

Aplicación de drones en la agricultura internacional y cubana. Revisión

Application of drones in international and Cuban agriculture. A review



<https://cu-id.com/2177/v33n1e07>

✉María Elena Ruiz Pérez^{I*}, ✉Roberto García Reyes^{II}, ✉Neili Machado García^I

^IUniversidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{II}Ministerio de la Agricultura, Departamento Provincial de Suelos y Fertilizantes, provincia Holguín, Cuba.

RESUMEN: La introducción de diferentes tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica, las imágenes obtenidas a partir de satélites, aviones, drones, los diversos tipos de sensores, así como los Sistemas y herramientas informáticas han provocado una revolución en la Agricultura. La utilización de estas tecnologías siempre ha tenido el interés de emplear de una forma eficaz y eficiente los recursos disponibles, así como humanizar el trabajo agrícola. En este artículo se hace una revisión de los beneficios obtenidos con el empleo de los drones a nivel internacional y también en Cuba. No obstante, se han citado también los trabajos que plantean la utilización de la Agricultura de Precisión en Cuba. Se observa que todavía son pocos los trabajos publicados que describan de forma detallada los resultados obtenidos que permitan su reproducibilidad y abundan los que describen los mismos de forma cualitativa. Se considera que en el caso particular de los drones, resulta muy costosa todavía la extensión de su utilización ya que de forma práctica sólo la Empresa GEOCUBA dispone de toda la infraestructura y el personal capacitado para su utilización más completa por lo que las diferentes empresas, instituciones y campesinos que deseen emplearlos deben realizar grandes desembolsos.

Palabras clave: Vehículos aéreos no tripulados, Agricultura de Precisión.

ABSTRACT: The introduction of different technologies such as Geographic Information Systems, images obtained from satellites, airplanes, drones, various types of sensors as well as computer systems and tools have caused a revolution in Agriculture. The use of these technologies has always had the interest of using available resources effectively and efficiently, as well as humanizing agricultural work. This article reviews the benefits obtained with the use of drones internationally and also in Cuba. However, works that propose the use of Precision Agriculture in Cuba have also been cited. It is observed that there are still few published works that describe in detail the results obtained that allow their reproducibility and there are many that describe them qualitatively. It is considered that in the particular case of drones, the extension of their use is still very expensive since in a practical way only the GEOCUBA Enterprise has all the infrastructure and trained staff for their most complete use, so different enterprise, institutions and farmers that wish to use them must make large disbursements.

Keywords: UAV, Precision Agriculture.

INTRODUCCIÓN

La agricultura resulta la mayor consumidora de agua a nivel global y se espera que la demanda de alimentos y agua se incrementarán dramáticamente en el futuro cercano (Rejeb *et al.*, 2022). Además, el creciente consumo de fertilizantes y pesticidas, junto con la intensificación de las actividades agrícolas, podría generar futuros desafíos ambientales. De manera similar, la tierra cultivable es limitada y el número de agricultores está disminuyendo en todo el mundo. Estos desafíos acentúan la necesidad de

soluciones agrícolas innovadoras y sostenibles (Tzounis *et al.*, 2017; Elijah *et al.*, 2018; Inoue, 2020; Friha *et al.*, 2021).

La incorporación de nuevas tecnologías se ha identificado como una opción prometedora para abordar estos desafíos. La llamada Agricultura inteligente Brewster *et al.* (2017); Tang *et al.* (2021) y la agricultura de precisión Feng *et al.* (2019); Khanna y Kaur (2019) han surgido como resultado de tales cuestiones. La primera introduce las Tecnologías de la comunicación e información (TIC) y otras

*Author for correspondence: María Elena Ruiz Pérez, e-mail: mrui@unah.edu.cu

Recibido: 05/06/2023

Aceptado: 09/12/2023

innovaciones de vanguardia en las actividades agrícolas para aumentar la eficiencia y la eficacia (Haque et al., 2021). Por su parte la agricultura de precisión se centra en la gestión específica del sitio dividiendo la tierra en partes homogéneas, y cada parte recibe la cantidad exacta de insumo que requiere para la optimización del rendimiento de los cultivos mediante tecnologías novedosas (Feng et al., 2019; Khanna y Kaur, 2019). Entre las tecnologías que han llamado la atención de los académicos en este campo están las redes de sensores inalámbricos (WSN por sus siglas en inglés) Zhou et al. (2016); Zheng y Yang (2018), la Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés) Gill et al. (2017); Liu et al. (2019); 2019; He et al. (2021), las técnicas de inteligencia artificial (IA), incluido el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo Liakos et al. (2018); Shadrin et al. (2019); Parsaeian et al. (2020), tecnologías informáticas Jinbo et al. (2019); Zamora-Izquierdo et al. (2019); Hsu et al. (2020), Big data Gill et al. (2017); Tantalaki et al. (2019) y cadenas de bloques (Khan et al., 2020; Pincheira et al., 2021).

Además de las tecnologías antes mencionadas, la teledetección ha sido considerada una herramienta tecnológica con alto potencial para mejorar la Agricultura inteligente y de precisión. Satélites, aviones tripulados por humanos y los drones son tecnologías populares de teledetección (Tsouros et al., 2019). Los drones, conocidos como vehículos aéreos no tripulados (UAV por sus siglas en inglés), los sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS por sus siglas en inglés) y las aeronaves pilotadas a distancia son de gran importancia ya que tienen múltiples ventajas en comparación con otras tecnologías de teledetección. Por ejemplo, los drones pueden entregar imágenes de alta calidad y alta resolución en días nublados (Manfreda et al., 2018). Además, su disponibilidad y velocidad de transferencia constituyen otros beneficios (Radoglou-Grammatikis et al., 2020). En comparación con los aviones, Los drones son muy rentables y fáciles de configurar y mantener (Tsouros et al., 2019).

En Cuba desde hace varios años, se han llevado a cabo vuelos de drones con diferentes objetivos, no obstante, todavía la información obtenida para la agricultura se ha difundido en la mayoría de los casos, más como impacto publicitario que a través de informes o publicaciones científicas que puedan ser replicados por otros investigadores.

El objetivo de este artículo es brindar información de forma resumida sobre los diferentes usos que han tenido los drones en la agricultura a nivel internacional, sus deficiencias y cuál ha sido hasta el momento, su utilización en Cuba, así como los retos a que se enfrenta la extensión de su uso.

LOS DRONES

Un dron es un dispositivo que puede volar en un rumbo preestablecido con la ayuda de un piloto automático y coordenadas GPS. El dispositivo también dispone de mandos de radio normales. Se puede pilotar manualmente en caso de avería o situación peligrosa. A veces el término dron se utiliza para referirse al sistema completo, Incluidas estaciones terrestres y sistemas de vídeo, sin embargo, el término se usa más comúnmente para modelos de aviones y helicópteros con alas fijas o giratorias (Ahrwar et al., 2019). En los drones pueden instalarse sensores de diferentes tipos como acelerómetros, giroscopios, GPS y barómetros para llevar a cabo mediciones georreferenciada. También es muy común que lleven cámaras para tomar fotografías aéreas y videos. Las cámaras pueden ser de diferentes tipos en dependencia del interés en el vuelo y pueden llegar a ser muy costosas.

Acharya et al. (2021) plantea que los drones se clasifican de acuerdo su peso, autonomía, altitud y el radio en que opera, para el uso civil se pueden encontrar principalmente los tipos mostrados en la [Tabla 1](#).

A pesar de las ventajas que se plantean, la utilización de drones también tiene deficiencias asociadas entre otros a los siguientes aspectos: la preparación del piloto que lo vuela, la calidad de las imágenes que se obtienen, los costos de implementación, su estabilidad, maniobrabilidad y fiabilidad, la potencia del motor que puede estar limitada para determinadas labores, el tipo de batería y su durabilidad, la limitación en el tiempo de vuelo, las limitantes para el procesamiento de datos, su capacidad de carga, la falta de regulaciones y la falta de experiencia (Laliberte et al., 2007; Nebiker et al., 2008; Hardin y Hardin, 2010; Hardin y Jensen, 2011; Laliberte y Rango, 2011; Zhang y Kovacs, 2012; Puri et al., 2017; Lagkas et al., 2018; Manfreda et al., 2018; Dawaliby et al., 2020; Velusamy et al., 2021; Bacco, et al., (2018).

TABLA 1. Clasificación de los drones de uso civil (adaptado de Acharya et al. (2021))

Categoría	Peso (kg)	Altitud (m) (snm ¹)	Radio (km)	Autonomía(h)
Micro	<2	hasta 70	<5	<1
Mini	2-20	Hasta 915	<25	1-2
Pequeño	20-150	Hasta 1524	<50	1-5

¹ Sobre el nivel del mar

UTILIZACIÓN DE DRONES EN LA AGRICULTURA

A pesar de que inicialmente se utilizaron principalmente con fines militares, los drones pueden emplearse en la agricultura, siendo los japoneses los primeros en su empleo exitoso en la década de los ochenta para la fumigación (Nonami, 2007). Su utilización se ha extendido ya que pueden ser vinculados con tecnologías novedosas, capacidades informáticas y sensores integrados para respaldar el manejo de cultivos (por ejemplo, mapeo, monitoreo, riego, diagnóstico de plantas, reducción de desastres, sistemas de alerta temprana, conservación de la vida silvestre y de los bosques, por nombrar algunos (Negash et al., 2019). De manera similar, los drones podrían aprovecharse en varias actividades agrícolas, incluido el seguimiento de cultivos y crecimiento, estimación del rendimiento, evaluación del estrés hídrico y malezas, plagas y detección de enfermedades (Inoue, 2020; Panday et al., 2020). No sólo pueden utilizarse con fines de seguimiento, estimación y

detección basados en sus datos sensoriales, sino también para el riego de precisión y el manejo de malezas, plagas y enfermedades. En otras palabras, los drones son capaces de aplicar agua y pesticidas en cantidades precisas según las condiciones ambientales.

Hunt Jr y Daughtry (2018) plantean que las tareas agrícolas con drones se pueden agrupar en tres líneas: (1) exploración de problemas, (2) monitoreo para prevenir pérdidas de rendimientos y (3) planeamiento de las operaciones de manejo. Cada una de estas líneas tiene requerimientos diferentes en cuanto a tipo de sensor a utilizar y su calibración lo cual define los costos de operación. Según el propio autor, la línea (3) resulta la más económica, sin embargo, en los Estados Unidos, la mayoría de los agricultores aún no obtienen beneficios del uso de los drones para el planeamiento de las operaciones de manejo. En la Tabla 2 se muestran los requerimientos para cada una de estas líneas.

De acuerdo a Rejeb et al. (2022) en la Tabla 3 se resumen algunos de los beneficios de los drones en la agricultura.

TABLA 2. Requerimientos de los drones para las tres líneas de uso para la agricultura (Hunt Jr y Daughtry., 2018)

Característica	Exploración	Monitoreo	Planeamiento
Sensores	Cámara(visible, Térmica)	Multiespectral	Multiespectral, Hyperespectral
Calibración del sensor	No es requerido	A vista	riguroso
Área cubierta	Locaciones específicas	Todo el campo	Todo el campo
Salida	Fotos	Sistema de información geográfica del campo	Sistema para la toma de decisiones
Precisión espacial	baja	media	alta
Se requiere ortomosaico	no	Depende del producto	si
Tiempo	inmediato	1 o 2 días	De 3 días a 3 meses
Costo	Bajo	medio	Alto
Beneficio económico	No considerable	Depende de la acción realizada	Mejores tasas económicas
Beneficio ambiental	No considerable	Depende de la acción realizada	Mayor reducción de agroquímicos
Aplicaciones	Chequear locaciones con problemas en el campo	Rendimiento potencial, ocurrencias de plagas, enfermedades y malezas	Aplicaciones de tasas variables

TABLA 3. Algunos de los beneficios del uso de los drones en la Agricultura Rejeb et al. (2022)

Beneficio	Referencias
Mejorar las resoluciones espacial y temporal	(Gago et al., 2015; Niu et al., 2020; Srivastava et al., 2020)
Facilitar la Agricultura de Precisión	(Maimaitijiang et al., 2017; Deng et al., 2018; Kalischuk et al., 2019)
Clasificación y exploración de cultivos	(López-Granados et al., 2016; Moharana y Dutta, 2016; Maimaitijiang et al., 2017; Kalischuk et al., 2019; Melville et al., 2019; Inoue, 2020).
Uso de fertilizantes	(Deng et al., 2018; Guan et al., 2019)
Monitoreo de sequia	(Su et al., 2018a; Fawcett et al., 2020; Panday et al., 2020)
Estimación de la biomasa	(Bendig et al., 2014)
Estimación de rendimientos	(Inoue, 2020; Panday et al., 2020; Tao et al., 2020)
Reducción de desastres	(Negash et al., 2019)
Conservación de la vida salvaje y los bosques	(Negash et al., 2019; Panday et al., 2020)
Evaluación de estrés hídrico	(Su et al., 2018a; Zhang et al., 2019; Inoue, 2020)
Detección de plagas, enfermedades y malezas	(Su et al., 2018b; Zhang et al., 2019; Gašparović et al., 2020; Inoue, 2020)

UTILIZACIÓN DE DRONES EN CUBA

Aunque a nivel internacional ya se distingue entre Agricultura inteligente y Agricultura de Precisión, la terminología más empleada en Cuba ha sido la de Agricultura de Precisión y diferentes trabajos, emplean herramientas que forman parte de ella, como los Sistemas de Información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés), los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés), los tractores con equipamiento informático y sensorial para su manejo, las imágenes de satélite de diferentes tipos y los drones. Sin embargo, no son numerosos los artículos científicos que han sido publicados, así como la participación en Conferencias científicas. En el caso particular del uso de los drones, los artículos han sido principalmente informativos con vistas a promover las ventajas de utilizarlos. Las notas de prensa en que se promocionan las herramientas de la agricultura de precisión son numerosas, pero lógicamente no se dan detalles técnicos de estas aplicaciones. Sin embargo, el auge creciente de los mismos tanto a nivel internacional como nacional, requiere revisiones frecuentes sobre sus aplicaciones. Aunque el objetivo principal de este trabajo es una revisión sobre el empleo de los drones, se ha incorporado también las publicaciones que emplean el término de Agricultura de Precisión con vistas a dar una idea más completa de la incorporación paulatina de nuevas tecnologías en la Agricultura Cubana.

[Hernández et al. \(2006\)](#) ha sido la primera publicación encontrada en que se aplican elementos de agricultura de precisión. La investigación fue realizada en la finca No 101; perteneciente a la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) «La Julia» de la Empresa de Cultivos Varios (ECV), «Batabanó», en el área de una máquina de riego de pivote central eléctrica sembrada de papa. El objetivo general de la investigación fue proponer recomendaciones para la aplicación diferenciada de fertilizantes por cuadrantes para el cultivo de la papa. En el área en estudio, fue necesario efectuar el estudio de la fertilidad y medio químico del suelo. La metodología aplicada permitió determinar las principales características químicas del suelo, demostrando las diferencias existentes de un cuadrante a otro. Se calcularon, además, las dosis diferenciadas de fertilización para el cultivo de la papa en la finca mencionada, que de implementarse garantizarían un ahorro de 16,21 t de NPK (9-13-17) y 1,16 t de UREA (46-0-0), significando una disminución del costo de producción para la ECV en \$ 4 988,53 (MN) y un ahorro para el Ministerio de la Agricultura de Cuba (MINAG) de \$ 3 278,51 (USD). No se conoce si los resultados fueron aplicados.

[Lago-González et al. \(2011\)](#) hacen un recuento sobre qué es la agricultura de precisión y cuáles son sus componentes principales. Los autores desarrollaron un Sistema para la Generación de los

Mapas de Rendimiento que según manifestaron fue uno de los primeros a nivel internacional. Además, explican cómo se puede emplear la aplicación propuesta. Curiosamente, la prueba del sistema se realizó en el año 2007 en Australia por la existencia allí de las máquinas en que se pudiera comprobar el Sistema para la generación de mapas de rendimiento creado. Se muestran los mapas obtenidos.

[Lora \(2015\)](#) aplica GPS y SIG para evaluar el consumo energético de la maquinaria agrícola en la Empresa Pecuaria “Niña Bonita” obteniendo que los gastos energéticos totales disminuyen en un 16%

[Almeida-Maldonado et al. \(2017\)](#) elaboran una web con vistas a manejar de forma eficiente el riego. Para su implementación se utilizó lenguaje Python, debido principalmente a que es muy flexible; su código es legible y bien organizado, con lo cual se facilitan las labores de mantenimiento y ulteriores desarrollos; además, permite el uso de librerías en C y C++, lo cual puede ser utilizado para ofrecer funcionalidades complejas para las cuales la creación de una librería desde cero podría ser muy costoso. Como marco de desarrollo se utilizó Web2Py, entre otros motivos, porque ofrece una estructura y sintaxis muy organizadas.

[Sosa-Escalona et al. \(2017\)](#) presentan AgroAlert, una herramienta de predicción de los efectos del cambio climático en la agricultura. El cual brinda alertas tempranas de sequía en terreno de cultivos específicos con tres a seis meses de anticipación. AgroAlert se encarga de la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelación de las condiciones agroclimáticas. Describe las zonas de cultivos más vulnerables en cuanto a las condiciones hídricas del suelo y nivel de salinización. De igual forma, brinda la posibilidad de variar los criterios bajo los cuales son identificadas dichas zonas y realizar el análisis y predicción de los riesgos

[Guillén et al. \(2020\)](#) hace un amplio recuento sobre el origen de los drones en la industria militar norteamericana. Posteriormente define Agricultura de Precisión y como los drones son una herramienta que permiten llevar a cabo muchas de sus aplicaciones. Brinda información sobre tipos de drones y cámaras, así como el tipo de imágenes que se obtienen, citando ejemplos de aplicaciones en el extranjero. Igualmente establece las ventajas y desventajas de su utilización. Entre estas últimas, el costo, las interferencias en el espacio aéreo, el clima y la necesidad de personal especializado para el análisis de las imágenes obtenidas. Por último destaca el rol del GARP (Grupo de Automatización, Robótica y Percepción de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la UCLV (Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas) que han llevado a cabo la construcción de drones así como el desarrollo de los software necesarios.

[Ríos-Hernández \(2021\)](#) realiza un recuento de algunas de las tecnologías empleadas en la Agricultura

de Precisión como las imágenes de satélite, las maquinarias de conducción autónoma, drones, la ubicación de sensores en parcelas, los mapas de suelos, los Sistemas de Información Geográfica y ofrece ejemplos cualitativos de los resultados obtenidos. Plantea que se han empleado drones y otras herramientas para identificar plagas en campos cañeros cubanos desde el año 2009 en la unidad empresarial de base (UEB) Jesús Rabí en Matanzas. Se informa que en estos trabajos han participado GEOCUBA (Grupo empresarial formado por la integración del Instituto Cubano de Hidrografía y del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía), INICA (Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar) y CENPALAB (Centro Nacional para la Producción de Animales de Laboratorio). No obstante, no se ofrecen referencias bibliográficas donde se hayan publicado los resultados cuantitativos.

[Matamoros et al. \(2022\)](#) presentan quizá el trabajo más completo donde el empleo de diferentes tipos de drones y también otros tipos de imágenes ha sido determinante para el desarrollo de una plataforma informática para el procesamiento de las imágenes, la cartografía especializada y los algoritmos de Inteligencia Artificial que son aplicados a las imágenes de satélites y drones. Las principales investigaciones se llevaron a cabo en el complejo arrocero Sur del Jíbaro ubicado en el municipio la Sierpe de la Provincia de Sancti Spiritus. A partir del conocimiento previo de los planes de siembra del cultivo, estos fueron incorporados a la cartografía para conocer espacialmente toda la distribución de campos, sus fechas de siembra y labores planificadas con vistas a planificar los vuelos de drones. Se emplearon tres tipos de drones (Phantom 4 Advanced, Delta Sky Walker X8 y Dron Agras MG-1P) con autonomías de vuelo de 30 minutos, 1h 30 minutos y 15 minutos respectivamente. Para el procesamiento de los datos se emplearon los softwares Agisoft Metashape, Pix4dMapper e IA Tierra, desarrollados por especialistas de la Unidad Científico Técnica GEOCUBA de Investigación y Consultoría. Los autores de la investigación plantean que el monitoreo sistemático de grandes extensiones de área sembrada de arroz mediante el uso de drones es complejo debido a la capacidad de vuelo y el procesamiento requerido. Esto llevó a la propuesta de utilización combinada de imágenes Sentinel de 10 metros de resolución y una mayor explotación de los índices de vegetación. Las imágenes de este satélite permiten la evaluación cada 5 días del estado del cultivo y la detección de anomalías por el estado de la humedad o la vegetación. De este modo los levantamientos con drones se realizan en determinados momentos del estado fenológico de los cultivos y para el estudio detallado de las áreas de anomalías. Un servicio de gran aceptación por los productores que se logró fue la fumigación mediante drones. Es de destacar que Geo

Cuba ya ha creado una infraestructura de drones, acceso a imágenes de satélite y especialistas en informática que hacen posible la aplicación de todas estas tecnologías. No obstante, su utilización por otras empresas y productores privados implicaría costos prohibitivos.

Por último, [Sosa-Franco et al. \(2023\)](#) discute las herramientas necesarias de lo que podría ser en el futuro una “granja inteligente” creando un sistema informático que permite manejar de forma automatizada través de un GIS, imágenes, datos de diferentes formatos la información que produce una granja agrícola, así como la posibilidad de realizar consultas al mismo por personal no especializado.

CONCLUSIONES

Se observa un crecimiento vertiginoso a nivel internacional del empleo de las tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica, las imágenes provenientes de satélites, aviones y últimamente de forma muy numerosa de los drones, así como la vinculación a herramientas informáticas y sensores de diferentes tipos. Lo anterior ha llevado a obtener beneficios tales como mejorar las resoluciones espacial y temporal de estudios agrícolas, facilitar la Agricultura de Precisión, clasificar y explorar cultivos, aplicar de fertilizantes y agua de forma eficiente, monitoreo de la sequía, estimación de la biomasa y los rendimientos, la detección de plagas, enfermedades y malezas, la reducción de desastres y la conservación de la vida salvaje y los bosques. En Cuba se observa que todavía son pocos los trabajos publicados que describan de forma detallada los resultados obtenidos que permitan su reproducibilidad y abundan los que describen los mismos de forma cualitativa. Se considera que, en el caso particular de los drones, resulta muy costosa todavía la extensión de su utilización ya que de forma práctica sólo la Empresa GEOCUBA dispone de toda la infraestructura y personal capacitado para su utilización más completa por lo que diferentes empresas e instituciones que deseen emplearlos deben realizar grandes desembolsos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHARYA, B.S.; BHANDARI, M.; BANDINI, F.; PIZARRO, A.C.E.; PERKS, M.; JOSHI, D.R.; WANG, S.; DOGWILER, T.; RAY, R.L.; KHAREL, G.: “Unmanned aerial vehicles in hydrology and water management: Applications, challenges, and perspectives”, *Water Resources Research*, 57(11), 2021, ISSN: 0043-1397.
- AHIRWAR, S.; SWARNKAR, R.; BHUKYA, S.; NAMWADE, G.: “Application of drone in agriculture”, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(01):

- 2500-2505, 2019, DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.264>.
- ALMEIDA-MALDONADO, E.; CAMEJO-BARREIRO, L.E.; SANTIESTEBAN-TOCA, C.E.: “La fertirrigación inteligente, pilar de una agricultura sostenible”, *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 11(3): 36-49, 2017, ISSN: 2227-1899.
- BACCO, M.; BERTON, A.; FERRO, E.; GENNARO, C.; GOTTA, A.; MATTEOLI, S.; PAONESSA, F.; RUGGER, M.; VIRONE, G.; ZANELLA, A.: “vSmart farming: Opportunities, challenges and technology enablers. 2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture -Tuscany”, *IOT Tuscany*, : 1-6, 2018, DOI: <https://doi.org/10.1109/IOTTUSCANY.2018.8373043>.
- BENDIG, J.; BOLTEN, A.; BENNERTZ, S.; BROSCHEIT, J.; EICHFUSS, S.; BARETH, G.: “Estimating biomass of barley using crop surface models (CSMs) derived from UAV-based RGB imaging”, *Remote sensing*, 6(11): 10395-10412, 2014, ISSN: 2072-4292.
- BREWSTER, C.; ROUSSAKI, I.; KALATZIS, N.; FUKAMI, K.; ELLIS, K.: “IoT in agriculture: Designing a Europe-wide large-scale pilot”, *IEEE communications magazine*, 55(9): 26-33, 2017, ISSN: 0163-6804.
- DAWALIBY, S.; ABERKANE, A.; BRADAI, A.: “Blockchain-based IoT platform for autonomous drone operations management”, En: *Proceedings of the 2nd ACM MobiCom Workshop on Drone Assisted Wireless Communications for 5G and beyond*, pp. 31-36, 2020, DOI: <https://doi.org/10.1145/3414045.3415939>.
- DENG, L.; MAO, Z.; LI, X.; HU, Z.; DUAN, F.; YAN, Y.: “UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras”, *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 146: 124-136, 2018, ISSN: 0924-2716.
- ELIJAH, O.; RAHMAN, T.A.; ORIKUMHI, I.; LEOW, C.Y.; HINDIA, M.N.: “An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges”, *IEEE Internet of things Journal*, 5(5): 3758-3773, 2018, ISSN: 2327-4662.
- FAWCETT, D.; PANIGADA, C.; TAGLIABUE, G.; BOSCHETTI, M.; CELESTI, M.; EVDOKIMOV, A.; BIRIUKOVA, K.; COLOMBO, R.; MIGLIETTA, F.; RASCHER, U.: “Multi-scale evaluation of drone-based multispectral surface reflectance and vegetation indices in operational conditions.”, *Rem. Sens.*, 12(3): 514, 2020.
- FENG, X.; YAN, F.; LIU, X.: “Study of wireless communication technologies on Internet of Things for precision agriculture”, *Wireless Personal Communications*, 108(3): 1785-1802, 2019, ISSN: 0929-6212.
- FRIHA, O.; FERRAG, M.A.; SHU, L.; MAGLARAS, L.; WANG, X.: “Internet of things for the future of smart agriculture: A comprehensive survey of emerging technologies”, *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 8(4): 718-752, 2021, ISSN: 2329-9266.
- GAGO, J.; DOUTHE, C.; COOPMAN, R.E.; GALLEGO, P.P.; RIBAS-CARBO, M.; FLEXAS, J.; ESCALONA, J.; MEDRANO, H.: “UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture”, *Agricultural water management*, 153: 9-19, 2015, ISSN: 0378-3774.
- GAŠPAROVIĆ, M.; ZRINJSKI, M.; BARKOVIĆ, D.; RADOČAJ, D.: “An automatic method for weed mapping in oat fields based on UAV imagery”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 173: 105-385, 2020, ISSN: 0168-1699.
- GILL, S.S.; CHANA, I.; BUYYA, R.: “IoT based agriculture as a cloud and big data service: the beginning of digital India”, *Journal of Organizational and End User Computing (JOEUC)*, 29(4): 1-23, 2017.
- GUAN, S.; FUKAMI, K.; MATSUNAKA, H.; AL-ZAHRANI, M.; TANAKA, R.; NAKANO, H.; SAKAI, T.; NAKANO, K.; CHOI, H.-L.; TAKAHASHI, K.: “Assessing correlation of high-resolution NDVI with fertilizer application level and yield of rice and wheat crops using small UAVs”, *Remote Sensing*, 11(2): 112, 2019, ISSN: 2072-4292.
- GUILLÉN, L.; YASELIS, P.P.; MOLINA, O.: “Drones, aplicaciones en la Agricultura de Precisión: una revisión”, *Rev. Agricultura Tropical*, 6(2): 1-11, 2020, ISSN: 2517-9292.
- HAQUE, A.; ISLAM, N.; SAMRAT, N.H.; DEY, S.; RAY, B.: “Smart farming through responsible leadership in bangladesh: possibilities, opportunities, and beyond”, *Sustainability*, 13(8): 4511, 2021.
- HARDIN, P.J.; HARDIN, T.J.: “Small-scale remotely piloted vehicles in environmental research”, *Geography Compass*, 4(9): 1297-1311, 2010, ISSN: 1749-8198, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2010.00381.x>.
- HARDIN, P.J.; JENSEN, R.R.: “Small-scale unmanned aerial vehicles in environmental remote sensing: Challenges and opportunities”, *GIScience & Remote Sensing*, 48(1): 99-111, 2011, ISSN: 1548-1603, DOI: <https://doi.org/10.2747/1548-1603.48.1.99>.
- HE, Y.; NIE, P.; ZHANG, Q.; LIU, F.: *Agricultural Internet of Things: technologies and applications*, Ed. Springer, (1st ed. 2021 edition). ed., 2021.

- HERNÁNDEZ, P.P.; HERNÁNDEZ, A.P.; VARGAS, R.H.; ZAMORA, H.Y.; DOPICO, V.Y.: "Determinación de normas de fertilización diferenciada para el cultivo de la papa empleando técnicas de agricultura de precisión.", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15(1), 2006, ISSN: 2071-0054.
- HSU, S.-T.C.; YANG, H.; CHUNG, Y.; HSU, C.: "A creative IoT agriculture platform for cloud fog computing, Sustain", *Comput. Inf. Syst.*, 28: 100-285, 2020.
- HUNT JR, R.; DAUGHTRY, C.S.: "What good are unmanned aircraft systems for agricultural remote sensing and precision agriculture?", *International journal of remote sensing*, 39(15-16): 5345-5376, 2018, ISSN: 0143-1161, 5345-5376, DOI: [10.1080/01431161.2017.1410300](https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1410300).
- INOUE, Y.: "Satellite-and drone-based remote sensing of crops and soils for smart farming-a review", *Soil Science and Plant Nutrition*, 66(6): 798-810, 2020, ISSN: 0038-0768, DOI: <https://doi.org/10.1080/00380768.2020.1738899>.
- JINBO, C.; XIANGLIANG, C.; BANDINI, F.; LAM, A.: "Agricultural product monitoring system supported by cloud computing", *Cluster Computing*, 22(4): 8929-8938, 2019, ISSN: 1386-7857.
- KALISCHUK, M.; PARET, M.L.; FREEMAN, J.H.; RAJ, D.; DA SILVA, S.; EUBANKS, S.; WIGGINS, D.; LOLLAR, M.; MAROIS, J.J.; MELLINGER, C.H.: "An improved crop scouting technique incorporating unmanned aerial vehicle-assisted multispectral crop imaging into conventional scouting practice for gummy stem blight in watermelon", *Plant disease*, 103(7): 1642-1650, 2019, ISSN: 0191-2917, 1642-1650.
- KHAN, P.W.; BYUN, Y.-C.; NAMJE P N: "IoT-blockchain enabled optimized provenance system for food industry 4.0 using advanced deep learning", *Sensors*, 20(10): 2990, 2020, ISSN: 1424-8220.
- KHANNA, A.F.; KAUR, S.: "Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture", *Computers and electronics in agriculture*, 157: 218-231, 2019, ISSN: 0168-1699.
- LAGKAS, T.; ARGYRIOU, V.; BIBI, S.; SARIGIANNIDIS, P.: "UAV IoT framework views and challenges: Towards protecting drones as "Things"", *Sensors*, 18(11): 4015, 2018, ISSN: 1424-8220, DOI: <https://doi.org/10.3390/s18114015>.
- LAGO-GONZÁLEZ, C.; SEPÚLVEDA-PEÑA, J.C.; BARROSO-ABREU, R.; FERNÁNDEZ-PEÑA, F.O.; MACIÁ-PÉREZ, F.; LORENZO, J.: "Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento. Aplicación en la agricultura de precisión", *Idesia (Arica)*, 29(1): 59-69, 2011, ISSN: 0718-3429.
- LALIBERTE, A.S.; RANGO, A.: "Image processing and classification procedures for analysis of sub-decimeter imagery acquired with an unmanned aircraft over arid rangelands", *GIScience & Remote Sensing*, 48(1): 4-23, 2011, ISSN: 1548-1603, DOI: <https://doi.org/10.2747/1548-1603.48.1.4>.
- LALIBERTE, A.S.; RANGO, A.; HERRICK, J.: "Unmanned aerial vehicles for rangeland mapping and monitoring: A comparison of two systems", En: *ASPRS Annual Conference Proceedings*, 2007.
- LIAKOS, K.G.; BUSATO, P.; MOSHOU, D.; PEARSON, S.; BOCHTIS, D.: "Machine learning in agriculture: A review", *Sensors*, 18(8): 2674, 2018, ISSN: 1424-8220.
- LIU, S.; GUO, L.; WEBB, H.; YA, X.; CHANG, X.: "Internet of Things monitoring system of modern eco-agriculture based on cloud computing", *Ieee Access*, 7: 37050-37058, 2019, ISSN: 2169-3536.
- LÓPEZ-GRANADOS, F.; TORRES-SÁNCHEZ, J.; SERRANO-PÉREZ, A.; DE CASTRO, A.I.; MESAS-CARRASCOSA, F.J.; PEÑA, J.M.: "Early season weed mapping in sunflower using UAV technology: variability of herbicide treatment maps against weed thresholds", *Precision agriculture*, 17: 183-199, 2016, ISSN: 1385-2256.
- LORA, C.D.: "Consumo energético de la maquinaria agrícola con el empleo de técnicas de agricultura de precisión", *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(2), 2015.
- MAIMAITIJIANG, M.; GHULAM, A.; SIDIKE, P.; HARTLING, S.; MAIMAITIYIMING, M.; PETERSON, K.; SHAVERS, E.; ARCIA, J.; PETERSON, J.; KADAM, S.: "Unmanned Aerial System (UAS)-based phenotyping of soybean using multi-sensor data fusion and extreme learning machine", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 134: 43-58, 2017, ISSN: 0924-2716, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.10.011>.
- MANFREDA, S.; MCCABE, M.F.; MILLER, P.E.; LUCAS, R.; PAJUELO-MADRIGAL, V.; MALLINIS, G.; BEN-DOR, E.; HELMAN, D.; ESTES, L.; CIRAOLO, G.: "On the use of unmanned aerial systems for environmental monitoring", *Remote sensing*, 10(4): 641, 2018, ISSN: 2072-4292.
- MATAMOROS, C.P.; GARCÍA, R.E.; SOTO, M.F.; MENÉNDEZ, H.P.; MARTÍNEZ, S.F.; CRUZ, I.R.; CAPOTE, F.J.L.; OJEDA, M.D.; MENESES, D.P.; RODRIGUEZ, Q.B.; VALDIVIA, P.O.: "Agricultura de Precisión aplicada a la producción de arroz en Cuba", En: *Informática 2022. XVIII Convención y Feria Internacional. XII Congreso Internacional Geomática, La Habana 21-25 de marzo 2022*, La Habana, Cuba, 2022.

- MELVILLE, B.; LUCIEER, A.; ARYAL, J.: "Classification of lowland native grassland communities using hyperspectral Unmanned Aircraft System (UAS) Imagery in the Tasmanian midlands", *Drones*, 3(1): 5, 2019, ISSN: 2504-446X.
- MOHARANA, S.; DUTTA, S.: "Spatial variability of chlorophyll and nitrogen content of rice from hyperspectral imagery", *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 122: 17-29, 2016, ISSN: 0924-2716.
- NEBIKER, S.; ANNEN, A.; SCHERRER, M.; OESCH, D.: "A light-weight multispectral sensor for micro UAV-Opportunities for very high resolution airborne remote sensing", *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 37(B1): 1193-1200, 2008.
- NEGASH, L.; KIM, H.-Y.; CHOI, H.-L.: "Emerging UAV applications in agriculture", En: *2019 7th International Conference on Robot Intelligence Technology and Applications (RiTA)*, Ed. IEEE, pp. 254-257, 2019, DOI: <https://doi.org/10.1109/RITA-PP.2019>, ISBN: 1-72813-118-9.
- NIU, H.; HOLLENBECK, D.; ZHAO, T.; WANG, D.; CHEN, Y.Q.: "Evapotranspiration estimation with small UAVs in precision agriculture", *Sensors*, 20(22): 6427, 2020, ISSN: 1424-8220, DOI: <https://doi.org/10.3390/s20226427>.
- NONAMI, K.: "Prospect and recent research & development for civil use autonomous unmanned aircraft as UAV and MAV", *Journal of system Design and Dynamics*, 1(2): 120-128, 2007, ISSN: 1881-3046.
- PANDAY, U.; PRATHAST, A.; ARYAL, J.: "A review on drone-based data solutions for cereal crops.", *Drones*, 4(3): 1-29, 2020, DOI: <https://doi.org/10.3390/drones403004>.
- PARSAEIAN, M.; SHAHABI, M.; HASSANPOUR, H.: "Estimating oil and protein content of sesame seeds using image processing and artificial neural network", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 97(7): 691-702, 2020, ISSN: 0003-021X.
- PINCHEIRA, M.; VECCHIO, M.; GIAFFREDA, R.; KANHERE, S.S.: "Cost-effective IoT devices as trustworthy data sources for a blockchain-based water management system in precision agriculture", *Computers and Electronics in Agriculture*, 180: 105889, 2021, ISSN: 0168-1699.
- PURI, V.; NAYYAR, A.; RAJA, L.: "Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture", *Journal of Statistics and Management Systems*, 20(4): 507-518, 2017, ISSN: 0972-0510.
- RADOGLU-GRAMMATIKIS, P.; SARIGIANNIDIS, P.; LAGKAS, T.; BOSCH, I.: "A compilation of UAV applications for precision agriculture", *Computer Networks*, 172: 107148, 2020, ISSN: 1389-1286, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107148>.
- REJEB, A.; ABDOLLAHI, A.; REJEB, K.; TREIBLMAIER, H.: "Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis", *Computers and electronics in agriculture*, 198: 107017, 2022, ISSN: 0168-1699.
- RÍOS-HERNÁNDEZ, R.: "La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual", *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(1): 67-74, 2021, ISSN: 2306-1545, e-ISSN-2227-8761.
- SHADRIN, D.; MENSCHIKOV, A.; SOMOV, A.; BORNEMANN, G.; HAUSLAGE, J.; FEDOROV, M.: "Enabling precision agriculture through embedded sensing with artificial intelligence", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69(7): 4103-4113, 2019, ISSN: 0018-9456.
- SOSA-ESCALONA, Y.; PEÑA CASADEVALLS, M.; SANTIESTEBAN-TOCA, C.E.: "Sistema para la alerta temprana de los efectos del cambio climático en la agricultura", *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 11(3): 64-76, 2017, ISSN: 2227-1899.
- SOSA-FRANCO, I.; PÉREZ-GUERRA, G.; MACHADO-GARCÍA, N.; PÉREZ-RUIZ, M.E.: "Método para el procesamiento de consultas en un Sistema de Información Geográfica", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 32(2, (April-June)), 2023, ISSN: 2071-0054.
- SRIVASTAVA, K.; PANDEY, P.C.; SHARMA, J.K.: "An approach for route optimization in applications of precision agriculture using UAVs", *Drones*, 4(3): 58, 2020, ISSN: 2504-446X.
- SU, J.; COOMBES, M.; LIU, C.; GUO, L.; CHEN, W.-H.: "Wheat drought assessment by remote sensing imagery using unmanned aerial vehicle", En: *2018 37th Chinese Control Conference (CCC)*, Ed. IEEE, pp. 10340-10344, 2018a, ISBN: 988-15639-5-X.
- SU, J.; LIU, C.; AMADO, M.E.; HU, X.; WANG, C.; XU, X.; LI, Q.; GUO, L.; CHEN, W.-H.: "Wheat yellow rust monitoring by learning from multispectral UAV aerial imagery", *Computers and electronics in agriculture*, 155: 157-166, 2018b, ISSN: 0168-1699, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.017>.
- TANG, Y.; DANANJAYAN, S.; HOU, C.; GUO, Q.; LUO, S.; HE, Y.: "A survey on the 5G network and its impact on agriculture: Challenges and opportunities", *Computers and Electronics in Agriculture*, 180: 105895, 2021, ISSN: 0168-1699.
- TANTALAKI, N.; SOURAVLAS, S.; ROUMELIOTIS, M.: "Data-driven decision

- making in precision agriculture: The rise of big data in agricultural systems”, *Journal of agricultural & food information*, 20(4): 344-380, 2019, ISSN: 1049-6505.
- TAO, H.; CHOI, H.-L.; XU, L.; MIAO, M.; YANG, G.; YANG, X.; FAN, L.: “Estimation of the yield and plant height of winter wheat using UAV-based hyperspectral images”, *Sensors*, 20(4): 1231, 2020, ISSN: 1424-8220.
- TSOUROS, D.; BIBI, S.; SARIGIANNIDIS, P.: “A review on UAV-based applications for precision agriculture”, *Information*, 10(11): 349, 2019, ISSN: 2078-2489, DOI: <https://doi.org/10.3390/info10110349>.
- TZOUNIS, A.F.; KATSOULAS, N.; BARTZANAS, T.; KITTAS, C.: “Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges”, *Biosystems engineering*, 164: 31-48, 2017, ISSN: 1537-5110, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007>.
- VELUSAMY, P.; BARTH, S.R.; MAHENDRAN, R.; NASEER, S.; AMADO, M.E.; CHOI, J.-G.: “Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in precision agriculture: Applications and challenges”, *Energies*, 15(1): 217, 2021, ISSN: 1996-1073, DOI: <https://doi.org/10.3390/en15010217>.
- ZAMORA-IZQUIERDO, M.A.; SANTA, J.; MARTÍNEZ, J.A.; MARTÍNEZ, V.; SKARMETA, A.F.: “Smart farming IoT platform based on edge and cloud computing”, *Biosystems engineering*, 177: 4-17, 2019, ISSN: 1537-5110.
- ZHANG, C.; KOVACS, J.M.: “The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review”, *Precision agriculture*, 13: 693-712, 2012, ISSN: 1385-2256, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>.
- ZHANG, L.; ZHANG, H.; NIU, Y.; HAN, W.: “Mapping maize water stress based on UAV multispectral remote sensing”, *Remote Sensing*, 11(6): 605, 2019, ISSN: 2072-4292.
- ZHENG, J.; YANG, W.: “Design of a Precision Agriculture Leakage Seeding System Based on Wireless Sensors.”, *International Journal of Online Engineering*, 14(5), 2018, ISSN: 1868-1646.
- ZHOU, Y.; XIE, Y.; SHAO, L.: “Simulation of the core technology of a greenhouse monitoring system based on a wireless sensor network”, *Int. J. Online Eng*, 12(05): 43, 2016.

María Elena Ruiz-Pérez. Dr.C., Profesora Titular, Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”. Carretera Tapaste y Autopista Nacional km 231/2, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32700, e-mail: mrui@unah.edu.cu

Roberto Alejandro García-Reyes. Ing., Inv., Ministerio de la Agricultura, Departamento Provincial de Suelos y Fertilizantes, provincia Holguín, Cuba, e-mail: ralejandro9409@gmail.com

Neili Machado-García. Dr.C., Profesora Titular, Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”. Carretera Tapaste y Autopista Nacional km 23 1/2, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32700, e-mail: neili@unah.edu.cu

Los autores de este trabajo declaran no tener conflicto de intereses.

CONTRIBUCIONES DE AUTOR: **Conceptualización:** María Elena Ruiz. **Curación de datos:** María Elena Ruiz, Roberto García, Neili Machado. **Análisis formal:** María Elena Ruiz, Roberto García, Neili Machado. **Investigación:** María Elena Ruiz, Roberto García, Neili Machado. **Metodología:** María Elena Ruiz. **Supervisión:** María Elena Ruiz, Roberto García, Neili Machado. **Validación:** María Elena Ruiz, Roberto García, Neili Machado. **Visualización:** María Elena Ruiz, Roberto García, Neili Machado. **Redacción–borrador original:** María Elena Ruiz, Roberto García, Neili Machado. **Redacción–revisión y edición:** María Elena Ruiz, Roberto García, Neili Machado.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a fines de identificación, no existe ningún compromiso promocional relacionado con los mismos, ni para los autores ni para el editor.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)