

<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/xikua/issue/archive>

XIKUA Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan
13° Congreso Internacional de Computación
Inteligencia artificial: Presente y futuro
Red Iberoamericana de Computación
Vol. 12, Número Especial (2024) 145-150

Propuesta de sistema de pulverización asistido por un VANT cuadricóptero

Proposed quadcopter UAV assisted spraying system

Maritza Echeverria-Santana ^a, René E. Cuevas-Valencia ^b, Angelino Feliciano-Morales ^c

Abstract:

The objective of this research is to propose a pesticide spraying system using a drone or Unmanned Aerial Vehicle (UAV) as a means of spraying pesticides. For its construction, low-cost and easy-to-acquire components were used. This project is focused on being used in small agricultural productions, ornamental plants and high-altitude vegetation, helping to minimize the risks of intoxication, losses and promoting precise applications. The prototype considers one liter of pesticide in its liquid form, to be distributed through two adjustable flow nozzles and medium droplets. The project suggests a methodology adapted to the needs of the development, this methodology implemented in work blocks, for a better understanding of the research. It covers all the study related to the construction of the coexisting systems, the construction of the UAV and the spray control, from the requirements, the analysis of the selection of the required components, the design, construction, programming and performance of individual tests before the final assembly.

Keywords:

Methodology, radiofrequency waves, pesticide, PWM, sprinkler control, UAV.

Resumen:

La investigación desarrollada tiene como objetivo proponer un sistema aspersor de pesticidas utilizando como medio un dron o Vehículo Aéreo no tripulado (VANT, por sus siglas en español). Para la construcción se utilizaron componentes de costo reducido y de fácil adquisición. Dicho proyecto está enfocado a ser utilizado en producciones agrícolas pequeñas, plantas ornamentales y vegetación de gran altura, que ayuden a minimizar los riesgos de intoxicación, pérdidas y promover las aplicaciones precisas. El prototipo considera un litro de pesticida en su forma líquida, para ser distribuido a través de dos boquillas de flujo regulable y gotas medianas. El proyecto sugiere una metodología adaptada a las necesidades del desarrollo, esta metodología implementada en bloques de trabajo, para una mejor comprensión de la investigación. Abarca todo el estudio relacionado con la construcción de los sistemas que coexisten, es decir, la construcción del VANT y el control de aspersión, desde los requerimientos, el análisis de la selección de los componentes requeridos, el diseño, construcción, programación y realización de pruebas individuales antes del ensamble final.

Palabras Clave:

Control de aspersión, Metodología, ondas de radiofrecuencia, pesticida, PPM, PWM, VANT.

^a Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma de Guerrero, <https://orcid.org/0009-0007-8725-4490>, Email: 22255122@gmail.com

^b Universidad Autónoma del Estado de Guerrero, <https://orcid.org/0000-0001-9528-7603>, Email: reneecuevas@uagro.mx

^c Universidad Autónoma del Estado de Guerrero, <https://orcid.org/0000-0002-7707-7319>, Email: afmorales@uagro.mx

Fecha de recepción: 25/04/2024, Fecha de aceptación: 24/05/2024, Fecha de publicación: 01/07/2024

DOI: <https://doi.org/10.29057/xikua.v12iEspecial.12845>



Introducción

La agricultura es la base de la humanidad, todas las civilizaciones han crecido gracias a su desarrollo. En la actualidad la población mundial crece aceleradamente, la Organización de Naciones Unidas (ONU), reporto que para noviembre del 2022 existían 8000 millones de habitantes y se estima que para 2052 se estará alcanzando los 9700 millones de personas ^[1].

A medida que crece la población, también aumenta la preocupación por garantizar la seguridad alimenticia. En su reporte la ONU estima que para 2030, cerca de 660 millones de personas sufrirán de hambre en el mundo ^[2]. Más de un siglo y medio de industrialización, deforestación y agricultura a gran escala han propiciado entre muchos factores el cambio climático, que ha contribuido a la escasez de alimentos ^[3].

La World Intellectual Property Organization (WIPO) en la primera edición del libro Green Technology Book: Solutions for climate change adaptation, explora alternativas innovadoras en tecnología y técnicas tradicionales que garanticen la producción de alimentos para la creciente demanda. Nuevas ciencias han aparecido para sufragar los retos alimenticios, como lo son la tecnología de los alimentos, la agricultura digital y de precisión, biotecnología agrícola, sistemas de riego de precisión, entre muchas otras ^[4].

En la agricultura inteligente se toman recursos tecnológicos como Inteligencia Artificial (AI), Internet de las cosas (IoT), robótica, Big data y drones, todo esto conlleva a una revolución de la producción alimenticia, las aplicaciones tecnológicas permiten obtener datos reales y a tiempo la salud de los cultivos y el suelo, revisar la presencia de plagas, así como garantizar la aplicación precisa de productos químicos que eviten las pérdidas de recursos, en la siembra y la cosecha, entre otros usos ^[5]. Los drones o VANT en la agricultura, son desplegados para mapear los campos donde será aplicado los pesticidas y posterior la planificación de vuelo es cargada sobre el dron aspersor para una aplicación precisa de productos químicos, ayudando a mitigar los impactos ocasionados por los componentes tóxicos, reducir costos, productos, tiempo y trabajo manual. En el mercado mexicano, DJI ^[6], es una marca dominante que incorpora la tecnología más innovadora en sus componentes físicos como lo es la impermeabilización IP67 (Grados de protección ante líquidos). En cuanto a su software está equipado con posicionamiento RTK (real time kinematics) para una aplicación precisa, cámaras duales FPV (Visión en primera persona) y AI, por todas las características anteriores el costo de adquisición se vuelve elevado.

A pesar del gran avance tecnológico que opera en la actual agricultura, en el estado de Guerrero, se mantienen arraigadas prácticas tradicionales. Esto implica el trabajador tenga una interacción directa en las actividades de siembra, aplicación de fertilizantes y combate de las plagas. La exposición con los pesticidas y los químicos utilizados, provoca en la salud efectos agudos o crónicos en las personas que los aplican, es decir intoxicaciones o en casos más graves envenenamientos ^[7], a su vez también se ponen en riesgo de sufrir picaduras de serpientes e insectos por

encontrarse en lugares donde la maleza es abundante, así como una ineficiente aplicación, otros problemas que surgen es la dificultar de llegar a áreas de difícil acceso, y cubrir espacios donde el follaje es abundante.

Este estudio pretende solucionar los problemas antes mencionados a través de una propuesta de prototipo de VANT multirroto tipo Cuadricóptero con la capacidad de realizar las actividades de pulverización pesticidas en su forma líquida, para su aplicación precisa, con un tiempo de vuelo promedio de 12 minutos y una carga útil de un litro. Dedicado para producciones pequeñas, jardines, plantas frutales de follaje alto e invernaderos. Se opto por construir el vehículo incorporando componentes electrónicos de fácil adquisición en el mercado y costos reducidos. El sistema de pulverización se controla a través de una placa Arduino uno, quien procesa las peticiones de entrada por Modulación por Ancho de Pulso (PWM) que son enviadas por la controladora de vuelo. Esta propuesta permitirá una aplicación precisa y controlada de cualquier pesticida líquido a un costo accesible.

Objetivos

El objetivo general de este proyecto es desarrollar un prototipo VANT tipo cuadricóptero con la capacidad de llevar una carga de un litro de pesticida en su forma líquida, con autonomía de vuelo promedio de 12 minutos, diseñado para realizar pulverización de químicos en producciones agrícolas pequeñas, plantas ornamentales y vegetación de gran altura.

Para el proyecto se han desprendido cuatro objetivos específicos: primero analizar los componentes electrónicos y mecánicos necesarios para el funcionamiento básico del VANT cuadricóptero. Segundo definir el diseño del prototipo. Tercero producir e implementar el sistema inteligente de control de pulverización precisa. Cuarto, generar las pruebas de operatividad del producto desarrollado.

Metodología

Para el desarrollo del prototipo se ha hecho un análisis de la teoría existente para el desarrollo de VANT's, las referencias encontradas enfocan el proyecto a una metodología del tipo SCRUM ^[8].

El desarrollo de este proyecto involucra un avance en prototipos, por lo cual, se ha incorporado las metodologías en cascada y espiral ^[9], de la figura 1. Este avance cíclico permite un desarrollo de incrementos y objetos de prueba, debido a que maneja los errores de manera controlable. El inicio de la metodología es los requerimientos del sistema y concluye con la implementación.

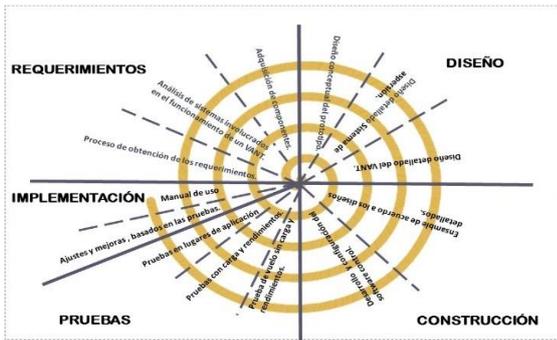


Figura 1. Propuesta de metodología de desarrollo de una VANT. Fuente: Construcción propia.

Desarrollo

El prototipo incorpora dos sistemas, control del VANT y control de pulverizado. Gracias a la naturaleza cíclica de la metodología, se desarrollan todos los pasos en cada uno de los sistemas por separado y en su acoplamiento.

Recaudación de Requerimientos Técnicos

Se requiere un prototipo de aeronave no tripulada del tipo cuadricóptero, con estructura ligera y resistente (al peso, a los líquidos, al sol o a la corrosión), el peso total de la aeronave no debe exceder los 4 kg. Con capacidad de incorporar un peso adicional de 1 litro líquido de pesticida, así como, dos boquillas para la aspersión.

En la parte de construcción. En el sistema del control del VANT se incorpora una controladora de vuelo existente en el mercado, con el objetivo de promover un ensamble ágil. Mientras tanto en el desarrollo del sistema de control pulverizado, se programará e incorporará una placa Arduino.

Componentes de los sistemas

Partiendo de los requerimientos, se ha realizado un análisis de los diversos elementos, indispensables para el correcto funcionamiento de cada sistema.

Partiendo de los datos del peso, se define como principal componente la selección de los motores. Su selección depende determina el empuje que es capaz de proporcionar y para su cálculo se utiliza la expresión matemática de la fórmula (1) [11]. Como segunda variable a considerar son los KV (revoluciones por minuto), este valor determina la velocidad de giro del motor en un minuto con proporción a los voltajes suministrados por la batería.

$$E_m = \frac{r * E_T}{\# \text{ de motores}} \quad (1)$$

Los motores seleccionados fueron genéricos, con un empuje de hasta 2kg, 750 kv y del tipo brushless.

El frame o estructura, sirve de soporte para todos los componentes del VANT. También define su tamaño. Entre sus características debe de ser de un material resistente y ligero, contener un zócalo del tamaño de los motores, así como la cantidad de los mismos [10].

Para este proyecto se toma como clase 550 mm de distancia diagonal entre sus motores, fabricado en fibra de carbono. Con un peso de 690 g. Para la impermeabilización de los dispositivos electrónicos, se optó por el diseño y fabricación de una estructura con filamento PETG (Tereftalato de polietileno modificado con glicol). Para el diseño se utilizó el software El diseño se realizó en Blender, que es un software libre y profesional dedicado especialmente a la animación, al modelado, iluminación, renderizado y creación de gráficos tridimensionales [15].

Para desplazamiento del dron, es necesario las hélices. Las características de su elección dependen, el material de fabricación, la cantidad de aspas y su tamaño. Generalmente cada motor, determina el tipo de hélice, debido que motores con limitado kv, requieren de aspas grandes y viceversa.

Debido a que los motores recomendados son sin escobillas, estos requieren de un circuito electrónico que regule la dirección y la velocidad de giro del motor, los variadores o Electronic Speed Control (ESC), cumplen con este requisito [12]. Para elegir un ESC, se recomienda que la corriente que es capaz de controlar, deba ser mayor o el doble que la requerida por los motores.

La controladora de vuelo (FC) es el cerebro encargado de la dinámica y control del VANT multirrotor. Así como de la administración de toda la electrónica necesaria para el funcionamiento [10]. En el mercado existen gran variedad, sin embargo, su elección depende de su aplicación, si el software de control es propietario o libre, así como su precio y sus funcionalidades. Para este proyecto se optó por una controladora de software libre, de la marca Pixhawk, que utiliza el firmware Mission Planner.

El control de radio recibe los comandos proporcionados por el operador en tierra, a través de una antena emisora las enviadas por ondas de radiofrecuencia a una antena receptora incorporada a bordo del vehículo, este dispositivo se encarga de transferirlas a la FC para su procesamiento [13].

Se eligió el Control Remoto Fs-i6 Flysky de 6 canales, ya que cuenta con 6 canales y rango de frecuencia de 2.4 — 2.48 GHz, permite enviar señales PWM, i-Bus, Modulación por Posición de Pulso (PPM) y control de servos.

La batería del tipo LiPo es la fuente de alimentación energética a bordo del vehículo. Es importante para su elección conocer el voltaje proporcionado es el solicitado por los motores y el resto de los dispositivos a bordo. Otro factor importante es la corriente en proporción del tiempo, es decir, la capacidad, proporciona la autonomía

requerida. La ecuación (2), permite conocer la autonomía de acuerdo, a los voltajes, motores, potencia y capacidades deseadas [11].

$$T_B = \frac{V_s * N^o \text{ celdas} * Cap_B}{P_m * N \text{ de motores}} \quad (2)$$

Partiendo del sistema de control de aspersión. La placa Arduino, contiene un microcontrolador ATmega328P, cuenta con 14 pines digitales (6 PWM), 6 pines analógicos de entrada/salida y puerto serie. Cuenta con un regulador de voltaje de entrada de 5 V [16]. Se utilizó para programación que manipulará la bomba, recibirá las lecturas del sensor de flujo y procesará las peticiones de la FC, a través de señales PWM.

Como se mencionó, el sistema requiere de una bomba, este dispositivo, permitirá obtener el agua del contenedor, y distribuirla a través de mangueras, hasta las boquillas. Su elección depende del flujo requerido por las boquillas y la cantidad de voltaje de consumo.

Analizar el tipo de boquilla de pulverización, permite determinar la cantidad y precisión del químico aplicado, además de la proporción, así como evitar problemas de perdidas por deriva, esta información ayuda a reducir gastos de una aplicación excesiva o insuficiente. En su guía de usuario [14], identifica las bases para la selección de las boquillas, el fabricante recomienda identificar el uso de la boquilla, el tipo de químico a pulverizar, el tipo de patrón que tiene la boquilla, la presión de la salida del líquido, la geometría de ubicación de los patrones y el tamaño de la gota, ya que son las nociones básicas para su selección.

Diseño de los sistemas

El diseño de los sistemas es la siguiente fase. Primeramente, se optó por el ensamble del sistema VANT. La figura 2, se observa el diagrama de conectividad entre los dispositivos utilizados (FC, receptor, módulo de telemetría, módulo de distribución de alimentación y brújula) y la configuración de conexión entre las terminales.

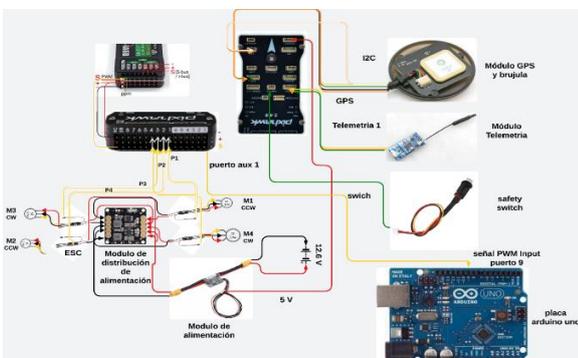


Figura 2. Esquema del VANT. Fuente: Construcción propia.

En el esquema de la figura 3, se observa la configuración del sistema de control de aspersión, partiendo del Arduino

como elemento central y controlador de todos los dispositivos.

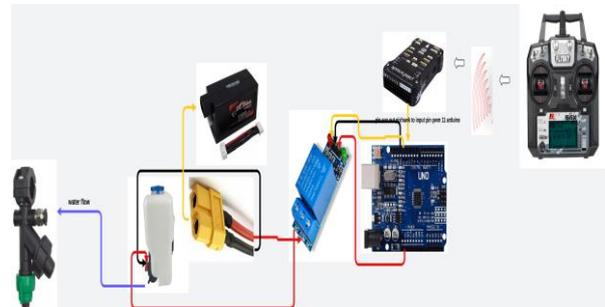


Figura 3. Ensamble del sistema de aspersión. Fuente: Construcción propia.

Ensamble y construcción de los sistemas

La grafica de la figura 4, muestra la relación entre la corriente y el voltaje consumido por los motores, lo que permitió conocer la resistencia del motor en diversas potencias.

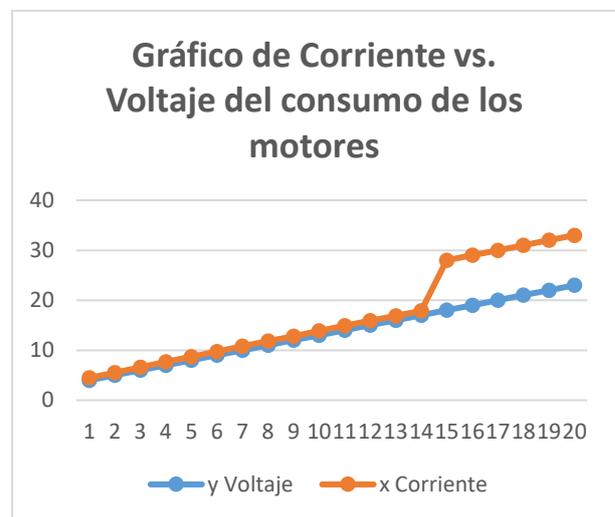


Figura 4. Relación Corriente contra peso. Fuente: Construcción propia.

Para el ensamble del VANT, armar la estructura como se muestra en la figura 5, se utilizó un nivel de burbuja, con el objetivo, de que los brazos se encontraran en la misma altura, así como se midieron distancia entre los brazos.



Figura 5. Armado de estructura. Fuente: Construcción propia.

También se realizaron las soldaduras de los ESC a sus respectivos pines del módulo de distribución de alimentación. Para determinar el giro del motor, fue necesario a partir de programación de la placa Arduino, se seleccionaba la configuración de la conexión de cables del motor con sus respectivos ESC.

Para la conexión del resto de los elementos, se utilizó el esquema de la figura 3. Mientras que, para la construcción del sistema de control de aspersión, se basó en el gráfico de la figura 4. El resultado se muestra en la figura 6, que permite apreciar el prototipo final ensamblado.



Figura 6. Ensamble de componentes. Fuente: Construcción propia.

Configuración y programación de los sistemas

Para configurar la FC, se utilizó Mission Planner, este software carga en la FC, con sus ajustes realizados. Primeramente, se descarga la versión más actualizada del Mission planner para el tipo de vehículo ensamblado. Posteriormente se calibra el acelerómetro, continua con el módulo brújula y GPS, ambos se realizan una serie de movimientos que le permiten a la controladora de vuelo obtener los datos de posicionamiento. El siguiente elemento es el reconocimiento y vinculación del radio control.

Para la programación del sistema de control de aspersión, en el IDE de Arduino se programó la lectura de las señales PWM, obtenías de la FC, a través del puerto aux 2 al pin 11 del Arduino. En la figura 7, se observa el código de control. Estas lecturas, permiten controlar el módulo relay activa o desactiva la bomba de agua.

```
Prueba_1 §
#define senalPWM 11// utilizaba el 5, pero se descont
#define relay 13
int convSenal;
int rangoSenal;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(senalPWM, INPUT);
  pinMode(relay, OUTPUT);
}

void loop() {
  delay(200);
  convSenal= pulseIn(senalPWM, HIGH);
  Serial.print("Señal recibida = ");
  Serial.println(convSenal);
  Serial.println("-----");
  rangoSenal = map(convSenal, 900,1950,1,2);
  Serial.println(rangoSenal);
  if (rangoSenal==2) {
    digitalWrite(relay, HIGH);
    Serial.println("bomba encendida");
  }else if (rangoSenal==1) {
    digitalWrite(relay, LOW);
    Serial.println("bomba apagada");
  }
}
```

Figura 7. Programación del sistema de control de aspersión. Fuente: Construcción propia.

Resultados preliminares

Los resultados obtenidos en los bloques individuales han sido satisfactorios. En la primera prueba de vuelo del VANT se conoció la respuesta de motores y de los movimientos alrededor del eje tridimensional roll, pitch, yaw, como se observa en la figura 8, logrando un vuelo de una Altura: 4 m, un Avance: 3 m, con un tiempo de un minuto de ascenso y un minuto vuelo.



Figura 8. Primer vuelo de calibración. Fuente: Construcción propia.

Se realizo un segundo vuelo, adicionando los sistemas de control de aspersión, con un peso total de 2700 gramos. El resultado fue un vuelo 1 minutos de ascenso y descenso, con una altura de Altura: 2 m, como se puede observar en la figura 9.



Figura 9 Segundo vuelo con carga. Fuente: Construcción propia.

Discusión

En el mercado existen diferentes tipos de VANT, aplicados para diversos usos, no obstante, adaptarlos para realizar una tarea adicional, puede afectar sus rendimientos. La construcción de un dispositivo VANT adaptado a las necesidades del proyecto a desarrollar, garantiza su funcionalidad y éxito. Sin embargo, su desarrollo no es una tarea sencilla, ya que implica el estudio y aplicación de diversas áreas de conocimiento, como la electrónica, programación, diseño, estructuras, entre otras. Este prototipo propuesto utilizó una controladora de vuelo, la cual cuenta con cuatro puertos para manipulación de servomotores. Se utilizó una señal PWM que se transfirió a una placa tipo Arduino uno, para ser procesada y manipular el sistema de control de aspersión. Con la anterior fusión se permitió desarrollar un VANT dedicado a la aspersión y/o riego, con una propuesta de costo inferior a los productos que actualmente se encuentran comercializando. Si bien, las pruebas aplicadas, hasta este momento solo han permitido evaluar el compartimiento del prototipo tipo VANT y como trabajo inmediato a futuro, se requiere evaluar el comportamiento con la carga adicional. Para concluir este es necesario llevar a cabo pruebas para medir los rendimientos de tiempo, avance, velocidad y calidad de la aplicación.

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento al CONAHCYT por el apoyo brindado para poder realizar esta investigación. También a la Universidad Autónoma de Guerrero, por esta oportunidad de llevar a cabo la Maestría para la Ingeniería en Innovación y Desarrollo Tecnológico. Así mismo a todos los implicados.

Referencias

- [1] Organización de las Naciones Unidas. (S.F.). Globales Población. [Internet]. Disponible en <https://www.un.org/es/global-issues/population>. [Consultado: Julio, 04, 2023].
- [2] Organización de las Naciones Unidas. (S.F.). Desafíos Globales Alimentación. [Internet]. Disponible en

- <https://www.un.org/es/global-issues/food>. [Consultado: Julio, 04, 2023]
- [3] Organización de las Naciones Unidas. (S.F.). Desafíos Globales Cambio climático. [Internet]. Disponible en <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>. [Consultado: Julio, 04, 2023].
- [4] WIPO, Green Technology Book: Solutions for climate change adaptation. Geneva: World Intellectual Property Organization, 2022.
- [5] Casafe (s.f). Agricultura Inteligente o Digital. Dos paradas de un mismo viaje - Casafe. [Internet]. Disponible <https://www.casafe.org/agricultura-inteligente-o-digital-dos-paradas-de-un-mismo-viaje/> [Consultado: julio, 30, 2023].
- [6] Go Dron Producciones (2022). Los mejores drones 2023: agricultura. [Internet]. Disponible en <https://tienda.godron.mx/los-mejores-drones-para-agricultura-2021/>. [Consultado: julio, 30, 2023].
- [7] P. Gavidia (18/04/2020) "Plaguicidas: efectos dañinos en el medio ambiente y la salud". [Internet]. Disponible <https://www.tiempo.com/noticias/actualidad/plaguicidas-medio-ambiente-y-salud.html> [Consultado: julio, 30, 2023].
- [8] G. Barragán, G. Urrea y J. A. Niño Navia, "Propuesta para la aplicación de métodos ágiles en el diseño conceptual de un dron", Ciencia y Poder Aéreo, vol. 15, n.º 2, p. 110–121, noviembre de 2020. Accedido el 30 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.671>
- [9] E. M. Uribe-Alcántara, F. Corral-Plata, E. Cruz-Chavez y J. C. Escamilla-Casas, "Desarrollo y aplicación de una metodología para la elaboración de mapas de peligro municipales por deslizamientos de terreno mediante Sistemas de Información Geográfica", Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, vol. 7, n.º 13, p. 29–34, junio de 2019. Accedido el 30 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.29057/icbi.v7i13.3439>
- [10] Fernández Bobadilla, Héctor Alberto. (2016). "Diseño, construcción y control de una aeronave tipo dron". (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/304829>
- [11] López Vicente, Edison Javier. (2021), Diseño y Construcción de un Dron rociador de fertilizantes y pesticidas con capacidad útil de carga de 5 Kg y autonomía de vuelo mínima de 8 minutos. [Tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional. <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/15090>
- [12] Santiago Bernal, Misael. (2013). Comunicación vía fibra óptica utilizando modulación de retardos ópticos como portadoras de información (Tesis doctoral). Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Tonantzintla, Puebla. Repositorio Institucional.
- [13] Inglés Gimeno, R. (2021, October 20). Modificación de dron para entrega de paquetería (Proyecto Final de Máster Oficial). UPC, Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa, Departament d'Enginyeria Electrònica. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2117/358770>
- [14] Teejet (2004). Guías del usuario de boquillas de pulverización. Wheaton, Illinois, USA. Recuperado el 21 de julio del 2023. URL: <http://www.aerocampo.com/pdf/guia-del-pulverizador.pdf>
- [15] Blender(s.f.) Introduccion. Blender Manual". Blender Documentation [blender.org](https://docs.blender.org/manual/es/dev/getting_started/about/introduction.html). [Internet]. Disponible: https://docs.blender.org/manual/es/dev/getting_started/about/introduction.html [Consultado: julio, 30, 2023].
- [16] Suárez Guedes, R. J. (2020). Blog de Tecnologías [Blog]. Recuperado de <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/rsuagued/arduino/>. [Consultado: julio, 30, 2023].