

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

LABORATORIO INTEGRAL DE CONTROL AUTOMÁTICO

Dra. Debbie Crystal Hernández Zárate

Dra. Marybeth Flores Vázquez

“Sistema de Control para la Eliminación de Pulgón Amarillo, *Melanaphis sacchari*, en Cultivos de Maíz por medio de un Dron Parrot Bebop 2”

Proyecto

Autores:

Gerardo Domínguez Ramírez

Claudia Vanessa Dorantes Villegas

Uziel Hernández Espejo

Carlos Diego Fernández

Emmanuel Ramírez Reyes

Diciembre 2022

Resumen

[Texto]

1. Introducción

La tecnología está desempeñando su papel en la globalización y los drones presentan un uso cada vez mayor en una amplia gama de disciplinas (Nouacer et al., 2020). La gran demanda de estos dispositivos se debe a su capacidad para responder a las necesidades de las personas. La mayoría de estos brindan a los una amplia visión por medio de cámaras que se pueden activar y usar casi en cualquier lugar y en cualquier momento (Yaacoub et al., 2020). Por ello sus aplicaciones se encuentran en un amplio rango de áreas, siendo las más relevantes la salud, el ejército y la agricultura (Ayamga et al., 2021).

Las tres revoluciones industriales anteriores transformaron profundamente la industria agrícola de la agricultura autóctona a la agricultura mecanizada y la agricultura de precisión reciente (Liu et al., 2021). Los drones están creando una nueva revolución agrícola. Se estima que el tamaño de los drones en el mercado agrícola alcanzará los miles de millones de dólares en los próximos años. Como editor del informe de investigación de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y la Unión Internacional de Telecomunicaciones sobre “UAV y agricultura”, el experto en información Gerard Sylvester dijo que mientras los agricultores trabajan para adaptarse al cambio climático y enfrentar otros desafíos, se espera que los drones ayuden a todo el sector agrícola. las empresas mejoran la eficiencia (Ren et al., 2020).

Una de las afecciones más comunes en los campos de cultivo son las plagas y enfermedades que conllevan a bajos rendimientos de producción. Los agricultores se han basado tradicionalmente en métodos manuales para identificar plagas y enfermedades, lo que consume mucho tiempo y es costoso (Xing y Lee, 2022). El internet y la omnipresencia de los dispositivos móviles con cámara en drones fungen como una oportunidad para adquisición de imágenes conveniente y económica, así como el uso de modelos de aprendizaje profundo para reconocer plagas y enfermedades en el campo.

En el caso de México, los métodos agrícolas tradicionales de pequeñas parcelas trabajadas por familias y pequeñas comunidades continúan dominando en muchas regiones, especialmente en aquellas con grandes poblaciones indígenas como la Meseta Sur (Álvarez-Gordillo et al., 2018). Muchos aún subsisten gracias a la agricultura de autoconsumo y ganan dinero vendiendo los excedentes de cosecha en los mercados locales, especialmente en el centro y sur de México (Negrete et al., 2018). La automatización de la agricultura y la detección y control de riesgos a pequeña y gran escala es de colosal importancia, ya que aplicando tecnologías mecatrónicas a la agricultura ayudaría a detonar la productividad en la agricultura mexicana.

Es por ello que la presente investigación tiene como objetivo implementar la simulación de un sistema de control para la eliminación de pulgón amarillo, *Melanaphis sacchari*, en cultivos de maíz en una región del territorio mexicano. Esto con la finalidad de acelerar el proceso de identificación y reducir su costo. Se plantea simular el recorrido del dron a través del campo de cultivo realizando las capturas necesarias sin perder la trayectoria. En la Sección 2 se realiza una investigación exhaustiva de los sistemas existentes que implementan sistemas de control y realizan procesos de identificación. En la Sección 3 se explica la metodología del sistema de control junto con análisis matemático y trayectorias de exploración en el campo de cultivo. En la Sección 4 se presentan los resultados de la simulación. Y finalmente en la Sección 5 se presentan las conclusiones.

2. Antecedentes

2.1. Panorama General del Uso de Drones para el Control de Plagas

Los drones son muy útiles para detectar problemas en el campo y tomar medidas correctivas al instante. Subramanian et al. (2021) hallaron que la aplicación de drones en la agricultura se centra en aplicaciones de pesticidas con investigación centrada en cultivos de arroz (Qin et al., 2016), trigo (Wang et al., 2019), maíz (Yongjun et al., 2017), algodón (Lou et al., 2018), pimienta (Xiao et al., 2020) y caña de azúcar (Zhang et al., 2019), ya que se cultivan en áreas grandes de bloques contiguos donde la aplicación de drones es factible y legal. Además, para mejorar la eficiencia del uso de insecticidas en los cultivos, se considera que la altura de vuelo de 2 a 3 m, la velocidad de vuelo de 3 a 5 m/s, la boquilla de dos ventiladores, el UAV de cuatro rotores y la carga útil de 15 l son óptimos para realizar fumigaciones de pesticidas con drones en cultivos agrícolas.

Por otra parte, Ayamga et al. (2021) afirma que, a pesar de que existen amplias ventajas asociadas a la tecnología de drones, cada país tiene sus propias pautas regulatorias para el uso de drones en la agricultura. Se requieren aprobaciones previas de las autoridades locales para usar drones en la agricultura que, una vez obtenidas, se obtienen beneficios que incluyen una gran cobertura de área, menos cantidades de pesticidas, ahorro de mano de obra, tiempo de respuesta rápido y operación oportuna mucho antes de que la aparición de plagas exceda los niveles de umbral económico (Huang et al., 2018).

2.2. Estrategias de Control de Plagas por Medio de Drones

Debido al creciente desarrollo de la tecnología han surgido avances tecnológicos para mejorar los cultivos basados en el uso de drones como herramienta para mejorar las técnicas de producción.

En Terán-Varela et al. (2018) se estudian estrategias para determinar el uso de drones para el monitoreo geodemográfico en el sector agrícola en el municipio de Ayapango, Estado de México. La utilidad en el uso de la tecnología tiene la capacidad de proporcionar al agricultor una visión global de su parcela, ayudándolo a identificar cuáles son los mecanismos agrícolas que se pueden mejorar para ampliar la densidad de la siembra, qué tipo de fertilizantes utilizar y qué frecuencia de riego es necesaria para mejorar las cosechas. Asimismo, Montes et al. (2020) evalúa la propuesta de una Política Agroforestal de Precisión Mexicana a través llevada a cabo en una aplicación móvil donde el agricultor solicita servicios de seguimiento y fumigación con drones mediante información recopilada.

Específicamente, Negrete et al. (2018) realiza una revisión de literatura con lo que respecta a sistemas de fumigación en el mundo con ayuda de UAVs y propone el diseño de un dron fumigador a control remoto con un precio promedio de 120 a 300 USD, a diferencia de los existentes en el mercado que llegan a costar entre 670 a 800 USD para su uso en México. A pesar del costo, la principal limitante del diseño es que está unido por medio de una manguera a un tanque, lo que limita su desplazamiento.

2.3. Sistemas de Control Robusto para Drones

Uno de los obstáculos más grandes en el uso de drones para la agricultura recae en contrarrestar los efectos del viento en los espacios de campo abierto. Mokhtari et al. (2016) simulan un observador de estado extendido para estimar las perturbaciones aerodinámicas de un UAV de rotor coaxial, sin embargo, debido al alcance del proyecto, la investigación no tendrá un enfoque tan complejo. Yoon y Doh (2021) determinan los valores óptimos de ganancia proporcional-integral-diferencial (PID) que pueden estabilizar un cuadricóptero con cuatro rotores rápidamente cuando se altera su

altitud empleando un algoritmo de red neuronal. Okasha et al. (2022) evalúan el rendimiento de tres controladores alternativos en un minidron Parrot Mambo en un entorno interior, incluido el proporcional-integral-derivativo (PID), el regulador cuadrático lineal (LQR) y el control predictivo del modelo (MPC) empleando el entorno MATLAB®/Simulink™ como plataforma de simulación. Con ello y los modelos matemáticos presentes hasta la fecha es posible construir controladores más precisos y simples.

2.4. Pulgón Amarillo del Sorgo (*Melanaphis Sacchari*)

El pulgón amarillo del sorgo (*Melanaphis sacchari*) es una de las principales plagas de cultivos en México, causa daños directos como insecto chupador e indirectos por la producción de mielecilla que propicia la presencia de fumagina, lo anterior, interfiere con el proceso de la fotosíntesis en las plantas, y provoca la contaminación del grano de maíz (Pecina-Quintero et al., 2021).

Hakeem y Parajulee, 2019 describen al pulgón como una chinche con un color amarillo pálido, gris o tostado, alados o sin alas. Durante el verano, las hembras comienzan a reproducirse en una semana y viven alrededor de 25 días. Construyen sus colonias en la parte inferior de las hojas más bajas y posteriormente se trasladan a la mazorca.

Esta especie fue identificada en México, oficialmente, en febrero del 2014, en los municipios de Jiménez, Río Bravo y San Fernando en el estado de Tamaulipas. Por ello, en 2016, se introdujo el uso de agentes de control biológico por inducción o incremento, liberando en campo insectos de la familia *Coccinelidae* (catarinas) y *Chrysopidae* (crisopas o león de los áfidos), con el fin de reforzar el control biológico natural y prevenir la explosión poblacional de la plaga en campo. En 2017, se implementó una estrategia operativa, bajo un esquema de Manejo Integrado de Plagas (MIP) con la finalidad de eliminar esta plaga en diversos estados de la República, incluido Puebla (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), 2018). Identificar las características visuales específicas del insecto permite diseñar algoritmos de identificación por medio de inteligencia artificial.

3. Metodología

3.1. Modelo Matemático del Quadróptero

De acuerdo con Luukkonen (2011), la estructura del quadróptero se presenta en la Figura 1, incluyendo las velocidades angulares, torques y fuerzas accionadas por los cuatro motores. Por cuestiones de simplificación, se enumeran del 1 al 4.

La posición lineal absoluta del quadróptero se define como ξ y se mide a partir de los ejes x , y y z . Posterior a ello se define la posición angular en el marco inercial con un vector η compuesto por tres ángulos de Euler ϕ (roll), θ (pitch) y ψ (yaw). Roll determina la rotación con respecto al eje x , pitch con respecto al eje y y yaw con respecto al eje z . El vector q contiene los vectores de las posiciones lineales y angulares.

$$\xi = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}, \quad \eta = \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix}, \quad q = \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix}. \quad (1)$$

El origen del marco de referencia del cuerpo es el centro de masa del quadróptero. En el marco de referencia del cuerpo, las velocidades lineales se determinan por V_B y las velocidades angulares por ν .

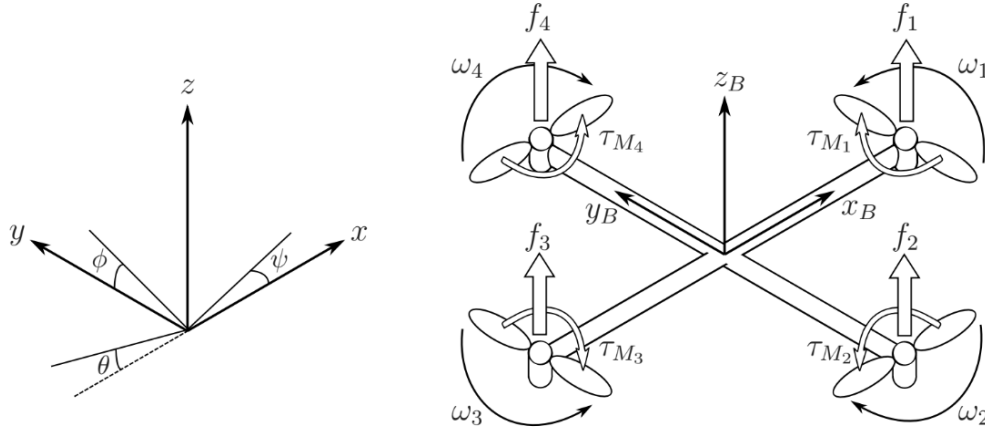


Figura 1: Diagrama de cuerpo libre de un quadróptero.

$$\mathbf{V}_B = \begin{bmatrix} v_{x,B} \\ v_{y,B} \\ v_{z,B} \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\nu} = \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}. \quad (2)$$

La matriz de rotación del marco de referencia del cuerpo al inercial está dada por:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \theta & \cos \psi \sin \theta \sin \phi - \sin \psi \cos \phi & \cos \psi \sin \theta \cos \phi + \sin \psi \sin \phi \\ \sin \psi \cos \theta & \sin \psi \sin \theta \sin \phi - \cos \psi \cos \phi & \sin \psi \sin \theta \cos \phi + \cos \psi \sin \phi \\ -\sin \theta & \cos \theta \sin \phi & \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix} \quad (3)$$

Se puede verificar que la matriz de rotación \mathbf{R} es ortogonal teniendo que $\mathbf{R}^{-1} = \mathbf{R}^T$, que corresponde al proceso inverso (matriz de rotación del marco de referencia inercial al del cuerpo). Por otra parte, la matriz de transformación de las velocidades angulares del marco de referencia inercial al del cuerpo se denota como \mathbf{W}_η . De la misma manera, la inversa de dicha matriz corresponde al proceso inverso. Por consiguiente, se obtiene que

$$\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{\eta}} &= \mathbf{W}_\eta^{-1} \boldsymbol{\nu}, & \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & \sin \phi \tan \theta & \cos \phi \tan \theta \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi / \cos \theta & \cos \phi / \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}, \\ \boldsymbol{\nu} &= \mathbf{W}_\eta \dot{\boldsymbol{\eta}}, & \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\sin \theta \\ 0 & \cos \phi & \cos \theta \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (4)$$

La matriz \mathbf{W}_η es invertible solo si $\theta \neq (2k-1)\phi/2$, ($k \in \mathbb{Z}$). Luego, debido a que se asume que el quadróptero tiene estructura simétrica con los cuatro brazos alineados con el cuerpo en los ejes x y y , el momento de inercia es la matriz diagonal \mathbf{I} donde $I_{xx} = I_{yy}$, entonces

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

La velocidad angular del motor i , denotada como ω_i , crea una fuerza f_i en la dirección del eje del motor. La velocidad angular y aceleración del rotor también crean un torque τ_{M_i} alrededor del eje del motor, teniendo que

$$f_i = k\omega_i^2, \quad \tau_{M_i} = b\omega_i^2 + I_M\dot{\omega}_i, \quad (6)$$

donde k es la constante de elevación, b es la constante de arrastre y I_M es el momento de inercia del motor. En la mayoría de los casos el efecto de $\dot{\omega}$ se considera pequeño y por ende se omite.

Las fuerzas combinadas de los motores crean la fuerza de empuje T en dirección del eje z del cuerpo. Igualmente, el torque total del cuerpo τ_B se forma con los torques de cada ángulo de Euler, siendo τ_ϕ , τ_θ and τ_ψ . Por ende,

$$\sum_{i=1}^4 f_i = k \sum_{i=1}^4 \omega_i^2, \quad \mathbf{T}^B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$\tau_B = \begin{bmatrix} \tau_\phi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} lk(-\omega_2^2 + \omega_4^2) \\ lk(-\omega_1^2 + \omega_3^2) \\ \sum_{i=1}^4 \tau_{M_i} \end{bmatrix} \quad (8)$$

donde l es la distancia entre el motor y el centro de masa del quadróptero. Debido a que este se considera un cuerpo rígido, las ecuaciones de movimiento de Newton-Euler son usadas para describir su dinámica. En el marco de referencia del cuerpo, la fuerza requerida para la aceleración de una masa $m\dot{\mathbf{V}}_B$ y la fuerza centrífuga $\boldsymbol{\nu} \times (m\mathbf{V}_B)$ son iguales a la gravedad $\mathbf{R}^T \mathbf{G}$ y la fuerza total de empuje de los motores \mathbf{T}_B , teniendo entonces que

$$m\dot{\mathbf{V}}_B + \boldsymbol{\nu} \times (m\mathbf{V}_B) = \mathbf{R}^T \mathbf{G} + \mathbf{T}_B. \quad (9)$$

En el marco de referencia, la fuerza centrífuga se vuelve cero. Por lo tanto, únicamente la fuerza gravitacional y la magnitud y dirección de la fuerza de empuje contribuyen en la aceleración del quadróptero, obteniendo que

$$m\ddot{\boldsymbol{\xi}} = \mathbf{G} + \mathbf{R}\mathbf{T}_B, \quad \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} = -g \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} + \frac{T}{m} \begin{bmatrix} \cos \psi \sin \theta \cos \phi + \sin \psi \sin \phi \\ \sin \psi \sin \theta \cos \phi - \cos \psi \sin \phi \\ \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix}. \quad (10)$$

En el marco de referencia del cuerpo, la aceleración angular del momento de inercia $\mathbf{I}\dot{\boldsymbol{\nu}}$, las fuerzas centrípetas $\boldsymbol{\nu} \times (\mathbf{I}\boldsymbol{\nu})$ y las fuerzas giroscópicas $\boldsymbol{\Gamma}$ son iguales al torque externo $\boldsymbol{\tau}$ de la siguiente manera:

$$\mathbf{I}\dot{\boldsymbol{\nu}} + \boldsymbol{\nu} \times (\mathbf{I}\boldsymbol{\nu}) + \boldsymbol{\tau}, \quad \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_{xx}p \\ I_{yy}q \\ I_{zz}r \end{bmatrix} - I_r \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \omega_\Gamma + \boldsymbol{\tau}, \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (I_{yy} - I_{zz})qr/I_{xx} \\ (I_{zz} - I_{xx})qr/I_{yy} \\ (I_{xx} - I_{yy})qr/I_{xx} \end{bmatrix} - I_r \begin{bmatrix} q/I_{xx} \\ -p/I_{yy} \\ 0 \end{bmatrix} \omega_\Gamma + \begin{bmatrix} \tau_\phi/I_{xx} \\ \tau_\theta/I_{yy} \\ \tau_\psi/I_{zz} \end{bmatrix},$$

donde $\omega_\Gamma = \omega_1 - \omega_2 + \omega_3 - \omega_4$. Este modelo es implementado en MATLAB®/Simulink™ y a continuación se explica su sistema de control.

3.2. Sistema de Control del Quadróptero

Ahora bien, para estabilizar el quadróptero se propone emplear un controlador PID cuya estructura se define como

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (12)$$

donde $u(t)$ es la salida del controlador, $e(t)$ se define como el error, es decir, la diferencia entre el estado deseado y el estado presente. Los parámetros K_P , K_I y K_D son los coeficientes proporcional, integral y derivativo que ayudarán a sintonizar el controlador PID, respectivamente. Para realizar el modelo, se debe considerar que a pesar de que se tienen seis estados, siendo estos tres posiciones y tres ángulos, se consideran únicamente cuatro entradas de control, que corresponden a las velocidades angulares de los cuatro motores. La fuerza de empuje total T afecta la aceleración en la dirección del eje z y mantiene al dron en el aire. Asimismo, los torques afectan la aceleración de los ángulos roll, pitch y yaw. Habiendo descrito esto, la propuesta del controlador se describe como

$$\begin{aligned} T &= \left[g + K_{z,P} e_z + K_{z,I} \int_0^t e_z d\tau + K_{z,D} \dot{e}_z \right] \cdot \frac{m}{\cos \phi \cos \theta} \\ \tau_\phi &= \left[K_{\phi,P} e_\phi + K_{\phi,I} \int_0^t e_\phi d\tau + K_{\phi,D} \dot{e}_\phi \right] \cdot I_{xx} \\ \tau_\theta &= \left[K_{\theta,P} e_\theta + K_{\theta,I} \int_0^t e_\theta d\tau + K_{\theta,D} \dot{e}_\theta \right] \cdot I_{yy} \\ \tau_\psi &= \left[K_{\psi,P} e_\psi + K_{\psi,I} \int_0^t e_\psi d\tau + K_{\psi,D} \dot{e}_\psi \right] \cdot I_{zz} \end{aligned} \quad (13)$$

La velocidad angular de los motores es después calculada con las Ecuaciones (7) y (8) con los valores obtenidos en la ecuación (13) de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \omega_1^2 &= \frac{T}{4k} - \frac{\tau_\theta}{2kl} - \frac{\tau_\psi}{4b} \\ \omega_2^2 &= \frac{T}{4k} - \frac{\tau_\phi}{2kl} + \frac{\tau_\psi}{4b} \\ \omega_3^2 &= \frac{T}{4k} + \frac{\tau_\theta}{2kl} - \frac{\tau_\psi}{4b} \\ \omega_4^2 &= \frac{T}{4k} + \frac{\tau_\phi}{2kl} + \frac{\tau_\psi}{4b} \end{aligned} \quad (14)$$

Este control es implementado en MATLAB®/Simulink™ junto con el modelo anterior.

4. Resultados

5. Conclusiones

Referencias

- Álvarez-Gordillo, G. d. C., Araujo-Santana, M. R., & Arellano-Gálvez, M. d. C. (2018). Alimentación y salud ante el cambio climático en la meseta comiteca en Chiapas, México. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 28(52). <https://doi.org/10.24836/es.v28i52.536>

- Ayamga, M., Akaba, S., & Nyaaba, A. A. (2021). Multifaceted applicability of drones: a review. *Technol. Forecast. Soc. Change*, 167(120677), 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120677>
- Hakeem, A., & Parajulee, M. (2019). Integrated Management of Sugarcane Aphid, *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae), on Sorghum on the Texas High Plains. *Southwest. Entomol.*, 44(4), 825-837. <https://doi.org/10.3958/059.044.0420>
- Huang, Y.-K., Li, W.-F., Zhang, R.-Y., & Wang, X.-Y. (2018). Integrated Control of Sugarcane Diseases and Pests. En *Color Illustration of Diagnosis and Control for Modern Sugarcane Diseases, Pests, and Weeds* (pp. 361-377). Springer.
- Liu, Y., Ma, X., Shu, L., Hancke, G. P., & Abu-Mahfouz, A. M. (2021). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. *IEEE Trans. Industr. Inform.*, 17(6), 4322-4334. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3003910>
- Lou, Z., Xin, F., Han, X., Lan, Y., Duan, T., & Fu, W. (2018). Effect of Unmanned Aerial Vehicle Flight Height on Droplet Distribution, Drift and Control of Cotton Aphids and Spider Mites. *Agronomy*, 8(9), 187. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090187>
- Luukkonen, T. (2011). Modelling and control of a quadcopter. *School of Science*.
- Mokhtari, M. R., Braham, A. C., & Cherki, B. (2016). Extended state observer based control for coaxial-rotor UAV. *ISA Transactions*, 61, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2015.11.024>
- Montes, O., Uribe, M., Castro, R., Villanueva, C., Pérez, M., & Lara, A. (2020). Policy forum: Proposal of a Mexican precision agroforestry policy. *For. Policy Econ.*, 119(102292). <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102292>
- Negrete, J. C., Kriuskova, E. R., Lopez-Canteñs, G. d. J., Zuñiga-Avila, C. I., & Lopez-Hernandez, G. (2018). Arduino Board in the Automation of Agriculture in Mexico, A Review. *Int. J. Hort. Sci.*, 8(6). <https://doi.org/10.5376/ijh.2018.08.0006>
- Nouacer, R., Hussein, M., Espinoza, H., Ouhammou, Y., Ladeira, M., & Castiñeira, R. (2020). Towards a framework of key technologies for drones. *Microprocess. Microsyst.*, 77(103142), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103142>
- Okasha, M., Kraleev, J., & Islam, M. (2022). Design and Experimental Comparison of PID, LQR and MPC Stabilizing Controllers for Parrot Mambo Mini-Drone. *Aerospace*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/aerospace9060298>
- Pecina-Quintero, V., Bújanos-Muñíz, R., Núñez-Colín, C. A., Quijano-Carranza, J. Á., Montes-Garcia, N., Pecina-Becerril, A., & Martínez-Martínez, T. O. (2021). Tolerancia de Híbridos de Sorgo al Pulgón Amarillo, *Melanaphis sacchari* (Zehntner), en México. *Southwest. Entomol.*, 45(4), 937-948. <https://doi.org/10.3958/059.045.0411>
- Qin, W.-C., Qiu, B.-J., Xue, X.-Y., Chen, C., Xu, Z.-F., & Zhou, Q.-Q. (2016). Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers. *Crop. Prot.*, 85, 79-88. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.03.018>
- Ren, Q., Zhang, R., Cai, W., Sun, X., & Cao, L. (2020). Application and Development of New Drones in Agriculture. *Geotech. Geol. Eng.*, 440(052041), 1-3. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/440/5/052041>
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). (2018). *Estrategia Operativa del Programa Fitosanitario contra pulgón amarillo del sorgo, 2018* (inf. téc. N.º 283581). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Coyoacán, Ciudad de México.
- Subramanian, K. S., Pazhanivelan, S., Srinivasan, G., Santhi, R., & Sathiah, N. (2021). Drones in Insect Pest Managment. *Front. Agron.*, 3(640885). <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.640885>

- Terán-Varela, O. E., Espinosa-Ayala, E., Hernández-García, P. A., González, A. L. Á., Sánchez-Gil, A., & Ruiz-González, E. I. (2018). Drones Para El Monitoreo Geodemográfico En El Sector Agrícola En El Municipio De Ayapango Estado De México. *Revista Global de Negocios*, 6(6), 61-71.
- Wang, G., Lan, Y., Qi, H., Chen, P., Hewitt, A., & Han, Y. (2019). Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. *Pest Manag. Sci.*, 75(6), 1546-1555. <https://doi.org/10.1002/ps.5321>
- Xiao, Q., Du, R., Yang, L., Han, X., Zhao, S., Zhang, G., Fu, W., Wang, G., & Lan, Y. (2020). Comparison of Droplet Deposition Control Efficacy on *Phytophthora capsica* and Aphids in the Processing Pepper Field of the Unmanned Aerial Vehicle and Knapsack Sprayer. *Agronomy*, 10(2), 215. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020215>
- Xing, S., & Lee, H. J. (2022). Crop pests and diseases recognition using DANet with TLDP. *Comput. Electron. Agric.*, 199(107144). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107144>
- Yaacoub, J.-P., Noura, H., Salman, O., & Chehab, A. (2020). Security analysis of drones systems: Attacks, limitations, and recommendations. *Internet Things*, 11(100218), 1-39. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100218>
- Yongjun, Z., Shenghui, Y., Chunjiang, Z., Liping, C., Lan, Y., & Yu, T. (2017). Modelling operation parameters of UAV on spray effects at different growth stages of corns. *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, 10(3), 57-66. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20171003.2578>
- Yoon, J., & Doh, J. (2021). Optimal PID control for hovering stabilization of quadcopter using long short term memory. *Adv. Eng. Inform.*, 52(101679). <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101679>
- Zhang, X.-Q., Liang, Y.-J., Qin, Z.-Q., Li, D.-W., Wei, C.-Y., Wei, J.-J., Li, Y.-R., & Song, X.-P. (2019). Application of Multi-rotor Unmanned Aerial Vehicle Application in Management of Stem Borer (Lepidoptera) in Sugarcane. *Sugar Tech*, 21, 847-852. <https://doi.org/10.1007/s12355-018-0695-y>