

Aplicaciones de los drones en la agricultura

Giovanni Francisco Acosta Henríquez¹

Carlos Mauricio Mendoza Torres²

Docentes investigadores, Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Universidad Católica de El Salvador, El Salvador

Fecha de recepción: 19-12-2016 / Fecha de aceptación: 05-01-2017

Resumen

A través de la historia, la agricultura ha desempeñado un papel fundamental en la economía de El Salvador, debido a su gran aporte al Producto Interno Bruto, las exportaciones de productos agrícolas como café, algodón y maíz, entre otros, han sido una fuente importante de ingresos y empleos, principalmente en el área rural. Pero el sector agropecuario salvadoreño ha tenido un pobre desempeño en las últimas décadas.

Entre los problemas actuales de la agricultura salvadoreña, según la Cámara Salvadoreña de Pequeños y Medianos Productores Agropecuarios se puede citar: la plaga de la mancha asfáltica, la roya, los fenómenos de “El Niño” y “La Niña”, y la plaga de broca. Todas ellas han afectado drásticamente la productividad agrícola del país en los últimos años.

En relación a esta problemática se analizó la implementación de drones dentro de la agricultura de precisión para desarrollar de una mejor manera esta labor, mediante la utilización de aplicaciones que permitan el monitoreo remoto y autónomo, la detección de estrés hídrico; tratamientos localizados de herbicidas, detección de estrés nutricional, conteo de plantas y la detección temprana de enfermedades y plagas. Esto es posible gracias a que los drones avanzados tienen la capacidad para utilizar cámaras o sensores multi-espectrales, térmicos y de tele-detección, que capturan imágenes de los cultivos para luego ser procesadas y analizadas, a través de un software especializado en agricultura de precisión, el cual es provisto - en la mayoría de los casos por el fabricante del drone.

Palabras clave: drone, vehículo aéreo no tripulado, agricultura de precisión, mejora de cultivos, detección de plagas

Abstract

Through history, agriculture has played a fundamental role in the economy of El Salvador because of its contribution to the Gross Domestic Product, export of agricultural products such as coffee, cotton and maize, among others. It has been an important source of incomes and employments, mainly in the rural area. Nevertheless, the Salvadoran agricultural sector has had a poor performance in the last decades.

According to the Salvadorian Chamber of Small and Medium Agricultural Producers, some of the current problems Salvadorian agriculture face are: *Phyllachora maydis* plague, rust, el Niño y la Niña phenomena, coffee borer beetle plague. All of them have drastically affected the agricultural productivity in the last years.

Regarding this issue, it was analyzed how the implementation of drones in agriculture contributes with precision a better development of this task through the utilization of applications that allow autonomous and remote monitoring as well as the detection of hydric stress; herbicides local treatments, detection of nutritional stress, plants counting and early detection of illnesses and plagues. This is possible because advanced drones have cameras or multispectral, thermic and tele-detection sensors that capture images of the plantations in order to process and analyze them later through a specialized software on precision farming which is provided, most of the times, by the drone manufacturer.

Key words: drone, unmanned aerial vehicle, precision farming, crop improvement, plague detection

1. Maestro en Dirección Estratégica de Ingeniería de Software; email: ghenriquez@catolica.edu.sv

2. Ingeniero Agrónomo en Desarrollo Rural; email: carlos.mendoza@catolica.edu.sv

1. Introducción

La Asociación de Proveedores Agrícolas de El Salvador (APA) expone que la agricultura salvadoreña requiere de una intervención urgente para garantizar la producción de alimentos de los próximos años, y para la conservación del medio ambiente. La agricultura, según especialistas en la materia, produce un efecto multiplicador en la economía, debido a que genera divisas para el país, empleos y alimentos; además, las acciones agrícolas son un pilar para la conservación del medio ambiente. Existe el desafío de producir más debido al incremento anual de habitantes, la falta de capacitación técnica de los agricultores y la falta de acceso a tecnologías que también reduce la producción de alimentos. La Cámara Agropecuaria y Agroindustrial (CAMAGRO) indica que El Salvador ha quedado rezagado en tecnología y legislación dentro de esta área. Estas carencias han hecho que se reduzca el impulso que la agricultura aporta al crecimiento de la economía.

Los drones son, en la actualidad, una oportunidad de desarrollo tecnológico con aplicaciones en diversas áreas del conocimiento. Según el estudio de AUVSI (2013), “El impacto económico de la integración del Sistema Aeroespacial No Tripulado (drone) en la economía de Estados Unidos”, revela que los mercados más prometedores para esta tecnología son los de Agricultura y Seguridad Pública. Bajo esta premisa, se realizó el presente proyecto de inves-

tigación que pretende estudiar las aplicaciones de los drones en la agricultura, identificando los beneficios que traería al sector; y para dar respuesta a la pregunta de investigación ¿Cuáles son las aplicaciones de la tecnología de drones que pueden implementarse para tareas tecnológicas aplicadas a la agricultura salvadoreña?

La investigación fue de tipo descriptiva-documental, donde el objeto de estudio lo constituyó el universo de aplicaciones relacionadas a drones en la agricultura, la recolección de datos se realizó por medio de fuentes primarias y secundarias de información relacionadas con el tema de estudio: textos y libros sobre drones, y aplicaciones de los drones en la agricultura, disponibles en formato físico e internet.

Para catalogar las aplicaciones de los drones para tareas agrícolas en El Salvador, se realizó una comparativa de drones especializados para agricultura de precisión, clasificar las aplicaciones según los sensores empleados para la teledetección de imágenes agrícolas y explorar algunas experiencias prácticas de aplicación de drones en la agricultura.

Para ello se investigó sobre los tipos de drones, características, software, requerimientos y aplicaciones de los drones en agricultura de precisión. Además, se identificaron y evaluaron las diferentes aplicaciones de los drones en la agricultura de precisión que pueden ser implementadas en la agricultura salvadoreña. Luego de la consulta documental, se elaboró una ficha técnica de cada uno de los drones que fueron catalogados en la investigación.

Asimismo, se documentaron algunas experiencias prácticas para demostrar que la aplicación de los drones en la agricultura es práctica y funcional.

2. Desarrollo

Catalogación de aplicaciones de los drones para tareas agrícolas en El Salvador

Dentro del ámbito civil, según Ruiz (2013), los drones se utilizan en diferentes sectores tales como: inspección de infraestructuras, investigación atmosférica, topografía, gestión de riesgos y desastres naturales; monitoreo de sistemas de energía eólica, filmación de películas y fotografía deportiva; control medio ambiental, medios de comunicación y entretenimiento, seguridad y defensa, caza y control de caza, investigación de la vida salvaje y en la agricultura de precisión.

Según el estudio sobre “El impacto económico de la integración del sistema aeroespacial no

tripulado en la economía de EEUU” (AUVSI, 2013), las aplicaciones con más potencial, además de la seguridad pública, es la agricultura de precisión. Entre las aplicaciones más generalizadas de los drones en la agricultura se encuentran: manejo eficiente del agua, tratamientos localizados de herbicidas, uso óptimo de fertilizantes, detección temprana de enfermedades y plagas en cultivos, supervisión de áreas fumigadas, indicadores de calidad en cultivos, generación de inventarios de cultivos, control de subvenciones agrarias, conteo de plantas y peritación de cultivos.

Para el caso de las tareas agrícolas en El Salvador, se recomiendan las siguientes aplicaciones prioritarias y de gran impacto para la producción de cultivos:

Aplicación	Usos	Beneficios
Monitoreo de cultivos	Consiste en el uso de cámaras de alta definición para tomar fotografías a los cultivos las cuales se sincronizan con GPS; y quedan todas las fotografías geoposicionadas para la formación de mapas y posterior análisis en un software.	Permite con cámaras de alta definición y con información georreferenciada recorrer con exactitud los cultivos. El monitoreo puede realizarse de forma manual o se puede prefiar la ruta de monitoreo a través de un software para realizarlo de manera autónoma.
Detección de estrés hídrico en cultivos	Consiste en la detección de estrés hídrico (falta de riego) en las plantas, ayudado de una cámara térmica. Permiten estimar las necesidades hídricas de cada planta.	Permite utilizar de manera eficiente el agua, realizando un riego focalizado por consiguiente ahorro energético.
Tratamientos localizados de herbicidas	Consiste en cartografiar con precisión las malas hierbas para realizar tratamientos localizados de herbicidas en las zonas infestadas, adaptando la dosis y el tipo de herbicida.	Permite realizar tratamientos localizados de herbicidas en fases tempranas, cuando el cultivo y las malas hierbas tienen una apariencia muy similar. Pero pueden ser discriminadas por esta tecnología, atendiendo a la composición y densidad de las malas hierbas.

Aplicación	Usos	Beneficios
Detección de estrés nutricional en cultivos	Consiste en la detección de estrés nutricional en las plantas, estimando el estado vegetativo para determinar la aplicación de fertilizantes.	Permite la aplicación eficiente de fertilizantes, utilizándolo sólo en las zonas en las que es necesaria su aplicación.
Detección temprana de enfermedades y plagas	Consiste en detectar los cambios que se producen en los cultivos, permitiendo la detección de enfermedades	Permite la detección temprana de cambios producidos en los cultivos, a través de imágenes multispectrales, que ayudan a la detección de enfermedades, especialmente por hongos.
Conteo de plantas	Consiste en realizar el recuento de la totalidad de plantas. La forma tradicional de hacerlo es contar manualmente un área del campo y luego extrapolar los datos obtenidos a la totalidad de la plantación.	Permite hacer el recuento de la totalidad de las plantas en un tiempo muy corto.

Figura 1. Catalogación de aplicaciones de los drones para tareas agrícolas en El Salvador.

Todas estas aplicaciones muestran los beneficios de los drones en la agricultura, dado que facilitan a los agricultores la información sobre el estado hídrico, nivel de desarrollo y sanidad de cultivos. Toda esta información obtenida en tiempo real para poder realizar los riegos, fertilizaciones y tratamientos sanitarios en zonas focalizadas donde se detecten dichas necesidades.

Comparativa de drones especializados para agricultura de precisión

Se seleccionaron diez de los drones especializados para agricultura de precisión disponibles en el mercado internacional. Sobre ellos se describen las siguientes características: empresa

fabricante, país de origen, nombre del dron, categoría a la que pertenece y el precio de mercado; además de las principales aplicaciones que podrían realizarse con él.

El 100% de los drones seleccionados, según sus especificaciones, permiten realizar el monitoreo de cultivos y maquinaria agrícola. Todos tienen la capacidad de realizar esta tarea de manera manual, utilizando un control remoto. Además, en su mayoría permiten realizarla de manera automática, definiendo previamente en un software de computadora la misión o ruta de navegación a seguir.

Tabla 1. Resumen de drones especializados para agricultura de precisión

Empresa	País	Drone	Categoría	Precio (USD)	Aplicaciones						
					1*	2*	3*	4*	5*	6*	Otras
AIBOTIX	Alemania	Aibox X6	Hexacoptero	\$19,000- \$22,000	√	√		√	√		
DRONETOOLS	España	DroneOcto8	Octocoptero	\$14,000 - \$26,000	√		√	√	√		
AGRIBOTIX	EEUU	Enduro	QuadCopter	\$15,000 - \$19,000	√	√		√	√	√	- Detección de problemas de suelo. - Reporte de temperatura y precipitaciones acumuladas de los últimos tres años.
DJI	China	Agras MG-1	Octocoptero	\$15,000 - \$17,000	√	√		√	√		
AGEAGLE	EEUU	AgEagle RX60	Ala fija	\$17,000 - \$21,000	√	√		√	√		
HONEYCOMB	EEUU	AgDrone	Ala fija	\$19,000 - \$22,000	√	√		√	√		- Monitorear las condiciones de la tierra. - Estimar frutas y verduras.
NOVADRONE	España	Nomad	Ala fija	\$17,000 - \$21,000	√	√		√	√	√	- Análisis de suelos.
PRECISION HAWK	EEUU	Lancaster5	Ala fija	\$18,000 - \$25,000	√	√		√	√	√	- Análisis de suelos.
SENSEFLY	Suiza	eBee Ag	Ala fija	\$12,000 - \$15,000	√	√		√	√		
SENTERA	EEUU	Indago	QuadCopter	\$27,000 - \$30,000	√	√	√	√	√	√	

Nota: 1. Monitoreo de cultivos; 2. Detección de estrés hídrico en cultivos; 3. Tratamientos localizados de herbicidas; 4. Detección de estrés nutricional en cultivos; 5. Detección temprana de enfermedades y plagas; y 6. Conteo de plantas

El 90% de los drones estudiados posee la capacidad de montar una cámara termográfica para capturar imágenes para luego, ayudado de un software, construir un mapa con la termografía del cultivo y así realizar un análisis de estrés hídrico que permita realizar un riego focalizado. Solo el 20% de los drones analizados tiene la capacidad para montar el equipo necesario para realizar tratamientos localizados de herbicidas en cultivos. Estos son drones con ma-

yor tamaño y capacidad para cargar peso, por lo que su precio también es más elevado. El 100% de los drones examinados poseen la capacidad para implementar cámaras o sensores multiespectrales y térmicos para capturar imágenes que permitan construir mapas y detectar el estrés nutricional, enfermedades y plagas en cultivos. Por otra parte, el 40% de los drones pueden capturar imágenes para construir mapas que permiten realizar el conteo de plantas;

pero solo el 40% de ellos realizan otras aplicaciones como: análisis de suelo y otros tipos de monitores específicos.

En la siguiente figura se presentan las características principales de los drones seleccionados y que son utilizados para la agricultura de precisión:

Drone	Características
<p>Aibox X6</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Geo-referencia totalmente integrada. - Variedad de sensores estándar para capturar imágenes, datos térmicos e IR (imágenes infrarrojas), información multi e hiper-espectral. - GPS: puede ser pilotado manualmente o realizar un vuelo automático programado. - Permite tomar fotos precisas de todas las secciones pertinentes durante un vuelo de inspección. - Vuelve al punto de inicio automáticamente al final de cada misión.
<p>DroneOcto8</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Autopiloto con navegación autónoma y vuelta a casa. - Pilotaje asistido y hasta 50 puntos de interés. - Caja negra abordo para almacenamiento de datos de vuelo. - Proporciona datos de telemetría como posición, altura de vuelo, velocidad, etc. - Fumigador para tratamientos fitosanitarios. - Accesorio de suelta de balizas con GPS para marcado de zonas de interés. - Montura de cámara para teledetección con cámaras multispectral y visual. - Accesorio de detección de agentes contaminantes. - Montura con cámara de visión nocturna con emisores infrarrojos.
<p>Enduro</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Control manual y automático con opción de regreso a casa. - Cámaras RGB e Infrarrojas. - Software para planeación de misiones. - Mapas georreferenciados de alta resolución RGB. - Mapas de salud del cultivo DVI que indica los problemas que tiene el cultivo. - Mapas de manejos de zonas. - Mapas en formatos KMZ y Tiff. - Plataforma para subir fotos al software que se encuentra en la nube. - El software es propiedad de Agrobotix y solo se permite utilizarlo.
<p>Agras MG-1</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Se puede realizar un vuelo manual o en modo inteligente según la misión. - Permite transportar hasta 10kg de carga útil líquida, incluyendo pesticidas y fertilizantes. - Permite cubrir de 4,000 a 6,000m² en diez minutos, diez veces más rápido que las operaciones manuales de pulverización. - Posee un sistema de pulverización inteligente para aplicar de manera uniforme la cantidad de pesticida o fertilizante con precisión.

Drone	Características
<p>AgEagle RX60</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Es fácil de operar, se lanza y vuela por sí mismo. - Los mapas aéreos se crean y georreferencian automáticamente. - Permite capturar mapas aéreos de la salud del cultivo. - Facilita la identificación de áreas de estrés antes de que puedan verse a simple vista. - Proporciona datos en tiempo real, fáciles de interpretar por los agricultores. - Ayuda a identificar las áreas donde se debe aplicar nutrientes o productos químicos.
<p>AgDrone</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Planificación de misiones autónomas con solo dibujar la ruta de vuelo. - Monitoreo y procesamiento automático de datos. - Cámara de alta definición y multi-espectral. - Incluye advertencia de batería baja y volver a casa.
<p>Nomad</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Permite la integración de cualquier sensor: RGB, multiespectral, infrarroja o térmica. - Permite seleccionar el área que se desea cartografiar y planificar misiones. - Captura de imágenes de áreas de cultivo. - Procesamiento de imágenes adquiridas a través de software propietario. - Uso de mapas de vegetación: NDVIs, DVIs, SAVI, otros. - Análisis de información obtenida y elaboración de informes.
<p>Lancaster5</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Mapeo de cultivos y herramientas de análisis. - Posee una biblioteca de herramientas de análisis profesionales. - Capacidad para sensores: visual, termal, multiespectral, lidar e hiperespectral. - Mapeo y procesamiento de imágenes. - Detección de firmas de calor. - Detección de temperatura de agua e identificación de fuentes de agua. - Cálculo del índice de vegetación.
<p>eBee Ag</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Posee cuatro opciones de cámaras para aplicaciones agrícolas. - Es completamente autónomo para cartografiar el área de cultivo. - Permite configurar la misión y realizar todo el trabajo de manera autónoma. - Arroja un mapa de índice que proporciona una perspectiva del cultivo.
<p>Indago</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Permite configurar la misión y realizar todo el trabajo de manera autónoma. - Posee sensores que ayudan a medir la salud general de los cultivos. - Ayuda a aplicar fertilizantes, pesticidas y herbicidas de manera precisa. - Facilidad para procesar los datos recolectados de los cultivos. - Puede volar con cámaras intercambiables e infrarrojos térmicos.

Figura 2. Comparativa de principales características de drones para agricultura de precisión.

Clasificación de sensores utilizados para la teledetección agrícola

El monitoreo de la vegetación a partir de imágenes de alta resolución permite implementar múltiples aplicaciones en función del sensor uti-

lizado. Por ello, ZNIR Sensing Solutions (2016) presenta una clasificación de sensores empleados en aplicaciones de agricultura de precisión (Ver figura 3).

Tipo	Descripción	Aplicaciones
Sensor RGB	Las imágenes de luz visible son ideales para una amplia gama de aplicaciones en agricultura.	<ul style="list-style-type: none"> - Medición de alturas de cultivo - Estimación de volumen de cultivo - Monitorización del crecimiento diferencial - Inventarios - Inspección de infraestructuras - Otros
Sensor Multiespectral	Las imágenes multiespectrales permiten monitorizar la vegetación en longitudes de onda no visibles al ojo humano.	<ul style="list-style-type: none"> - Zonificación de cultivos - Detección de estrés nutricional - Detección temprana de plagas y enfermedades - Otros
Sensor Térmico	Las imágenes del cultivo en el espectro térmico, con sensores de gran precisión y resolución, permiten obtener la temperatura de píxeles puros de vegetación y su correlación con diferentes aspectos de la planta.	<ul style="list-style-type: none"> - Monitorización de estrés hídrico - Análisis de eficacia y homogeneidad en sectores de riego - Detección de fugas en sistemas de riego - Detección temprana de plagas y enfermedades - Otros

Figura 3. Sensores utilizados para teledetección agrícola.

Experiencias prácticas de aplicación de drones en la agricultura

Utilizando drones especializados para agricultura de precisión, como los presentados y analizados dentro de este estudio, se puede realizar las siguientes aplicaciones agrícolas:

- a. **Uso de drones en arrozales:** un cultivo con estrés hídrico rápidamente pierde potencial de rendimiento, dado el incremento de la temperatura. Este aumento de temperatura se puede monitorear mediante imágenes termográficas procedentes de un dron.

Se retoman los datos del estudio realizado por Cressman (2016) de la empresa GMX Consultancy, quien realizó un servicio de aplicación agrícola con drones en Nigeria, con el objetivo de analizar y mapear 7,500 hectáreas para la

planificación y construcción de la infraestructura de riego de los campos de arroz. Según la empresa, era posible realizar dicho trabajo empleado un avión, pero resultaba mucho más costoso que utilizar un vehículo aéreo no tripulado (drone). Ante esto se decidió emplear un dron de ala fija de un fabricante estadounidense, el cual poseía entre sus características la función automática de planificación de la misión. La supervisión se realizó a una altitud de 150 metros sobre el nivel del suelo. El dron voló en un patrón específico, tomando imágenes automáticamente a su paso, ya que era capaz de volar durante cuatro horas al día, por lo que se pudo mapear 1,000 hectáreas por día.

Para lograr el objetivo del proyecto se necesitaba tener un mapa a una escala de 1:2000, que permitiera una mejor distribución de los arrozales y los sistemas de riego y drenaje, ya que el agua es un factor decisivo para la autosuficiencia de arroz en África. Esta iniciativa demostró que con el uso de drones se acelera la planificación, el diseño y la construcción de los sistemas de riego de los arrozales, brindando a los agricultores un método más rentable de planificación de ese tipo de infraestructura. Además, luego de la etapa de planificación, el dron ayudó a estimar de una manera más precisa la cantidad de fertilizantes y materiales de siembra que se necesitaría durante la temporada de crecimiento del arroz. Una vez sembrados los cultivos, el dron equipado con sensores especiales pudo monitorear su desarrollo.



Figura 4. Fotografía de la utilización de drones en arrozales.

Fuente: ICT (2016).

b. Uso de drones en viticultura: en España, el uso de nuevas herramientas de teledetección permite evaluar, a través de imágenes tomadas desde un dron, diferencias en el aspecto del viñedo para detectar variaciones en los cultivos. Anteriormente, dicha

práctica se realizaba con imágenes provenientes de satélites, pero debido al alto costo y la baja resolución de las imágenes se limitó su aplicación práctica.

El uso de drones presenta una revolución en el campo de la teledetección, flexibilizando y personalizando el momento y lugar para la toma de imágenes, y permitiendo obtener imágenes de mayor resolución con información más detallada de la plantación. Esto optimiza la toma de decisiones por parte del viticultor, ya que el dron está equipado con cámaras de distinta naturaleza: hiperespectrales, infrarrojas y termográficas para sobrevolar el viñedo y adquirir las imágenes.

Existen numerosas publicaciones sobre el uso de imágenes para evaluar las características del viñedo, entre estas:

A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture, presenta la utilidad de imágenes tomadas con una cámara multiespectral desde un dron, para evaluar el vigor del viñedo, obteniendo como resultados la zonificación parcelaria de una manera rápida y precisa. Captura 63 imágenes multiespectrales en diez minutos de vuelo autónomo. Asimismo, en *Development of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for hyper resolution vineyard mapping based on visible, multispectral, and thermal imagery*, utilizaron un dron con cámara infrarroja para evaluar la humedad del suelo del viñedo, permitiendo personalizar las estrategias de riego para mejorar la eficiencia del cultivo.

De manera similar, en *Mapping crop water stress index in a 'Pinot-noir' vineyard* utilizaron una cámara termográfica para evaluar la respuesta al estrés hídrico de un viñedo de la variedad pinot noir. Los resultados mostraron una alta correlación entre los datos manuales y los datos obtenidos a partir de la imagen termográfica captada por el dron. Es así como el uso de drones en viticultura de precisión muestra ser una herramienta efectiva para obtener información de manera rápida y oportuna, respondiendo de una mejor manera a situaciones de estrés hídrico en el viñedo.



Figura 5. Uso de drones en viticultura.

Fuente: SmartRural (2016).

- c. Uso de drones para conteo de cultivos:** el conteo de plantas es una actividad agrícola de mucha importancia para los agricultores, ya que permite realizar estimaciones referentes a la productividad y fallos en la plantación. Pero realizar dicha tarea de forma manual demanda de mucho tiempo y personal, de manera que los drones aportan rapidez y eficiencia a este proceso.

El estudio desarrollado por Reynolds (2016) de la empresa samoana de servicios tecnológicos

Skyeye, muestra el empleo de drones para solucionar la problemática que presentaba *Women in Business Development Inc.* (WIBDI), una organización no gubernamental de Samoa, la cual necesitaba una nueva forma de recoger y organizar los datos de sus plantaciones para realizar el conteo de ciertos cultivos, especialmente los cocoteros. La empresa explicó que el uso de drones era mucho más barato que el empleo de aeronaves tripuladas, ya que podían recoger imágenes con resolución más alta que los satélites de uso civil.

Para el trabajo cartográfico, *Skyeye* utilizó un dron de mapeo profesional de ala fija con capacidad para cubrir grandes áreas en un solo vuelo autónomo. Luego de capturar las imágenes, estas fueron cargadas a QGIS (programa informático GIS de código abierto), en el cual las características clave de la plantación fueron digitalizadas. En las imágenes de alta resolución del dron se mostraban claramente los cocoteros individuales, por lo que realizar un conteo visual del número total de palmeras fue posible. Además, *Skyeye* utilizó un servidor de geo posicionamiento, donde los usuarios pudieron acceder a capas individuales que contenían información sobre las palmeras de coco en las plantaciones.



Figura 6. Uso de drones para conteo de cocos.

Fuente: ICT (2016).

d. Uso de drones para la detección de malas hierbas: cuando están presentes en los cultivos, compiten con ellos por luz, espacio, agua y nutrientes, ocasionando grandes pérdidas económicas para el agricultor. A través de imágenes multiespectrales, adquiridas por dron, es posible diferenciar la presencia de malas hierbas entre las plantas de cultivo.

En el estudio liderado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CISC), publicado en la revista PLOS ONE, Peña (2013) muestra cómo se redujo el uso de herbicidas, aplicándolos de forma localizada, en lugar de hacerlo en todo el campo. Esto aumentó los beneficios económicos para agricultores y evitó la aplicación innecesaria de estos fitosanitarios.

El sistema fue desarrollado gracias a que los drones obtuvieron imágenes con resolución espacial, las cuales fueron combinadas con el uso de sensores remotos infrarrojos y con diferentes algoritmos de análisis de imagen. Esto les permitió diferenciar las malas hierbas de las plantas de cultivo, especialmente en fases tempranas de crecimiento cuando tienen una apariencia muy similar, y en dónde precisamente se deben aplicar los herbicidas.

Para validar los resultados, los investigadores tomaron imágenes multiespectrales en un campo de maíz, y así analizar las distintas zonas de la parcela. Esto implicó conocer el estado del cultivo y así la tomar las imágenes con cámaras térmicas e infrarrojas.

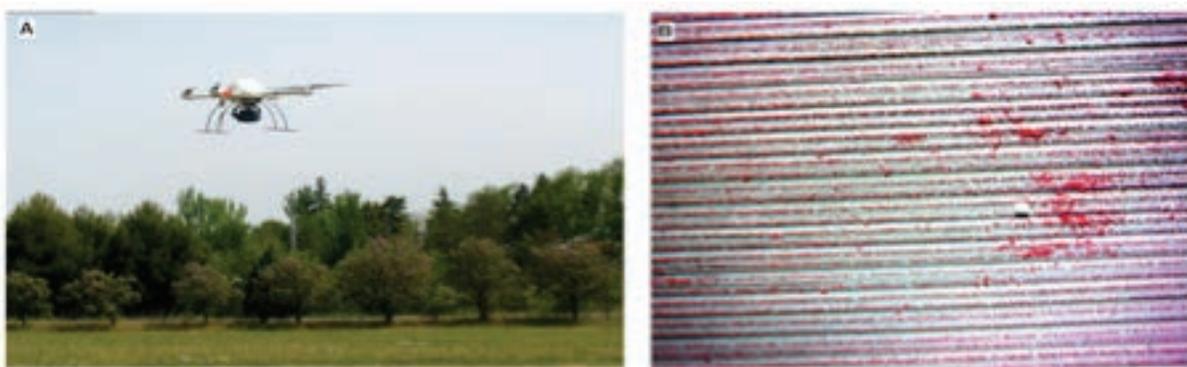


Figura 7. A. Dron sobrevolando el campo de cultivo. B. Imagen aérea (composición infrarrojo-color), obtenida por el dron a una altitud de 30m, mostrando hileras de maíz y alguna maleza.

Fuente: Peña, J. (2013)

e. Uso de drones para inspeccionar cultivos:

en Costa Rica, en el año 2014, la empresa “El Colono Agropecuario”, proveyó drones a productores de diferentes cultivos como: piña, yuca, arroz, caña, maíz y otros, con el propósito de aplicar agricultura sostenible con mayor rentabilidad en la producción y disminuir los impactos ambientales. La empresa Colono aplicó la tecnología de agricultura de precisión en el manejo y conservación de suelos, en sistemas de información geográfica y en la recolección de datos.

La implementación de sistemas de información geográfica ayuda a planificar, controlar y medir con gran exactitud las áreas de cultivo, ayudando a los productores a la toma de decisiones. La recolección de datos de muestreo permitió evaluar con mayor precisión las necesidades del cultivo, correlacionando los datos mediante métodos de interpolación para generar mapas de interpretación y análisis, y así generar recomendaciones localizadas. La empresa Colono, actualmente, tiene la visión de proveer tecnología de agricultura de precisión accesible a los productores agrícolas de Costa Rica.



Figura 8. Drones empleados para inspeccionar cultivos en Costa Rica.

Fuente: CANAPEP (2016).

3. Conclusiones

El sondeo de experiencias y compilación de información permitió catalogar las aplicaciones de los drones para tareas agrícolas que pueden ser utilizados en El Salvador; especificando sus características, usos y beneficios. Además, se realizó una comparación entre drones especializados para agricultura de precisión que se encuentran disponibles en el mercado internacional; se clasificaron los sensores utilizados para la teledetección agrícola y se retomaron algunas experiencias prácticas de aplicación de drones en la agricultura.

Los drones con capacidad de realizar misiones de manera autónoma - definiendo la ruta de vuelo con los respectivos puntos de captura en un software de computadora, que en su mayoría son provisto por el fabricante del dron - facilitan la implementación de aplicaciones agrícolas, ya que no requieren de un piloto especializado en el manejo de dron para su utilización. Perfectamente se pueden programar, previamente, las rutinas de vuelo, adquisición de imágenes y aterrizaje.

Es importante que al seleccionar un dron, se debe tomar en cuenta la capacidad que este tiene para cargar diferentes tipos de cámaras o sensores multiespectrales, térmicos y de teledetección, ya que de esto dependerá la diversidad de aplicaciones que se puedan implementar para agricultura de precisión. Cabe señalar que existen muchas experiencias alrededor del mundo en cuanto a implementación de drones

en agricultura de precisión, que demuestran los beneficios que aporta el uso de estos al sector. Entre los beneficios que se logran con ellos se encuentra la reducción de costos agroeconómicos, pero aún más importante, la posibilidad de obtener cultivos más saludables para el consumo humano.

El uso del dron en la adquisición de datos sobre cultivos reduce grandemente el tiempo empleado para dicha tarea, ya que esta tecnología tiene la capacidad de abarcar un gran número de hectáreas en pocos minutos, en comparación a la manera convencional, que puede tomar días o semanas para el agricultor. Sin embargo, esta última práctica no debe ser desestimada, pues para la implementación del dron se deben valorar aspectos como la mejor hora del día para hacerlo, considerando sombras, viento y

otros factores que puedan influir en el vuelo y distorsionar los datos. Debido a la fácil adquisición de datos que brinda un dron a las actividades agrícolas, su utilización puede hacerse de manera repetitiva durante el mismo día, con periodicidad frecuente y en diferentes horarios, para luego comparar los datos obtenidos y evidenciar el progreso del cultivo.

Otra ventaja en el uso de drones es la alta reducción de costos, frente a otras técnicas convencionales como el uso de avionetas, helicópteros o satélites. No obstante, para implementar aplicaciones de agricultura de precisión empleando drones, éste debe ser especializado o de gama alta. Si bien un dron de gama baja tiene un precio menor, no posee las características necesarias para utilizarse dentro de la agricultura de precisión.

4. Referencias

- Baichtal John. (2015). *Building your own drones: A Beginners' Guide to Drones, UAVs, and ROVs*. USA: QUE publishing.
- Base A. Terry (2006). *Precision Agriculture*. USA: Cengage Learning, Inc.
- Bellvert, J.; Zarco-Tejada, P.J.; Girona, J. y Fereres, E. (2014). *Mapping crop water stress index in a "Pinot noir" vineyard: comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmanned aerial vehicle*. New York: Springer.
- Costa Rica, Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña. (2016). *La tecnología como instrumento para productores de piña*. Piña de Costa Rica; p. 6. Recuperado de https://issuu.com/revistapinadecostarica/docs/revista_pin__a_de_costa_rica_edicio
- Domínguez Ruiz, F. (2013). *La importancia de los RPAS/UAS para la Unión Europea*. España: IEEE.
- El Salvador, Ministerio de Agricultura y Ganadería (2010). *Plan Estratégico Sectorial 2010-2014*.

Estados Unidos, Association for Unmanned Vehicle System International (2013). The economic impact for unmanned aircraft system integration in the United States. Recuperado de https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/AUVSI/958c920a-7f9b-4ad2-9807-f9a4e95d1ef1/UploadedImages/New_Economic%20Report%202013%20Full.pdf

Estados Unidos, Department of Defense (2012). Department of Defense report to Congress on future unmanned aircraft systems training, operations and sustainability.

Kilby T. y Kilby B. (2016). *Make: Getting Started with Drones*. USA: Elevated Element.

Lafay, M. (2015). *Drones for dummies*. USA: Wiley Brand.

Le, Q. (2016, abril). Mirando desde arriba los sistemas de riego de los arrozales de, Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation; p. 6-7. Recuperado de <http://ictupdate.cta.int/wp-content/uploads/sites/5/2017/02/ICT-82-SPA-LR-4.pdf>

Martínez Avelar, L. (24 de febrero de 2015). CAMARGO: se redujo aporte del sector al PIB. La Prensa Gráfica. Recuperado de <http://www.laprensagrafica.com/2015/02/24/camagro-se-redujo-aporte-del-sector-al-pib>

Martínez Avelar, L. (29 de octubre de 2015). APA: La agricultura urge de más atención. La Prensa Gráfica. Recuperado de <http://www.laprensagrafica.com/2015/10/29/apa-la-agricultura-urge-de-mas-atencion>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2010). *La FAO y la Agricultura Familiar: El caso de El Salvador*. El Salvador: FAO.

Peña, J. M.; Torres- Sánchez, J.; De Castro, A. I.; Kelly, M. y López-Granados, F. (2013, 11 de octubre). Weed Mapping in Early-Season Maize Fields Using Object-Based Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images. Public Library of Science. Recuperado de <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0077151>

Primicerio, J.; Di Gennaro, S.F.; Fiorillo, E.; Genesio, L.; Lugato, E.; Matese, A. y Vaccari, F.P. (2012). *A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture*. USA: Springer.

Ruiz D. F. (2013) La importancia de los RPAS/UAS para la unión europea. Instituto Español de Estudios Estratégicos. Recuperado de http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2013/DIEEO78-2013_RPAS_UE_FernandoRuizDominguez.pdf

- Sánchez Jiménez, G.; Mulero Valenzuela, M. y Saumeth Cadavid, E. (2013). Vehículos aéreos no tripulados en Latinoamérica. Recuperado de http://www.infodefensa.com/wp-content/uploads/Vehiculos_aereos_no_tripulados_en_Latam.pdf
- SmartRural. (2016). Recuperado de: <http://smartrural.net/uso-en-vinedo>
- Springer, P. J. (2013). Military robots and drones: a reference handbook. California: ABC-CLIO, LCC.
- Srinivasan A. (2006). Handbook of Precision Agriculture. New York: Food Products Press.
- Troup-Harrell, R. (2004). The drones. USA: WTF Publishing.
- Turner, D.; Lucieer, A. y Watson, C. (2011). Development of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for hyper resolution vineyard mapping based on visible, multispectral, and thermal imagery. Australia: University of Tasmania.
- Vergara Merino R.; Hernández Correas, A. (2015). Piloto de dron (RPAS). Madrid: Paraninfo.
- Whelan, B. y Taylor, J. (2013). Precision Agriculture for grain production systems. Australia: CSIRO.
- Zaman-Allah, M. et al (2015). Unmanned aerial platform-based multi-spectral imaging for field phenotyping of maize. Switzerland: Institute of Environmental Engineering.
- ZNIR Sensing Solutions (2016). Recuperado de: <http://zetanir.com>