



Tecnología aeroespacial, un avance vertiginoso global, sus aplicaciones y problemas en las Ciencias Agrícolas

Aerospace technology, a global dizzying advance, its applications and problems in Agricultural Sciences

Danilo Yáñez-Cajo^{1,2*}, Diana Veliz Zamora¹, Camilo Mestanza Uquillas¹, Germán Jácome López¹, Esperanza Sánchez Rodríguez³, María José Prados Velasco⁴

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Campus Universitario "La María" km 7 vía Quevedo-El Empalme

²Doctorado en Geografía, Universidad de Sevilla

³Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, Universidad de Sevilla, España

⁴Departamento de Geografía Humana, Universidad de Sevilla

*Correspondencia: dyanezc@uteq.edu.ec

Rec.: 08.02.2021 Acept.: 01.06.2021

Publicado el 30 de junio de 2021

Resumen

La tecnología aeroespacial en estos últimos diez años ha venido desarrollándose vertiginosamente, sus aplicaciones se encuentran en la mayoría de las líneas del conocimiento. Puntualmente en las ciencias agrícolas su uso ha aumentado debido a dos grandes factores. El primero es el apoyo para generar soluciones a muchos de los problemas de optimización y rendimiento de los cultivos, dentro de una era de crecimiento poblacional exponencial, que ha aumentado las necesidades de mejorar el rendimiento del alimento en base a tecnologías, en un mundo globalizado cuya reproducción social se basa a la acumulación de capitales. El segundo punto es el desarrollo de la ingeniería electrónica, mecánica y la física, que, en base a las necesidades sociales y agrícolas mencionadas, está innovando y desarrollando tecnología aeroespacial que brinde soluciones a estos problemas. En este contexto, sacamos a relucir los beneficios de la tecnología aeroespacial en las ciencias agrícolas, citando estudios de diversos autores que han aplicado esta tecnología, pero a la vez también trataremos las consecuencias negativas indirectas que puede ocasionar su uso en el proceso agrícola, en especial en el reemplazo del trabajo y mano de obra humana, además de la limitación de acceso de esta tecnología a los pequeños grupos agrícolas, y su futuro en el mundo globalizado.

Palabra Claves: Tecnología aeroespacial, agricultura, sociedad, ambiente.

Abstract

Aerospace technology in the last ten years has been developing rapidly, its applications are found in most lines of knowledge. Specifically, in agricultural sciences its use has increased due to two great factors. The first is the support to generate solutions to many of the problems of optimization and crop yield, within an era of exponential population growth, which has increased the need to improve food yield based on technologies, in a globalized world, whose social reproduction is based on the accumulation of capital. The second point is the development of electronic, mechanical and physical engineering, which, based on the mentioned social and agricultural needs, is innovated and developed aerospace technology that provides solutions to these problems. In this context, we bring out the benefits of aerospace technology in agricultural sciences, citing studies by various authors who have applied this technology, but at the same time we will also address the indirect negative consequences that its use in the agricultural process can cause, in space in the replacement of work and human labor, in addition to the limitation of access of this technology to small agricultural groups, and its future in the globalized world.

Keywords: Aerospace technology, agriculture, society, environment.

Introducción

El uso de datos de sensores remotos aplicados en las ciencias agrícolas se han utilizado desde el mismo momento que se ubicaron los primeros satélites de observación en el espacio, por ejemplo, para solucionar problemas del conocimiento de la dinámica del espacio agrícola, se aplicaron imágenes desde décadas de los 70 (Idso *et al.*, 1977; Ram y Kolarkar, 1993), pero en este transcurso del tiempo, y con el avance de las investigaciones agrícolas con el uso de sensores remotos, se han ido evidenciando carencias y problemas de esta tecnología, por ejemplo, el uso de satélites en agricultura presenta problemas al momento de analizar la producción y rendimiento a escalas de alta resolución (Doraiswamy *et al.*, 2003). Según Berni *et al.* 2009 providing low-cost approaches to meet the critical requirements of spatial, spectral, and temporal resolutions. This paper demonstrates the ability to generate quantitative remote sensing products by means of a helicopter-based UAV equipped with inexpensive thermal and narrowband multispectral imaging sensors. During summer of 2007, the platform was flown over agricultural fields, obtaining thermal imagery in the 7.5-13- μm region (40-cm resolution, existen dos grandes problemas del uso de los sensores satelitales para los investigadores, el primero es la falta de imágenes con resoluciones espaciales y espectrales óptimas, el segundo es el tiempo respuesta desfavorable para la mayoría de las aplicaciones de detección de estrés de cultivos, debido a esto, en el transcurso del tiempo hasta la actualidad, han venido desarrollándose nuevas tecnologías para cubrir y dar solución a estas evidentes necesidades.

En estos días, el uso de drones han facilitado el estudio de los cultivos y la producción (Alsalam *et al.*, 2017), además, ha mejorado la posibilidad de obtener información más óptima para solucionar el problema de escalas de alta resolución, y en tiempo real (Primicerio *et al.*, 2012), lo que puede ayudar en el problema de asociar las escalas espaciales con las especies de análisis, en temporalidades específicas. Debido a estas facilidades que están brindando los drones, se los está utilizando en diferentes áreas de la agricultura, por ejemplo para determinar la salud de los cultivos (Yang y Everitt, 2012), en topografía y catastro agrícola (Woodget *et al.*, 2017), en agricultura de precisión (Gebbers y Adamchuk, 2010), e incluso ha dado paso a nuevas prácticas agrícolas, como la aspersión y tecnología de pulverización de agroquímicos (Di Leo, 2015). Como es evidente entonces, la tecnología aeroespacial ha brindado grandes beneficios a la agricultura en el tiempo y espacio.

Otra disciplina clave en el desarrollo de la

tecnología aeroespacial, es la teledetección, esta proporciona elementos basados en la energía del espectro electromagnético y la física de la luz. En la agricultura, la teledetección ha ayudado a analizar parámetros que indican diversos estados de la vegetación en base a su reflectancia, como por ejemplo, los efectos negativos de las enfermedades, plagas, o el rendimiento en base a distintos estados del cultivo (Zhang y Kovacs, 2012)2012, esta disciplina ofrece valiosa información casi continua del espacio agrícola, ayudando a tomar decisiones para minimizar y colaborar al manejo (Maes y Steppe, 2019). Por lo tanto, es necesario continuar realizando estudios agrícolas con el uso de tecnología aeroespacial, esto se puede seguir evidenciando determinadas carencias de esta tecnología, y al mismo tiempo aportar para para corregirlas e innovarlas para beneficio de la agricultura.

En este trabajo realizamos una revisión sintética del uso de la tecnología aeroespacial y sus aplicaciones en las ciencias agrícolas, su avance, desarrollo y aplicaciones, pero a la vez, evidenciamos los problemas que se están suscitando en torno a esta tecnología actualmente, y su perspectiva para el futuro, en especial en el remplazo de la mano de obra y del difícil acceso a los pequeños grupos agrícolas.

Tecnología aeroespacial y aplicaciones en agricultura

Existe una demanda rápida de generar alimentos en el nivel global, un problema que ha aumentado exponencialmente en estas décadas, debido al crecimiento acelerado de la población que es directamente proporcional al crecimiento de la economía global (Godfray *et al.*, 2010), se pronostica que el problema de llegar a un equilibrio de la demanda nutricional mundial, durará de tres a cuatro décadas más (Tilman *et al.*, 2011), pero este problema no es un hecho aislado, sino que se relaciona directamente con la contaminación ambiental y el cambio climático. En este contexto, la ciencia está presente para dar su aporte a solucionar estos problemas, y para el problema agrícola, las ciencias de la ingeniería están aportando con su contingente, principalmente la ingeniería electrónica, mecánica, la física, conjuntamente con otras disciplinas, que se encuentran desarrollando e innovando tecnología aeroespacial para uso agrícola, se estima que para la siguiente década el 80 a 90% de la demanda de drones serán para el mercado agrícola (Stehr, 2015), por lo que se entiende que gracias a la agricultura y sus necesidades se están innovando los ingenios aeroespaciales (Puri *et al.*, 2017).

Las naves aéreas no tripuladas, conocidas también como drones o VANT (vehículos aéreos no tripulados),

son de los equipos más modernos que se utilizan en la actualidad como plataforma para obtener información del territorio (Abdullahi *et al.*, 2015), esta tecnología posee ventajas importantes, que las plataformas satelitales tienen como desventaja, entre ellas se encuentra el problema de la resolución espacial, que va relacionada con la escala. Para comprender que es la tecnología aeroespacial, es necesario comprender su estructura, las personas comúnmente piensan que el dron es el que obtiene la información, pero eso no es así, existen tres elementos claves que conforman esta tecnología, y estos son:

Plataforma para vuelo no tripulado

Conocidos comúnmente como drones o VANT (Vehículos Aéreos No Tripulados) (UAV en inglés), son las plataformas que despegan al espacio y vuelan sobre los objetos espaciales de interés, no registran ningún tipo de información, pero sus lógicas de operación, son fundamentales para cumplir las misiones de obtener información (Tripicchio *et al.*, 2015). La selección de los VANT es fundamental para un trabajo agrícola, ya que dependiendo el objetivo del trabajo que el técnico se encuentre desarrollando, se seleccionará el mismo, y de este depende en gran medida el éxito de la misión. Existen dos clases de estos equipos, se los clasifica por su estructura mecánica y electrónica, pero existe una tercera clase que es considerable mencionarlo.

1.- Equipos de ala rotatoria o multirrotor. Se caracterizan principalmente por el uso de rotor y hélices que elevan al equipo al aire, se distingue por el despegue vertical, lo cual permite al piloto flexibilidad en el momento de despegue y aterrizaje, el radiocontrol viene generalmente relacionado con sistemas de inteligencia artificial, para flexibilidad en el control y manejo (Li & Liu, 2019), esta tecnología permite también realizar vuelos estacionarios, fundamentales en agricultura para captar información de sitios agrícolas focales o de necesidad específica como la aspersión de agroquímicos. La capacidad de carga es un aspecto importante al trabajar con estos equipos, ya que de esto depende su robustez y la autonomía, por ejemplo, en agricultura de precisión, la aspersión y pulverización únicamente puede darse con estos equipos, ya que permiten regular la carga y velocidad de aspersión dependiendo las necesidades de la especie cultivada, los equipos multirrotor de aspersión son robustos por la elevada capacidad de carga que necesita para la almacenar de agroquímicos. Para otros trabajos de agricultura como fotogrametría o teledetección, se dispone de equipos menos robustos, ya que cargan únicamente cámaras para obtener información. Las desventajas de estos equipos sin duda

se relacionan con la autonomía, es uno de los puntos débiles de estos equipos, debido a su alta necesidad de energía para cumplir los trabajos antes mencionados (Shukla y Komerath, 2018), hasta la fecha la capacidad de las celdas de energía es un punto importante en la investigación de los desarrolladores, ya que se requiere innovar las baterías para aumentar la autonomía.

Algunos ejemplos de estudios en agricultura con estos equipos son: cálculos de índices de estrés hídrico de los cultivos, con parámetros que afectan las diferencias de temperatura en las especies (Berni *et al.*, 2009a), también se ha utilizado en estudios de enfermedades de cultivos, como en la enfermedad de Huanglongbing (HLB) en huertos de cítricos. El uso de tecnología aeroespacial permitió dar una alerta temprana en base a una detección y diagnóstico, minimizando el tiempo para tratar el proceso de la enfermedad (García-Ruiz *et al.*, 2013). El tipo de vuelo que se puede realizar con esta plataforma son: vuelo manual; vuelo asistido; vuelo programado y vuelo autónomo.

2.- Equipos de ala fija. Se caracterizan por sus alas similares a las de los aviones convencionales, su despegue y aterrizaje se basa en el efecto aerodinámico de la sustentación, algunos equipos disponen de catapultas específicas, pero dependiendo de la robustez del VANT lo puede impulsar una persona, el aterrizaje es similar, necesita de asistencia para lograrlo, puede ser por una persona o una pista de aterrizaje (Varga *et al.*, 2015). La ventaja principal de este equipo radica en la reducción de la resistencia, este efecto aerodinámico permite tener la ventaja sobre los equipos de rotor por su autonomía superior, pueden ahorrar hasta un 70% de su energía y en consecuencia mejorar su rendimiento en campo (Mirzaeina *et al.*, 2019), esta ventaja se convierte en su desventaja a la vez dentro de las ciencias agrícolas, ya que por sus características, no puede realizar vuelo estacionario, lo que impide obtener información específica de un sitio focal, pero es el equipo adecuado cuando el objetivo es trabajar en superficies extensas del territorio, propias de la agroindustria. Principalmente su uso se enfoca a obtener información terrestre para análisis de procesamiento de imágenes en agricultura de precisión y también en fotogrametría. El tipo de vuelo que se puede aplicar en este tipo de tecnología es: vuelo asistido y el vuelo programado.

Algunos estudios en las ciencias agrícolas con estos equipos, se han utilizado como plataforma para obtener información en estudios de interpretación de la reflectancia fotoquímica, para analizar el estrés hídrico en cultivos de vid (Zarco-Tejada *et al.*, 2013 a), o para analizar la variabilidad del estado y contenido del

agua de especies frutales en sistemas agroindustriales (Gonzalez-Dugo *et al.*, 2013)

3.- Equipos híbridos. En la actualidad existen diversas patentes sobre desarrollos de equipos híbridos, estos equipos se caracterizan por tener ambas tecnologías de aerodinámica, que son los rotores y ala fija en uno. Son de utilidad en ciertos escenarios agrícolas, ya que pueden cumplir algunas funciones dependiendo de la necesidad del estudio, por ejemplo, puede realizar despegue vertical y tener un alta autonomía (Gunarathna y Munasinghe, 2018), aun así, no pueden cumplir algunas tareas específicas de la agricultura, como por ejemplo: el vuelo estacionario con alta capacidad de carga para aspersión, y ciertos de estos equipos no tienen la suficiente autonomía como tiene un equipo de ala fija, ya que el chasis es diferente para poder cumplir con la estructura de los rotores, rompiendo así la ventaja de la sustentación. En este contexto se puede decir que dispone un poco de lo positivo y negativo de ambas tecnologías, por lo que en ocasiones no son recomendables, pero queda aún mucho que investigar sobre estos equipos.

Sensores

Existen dos clases de sensores, que dependen de la energía empleada para captar información, lo que les permite ser catalogados: los sensores activos son los que emiten su propia energía para captar información de los cuerpos, ejemplos de estos tenemos Lidar y Radar, y los sensores pasivos son los que utilizan luz natural, aquí están todos los sensores considerados como ópticos. En este trabajo enfocado a la agricultura, trataremos únicamente de la tecnología óptica, ya que de los sensores activos existe un vasto volumen de información para otro tratado.

Los sensores son los responsables de captar la información de los objetos espaciales que estructuran el suelo, los sensores ópticos utilizan la física de la luz para obtener la información de la reflectancia de los cuerpos (Sobrino, 2001). Debido a la limitación de observación del ojo humano, que se resume únicamente al espectro visible del espectro electromagnético, es imposible observar otros fenómenos que ocurren en la naturaleza, como la variación de la temperatura de los cuerpos, o el estrés de la hoja de las plantas enfermas, es por eso que la ingeniería ha desarrollado sensores que permiten observar otras regiones del espectro electromagnético que el ojo humano no puede hacerlo. Existen dos regiones del espectro electromagnético que son utilizadas en teledetección, el espectro visible (RGB) y el infrarrojo (IR), el infrarrojo a su vez se divide en tres regiones: Infrarrojo cercano (NIR), Infrarrojo de onda corta (SWIR) e Infrarrojo lejano

conocida como térmico (TIR). Nos enfocaremos a dar a conocer trabajos agrícolas, en los cuales se han utilizado sensores que adquieren información de estas diferentes regiones del espectro electromagnético.

Espectro Visible (RGB).- su rango en el espectro electromagnético va de los 0.4 a 0.7 μm . Es conocido por presentar el color natural de los objetos, y de ahí su limitación, ya que el color natural se obtiene de una respuesta lineal, y esto es un problema para derivar curvas de sensibilidad espectral (García *et al.*, 2013), con tecnología del espectro visible se han realizado trabajos para mapear brotes de malezas invasoras y para revelar anomalías de riego y fertilización en cultivos de café en Hawái (Herwitz *et al.*, 2004), también se han aplicado para apoyar el desarrollo de algoritmos para mejorar el análisis y caracterización del contenido de nitrógeno en el cultivo de trigo (Parraga *et al.*, 2019), o se han realizado comparaciones para determinar ventajas y desventajas del uso de productos tanto del RGB como del NIR en cultivos (McKinnon, 2017). La mayoría de VANTs vienen incorporados sensores RGB, debido a su costo bajo en comparación con un sensor multispectral, es por esta razón que se han desarrollado índices de vegetación (IV) para analizar la cobertura vegetal sin necesidad de utilizar el NIR, esto ha permitido generar cartografía para análisis similar a los índices de vegetación y minimizar el costo de adquisición de datos, ejemplo de esto se tiene el índice de verdor triangular (TGI) y el índice de resistencia atmosférica visible (VARI) (Gitelson *et al.*, 2002; García-Martínez *et al.*, 2020), pero a pesar de su utilidad se han considerado poco fiables actualmente, es por ello que se siguen innovando los modelos para mejorar las simulaciones de los índices que puede brindar el RGB, por ejemplo en el estudio de Costa *et al.*, 2020 con el índice de diferencia normalizada de vegetación (NDVI), se aplicó un algoritmo genético para determinar el nuevo índice de vegetación visible (vNDVI), el cual ha sido validado y presenta muy buenos resultados para analizar la salud de la vegetación.

Se han realizado trabajos en los cuales mediante correcciones electrónicas a las cámaras comerciales RGB modificadas, se pueden aplicar en estudios de agricultura, como para elaborar un índice de vegetación (NDVI), pero siempre y cuando se aplique un procesamiento posterior de las imágenes (Lebourgeois *et al.*, 2008).

NIR (Near Infrared).- su rango en el espectro electromagnético va de los 0.7 a 1.3 μm . Uno de los más utilizados en agricultura, debido al elevado uso del famoso índice de vegetación de diferencia normalizada

(NDVI), esto se debe a que el NIR tiene la capacidad de reflejar la estructura interna de la clorofila (Han y Rundquist, 1997), es por esto que, si la planta se marchita la capacidad de reflectancia disminuye de acuerdo a la clorofila de la planta. Aprovechando esta capacidad del NIR, es que se han relacionado muchos estudios de este espectro con la salud de la vegetación, se han realizado estudios sobre evaluaciones rápidas de la producción de trigo, que permiten tomar decisiones para la selección de cosecha, sometidas a riego parcial y constante (Hassan *et al.*, 2019), o estudios de análisis del rendimiento en base a las aplicaciones de fertilizantes en cereales, que permiten dar un seguimiento de la aplicación del fertilizante en base al estado de salud de la vegetación, estos son importantes para conocer la eficacia de los fertilizantes en el cultivo en base a la reflectancia del NIR (Guan *et al.*, 2019), o programas para toma de decisiones eficientes en reproducción de plantas, co-validaciones de plataformas de fenotipado de alto rendimiento monitoreando el NDVI en diferentes temporadas de crecimiento en cultivos de trigo (Duan *et al.*, 2017), inclusive se están relacionando aspectos meteorológicos que influyen en el crecimiento de la planta y son analizados mediante la reflectancia (Na *et al.*, 2016). Existen muchos trabajos con el uso de este espectro.

Pero cabe recalcar que también se utiliza mucho en estudios de conservación de la cobertura vegetal, como para estimar cobertura natural y realizar un monitoreo constante del cambio de uso del suelo por la intervención humana (Ghazal *et al.*, 2015), un aspecto importante para la conservación.

SWIR (Short Wave Infrared).- su rango en el espectro electromagnético va de los 1.4 a 8 μm . Rara vez son utilizados en teledetección combinado con VANTs, debido al elevado costo y los pocos resultados exitosos en análisis de vegetación, (Jenal *et al.*, 2019), pero actualmente se está trabajando en esta tecnología para corregir esos problemas mencionados mediante uso de espectroscopía, química u otras disciplinas (Ettenberg *et al.*, 2003). El uso del SWIR puede arrojar resultados importantes para estudios agrícolas, por ejemplo: análisis de estrés hídrico correlacionados con el tamaño de los estomas foliares en vid (Kandyllakis *et al.*, 2020), también se lo aplica en la corrección de algoritmos para analizar los periodos de defoliación en Pino, conjuntamente con el análisis del índice normalizado de diferencia de humedad (NDMI) (Otsu *et al.*, 2018). El SWIR se puede aplicar en estudios agrícolas con fines de conservación, como el análisis de las texturas del dosel para verificar el impacto del avance de la frontera agrícola, esto se lo hace con el uso del NDMI (Gao, 1996), que es sensible al contenido de

agua de las copas de los árboles, esto permite diferenciar cobertura natural de cobertura agrícola (Bourgoin *et al.*, 2020), y por último en estudios de seguridad alimentaria, causada por inundaciones o sequía, determinando la extensiones de agua de y el volumen de almacenamiento, dando un seguimiento espacio temporal de la humedad (Mizuochi *et al.*, 2016).

TIR (Termal Infrared).- su rango en el espectro electromagnético va de los 8 a 14 μm . Este espectro permite observar, recopilar, analizar y modelar los flujos de energía y las variaciones de temperatura de los objetos espaciales (Sheng *et al.*, 2010), el TIR es un espectro muy utilizado en agricultura de precisión, ya que ha permitido realizar estudios agrícolas para obtener productos como del índice de área foliar, contenidos de clorofilas y la detección de estrés hídrico a partir de índices generados con bandas del espectro térmico (Berni *et al.*, 2009b), o el trabajo de Faye *et al.*, 2016 en el cual con el uso de un sensor térmico, analizan los paisajes térmicos en el cultivo de papa, para correlacionar la temperatura del paisaje con las plagas de este cultivo, permitiendo determinar los sitios focales de proliferación de plaga en base a la temperatura; además se puede conocer el crecimiento de los cultivos en base de la información sobre la temperatura, permite comprender la relación que existe entre la temperatura del suelo con la del cultivo, esto ayuda a la toma de decisiones en torno a manejo de plagas o la producción (Zhang *et al.*, 2018).

Tecnología hiperespectral

Hasta este punto hemos analizado la gran utilidad y ventajas de la tecnología del espectro visible y del infrarrojo cercano, medio y lejano, pero en la agricultura de precisión existe una tecnología de más vanguardia, muy limitada en países de la región latinoamericana por su alto costo, utiliza las mismas lógicas de las ventanas atmosféricas del espectro electromagnético, pero con un alto nivel en ventajas en la teledetección, esta es la tecnología hiperespectral. Se basa en el alto número de bandas que disponen sus imágenes, lo que conocemos como resolución espectral. Los sensores multiespectrales carecen del rango espectral y la precisión para perfilar algunos materiales u organismos que solo los sensores hiperespectrales pueden proporcionar (Adão *et al.*, 2017). El análisis con tecnología hiperespectral es muy diferente a los que se realiza con sensores multiespectrales o visibles, su análisis matemático es más complejo. Estudios como el de Zarco-Tejada *et al.*, 2013 b, desarrollaron métodos para la estimación del contenido de carotenoides en las hojas de cultivos de vid, utilizando imágenes hiperespectrales de alta resolución, obteniendo como

resultado algunos modelos de simulación que le permite tomar decisiones adecuadas a los productores de vid.

Gimbal (estabilizador)

Las plataformas de vuelo no tripulado y los drones son articulados a través del gimbal o estabilizador, la función del gimbal es estabilizar el sensor que obtiene la información en el vuelo (Gašparović y Jurjević, 2017), la estabilización se la realiza con el uso de sensores acelerómetros y compás magnético, esto permite la estabilización del sensor ante las situaciones del medio en el que se encuentre levantando información el VANT, esto evita el efecto gelatina y las persianas enrollables que pierden calidad en la imagen, en definitiva, el gimbal permite obtener imágenes limpias con el menor ruido posible, para pasar al procesamiento de imágenes.

Sistemas de control y telecomunicaciones

Los sistemas de telecomunicaciones son fundamentales en las misiones de los VANT, en algunas ocasiones ni siquiera son considerados como un elemento del trabajo, pero son claves al momento de levantar información espacial, son fundamentales para el control de los equipos, yendo desde la plataforma no tripulada, el gimbal y el sensor, en las ciencias agrícolas, es común el uso de un único VANT con un control centralizado en las misiones de campo, es decir, un control y un VANT, pero se ha desarrollado sistemas múltiples con múltiples VANT, es decir un control con varios VANT, demostrado que si se utilizan estos sistemas, producen un aumento en el rendimiento del trabajo tanto de campo como del piloto, es el caso de los sistema multi-VANT para agricultura, que utilizan algoritmos de control de enjambre distribuido (Ju y Son, 2018), además estos sistemas pueden mejorar el aumento de la autonomía del VANT, y esto se puede lograr con el desarrollo de algoritmos que permitan el aumento de este rendimiento con el uso de algoritmos de planificación de trayectorias (Tožička y Komenda, 2016). Actualmente la empresa DJI tiene en su mercado el uso de sistemas múltiples para la agricultura, en su serie de equipos “Agras”, el cual permite misiones con sistemas múltiples, debido a que al ser un VANT de pulverización, necesita cubrir la mayor superficie posible, es por ello que el rendimiento aumenta con el sistema múltiple que puede controlar hasta cinco equipos en un solo radiocontrol, eso puede servir también como una herramienta importante para la fertilización diferenciada (Smirnov *et al.*, 2019).

Problemas de la tecnología para la agricultura

La sociedad se desenvuelve en la era de la globalización, donde la hegemonía de la ciencia radica en la escuela del positivismo, basada en el dominio de las ciencias matemáticas, en el análisis cartesiano y en el empirismo como Dios de la ciencia, derivando el desarrollo de una agricultura altamente dependiente del pensamiento academicista, convirtiendo la tecnología en eje transversal importante para avalar los estudios agrarios.

Pero toda expansión hegemónica tiene su resistencia, es por eso que desde la ciencia crítica, se observa, que tanto el pensamiento campesino e indígena y colectivo resultantes de prácticas ancestrales y científicas a la vez, difieren de las lógicas agroindustriales, dichas experiencias colectivas generan losos sociales en un sentido de comunidad (Obach y Tobin, 2014). Un claro ejemplo de estas prácticas es la agroecología, la cual constituye un manejo inteligente de los sistemas agrícolas, para demostrar esta premisa, se va a presentar varios elementos estructurales de los sistemas agroecológicos, que demuestran su buen estado de conservación, por ejemplo Tittonell *et al.*, 2012, en su trabajo sobre los sistemas agroecológicos de zonas semiáridas de África, demuestra cómo las prácticas agrícolas nativas son una alternativa para rehabilitar la productividad del suelo, lo que denomina “agricultura de conservación” (AC), dentro de la AC, se demostró que el suelo de los sistemas agroecológicos presentan buen estado en su salud ecosistémica, además trata la eficiencia del uso del agua y cómo estos sistemas rehabilitaron la productividad de la biomasa. Otro elemento geofísico importante es el agua, se demuestra también la eficiencia del manejo del agua dentro de los sistemas agroecológicos, a través de una intensificación agrícola sostenible que permite controlar el volumen y evidenciar los buenos valores de los parámetros físico-químicos del agua (Wezel y David, 2012)

En los sistemas agroecológicos no solo son beneficiarios los recursos geofísicos, su relación con los demás elementos es fundamental para el equilibrio del mismo, por lo tanto, la biocenosis es un grupo de elementos clave en un agrosistema, sin este no puede equilibrarse, por lo tanto, la biodiversidad cumple un rol importante dentro de este, al mismo tiempo que sustenta la vida silvestre. Muchos trabajos cuantifican la alta diversidad e importancia de la vida en los sistemas agrícolas, por ejemplo Beecher *et al.*, 2002; Schulze *et al.*, 2004, cuantifican la diversidad de aves en sistemas agroecológicos, mamíferos y otros grupos taxonómicos (Leksono, 2017), reptiles y anfibios (Wanger *et al.*, 2010), diversidad de plantas hospederas para mariposas (Otieno *et al.*, 2006), diversidad de macroinvertebrados

que son indicadores de la calidad del agua (Yáñez-Cajo *et al.*, 2019), y otros grupos taxonómicos, incluyendo la diversidad microbiana del suelo (Izquierdo *et al.*, 2003), todos estos resultados fueron cuantificados con diferentes índices de diversidad o ecuaciones no lineales, demostrando el alto grado de diversidad de los sistemas agroecológicos.

Sin duda, un sistema agroecológico es más inteligente en manejo y más complejo en su ingeniería ecológica que un sistema agroindustrial. Pero lamentablemente a la vez es subestimado, debido al hecho que vivimos en un mundo donde la acumulación de capitales decide las reglas, por lo tanto, el enfoque público de la agricultura, se encuentra dentro de la agroindustria y sus lógicas económicas.

En este contexto, es evidente la necesidad de integrar la tecnología aeroespacial a los sistemas agroecológicos, ya que, al ser inteligentes, nos pueden dar respuestas interesantes a nivel de sus análisis espectrales y cartográficos a escalas de alta resolución, esto rompería el mito de que la tecnología aeroespacial es única y exclusiva para los sistemas agroindustriales.

Existen trabajos y científicos que utilizan tecnología aeroespacial en sistemas agroecológicos, como los de Borianne *et al.*, 2019, en su trabajo con el uso de VANT y sensores de espectro visible, demuestra que los cultivos agroecológicos generan mayor rendimiento y producción de biomasa, no solo impulsados por la densidad de siembra y las prácticas de manejo, sino también por la diversidad de especies vegetales integradas al diseño del agroecosistema.

Como lo han demostrado estos científicos, para la conservación del planeta y la vida, los recursos alimenticios tendrán que venir de los sistemas agroecológicos, ya que los beneficios más importantes y duraderos resultarán de medios agroecológicos más radicales (Altieri *et al.*, 2015), y que al mismo tiempo fortalecerán la resiliencia de los agricultores, mediante sus enfoques interculturales y transdisciplinarios (Edwards *et al.*, 1993). Estos resultados científicos evidencian que los sistemas de producción agroecológicos son claves para la resiliencia de la pequeña producción.

¿Reemplazo del humano?

En el conflicto ético del uso de la tecnología aeroespacial, y el posible reemplazo del humano por esta, se involucran varios elementos, que tienen que ver mucho en los procesos del cambio y transformación de las prácticas, métodos, visiones y modelos económicos en la agricultura.

El primer elemento a tratar es el reemplazo de mano humana, esto no involucra únicamente el trabajo físico, sino al intelectual, partiendo históricamente,

desde el uso de la mano humana y el animal, que paulatinamente fue reemplazándose por instrumentos mecánicos a vapor, después por combustibles fósiles, después electrónicos, etc., hasta llegar a este momento donde la tecnología aeroespacial asociada con la Inteligencia Artificial (IA), demuestran ser herramientas importantes dentro de la tecnología aplicada en la agricultura.

En este sentido, los VANT van reemplazado la mano de obra de actividades como: la aspersión de agroquímicos, el uso de maquinaria con sistemas de geolocalización, y en aspectos del intelecto, en el seguimiento remoto de cultivos en análisis de enfermedades y patógenos. La tecnificación ha reemplazado incluso la sistematización de datos, que es un trabajo netamente humano, reemplazado ahora por algoritmos que permiten sistematizar los mismos, en la actualidad, todo dato se puede decir que es espacial, conocido también como geoinformación., la geoinformación se caracteriza por ser una sistematización de la información, pero tiene la cualidad de ser georreferenciada.

En este contexto, es fundamental tartar los temas éticos y morales en relación al trabajo agrícola, nuestro enfoque no es satanizar el uso de la tecnología aeroespacial, al contrario, es necesaria, debido a la inserción de la agricultura a la globalización, pero tiene que ser manejada con ética y responsabilidad, partiendo principalmente desde el Estado, el cual debe garantizar el uso de tecnología pero regulada, especialmente en las grandes empresas agroindustriales, ya que son estas las principales beneficiadas de la tecnología, generando mayores ganancias para determinados grupos., pero el otro actor fundamental en la regulación es el mismo sistema agroindustrial, porque al trabajar con principios normativos de ética y moral, utilizará la mano humana como fuente de operación de estas nuevas tecnologías, así permitirá la conservación del empleo y el bienestar humano., para esto es fundamental generar programas de capacitación e inducción a las nuevas tecnologías.

En conclusión, lo que mencionamos es que, si bien se perderán ciertas prácticas del manejo agrícola que generan trabajo, éstas serán sustituidas por nuevas maneras de empleo, como, por ejemplo: el pilotaje de VANT, procesamiento de imágenes, post procesamiento y análisis para tomas de decisiones, etc., las cuales permitirán la generación de nuevo empleo en base al uso de tecnología e innovación. Pero consideramos que esta transición será exitosa únicamente si se desarrollan minuciosos programas de capacitación, que permitan esta transición a estas nuevas prácticas del proceso agrícola, que son imposibles de no considerarlas para el futuro de la agricultura.

¿Quién tiene acceso a tecnología aeroespacial?

Otro punto importante a tratar es sobre el acceso de los pequeños grupos agrícolas a la tecnología aeroespacial, lamentablemente como se mencionó anteriormente, existe un pensamiento academicista sobre el uso de la tecnología aeroespacial en la agricultura, y es demostrado principalmente por el crecimiento que tiene la agricultura de precisión de una manera aislada en las agroindustrias principalmente, esto es debido a su capacidad económica de adquirirlas, limitando la inclusión de esta tecnología a todos los grupos de agricultores. (Reyes *et al.*, 2019). Ante este inequitativo escenario, cave las preguntas siguientes: ¿Esto es ético?, ¿Debería ser así la realidad de la agricultura? Esto simplemente deja en evidencia la desigualdad del acceso a la tecnología. El difícil acceso de esta tecnología a los pequeños grupos de agricultores, como campesinos e indígenas de todas las regiones, se da principalmente por el desconocimiento y el limitado recurso económico de estos colectivos, pero, aquí entra el rol principalmente de la academia, como una institución de extensión universitaria y vinculación con la sociedad, la academia debería ser uno de los principales actores de esta transferencia de tecnología y conocimiento, es por esto que, se requiere de una política pública de acompañamiento a los pequeños y medianos productores para desarrollar las capacidades locales, y adopten grupalmente el uso de tecnología aeroespacial, mediante la capacitación de métodos, técnicas y aplicaciones, ya que sería un beneficio mutuo academia-colectividad, por el hecho que permitiría realizar investigaciones del comportamiento de los sistemas agroecológicos, que como se ha demostrado son sistemas inteligentes y complejos que se autorregulan conservando la diversidad biológica, lo cual los hace fundamentales para comprender su dinámica.

El futuro de la agricultura digital y la Inteligencia Artificial (IA)

Las fuentes de obtención de geoinformación a nivel global, tanto de sistemas satelitales, aeronaves tripuladas y no tripuladas, generan grandes volúmenes de información, estos son almacenados en los grandes servidores de las agencias espaciales, institutos de investigación e incluso plataformas interactivas como Google Earth Pro o Google Earth Engine (Tamimnia *et al.*, 2020), muchas de estas instituciones, comparten esta información a través de sistemas distribuidos y geovisualizadores.

En este sentido es evidente considerar el futuro del “Big data” (macrodatos) en la agricultura digital, ya que es necesario conocer cómo manejar los grandes volúmenes de geoinformación que se genera a partir de

plataformas aeroespaciales enfocadas en los estudios agrícolas. Lo mencionado, se puede convertir en un problema de información desperdiciada, y esto se plantea por el hecho que actualmente las empresas desconocen y no saben qué hacer con los grandes volúmenes de información (Camargo-Vega *et al.*, 2015). Otro de los aspectos a considerar dentro del Big data es el conocimiento de la arquitectura de datos, ya que el big data se caracteriza por ser información que no puede ser manejada y analizada por medios tradicionales, por lo tanto, es fundamental tratar es el estado del arte de la misma.

Uno de los objetivos de las empresas o instituciones agrícolas, sería crear y adoptar plataformas tecnológicas para mejorar las capacidades de los sistemas alimentarios locales y regionales, además observar las formas socio-técnicas derivadas de éstas (Carolan, 2017), por lo tanto una institución agrícola tiene que manejar un enfoque empresarial para el uso, manejo y aprovechamiento de la información, es por ello que recomendamos los tres parámetros a tratar para el manejo de Big data planteado por Gandomi & Haider, 2015, los puntos son: 1. Las técnicas y la tecnología, por lo tanto esto es un reto para las instituciones y empresas, ya que requiere de personal especializado y la tecnología necesaria para empezar a manejar el big data, esto permitirá generar valor agregado derivado de la información que aún no es manejada. 2. El elevado volumen de información, que puede superar las capacidades logísticas de las instituciones, por lo tanto, se necesita desarrollar una arquitectura a través de bases de datos de la información. 3. Los recursos económicos, esto requiere de estrategias administrativas eficaces, que equilibren la necesidad de inversión de la institución, con el manejo del big data, lo que conlleve a que la información sea una inversión de negocios.

Los investigadores se encuentran desarrollando tecnologías para la gestión del big data de teledetección para la agricultura de precisión (Huang *et al.*, 2018), lo que queremos mencionar es la necesidad de seguir desarrollando, innovando y administrado desde pequeños grupos, los volúmenes de información en la agricultura, ya que en un futuro, las instituciones relativamente pequeñas como: universidades, gobiernos locales, etc., que trabajan en el tema agrícola, también tendrán los retos mencionados, especialmente de información que vendrá de estudios por drones para las investigaciones de agricultura de precisión. (Huang *et al.*, 2018), es por esto que anticipamos este escenario que debe ser considerado en el futuro para las instituciones mencionadas.

Es fundamental considerar que el mundo entró a una nueva era, un cambio global que está permitiendo

el paso del mundo a un nuevo escenario geopolítico, que solo espera un detonante para manifestarse, según expertos en temas de geopolítica mundial como Jalife-Rahme 2020, llegan a la conclusión de que el mundo se encuentra ya en una nueva bipolaridad tecnológica, la cual está liderada por China y Rusia, versus su rival EEUU y sus aliados., esta dualidad, dará a las naciones e individuos el escenario para sus prácticas laborales en base a tecnología.

En virtud se genera una pregunta: ¿En que influye y manifiesta este contexto mundial en la agricultura?, pues simplemente que depende la elección de un Estado o País, ante esta bipolaridad, al elegir un bando, se empezarán a utilizar tecnologías dependiendo del bando elegido, por ejemplo, es común en occidente el uso de la constelación GPS (Global Position System), cuando se elige el sistema de navegación y posicionamiento, un individuo de la región latinoamericana al acercarse a comprar un sistema de navegación y posicionamiento simplemente lo llama GPS, es más, para la mayoría de personas, es conocido como el único sistema de navegación, pero, existen otras constelaciones de navegación y posicionamiento, de las cuales el líder en desarrollo y aplicaciones es la constelación China “BEIDOU”, ya que cuenta con mayor número de satélites que la componen y es más actualizada, su último satélite fue lanzado en 2020, completando un total de 30 satélites., si un estado toma la decisión de aliarse a China, pues probablemente por las relaciones comerciales que mantiene su país con China, sus sistemas de navegación y posicionamiento girarán al uso de BEIDOU, ya que por lo mencionado, la mayor parte de las tecnologías serán desarrolladas en este país, esto influenciará mucho en los entornos geográficos del agro ya que desde la misma selección de la tecnología, hasta las aplicaciones se enmarcarán a la selección de estos bandos mencionados. Significa que no veríamos drones geoposicionados por GPS, sino por BEIDOU y formará parte del día a día en la agricultura.

Otra tecnología importante a considerar es la inteligencia artificial (IA), es un elemento muy importante a considerar dentro del futuro de la tecnología aeroespacial y la agricultura, porque si bien ya tratamos el caso del reemplazo de la mano de obra con el uso de tecnología, y a su vez las nuevas maneras de trabajo que se aperturan para las personas del sector agrícola, es fundamental mencionar que la IA ya está en nuestro entorno e interactuando con nosotros día a día. La IA tiene un fin bastante claro, que es el de automatizar la mayoría de labores que realiza la inteligencia humana. La IA conjugada con la ingeniería mecánica y electrónica, desarrollarán nuevas máquinas que reemplazarían a las nuevas aperturas laborales que

mencionamos anteriormente, es decir se reemplazaría al ser humano. Estos son puntos que actualmente se encuentran en mesas de debate de filósofos y científicos a nivel mundial, debido principalmente a los principios éticos y morales del uso de la IA (Russell *et al.*, 2015).

En el campo agrícola, ya no existiría la necesidad de un piloto de drones, el gestor de los planes de vuelo, o los responsables del cálculo de porcentajes de agroquímicos, incluso probablemente vendrán máquinas que reemplacen actividades netamente necesarias de la mano humana, como la cosecha o la preparación de alimentos, esto lo mencionamos porque la historia ya lo ha demostrado así, y principalmente estos saltos se han dado debido a la necesidad de la reproducción social en base a la acumulación de capitales, y sin lugar a duda, esto irá correlacionado de las políticas públicas y normativas que establezcan los gobiernos en todos los países del mundo. Es un escenario de incertidumbre, que no podemos pronosticar en su totalidad en la agricultura.

Pero es por estas razones, entran en el juego las comisiones de expertos de la IA, existen varios comités mundiales que trabajan en el tema de la regularización de esta tecnología (Vinuesa *et al.*, 2020), por ejemplo, en Bruselas se publicó en febrero de 2020 el “COM (2020) 65 final, Libro Blanco, sobre la inteligencia artificial - un enfoque europeo orientado a la excelencia y la confianza pública”, donde se tratan las pautas éticas claras que deben tomar los países europeos sobre el uso de la IA, dentro de este documento, el punto cinco “ Un ecosistema de confianza: El marco regulador de la IA”, trata las amenazas y oportunidades de la IA, y contempla “los siete requisitos” esenciales del manejo de la IA, del cual el primer punto es la “Acción y supervisión humana de la IA”, que aclara que la inteligencia artificial debe tener una supervisión y manejo humano (Comisión Europea, 2020), lo que deja un escenario de no reemplazo total del humano en el trabajo. Es aquí donde se debe enfocar parte de los debates de expertos en temas de IA, sobre las normativas y argumentos jurídicos para considerar el manejo de la IA en la agricultura del futuro.

Agradecimientos

Agradecemos la Dirección de Investigación de la AUTEQ, y a los fondos FOCICYT, que financian actualmente el proyecto “Tecnología aeroespacial aplicada en respuestas espectrales del cultivo del trópico húmedo, como un elemento técnico para el mejoramiento vegetal. Fase I: Cultivo de maíz (*Zea mays* L.)”, el cual implementará una plataforma de investigación aeroespacial para la agricultura.

Literatura citada

- Abd El-Kawy, O. R., Rød, J. K., Ismail, H. A., & Suliman, A. S. 2011. Land use and land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data. *Applied Geography*, 31(2): 483–494.
- Abdullahi, H. S., Mahieddine, F., & Sheriff, R. E. 2015. Technology Impact on Agricultural Productivity: A Review of Precision Agriculture Using Unmanned Aerial Vehicles. In P. Pillai, Y. F. Hu, I. Otung, & G. Giambene (Eds.), *Wireless and Satellite Systems*, 388–400. Cham: Springer International Publishing.
- Adão, T., Hruška, J., Pádua, L., Bessa, J., Peres, E., *et al.* 2017. Hyperspectral Imaging: A Review on UAV-Based Sensors, Data Processing and Applications for Agriculture and Forestry. *Remote Sensing*, 9(11): 1110.
- Alsalam, B. H. Y., Morton, K., Campbell, D., & Gonzalez, F. 2017. Autonomous UAV with vision based on-board decision making for remote sensing and precision agriculture. 2017 IEEE Aerospace Conference, 1–12. Presented at the 2017 IEEE Aerospace Conference.
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. A. 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3): 869–890.
- Beecher, N. A., Johnson, R. J., Brandle, J. R., Case, R. M., & Young, L. J. 2002. Agroecology of Birds in Organic and Nonorganic Farmland. *Conservation Biology*, 16(6): 1620–1631.
- Berni, J. A. J., Zarco-Tejada, P. J., Sepulcre-Cantó, G., Fereres, E., & Villalobos, F. 2009. Mapping canopy conductance and CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment*, 113(11): 2380–2388.
- Berni, Jose A. J., Zarco-Tejada, P. J., Suarez, L., & Fereres, E. 2009. Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring From an Unmanned Aerial Vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(3): 722–738. Presented at the IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.
- Borianne, P., Borne, F., Sarron, J., & Faye, E. 2019. Deep Mangoes: From fruit detection to cultivar identification in colour images of mango trees. *ArXiv:1909.10939* [Cs, Eess]. <http://arxiv.org/abs/1909.10939>.
- Bourgoin, C., Betbeder, J., Couteron, P., Blanc, L., Dessard, H., *et al.* 2020. UAV-based canopy textures assess changes in forest structure from long-term degradation. *Ecological Indicators*, 115: 106386.
- Camargo-Vega, J., Camargo-Ortega, F., & Joyanes-Aguilar, L. 2015. Conociendo Big Data. *Revista Facultad de Ingeniería*, 24(38): 63–77.
- Carolan, M. 2017. Publicising Food: Big Data, Precision Agriculture, and Co-Experimental Techniques of Addition. *Sociologia Ruralis*, 57(2): 135–154.
- Comisión Europea. 2020. sobre la inteligencia artificial—Un enfoque europeo orientado a la excelencia y la confianza. Libro Blanco sobre la inteligencia artificial: Bruselas.
- Costa, L., Nunes, L., & Ampatzidis, Y. 2020. A new visible band index (vNDVI) for estimating NDVI values on RGB images utilizing genetic algorithms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 172: 105334.
- Di Leo, N. 2015. Drones: Nueva dimensión de la teledetección agroambiental y nuevo paradigma para la agricultura de precisión. *Agromensajes*, 41: 7–17.
- Doraiswamy, P. C., Moulin, S., Cook, P. W., & Stern, A. 2003. Crop Yield Assessment from Remote Sensing. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(6): 665–674.
- Duan, T., Chapman, S. C., Guo, Y., & Zheng, B. 2017. Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle. *Field Crops Research*, 210: 71–80.
- Edwards, C. A., Grove, T. L., Harwood, R. R., & Pierce Colfer, C. J. 1993. The role of agroecology and integrated farming systems in agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 46(1): 99–121.
- Ettenberg, M. H., O'Grady, M. T., Huang, S.-C., & Cohen, M. J. 2003. Miniaturized 320x256 indium gallium arsenide SWIR camera for robotic and unmanned aerial vehicle applications. *Infrared Technology and Applications XXIX*, 5074: 353–362. Presented at the Infrared Technology and Applications XXIX, International Society for Optics and Photonics.
- Faye, E., Rebaudo, F., Yáñez-Cajo, D., Cauvy-Fraunié, S., & Dangles, O. 2016. A toolbox for studying thermal heterogeneity across spatial scales: From unmanned aerial vehicle imagery to landscape metrics. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(4): 437–446.
- Gago, J., Douthe, C., Coopman, R. E., Gallego, P. P., Ribas-Carbo, M., *et al.* 2015. UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural Water Management*, 153: 9–19.
- Gandomi, A., & Haider, M. 2015. Beyond the hype:

- Big data concepts, methods, and analytics. *International Journal of Information Management*, 35(2): 137–144.
- Gao, B. 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3): 257–266.
- Garcia, J. E., Dyer, A. G., Greentree, A. D., Spring, G., & Wilksch, P. A. 2013. Linearisation of RGB Camera Responses for Quantitative Image Analysis of Visible and UV Photography: A Comparison of Two Techniques. *PLOS ONE*, 8(11): e79534.
- García-Martínez, H., Flores-Magdaleno, H., Ascencio-Hernández, R., Khalil-Gardezi, A., Tijerina-Chávez, L., *et al.* 2020. Corn Grain Yield Estimation from Vegetation Indices, Canopy Cover, Plant Density, and a Neural Network Using Multispectral and RGB Images Acquired with Unmanned Aerial Vehicles. *Agriculture*, 10(7): 277.
- Garcia-Ruiz, F., Sankaran, S., Maja, J. M., Lee, W. S., Rasmussen, J., *et al.* 2013. Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. *Computers and Electronics in Agriculture*, 91: 106–115.
- Gašparović, M., & Jurjević, L. 2017. Gimbal Influence on the Stability of Exterior Orientation Parameters of UAV Acquired Images. *Sensors*, 17(2): 401.
- Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. 2010. Precision Agriculture and Food Security. *Science*, 327(5967): 828–831.
- Ghazal, M., Khalil, Y. A., & Hajjdiab, H. 2015. UAV-based remote sensing for vegetation cover estimation using NDVI imagery and level sets method. 2015 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT), 332–337. Presented at the 2015 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT).
- Gillingham, P. K., Huntley, B., Kunin, W. E., & Thomas, C. D. 2012. The effect of spatial resolution on projected responses to climate warming. *Diversity and Distributions*, 18(10): 990–1000.
- Gitelson, A. A., Stark, R., Grits, U., Rundquist, D., Kaufman, Y., *et al.* 2002. Vegetation and soil lines in visible spectral space: A concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. *International Journal of Remote Sensing*, 23(13): 2537–2562.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., *et al.* 2010. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 327(5967): 812–818.
- Gonzalez-Dugo, V., Zarco-Tejada, P., Nicolás, E., Nortes, P. A., Alarcón, J. J., *et al.* 2013. Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard. *Precision Agriculture*, 14(6): 660–678.
- Guan, S., Fukami, K., Matsunaka, H., Okami, M., Tanaka, R., *et al.* 2019. 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.
- Gunarathna, J. kalpa, & Munasinghe, R. 2018. Development of a Quad-rotor Fixed-wing Hybrid Unmanned Aerial Vehicle. 2018 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon), 72–77. Presented at the 2018 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon).
- Han, L., & Rundquist, D. C. 1997. Comparison of NIR/RED ratio and first derivative of reflectance in estimating algal-chlorophyll concentration: A case study in a turbid reservoir. *Remote Sensing of Environment*, 62(3): 253–261.
- Hassan, M. A., Yang, M., Rasheed, A., Yang, G., Reynolds, M., *et al.* 2019. A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform. *Plant Science*, 282: 95–103.
- Herrmann, I., Bdolach, E., Montekyo, Y., Rachmilevitch, S., Townsend, P. A., *et al.* 2020. Assessment of maize yield and phenology by drone-mounted superspectral camera. *Precision Agriculture*, 21(1): 51–76.
- Herwitz, S. R., Johnson, L. F., Dunagan, S. E., Higgins, R. G., Sullivan, D. V., *et al.* 2004. Imaging from an unmanned aerial vehicle: Agricultural surveillance and decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*, 44(1): 49–61.
- Huang, Y., Chen, Z., Yu, T., Huang, X., & Gu, X. 2018. Agricultural remote sensing big data: Management and applications. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(9): 1915–1931.
- Idso, S. B., Jackson, R. D., & Reginato, R. J. 1977. Remote-Sensing of Crop Yields. *Science*, 196(4285): 19–25.
- Izquierdo, I., Caravaca, F., Alguacil, M., & Roldan, A. 2003. Changes in Physical and Biological Soil Quality Indicators in a Tropical Crop System (Havana, Cuba) in Response to Different Agroecological Management Practices. *Environmental Management*, 32(5): 639–645.
- Jalife-Rahme, A. 2020, October 10. La nueva bipolaridad tecnológica: EEUU vs China/Rusia. Larazon.cl. <https://www.larazon.cl/2020/10/09/por-alfredo-jalife-rahme-la-nueva-bipolaridad-tecnologica-eeuu-vs-china-rusia/>.

- Jenal, A., Bareth, G., Boltzen, A., Kneer, C., Weber, I., *et al.* 2019. Development of a VNIR/SWIR Multispectral Imaging System for Vegetation Monitoring with Unmanned Aerial Vehicles. *Sensors*, 19(24): 5507.
- Ju, C., & Son, H. I. 2018. Multiple UAV Systems for Agricultural Applications: Control, Implementation, and Evaluation. *Electronics*, 7(9): 162.
- Kandylakis, Z., Falagas, A., Karakizi, C., & Karantzalos, K. 2020. Water Stress Estimation in Vineyards from Aerial SWIR and Multispectral UAV Data. *Remote Sensing*, 12(15): 2499.
- Lebourgeois, V., Bégué, A., Labbé, S., Mallavan, B., Prévot, L., *et al.* 2008. Can Commercial Digital Cameras Be Used as Multispectral Sensors? A Crop Monitoring Test. *Sensors*, 8(11): 7300–7322.
- Lefebvre, H. 1992. *The Production of Space*. (D. Nicholson-Smith, Tran.) (1 edition). John Wiley and Sons: Wiley-Blackwell.
- Leksono, A. S. 2017. The effect of organic farming systems on species diversity. *AIP Conference Proceedings*, 1908(1): 030001.
- Li, Y., & Liu, C. 2019. Applications of multirotor drone technologies in construction management. *International Journal of Construction Management*, 19(5): 401–412.
- Maes, W. H., & Steppe, K. 2019. Perspectives for Remote Sensing with Unmanned Aerial Vehicles in Precision Agriculture. *Trends in Plant Science*, 24(2): 152–164.
- Mckinnon, T. 2017. Comparing RGB-Based Vegetation Indices With NDVI For Drone Based Agricultural Sensing. Presented at the Agribotix LLC. /paper/Comparing-RGB-Based-Vegetation-Indices-With-NDVI-Mckinnon/5ec3ec2a92e61e49dbc6b33f9f0d170b313128f5.
- Mirzaeinia, A., Hassanalain, M., Lee, K., & Mirzaeinia, M. 2019. Energy conservation of V-shaped swarming fixed-wing drones through position reconfiguration. *Aerospace Science and Technology*, 94: 105398.
- Mizuochi, H., Hiyama, T., Kanamori, H., Ohta, T., Fujioka, Y., *et al.* 2016. Water Storage Monitoring of Seasonal Wetlands in a Semi-Arid Environment by the Integrated Use of Long-Term Satellite Images and UAV Topography Measurement. *Journal of The Remote Sensing Society of Japan*, 36(2): 81–92.
- Na, S. I., Hong, S. Y., Park, C. W., Kim, K. D., & Lee, K. D. 2016. Estimation of Highland Kimchi Cabbage Growth using UAV NDVI and Agrometeorological Factors. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 10: 420–428.
- Obach, B. K., & Tobin, K. 2014. Civic agriculture and community engagement. *Agriculture and Human Values*, 31(2): 307–322.
- Otieno, N. A., Rü, B. P. L., Ong’amo, G. O., Dupas, S., Calatayud, P.-A., *et al.* 2006. Diversity and abundance of wild host plants of lepidopteran stem borers in two different agroecological zones of Kenya. *Annales de La Société Entomologique de France (N.S.)*, 42(3–4): 371–380.
- Otsu, K., Pla, M., & Brotons, L. 2018. Estimating the Severity of Defoliation Due to Pine Processionary Moth Using a Combination of Landsat and UAV Imagery. *IGARSS 2018—2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 3979–3982. Presented at the IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.
- Parraga, A., Doering, D., Atkinson, J. G., Bertani, T., de Oliveira Andrades Filho, C., *et al.* 2019. Wheat Plots Segmentation for Experimental Agricultural Field from Visible and Multispectral UAV Imaging. In K. Arai, S. Kapoor, & R. Bhatia (Eds.), *Intelligent Systems and Applications*, 388–399. Cham: Springer International Publishing.
- Primicerio, J., Di Gennaro, S. F., Fiorillo, E., Genesio, L., Lugato, E., *et al.* 2012. A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. *Precision Agriculture*, 13(4): 517–523.
- Puri, V., Nayyar, A., & Raja, L. 2017. Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture. *Journal of Statistics and Management Systems*, 20(4): 507–518.
- QUARMBY, N. A., MILNES, M., HINDLE, T. L., & SILLEOS, N. 1993. The use of multi-temporal NDVI measurements from AVHRR data for crop yield estimation and prediction. *International Journal of Remote Sensing*, 14(2): 199–210.
- Ram, B., & kolarkar, A. S. 1993. Remote sensing application in monitoring land-use changes in arid Rajasthan. *International Journal of Remote Sensing*, 14(17): 3191–3200.
- Reyes, J., Godoy, A., & Realpe, M. 2019. Uso de software de código abierto para fusión de imágenes agrícolas multiespectrales adquiridas con drones. Presented at the 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology, Jamaica.
- Russell, S., Dewey, D., & Tegmark, M. 2015. Research Priorities for Robust and Beneficial Artificial Intelligence. *AI Magazine*, 36(4): 105–114.
- Schulze, C. H., Waltert, M., Kessler, P. J. A., Pitopang, R., Veddeler, D., *et al.* 2004. Biodiversity Indicator Groups of Tropical Land-Use Systems: Comparing Plants, Birds, and Insects. *Ecological Applications*,

- 14(5): 1321–1333.
- Sheng, H., Chao, H., Coopmans, C., Han, J., McKee, M., *et al.* 2010. Low-cost UAV-based thermal infrared remote sensing: Platform, calibration and applications. Proceedings of 2010 IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications, 38–43. Presented at the Proceedings of 2010 IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications.
- Shukla, D., & Komerath, N. 2018. Multicopter Drone Aerodynamic Interaction Investigation. *Drones*, 2(4): 43.
- Smirnov, I. G., Kurbanov, R. K., Marchenko, L. A., & Gorshkov, D. M. 2019. Differentiated processing of farmland using UAVs. *Electrical Technology and Electrical Equipment in AIC*, 4(37): 30–35.
- Sobrino, J. A. 2001. Teledetección. Universitat de València.
- Stehr, N. J. 2015. Drones: The Newest Technology for Precision Agriculture. *Natural Sciences Education*, 44(1): 89–91.
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., *et al.* 2020. Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164: 152–170.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(50): 20260–20264.
- Tittonell, P., Scopel, E., Andrieu, N., Posthumus, H., Mapfumo, P., *et al.* 2012. Agroecology-based aggradation-conservation agriculture (ABACO): Targeting innovations to combat soil degradation and food insecurity in semi-arid Africa. *Field Crops Research*, 132: 168–174.
- Tožička, J., & Komenda, A. 2016. Diverse Planning for UAV Control and Remote Sensing. *Sensors*, 16(12): 2199.
- Tripicchio, P., Satler, M., Dabisias, G., Ruffaldi, E., & Avizzano, C. A. 2015. Towards Smart Farming and Sustainable Agriculture with Drones. 2015 International Conference on Intelligent Environments, 140–143. Presented at the 2015 International Conference on Intelligent Environments.
- Varga, M., Zufferey, J.-C., Heitz, G. H. M., & Floreano, D. 2015. Evaluation of control strategies for fixed-wing drones following slow-moving ground agents. *Robotics and Autonomous Systems*, 72: 285–294.
- Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., Dignum, V., *et al.* 2020. The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Communications*, 11(1): 233.
- Wanger, T. C., Iskandar, D. T., Motzke, I., Brook, B. W., Sodhi, N. S., *et al.* 2010. Effects of Land-Use Change on Community Composition of Tropical Amphibians and Reptiles in Sulawesi, Indonesia. *Conservation Biology*, 24(3): 795–802.
- Wezel, A., & David, C. 2012. Agroecology and the Food System. In E. Lichtfouse (Ed.), *Agroecology and Strategies for Climate Change: 17–33*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Woodget, A. S., Austrums, R., Maddock, I. P., & Habit, E. 2017. Drones and digital photogrammetry: From classifications to continuums for monitoring river habitat and hydromorphology. *WIREs Water*, 4(4): e1222.
- Xiao, X., Boles, S., Liu, J., Zhuang, D., Frohling, S., *et al.* 2005. Mapping paddy rice agriculture in southern China using multi-temporal MODIS images. *Remote Sensing of Environment*, 95(4): 480–492.
- Yáñez-Cajo, D. J., Valencia, N., Lopez-Parra, J., & Carvajal, V. 2019. Estructura de la comunidad de Macroinvertebrados del Río Jatunhuayco EPMAPS, Reserva Ecológica Antisana, sistema de captación del agua de Quito. *Boletín Técnico, Serie Zoológica*, 14(14–15). <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-serie-zoologica/article/view/1569>.
- Yang, C., & Everitt, J. H. 2012. Using spectral distance, spectral angle and plant abundance derived from hyperspectral imagery to characterize crop yield variation. *Precision Agriculture*, 13(1): 62–75.
- Zarco-Tejada, P. J., González-Dugo, V., Williams, L. E., Suárez, L., Berni, J. A. J., *et al.* 2013. A PRI-based water stress index combining structural and chlorophyll effects: Assessment using diurnal narrow-band airborne imagery and the CWSI thermal index. *Remote Sensing of Environment*, 138: 38–50.
- Zarco-Tejada, P. J., Guillén-Climent, M. L., Hernández-Clemente, R., Catalina, A., González, M. R., *et al.* 2013. Estimating leaf carotenoid content in vineyards using high resolution hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV). *Agricultural and Forest Meteorology*, 171–172: 281–294.
- Zhang, C., & Kovacs, J. M. 2012. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 13(6): 693–712.

Yáñez *et al.*, 2021

Zhang, Y., Zhou, J., Meng, L., Li, M., Ding, L., *et al.* 2018. A Method for Deriving Plant Temperature from UAV TIR Image. 2018 7th International Conference on Agro-geoinformatics (Agro-geoinformatics), 1–5. Presented at the 2018 7th International Conference on Agro-geoinformatics (Agro-geoinformatics).