



Breve visión de los aspectos evolutivos de la agricultura de precisión como herramienta de gestión*

Brief overview of the evolutionary aspects of precision agriculture as a management tool

Guillermo Peñaranda**
Charlotte Burbano ***

Rec: 28/10/2019
Acep: 5/5/2020

Resumen

En la búsqueda por satisfacer las necesidades alimentarias de la población mundial, a través del tiempo se han desarrollado diversas herramientas para la optimización de los procesos que giran en torno a la agricultura. Desde finales de la década de 1960 se empezó a gestar lo que se conoce actualmente como Agricultura de Precisión (AP). Este texto pretende hacer una revisión de los aspectos fundamentales que dieron origen a esta disciplina. Para ello se realizó una revisión bibliográfica extensiva de la cual se rescataron inicialmente, los eventos históricos que originaron las prácticas de inclusión tecnológica en la agricultura. Asimismo, se proporciona la definición consensuada por los entes de autoridad y, finalmente, se exponen las principales tecnologías empleadas y sus aplicaciones.

Palabras clave: agricultura de precisión, desarrollo histórico.

Abstract

With the aim of meeting world population food needs, various tools have been developed over time to optimize agricultural processes. Since the end of the 1960's, what is currently known as Precision Agriculture (AP) has been brewing. This text aims to review the fundamental aspects that gave rise to such discipline. For this, an extensive literature review was carried out from which the historical events that originated the practices of technological inclusion in agriculture were initially rescued, as well as the definition agreed by authorities. Finally, the main technologies used and their applications are exposed.

Keywords: precision agriculture, historical development.

* Artículo producto de Investigación

** Magíster en Logística (UAO), Especialista en Mercadeo (Javeriana Cali) y Administrador de Empresas (Javeriana Cali). Docente Unicatólica Cali, Correo electrónico: gpenaranda@unicatolica.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1862-5629>

*** Ingeniería Industrial (Unicatólica Cali), maestrante en ingeniería ambiental (U Nacional). Docente Unicatólica Cali, Correo electrónico: cmburbano@unicatolica.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0003-3024-4156>

Introducción

El reporte del programa Water and Job de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) proyecta para el 2050 un incremento del 33 % de la población mundial, lo cual doblaría la demanda actual de alimentos. Este crecimiento presiona la ampliación de las fronteras de producción y la sobre explotación del recurso del agua del cual hoy se emplea el 70 % de las fuentes disponibles para la producción agrícola y pecuaria, necesarias para satisfacer las demandas calóricas de la población mundial (Vuran, 2018).

Esta dinámica causa un desequilibrio en el ciclo de sustentación del planeta y dentro del modelo actual de economía de mercado (Ortiz Cruz, 2010), no se garantiza que los incrementos en producción se repartan equitativamente al concentrar la oferta en aquellas zonas del planeta con alto poder adquisitivo, por lo general, las grandes urbes, en donde no se consume eficientemente y generan desperdicios, de esta manera se dejan de lado pequeñas poblaciones y zonas rurales que con menores ingresos acceden de forma precaria a los alimentos.

Lo anterior plantea que un crecimiento de la frontera agrícola no garantiza la satisfacción de la demanda de alimentos a nivel global y que es necesario, por lo limitado de los recursos de tierra y agua, explorar formas de hacer más eficiente, equitativa y de fácil acceso la producción de alimentos para garantizar la sustentabilidad del planeta y la supervivencia de la especie humana.

En los sistemas de agricultura tradicional, asociados a las pequeñas parcelas, la productividad del cultivo es directamente proporcional al conocimiento adquirido de quien explota la tierra y a un desempeño no controlado de variables edáficas y agroclimáticas como, composición de terrenos, humedad, períodos de lluvia, exposición solar y dirección de corrientes de aire. Por lo general, este conocimiento no se encuentra sistematizado, por lo que es difícil de replicar en el terreno por medio de personas que no desarrollen sus actividades regulares en este.

En los sistemas tradicionales la variable tiempo se asocia al aprendizaje, por lo que garantizar una productividad adecuada se convierte en un ejercicio de ensayo y error que, en las condiciones actuales de los ecosistemas y la presión constante por mayores volúmenes de alimentos, hacen que sea poco eficiente y costoso en términos de uso de recursos y efectividad.

Los avances tecnológicos y la conformación de una nueva etapa en el desarrollo productivo mundial identificado como cuarta revolución industrial (Mestries, 2015), se incorporan a la tradicional producción de alimentos como “agricultura de precisión” la cual reemplaza la labor manual y el conocimiento empírico, transmitido por generaciones en mecanismos de inteligencia artificial, dispositivos, sensores y *software* que garantizan el monitoreo y ajuste en las condiciones del cultivo de forma remota, autónoma y en un grado de precisión tal que pueden, en un terreno de condiciones heterogéneas, individualizar acciones para cada elemento del cultivo.

No obstante, este tipo de tecnologías y desarrollos se implementan en explotaciones agrícolas industriales (de gran tamaño) y sus resultados y productividad se destina a masas, lo cual genera una brecha de desigualdad entre los agricultores tradicionales –con métodos más costosos– y los grandes productores, con claras eficiencias en costos, lo que desincentiva la producción de alimentos autóctonos y por ende afecta la seguridad alimentaria de las pequeñas comunidades y estandariza la variedad de los alimentos a los que se tendría acceso, ya que solo se cultivaría lo que es posible comercializar dentro de los sistemas diseñados para la gran industria y las economías de mercado.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Mundiales, adoptados por todos los Estados miembros de la ONU en 2015 y presentados como un esfuerzo del planeta para poner fin a la pobreza, proteger el

planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para el 2030 buscan terminar con el hambre mundial, la protección del recurso agua, los ecosistemas, el medio ambiente, la generalización de la producción y el consumo responsable, acciones que deben ayudar a terminar con la pobreza (Hernández y Cruz, 2019).

Estos objetivos se alinean con la situación precaria que viven muchos campesinos en todas partes del mundo y que, al garantizar el fácil acceso a la tecnología y el conocimiento, permitiría superar dicha situación y a la vez cumplir con los ODS planteados por la ONU. Lo anterior sería garante para la preservación y variedad de alimentos propios de cada región y ecosistema, y la mejora de los indicadores de calidad de vida para la especie.

Este artículo busca presentar una revisión del desarrollo de la agricultura de precisión, identifican los temas de mayor interés en la comunidad científica que permitan señalar las áreas en las que se puedan desarrollar investigaciones, herramientas y métodos aplicadas a la producción en pequeña escala y de fácil acceso para el campesino tradicional.

Desarrollo histórico de la agricultura de precisión

El estudio de emplazamientos y textos romanos antiguos demuestran un entendimiento temprano de las diferencias en calidad y fertilidad de los suelos (Zhang, 2015). Los romanos definieron y documentaron las bases para el cuidado de las granjas, su localización en función del terreno, sus características y la forma como se debían fertilizar a partir de compost, y los sobrantes resultantes del proceso de prensado de la oliva para la extracción de aceite.

En la América colonial y en los nuevos Estados Unidos, el conocimiento tradicional de los primeros colonos, enriquecido por prácticas agrícolas de los esclavos traídos de África inició un proceso de

sistematización en el manejo, rotación y fertilización de suelos con materiales orgánicos (Betts, 1953). Durante mucho tiempo, en las Américas la gestión de la agricultura no sufrió cambios significativos y los desarrollos se enfocaron en la mecanización, impulsada por la aparición de las máquinas de vapor y nuevos materiales. La agricultura se caracterizaba por un desarrollo expansivo, el cual no encontraba limitaciones de recursos (agua, tierra, mano de obra y capital).

La aparición del tractor y las máquinas combinadas, junto al desarrollo de los fertilizantes comerciales y el control químico de semillas contribuyeron al desarrollo de la agricultura extensiva y los aumentos de producción, sin embargo, incrementó la falta de conocimiento específico de las condiciones de los terrenos en los agricultores.

En 1920 y durante siete años consecutivos en la estación experimental de Rothansted en Hertfordshire, Inglaterra Robert A. Fisher trabajó en las bases del diseño experimental en agricultura y desarrolló una serie de herramientas estadísticas que se aplicaron de manera experimental en pequeñas parcelas y en campos completos de sembrados (Zhang, 2015). Estas herramientas permitieron hacer estudios sobre problemas asociados con pendientes y diferencias sistemáticas en los suelos, como el uso de la replicación en bloques, técnica que ha sido de gran utilidad para disminuir el efecto de la variabilidad espacial en experimentos de pequeñas parcelas para generaciones de investigadores de campo.

Sin embargo, ninguna de estas herramientas fue particularmente útil para manejar la variabilidad en el campo de nutrientes, malezas, insectos, tasa de siembra u otros insumos de manejo y la primera recomendación dada en el muestreo del suelo para abordar la heterogeneidad del campo la publicaron Linsley y Bauer en 1929 (Anderson, 1998).

A principios de la década de 1960 también surgieron nuevas herramientas estadísticas para tratar

directamente la variabilidad espacial de nutrientes del suelo. El subcampo estadístico de geoestadística la introdujo en 1963 el científico canadiense Matheron. Su enfoque toma como base principios esbozados con anterioridad por un científico sudafricano que trabajaba problemas espaciales en la minería de oro (Krige, 1951). Es así que se trasladaron términos como «variación de pepita» de la minería a la agricultura. El muestreo del suelo o cualquier muestreo dentro de una granja solo identifica características en una pequeña área en la que se extraen núcleos, plantas, partes de plantas o se realizan mediciones a partir de las cuales se trata de inferir el resto del terreno (Matheron, 1963).

Hasta la década de 1970 la investigación en la gestión de cultivos se enfocó en el desarrollo de abonos químicos, control de plagas, sistemas mecánicos de riego y desarrollo de maquinaria para labores

específicas. La aparición de las tecnologías asociadas a los computadores permitió incorporar sistemas semiautomáticos para el dimensionamiento de campos y hacia la década de 1980, el desarrollo de la tecnología espacial (satélites) y la aparición de los sistemas de geoposicionamiento hicieron posible el levantamiento de mapas de campo con mayor precisión.

En la década de 1990, gracias a nuevos avances en la informática, procesadores y menor tamaño de los dispositivos se desarrollaron los Sistemas de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés: Geographical Information System) que -junto a los GPS- permiten implementar soluciones a múltiples tipos de problemas como aplicaciones para la planificación, diseño y gestión de sistemas de drenaje, planeación de infraestructura, diseño de mecanismos de transporte, etc. En la tabla 1 se consigna un resumen del desarrollo histórico de la AP.

Tabla 1. Evolución histórica de la agricultura de precisión

<u>Introducción del GPS</u>	
1970-1980	Primer medidor de campo instalado en una cosechadora combinada
1984	Introducción del mapeo de campo con GPS
1991	Introducción de aplicaciones de mapas basados en GIS con tecnologías de tasas variables
1995 - 1998	Sistemas de sensores de subsuelo y aereo/satelitales para medición de estado de cultivo (contenidos de clorofila)
1999 - 2002	Introducción de medidas de conductividad eléctrica del suelo e imágenes aereas / satelitales para medición de estado del cultivo
2000	Introducción de sistema RTK en la agricultura
2000 - 2002	Uso de sistemas para detección de plagas y siembra de precisión
2005	Sistemas
2006	Introducción del auto - steering en la agricultura
2008	Introducción de los UAV's (drones) para aplicaciones de mapeo en cultivos
2015	Introducción de sistemas robóticos en horticultura de alto valos

Fuente: adaptado de Progress in Precision Agriculture

Definición de agricultura de precisión

El término *agricultura de precisión* se representa en la literatura especializada mediante variados términos que, de acuerdo con el contexto, se emplean como sinónimos. Algunos de estos términos son: agricultura de precisión (*Precision Farming*); aplicación de entrada específica en el lugar (*Site-specific input application, SSA*); tecnología agrícola específica de lugar (*Site-specific agricultural technology*); tratamiento de tasa variable (*Variable-rate treatment, VRT*) y agricultura inteligente (*Smart agriculture*); se emplean para describir desarrollos tecnológicos como sistemas de auto gestión, control de tráfico en cultivo y sistemas agrícolas autónomos como los robots de siembra, mantenimiento y cosecha.

La International Society of Precision Agriculture, por sus siglas en inglés ISPA, adoptó en 2019 la siguiente definición:

Agricultura de precisión se define como la gestión estratégica que emplea procesos y análisis temporales, espaciales y datos individuales combinados con información de soporte para la toma de decisiones de acuerdo con variaciones estimadas para mejorar la eficiencia en el uso de los recursos, la productividad, calidad, rentabilidad y sostenibilidad de la producción agrícola.

Bases tecnológicas

como herramienta de gestión, la agricultura de precisión consta de cinco elementos para el desarrollo de tareas: geoposicionamiento GPS, recopilación de información, soporte de decisiones, tratamiento de tasas variable y mapeo de rendimiento (Pedersen, 2017). La figura 1 ilustra la relación entre diferentes sistemas y sensores en la agricultura de precisión al compaginar sistemas de geoposicionamiento con sistemas de sensores de apoyo a la toma de decisiones y aplicaciones de tasas variables y planeación de rutas.

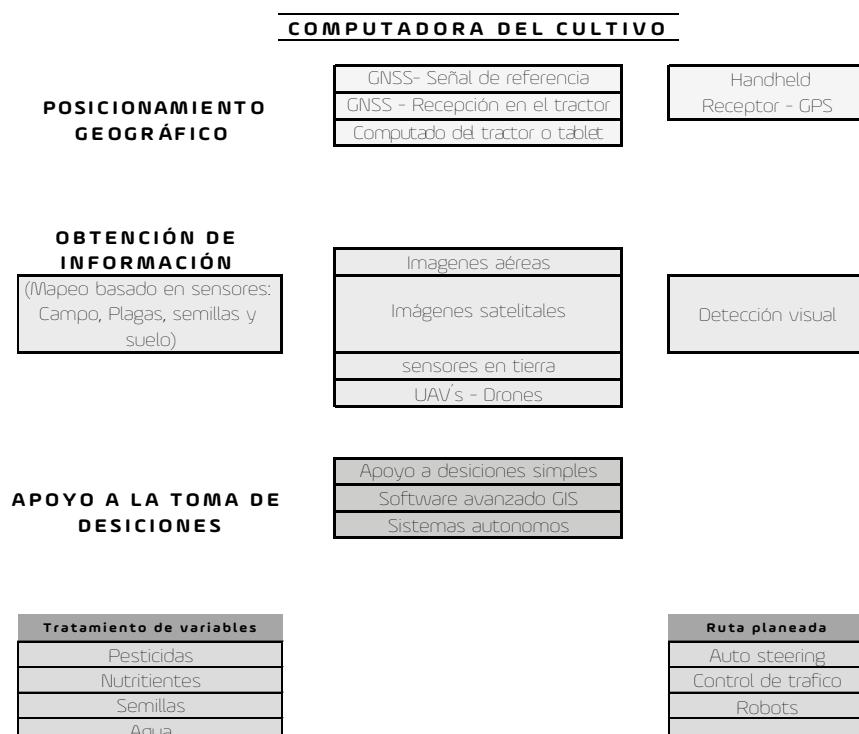


Figura 1. Sistemas y sensores en la agricultura de precisión

Revisión del estado del arte de la agricultura de precisión

En cuanto a la actividad científica relacionada con la agricultura de precisión, una revisión de las ponencias presentadas en los congresos de la International Society of Precision Agriculture (ISPA) entre 2012 y 2018 demostró que los temas de mayor interés fueron: *remote sensing applications in precision agriculture* (aplicaciones de teledetección en AP) con 126 ponencias, continuadamente: *sensor application in managing in-season crop variability* (aplicación en el manejo de la variabilidad de cultivos en temporada) con 52 investigaciones; el tercer lugar lo ocupó *profitability and success stories in precision agriculture* (rentabilidad e historias de éxito en agricultura de precisión).

agriculture (rentabilidad e historias de éxito en agricultura de precisión).

Se observa también un interés en los últimos cuatro años por temas nuevos como *decision support systems in precision agriculture* (sistemas de apoyo a la toma de decisiones en agricultura de precisión) con 26 trabajos presentados entre 2016 y 2018 y *applications of unmanned aerial systems* (aplicaciones de sistemas aéreos no tripulados) con 29 trabajos en el 2018. Este último merece atención especial por cuanto en el periodo 2017-2018 muestra un alto interés en los investigadores del tema.

Tabla 2. Comparativo 2012-2018 ponencias ISPA

	2012	2014	2016	2018
Education and training in precision agriculture	2		4	10
Food security and precision agriculture	8	3	2	11
Precision crop protection	11	15	4	6
precision dairy and livestock management	7	5	1	17
Precision horticulture	15	7	4	10
Remote sensing applications in precision agriculture	25	16	35	50
Sensor application in managing in-season crop variability	16	17	9	10
Big data mining & statistical issues in precision agriculture			6	18
Decision support systems in precision agriculture			10	16
Applications of unmanned aerial systems				29
Profitability and success stories in precision agriculture	6	18	8	14

Fuente: adaptado de The International Society of precision Agriculture ISPA -2019

Comparativo 2012 - 2018 Temas de investigación en AP

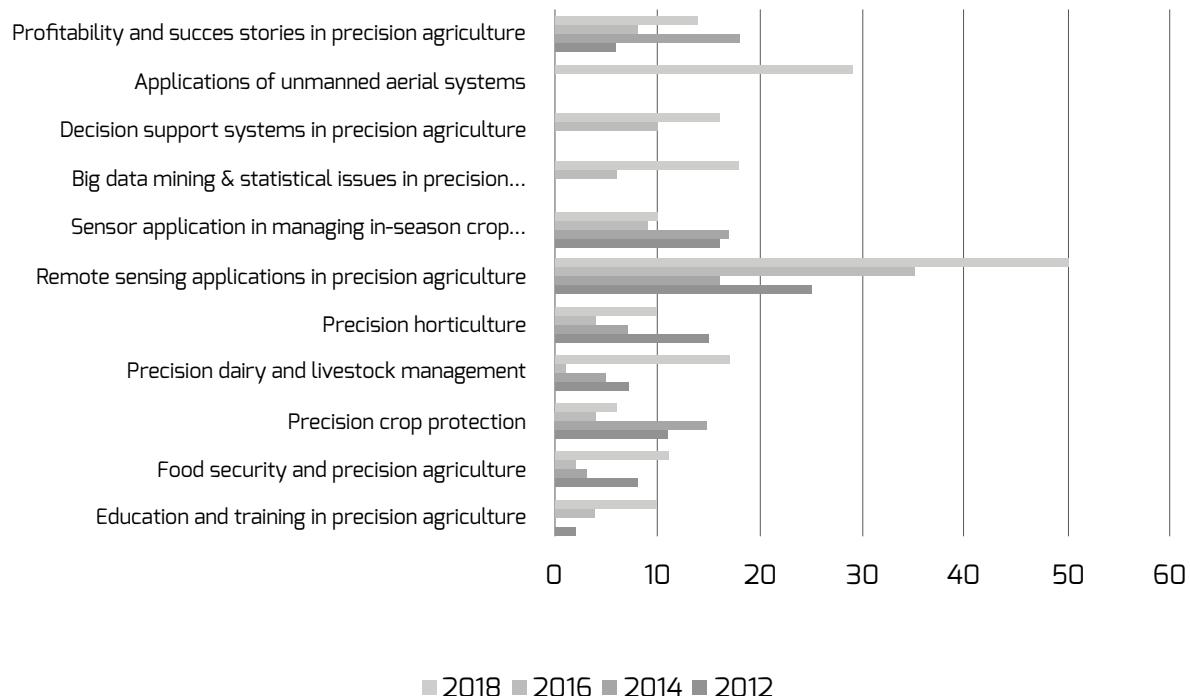


Figura 2. Comparativo de temas de investigación sobre AP 2012-2018

Aplicaciones de teledetección en ap

La investigación en esta área se desarrolla en torno a sensores remotos para monitorear el estado de cultivos desde el control de variables específicas como el nitrógeno, el agua, la temperatura o condiciones particulares de suelos. Los sensores empleados en dichas investigaciones se pueden clasificar dentro de dos tipos generales: los que se encuentran en tierra y los de aerodetección que desde satélites o vehículos aéreos monitorean cambios en las variables de estudio en superficie y esto se contrasta con el desarrollo de los cultivos.

En cuanto a las tecnologías empleadas destaca el trabajo titulado "Assessment of land use changes in Dirab region of Saudi Arabia using remotely sensed imageries", el cual plantea como objetivo evaluar los cambios temporales en los patrones de uso de la tierra debido a los nuevos desarrollos (urbanos, industriales, comerciales y agrícolas) en la región de Dirab, Riad, Arabia Saudita (Madugundu, 2014). Para esto emplea datos de Landsat TM / ETM¹ y el software de detección remota Erdgas Imagine™, una herramienta empleada para el procesamiento de imágenes aéreas o satélites que permite crear mapas del terreno en 2D y 3D.

¹ Landsat es una iniciativa de los Estados Unidos para la observación en alta resolución de la superficie de la tierra a partir de una serie de satélites en órbita,

TM corresponde a las siglas en inglés *Thematic Mapper* (TM), es un radiómetro de exploración multiespectral que funciona en las regiones visible e infrarroja del espectro electromagnético y se encuentra a bordo del satélite -5. TM es un instrumento de barrido diseñado y construido por el Centro de Investigación de Santa Bárbara de *Hughes Aircraft Company* en Goleta, CA. TM es considerado como un generador de imágenes de segunda generación para monitorear los recursos de la Tierra con resoluciones espectrales y espaciales considerablemente mejoradas sobre las del instrumento MSS. Los sensores TM han proporcionado una cobertura casi continua desde julio de 1982 hasta junio de 2013. ETM + corresponde al sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus*, el cual se introdujo con Landsat 7 y lo construyó Raytheon SBRS (Santa Barbara Remote Sensing), Goleta, CA. ETM + es un radiómetro de barrido de 8 bandas que consta de un espejo primario que barre de lado a lado (a través de la superficie) para producir escaneos de imagen hacia adelante y hacia atrás, y un conjunto de espejo del Corrector de línea de escaneo (SLC) que barre hacia adelante y hacia atrás para compensar el movimiento hacia adelante de la nave espacial durante el tiempo de integración.

Las principales diferencias funcionales entre la serie ETM + y la serie TM anterior son la adición de una banda páncreática de 15 m de resolución y dos rangos de "ganancia" de 8 bits. El ETM + agrega una banda térmica de resolución de 60 m, que reemplaza la banda de 120 m en ETM / TM (banda número 6). Por lo tanto, los datos ETM + cubren las bandas espectrales visibles, infrarrojas cercanas (NIR) de onda corta e infrarrojas térmicas (TIR) del espectro electromagnético.

En el trabajo titulado "A Comparative Study of Field-Wide Estimation of Soil Moisture Using Compressive Sensing" (Pourshamsaei y Nobakhti, 2018) se explora el monitoreo de la humedad del suelo a partir de mediciones aleatorias en el terreno, complementadas con el uso de algoritmos. Esta propuesta responde a que, en la práctica, la instalación de sensores en un

campo grande no es posible debido a las prohibiciones de costos y mantenimiento; los resultados muestran que, aunque la humedad del suelo varía en el área de estudio, los valores obtenidos se correlacionan. Para llenar los datos faltantes se emplea la herramienta *compressive sensing* (CS), la cual toma como base *l₀-norm optimization problems*, que es un polinomio no determinístico del tipo NP-Hard que requiere una búsqueda exhaustiva en todas las ubicaciones posibles de entradas distintas a cero en la señal dispersa (Pourshamsaei y Nobakhti, 2018).

El trabajo titulado "Development of a Wireless Sensor Network for Passive in situ Measurement of Soil CO₂ Gas Emissions in the Agriculture Landscape" (Debbagh, 2018) busca cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del suelo de los campos agrícolas para comprender el impacto ambiental de la producción intensiva de cultivos y ganado a partir de un análisis in situ, con el uso de sensores infrarrojos no dispersivos (NDIR) de bajo costo. Este sistema se desarrolla como alternativa al muestreo y análisis actual. La estructura de la red de sensores inalámbricos (WSN) del sistema permite el análisis espacial y temporal de grandes áreas de cultivo que era limitado con el método de muestreo manual (Debbagh, 2018).

El uso de sensores para la detección de enfermedades específicas en los cultivos lo ilustra el trabajo titulado "Development of a Multiband Sensor for Citrus Black Spot Disease Detection" (Porruza, 2016). La mancha negra de los cítricos (CBS) o *Guignardia citricarpa* es la enfermedad fúngica de los cítricos más destructora del mundo. La CBS causa pérdida de rendimiento como resultado de la caída temprana de la fruta y deja fruta severamente manchada y no comercializable. Mientras que las hojas generalmente permanecen sin síntomas, la CBS genera diversas formas de lesiones en los cítricos, incluyen manchas duras, grietas y puntuaciones. Las lesiones de CBS a menudo aparecen en la fruta madura y comienza dos meses antes de la maduración. La temperatura cálida

y la exposición a la luz solar aumentan el número de lesiones. Dos fuentes principales de inóculo son las hojas infectadas que se descomponen en el suelo del huerto de cítricos y las lesiones en las ramas, frutos y hojas infectadas. Las salpicaduras de viento y agua pueden propagar la enfermedad a árboles sanos.

Para controlar mejor la enfermedad de CBS, los árboles infectados se deben identificar y ubicar, preferiblemente en las primeras etapas de la infección, para un tratamiento eficiente específico del sitio. En dicha investigación se introdujo un método de detección basado en la visión asequible que fue capaz de detectar los cítricos con lesiones de CBS en condiciones de campo. En un estudio anterior se demostró que las lesiones de CBS se podían identificar con una precisión del 100 % en un laboratorio tan solo con la información de color en imágenes RGB normales.

Para el estudio mencionado se modificaron dos cámaras DSLR para capturar imágenes de los cítricos en dos bandas NIR, así como canales rojo, verde y azul. Se desarrolló un algoritmo de análisis de imagen para segmentar las posibles manchas en los cítricos y confirmar si son lesiones de CBS. Las características morfológicas se extrajeron de los puntos potenciales en todos los componentes de color de las imágenes. El algoritmo fue capaz de determinar si una fruta es CBS positiva o CBS negativa. Los resultados mostraron precisiones aceptables con imágenes obtenidas por el sistema de detección propuesto (Pourreza, 2016).

El trabajo titulado "Internet of underground things in precision agriculture: Architecture and technology aspects" (Vuran, 2018) expone que, entre las diversas técnicas de agricultura de precisión, el monitoreo del campo de cultivo es la técnica más ampliamente adoptada (61,4 %). Además, la adopción del sistema de orientación y dirección automática creció de 5,34 % en 2001 a 45,16 % en 2010. Este consta del uso de equipos e información de ubicación del cultivo que permiten un control preciso con sistemas de dirección

automática que reducen costos de producción, mantenimiento y trabajo de campo repetitivo para los agricultores.

A pesar del aumento drástico en las tasas de adopción de otras técnicas, la adopción de la tecnología de tasa variable (VRT) ha sido relativamente constante, la tasa de adopción aumentó de 8,04 % en 1998 a 11,54 % en 2005. La aplicación adaptativa de recursos como fertilizantes, pesticidas y agua promete ganancias significativas en la producción de cultivos, pero requiere información precisa y oportuna de campo. El estudio determina que solo después de la adopción reciente de la tecnología de monitoreo de humedad en el cultivo de la adopción de VRT se duplicó a 22,44 % en 2010.

Durante el mismo período, la adopción de monitoreo de la humedad aumentó de 36,21 % en 2005 a 51,68 % en 2010, con lo cual ratifica el éxito del VRT que depende de enfoques avanzados de monitoreo del suelo. A pesar de ser la tecnología de agricultura de precisión más reciente, la detección de humedad en los cultivos se ha convertido en una de las prácticas más adoptadas. Sin embargo, las técnicas aún están limitadas a la recolección manual de datos o cobertura de campo limitada.

Conclusiones

El desarrollo de la agricultura de precisión está determinado por dos variables claves: la velocidad de adopción de la tecnología en el mejoramiento de la productividad de los cultivos y el avance en general de las tecnologías.

La necesidad de información de los campos agrícolas en tiempo real ha dado lugar a la transformación de tecnologías con lo cual surgieron áreas como el internet de las cosas subterráneas (IOUT). IOUT consiste en dispositivos autónomos que recopilan cualquier información relevante sobre la Tierra y están interconectados con soluciones

de comunicación y redes que facilitan el envío de información fuera de los campos a los productores y mecanismos de decisión. De tal manera, proporcionan capacidades de monitoreo de humedad del suelo, salinidad y temperatura que, interconectados con sistemas de riego, recolectores y sembradoras, permiten una autonomía completa del campo y mayor eficiencia en la producción agrícola.

Dichos avances se deben adaptar a las condiciones de la agricultura de los países en vía de desarrollo en donde la producción es de tipo minifundio y el conocimiento técnico del agricultor es limitado, al igual que los recursos económicos. En este punto, el empleo de sistemas de *software* libre, plataformas de *hardware* libre como Arduino y muchas más son una opción para la adaptación de las tecnologías que permitan una adopción temprana y de rápido crecimiento en la agricultura tradicional.

Referencias

- Anderson, L. L. (1998). Variable rate fertilizer application for corn and soybean. *Journal of plant nutrition*, 21(7), 1355-1361. <https://doi.org/10.1080/01904169809365488>
- Betts, E. M. (1953). *Thomas Jefferson's Farm Book: With Commentary and Relevant Extracts from Other Writings*. American Philosophical Society by Princeton University Press
- Debbagh, M. A. (2018). *Development of a Wireless Sensor Network for Passive in situ Measurement of Soil CO₂ Gas Emissions in the Agriculture Landscape*. En Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture. June 24 – June 27, 2018. Montreal, Quebec, Canada. <https://www.ispag.org/proceedings/?action=download&item=5991>
- Hernández Díaz-Ambrona, C. G., y Cruz Macein, J. L. (eds.) (2019). *Hambre cero y alimentación sostenible: el papel de la investigación agraria para el desarrollo*. II Congreso "Investigación en agricultura para el desarrollo" Libro de Actas. Editorial Agrícola Española. http://oa.upm.es/54704/1/libro_actas_Hambre_Cero.pdf
- Krige, D. G. (1951). *A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand* [dissertación doctoral en Ingeniería, University of the Witwatersrand].
- Madugundu, R., Al-Gaadi, K. A., Patil, V. C. y Tola, E. (2014). Detection of Land Use and Land Cover Changes in Dirab Region of Saudi Arabia Using Remotely Sensed Imageries. *American Journal of Environmental Sciences*, 10(1), 8-18. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2014.8.18>
- Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic geology*, 58(8), 1246-1266. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.58.8.1246>
- Mestries, F. (2015). Los posibles impactos de la biotecnología en la agricultura mexicana. *Sociológica México*, 13(5). <http://www.sociologicamexico.azc.uam.mx/index.php/Sociologica/article/view/924/896>
- Ortiz Cruz, E. (2010). Modelos de desarrollo heterodoxos y ortodoxos. *Economíaunam*, 7(19), 69-79. <https://www.redalyc.org/pdf/3635/363533402003.pdf>
- Pedersen, S. M. (2017). *Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives*. Springer International Publishing.
- Pourreza, A. L. (2016). *Development of a multiband sensor for citrus black spot disease detection*. En Proceedings of the 13th International Conference on Precision Agriculture. July 31 - August 4, 2016. St.

- Louis, Missouri, USA. <https://www.ispag.org/proceedings/?action=download&item=1917>
- Pourshamsaei, H. N., y Nobakhti, A. (2018). *A Comparative Study of Field-Wide Estimation of Soil*. En Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture. <https://www.ispag.org/proceedings/?action=download&item=4938>
- Sunkel, O. (1980). La interacción entre los estilos de desarrollo y el medio ambiente en la América Latina. revista de la Cepal, (12), 12-53. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/12022/012017072_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Zhang, Q. (2015). *Precision agriculture technology for crop farming*. CRC Press.