principios de las Buenas Prácticas de Manejo (BPM) y la sostenibilidad económica y ecológica a largo plazo. El diseño y construcción de este sistema ha sido apoyado por centros de investigación como el IPNI (International Plant Nutrition Institute antes denominado Inpofos), compañías del sector palmicultor como PRPL (Pacific Rim Palm Oil) y proveedores de tecnologías de información como Hydronav (GPS de alta resolución) y MapInfo (software de SIG).

Otras empresas, como AAR (Applied Agricultural Resources), utilizan las tecnologías de agricultura de precisión para ponerlas al servicio de sus clientes y, de esta manera, ayudan a incrementar la productividad de los cultivos. Sistemas combinados SIG/GPS son usados por AAR para: localizar y mapear con precisión las plantaciones; hacer el levantamiento catastral de las mismas, incluyendo caminos, edificaciones, accidentes geográficos; hacer mapas de suelos, mapas detallados de producción a diferentes escalas (plantación, lote, palma), curvas de nivel (para la planeación de terrazas y sistemas de drenaje), entre otros.

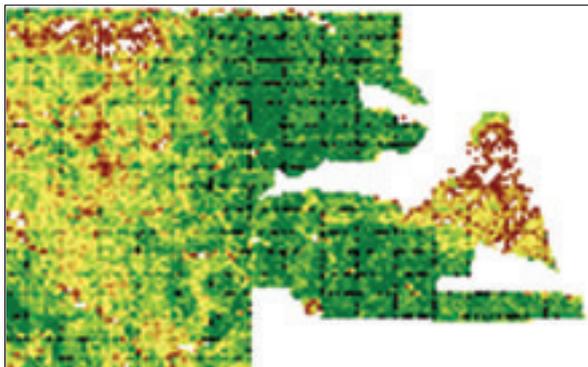
Con la ayuda de la tecnología GPS se mapea con precisión el sistema de drenajes de una plantación y se puede estimar con mayor confiabilidad el tamaño de lotes y plantaciones (Sanz et ál., 2007).

Mediante la combinación del sistema SIG/GPS es posible tener el mapa digital de una plantación en una PDA y utilizando la tecnología GPS hacer un seguimiento en tiempo real de algunos aspectos importantes para la plantación tales como la aplicación de abonos. Además, se facilita realizar reportes de la localización exacta de palmas que deben ser erradicadas por alguna razón (por enfermedades, muertes por rayos, disminuir densidad poblacional, etcétera).

Así mismo, con la combinación de las dos tecnologías y ante la realidad de que siempre se está caminando toda la plantación, es fácil tener la localización exacta de cada palma y datos específicos de cada una de ellas como producción, estado sanitario, posibles deficiencias, etcétera. Con esto se asegura un mejor y más preciso manejo de la plantación y es mucho más simple determinar la causa de variaciones en la producción. Al tener datos de palmas individuales se sabe exactamente qué está ocurriendo, dónde está ocurriendo y es más fácil buscar el por qué está ocurriendo. Con este sistema se logra en efecto un GIS móvil, por medio del cual se puede hacer monitoreo de labores, se pueden llevar registros y estadísticas de las diferentes tareas asignadas, se puede hacer un mejor seguimiento a la aplicación de fertilizantes, además de ser útil para el desplazamiento del personal en el campo (Sanz et ál., 2007).

Otra área en la cual está incursionando AAR es en el uso de sensores remotos para contar palmas, determinar la amplitud del dosel de las palmas, generar modelos digitalizados de elevaciones. También se pueden utilizar sensores remotos para determinar posibles alteraciones fisiológicas de las palmas utilizando el índice normalizado de diferencias vegetativas, a través del cual, mediante el uso de imágenes satelitales, es posible discriminar entre palmas sanas y enfermas (Figura 1) (Sanz et ál., 2007).

Centros de investigación en palma de aceite como The Malaysian Palm Oil Board (MPOB), junto con la industria y las universidades han diseñado programas como el Porim Informs (Innovative Fertilizer Organizational Management System) el cual divide el lote en pequeñas áreas de una hectárea donde se toman muestras de suelos y se identifica la variación de los nutrientes. Utilizando tecnologías como SIG/GPS y la tecnología de tasa variable de fertilizantes las plantaciones son ahora



**Figura 1.** Uso de sensores remotos e imágenes satelitales para determinación de palmas con deficiencias fisiológicas. Las regiones verdes corresponden a palmas sanas, mientras que las regiones pardas muestran palmas desbalanceadas fisiológicamente, ya sea por deficiencias nutricionales (izquierda arriba), daños por plagas (izquierda abajo) o suelos pobres y mal drenados (derecha). Se utilizan longitudes de onda del verde, el rojo, el azul y el infrarrojo cercano (NIR).

capaces de manejar la variabilidad espacial del suelo. En este tipo de manejo también se toman los análisis de tejido foliar de la misma manera, además se maneja información georreferenciada de los rendimientos de cada una de las palmas que pertenecen a estas grillas de una hectárea. Las tasas óptimas de N, P, K, son calculadas con base en las necesidades específicas de cada grilla y se utilizan técnicas de regresión para ajustar las dosis de fertilizantes.

Una de las aplicaciones más novedosas de la agricultura de precisión está relacionada con el uso de herramientas SIG en ensayos de mejoramiento genético y la adquisición de información de ensayos de campo para determinar el comportamiento de diferentes genotipos a ambientes cambiantes (Jorgensen y Jorgensen, 2007). En el marco del Pipoc 2007 se mostró la estrategia de la compañía Felda en el uso de estas tecnologías para el análisis de progenies de su programa de mejoramiento (Junaidah y Chin, 2007; Giambastiani, 2008).

Haciendo uso de las posibilidades que brindan las herramientas SIG para el manejo, manipulación y análisis espacial de los datos, se pueden hacer mapas de mejoramiento más exactos, a la vez que se puede hacer análisis más preciso de la información. De esta manera, se pueden analizar simultáneamente más datos, con menos números. Por ejemplo, se puede analizar la producción en racimos de fruta fresca de numerosas progenies, de manera simultánea, sobreponiendo factores como suelos, clima, localidad, etcétera.

## La agricultura de precisión en el sector palmero colombiano

En el sector palmero de Colombia, a través de Cenipalma, se han realizado esfuerzos importantes hacia el manejo específico por sitio. El mejor ejemplo es el desarrollo de la tecnología de Unidades de Manejo Agronómico (UMAs) que son unidades espaciales de cultivo de palma de aceite donde hay una relativa homogeneidad de las características de los recursos biofísicos que intervienen en la producción: clima, suelo, material de siembra y edad del cultivo. La utilización de insumos y prácticas agronómicas se hace diferencialmente por UMA y los resultados de la aplicación de esta tecnología en las plantaciones (donde se ha evaluado) son el aumento considerable del rendimiento.

Otras iniciativas de Cenipalma y de los palmicultores se han enfocado en el seguimiento de plagas, enfermedades y clima, con el diseño de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para campañas fitosanitarias como la de insectos defoliadores en la Zona Central, los estudios epidemiológicos de Pudrición de Cogollo y Marchitez Letal y la red de estaciones meteorológicas.

Uno de los mayores avances en la utilización de tecnologías de agricultura de precisión, se ha adelantado con el diseño y construcción de un MIP-WEB para el seguimiento de las poblaciones de insectos defoliadores en diez plantaciones que corresponden al 17% del área de la Zona Central. Este sistema requiere del esfuerzo coordinado de diferentes instancias locales, regionales y nacionales, para lograr productos útiles y oportunos para los diferentes actores involucrados.

En el proceso, las actividades diarias del departamento de sanidad vegetal de una plantación, generan un reporte de la actividad de las poblaciones de insectos plaga que han sido detectadas por el personal evaluador en campo sobre palmas previamente identificadas por un sistema de muestreo. Los datos procesados de manera consolidada por lote son reportados al jefe de sanidad vegetal y a la división de Manejo Integrado de Plagas (MIP) en Cenipalma. Estos reportes son graficados en un mapa, que representa el área potencial de la plantación en el nivel comercial.

El desarrollo concerniente sobre el manejo de esta área comercial, busca guiar la toma de decisiones del jefe

de sanidad, al identificar las áreas afectadas por el ataque de insectos plaga. La presencia de los ataques de plaga está determinada por los niveles poblacionales y se relaciona con umbrales de manejo establecidos por el conocimiento del insecto. El resultado es una lista de las áreas afectadas identificadas por códigos de lotes que son reportados a las distintas entidades quienes realizan tareas de prevención, control o atención de emergencias.

Los reportes sobre este evento son comunicados a las plantaciones a nivel local y regional, al Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma) en el ámbito regional, quienes generan una notificación a la oficina regional del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), con el fin de guiar una mejor toma de decisiones y los planes a seguir.

El sistema desarrollado es líder en el soporte de operaciones MIP en el ámbito regional. El sistema SIG-MIP sirve para coordinar todas las actividades y, a través de él, se suministra información continua y actualizada sobre la situación de la producción a todos los clientes autorizados. Una imagen más compleja de la situación es provista a través de un servidor de mapas. El equipo de respuesta cuenta con interfaces de consulta sobre modelos de análisis previamente definidos para asegurar la definición de las áreas afectadas. Los modelos de análisis determinan si las poblaciones de insectos plaga, están excediendo los umbrales soportados por el cultivo, permitiendo a las organizaciones prevenir, controlar o minimizar el daño causado por estos. Las organizaciones evalúan y proyectan las áreas a tratar definiendo planes de manejo desarrollando las acciones que darán respuesta a la situación.

En el desarrollo de Sistemas de Soporte a Decisiones (DSS), Cenipalma cuenta con la experiencia del proyecto denominado “Construcción de un sistema para el manejo del cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) parametrizado para Colombia” Sepal v. 1.0; el sistema resuelve problemas imitando el proceso de razonamiento humano basándose en la lógica, reglas de decisión, opiniones y experiencia. Los sistemas basados en el conocimiento más comúnmente conocidos, son los que forman reglas de tipo IF\_THEN, aunque existen otros tipos de sistemas como los que se basan en casos, los que utilizan redes bayesianas (Kristensen y Rasmussen,

2002), redes neuronales (Farkas et ál., 2000; Schultz et ál., 2000) y sistemas difusos (aquellos que utilizan técnicas probabilísticas para lograr un razonamiento adecuado bajo una gran cantidad de incertidumbre) (Miao et ál., 2006b).

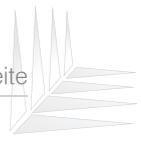
La calidad de los conocimientos limita los alcances de un Sistema Experto (S.E.) y por los fines que tienen en relación con la toma de decisiones (González-Andujar et ál., 2006). En la agricultura, los S.E. son capaces de integrar las perspectivas de disciplinas individuales, tales como la fitopatología, la entomología, la edafología o la fisiología, en un marco que provea un soporte para las decisiones que se deben tomar a diario (Gilliams et ál., 2005; Nute et ál., 2005; Karmakar et ál., 2007; Sahuy y Raheman, 2008).

El S.E. desarrollado por Cenipalma se encuentra en una etapa de prueba o Beta, lo que hace necesario que se realice una fase de validación de las bases de conocimientos mediante la interacción con los distintos perfiles de usuarios y expertos y a través de su desempeño en ambientes de trabajo real para generar una herramienta robusta y dinámica (Kuhlmann y Brodersen, 2001; Sugumaran, 2002; Yaldir y Rehman, 2002) para el manejo del cultivo de la palma de aceite.

## ¿Hacia dónde va la investigación en agricultura de precisión en el cultivo de la palma de aceite en Colombia?

La estrategia de investigación en agricultura de precisión de Cenipalma busca en primer lugar la estandarización en la recopilación, almacenamiento, análisis y despliegue de la información georeferenciada en un único Sistema de Información Geográfica proveniente de las actividades de investigación llevadas a cabo por los diferentes programas del Centro. La información comprende la cartografía básica y temática y bases de datos provenientes de las campañas fitosanitarias regionales, zonificación agroclimática de la palma de aceite y bases de datos de suelos y aguas.

La disposición de la información se realizará en dos niveles de servicio, uno que apoye los procesos de investigación y otro que constituya una herramienta para el fortalecimiento de las capacidades de la agroindustria palmera a través del desarrollo de sistemas de



información orientados a la prestación de servicios (Schuck et ál., 2005; Murakami et ál., 2007).

La segunda actividad de investigación en el programa de agricultura de precisión está relacionada con el desarrollo de un Sistema de Soporte a Decisiones, el cual tuvo un primer avance con la creación de una versión de prueba (Beta) del Sistema Experto para palma de aceite, el cual genera información a partir del conocimiento que tiene que ser validado bajo condiciones de campo para evaluar su desempeño y ajustar la base de conocimientos (conocimiento experto) en las áreas de fertilización del cultivo, sanidad y fisiología.

El uso de sensores en el cultivo de palma de aceite, constituye la tercera actividad del programa de agricultura de precisión, que busca la identificación y selección de equipos y tecnología, su desempeño en campo y ajuste para la toma de información de variables del cultivo y del ambiente en tiempo real (Fitzgerald et ál., 2006; Roy et ál., 2006; Furferi et ál., 2007). Esta información alimentará a los Sistemas de Información Geográfica y de Soporte en la toma de decisiones.

Al mismo tiempo, se espera iniciar la exploración e investigación de las aplicaciones de la tecnología de sensores remotos ópticos y de radar (Inman et ál., 2007) en el monitoreo de plantaciones (Ehlert y Da-

mmer, 2006), la detección de desórdenes (Moshou et ál., 2006) y hacer seguimiento en el cambio del uso de la tierra. La ventaja en la utilización de esta tecnología es que es rentable y se puede utilizar en grandes áreas de estudio (Goel et ál., 2003; Inman et ál., 2007; Kise y Zhang, 2008), aunque está influenciada fuertemente por la calidad y las técnicas de procesamiento de las imágenes y la información tomada para la verificación en campo (Silva et ál., 2007).

En síntesis, el esquema del proyecto de agricultura de precisión para el cultivo de palma de aceite se resume como se observa en la Figura 2.

El esquema requiere del concurso de Cenipalma y de las plantaciones de las zonas, que deberán nutrir el sistema con la información relevante y necesaria para la construcción de las diferentes bases de datos (suelos, clima, plagas, enfermedades), ingrediente necesario para el desarrollo del sistema (Schuck et ál., 2005).

A futuro, se puede pensar en tener sistemas de información robustos que permitan utilizar la agricultura de precisión para el monitoreo satelital de plagas y enfermedades (Willers et ál., 2005; Nordmeyer, 2006; Huang et ál., 2007; Larsolle y Muhammed, 2007), del efecto de condiciones de estrés sobre el cultivo

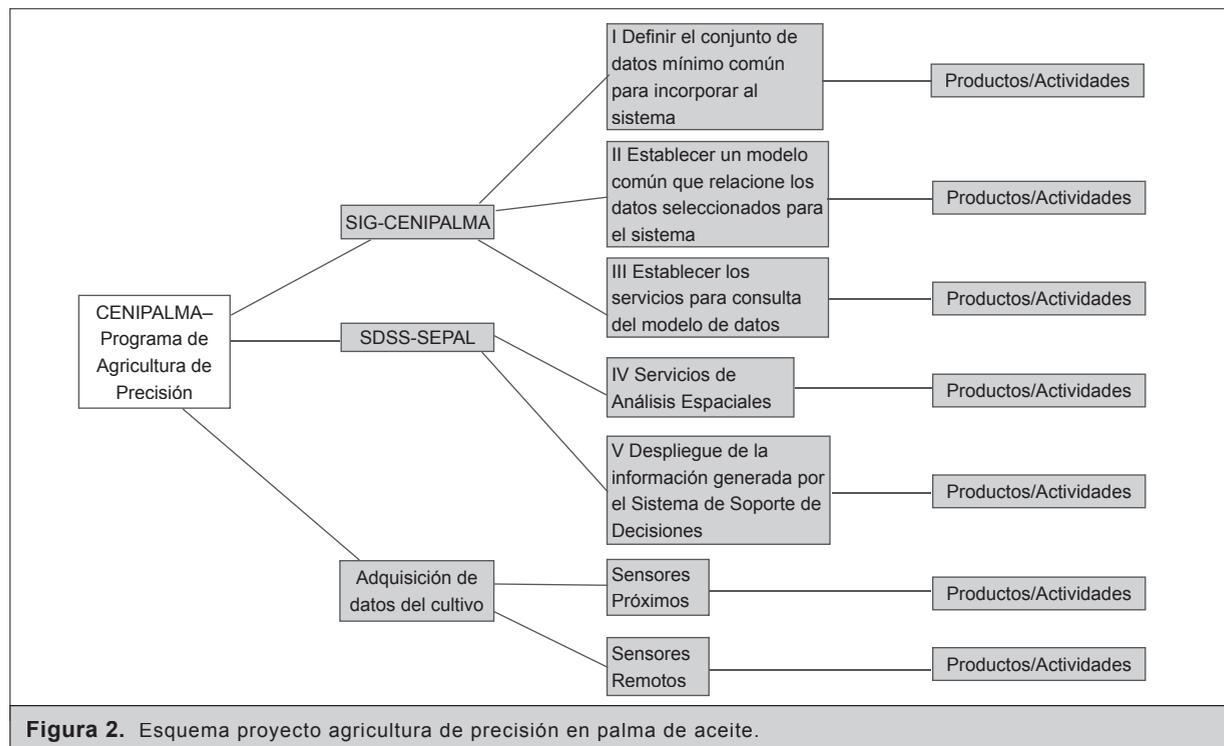


Figura 2. Esquema proyecto agricultura de precisión en palma de aceite.

(Moshou et ál., 2006; Lenthe et ál., 2007; Pantaleoni et ál., 2007) y para hacer el seguimiento y desarrollar modelos predictivos de producción en función del clima (Srinivansan, 2006; Ye et ál., 2007), el suelo (Miao et ál., 2006a; Roy, et ál., 2006; Adamchuk et ál., 2007), y la disponibilidad de agua en el suelo (Thomsen et ál., 2007). Adicionalmente, la agricultura de precisión permitirá un manejo más eficiente de las plantaciones y sus recursos con unidades de manejo agronómico definidas, en las cuales se pueda hacer

un manejo específico por sitio que permita disminuir costos y maximizar los rendimientos.

## Agradecimientos

Este trabajo está enmarcado en el Convenio de cooperación institucional entre Cenipalma y la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional, y es financiado parcialmente por el Fondo de Fomento Palmero (FFP) administrado por Fedepalma.



## Bibliografía

- Adamchuk, VI; Lund, ED; Reed, TM; Ferguson, RB. 2007. Evaluation of an on-the-go technology for soil pH mapping. *Precision Agriculture* 8: 139-149.
- Berntsen, J; Thomsen, A; Schelde O; Hansen, M; Knudsen, L; Broge, N; Hougaard H; Horfarer, R. 2006. Algorithms for sensor-based redistribution of nitrogen fertilizer in winter wheat. *Precision Agriculture* 7: 65-83.
- Biermacher, JT; Epplin, FM; Brorsen, BW; Rorsen, JB; Raun WR. 2006. Maximum benefit of a precise nitrogen application system for wheat. *Precision Agriculture* 7: 193-204.
- Ehlter D; Dammer, KH. 2006. Widescale testing of the Crop-meter for site-specific farming. *Precision Agriculture* 7: 101-115.
- Fairhurst, T; Ranking, I; Mcaleer KW; Griffiths, DW. 2003. A Conceptual Framework for precision Agriculture in oil palm plantations. In: Fairhurst, T; Härdter, R. Oil Palm. Management for Large Sustainable Yields, 321-332. Potash and Phosphate Institute, Singapore.
- Farkas I; Remenyi, P; Biro, A. 2000. Modelling aspects of grain drying with a neural network. *Computers and Electronics in Agriculture* 29: 99-113.
- Fitzgerald, GJ; Rodríguez, D; Christensen, LK; Belford, R; Sandras, VO; Clarke, TR. 2006. Spectral and thermal sensing for nitrogen and water status in rainfed and irrigated wheat environments. *Precision Agriculture* 7: 233-248.
- Furferi, R; Carfagni, M; Daou, M. 2007. Artificial neural network software for real-time estimation of olive oil qualitative parameters during continuous extraction. *Computers And Electronics In Agriculture* 55: 115-131.
- Giambastiani G. 2008. SelGen: System to dynamically evaluate and compare the agronomic behavior of genotypes that participate in networks of comparative yield trials. *Computers and Electronics in Agriculture* 60: 110-112.
- Guilliam, S; Raymaekers, D; Muys, B; Van Orshoven, J. 2005. Comparing multiple criteria decision methods to extend a geographical information system on afforestation. *Computers and Electronics in Agriculture* 49: 142-158.
- Goel, PK; Prasher, SO; Landry, JA; Patiel, RM; Bonnell, RB; Viau, AA; Miller, JA. 2003. Potential of airborne hyperspectral remote sensing to detect nitrogen deficiency and weed infestation in corn. *Computers and Electronics in Agriculture* 38: 99-124.
- González-Andujar, JL; Fernández-Quintanilla, C; Izquierdo, J; Urbano, JM. 2006. Simce: An expert system for seedling weed identification in cereals. *Computers and Electronics in Agriculture* 54: 115-123.
- Huang, W; Lamb, W; Niu, Z; Zhang, Y; Liu, L; Wang, J. 2007. Identification of yellow rust in wheat using in-situ spectral reflectance measurements and airborne hyperspectral imaging. *Precision Agriculture* 8: 187-197.
- Inman, D; Khosla, R; Reich, M; Westfall, DG. 2007. Active remote sensing and grain yield in irrigated maize. *Precision Agriculture* 8: 241-252.
- Jain, N; Ray, S; Singh, JP; Panigrahy, S. 2007. Use of hyperspectral data to assess the effects of different nitrogen applications on a potato crop. *Precision Agriculture* 8: 225-239.
- Jalali M. 2007. Site-specific potassium application based on the fertilizer potassium availability index of soil. *Precision Agriculture* 8: 199-211.
- Jorgensen, JR; Jorgensen, NR. 2007. Uniformity of wheat yield and quality using sensor assisted application of nitrogen. *Precision Agriculture* 8: 63-73.
- Junaidah, J; Chin, CW. 2007. Applications of geographical information system (GIS) to an oil palm breeding trial. Agriculture, Biotechnology & Sustainability Conference. Pipoc 2007, 1: 190-202.
- Karmakar S; Lague, C; Agnew, J; Landry, H. 2007. Integrated decision support system (DSS) for manure management: A review and perspective. *Computers and Electronics in Agriculture* 57: 190-201.
- Kise, MM; Zhang, Q. 2008. Creating a panoramic field image using multi-spectral stereovision system. *Computers and Electronics in Agriculture* 60: 67-75.
- Korsaeth, A; Riley, H. 2006. Estimation of economic and environmental potentials of variable rate versus uniform N fertilizer application to



- spring barley on morainic soils in SE Norway. *Precision Agriculture* 7: 265-279.
- Koumpouros, Y; Mahaman, BD; Maliampis, M; Passam, HC; Sideridis, AB; Zorkadis, V. 2004. Image processing for distance diagnosis in pest management. *Computers and Electronics in Agriculture* 44: 121-131.
- Kristensen, K; Rasmussen, A. 2002. The use of a Bayesian network in the design of a decision support system for growing malting barley without use of pesticides. *Computers and Electronics in Agriculture* 33: 197-217.
- Kuhlmann, F; Brodersen, C. 2001. Information technology and farm management: developments and perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture* 30: 71-83.
- Larsolle, A; Muhammed, HH. 2007. Measuring crop status using multivariate analysis of hyperspectral field reflectance with application to disease severity and plant density. *Precision Agriculture* 8: 37-47.
- Lenthe, JH; Oerke, EC; Dehne, HW. 2007. Digital infrared thermography for monitoring canopy health of wheat. *Precision Agriculture* 8: 15-26.
- Manago, S; Asada, Sasao, A. 2007. Prediction of citrus yield from airborne hyperspectral imagery. *Precision Agriculture* 8: 111-125.
- Miao, Y; Mulla, DJ; Robert, C. 2006. Spatial variability of soil properties, corn quality and yield in two Illinois, USA fields: implications for precision corn management. *Precision Agriculture* 7: 5-20.
- Miao, Y; Mulla, DJ; Robert, C. 2006. Identifying important factors influencing corn yield and grain quality variability using artificial neural networks. *Precision Agriculture* 7: 117-135.
- Moshou, D; Bravo, C; Wahlen, S; West, J; McCartney, A; De Baerdemaeker, J; Ramon, H. 2006. Simultaneous identification of plant stresses and diseases in arable crops using proximal optical sensing and self-organising maps. *Precision Agriculture* 7: 149-164.
- Mosquera, M; Sánchez, A. 2006. Sistemas de aplicación de fertilizantes químicos en plantaciones colombianas de palma de aceite. *Revista Palmas* 27: 11-18.
- Murakami, E; Saraiva, AM; Ribeiro, LCM; Cugnasca, CE; Hirakawa, AR; Correa, PLP. 2007. An infrastructure for the development of distributed service-oriented information systems for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 58: 37-48.
- Nordmeyer, H. 2006. Patchy weed distribution and site-specific weed control in winter cereals. *Precision Agriculture* 7: 219-231.
- Nute, D; Potter, WD; Chieng, ZY; Dass, M; Glende, A; Maierv, F; Routh, C; Uchiyama, H; Wangs, J; Witzing, S; Twery, M; Knopp, P; Thomasma, S; Rauscher, HM. 2005. A method for integrating multiple components in a decision support system. *Computers and Electronics in Agriculture* 49: 44-59.
- Pantaleoni, EB; Engel, A; Johannsen, CJ. 2007. Identifying agricultural flood damage using Landsat imagery. *Precision Agriculture* 8: 27-36.
- Qamar Uz, Z; Schumann, AW. 2006. Nutrient management zones for citrus based on variation in soil properties and tree performance. *Precision Agriculture* 7: 45-63.
- Roy, SK; Shibusawa, S; Okayama, T. 2006. Textural analysis of soil images to quantify and characterize the spatial variation of soil properties using a real-time soil sensor. *Precision Agriculture* 7: 419-436.
- Sadler, EJ; Sudduth, KA; Jones, JW. 2007. Separating spatial and temporal sources of variation for model testing in precision agriculture. *Precision Agriculture* 8: 297-310.
- Sahuy, RK; Raheman, H. 2008. A decision support system on matching and field performance prediction of tractor-implement system. *Computers and Electronics in Agriculture* 60: 76-86.
- Sanz, J.I., Rocha, P., Romero, M., García, J., Bolívar, L., Cuellar, M., Mora, O. 2007. Estrategia de internacionalización de Cenipalma: Reporte de Visita Técnica a Malasia y participación en PIPOC 2007. Cenipalma.
- Schuck, A., Andrienko, G., Andrienko, N., Folving, S., Kohl, M., MIINA, S., Paivinen, R., Richards, T., Voss, H. 2005. The European Forest Information System - an Internet based interface between information providers and the user community. *Computers And Electronics In Agriculture* 47: 185-206.
- Schultz, A., Wieland, R., Lutze, G. 2000. Neural networks in agroecological modelling - stylish application or helpful tool? *Computers And Electronics In Agriculture* 29: 73-97.
- Silva, C.B., Do Vale, S., Pinto, F.A.C., Muller, C.A.S., Moura, A.D. 2007. The economic feasibility of precision agriculture in Mato Grosso do Sul State, Brazil: a case study. *Precision Agriculture* 8: 255-265.
- Srinivansan, A. 2006. Handbook of precision agriculture. Principles and applications. The Haworth Press Inc., New York.
- Sugumaran, R. 2002. Development of an integrated range management decision support system. *Computers And Electronics In Agriculture* 37: 199-205.
- Thomsen, A., Schelde, K., Droscher, P., Steffensen, F. 2007. Mobile TDR for geo-referenced measurement of soil water content and electrical conductivity. *Precision Agriculture* 8: 213-223.
- Torbett, J.C., Roberts, R.K., Larson, J.A., English, B.C. 2007. Perceived importance of precision farming technologies in improving phosphorus and potassium efficiency in cotton production. *Precision Agriculture* 8: 127-137.
- Tozer, P.R., Isbister, B.J. 2007. Is it economically feasible to harvest by management zone? *Precision Agriculture* 8: 151-159.
- Ye, X.J., Sakai, K., En, M., Samson, S.A., Bethel, M.M. 2005. Site-specific Approaches to Cotton Insect Control. Sampling and Remote Sensing Analysis Techniques. *Precision Agriculture* 6: 431-452.
- Yaldir, AK; Rehman, T. 2002. A methodology for constructing multicriteria decision support systems for agricultural land consolidation using GIS and API: an illustration from Turkey. *Computers And Electronics In Agriculture* 36: 55-78
- Zhang, NQ; Wang, MH; Wang, N. 2002. Precision agriculture-a worldwide overview. *Computers And Electronics In Agriculture* 36: 113-132.