



Scientia Agropecuaria

Web page: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Facultad de Ciencias
Agropecuarias

Universidad Nacional de
Trujillo

REVIEW



Pollination with drones: A successful response to the decline of entomophiles pollinators?

Polinización con drones: ¿Una respuesta acertada ante la disminución de polinizadores entomófilos?

Argenis de Jesús Montilla-Pacheco^{1*} ; Henry Antonio Pacheco-Gil² ; Félix Reinaldo Pastrán-Calles³ ; Irene Rosario Rodríguez-Pincay¹ 

¹ Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Facultad de Hotelería y Turismo. Manta, provincia de Manabí. Ecuador.

² Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Ciencias Agrícolas. Portoviejo, provincia de Manabí. Ecuador.

³ Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Extensión Pedernales, Carrera de Turismo. Cantón Pedernales, provincia de Manabí. Ecuador.

* Corresponding author: argenis.montilla@uleam.edu.ec (A. de J. Montilla-Pacheco).

Received: 17 June 2021. Accepted: 14 August 2021. Published: 8 October 2021.

Abstract

Some types of unmanned aerial vehicles (UDs) are called drones. These equipment's of wide versatility have been applied very recently for different tasks, among which is agriculture. From there, this technology is responding to the decline of biopolynizers in different fields around the world. The objective of this work was to analyze the implications of the use of such devices in agricultural practices in the absence of entomophiles pollinators. Methodologically it was developed as a bibliographic review, consulting databases such as Scopus, Science Direct, Google academic and others; filtering by keywords, selecting the works according to the subject of interest and the criteria of the authors. Key information from the selected documents was extracted through the documentary analysis. As a result of this review, experiences related to the application of USNs in crop fertilization were found; the literature consulted also agrees to point out that drones are a viable strategy for such activity and is at the same time a solution to the diminution of entomophiles pollinators in certain regions of the Earth. However, the reference literature, very little reports possible adverse effects, which from an ecological point of view could arise from the use of USRs in agri-food production. It is concluded that further research is needed to understand the ecological consequences that may arise from the use of the equipment.

Keywords: bees; agriculture; agrobiotechnology; crops; ecology.

Resumen

Algunos tipos de vehículos aéreos no tripulados (VANTs) reciben el nombre de drones. Estos equipos de amplia versatilidad se han venido aplicando muy recientemente para diferentes labores, entre las cuales destaca la agricultura. De allí que, esta tecnología está dando respuesta a la disminución de biopolinizadores en distintos sembradíos del mundo. El objetivo de este trabajo consistió en analizar las implicaciones del uso de tales dispositivos en prácticas agrícolas ante la ausencia creciente de polinizadores entomófilos. El trabajo analiza las experiencias relacionadas con la aplicación de los VANTs en fecundación de cultivos. La bibliografía consultada coincide en señalar que los drones se constituyen en una estrategia viable para tal actividad, y es al mismo tiempo, una solución ante la disminución de polinizadores entomófilos en determinadas regiones de la Tierra. No obstante, la literatura de referencia muy poco reporta posibles efectos adversos, que desde el punto de vista ecológico pudiera derivarse de la utilización de los VANTs en la producción agroalimentaria. En conclusión, los hallazgos reportados en la literatura reciente auguran el desarrollo exitoso de la polinización con drones, pero es necesario avanzar en nuevas investigaciones para conocer las consecuencias ecológicas que pueden derivarse del uso de los equipos antes mencionados.

Palabras clave: abejas; agricultura; agrobiotecnología; cultivos; ecología.

DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.055>

Cite this article:

Montilla-Pacheco, A. de J., Pacheco-Gil, H. A., Pastrán-Calles, F. R., & Rodríguez-Pincay, I. R. (2021). Polinización con drones: ¿Una respuesta acertada ante la disminución de polinizadores entomófilos?. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 509-516.

1. Introducción

El desarrollo acelerado de la tecnología abarca prácticamente todos los campos del saber e impacta una amplia gama de actividades que se llevan a cabo hoy en día (Carpio, 2018). Actualmente existe un progreso asombroso en el aprendizaje automático y la inteligencia artificial, persistiendo la necesidad de desarrollar conjuntos socio-tecnológicos de humanos y máquinas para lograr colectivamente resultados superiores.

El surgimiento reciente de vehículos aéreos no tripulados (VANTS), concretamente los drones, forman parte de esos avances que ha revolucionado en los últimos años distintos quehaceres relacionados con la comunicación, monitoreo del espacio, seguridad ciudadana, agricultura y tráfico automotor, entre otros. Destacando tecnologías avanzadas como imágenes espectrales, robótica e inteligencia artificial (IA) para derivar el sistema de agricultura tradicional a un sistema de agricultura moderno (Syeda et al., 2021).

Actualmente los problemas derivados del cambio climático y de otras causas más específicas, entre ellas el uso de dispositivos o trampas de insectos en cultivos han impactado directamente la población de insectos fitófagos (Bravo-Portocarrero et al., 2020), y probablemente también de algunos polinizadores. De manera que estos fenómenos, pero en especial el primero de los ya citados, así como sus consecuencias, según manifiestan Nieto et al. (2019), seguramente sea uno de los desafíos que debe asumir el hombre para mitigar sus impactos.

Ante el panorama descrito, surge una estrategia para aliviar los efectos de la disminución de la polinización natural, específicamente por biopolinizadores como la abeja; es decir, el uso de vehículos aéreos no tripulados tipo drones, de los cuales, ya existen experiencias exitosas de su aplicación en tareas relacionadas con detección de plagas estrés hídrico y análisis de humedad del suelo; pero además, agregan dichos autores, que recientemente diversas empresas diseñan plataformas exclusivas para otras actividades agrícolas específicas, entre ellas, la polinización (Nimmo, 2021).

En líneas generales la literatura revisada reporta importantes hallazgos en la polinización con drones,

donde destaca el uso de algoritmos y simulaciones en la planificación y ejecución de vuelos de drones, experimentos de campo comparando rendimientos de la polinización artificial con la natural, aplicaciones smartphone para operación de drones y sensores polinizadores. Se reportan tasas de 90% de efectividad e incrementos entre 25% y 60% en la polinización con drones en cultivos permanentes. Se avanza en el diseño de micro grabadoras de 3 mm instaladas en abejas melíferas para monitorear la actividad de polinización. Entre los países con mayor desarrollo actual de esta tecnología se encuentran USA, Japón e Israel.

Por tal razón, el objetivo de este trabajo es analizar la experiencia obtenida de la aplicación de estos dispositivos en las prácticas agrícolas, ante la ausencia creciente de polinizadores entomófilos, entre ellas la abeja *Apis mellifera*.

Se espera que este trabajo sea un aporte y constituya un estímulo en el desarrollo de nuevas investigaciones de un tema que resulta crucial para mantener los niveles de producción agrícola, sobre todo de aquellos cultivos, cuyas plantas se polinizan por medio de abejas.

A: Hexacóptero de Dropcopter

Con una autonomía de vuelo de 25 a 30 minutos, distribuye el polen con precisión a 3 metros por encima del dosel del cultivo. Pueden polinizar de 12 a 16 hectáreas por hora.

B: Vehículo aéreo a microescala de alas batientes del tamaño de un insecto

Este equipo, lo describen Jafferis et al. (2019) como un sistema integrado del vehículo junto con la electrónica necesaria para el vuelo sin ataduras (una matriz fotovoltaica y un generador de señal), pesa 259 miligramos, con una capacidad de carga adicional que permite dispositivos adicionales a bordo; consumiendo sólo 110-120 milivatios de potencia. El sistema iguala la eficiencia de empuje de insectos de tamaño similar como las abejas. Este vehículo aéreo a escala de insectos es el más ligero hasta ahora en lograr un vuelo sostenido sin ataduras (a diferencia de los saltos impulsivos o el despegue).

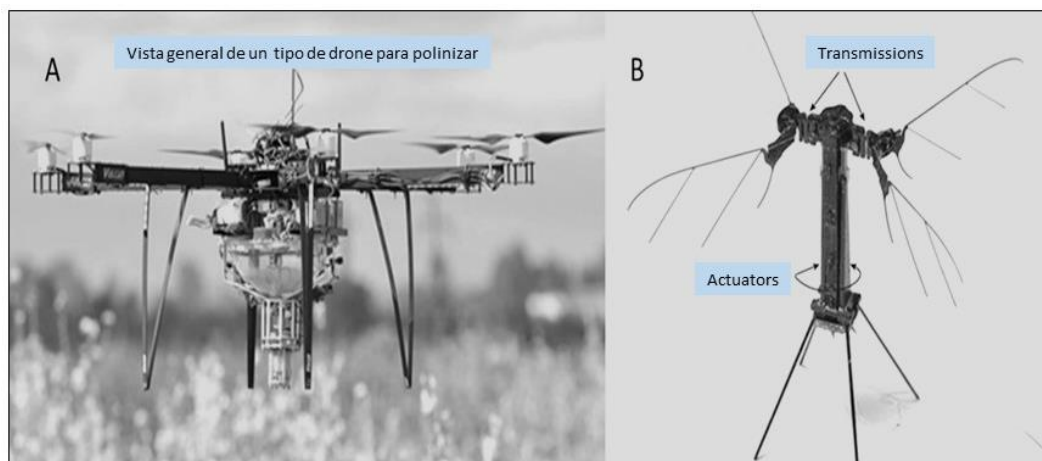


Figura 1. Modelos de equipos para polinización.

2. Origen y fundamentos de la tecnología VANTs

A pesar de que la idea de emplear VANTs es nueva, la misma, a decir de **León (2020)**, viene cobrando impulso en la agricultura, en específico en actividades relacionadas con el control de malezas, operaciones de riego y la revisión periódica de la sanidad de las plantas, algo que en el pasado se hacían exclusivamente mediante visitas repetidas a los campos de cultivo, con el consecuente empleo de mano de obra adicional. Así puede verse en **Díaz (2018)**, cuando asegura que "...los drones han incurrido en varios nichos del mercado tales como seguridad (detección y seguimiento), monitoreo fronterizo, búsqueda y rescate de personas, asistencia médica, cartografía aérea, control y prevención de incendios forestales, vigilancia, exploración, geología, agricultura de precisión". De igual forma, **Pino (2019)** afirma que el uso de los VANTs es cada vez más amplio, y su aplicación se extiende a muchos ámbitos, entre lo que se incluye el estudio y manejo de ecosistemas, por lo cual, es una excelente opción para la eficiencia del agro. De esa manera, el empleo de este tipo de vehículos emerge como un nuevo paradigma o modelo tecnológico aplicable también a la agricultura de precisión.

En lo que se refiere a actividades de polinización y fertilización, la aplicación de los VANTs y otras técnicas emerge como una opción acertada, al menos económicamente, pues con ella se consigue aumentar sustancialmente la producción, al tiempo que sirve de respuesta a la disminución de los biopolinizadores; constituyéndose de tal modo, en una tecnología vanguardista, que forma parte en el presente, de lo que determinados autores (**Chauvet & Bianco, 2019**) llaman agricultura digital, 4.0. o inteligente.

La implementación de este tipo de equipos se considera en la actualidad muy oportuna, especialmente porque se reporta una progresiva disminución de abejas polinizadoras (**Arizmendi, 2009**). Por ejemplo, **Chagas et al. (2019)** señalan pérdidas prematuras de la población de estos insectos por diversos factores, incluyendo virus que tienen un impacto significativo en las colonias.

A tales efectos, se ha logrado el diseño de los VANTs para frenar la crisis de polinización que ya se hace presente en diversos países y en determinados cultivos. Estos equipos tienen entre sus funciones la capacidad de recolectar polen y depositarlo con extraordinaria y rigurosa precisión en la flor de las plantas.

En el espectro de la tecnología actual se cuentan numerosas plataformas orientadas a las tareas agrícolas, cuyas particularidades facilitan la aplicación de compuestos agroquímicos y polen. La industria de los VANTs o drones expone diversos tipos de equipos, de los cuales, amén de sus características y funcionalidades, tienen un determinado costo. Algunos de los más comercializados con aplicaciones para polinizar son: DJI AGRAS T20, DJI AGRAS MG 1P y DJI AGRAS T16.

3. Disminución de insectos polinizadores

Desde los últimos años del pasado siglo XX se viene alertando sobre la disminución de la población de

biopolinizadores de tipo entomófilos y su capacidad polinizadora, entre los cuales destacan las abejas productoras de miel, conocidas como *Apis mellifera* y *Melipona beecheii*; así como la *Apidae bombus*; aun cuando de manera puntual, autores como **Ramos & Sánchez (2010)** encontraron que existe una tendencia al aumento de la población de la *Melipona Beecheii* en los municipios Bahía Honda y Palma, en Cuba. Igualmente, un equipo de investigadores Israelitas (**Pauly et al., 2020**) ha encontrado una nueva especie de abeja en la región litoral de aquel país, lo que se constituye en un hallazgo ante la ya referida disminución de los polinizadores entomófilos a escala mundial.

La disminución de la población de estos animales está ampliamente relacionada con actividades humanas, entre ellas la intensificación en el uso del suelo, la fragmentación de los bosques y la degradación y pérdida del hábitat (**Bos et al., 2007**), pero también al uso de agroquímicos, especialmente insecticidas en actividades agrícolas (**Goulson et al., 2015**); en ese contexto, señala **Silveira-Gramont (2018)**, que estudiosos como **Oerke (2006)** y **Albert (2015)**, coinciden en que hay un exceso de aplicación de plaguicidas en el sector agrícola, provocando degradación de tierras cultivadas y resistencia para algunas plagas.

De igual manera, **Hernández et al. (2015)**, comentan que los noticieros y periódicos de alto prestigio reportan un déficit significativo en la población mundial de las abejas debido al cambio climático y uso amplificado de productos agroquímicos en la siembra, afectando directamente a estos insectos claves en la producción de cultivos para consumo humano.

Otros investigadores como **Ramos & Sánchez (2010)** sostienen que hay factores adicionales que hacen más compleja la situación y que afectan de forma directa a las abejas, entre ellas, la escasez de su alimento, parásitos, depredadores y la deforestación e incendios forestales.

4. Experiencias y propuestas de polinización con VANTs

Históricamente han coexistido la polinización natural y la asistida de forma manual (**Abrol, 2012**). Desde la antigüedad el hombre ha empleado herramientas rudimentarias en la aplicación de polen en flores (**Yang & Miyako, 2020**); sin embargo, esos métodos tradicionales no han sido suficientes para suplir los requerimientos de polinización, sobre todo en los últimos años, donde la reducción de polinizadores entomófilos parece haberse acentuado. A raíz de esto han surgido recientemente plataformas tecnológicas modernas capaces de contribuir en la solución del problema, es decir, la disminución de polinizadores entomófilos.

La experiencia que se tiene del uso de VANTs en la polinización de cultivos no es muy extensa, especialmente por lo novedoso que aún resulta la adquisición y aplicación de estas plataformas tecnológicas, así como su elevado costo. No obstante, hay casos muy particulares en países en los que ya se ha acumulado algún historial al respecto, según se observará en lo adelante.

Tabla 1

Algunos tipos de abejas polinizadoras cuya población se encuentra en reducción

Nombre común	Nombre científico	Región o país donde se reporta la disminución	Causas de la reducción de la población	Fuente
Abeja europea	<i>Apis mellifera</i>	Tropical	Uso de pesticidas, con metales pesados, fortalecimiento y surgimiento de nuevos y viejos patógenos y parásitos, el cambio climático.	Sánchez (2018)
Abeja carpintera	<i>Xylocopa violacea</i>	Tropical	Pérdida de hábitat, cambios de usos de la tierra, enfermedades, uso de plaguicidas y cambio climático.	Reynaldi, Lucía, & García (2015)
Abejorro dorado	<i>Bombus dahlbomii</i>	Chile	Muertes prematuras causadas por el endoparásito <i>Apicystis bombi</i>	Montalva (2012)

Desde aproximadamente el año 2014, la empresa norteamericana Monsanto, líder global en bioingeniería, destinada a la producción de insumos agrícolas viene trabajando en la robótica aplicada a la agricultura. Su proyecto ha cobrado fuerza porque la abeja, principal polinizador en áreas de cultivo se encuentra en riesgo en EEUU, donde su población desciende cerca de 30% anualmente, a causa principalmente a la acción del hombre.

Igualmente, investigadores varsovianos han diseñado la primera abeja robótica para polinizar. Esta consiste en un dron tipo miniatura con capacidad de localizar flores, coleccionar su polen y transferirlo muy cuidadosamente a la otra flor para fertilizarla. Este dispositivo, después de ser exitosamente probado cobra posición como una nueva alternativa para enfrentar la reducción de la población mundial de determinados polinizadores entomófilos (Tabla 1).

No obstante, a lo anterior, queda duda si técnicamente el empleo de drones es o no, un instrumento capaz de polinizar mejor que los entomófilos.

En Japón también se han adelantado esfuerzos en torno a este tema, Chechetka et al. (2017), efectuaron un trabajo con el fin de desarrollar polinizadores innovadores con geles líquidos iónicos. Así, combinaron esta sustancia con insectos vivos y robots aéreos, como una aproximación al diseño de híbridos funcionales para polinización artificial. Más recientemente, Reghu et al. (2020), mostraron la construcción de pequeños drones, con longitud milimétrica, los mismos que pudieran tener múltiples aplicaciones en diversos campos, incluida la agricultura. Estos autores consideran que los materiales y las estrategias ideadas por ellos serían capaces de estimular nuevos diseños de insectos robóticos biológicamente activos y de extraordinario rendimiento en el tiempo por venir.

Israel se cuenta entre los países de avanzada en cuanto a la aplicación de VANTs para polinización de cultivos. De la mano de Edete Precision Technologies for Agriculture (Edete), organización creada en el año 2016 para asumir el reto de polinización artificial con alta eficiencia, está brindando excelentes servicios a productores agrícolas israelíes, extendiéndolos a otras naciones, entre ellas Estados Unidos de Norteamérica y Australia.

A raíz de la disminución de polinizadores entomófilos en los campos israelíes, se ha impulsado la creación de nuevas tecnologías orientadas a la agricultura, tales como los VANTs. Partiendo de allí, se ha logrado demostrar en

el Estado Hebreo, un aumento en el rendimiento de ciertos rubros, lo cual se constituye en una respuesta económicamente efectiva y capaz de suplir a los biopolinizadores en diferentes cultivos, entre ellos, almendras, manzanas y peras. Sin embargo, queda por precisar las posibles consecuencias que pudieran surgir a nivel medioambiental tras el uso de estos equipos, sobre todo si es que se llega a un empleo masivo y mucho más frecuente que hasta hoy día.

5. Tendencias actuales en la polinización con drones

La Tabla 2 presenta un resumen en relación con las investigaciones actuales sobre las aplicaciones de vehículos aéreos no tripulados (UVA, por sus siglas en inglés) para la polinización. Los resultados indican que las investigaciones se orientan fundamentalmente al desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial para programar rutas y dosis de aplicación óptima en la polinización mecanizada (Chen et al., 2021). Dentro de los implementos para la polinización mecanizada destacan los polinizadores eléctricos (Akhavan et al., 2020), los cuales podrían funcionar correctamente como un reemplazo de métodos tradicionales.

Las innovaciones claves de las investigaciones se centran en los materiales utilizados con la función de imitar la polinización de algunos insectos absorbiendo y transfiriendo polen (Nimmo, 2021). La polinización artificial se logra mediante el uso de material del cuerpo de otros animales, uniendo una pequeña tira de cerdas de pelo de caballo a la parte inferior del dron para imitar los cuerpos difusos de las abejas con sus propiedades electrostáticas y capacidad para recolectar polen de manera eficiente.

Como desafío a emprender en el futuro cercano, en relación con esta temática, deben considerarse los tipos de sensores adecuados para la agricultura inteligente, los requisitos potenciales para operar UAV, identificando las aplicaciones futuras en el marco de la agricultura sostenible.

Respecto al desarrollo de tecnologías para la polinización artificial con el uso de UVA, mostradas en la Tabla 3, destacan países como Estados Unidos de Norteamérica, Japón e Irán, donde se han ejecutado experimentos de campo en diversos cultivos y tecnologías para la polinización artificial, encontrado resultados prometedores en cuanto a rendimientos en las cosechas.

Tabla 2

Resumen sobre las tendencias en el uso de drones en la polinización

Método	Enfoque	Metodología	Resultado	Fuente
Algoritmo de polinización de flores (NGFPA)	Utiliza el enfoque de optimización multidimensional para planificar la ruta óptima en el vuelo de un dron con obstáculos en la trayectoria	Simulación de vuelo limitado por diversos obstáculos y consumo de combustible del UAV	El NGFPA mostró una capacidad de optimización global más fuerte que otros algoritmos	Chen et al. (2021)
Diseño y desarrollo de un polinizador eléctrico de palmera	Se diseñó un experimento de campo para evaluar 5 métodos diferentes de polinización	Se determinó las eficiencias de polinización y cuajado de frutos y el índice de consumo de polen con polinización artificial y natural	En términos generales, el polinizador introducido podría funcionar correctamente como un reemplazo del método tradicional	Akhavan et al. (2020)
Análisis crítico de las tecnologías emergentes que involucran el uso de robots para llevar a cabo la polinización de cultivos.	Analiza la efectividad de drones a microescala adaptado para absorber y depositar granos de polen	La innovación clave es el uso de material del cuerpo de otro animal, uniendo una pequeña tira de cerdas de pelo de caballo a la parte inferior del dron para imitar los cuerpos difusos de las abejas con sus propiedades electrostáticas y capacidad para recolectar polen de manera eficiente.	Este tipo de tecnología podría usarse junto con o incluso reemplazar a insectos polinizadores como abejas, moscas y polillas	Nimmo (2021)
Investigación para que los agricultores pueden usar cualquier teléfono inteligente para operar sus respectivos UAV junto con sensores agrícolas habilitados con Bluetooth Smart en el futuro.	Smart Bluetooth (también conocido como Bluetooth Low Energy) es una tecnología inalámbrica que se utiliza para transferir datos a distancias cortas. Smart Bluetooth es más económico que otras tecnologías y tiene la ventaja de estar disponible en todos los teléfonos inteligentes.	Explorar los tipos de sensores adecuados para la agricultura inteligente, los requisitos potenciales y los desafíos para operar UAV en la agricultura inteligente.	Existe tecnología Bluetooth de vanguardia que permitiría a los UAV transmitir su ubicación aérea específica para que otras embarcaciones o dispositivos similares puedan mantener un distanciamiento seguro en tiempo real.	Maddikunta et al. (2021)

6. Consecuencias medioambientales del uso de los VANTs

Aunque resulta prematuro hablar de las consecuencias medioambientales de la tecnología en análisis, no deja de preocupar el uso de los VANTs en determinados agroecosistemas, básicamente en aquellos en los que muchas especies de animales desarrollan sus ciclos vitales. Verbigracia, el acceso de VANTs a espacios poco estudiados crea dudas acerca de los posibles perjuicios que pueda acarrear.

De cualquier manera, luce pertinente una regulación específica del uso de drones en la agricultura, por cuanto hasta ahora se desconoce la influencia que tiene sobre el comportamiento de algunos animales.

Una muestra de lo expuesto sería el impacto que los VANTs causarían en la población de polinizadores naturales en los cultivos, los cuales, al observar que estos equipos se acercan hasta ellos pueden generar estrés y otras situaciones que potencialmente afecten su salud. Visto entonces desde esta perspectiva, queda en cuestionamiento la efectividad de considerar esta tecnología como respuesta ecológica acertada ante la disminución de biopolinizadores, lo cual ya ha sido alertado por **Gleadow, Hanan & Dorin (2019)**, cuando aseveran que el uso de abejas mecánicas o robóticas es una propuesta ecológicamente problemática.

Ante este último asunto, se cree conveniente llevar adelante una serie de prácticas que faciliten el aumento de la población de polinizadores entomófilos. Sobre el particular, **Altieri & Nicholls (2011)**, manifiestan que los sistemas agroforestales por ser diversificados se constituyen en una estrategia con amplias oportunidades para preservar especies polinizadoras, por cuanto provee de flores y sitios de nidificación a poblaciones de abejas silvestres.

En el mismo orden de ideas, la implementación de polinizadores no nativos es otra propuesta que se viene discutiendo desde hace unos años en el seno de la comunidad científica, específicamente acerca de sus bondades y adversidades. **Stout & Goulson (2020)**, reseñan la introducción de estos abejorros en Australia, destacando que los mismos se están extendiendo exitosamente por la geografía insular de Tasmania.

Contrariamente a lo antes planteado, **Morales (2007)**, argumentaba que los abejorros (*Bumble bees*) introducidos podrían alcanzar alta abundancia en las áreas invadidas, convertirse en competidores con especies nativas y favorecer el ingreso y transmisión de patógenos altamente perjudiciales para los polinizadores entomófilos nativos, situación reportada también por **Chagas et al., (2019)**.

Tabla 3

Principales países con desarrollo de tecnología experimental en la polinización artificial

Institución	Tecnología	Descripción	Fuente
Instituto Avanzado de Ciencia y Tecnología Industrial, AIST (Japón)	Drones-abeja que reparten burbujas de jabón cargadas de polen.	El dron autónomo tuvo una tasa de éxito del 90% desde una altura de dos metros y a una velocidad de 2 metros por segundo.	Yang & Miyako (2020)
Instituto de investigación MOP Arava (USA)	Polinización con drones en cultivos permanentes.	La polinización mejoró entre un 25% y un 60%, dependiendo del terreno, las condiciones y el tipo de cultivo.	Dropcopter (2021)
Centro y norte de Arava-Tamar I + D (Israel)	Polinización de dátiles utilizando drones.	El rendimiento de los árboles de polinización con drones fue de 100 kg en promedio, con un 90% de calidad de exportación.	Bluewhiterobotics (2021)
Cornell University, Ithaca, NY 14850, USA	Abejas melíferas equipadas con registradores de vuelo en miniatura para monitorear la actividad de polinización de los huertos.	Se avanza en el diseño de una grabadora de vuelo montada en abejas melíferas. Las dimensiones del registrador también deben ser pequeñas, ya que el área de montaje disponible en el tórax de la abeja es limitada. Se propone una grabadora de vuelo que consta de un ASIC montado en una placa de circuito impreso, que es similar en tamaño a las etiquetas de abejas convencionales de 3 mm de diámetro y 1,5 mm de alto.	Abdel-Raziq et al. (2021)

En ese mismo contexto, son ciertos los impactos de la importación de abejorros no nativos en poblaciones nativas de polinizadores, puesto que se han naturalizado y ampliado sus rangos en nuevos espacios, con la posibilidad de amenazar a polinizadores nativos, y obviamente con la consecuente introducción de nuevas patologías.

En Suramérica la situación no es distinta, recientes publicaciones (Aizen et al., 2019), sostienen que al menos en Chile, producto de la participación del comercio de estos insectos (*Bombus ruderatus* y *Bombus terrestris*) para polinización, hay evidencias de invasión de abejorros que han alcanzado incluso, espacios de la geografía de Argentina. Como parte de las consecuencias de esta penetración está el incremento en la deposición de polen al provocar una reducción significativa en la formación de pulpa en los frutos (Sáez et al., 2014).

7. Retos y desafíos de la agricultura ante la crisis de polinizadores entomófilos

Ante el acelerado aumento que ha registrado la población mundial (Evans, 2011) la agricultura debe asumir importantes desafíos para satisfacer la demanda alimentaria a escala planetaria. En ese sentido, los retos son sustantivos, pues debe procurar la solución de distintos problemas que pudieran limitar a futuro las cifras de producción agrícola.

Uno de esos retos es el combate contra el empleo indiscriminado de agroquímicos, entre ellos, herbicidas, fungicidas e insecticidas, pues ya es concluyente que el uso de estos productos es dañino para los agroecosistemas, ecosistemas en general y la población humana (Molpeceres et al., 2020), pero, además, de modo particular para los polinizadores entomófilos (Martínez, 2019).

Si aquel reto no se asume con firmeza, son ciertas las posibilidades de continuar la disminución de poblaciones de polinizadores entomófilos, lo cual, consecuentemente afectaría la producción agrícola, especialmente en aquellos lugares donde los productores tienen limitada

capacidad financiera para valerse de otras prácticas de polinización, como por ejemplo el uso de drones, del que se debe tener mucha cautela, pues hasta ahora se desconocen los efectos adversos que a nivel de ecosistemas pudiera tener.

Por otra parte, la agricultura del presente, ya en buena medida permeada por los avances de la ciencia y la tecnología, debe ser cuidadosa y abrirse paso a la búsqueda de estrategias que ayuden a mitigar en la medida de lo posible, las secuelas resultantes de la aplicación de paquetes tecnológicos, especialmente de aquellos que puedan resultar agresivos para la naturaleza, procurando siempre mantener los principios de sustentabilidad y sostenibilidad ambiental y económica. Para frenar la disminución de la población de entomófilos, así como el uso de drones en tareas de polinización, es pertinente que se asuma el desafío de emprender acciones de manera urgente, entre ellas, García & Díaz (2018) proponen manejar y domesticar polinizadores entomófilos en una amplia diversidad de lugares, todo lo cual se puede lograr con la adopción de método artificiales de domesticación y crianza y la instalación de sus colmenas en los que serán polinizadas. En este caso, el uso de percepción remota puede ser un aliado interesante, concretamente en cuanto tiene que ver con la selección de espacios en los que debe colocarse las colmenas.

Respecto a los desafíos relacionados con la proliferación de robot a microescala, los costos energéticos para los vuelos sin ataduras y hasta ahora ha presentado un obstáculo insuperable en robots del tamaño de un insecto (masa de menos de 500 miligramos y envergadura de menos de 5 centímetros (Jafferis et al., 2019).

9. Conclusiones

Los VANTs se instauran como una herramienta potencial en el campo de la agricultura de precisión, particularmente en actividades asociadas a polinización y fertilización. Existe abundante información sobre la

aplicación de VANTs en la agricultura, pero en específico para labores de polinización, no es lo mismo. Aunque la tecnología de VANTs tiene aspectos positivos, de los cuales ya se ha explicado en este documento, es pertinente realizar nuevos estudios que permitan el surgimiento de opciones diferentes, con enfoques ecológicos amigables con la naturaleza, por cuanto, señalan **Gleadow et al. (2019)**, no se sabe a precisión los efectos que sobre los ecosistemas pudiera desencadenar el uso de abejas robóticas. Por tanto, desarrollar nuevas investigaciones es tarea pendiente.

Antes de masificar el uso de los VANTs para polinización de cultivos, es necesario desarrollar una amplia y profunda investigación sobre los efectos adversos que desde el punto de vista ambiental pueda traer esta tecnología. De lo contrario, queda en suspenso la posibilidad del desencadenamiento de acciones perniciosas que atenten contra la naturaleza. Los VANTs como mecanismos de polinización artificial resultan particularmente importantes porque tienen la capacidad de actuar en condiciones ambientales muy severas, en las que polinizadores entomófilos no podrían cumplir sus funciones. Pero, además se prevé que esta tecnología ofrezca respuesta a la demanda alimentaria del futuro, debido al incremento de la población mundial en las décadas siguientes, tomando en cuenta que la misma alcanzará la cifra de aproximadamente 9 mil millones de habitantes para mediados del presente siglo.

Finalmente, el desarrollo de nuevas investigaciones en torno al uso de drones en actividades de polinización es un reto pendiente, pues de cara al futuro se requiere de mayores conocimientos que conlleven a nuevas readaptaciones de la tecnología VANTs, de forma tal, que sean superadas en el corto tiempo las desventajas y adversidades que hasta ahora implica su uso en la agricultura de precisión.

ORCID

A. de J. Montilla Pacheco  <http://orcid.org/0000-0001-9739-4971>

H. A. Pacheco Gil  <https://orcid.org/0000-0002-9997-9591>

F. R. Pastrán Calles  <https://orcid.org/0000-0001-7046-8942>

I. R. Rodríguez Pincay  <https://orcid.org/0000-0003-4271-7133>

Referencias bibliográficas

Abdel-Raziq, H. M., Palmer, D. M., Koenig, P. A., Molnar, A. C., & Petersen, K. H. (2021). System design for inferring colony-level pollination activity through miniature bee-mounted sensors. *Scientific reports*, 11(1), 1-12.

Abrol, D. P. (2012). *Pollination Biology: Biodiversity Conservation and Agricultural Production*. Chatha, India: Editorial Springer.

Aizen, M., Smith-Ramirez, C., Morales, C., Vieli, L., Sáez, A., et al. (2019). Coordinated global species-importation policies are needed to reduce the sting of serious invasions: the case of alien bumble bees in South America. *Journal of Applied Ecology* 56, 100-106.

Akhavan, F., Kamgar, S., Nematollahi, M. A., Golneshan, A. A., Nassiri, S. M., & Khaneghah, A. M. (2021). Design, development, and performance evaluation of a ducted fan date palm (*Phoenix dactylifera* L.) pollinator. *Scientia Horticulturae*, 277, 109808.

Albert, L. A. (2005). Panorama de los plaguicidas en México. *Revista de Toxicología en línea*, 8, 1-17.

Altieri, M., & Nicholls, C. (2011). El potencial agroecológico de los sistemas agroforestales en América Latina. *Eisa Revista de Agroecología*, 27(2), 32-37.

Arizmendi, C. (2009). La crisis de los polinizadores. *Biodiversitas*, 85, 1-5.

Bos, M. M., Veddeler, D., Bogdanski, A. K., Klein, A. M., Tschardtke, T., et al. (2007). Caveats to quantifying ecosystem services: fruit abortion blurs benefit from crop pollination. *Ecological Applications*, 17 (6), 1841-1849.

Bluewhiterobotics (2021). The safest, most reliable, and productive solution is our Autonomous Farm - Blue White Robotics (BWR). Available in: <https://bluewhiterobotics.com/>

Bravo-Portocarrero, R., Zela, K., & Lima-Medina, I. (2020). Eficiencia de trampas pegantes de colores en la captura de insectos de hortalizas de hoja. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 61-66.

Carpio, L. K. (2018). El uso de la tecnología en la agricultura. *Pro Sciences: Revista De Producción, Ciencias e Investigación*, 2(14), 25-32.

Chagas, D. B., Monteiro, F. L., Hübner, S. D. O., Lima, M. D., & Fischer, G. (2019). Viruses that affect *Apis mellifera* and their occurrence in Brazil. *Ciência Rural*, 49(9), 1-8.

Chauvet, M., & Bianco, M. (2019). Agricultura 4.0 ¿Es posible la coexistencia de modelos productivos? In *Mesas temáticas. ESOCITE-LALICS 2020*.

Chechetka, S. A., Yu, Y., Tange, M., & Miyako, E. (2017). Materially engineered artificial pollinators. *Chem*, 2(2), 224-239.

Chen, Y., Pi, D., & Xu, Y. (2021). Neighborhood global learning-based flower pollination algorithm and its application to unmanned aerial vehicle path planning. *Expert Systems with Applications*, 170, 114505.

Díaz, J. E. M. (2018). Seguridad metropolitana mediante el uso coordinado de Drones. *Revista Ingenierías USB Med*, 9(1): 39-48.

Dropcopter (2021). Agricultural aerial solutions. Available in: <https://www.dropcopter.com/agricultural-aerial-solutions>

Evans, D. (2011). Internet de las cosas. *Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo*. Cisco Internet Business Solutions Group-IBSG, 11(1), 4-11.

García, R. A., & Díaz, R. M. J. (2018). Reflexiones sobre el presente y futuro de la Sanidad Vegetal en España, en el marco de los retos de la agricultura. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, (301), 41-49.

Gleadow, R., Hanan, J., & Dorin, A. (2019). Averting robo-bees: why free-flying robotic bees are a bad idea. *Emerging Topics in Life Sciences*, 3(6), 723-729.

Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., & Rotheray, E. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347(6229), 1-11.

Hernández, C. V., Chimil, H. L., Serrano, L. T. C., & Franco, E. L. (2015). Dron polinizador de cultivos. Tecnologías aplicadas para alternativas sustentables. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, 1, 67-71.

Jafferis, N. T., Helbling, E. F., Karpelson, M., & Wood, R. J. (2019). Untethered flight of an insect-sized flapping-wing microscale aerial vehicle. *Nature*, 570(7762), 491-495.

León, J. L. T. (2020). Aeronaves pilotadas por control remoto, un apoyo tecnológico para el palmicultor. *Boletín El Palmicultor*, 581, 15-17.

Maddikunta, P. K. R., Hakak, S., Alazab, M., Bhattacharya, S., Gadekallu, T. R., Khan, W. Z., & Pham, Q. V. (2021). Unmanned aerial vehicles in smart agriculture: Applications, requirements, and challenges. *IEEE Sensors Journal*.

Martínez, H. J. L. (2019). Agroquímicos en Quintana Roo: Impacto en la Alimentación, Salud y Medio Ambiente. *Estudios Interculturales*, 2(9), 22-22.

Molpeceres, M. C., Zulaica, M. L., & Barsky, A. (2020). De la restricción del uso de agroquímicos a la promoción de la agroecología. *Proyección. Estudios Geográficos y de Ordenamiento Territorial*, 14(27), 160-186.

- Montalva, J. (2012). La difícil situación del abejorro más austral del mundo (*Bombus dahlbomii* Guérin-Méneville, 1835). *Boletín de Biodiversidad de Chile*, 7, 1-3.
- Morales, C. L. (2007). Introducción de abejorros (*Bombus*) no nativos: causas, consecuencias ecológicas y perspectivas. *Ecología Austral*, 17(1), 051-065.
- Nieto, M. I., Barrantes, O., Reiné, R., Frasinelli, C. A., & Frigerio, K. (2019). Estrategias de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas ganaderos bovinos extensivos del sur de San Luis, Argentina. *Revista de Investigaciones agropecuarias*, 45(3), 1-14.
- Nimmo, R. (2021). Replacing cheap nature? Sustainability, capitalist future-making and political ecologies of robotic pollination. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 0(0), 1-21.
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *J. Agric. Sci.* 144 (1):31-43.
- Pauly, A., Levy, K., Noël, G., Sonet, G., Boevé, J. L., & Mandelik, Y. (2020). *Lasioglossum dorchini* (Hymenoptera: Apoidea: Halictidae) a new species of bee from Israel. *Belgian Journal of Entomology*, 105, 1-24.
- Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia (Arica)*, 37(1), 75-84.
- Ramos, D. A. L., Sánchez, M. L. E. L., Juana, S., Lamas, I., & Lorenzo, C. J. D. (2010). Estrategia para el manejo sustentable de la abeja *melipona beecheii* en la polinización de los cultivos en la agricultura urbana. *Revista científica Avances*, 5, 1-6.
- Reghu, S., You, H., Seenivasan, K., Nishimura, S., Taniike, T., & Miyako, E. (2020). Design and Control of Bioinspired Millibots. *Adv. Intell. Syst.*, 2, 2-6.
- Reynaldi, F. J., Lucia, M., & García, M. L. G. (2015). *Ascosphaera apis*, the entomopathogenic fungus affecting larvae of native bees (*Xylocopa augusti*): First report in South America. *Revista iberoamericana de micología*, 32(4), 261-264.
- Sáez, A., Morales, C., Ramos, L., & Aizen, M. (2014). Extremely frequent bee visits increase pollen deposition but reduce drupelet set in raspberry. *Journal of Applied Ecology*, 51, 1603-1612.
- Sánchez, A. (2018). Factores que reducen la población de abejas (*Apis mellifera*) en zonas tropicales: una revisión. Trabajo de grado presentado como requisito de: para optar al título Especialista en Planeación Ambiental. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.
- Syeda, I. H., Alam, M. M., Illahi, U., & Su'ud, M. M. (2021). Advance control strategies using image processing, UAV and AI in agriculture: a review. *World Journal of Engineering*, 18(4), 579-589.
- Silveira-Gramont, M., Aldana-Madrid, M., Piri-Santana, J., Valenzuela-Quintanar, A., Jasa-Silveira, G., & Rodríguez-Olabarría, G. (2018). Plaguicidas agrícolas: Un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el estado de Sonora, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 34(1), 7-21.
- Stout, J. C., & Goulson, D. (2020). Bumble bees in Tasmania: their distribution and potential impact on Australian flora and fauna. *Bee World*, 8(80), 86.
- Yang, X., & Miyako, E. (2020). Soap Bubble Pollination. *Iscience*, 23(6), 101188.