

Estación Experimental El Palmar de La Vizcaína

La agricultura de precisión al servicio del manejo agronómico de la palma de aceite

Precision Agricultural Serving the Agronomic Management of Oil Palm



AUTORES

Rafael E. Hurtado Camacho,
Investigador Titular, PhD.
Coordinador de Agronomía
Victor Rincón Romero
Auxiliar de Investigación, Programa
Agricultura de Precisión.

Palabras CLAVE

Palma, Manejo agronómico del cultivo, Sanidad de la palma, Severidad, Levantamiento topográfico, Base de datos geográfica.

Palm, Agronomic management of the crop, Palm health, Severity, Topographical survey, Geographical databases.

Recibido: 3 agosto de 2009
Aceptado: 14 agosto 2009

Resumen

Con la utilización de metodologías modernas de captura de información en el campo, como la agricultura de precisión (AP), la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma) se ha puesto a la vanguardia de la investigación destinada a generar conocimiento y desarrollar estrategias que contribuyan a solucionar la problemática de sanidad de la palma, causante en gran medida de la baja productividad de los cultivos. Desde la Coordinación de Agronomía, Sección de Agricultura de Precisión, se viene trabajando en el desarrollo de proyectos de investigación, como los de incorporación de tecnologías de agricultura de precisión para el manejo y la toma de decisiones en el cultivo de la palma de aceite y el relacionado con el desarrollo de herramientas geomáticas como apoyo a la toma de decisiones en el manejo agronómico del cultivo de palma de aceite". Ambos han producido resultados importantes, en especial para la Estación Experimental El Palmar de La Vizcaína, de Cenipalma, que se detallan en este artículo.

Summary

Through the use of modern information gathering methodologies in the countryside, such as precision agriculture (PA), the Center for Research on Palm Oil Corporation (Cenipalma) has placed itself in the vanguard of research aimed at generating knowledge and developing strategies that contribute to solving the health problems in palm, which are to a large degree the cause of low productivity with the crop. From the Agronomic Coordination, Precision Agriculture Section we have been working on the development of research projects such as incorporating precision agriculture technologies in the

management and decision-making processes of the oil palm crop and those concerning the development of geomathical tools such as taking decisions in the agronomic management of the oil palm crop. Both of these have led to important results, specially in Cenipalma's Experimental Station El Palmar de la Vizcaína, which are dealt with in this article.



Agricultura específica por sitio¹ y agricultura de precisión

Millones de agricultores en el mundo en desarrollo se encuentran atrapados en una espiral descendente de pobreza, suscitada por factores que están fuera de su control, como el cambio climático, los desastres naturales y el comercio injusto, que comprometen seriamente la capacidad de los sistemas agrícolas de los cuales ha dependido su sustento.

En muchos casos puede ser posible romper esa espiral mediante por ejemplo, la diversificación con cultivos de mayor valor. La clave del cambio es contar con información específica para cada agricultor acerca de las oportunidades y los riesgos implícitos, que le ayude a decidir cómo y cuándo hacerlo. En ese sentido, el concepto de “desarrollo específico” permite responder preguntas prácticas como: ¿puedo cultivar esta especie aquí?, ¿qué crecería bien aquí?

El desarrollo específico por sitio puede proporcionar un marco integral para el mapeo de recursos en las regiones y las localidades, y favorecer la adopción de prácticas agrícolas sostenibles por el conocimiento particular de la fauna del suelo y el monitoreo de los recursos naturales mediante fotografías aéreas de baja altitud o imágenes de satélite de alta resolución, la dinámica del uso de la tierra y la variabilidad espacial² y temporal³ de dicho uso para determinar las áreas críticas, el manejo de la fertilidad de los suelos, y el monitoreo y seguimiento de enfermedades e insectos plaga que atacan al cultivo, entre otros.

Por su parte, la agricultura de precisión (AP)⁴ tiene como objeto optimizar la gestión de un lote desde los siguientes puntos de vista:

Agronómico: ajuste de las prácticas de cultivo a las necesidades de la planta (ejemplo: satisfacción de las necesidades de nitrógeno).

1. La agricultura específica por sitio se define como el arte de realizar las prácticas agronómicas requeridas por una especie vegetal, de acuerdo con las condiciones espaciales y temporales del sitio donde se cultiva, para obtener de ella su rendimiento potencial. Cenicaña ha realizado aproximaciones sucesivas de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca y ha desarrollado una serie de herramientas que facilitan tanto la caracterización de condiciones específicas como la obtención de recomendaciones de manejo e información acerca del comportamiento productivo del cultivo en cada sitio y momento.
2. Por variabilidad espacial se entienden los cambios sufridos por el terreno de cultivo, que pueden ser fácilmente vistos en un mapa de rendimiento, para lo cual se necesita recopilar datos en posiciones precisas. Para localizar la posición de un punto del terreno en latitud y longitud se utiliza un sistema DGPS, al tiempo que se van recopilando otros datos de interés que mantengan una relación espacial, como pueda ser la calidad del suelo, cantidad de agua, densidad del cultivo, etc. Con ello se busca obtener un mapa que resulte representativo del terreno y de utilidad para el agricultor.
3. La variabilidad temporal es el resultado de comparar un determinado número de mapas del mismo terreno en el tiempo (diario, semanal, mensual, anual). Este tipo de variabilidad requiere también ser interpretada para obtener deducciones, pero aun así pueden obtenerse mapas de tendencias que muestren características esenciales.
4. La agricultura de precisión (AP) es un término cada vez más usado. Está ligado a diferentes significados, algunos asociados con satélites, sensores y mapas. También es visto como el futuro de la agricultura y en general para los investigadores es una oportunidad. Este futuro es visualizado como la posibilidad de manejar cada insumo (semilla, fertilizante, riego, herbicidas, fungicida, sanidad de la palma y otros) de manera específica por sitio, es decir, de acuerdo con las necesidades particulares de cada zona de los lotes. Este manejo específico por sitio de la agricultura permitiría incrementar los rendimientos, disminuir los costos y reducir el impacto ambiental. Existen varias definiciones en la literatura acerca de qué es AP, una de ellas es la de Richard Plant (2002) según la cual es la acción de manejar un lote a una escala espacial menor que la superficie de la misma. Sin embargo, los autores se inclinan por el concepto de que es un sistema alternativo sostenible utilizado en la producción agropecuaria, mediante el cual se emplean diferentes métodos o herramientas tecnológicas, como por ejemplo, los sistemas de posicionamiento geoespacial (GPS) y la electrónica, 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 de esa forma a la toma futura de decisiones que permitan el incremento de los rendimientos, la disminución de los costos de producción y la reducción de los impactos ambientales.

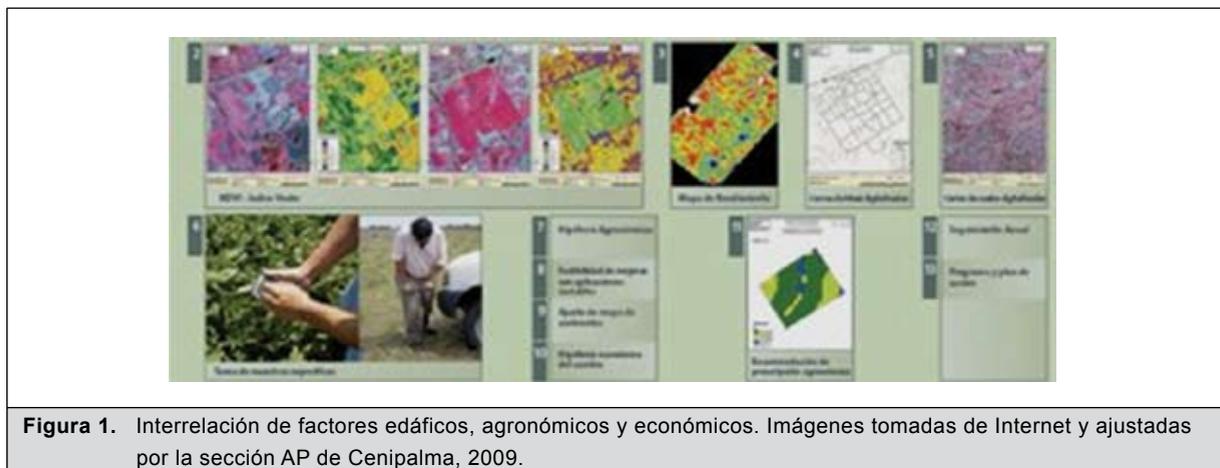


Figura 1. Interrelación de factores edáficos, agronómicos y económicos. Imágenes tomadas de Internet y ajustadas por la sección AP de Cenipalma, 2009.

Medioambiental: reducción del impacto vinculado a la actividad agrícola (ejemplo: limitaciones de la dispersión del nitrógeno).

Económico: aumento de la competitividad mediante la mayor eficacia de las prácticas (ejemplo: mejora de la gestión en cuanto al coste del estiércol nitrogenado) (Figura 1).

Tanto la Agricultura Específica por Sitio (AEPS) como la AP ponen a disposición del productor numerosa información que puede constituir una memoria real del campo por parcela. Por ejemplo la utilización de mecanismos como el de palma a palma y la línea palma orientan la toma de decisiones, porque proveen modelos de análisis espacial y temporal para productividad, rendimientos, sanidad de la palma (enfermedades e insectos plaga), y apoyan otros programas de investigación como variedades, suelos y aguas, y mecanización, debido a que proporcionan información estructurada y real sobre los problemas *in situ*.

Estado de la investigación de Cenipalma en agricultura de precisión

En el año 2008 la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma) presentó ante el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural proyectos encaminados al manejo de la investigación con apoyo de tecnologías AP, de los cuales fueron aprobados los tres siguientes, que se encuentran en ejecución: Deli-

mitación de unidades de manejo agronómico (UMA)⁵ con tecnologías de selección y manejo específico de tierras, Determinación del patrón de distribución espacial de las enfermedades marchitez letal y anillo rojo, y su relación con factores ambientales y nutricionales en la Zona Oriental, y Manejo integrado de plagas a escala regional para la Zona Central.

En 2009 se presentó ante el Sena el proyecto Sistema de información para el análisis y seguimiento de la dinámica espacio-temporal de la incidencia de la Pudrición del Cogollo (PC), *Rhyncophorus palmarum* e insectos plaga defoliadores en los cultivos de palma de aceite de las zonas palmeras de Colombia, con soporte en herramientas de agricultura de precisión y geomática. Su aprobación en junio 5 del mismo año es sin duda un reconocimiento a la dimensión del problema planteado y a la innovación que representa abordarlo utilizando técnicas de agricultura de precisión.

Vale resaltar que el enfoque a partir del cual se desarrolla el proyecto determina que la unidad objeto de investigación es el sistema productivo como un todo, el cual debe ser estudiado desde diferentes perspectivas por los programas que lo componen. La sección de AP tiene la función de investigar la distribución espacial y temporal de los sistemas de producción, identificar los problemas ambientales (agroecosistemas) que afectan su sostenibilidad y desarrollar modelos que muestren las relaciones espaciales entre los factores ambientales y diferentes aspectos de los sistemas productivos.

⁵ Es una unidad espacial de cultivo de palma de aceite dentro de la cual hay una relativa homogeneidad de las características de los recursos biofísicos que intervienen en la producción: clima, suelo, agua, material de siembra y edad del cultivo. Cenipalma, Programa Suelos y Aguas, 2008.

Con tal propósito utiliza herramientas tecnológicas, paquetes geoestadísticos y software geográfico, que facilitan el diagnóstico y análisis de la problemática del sistema de producción en palma de aceite.

En definitiva, la investigación busca estructurar información en una base de datos geográfica, dirigida, en primer lugar, a los palmicultores y su gremio, los investigadores y los administradores de la investigación y, en segundo lugar, a instituciones públicas y privadas que requieran de dicha información para la planificación y el ordenamiento agropecuario del país, por ejemplo el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Estación Experimental El Palmar de La Vizcaína

La Estación Experimental Palmar de La Vizcaína, de Cenipalma, está ubicada en el Magdalena Medio colombiano (Figura 2) y se dedica principalmente al mejoramiento genético, de manera que cuenta con un importante banco de germoplasma de palma, con materiales africanos (*Elaeis guineensis*) y americanos (*Elaeis oleifera*), y poblaciones élite de materiales Dura, Oleífera y Pinífero.

La Vizcaína responde a una serie de requisitos entre los cuales se destacan los técnicos, los de fortaleci-

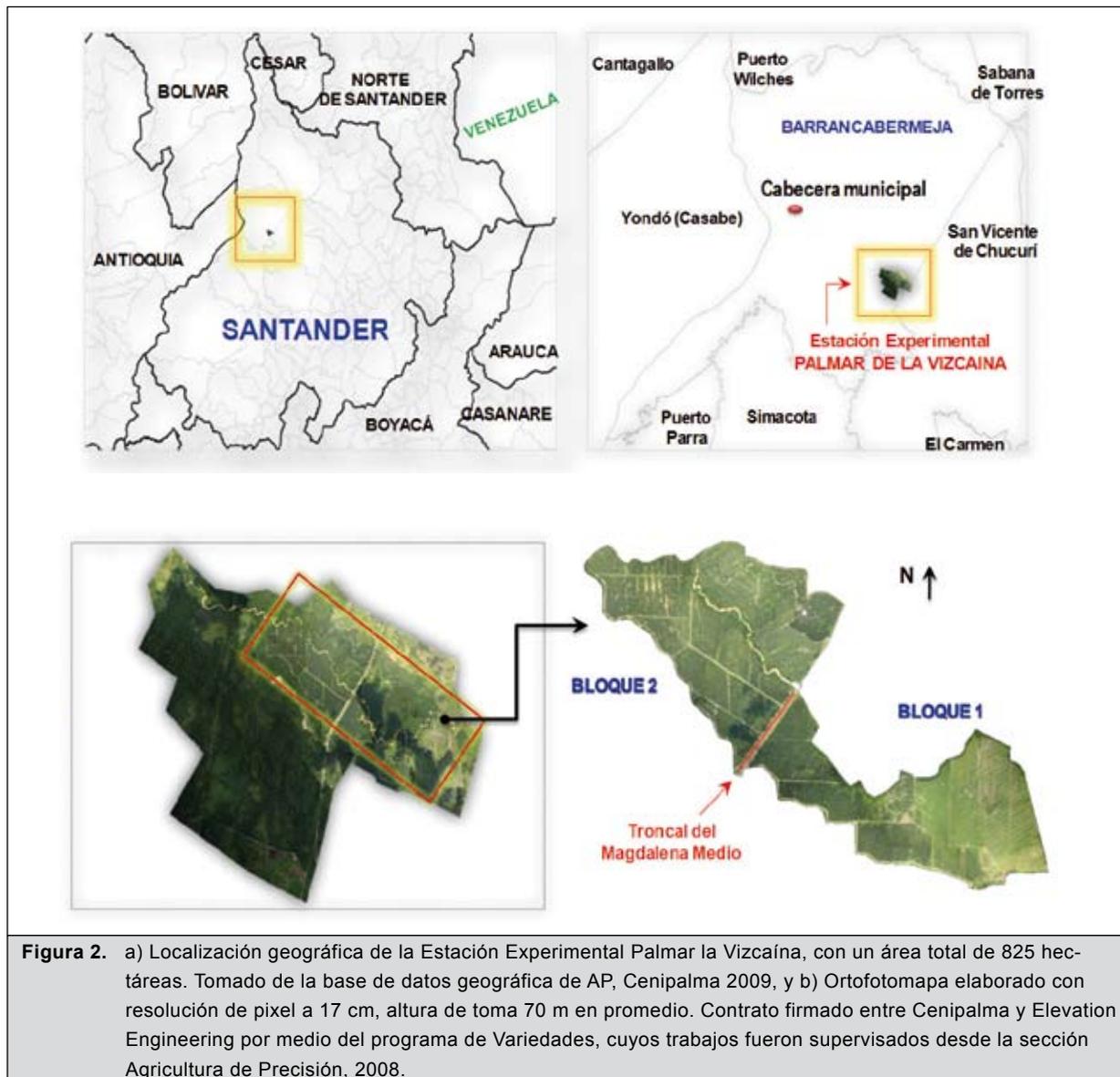


Figura 2. a) Localización geográfica de la Estación Experimental Palmar la Vizcaína, con un área total de 825 hectáreas. Tomado de la base de datos geográfica de AP, Cenipalma 2009, y b) Ortofotomapa elaborado con resolución de pixel a 17 cm, altura de toma 70 m en promedio. Contrato firmado entre Cenipalma y Elevation Engineering por medio del programa de Variedades, cuyos trabajos fueron supervisados desde la sección Agricultura de Precisión, 2008.



miento de capacidades y los de tipo logístico. Los primeros están encaminados a garantizar que la investigación proyectada permita desarrollar tecnologías innovadoras que promuevan el potencial de la agroindustria palmera y presenten soluciones a los limitantes de tipo físico y biológico del cultivo, y que puedan posteriormente ser adaptadas e implementadas en las distintas zonas palmeras del país. Por su parte, los de fortalecimiento de capacidades se relacionan con la difusión apropiada de los resultados de la investigación y la garantía de que puedan ser replicados en amplias áreas. Los de tipo logístico, por último, buscan facilitar la infraestructura adecuada para el desarrollo de las actividades de investigación y difusión, y que éstas cuenten con una línea base de información estructurada y sistematizada palma a palma para asegurar el seguimiento, la evolución y la evaluación del banco de germoplasma, y la referenciación geográfica de los distintos experimentos que se realicen.

Resultados

En el caso, por ejemplo, de la Pudrición del Cogollo (PC), el que múltiples factores ambientales y de ma-

nejo del cultivo estén influyendo en la expresión de la enfermedad, obliga a tener condiciones controladas de campo e información estructurada y georreferenciada detallada palma a palma. En este contexto, uno de los principales cuellos de botella es contar con la información de forma precisa, en este caso, el palma a palma y a su vez la línea palma, que debe tener sus correspondientes datos asociados (atributos) y en particular localizados espacialmente, es decir, geográficamente (latitud, longitud y altura dada en metros sobre el nivel del mar).

Cenipalma ha realizado trabajos importantes en este sentido, como la Campaña regional para el manejo integrado de insectos plaga defoliadores en el cultivo de la palma de aceite, en la Zona Central, cuyos resultados permitieron aproximarse a la realidad de ese problema. Sin embargo, el concepto del palma a palma no se hizo visible y por el contrario se produjeron resultados a partir de modelos matemáticos que mostraban la incidencia a partir de técnicas de interpolación, que si bien dan un panorama general de la situación, no permiten establecer claramente dónde están las palmas afectadas para poder tratarlas (Figura 3).

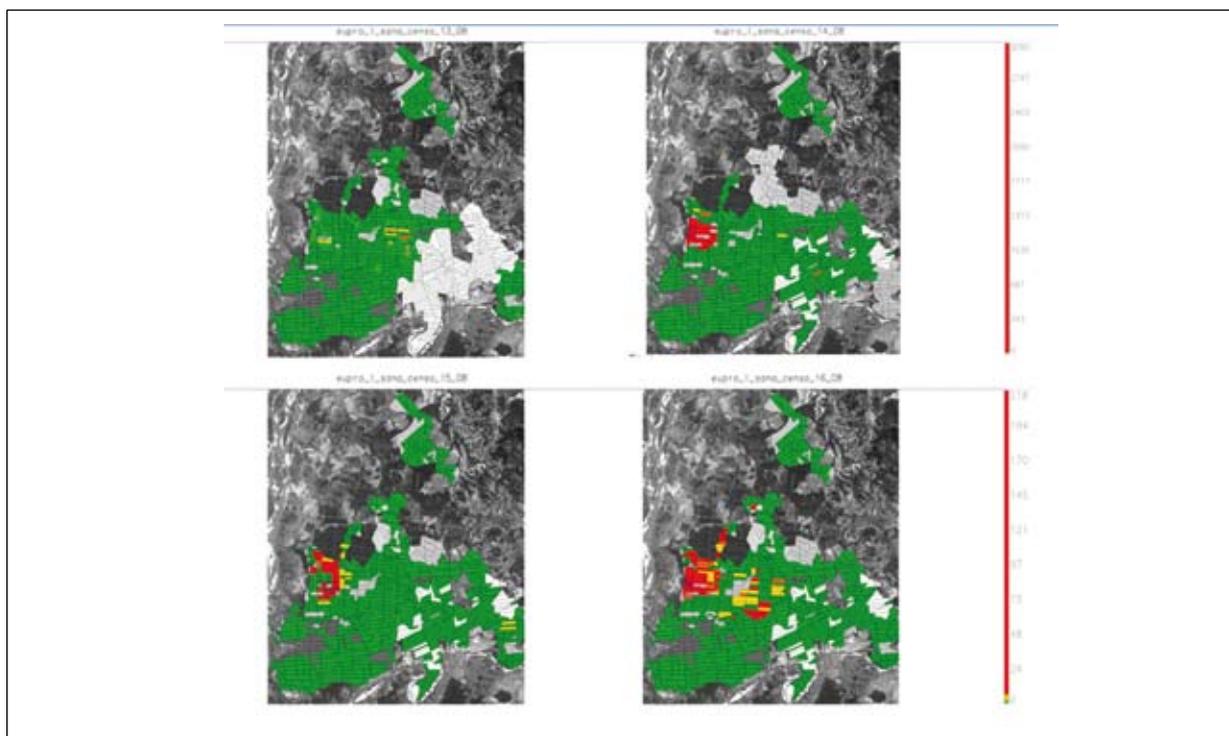


Figura 3. Representación espacial y modelo temporal de incidencia de *Stenoma cecropia*. Censos 13 a 16. Zona Central, trabajo conjunto entre AP y MIP. 2008.

Tal trabajo se retomó recientemente bajo el concepto de AP, con la localización geográfica palma a palma, y empleando distintos modelos estadísticos y geográficos que permiten obtener resultados más precisos. La metodología es similar a la utilizada en la Estación Experimental El Palmar de La Vizcaína, y cuyos avances se presentan más adelante.

El modelo geográfico de precisión se inicia por proponer un algoritmo que permita, teniendo las coordenadas reales de la primera palma de la primera línea palma, georreferenciar las demás, sin tener que hacer trabajo de campo para cada una de ellas. De manera que se desarrolló un algoritmo basado en los principios de trigonometría básica (hipotenusa, seno y coseno de los ángulos que forma el triángulo), con el fin de lograr el mayor nivel de ajuste y precisión.

Al asignar las coordenadas a la palma (planas o geográficas) mediante un GPS o GPS navegador (Global Position System, por su sigla en inglés), es importante tener presente el estado fenológico de la misma, dado que las hojas, en palma adulta, generalmente obstruyen la señal que debe llegar de los satélites, por lo que para este caso, tal como lo muestra la Figura 4, se toman las coordenadas en un punto sin obstáculos de señal, y luego se toma la distancia de ese punto ("d") a la palma cuyo valor se ingresa al algoritmo.

Con las coordenadas de la primera palma de la primera línea palma localizadas, sabiendo que "d" es

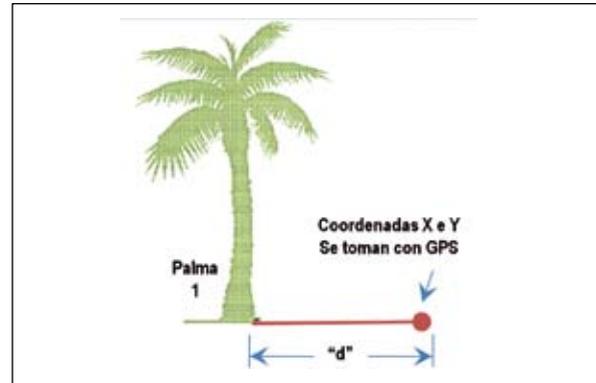


Figura 4. Abstracción de cómo se toman las coordenadas en campo para la primera palma. Modelo propio de AP, Cenipalma 2009.

constante y conociendo el número total de palmas por línea palma (esta información es proporcionada por el responsable de la estación experimental), se procede a aplicar el algoritmo para calcular y asignar las coordenadas de las demás palmas. De esta manera se georreferencian todas las palmas de la correspondiente línea.

Para la validación del algoritmo desarrollado se asignan dentro de la línea palma las coordenadas de otra palma diferente a la número uno y se comparan los resultados entre coordenadas de la misma palma (las generadas y las capturadas con el GPS), con lo que se obtiene un nivel de precisión del 99,9% (Figura 5).

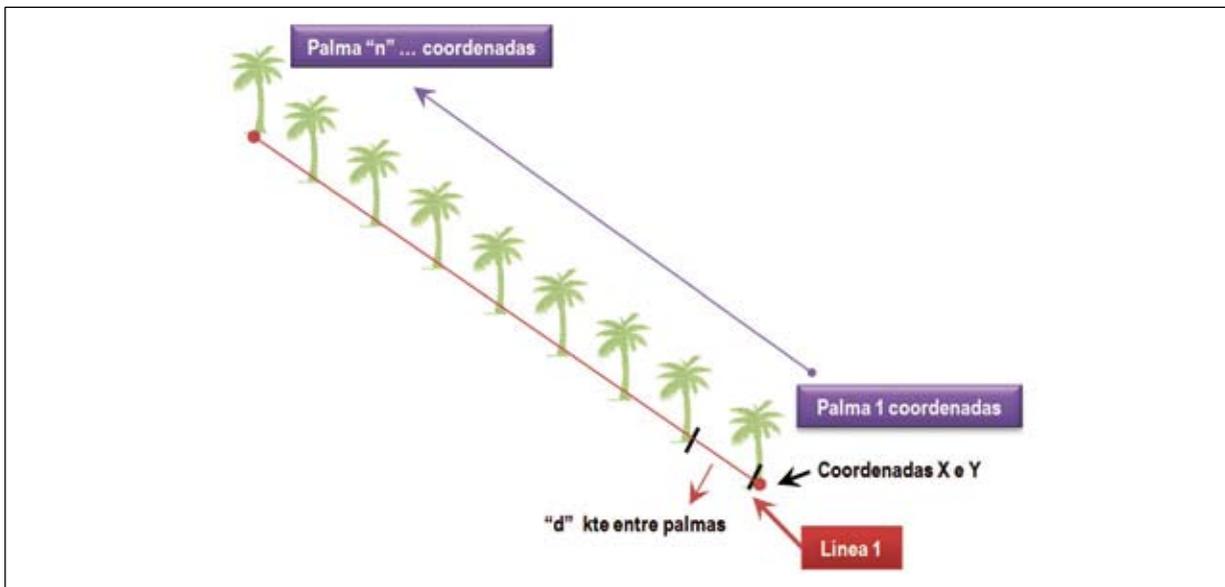


Figura 5. Toma de coordenadas en la palma uno de la línea uno y su posterior aplicación dentro del algoritmo topográfico por línea palma. AP, 2009.

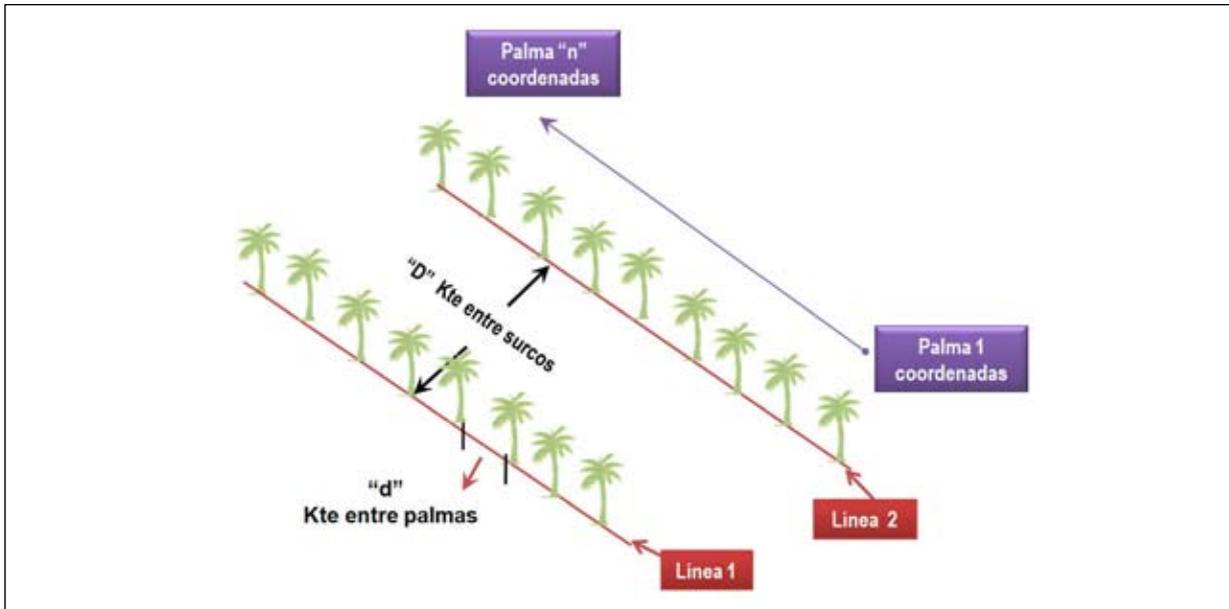


Figura 6. "d": Distancia constante entre palmas; "D": distancia constante entre surcos.

ALGORITMO PARA LA GENERACIÓN DE COORDENADAS PALMA A PALMA
SECCIÓN AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Código de línea palma	7	Número consecutivo de la línea palma
X	1026368	Coordenada X, palma 1
Y	1299760	Coordenada Y, palma 1
Azimut	350	Angulo que indica dirección de la línea con respecto a la Norte
Densidad	9	Distancia kte entre palmas
Número de palmas	14	Numero total de palmas por línea
Lote	B2-L4	Localización de ubicación de la palma
Distancia de corrección	2	Distancia "d" de ajuste del punto receptor a la palma

Figura 7. Pantallazo del algoritmo para el cálculo de coordenadas. Desarrollado por AP, Cenipalma 2009.

Por la necesidad de georreferenciar todas las palmas por línea palma y por lote, se ajusta el modelo matemático para la asignación de todas las coordenadas.

Así, se analiza si la distancia entre línea palma (surcos) es constante; de serlo, se incorpora esta nueva variable y se procede a calcular para cada palma sus correspondientes coordenadas (Figuras 6 y 7, y Tabla 1).

Una vez georreferenciada cada palma, la representación espacial dentro de la base de datos del modelo geográfico es como se aprecia en la Figura 8, lo cual

permite no solo consultar la información, sino llevar un seguimiento sobre temáticas diversas.

Además del modelo de geocodificación (punto en el caso de la palma), la información asociada a lotes (polígono), vías y drenajes (líneas), ya se encuentra en la base de datos geográfica que maneja AP (Figura 9).

Cuando están georreferenciadas cada una de las palmas por lote y bloque, se cuenta con la base geográfica que permite asociar las características para cada una, en relación, por ejemplo, de sanidad de la

Tabla 1. Resultados para la línea 7, bloque 2, lote 4 de El Palmar de La Vizcaína, Cenipalma, 2009

Línea	Palma	X	Y	Lote
7	1	1.026.367,49	1.299.761,85	B2-L4
7	2	1.026.365,93	1.299.770,71	B2-L4
7	3	1.026.364,37	1.299.779,58	B2-L4
7	4	1.026.362,80	1.299.788,44	B2-L4
7	5	1.026.361,24	1.299.797,30	B2-L4
7	6	1.026.359,68	1.299.806,17	B2-L4
7	7	1.026.358,12	1.299.815,03	B2-L4
7	8	1.026.356,55	1.299.823,89	B2-L4
7	9	1.026.354,99	1.299.832,76	B2-L4
7	10	1.026.353,43	1.299.841,62	B2-L4
7	11	1.026.351,86	1.299.850,48	B2-L4
7	12	1.026.350,30	1.299.859,35	B2-L4
7	13	1.026.348,74	1.299.868,21	B2-L4
7	14	1.026.347,18	1.299.877,07	B2-L4

palma. En este sentido se estructuran los datos de censos tomados mes a mes sobre la PC y niveles de severidad, y se asocian (como atributo) a cada una de las palmas (escala Cenipalma que va del 1 a 6).

De esta manera se genera un modelo espacial y temporal de la enfermedad para realizar seguimiento, evaluación y evolución de la PC; igual se trabaja para el tema de defoliadores, que en el caso de La Vizcaína se censa por línea palma y no por palma a palma (Figura 10).

Todo el proceso se encuentra soportado en protocolos de investigación y manejo, con validación en el campo.

Reflexiones

Con la utilización de técnicas soportadas en AP y con la ayuda de la geomática es posible desarrollar modelos de análisis espacial y temporal, que permiten dar una mirada desde lo geográfico a los problemas relacionados con la evaluación de riesgos de plagas y enfermedades, su incidencia, propagación y severidad. De igual forma, pueden apoyar las actividades de muestreo y seguimiento, en este caso, de la PC y el *R. palmarum*. Estas técnicas, metodologías e instrumentos también permiten observar temas como rendimientos, producción, peso del racimo y material sembrado, entre otros.

Otro aspecto importante es que a partir del análisis geográfico mediante técnicas de exploración de datos y estadística espacial, se generan planes de acción regional que facilitan un manejo más económico y ambientalmente sostenible, que les permiten a los técnicos apoyarse en modelos para la toma de decisiones. El uso de estas tecnologías ofrece ventajas tanto en la investigación como en la implementación de técnicas de agricultura de precisión y entomología, como bien puede ser en seguimiento a las poblaciones de plagas e incidencia de enfermedades.

El avance en el desarrollo de estos sistemas permite construir, desde sistemas de consulta que clasifiquen las lecturas de censos periódicos sobre umbrales de acción, hasta modelos de análisis que identifiquen patrones de la dinámica de los insectos plaga y las

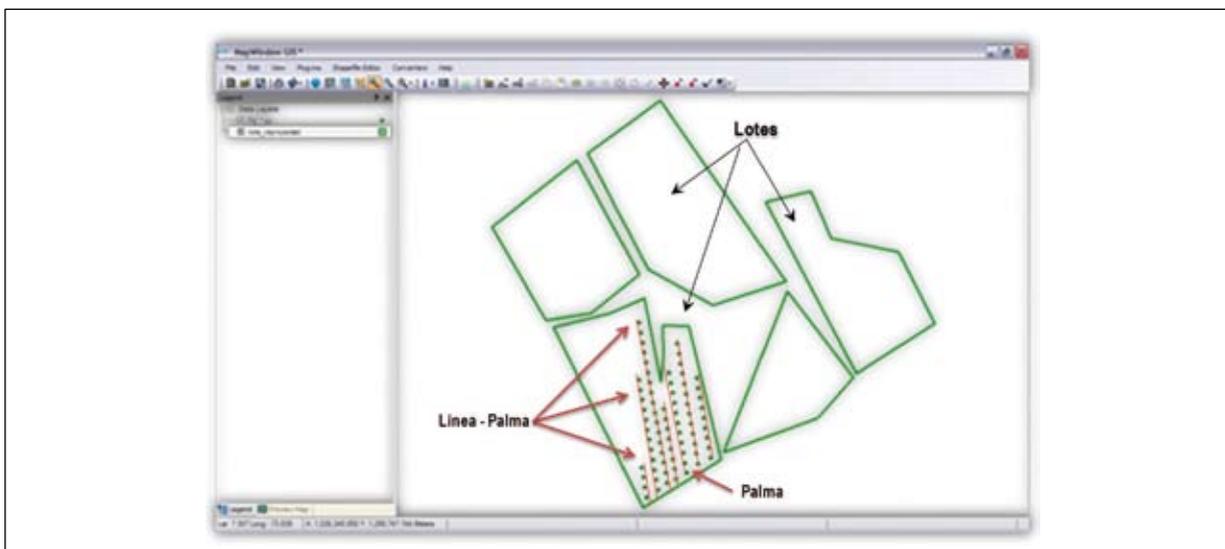


Figura 8. Representación de loteo, línea palma y palma en la base geográfica - Cenipalma, 2009.

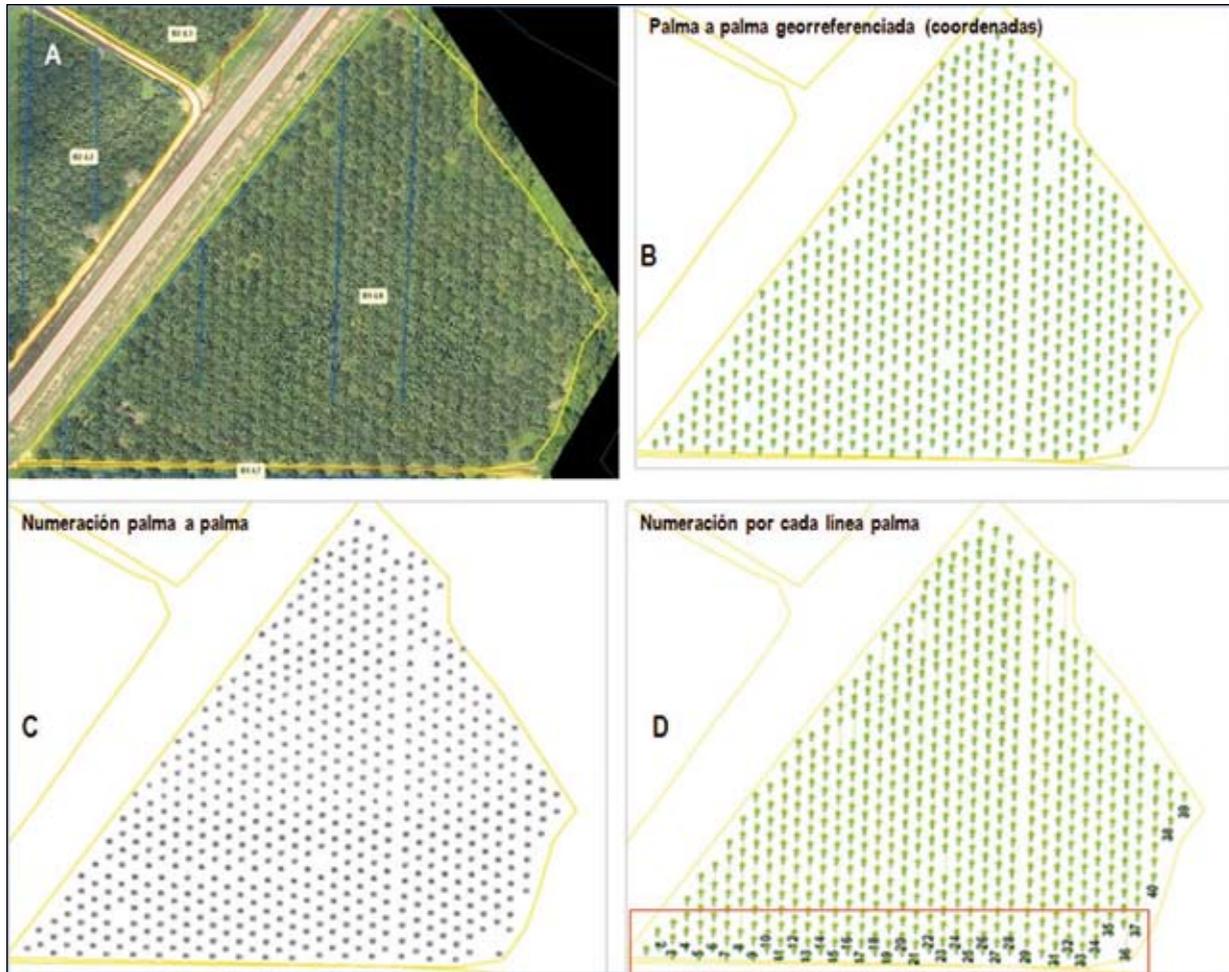


Figura 9. A. Modelo geográfico contenido en la base de datos de Cenipalma, 2009. Fotografía aérea que permite identificar cada palma (pixel de resolución a 17 cm); B. Palma a palma georeferenciada; C. Numeración palma a palma; D. Numeración de cada línea palma (en color rojo se resaltan la numeración asignada). Cada palma tiene además de sus coordenadas, atributos como variedad, localización por bloque y por lote, y nivel de severidad de la PC.



Figura 10. Modelo espacio-temporal de la PC. Detección de focos y tendencia de propagación. Base de datos geográfica, AP Cenipalma 2009.

enfermedades, planteando estrategias de control preventivo a quienes toman las decisiones.

Así mismo, saber que Cenipalma cuenta con un modelo geográfico sólido y estructurado, con una

metodología de captura de información en campo que se ajusta a las necesidades del sector y en especial bajo los parámetros técnicos geográficos que para tal fin hay en el país.



Bibliografía

- Godwin, R. J.; Wood, G. A.; Taylor, J. C.; Knight, S. M.; Welsh, J. P. 2003. Precision farming of cereal crops: a Review of a Six Year Experiment to develop Management Guidelines. *Biosystems Engineering*, 84(4): 375–391.
- Hurtado C.; *et al.* 2008. Análisis exploratorio de evolución espacio-temporal de la incidencia de la Pudrición del Cogollo (PC) de la palma de aceite (*Elaeis guineensis jacq*). Núcleo productivo de San Andrés de Tumaco. Periodo: enero 2007 a febrero 2008. Corpoica - Cenipalma.
- Leiva, F. R.; Morris, J.; Blackmore, S. 1997. Precision farming techniques for sustainable agriculture. In: Stafford J. V. (Ed.). *Precision Agriculture '97. Spatial variability in soil and crop*. BIOS/SCI. UK, 1:957-965.
- Senay, G. B.; Ward, A.D.; Lyon, J. G.; Fausey, N. R.; Nokes, S. E. 1998. Manipulation of high spatial resolution aircraft remote sensing data for use in site-specific farming. *Trans. ASAE*, 41(2): 489–495.
- Vendrusculo, L. G.; Magalhaes, P. S. G.; Vieira, S. R.; de Carvalho J. R. P. 2004. Computational system for geostatistical analysis. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)*, 61(1): 100-107.
- Zhang, R.; Myers, D. E.; Warrick, A. W. 1992. Estimation of spatial distribution of soil chemical using pseudo cross-variograms. *Soil Science Society of America Journal* 56(5): 1444-1452.

PAUTA BANCO AGRARIO