



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
FUMIGACIÓN DE BAJO COSTO CON ARQUITECTURA IOT
PARA EL DRONE DJI MATRICE 600 PRO”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES:

ANGEL ALEJANDRO BASTIDAS ARGUDO

MARLON DAVID TAPIA FARINANGO

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
FUMIGACIÓN DE BAJO COSTO CON ARQUITECTURA IOT
PARA EL DRONE DJI MATRICE 600 PRO”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES:

ANGEL ALEJANDRO BASTIDAS ARGUDO

MARLON DAVID TAPIA FARINANGO

DIRECTOR: ING. DIEGO RAMIRO ÑACATO ESTRELLA

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Angel Alejandro Bastidas Argudo, Marlon David Tapia Farinango

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Angel Alejandro Bastidas Argudo y Marlon David Tapia Farinango, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y que los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de agosto de 2023



Angel Alejandro Bastidas Argudo

060420910-6



Marlon David Tapia Farinango

100380037-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE FUMIGACIÓN DE BAJO COSTO CON ARQUITECTURA IOT PARA EL DRONE DJI MATRICE 600 PRO**”, realizado por los señores **ANGEL ALEJANDRO BASTIDAS ARGUDO** y por el señor **MARLON DAVID TAPIA FARINANGO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Luis Morales PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____	2023-11-01
Ing. Diego Ramiro Ñacato Estrella DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2023-11-01
Dr. Paúl Patricio Romero Riera ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2023-11-01

DEDICATORIA

Aunque el tiempo que compartimos juntos fue corto, el amor y la fortaleza que me has transmitido son eternos. Tu partida dejó un vacío en mi corazón, pero también me dejó con un inmenso legado de amor, valentía y perseverancia. Hoy, al mirar atrás en mi camino, veo cada paso que he dado como un tributo a tu memoria. A pesar de que ya no estás físicamente a mi lado, siento tu presencia en cada logro, en cada desafío superado y en cada sonrisa compartida. Cada vez que enfrento un nuevo obstáculo, recuerdo tus palabras de aliento y encuentro la fuerza para seguir adelante. Ingresar a estudiar Ingeniería fue un sueño compartido entre nosotros, y aunque no pudiste ver mi proceso en persona, quiero que sepas que cada logro, cada nota y cada paso hacia adelante, lo he dedicado a ti querida madre Irma Argudo. Cada vez que resuelvo un problema complicado, sé que estás sonriendo desde algún lugar, orgullosa de la persona en la que me estoy convirtiendo.

Hoy, mientras escribo estas líneas con los ojos llenos de gratitud y el corazón rebosante de amor, quiero que sepas que cada uno de mis logros, cada paso que doy hacia adelante lleva impregnado el amor de madre que me has brindado. Tu legado perdurará en cada rincón de mi vida, y siempre estarás en mis pensamientos y acciones. Te extraño profundamente, pero sé que estás conmigo en cada paso de mi viaje. Gracias por ser mi inspiración eterna, mi guía constante y mi fuente inagotable de amor. Siempre serás mi luz en la oscuridad y mi razón para seguir adelante. Con amor y gratitud infinitos.

Angel

Queridos padre Wiston Tapia y madre Sandra Farinango, a ustedes, mis pilares inquebrantables, mi gratitud no tiene límites. Su amor, apoyo y sacrificio han sido la fuerza detrás de cada paso en este camino, cada palabra escrita y cada desafío superado llevan su influencia y enseñanzas. A mis queridos hermanos Alexander, Kevin y Joao Tapia A través de nuestras risas compartidas y momentos de complicidad, ustedes han iluminado mi camino con alegría y valentía. Gracias por ser mi inspiración constante y por alentar mis sueños. Esta tesis es un tributo a nuestra unión como familia, a su amor incondicional y a las lecciones que hemos aprendido juntos. Sin ustedes, este logro no tendría el mismo significado. Con amor y gratitud eternos.

Marlon

AGRADECIMIENTO

Queridos Carmen Vallejo y Marcelo Haro, quiero expresar mi más profundo agradecimiento por ser mis padrinos y brindarme su amor y cuidado desde que era muy pequeño. Ustedes han sido un pilar fundamental en mi vida, guiándome, apoyándome y enseñándome valores que han dejado una huella imborrable en mi corazón. Cada paso que doy hacia adelante es un reflejo de su dedicación y cariño, y siempre llevaré conmigo los preciosos recuerdos de nuestro tiempo juntos. Gracias por ser mi familia en todo sentido. Mis queridos hermanos de otra madre, Juan Haro, Emilia Haro, Francisco Velastegui, mi gratitud es inmensa por siempre estar a mi lado, apoyándome en cada proyecto y compartiendo cada paso de mi viaje. Su amistad y respaldo incondicional han sido un regalo invaluable en mi vida. Siempre han estado ahí para brindar consejos, compartir risas y tender una mano cuando más lo he necesitado. Nuestra conexión va más allá de la sangre, y estoy agradecido por cada momento que hemos compartido y por su apoyo continuo en todo lo que hago. Querida María Verónica Villacrés Ramos, no hay palabras suficientes para expresar mi agradecimiento por tu presencia constante en mi vida. En los momentos difíciles, fuiste mi roca, mi confidente y mi apoyo inquebrantable. Tu amor y dedicación me han dado la fuerza para enfrentar los desafíos más difíciles y celebrar los momentos más felices. Siempre has estado a mi lado, brindándome tu amistad sincera y tu comprensión. Eres un faro de luz en mi vida, y cada logro que alcanzo es en parte gracias a tu constante aliento y amor de madre hacia mi persona. A todos ustedes, les debo mi gratitud eterna. Sus contribuciones a mi vida son invaluable, y cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi corazón. Que este agradecimiento sincero refleje la profundidad de mi aprecio por todo lo que han hecho por mí.

Angel

Hoy quiero tomarme un momento para expresar un sincero agradecimiento hacia mí mismo, porque sé que el camino que he recorrido para completar esta carrera ha sido un viaje lleno de desafíos, determinación y perseverancia. A lo largo de esta travesía, has enfrentado obstáculos, superado momentos difíciles y te has mantenido firme en tu objetivo. Gracias por tu dedicación incansable, por cada hora de estudio, por cada sacrificio y por cada vez que decidiste levantarte cuando las circunstancias parecían abrumadoras. También quiero agradecer a mi apreciada familia, cuyo constante apoyo y motivación han sido esenciales en la consecución de mi sueño. También, quiero reconocer a los valiosos amigos que he tenido el privilegio de conocer durante este período, cuya compañía y aliento

han iluminado mi camino. Por último, quiero extender mi gratitud a los distinguidos docentes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, quienes han desempeñado un papel fundamental en mi formación, compartiendo su sabiduría y guía, y contribuyendo significativamente a mi desarrollo académico y personal. Estoy profundamente agradecido por todas estas influencias que han enriquecido mi vida y me han permitido llegar hasta este momento de logro.

Marlon

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
RESUMEN.....	xix
SUMMARY	xx
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema	4
1.3 Sistematización del problema	4
1.4 Justificación teórica.....	4
1.5 Justificación aplicativa	4
1.6 Objetivos.....	5
1.6.1 <i>Objetivo general</i>	5
1.6.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
1.7 Metodología.....	5
1.7.1 <i>Métodos teóricos</i>	5
1.7.1.1 <i>Sistematización</i>	5
1.7.1.2 <i>Análisis y síntesis</i>	6
1.7.1.3 <i>Métodos cuantitativos</i>	6
1.7.2 <i>Técnicas</i>	6
1.7.2.1 <i>Encuesta</i>	6
CAPÍTULO II	

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	7
2.1	Agricultura en el Ecuador	7
2.2	Agricultura de precisión	7
2.3	Cultivos de maíz.....	8
2.3.1	<i>Etapas del cultivo de maíz</i>.....	8
2.4	Población agrícola en Chimborazo	9
2.5	Sistemas de fumigación	9
2.5.1	<i>Tipos de sistemas de fumigación</i>.....	9
2.5.1.1	<i>Fumigación manual</i>.....	9
2.5.1.2	<i>Afectaciones a la salud</i>.....	10
2.5.1.3	<i>Fumigación aérea</i>.....	10
2.5.1.4	<i>Afecciones a la salud</i>.....	11
2.6	Tipos de aspersión	11
2.6.1	<i>Aspersión aérea</i>.....	11
2.6.2	<i>Aspersión terrestre</i>.....	12
2.6.3	<i>Aspersión dirigida</i>.....	12
2.7	Tamaño de la gota pulverizada	12
2.7.1	<i>Diámetro Volumétrico Medio (DVM, DV_{0,5})</i>.....	12
2.7.2	<i>Diámetro Numérico Medio (DNM)</i>.....	13
2.7.3	<i>Factor o coeficiente de Dispersión (FD)</i>.....	13
2.8	Tarjetas hidro sensibles.....	13
2.9	Drones aplicados a la fumigación.....	14
2.9.1	<i>Drones fumigadores comerciales</i>.....	14
2.9.1.1	<i>Drone Dji Agras T30</i>.....	14
2.9.1.2	<i>Drone Dji Agras T40</i>.....	15
2.9.1.3	<i>Drone DJI Matrice 600 Pro</i>	15
2.9.2	<i>Características de drones</i>.....	16
2.9.2.1	<i>Drone DJI Agras T30</i>.....	16
2.9.2.2	<i>Drone DJI Agras T40</i>.....	17
2.9.2.3	<i>Matrice 600</i>	17
2.10	Generación de rutas de vuelo	17
2.10.1	<i>Pix4D</i>.....	17

2.10.2	<i>DJI Ground Station Pro</i>	18
2.10.3	<i>Comparativa entre Pix4D y DJI Ground Station Pro</i>	19
2.11	Plataformas IoT	19
2.11.1	<i>Ubidots</i>	19
2.11.2	<i>Node Red</i>	20
2.11.3	<i>Thing Speak</i>	20
2.12	Protocolos de comunicación IoT	21
2.12.1	<i>Protocolo MQTT y AMQP</i>	21
2.13	Sensores	22
2.13.1	<i>Sensores de voltaje</i>	22
2.13.2	<i>Tipos de sensores de voltaje</i>	22
2.13.2.1	<i>Sensor de voltaje FZ0430</i>	22
2.13.2.2	<i>Sensor de voltaje Zmpt101b</i>	23
2.13.2.3	<i>Sensor de voltaje y corriente Max471</i>	23
2.13.2.4	<i>Comparación entre FZ0430, Zmpt101b y Max471</i>	24
2.13.3	<i>Módulo relé</i>	24
2.13.4	<i>MP1584</i>	24
2.13.4.1	<i>Características del módulo MP1584</i>	25
2.13.5	<i>Sensores de nivel</i>	25
2.13.5.1	<i>Sensor ultrasónico</i>	25
2.13.5.2	<i>Sensor de nivel de agua ZPCI flotador en ángulo</i>	26
2.13.5.3	<i>Sensor flotador nivel de agua switch de acero inoxidable</i>	26
2.13.6	<i>Comparación de sensores de nivel</i>	27
2.14	Tarjetas de desarrollo	27
2.14.1	<i>Raspberry Pi 4</i>	28
2.14.2	<i>ESP 32</i>	28
2.14.2.1	<i>Comparación de tarjetas de desarrollo Raspberry Pi 4 y ESP32</i>	29
2.15	Micro bombas hidráulicas	29
2.15.1	<i>Bomba de diafragma DC micro PLD-1206</i>	29
2.15.2	<i>Características de la bomba de diafragma DC micro PLD-1206</i>	30
2.16	Baterías	30
2.16.1	<i>Tipos de baterías</i>	30
2.16.1.1	<i>Baterías de LiFe</i>	30

2.16.1.2	<i>Baterías de Niquel-Cadmio</i>	31
2.16.1.3	<i>Batería de Litio</i>	31
2.16.2	Comparación entre baterías	32
2.17	Material en la construcción de la estructura	32
2.18	Tiempo de vaciado del tanque	33
2.19	Aspersores	33
2.20	Tamaño de la muestra	34

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	35
3.1	Requerimientos del dron fumigador	35
3.2	Concepción general del sistema de fumigación	35
3.3	Módulo de generación y envío de datos	36
3.4	Módulo de control y actuación	36
3.5	Módulo de visualización	37
3.6	Diseño mecánico del dron fumigador	37
3.6.1	<i>Diseño del tanque</i>	37
3.6.1.1	<i>Diseño de la forma del tanque</i>	37
3.6.2	<i>Tiempo de vaciado</i>	38
3.6.2.1	<i>Cálculo del volumen</i>	38
3.6.3	<i>Diseño de placas rompeolas</i>	38
3.6.4	<i>Sistema de fumigación</i>	39
3.7	Diseño electrónico del dron fumigador	40
3.7.1	<i>Descripción de los elementos utilizados</i>	40
3.7.1.1	<i>ESP32</i>	40
3.7.1.2	<i>Sensor FZ0430</i>	40
3.7.1.3	<i>Sensores de nivel ZPCI</i>	40
3.7.1.4	<i>Batería de Litio</i>	41
3.7.1.5	<i>Bomba de diafragma DC micro PLD-1206</i>	41
3.7.2	<i>Descripción y esquemas de conexión del dron fumigador</i>	41
3.8	Diseño del software para el dron fumigador	43
3.8.1	<i>Programación en la ESP32</i>	44

3.8.2	<i>Modo de Operación</i>	45
3.8.2.1	<i>Manual</i>	45
3.8.2.2	<i>Automático</i>	45
3.8.3	<i>Programación en Node-Red</i>	45
3.8.3.1	<i>Publicación de mensajes hacia Topics por MQTT</i>	46
3.8.3.2	<i>Suscripción a topics de MQTT</i>	46
3.8.4	<i>Interfaz gráfica en Node-Red</i>	47
3.9	Cálculo del tamaño de la muestra	47

CAPÍTULO IV

4.	Resultados	48
4.1	Prueba de latencia	48
4.1.1	<i>Hipótesis</i>	49
4.1.2	<i>Análisis de datos</i>	49
4.1.3	<i>Validez de las hipótesis</i>	49
4.2	Prueba de comparación para el tiempo de vaciado	50
4.2.1	<i>Hipótesis</i>	51
4.2.2	<i>Análisis de datos</i>	52
4.2.3	<i>Validez de la hipótesis</i>	52
4.3	Prueba de generación de rutas	52
4.3.1	<i>Primera prueba</i>	53
4.3.2	<i>Segunda prueba</i>	53
4.4	Prueba de tiempo de autonomía de las baterías	54
4.4.1	<i>Hipótesis</i>	55
4.4.2	<i>Análisis de datos</i>	55
4.4.3	<i>Validez de la hipótesis</i>	56
4.5	Prueba del tamaño de la gota	56
4.5.1	<i>Diseño en campo</i>	56
4.5.2	<i>Tamaño de gota y número de impactos</i>	57
4.5.3	<i>Número de impactos</i>	58
4.5.3.1	<i>Resultado y análisis</i>	58
4.5.4	<i>Diámetro volumétrico medio (DVM)</i>	58
4.5.5	<i>Resultado y análisis en la bomba de mochila</i>	58
4.6	Análisis del estudio de mercado	58

4.6.1	<i>Pregunta 1: ¿Qué nivel tiene de conocimiento sobre drones fumigadores?</i>	59
4.6.2	<i>Pregunta 2: ¿Cree usted que un drone fumigador reduciría enfermedades asociadas a la fumigación?</i>	59
4.6.3	<i>Pregunta 3: ¿Qué tan difícil cree usted que es el manejo de un drone fumigador?</i>	60
4.6.4	<i>Pregunta 4: ¿Qué tan accesible cree usted que resulta el adquirir un drone fumigador para trabajos en la localidad?</i>	61
4.6.5	<i>Pregunta 5: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por un drone fumigador tomando en cuenta los beneficios que este genera?</i>	61
4.6.6	<i>Pregunta 6: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar para alquilar un drone fumigador por una hora de trabajo?</i>	62
4.7	Interpretación de los datos.....	63
	CONCLUSIONES.....	64
	RECOMENDACIONES.....	65
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Características del Dron DJI Agras T30.....	16
Tabla 2-2:	Características del Dron DJI Agras T40.....	17
Tabla 3-2:	Características del Dron DJI Matrice 600 Pro.....	17
Tabla 4-2:	Comparación entre Pix4D y DJI Ground Station Pro.....	19
Tabla 5-2:	Comparación entre FZ0430, Zmpt101b y Max471	24
Tabla 6-2:	Características del módulo MP1584.....	25
Tabla 7-2:	Comparación de características de los sensores de nivel.....	27
Tabla 8-2:	Comparación de características de las tarjetas de desarrollo Raspberry Pi 4 y ESP32.....	29
Tabla 9-2:	Características de las bomba PLD-1206.....	30
Tabla 10-2:	Comparación entre la batería de LiFe, Niquel-Cadmio y Litio	32
Tabla 1-4:	Datos para la prueba de latencia	48
Tabla 2-4:	Análisis de datos para la prueba de latencia	49
Tabla 3-4:	Datos comparando la fumigación manual vs drone fumigador	50
Tabla 4-4:	Análisis de datos para la prueba de vaciado del tanque	52
Tabla 5-4:	Datos para la prueba de la autonomía de las baterías	54
Tabla 6-4:	Análisis de datos para la prueba de autonomía de baterías	55
Tabla 7-4:	Resultados de la lectura de las tarjetas según tratamientos	57
Tabla 8-4:	Resultados de la primera pregunta	59
Tabla 9-4:	Resultados de la segunda pregunta.....	60
Tabla 10-4:	Resultados de la tercera pregunta	60
Tabla 11-4:	Resultados de la cuarta pregunta	61
Tabla 12-4:	Resultados de la quinta pregunta.....	62
Tabla 13-4:	Resultados de la sexta pregunta.....	62

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Cultivo de maíz.....	8
Ilustración 2-2:	Etapas del cultivo de maíz	8
Ilustración 3-2:	Equipo de fumigación manual	10
Ilustración 4-2:	Avioneta fumigando	11
Ilustración 5-2:	Aspersión aérea.....	11
Ilustración 6-2:	Aspersión terrestre	12
Ilustración 7-2:	Ruta para fumigación dirigida	12
Ilustración 8-2:	Lugar de llegada de gota según su tamaño	13
Ilustración 9-2:	Drone DJI Agras T-30	15
Ilustración 10-2:	Drone DJI Agras T-40	15
Ilustración 11-2:	Drone DJI Matrice 600 Pro.....	16
Ilustración 12-2:	Interfaz de trabajo en la aplicación Pix4D	18
Ilustración 13-2:	Interfaz de trabajo en la aplicación Ground Station Pro	18
Ilustración 14-2:	Interfaz principal de Ubidots	20
Ilustración 15-2:	Interfaz principal de Node Red.....	20
Ilustración 16-2:	Interfaz de trabajo de Thing Speak	21
Ilustración 17-2:	Sensor de voltaje FZ0430	22
Ilustración 18-2:	Sensor de voltaje Zmpt101b	23
Ilustración 19-2:	Sensor de voltaje y corriente Max471	23
Ilustración 20-2:	Módulo relé.....	24
Ilustración 21-2:	Módulo MP1584.....	25
Ilustración 22-2:	Sensor de nivel ultrasónico	26
Ilustración 23-2:	Sensor de nivel de agua ZPC1	26
Ilustración 24-2:	Sensor flotador de nivel de agua switch de aceroZPC1	27
Ilustración 25-2:	Tarjeta de desarrollo Raspberry Pi.....	28
Ilustración 26-2:	Tarjeta de desarrollo ESP32.....	29
Ilustración 27-2:	Bomba DC micro PLD-1206	30
Ilustración 28-2:	Batería de LiFe.....	31
Ilustración 29-2:	Batería de Niquel-Cadmio	31
Ilustración 30-2:	Procesos de carga y descarga de la batería de Litio	32
Ilustración 31-2:	Creación del triplex.....	33

Ilustración 32-2:	Aspersor	34
Ilustración 1-3:	Concepción general del drone fumigador	36
Ilustración 2-3:	Diagrama de bloques del primer módulo	36
Ilustración 3-3:	Diagrama de bloques del segundo módulo	37
Ilustración 4-3:	Diseño sólido del tanque	38
Ilustración 5-3:	Diseño de una placa rompeolas	39
Ilustración 6-3:	Tentativa de colocación del tanque	39
Ilustración 7-3:	Estructura de la placa ESP32	40
Ilustración 8-3:	Estructura del sensor FZ0430	40
Ilustración 9-3:	Sensor ZPC1	41
Ilustración 10-3:	Batería de Litio	41
Ilustración 11-3:	Bomba PLD-1206	41
Ilustración 12-3:	Esquema de conexiones del drone fumigador	42
Ilustración 13-3:	Placa diseñada para conexiones	43
Ilustración 14-3:	Placa diseñada en 3D para conexiones	43
Ilustración 15-3:	Diagrama de flujo del ESP32	44
Ilustración 16-3:	Diagrama de flujo del Node-Red	46
Ilustración 17-3:	Interfaz en Node-Red	47
Ilustración 1-4:	Primera prueba de forma horizontal	53
Ilustración 2-4:	Drone fumigador siguiendo la ruta establecida	53
Ilustración 3-4:	Generando la ruta a seguir para el drone fumigador	53
Ilustración 4-4:	Ruta de vuelo para drone fumigador	54
Ilustración 5-4:	Tarjetas colocadas a 15 cm de la sujeción de varillas de metal	56
Ilustración 6-4:	Diagrama de diseño experimental	56
Ilustración 7-4:	Tamaño de gota y número de impactos	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4:	Primera prueba	49
Gráfico 2-4:	Tiempo de vaciado drone fumigador vs fumigación manual	51
Gráfico 3-4:	Área fumigada del drone fumigador vs fumigación manual	51
Gráfico 4-4:	Tiempo de trabajo vs área fumigada para forma manual	52
Gráfico 5-4:	Autonomía de las baterías del drone fumigador.....	55
Gráfico 6-4:	Resultado de la primera pregunta.....	59
Gráfico 7-4:	Resultado de la segunda pregunta	59
Gráfico 8-4:	Resultado de la tercera pregunta.....	60
Gráfico 9-4:	Resultado de la cuarta pregunta.....	61
Gráfico 10-4:	Resultado de la quinta pregunta	611
Gráfico 11-4:	Resultado de la sexta pregunta	622

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** CERTIFICADO 1 DE VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE FUMIGACIÓN
- ANEXO B:** CERTIFICADO 2 DE VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE FUMIGACIÓN
- ANEXO C:** ENCUESTA UTILIZADA EN EL ESTUDIO DE MERCADO

RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular trata sobre el diseño e implementación de un sistema de fumigación de bajo costo con arquitectura IoT para el drone dji Matrice 600 pro, el mismo que va a ser controlado y monitoreado a través de una interfaz creada en una plataforma IoT, en este caso Node-Red. Para la realización del prototipo se ha utilizado diferentes tipos de metodologías como la teórica, sistematización, de análisis y síntesis, finalmente la metodología de carácter cuantitativo ya que se observa en la planta los resultados. El prototipo está conformado por tres módulos como son el de generación y envío de datos, el módulo de control y actuación y finalmente se tiene el módulo de visualización de la información. Una vez desarrollado el sistema de fumigación y adaptado al drone Matrice 600 pro se le sometió a pruebas que ayuden a validar su funcionamiento en donde se tomó el tiempo de latencia a diferentes distancias, la comparación del tiempo de vaciado del tanque con respecto a una bomba de mochila tomando en cuenta el área cubierta, se tomó información sobre la autonomía de las baterías, una prueba sobre la generación de rutas para que el drone fumigador genere su ruta de trabajo y finalmente se realizó pruebas para observar el tamaño de la gota que se asperjó utilizando tarjetas hidro sensibles para posteriormente analizar los datos obtenidos. Finalmente se puede concluir que la utilización de este drone fumigador va a beneficiar de gran manera a los trabajadores y dueños de plantaciones ya que se fumiga en menor tiempo y el recubrimiento a la planta es el óptimo.

Palabras clave: <PLATAFORMA IOT>, <NODE-RED>, <DRONE>, <INTERFAZ>, <TARJETAS HIDROSENSIBLES>, <METODOLOGÍA CUANTITATIVA>, <AUTONOMÍA DE BATERÍAS>.



[Handwritten signature]
1763-DBRA-UPT-2023

SUMMARY

The present curricular integration research project focuses on designing and implementing a low-cost fumigation system with IoT architecture for the DJI Matrice 600 Pro drone, which will be controlled and monitored through an interface created on an IoT platform, in this case, Node-Red. Various methodologies have been employed to develop the prototype, including theoretical, systematization, analysis and synthesis, and, finally, a quantitative methodology, as the results are observed in the plant. The prototype consists of three modules: the data generation and transmission module, the control and actuation module, and finally, the information visualization module. Once the fumigation system was developed and adapted to the Matrice 600 pro drone, it was subjected to tests to help validate its operation where the latency time was taken at different distances, the comparison of the tank emptying time concerning a pump backpack sprayer taking into account the covered area, information was collected regarding battery autonomy, a test was conducted on route generation for the fumigation drone to create its work path. Finally, tests were carried out to observe the size of the sprayed droplets using hydro-sensitive cards for subsequent data analysis. Finally, it is concluded that using this fumigation drone will greatly benefit workers and plantation owners as it allows for faster fumigation and ensures optimal coverage of the plants.

Keywords: <IOT PLATFORM>, <NODE-RED>, <DRONE>, <INTERFACE>. <HYDRO-SENSITIVE CARDS>, <QUANTITATIVE METHODOLOGY>, <BATTERY AUTONOMY>.



Lenin Iván Lara Olivo
0602546103

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de integración curricular trata sobre el diseño e implementación de un sistema de fumigación de bajo costo con arquitectura IoT para el Drone DJI Matrice 600 pro el mismo que está distribuido en cinco capítulos los mismo que son: capítulo 1 como el diagnóstico del problema, dentro del capítulo 2 se hablará sobre el marco teórico, para el capítulo 3 se detalla el marco metodológico, en el capítulo 4 estará el análisis e interpretación de resultados y finalmente en el capítulo número cinco se habla sobre las conclusiones y las recomendaciones que se obtuvieron una vez finalizado el trabajo.

Para el primer capítulo se abarca diferentes puntos que servirán para dar comienzo al desarrollo del tema que se ha planteado, dentro de donde se encuentran los antecedentes brevemente estudiados, el planteamiento del problema, una justificación teórica, la justificación aplicativa, los objetivos que se pretenden alcanzar una vez que este trabajo se termine y finalmente se hablará sobre la metodología utilizada.

En el segundo capítulo se plantea lo que es el marco teórico, el mismo que es una revisión bibliográfica de todos los componentes que van a estar presentes en el sistema de fumigación, su arquitectura y características necesarias para seleccionar la mejor opción teniendo en cuenta las condiciones necesarias. Además, que sirve como un preámbulo para que el lector se familiarice con lo que se va a hablar en el documento.

Dentro del tercer capítulo se abordan puntos muy importantes sobre lo que tiene que ver con el diseño y desarrollo del drone fumigador como la creación de la interfaz en Node-Red, la construcción de la placa PCB que contiene el sistema de control y por último el diseño y construcción de la estructura que forma parte del sistema de fumigación como son el tanque, aspersores, bomba, etc.

Para el cuarto capítulo, una vez integrado el sistema de fumigación al Drone DJI Matrice 600 se desarrolló un análisis del funcionamiento para lo cual se le realizó diferentes pruebas, las mismas que una vez finalizadas, ayudaron a dar validez al dispositivo.

Finalmente, como quinto y último capítulo se plantearán las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron al momento de finalizar el trabajo de integración curricular.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se expone información relacionada con el tema desarrollado, el origen del problema, importancia y alcances a tomar en cuenta para su desarrollo.

1.1 Antecedentes

Según (CHIRA, y otros, 2021) en su trabajo de titulación habla de una propuesta para la utilización de drones para mejorar la productividad en procesos de fumigación de cultivos de arroz IR-43 en la empresa Semillas Piuranas S.A.C. La Arena - 2021 en donde se habla sobre cómo se mejoró el proceso de fumigación en dicha empresa ya que anteriormente se la venía realizando de forma manual con bombas que cargaban 20 litros y pesaban 5.3 kg lo que generaban un gasto en mano de obra adicional y pérdida de tiempo.

Según (DIAZ VILLAGRAN, 2018), en su trabajo de titulación habla sobre un diseño y construcción de un dron para la aplicación en la detección de plagas y fumigación en el cultivo de café en el estado de Chiapas ya que este tiene como principales actividades económicas el turismo, el comercio, la prestación de servicios, la manufactura, la ganadería, la agricultura y la pesca. La agricultura se ha considerado una práctica con un auge importante en zonas rurales y siendo Chiapas el mayor productor de café en México además los drones son utilizados en diferentes sectores y una aplicación con más potencial para estos es la agricultura de precisión; de esta derivan varias actividades principales como son el uso óptimo de fertilizantes, detección temprana de enfermedades y plagas en cultivos, supervisión de áreas fumigadas, indicadores de calidad en cultivos. Los riegos, tratamientos sanitarios y fertilizaciones se realizan en las zonas afectadas con base a la información obtenida en tiempo real.

Para (ALVAREZ HUAMAN, 2019) en su trabajo de titulación propone el diseño de un sistema autónomo para fumigación aérea, donde su objetivo general es diseñar un sistema de fumigación aérea, se da a conocer datos investigativos acerca del avance de esta aeronave no tripulada, utilidades de estos equipos tecnológicos entre otras novedades que han servido de gran ayuda en las tareas agrarias.

Para (TOMALA CHIMBO, 2022) en su trabajo de titulación habla sobre un ensayo experimental realizado en el cantón Milagro. El objetivo general fue evaluar la efectividad de la fumigación con drones y avionetas en la siembra de banano William para el manejo de la Sigatoka Negra en plantones de 3 metros. Se utilizó un experimento de bloques completamente al azar, considerando dos franjas de 50 metros de ancho y 2000 metros de largo (15 ha). En cada uno de estos lotes, se

realizó una selección aleatoria de 30 árboles jóvenes de 3 metros de altura para evaluar las variables dependientes. A los efectos de este estudio, los tratamientos basados en dos modalidades de aplicación de fungicidas para el control de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*), utilizando drones y aeronaves tipo turbo, crean dos enfoques. Las variables estudiadas son: hojas rayadas, tasa de quema de hojas, cobertura de fungicidas y análisis económico de tratamientos. Los resultados mostraron que en las variables de la hoja sin rayas y la tasa de quemado de la hoja, las medias fueron comparables, lo que redujo los síntomas anteriores en las plantas.

Para (MANZANO VILLAFUERTE, y otros, 2019) indica en su trabajo de Titulación, Sistema autónomo de pulverización para fumigación de plantaciones de frutilla asistido por un drone, con el objetivo común de montar un sistema de fumigación automática para plantaciones de fresa, analizando el proceso de tratamiento de desinfección de plantaciones de fresa, las características técnicas de los drones para el sistema de fumigación automática y diseño de interfaz de control remoto. Por lo tanto, se puede decir que el uso de mochilas o bombas de mochila para desinfectar las plantaciones de fresa se realiza a una altura de 10-20 cm de cada follaje, dando una cobertura de aspersion del 90%, lo que se considera excesivo para abastecer adecuadamente Sin embargo, los valores de aspersion debido a que los prototipos realizados en esta investigación indican una tasa de cobertura del 50%, porcentaje recomendado para el tratamiento de fumigación esterilización en plantaciones de fresa.

Con base en la investigación, se puede demostrar que es extremadamente importante intentar pausar la actividad humana cuando se realizan saunas manuales, lo que puede causar intoxicación, cáncer, etc. En sitios agrícolas comerciales donde se manejan muchos acres de cultivos. La altitud de vuelo del dron se determina en relación a la anchura a la que aparece el sistema de inyección, aproximadamente a 2 metros del punto de despegue, ya que este sistema de inyección está formado por dos toberas uniformes espaciadas 0,15 metros, produce un barrido activo de 1.15 metros a una tasa de 1 metro por segundo, tasa que se dice que causa una cobertura del 50% de la aspersion a 40 gotas por cm^2 , uso de mochila o máquina El bombeo de mochila se realiza a una altura de 10-20 cm de cada follaje, asegurando un rango de pulverización del 90%, que es excesivo y peligroso para la salud humana. Es por esto por lo que se decidió plantear el siguiente tema de investigación referente al desarrollo de un prototipo de sistema de inyección para drones de bajo costo.

1.2 Planteamiento del problema

¿Se puede implementar un sistema de fumigación con arquitectura IoT para el dron DJI MATRICE 600 Pro mediante una plataforma remota de bajo costo?

1.3 Sistematización del problema

- ¿Cuál sería la mejor comunicación para la recepción y transmisión de datos hacia la plataforma remota?
- ¿Se puede analizar la mejor ruta de vuelo tomando en cuenta variables como la capacidad del tanque y el tiempo de vuelo del dron?
- ¿Cuál será el mejor sistema para pulverizar el líquido a fumigar en el cultivo?
- ¿Es posible realizar un control de nivel en el tanque contenedor del fumigante?
- ¿Se puede controlar la apertura y cierre del atomizador?
- ¿Qué tan accesible es para el agricultor promedio implementar este tipo de dispositivos?

1.4 Justificación teórica

En la actualidad se puede observar como la tecnología está presente en todos los procesos que las personas desarrollan con el objetivo de facilitarlos, es decir, desarrollarlos en menos tiempo y con una reducción significativa en los gastos de producción.

En el campo de la agricultura durante mucho tiempo se ha realizado muchos procesos de forma manual como son la fumigación, el cultivo, el riego, etc. Este trabajo estará destinado hacia una actividad en específico como es el de la fumigación, esta se la ha venido realizando de una forma que vincula el uso de bombas manuales que los trabajadores debían cargar y fumigar, esta técnica genera dolores de espalda en las personas que lo realizan además de que es un proceso demorado y si las plantaciones son muy extensas se debe contratar más personal generando un gasto extra.

Se ha desarrollado drones que están destinados para la fumigación que hacen un buen trabajo, pero el costo es muy alto por lo tanto un agricultor promedio no puede adquirirlo es por eso por lo que se ha determinado este problema, por lo cual se ha planteado la forma de crear un sistema de fumigación de bajo costo implementado en un dron.

1.5 Justificación aplicada

A continuación, se muestra un diagrama esquemático sobre el trabajo que va a cumplir el proyecto a desarrollarse, adicionalmente se explicará la forma de funcionamiento que tendrá este prototipo.

Se tiene un dron DJI Matrice 600 pro en el cual estará implementado el sistema de fumigación, este sistema va a contar con sensores para el nivel de líquido fumigante en el tanque los mismos que serán alto y bajo. Adicional a la lectura de la cantidad de líquido se tendrá un sensor de voltaje para medir el porcentaje de carga de las baterías del dron y de la batería que alimentará el sistema de fumigación.

La lectura de estos sensores será procesada por una placa controladora de donde a través de una comunicación entre el sistema de fumigación y la estación remota, se podrá adquirir los datos a una plataforma como lo es IOT para la lectura en tiempo real de las variables. Una vez que el dron ha comenzado su trabajo de fumigación va a existir dos modos de fumigación los mismos que serán automático y manual. En el modo automático se configurará el nivel de apertura del aspersor y este se mantendrá fijo durante todo el trabajo mientras que en el modo manual se podrá ir modificando el porcentaje de apertura de los aspersores desde la interfaz remota

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de fumigación con arquitectura IoT para el drone DJI MATRICE 600 Pro.

1.6.2 Objetivos específicos

- Diseñar una plataforma remota que permita el monitoreo del sistema de fumigación.
- Controlar el sistema de atomización mediante una interfaz inalámbrica.
- Analizar la mejor ruta de fumigación optimizando el tiempo de vuelo comparado con la capacidad del tanque.
- Realizar un estudio de mercado sobre la factibilidad económica del uso de este dispositivo.

1.7 Metodología

1.7.1 Métodos teóricos

Se planea utilizar métodos teóricos en la investigación de publicaciones, libros, documentación de sitios web entre otros con el fin de que el proyecto tenga información relevante al momento de desarrollar el prototipo.

1.7.1.1 Sistematización

Obtener información bibliográfica y experimental que permita el desarrollo de la implementación del tema propuesto.

1.7.1.2 Análisis y síntesis

Se utilizan para producir resultados que ayudan a sacar conclusiones y luego hacer recomendaciones sobre los temas presentados.

1.7.1.3 Métodos cuantitativos

Las estrategias para recopilar datos cualitativos resultan especialmente valiosas en contextos donde la información histórica no está presente, y no involucran cifras ni operaciones matemáticas.

La investigación cualitativa guarda una estrecha relación con las expresiones lingüísticas, los sonidos, las percepciones, las sensaciones, las tonalidades y otros aspectos que no se pueden medir numéricamente. Estos enfoques se fundamentan en la experiencia, la evaluación subjetiva, la intuición, las hipótesis, las emociones, entre otros elementos.

1.7.2 Técnicas

1.7.2.1 Encuesta

La encuesta es una técnica que consiste en aplicar un cuestionario a una muestra de personas. Las encuestas proporcionan información sobre las opiniones, actitudes y comportamientos de los ciudadanos.

Las encuestas se aplican a la necesidad de contrastar una hipótesis o descubrir una solución a un problema, y de identificar y explicar, de la forma más metódica posible, un conjunto de evidencias a las que se pueda dar respuesta para cumplir los objetivos planteados.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En el siguiente capítulo se ha abordado toda la teoría correspondiente al tema propuesto para la creación del dron fumigador como primer punto se habla sobre la agricultura de precisión, los tipos de sistemas de fumigación y los problemas relacionados con estos. Se habla también sobre los diferentes tipos de drones fumigadores existentes en el mercado, como parte de este capítulo también están los elementos que forman parte del sistema como son los sensores y la comunicación que se empleó.

2.1 Agricultura en el Ecuador

Cabe decir que el uso de la tecnología hoy en día es una realidad preocupante en la agricultura ecuatoriana, sobre todo para los pequeños y medianos productores que no tienen acceso al uso de las TIC y herramientas tecnológicas, y solo en determinados casos. mecanizan la tierra para sus cultivos, lo que significa que gran parte de la agricultura ecuatoriana no tiene acceso a las herramientas de información y tecnología que les permitan desarrollar un mejor proceso para planificar y producir los cultivos de sus siembras (CARPIO, 2018).

2.2 Agricultura de precisión

La agricultura de precisión utiliza las TICS para mejorar la gestión de la tierra y cultura, también utilizan tecnologías de información espacial como sistema de posicionamiento global y sistema de información geográfica para levantar la topografía de la tierra cultivable. La agricultura de precisión es una de las áreas de actividad de la teledetección, porque las actividades agrícolas requieren la adquisición, transformación e interpretar grandes cantidades de datos, con precisión, de área. Se basa en la teledetección para una gestión eficiente de los recursos en el lugar correcto y en el momento adecuado, evitando pérdidas económicas y productividad. En Ecuador, la implementación de la agricultura de precisión es muy baja en actividades bananeras, florícolas y azucareras, pero perspectivas de su adopción gradual. Se trata de hacer el trabajo agricultura, tales como fertilizantes, malas hierbas, control de plagas, gestión del agua, captación y otros, según condiciones específicas lotes componen un área de producción, mientras que la integración de datos conservación del clima y del medio ambiente, con el objetivo de lograr los mejores resultados alta producción, al menor costo, ya que la entrada es requisito estricto de las plantas, en cada segmento de suelo (GUATO FERNÁNDEZ, 2019).

La agricultura de precisión en Ecuador se utiliza principalmente en las empresas dedicadas a la floricultura, empresas bananeras y también en el campo de las azucareras. Los procesos que están

siendo controlados son el riego automatizado, control de plagas, la fumigación entre otros. Para lo cual se están usando como herramienta de trabajo a los drones debido a su facilidad para su manejo y además que pueden realizar acciones más controladas generando mayor eficiencia.

2.3 Cultivos de maíz

Todas las plantas de maíz crecen de la misma manera. Sin embargo, el tiempo entre las etapas de crecimiento puede variar dependiendo del tipo maíz, su fecha de siembra, su ubicación, la altitud a la que se ubicó el maíz, etc. Normalmente, el maíz de alto rendimiento tiene un ciclo de cultivo desde la siembra hasta la cosecha de 215 a 270 días (YANEZ, 2013).



Ilustración 1-2: Cultivo de maíz

Fuente: (YANEZ, 2013).

2.3.1 Etapas del cultivo de maíz

(YANEZ, 2013) Manifiesta que el ciclo del cultivo en variedades mejoradas llega hasta los 270 días; sin embargo, el periodo depende de la variedad y del propósito, si es para choclo o grano seco.

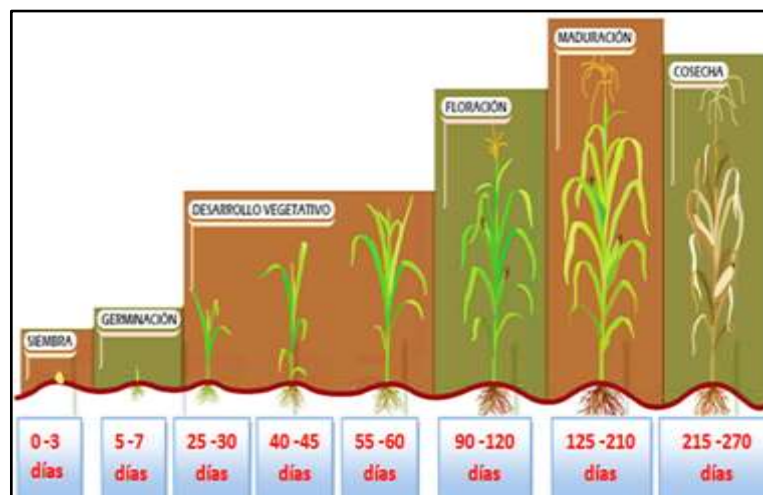


Ilustración 2-2: Etapas del cultivo de maíz

Fuente: (YANEZ, 2013).

2.4 Población agrícola en Chimborazo

Según datos obtenidos por el Banco Central del Ecuador en el 2018, en la provincia de Chimborazo el cultivo de cereales es la primera fuente de ingresos, ubicando al maíz como uno de los productos más sembrados con un registro de 6.683 hectáreas cosechadas anualmente.

Los datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) juntamente con el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) en el 2019 muestran que existen registradas un número de 224 asociaciones de agricultores en toda la provincia.

2.5 Sistemas de fumigación

En la gama de sistemas de esterilización se pueden encontrar dos tipos, el mismo es el de aplicación manual del líquido de fumigación y el tipo estacionario es el motorizado. En primer lugar, el método manual, tiene un depósito de líquido con una capacidad máxima de 20 litros, tiene una cámara de presión muy importante por lo que hay que revisarla constantemente para evitar fugas. Una barra de ventosa actuará como un émbolo. Si bien se ha mencionado el método más antiguo, ahora se nombrará un método un poco más evolucionado que presenta mejoras notables a la hora de realizar esta operación, ya sea con motor o estática.

Este método consiste en depositar el líquido en un recipiente al que se le aplica presión, con el objetivo de asegurar que las gotas se distribuyan uniformemente en la misma distancia y tengan un tamaño homogéneo, gracias a una boquilla de ajuste. Su función principal radica en agilizar el proceso de riego, o en algunos casos, pulverizar distintos tipos de líquidos, como agua, fertilizantes y productos fitosanitarios (plaguicidas) para combatir diversas plagas (ESPITIA ROMERO, y otros, 2022).

2.5.1 Tipos de sistemas de fumigación

2.5.1.1 Fumigación manual

Se usa al aire libre, es una mochila que se lleva en la espalda del trabajador. Como se puede observar en la ilustración 3-2, es de accionamiento manual para lograr la presión aplicada y cuenta con un conducto externo para la dosificación de la mezcla o caldo. Es muy utilizado en el campo agrícola, en el mercado existen diferentes capacidades desde 10 litros hasta 30 litros, pero se sugiere el tipo de 15 litros para no sobrecargar a los trabajadores al momento de aplicar la mezcla en la plantación (MOLINA PUMA, 2016).



Ilustración 3-2: Equipo de fumigación manual

Fuente: (MOLINA PUMA, 2016).

2.5.1.2 Afectaciones a la salud

La salud de los trabajadores está decayendo paulatinamente debido a la toxicidad de los pesticidas que conducen a enfermedades respiratorias debido a la inhalación de gases tóxicos liberados durante el ahumado de productos que contienen estos químicos; Además, se han presentado casos de alergias en la piel como enrojecimiento, hinchazón e infecciones fúngicas provocadas por el contacto directo con productos químicos por no aplicar las normas de seguridad adecuadas y no llevar ropa o equipos de protección adecuados para este tipo de trabajo (MEDINA AGUILAR, y otros, 2009).

Los efectos tóxicos producidos por los plaguicidas son de absorción y efecto distintos, se pueden absorber rápidamente por vías respiratorias y por la piel causando afectaciones al sistema nervioso a nivel enzimático, efectos negativos en el sistema endocrino, además de ser potencialmente mutágenos y suelen acumularse en el tejido graso, aunque la absorción cutánea es baja, esta produce reacciones alérgicas y dermatitis (PLENGE TELLECHEA, 2007).

2.5.1.3 Fumigación aérea

La fumigación aérea implica la dispersión desde el aire de una cantidad reducida de insecticida sobre zonas habitadas por mosquitos, típicamente utilizando una aeronave, como se observa en la Ilustración 2-4. En los Estados Unidos continentales, la fumigación aérea ha sido empleada durante largo tiempo en circunstancias donde existe la amenaza de enfermedades humanas graves que demandan el control de las poblaciones de mosquitos.



Ilustración 4-2: Avioneta fumigando

Fuente: (BORNACELY L., 2010)

En la fumigación aérea, las aeronaves agrícolas son aeronaves construidas o convertidas para su uso en la agricultura, generalmente para rociar pesticidas (desinfectantes) o fertilizantes (fertilizantes) en el aire y se utilizan para sembrar semillas en el agua. Los aviones agrícolas más comunes son aviones de ala fija, como Air Tractor, Grumman AG Cat, PAC Fletcher o Rockwell Thrush Commander, pero también se utilizan helicópteros (AMORTEGUI DIAZ, 2014).

2.5.1.4 Afeciones a la salud

El uso excesivo de productos químicos como la nematicidas, fungicidas, herbicidas y plaguicidas utilizados por la fumigación aérea en el plátano, la palma y el cacao son malos para la salud humanos, causando enfermedades como dermatitis, trastornos musculoesqueléticos neoplasias malignas, enfermedades respiratorias crónicas, envenenamiento, asma, alergias, cáncer, problemas hepáticos y renales ya que estas avionetas hacen sus fumigaciones en zonas pobladas ocasionando problemas en zonas pobladas.

2.6 Tipos de aspersión

2.6.1 Aspersión aérea

La fumigación aérea es el uso de aeronaves para rociar glifosato u otros herbicidas desde el aire sobre cultivos ilegales previamente identificados. En Colombia, esta forma de fumigación se ha presentado en el contexto de la política antidrogas del país y los compromisos internacionales para la reducción de cultivos ilícitos (SIABATO ROMERO, 2018).



Ilustración 5-2: Aspersión aérea

Fuente: (SIABATO ROMERO, 2018).

2.6.2 *Aspersión terrestre*

Es el acto de dispersar una sustancia en gotitas muy finas que hace el operador a través de un dispositivo rociador, también conocido como rociado manual (MEDINA ROCHA, 2017).



Ilustración 6-2: Aspersión terrestre

Fuente: (AYALA SANTILLÁN, y otros, 2016).

2.6.3 *Aspersión dirigida*

El término "rociado dirigido" se refiere a una técnica de aplicación específica de un pesticida o químico en la que el producto se aplica de manera selectiva y precisa en áreas específicas donde se han identificado altas densidades de plagas o donde se necesita un control más específico. Esto reduce el uso generalizado de plaguicidas y minimiza el impacto sobre el medio ambiente y otros organismos no objetivo (AYALA SANTILLÁN, y otros, 2016).



Ilustración 7-2: Ruta para fumigación dirigida

Fuente: (CARBONELL, 2022).

2.7 Tamaño de la gota pulverizada

2.7.1 *Diámetro Volumétrico Medio (DVM, $DV_{0,5}$)*

Es el diámetro de la gota que divide el volumen rociado en dos partes iguales. Este parámetro determina la cantidad de agua para riego según el tamaño de la gota, determinando su destino, por encima o por debajo de la planta; Si la plaga está en la capa superior, se necesitan gotas grandes, mientras que, si la plaga está en la capa inferior, se necesitan gotas pequeñas.

Los tamaños de gota se clasifican de la siguiente manera (LAURIC, 2019):

- Muy delgado (menos de 100 μ)
- Fino (100 a 200 μ)
- Vehículo (200 a 300 μ)
- Grueso (300 a 400 μ)
- Muy grueso (más de 400 μ).

2.7.2 *Diámetro Numérico Medio (DNM)*

Es el diámetro de gota que divide a la población total de gotas formadas, en dos mitades numéricamente iguales (LAURIC, 2019).

2.7.3 *Factor o coeficiente de Dispersión (FD)*

Aquí está la relación entre los dos anteriores: DVM/DNM , determina la uniformidad de la gota pulverizada. Cuanto más estrecha sea la relación o más cercana a 1, mayor será la uniformidad del tamaño de las gotas. Si el objetivo se controla justo por encima o por debajo de la planta, entonces se requiere uniformidad de tamaño y si está por encima y por debajo, se requiere la irregularidad de las gotas, es decir, gotas grandes y gotas pequeñas (LEIVA, 2011).

Cobertura cm^2 es un indicador del grado esperado de cobertura del blanco con el líquido pulverizado y se expresa en densidad de gotas por cm^2 (LEIVA, 2011).

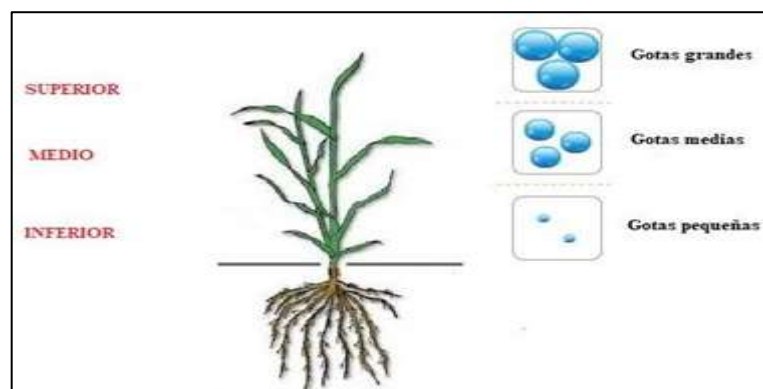


Ilustración 8-2: Lugar de llegada de gota según su tamaño

Fuente: (LEIVA, 2011).

2.8 Tarjetas hidro sensibles

El mapa sensible al agua es una herramienta con la que se pueden realizar recuentos imp cm^{-2} de forma manual (con lupa), comparándolos con el mapa analizado o utilizando programas informáticos cuyos resultados pueden ser los siguientes parámetros: impacto cm^{-2} , diámetro

volumétrico medio, cobertura, diámetro numérico medio, amplitud relativa, coeficiente de dispersión, DV0.1, DV0.9, eficiencia. Estos programas han sido desarrollados para acelerar y perfeccionar este importante paso en la aplicación de agroquímicos (BARONE, 2019).

2.9 Drones aplicados a la fumigación

Durante los últimos años se ha observado como los drones aplicados a la agricultura de precisión han ido ganando espacio en el sistema agrícola del país por lo tanto muchos organismos públicos y también privados se han visto en la necesidad de capacitar a la población en el manejo de estas nuevas técnicas ya que se garantiza una reducción significativa en las pérdidas durante la producción.

La precisión del dron minimiza el uso de pesticidas, reduciendo así el impacto de los pesticidas en el medio ambiente. Además, previene daños a cultivos cercanos, áreas protegidas o personas que puedan estar hospedadas en la misma propiedad o en ciudades cercanas. Ejemplo: El uso de pesticidas en esta tecnología puede entregar hasta 20 bloques por hora sin huella de carbono y ahorrar hasta 50 litros de agua (MINTA REINO, 2022).

Los drones tienen una ventaja que es la de tener una dispersión mucho más amplia comparándola con la que genera un método tradicional de mochila, a su vez el que se genera por el vehículo no tripulado es también más grande logrando esparcir más líquido en la tierra.

Ubicado debajo de las hélices del dron, permite la aplicación de pesticidas directamente en todos los niveles del cultivo. Esto es posible gracias al fuerte flujo de aire generado por las aspas, lo que hace que cada grifo sea muy eficiente. La principal ventaja de los drones es que, equipados con cámaras multiespectrales u otros sensores, pueden recopilar información sobre cultivos que los agricultores no pueden detectar a simple vista (MINTA REINO, 2022).

2.9.1 Drones fumigadores comerciales

2.9.1.1 Drone Dji Agras T30

Con una revolucionaria tecnología de enfoque de ramas y un brazo ajustable, el Agras T30 penetra árboles gruesos con un rociado oblicuo, asegurando una aplicación uniforme de pesticidas líquidos y duplicando el número de pequeñas cantidades de gotas. Usando la agricultura inteligente basada en la nube y el mapeo basado en la nube, use la cámara para la gestión de granjas digitales en 3D, lo que facilita el inicio de la agricultura digital (DJI, 2022).

A continuación, en la Ilustración 9-2 se muestra la forma que tiene el dron DJI Agras T30 aplicado para fumigación.



Ilustración 9-2: Drone DJI Agras T-30

Fuente: (REYES ORTIZ, 2022).

2.9.1.2 Drone Dji Agras T40

El AGRAS T40 combina funciones de mapeo, rociado y dispersión, mientras que su cámara UHD y cardán ajustable facilitan la captura de la escena que desea. Se pueden capturar imágenes de tierras de cultivo y huertos en tiempo real y se pueden crear mapas locales usando el control remoto con la estación móvil D-RTK 2. Muestra los límites y obstáculos de la tierra, para una planificación de vuelo fácil y rápida a través de tierras de cultivo y huertos (DJI, 2022).

Para tener conocimiento sobre la estructura que posee este drone se ha adjuntado la Ilustración 10-2 en donde se puede observar el drone Agras T-40 mientras realiza su trabajo de fumigación.



Ilustración 10-2: Drone DJI Agras T-40

Fuente: (REYES ORTIZ, 2022).

2.9.1.3 Drone DJI Matrice 600 Pro

El Drone Matrice 600 Pro es un drone fumigador muy sencillo que en pocos minutos puede estar listo para volar ya que es cuestión de ensamblar sus piezas y está listo para su uso, su fuselaje asegura una gran facilidad al momento de poderlo desplazar hacia otros lugares ya que cuenta con los brazos (lugar en donde van colocados los motores con las aspas) plegables para que al momento de guardarlo solo sea cuestión de zafar los seguros que los mantiene firme y se coloca

en su lugar, además el tren de aterrizaje no es fijo sino que se lo puede desarmar y guardar y al momento de llegar al lugar en donde se lo va a utilizar solo se lo debe volver a armar. Los motores aseguran que se puedan utilizar durante un extenso periodo de tiempo ya que cuentan con enfriamiento activo.

Este dron ha sido creado con el objetivo de ser utilizado en temas de fotografía, pero al contar con amplias características se ha optado con adaptarlo para trabajos más complejos como es el caso de la fumigación (DJI, 2022).



Ilustración 11-2: Drone DJI Matrice 600 Pro

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

2.9.2 Características de drones

2.9.2.1 Drone DJI Agras T30

En la tabla 1-2 se ha tomado varias características de un dron en específico como es el DJI Agras T-30 el mismo que es un producto comercial que ya se encuentra presente en el mercado.

Tabla 1-2: Características del Dron DJI Agras T30

Variable	Valor
Dimensiones de la aeronave	2,858 mm × 2,685 mm × 790 mm
Cantidad de baterías de vuelo	1 batería.
Peso máximo de despegue	30 kg
Ángulo de inclinación máximo	15°
Velocidad máxima de ascenso	7 m/s
Velocidad máxima de descenso	10 m/s
Velocidad máxima (sin viento)	8 m/s
Capacidad de baterías	29000 mAh
Voltaje en baterías	51.8 V
Temperatura de funcionamiento de baterías	5° a 40° °C
Frecuencia de operación	2400 GHz a 2483 GHz
Precio (dólares)	17677,60

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

2.9.2.2 Drone DJI Agras T40

A continuación, se va a detallar las principales características de trabajo para este dron en específico para lo cual se ha creado la tabla 2-2 con sus variables y valores.

Tabla 2-2: Características del Dron DJI Agras T40

Variable	Valor
Dimensiones de la aeronave	2800 mm × 3150 mm × 780 mm.
Cantidad de baterías de vuelo	1 baterías.
Peso máximo de despegue	50 kg
Ángulo de inclinación máximo	25°
Velocidad máxima de ascenso	5 m/s
Velocidad máxima de descenso	3 m/s
Velocidad máxima (sin viento)	18 m/s
Capacidad de baterías	30000 mAh
Voltaje en baterías.	59 V
Temperatura de funcionamiento de baterías	14° a 104° F
Frecuencia de operación	2400 GHz a 2483 GHz
Precio (dólares)	30000

Fuente: (DJI, 2022).

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

2.9.2.3 Matrice 600

En la tabla 3-2 se puede apreciar algunas de las características básicas presentes en el dron DJI Matrice 600 pro como son sus dimensiones, cantidad de baterías de vuelo, peso máximo de despegue, etc. Estas características serán de mucha importancia al momento de implementar el sistema de fumigación.

Tabla 3-2: Características del Dron DJI Matrice 600 Pro

Variable	Valor
Dimensiones de la aeronave	1668mm x 1518mm x 759 mm.
Cantidad de baterías de vuelo	6 baterías.
Peso máximo de despegue	15.1 kg
Ángulo de inclinación máximo	30°
Velocidad máxima de ascenso	5 m/s
Velocidad máxima de descenso	3 m/s
Velocidad máxima (sin viento)	3 m/s
Capacidad de baterías	4500 mAh
Voltaje en baterías.	22.2 V
Temperatura de funcionamiento de baterías	0° a 40° C
Frecuencia de operación	2400 GHz a 2483 GHz
Precio (dólares)	6617.33

Fuente: (DJI, 2022).

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

2.10 Generación de rutas de vuelo

2.10.1 Pix4D

Es un software que procesa imágenes obtenidas mediante mapeo por drones y dispositivos móviles. Mediante el uso de algoritmos de última generación y técnicas avanzadas de

procesamiento de imágenes, genera nubes de puntos altamente detalladas, modelos digitales de superficie y ortologías utilizadas en el campo de la ingeniería y la fotografía. También tiene una gama de dispositivos de recopilación de datos que incluyen cámaras y sensores que complementan el software (CLOUD PIX4D, 2023).

Pix4D tiene la capacidad de generar las rutas de vuelo según los requerimientos del usuario para lo cual se adapta al espacio de terreno como se observa en la ilustración 12-2 en donde se observa la interfaz de trabajo de la aplicación en donde se ha establecido un terreno para un vuelo dirigido.

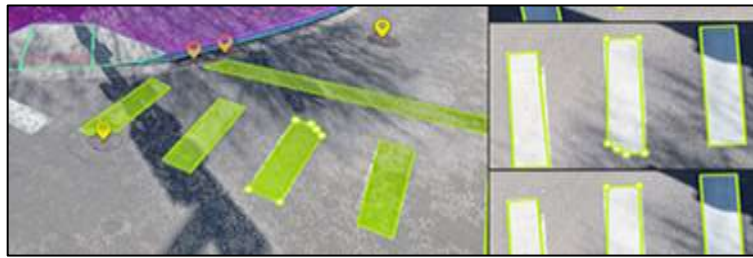


Ilustración 12-2: Interfaz de trabajo en la aplicación Pix4D

Fuente: (CLOUD PIX4D, 2023).

2.10.2 DJI Ground Station Pro

GS Pro (también conocida como Ground Station Pro) es una aplicación diseñada para el control y planificación automatizada de vuelo de aeronaves DJI, especialmente diseñada para dispositivos iPad. Su interfaz es clara y concisa, permitiendo la planificación de misiones de vuelo de gran complejidad con tan solo unos pocos clics. GS Pro ejecuta automáticamente la captura de imágenes en puntos de referencia previamente definidos, proporcionando la precisión necesaria para un mapeo sumamente exacto. Esto, a su vez, amplifica de manera significativa la eficiencia en diversas aplicaciones industriales, incluyendo, entre otras, fotografía aérea, arquitectura, agricultura de precisión, pruebas eléctricas, búsqueda y rescate, y seguridad y vigilancia (DJI, 2022).

En la ilustración 13-2 se puede mirar la interfaz de trabajo que emplea la aplicación DJI Ground Station Pro utilizada para generar rutas de vuelo propia de la empresa DJI.



Ilustración 13-2: Interfaz de trabajo en la aplicación Ground Station Pro

Fuente: (DJI, 2022).

2.10.3 Comparativa entre Pix4D y DJI Ground Station Pro

Tabla 4-2: Comparación entre Pix4D y DJI Ground Station Pro

Variables	Pix4D	DJI Ground Station Pro
Auto calibración de la cámara	Optimización de los parámetros internos de la cámara, como la distancia focal y las distorsiones del objetivo	La calibración ayuda a compensar el sesgo al permitir que los usuarios marquen tres o más puntos de calibración en el mapa.
Vídeo	Extrae automáticamente fotogramas de los vídeos para crear un proyecto	Sí, pero esto no es recomendable ya que puede afectar la misión.
Cámaras compatibles	Imágenes de cualquier cámara (compacta, DSLR, térmica, multiespectral, ojo de pez, 360°, de gran tamaño, etc.) en .jpg o .tif	Mavic 2 Enterprise, Mavic 2 Enterprise Dual, Mavic 2 Pro, Mavic 2 Zoom, Mavic Pro; Phantom 3 Standard, Phantom 3 Advanced, Phantom 3 Professional and Phantom 3 4K
Edición e importación de puntos de control del terreno	Importa y edita puntos de control del terreno para mejorar la precisión absoluta del proyecto	Importa y edita puntos de control del terreno para mejorar la precisión absoluta del proyecto
Especificaciones de hardware	Se recomienda un Intel i7/Xeon de cuatro o seis núcleos	Microsoft Windows XP 32bits Microsoft Windows Vista 32/64 bits Microsoft Windows 7 32/64 bits Microsoft Windows 8 32/64 bits
Comunicación	2.400 GHz - 2.483 GHz	Hardware Interface: RS-232 Radio Frecuencia: 900 MHz/2.4 GHz Data-Throughput: Maximum 11,5200 bps

Fuente: (DJI, 2022), (CLOUD PIX4D, 2023).

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

2.11 Plataformas IoT

La plataforma IoT debe permitir la recopilación de datos enviados desde diferentes plataformas a los dispositivos que están conectados. Por otro lado, facilitará la creación de aplicaciones, tanto teléfonos móviles y otros dispositivos, muestra claramente los datos recibidos de dispositivos IoT conectados a la plataforma, además de los datos que ha sido trabajo.

Para que una plataforma IoT sea considerada una opción en el desarrollo de una plataforma IoT productos de este tipo, debe ser capaz de gestionar la información de forma solvente, lo que significa que puede recopilar información enviada por el dispositivo además cuenta con la habilidad para almacenar y/o analizar información. Puede representar o mostrar información de manera que los usuarios puedan aprovechar esto. Además, siempre debe velar por la seguridad del sistema, para no quedar expuestos datos a cualquier persona que no haya sido previamente autorizada (MARTINEZ, 2017).

2.11.1 Ubidots

Es una solución en la nube basada en IoT (Internet de las cosas) que permite el almacenamiento y análisis de datos en tiempo real provenientes de sensores. Ubidots facilita de manera ágil, sencilla y atractiva la creación de aplicaciones para IoT. Esta plataforma posibilita el envío de

datos y la configuración de eventos, lo que permite que la API reaccione en tiempo real en función de los valores de los datos. Por medio de estos eventos, la plataforma permite la emisión de alertas a través de correos electrónicos o mensajes de texto (SMS) (MARTINEZ, 2017).

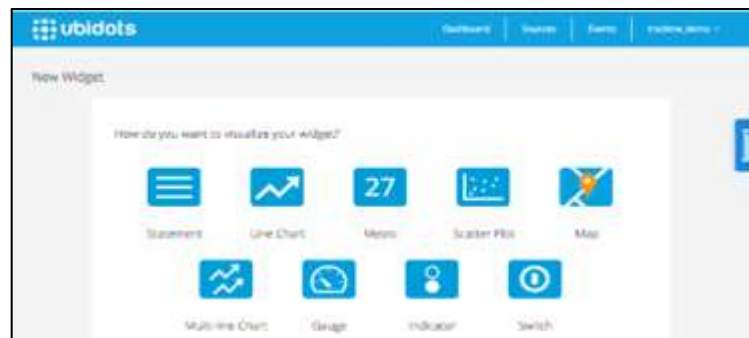


Ilustración 14-2: Interfaz principal de Ubidots

Fuente: (MARTINEZ, 2017).

2.11.2 Node Red

Node-RED es un proyecto desarrollado principalmente por IBM en 2013 y lanzado en 2016. Es multiplataforma, lo que significa que funciona en kernels de Windows, Macintosh, Linux y Solaris. Como herramienta intuitiva de programación de transmisiones, puede ser utilizada por personas que no sean especialistas, incluidos entusiastas y creativos. Desarrollado para consumir menos recursos informáticos, permite crear un servidor de red para gestionar las conexiones con los dispositivos IIoT con arquitectura ARM (Advanced RISC Machine) y plataforma RISC GSPEAK (TORRES, 2023a).

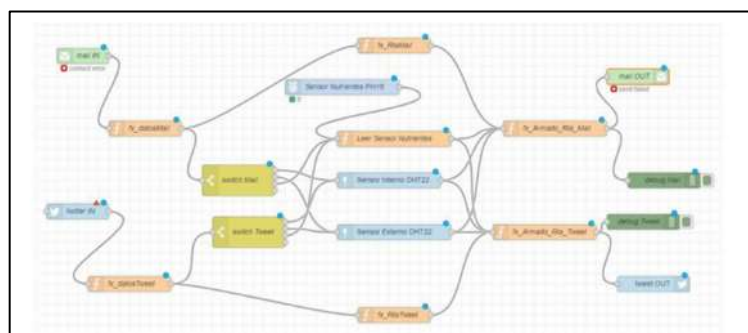


Ilustración 15-2: Interfaz principal de Node Red

Fuente: (TORRES, 2023a).

2.11.3 Thing Speak

Es una plataforma abierta de aplicaciones con análisis de MATLAB, diseñada para permitir conectar personas con objetos. Se caracteriza por ser una plataforma Open Source con una API para almacenar y recuperar datos de los objetos usando el protocolo HTTP sobre Internet o vía LAN (Local Area Network). Una característica es su simplicidad a la hora de programar

aplicaciones del mundo real, escribiendo menos código y con una configuración mucho más sencilla que otros frameworks. La aplicación incluye todo lo necesario para poder empezar a trabajar, desde una aplicación web en la que podremos gestionar usuarios, gestionar claves de API, gestión de canales y cartografía (GARCIA, 2021).

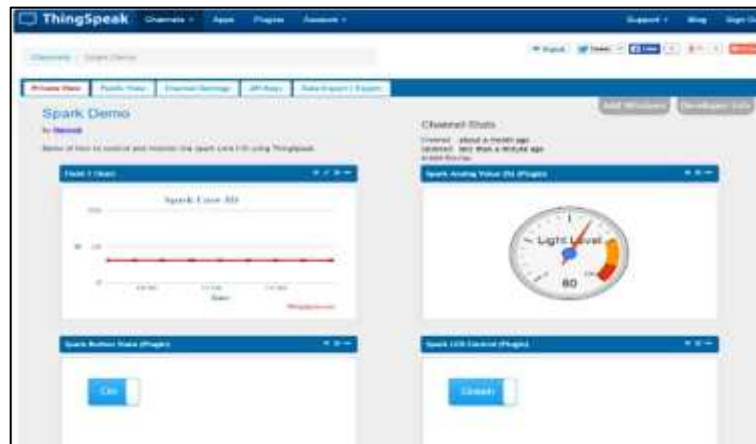


Ilustración 16-2: Interfaz de trabajo de Thing Speak

Fuente: (GARCIA, 2021).

2.12 Protocolos de comunicación IoT

Un protocolo define un conjunto de reglas, algoritmos, mensajes y otros mecanismos que habilitan a los elementos de una red a comunicarse de manera eficiente. Detrás de la definición de protocolo, yace la definición de un lenguaje común de entendimiento y la aceptación de un mismo conjunto de parámetros como convención. Por lo tanto, la definición de un protocolo exige el establecimiento de un formato para intercambio de mensajes y la precisión de las reglas que regirán ese intercambio. La elección de este debe ser previa a la comunicación y conocida por todas las partes involucradas en la misma (LIBERATORI, 2018).

Estos protocolos están diseñados para este tipo específico de comunicación. Cuando hablamos de implementación, hace referencia a módulos de software apropiados que interactúan con el sistema operativo de la máquina.

Dentro de los protocolos existen algunos que están diseñados específicamente para la comunicación que se puede establecer para el internet de las cosas o conocido como el IoT dentro de los cuales los más usados se podrían decir que son los siguientes.

2.12.1 Protocolo MQTT y AMQP

MQTT cuenta con una calidad de servicio (QoS) aceptable, con niveles bajos de consumo de ancho de banda y consumo energético adicionalmente la seguridad que ofrece es aceptable, considerado perfecto para IoT. AMQP es uno de los mejores protocolos para IoT puesto que su

prioridad es la seguridad utilizando SAS O TLS de manera rápida y eficiente para la transmisión de datos, por otro requiere de mayor ancho de banda y consumo energético estos aspectos lo hacen inadaptable para dispositivos móviles por estos criterios requiere de otros protocolos (MQTT y HTTP) para un buen funcionamiento (GUANANGA NARVÁEZ, y otros, 2022).

2.13 Sensores

2.13.1 Sensores de voltaje

Se puede evaluar la cantidad de voltaje presente en un objeto utilizando un dispositivo conocido como sensor de voltaje. Este tipo de sensor puede identificar tanto voltaje de corriente alterna (CA) como de corriente continua (CC). La información que el sensor proporciona es transmitida a través de una salida llamada interruptor, mientras que su entrada corresponde al voltaje en cuestión. Además de ofrecer una señal de voltaje analógica, algunos sensores también pueden generar señales de corriente o incluso señales audibles. Su función principal es determinar, supervisar y medir la provisión de voltaje. La salida de este sensor puede adoptar diversas formas, como señales analógicas, audibles, de frecuencia e interruptores, siendo el voltaje la variable de entrada. Algunos sensores de voltaje pueden proporcionar trenes de pulsos y otras salidas con modulación de frecuencia, amplitud y ancho de pulso (Dueñas & Martillo, 2022).

2.13.2 Tipos de sensores de voltaje

- **Sensor Capacitivo:** Mediante el uso de dos placas, ya que hay una corriente alterna que fluye a través de las placas en función de la repulsión y la atracción de los electrones.
- **Sensor Resistivo:** Usando un sensor y una resistencia, este método aplica un puente resistivo.

2.13.2.1 Sensor de voltaje FZ0430

El sensor de voltaje FZ0430, es un divisor de tensión con resistencias de 30 kOhm y 7.5 kOhm, el cual mide tenciones de hasta 25 V en corriente directa. directamente a batería, es decir, el positivo (+) y negativo (-) de la bornera del sensor con el positivo (+) y negativo (-) de la batería (VALDOVINOS VALDOVINOS, 2019).



Ilustración 17-2: Sensor de voltaje FZ0430

Fuente: (VALDOVINOS VALDOVINOS, 2019).

2.13.2.2 Sensor de voltaje Zmpt101b

El sensor ZMPT101B implementa circuitos de acondicionamiento de señal para sistemas de procesamiento de 5v. El sensor tiene un transformador de voltaje de tipo corriente de micro precisión que se encarga de reducir y muestrear la señal de entrada con ayuda de resistencias (limitadora y de muestreo) a la entrada y salida del transformador respectivamente. Posteriormente pasa por dos etapas de un filtro pasa banda activo inversor de ganancia variable. Dicho filtro activo tiene la función de compensar, ajustar y filtrar la señal (a 60 Hz) muestreada en el transformador para tomar pruebas instantáneas en el sistema de procesamiento. La ventaja de utilizar este módulo es el bajo costo, el tamaño y la calidad de los componentes implementados (condensadores y resistencias) (RODRÍGUEZ, y otros, 2021).



Ilustración 18-2: Sensor de voltaje Zmpt101b

Fuente: (RODRÍGUEZ, y otros, 2021).

2.13.2.3 Sensor de voltaje y corriente Max471

El sensor MAX471 es un dispositivo de alta precisión capaz de medir tanto voltaje como corriente. La medición de voltaje se fundamenta en un circuito divisor de tensión, el cual disminuye la tensión de entrada en un factor de 1/5. A continuación, se describen las características principales de este módulo (SALDARRIAGA ANDRADE, y otros, 2020):

- Voltaje mínimo: 3 V.
- Voltaje máximo: 36 V.
- Corriente de medición: -3A a +3A.
- Peso: 1,3 g.

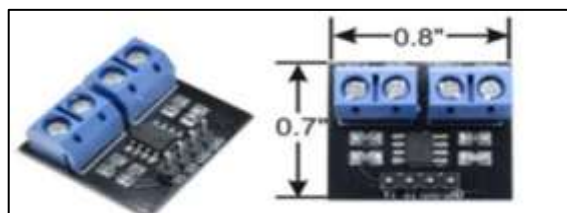


Ilustración 19-2: Sensor de voltaje y corriente Max471

Fuente: (SALDARRIAGA ANDRADE, y otros, 2020).

2.13.2.4 Comparación entre FZ0430, Zmpt101b y Max471

Tabla 5-2: Comparación entre FZ0430, Zmpt101b y Max471

Variables	Sensor de Voltaje FZ0430	Sensor de Voltaje Zmpt101b	Sensor de Voltaje y Corriente Max471
Voltaje mínimo de medición DC	3.3V	5V	3V
Voltaje máximo de medición DC	25V	30V	36V
Corriente	0.7 mA	2mA	-3A a +3A.
Peso	1.8 g	20g	1.3 g
Dimensiones	2.5cm x 1.3cm	5cm x 2cm x 2.4cm	2.03cm x 1.77cm

Fuente: (NOBOA BECERRA, 2021).

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

2.13.3 Módulo relé

El módulo relé permite acondicionar circuitos que conmutan a redes de alto voltaje (110 - 220) V a través de circuitos que manejan voltajes entre (3,3 – 9) V. Un relé es un interruptor, generalmente un solenoide, que usa una pequeña cantidad de corriente para controlar un circuito eléctrico más grande. Básicamente, se aplica una señal a la entrada para activar otro circuito conectado a la salida sin supervisión humana. El relé funciona según el principio de inducción electromagnética, es decir, si la corriente fluye a través de la bobina envuelta alrededor de una pieza de metal, la corriente generará un campo magnético, convirtiendo el núcleo de metal en un electroimán (CERVANTES, 2016 págs. 90-101).



Ilustración 20-2: Módulo relé

Fuente: (CERVANTES, 2016).

2.13.4 MP1584

El módulo MP1584 es un convertidor de corriente continua a corriente continua (DC-DC) que normalmente se usa para reducir un voltaje de entrada a un voltaje regulado más bajo. También se conoce como regulador de conmutación reductor. El MP1584 utiliza la técnica de modulación de ancho de pulso (PWM) para regular el voltaje de salida. Tiene una alta eficiencia de conversión y puede proporcionar hasta 3 amperios de corriente de salida continua. El módulo MP1584 es popular por su tamaño compacto y su capacidad para proporcionar un voltaje de salida estable y regulado en una variedad de aplicaciones. Se usa comúnmente en proyectos electrónicos como la

alimentación de microcontroladores, sensores, pantallas LCD y otros dispositivos electrónicos de bajo consumo (CARVAJAL HOYOS, y otros, 2018).



Ilustración 21-2: Módulo MP1584

Fuente: (CARVAJAL HOYOS, y otros, 2018).

2.13.4.1 Características del módulo MP1584

Tabla 6-2: Características del módulo MP1584

Variable	Valor
Voltaje de entrada	4.5-28 V
Tensión de salida	0.8-18 V
Corriente de salida (capacidad)	3 A
Eficiencia	Hasta el 92%
Frecuencia de conmutación	0.1 -1.5 MHz

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

2.13.5 Sensores de nivel

2.13.5.1 Sensor ultrasónico

El medidor ultrasónico opera a partir de un pulso emitido por el sensor, que luego se refleja en la superficie del líquido. El tiempo que tarda este pulso en regresar es el que se traduce en una distancia, tal como se ilustra en la figura 22-2. El transductor receptor lleva a cabo los cálculos necesarios para convertir esta distancia en un nivel de líquido. La distancia desde la superficie hasta el nivel del líquido puede expresarse mediante la siguiente ecuación 1-2 (ASTUDILLO BASTIDAS, y otros, 2016).

$$h = \frac{v*t}{2}$$

Ecuación 1-2

Donde h representa el nivel del líquido, v es igual a la velocidad del sonido en el líquido, y finalmente tenemos t que representa el tiempo que tarda el sonido en viajar.

La medición de este sensor puede verse afectada por una serie de factores, tales como:

- La velocidad del sonido en los líquidos varía con la temperatura, la presencia de espuma en la superficie del líquido absorbe el sonido.

- La turbulencia extrema en el fluido y el movimiento de la superficie del fluido (ondas, etc.) pueden compensarse mediante circuitos de amortiguación o temporizadores en el dispositivo. Los sensores normalmente funcionan a frecuencias entre 20 kHz y 200 kHz y en entornos de gas o vapor donde las ondas reflejadas dependen en gran medida de la frecuencia a la que funciona el sensor.

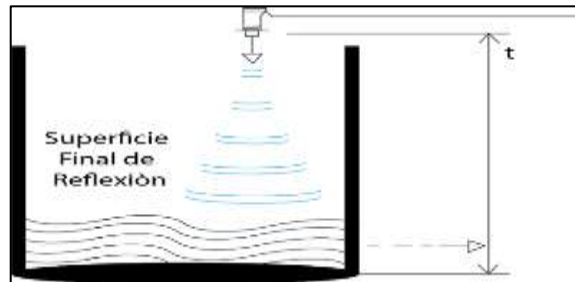


Ilustración 22-2: Sensor de nivel ultrasónico

Fuente: (ASTUDILLO BASTIDAS, y otros, 2016).

2.13.5.2 Sensor de nivel de agua ZPCI flotador en ángulo

Este sensor es de tipo magnético y funciona como un interruptor tipo Reed Switch cerrado herméticamente, el cual envía una señal de ON cuando el vástago hace contacto con el flotador de espuma y se desactiva o da una señal de OFF cuando estas dos partes dejan de tener contacto (BUSTAMANTE VILLAGÓMEZ, y otros, 2022).

Este sensor es un interruptor de tipo flotador como se puede apreciar en la ilustración 23-2, la aplicación que se le da a este dispositivo es al momento de medir el nivel de líquido dentro de un tanque, el sensor puede estar en la capacidad de activar bombas, alarmas u otros dispositivos. Este elemento se lo puede usar para lecturas en agua dulce o salada, así como con líquidos no corrosivos.



Ilustración 23-2: Sensor de nivel de agua ZPCI

Fuente: (BUSTAMANTE VILLAGÓMEZ, y otros, 2022).

2.13.5.3 Sensor flotador nivel de agua switch de acero inoxidable

Este flotador se construye utilizando acero inoxidable. Un interruptor flotante se emplea para detectar el nivel de líquido en un tanque, y es versátil en su uso, siendo aplicable en depósitos de

agua salada, tanques de agua dulce, actividades de jardinería, acuarios para controlar la potencia del flujo, recipientes para mascotas, tanques de peces, sistemas de filtración, calefacción, o en cualquier proyecto que lo requiera. Cambiar de un estado normalmente abierto a uno cerrado es sencillo, solo se necesita invertir la posición del flotador (GUALE RODRÍGUEZ, 2019a).

A continuación, en la ilustración 24-2 se puede observar cómo es el diseño del sensor flotador de nivel de agua el cual está compuesto de acero inoxidable.



Ilustración 24-2: Sensor flotador de nivel de agua switch de acero ZPC1

Fuente: (GUALE RODRÍGUEZ, 2019a).

2.13.6 Comparación de sensores de nivel

Tabla 7-2: Comparación de características de los sensores de nivel

Variables	Sensor ultrasónico	Sensor ZPC1	Sensor de acero
Rango de Voltaje	10-30 V	0-100 V	0-250 V
Corriente Máxima	20mA	0.5 A	0.5 A a 120 A
Resistencia circuito abierto	100 M	100 M	100 M
Potencia	10 W	10 W	10 W
Temperatura	-25° a 70° C	-30° a 125° C	-30° a 125° C
Diámetro de la rosca	--	30 mm	28 mm
Precio	102 \$	4.5 \$	146 \$

Fuente: (GUALE RODRÍGUEZ, 2019a).

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

2.14 Tarjetas de desarrollo

Las tarjetas de desarrollo son pequeñas placas electrónicas con circuitos impresos, diseñadas para diversas aplicaciones en función de sus características específicas. Estas tarjetas son compatibles con una amplia variedad de dispositivos, incluyendo sensores, módulos inalámbricos con tecnologías específicas y tarjetas de memoria microSD. Esto permite una implementación ágil y sencilla en el diseño de redes de sensores inalámbricos. Estas tarjetas ofrecen entradas y salidas tanto analógicas como digitales, puertos de conexión, interfaces seriales, puertos USB, conectores para alimentación externa, reguladores de voltaje, indicadores de transmisión y recepción, además de memoria y otras características propias incluidas por el diseñador. Además, integran software

de programación que se adapta al sistema operativo (Windows o Linux) que se encuentra implementado en la placa (ALTAMIRANO BENALCÁZAR, y otros, 2016).

2.14.1 Raspberry Pi 4

La Raspberry Pi 4 se puede definir como una placa computadora de bajo coste o un ordenador de magnitud reducida como la de la Ilustración 13-2, de tal forma que elimina los componentes de un ordenador básico que no afectan a su rendimiento básico. En cuanto al diseño para esta solución, Raspberry Pi incluye: una CPU, un procesador gráfico (GPU), memoria RAM con 512 MB de capacidad, un conector Ethernet para proporcionar acceso a Internet (aunque en Raspberry Pi ya es posible conectarse a través de WIFI), 2 puertos USB, una salida de audio Jack de 3.5 mm, salida digital de vídeo y audio por HDMI, 26 pines GPIO, un conector de alimentación microUSB y un lector de tarjetas SD, ya que Raspberry no posee un disco duro de almacenamiento, es donde se almacenará el sistema operativo seleccionado y nuestros archivos (DÍAZ, 2018).



Ilustración 25-2: Tarjeta de desarrollo Raspberry Pi

Fuente: (DÍAZ, 2018).

2.14.2 ESP 32

El ESP32 es un System On Chip desarrollado por Espressif Systems, aunque su fabricación corre a cargo de TSMC. Al igual que su predecesor, el chip ESP8266, el ESP32 presenta múltiples variantes con diferentes características. La propia empresa define esta serie como una solución para microcontroladores que carecen de conectividad, ya que podrían emplear la familia ESP32 como intermediario para acceder a redes o soluciones de Internet de las Cosas (IoT). Además, la serie ESP32 es capaz de ejecutar sus propias aplicaciones en tiempo real, lo que lo convierte en un dispositivo sumamente atractivo (BENITO, 2019).



Ilustración 26-2: Tarjeta de desarrollo ESP32

Fuente: (BENITO, 2019).

2.14.2.1 Comparación de tarjetas de desarrollo Raspberry Pi 4 y ESP32

Tabla 8-2: Comparación de características de las tarjetas de desarrollo Raspberry Pi 4 y ESP32

Variable	Raspberry Pi 4	ESP32
Procesador	Arm cortex-a72	Tensilica xtensa 32bits lx6 hasta 240mhz.
Frecuencia de reloj	1,5 ghz	80 mhz a 240 mhz.
Alimentación	5.1 v	3.3 v
Memoria	1 GB / 2 GB / 4 GB LPDDR4 SDRAM	520 kib SRAM
Conectividad	Bluetooth 5.0, Wi-Fi 802.11ac, Gigabit Ethernet	Wi-Fi: 802.11 b/g/n Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE
Puertos	Gpio 40 pins	36 gpio pins.
Precio	35 \$	20\$
Corriente Máxima	2.4 a	225 ma

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

2.15 Micro bombas hidráulicas

La micro bomba de agua es una máquina hidráulica de corriente continua que acciona con un flujo de agua, esta tarea puede ser controlada por el procesador para realizar procesamiento automático. El uso de micro bombas de agua se extiende a muchos tipos de vivienda, agricultura o la industria cubre diferentes situaciones de la siguiente manera (CICOM, 2018):

- Mover el agua de un lugar a otro, incluso en diferentes capas del suelo.
- Aumente la presión o el flujo de agua.
- Sistema de refrigeración por aire para dispositivos electrónicos.

En proyectos electrónicos es posible utilizar micro bombas de agua con sensores de humedad de suelo o reloj en tiempo real para configurar el riego automático.

2.15.1 Bomba de diafragma DC micro PLD-1206

La micro bomba autocebante tiene las ventajas de bomba química, anticorrosión, función de autocebado, protección contra el calor, funcionamiento suave, volumen pequeño, corriente, alta presión, bajo nivel de ruido, larga vida útil, resistencia al aceite, resistencia al calor, ácido y álcali resistente, resistencia a la corrosión, resistencia a la economía química, tuberías casas sin equipos eléctricos, sin desgaste.



Ilustración 27-2: Bomba DC micro PLD-1206

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

2.15.2 Características de la bomba de diafragma DC micro PLD-1206

Tabla 9-2: Características de las bomba PLD-1206

Modelo	Voltaje	Presión Máxima	Potencia	Corriente eléctrica	Flujo	Tamaño	Precio
PDL - 1206	12V	1Mpa	45W	3.5A	4L/min	160 x 100 x 60 mm	\$45

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

2.16 Baterías

Uno de los desafíos principales relacionados con la energía eléctrica es su almacenamiento. Las baterías representan una de las pocas opciones confiables para retener energía eléctrica, ya que pueden transformarla en energía química y viceversa. Esto nos permite disponer de electricidad cuando lo necesitemos sin depender exclusivamente de la red eléctrica. En los últimos años, el surgimiento de nuevas aplicaciones como vehículos eléctricos, sistemas fotovoltaicos y unidades de alimentación ininterrumpida ha impulsado la creación y avance de tecnologías de baterías más eficientes y confiables (PEÑA, 2011).

2.16.1 Tipos de baterías

2.16.1.1 Baterías de LiFe

Una batería de fosfato de hierro y litio o batería LFP es un tipo de batería recargable, en concreto una batería de iones de litio con un cátodo de fosfato de hierro y litio:

VidaPO4. Las baterías hechas de Li-Ion + LifePO4, la química LifePO4 duran más que las baterías hechas solo de litio. Las baterías LiFePO4 tienen un voltaje de salida constante. Su voltaje se mantiene cerca de 3,2 V durante la descarga hasta que la batería se descarga. Esto permite que la batería proporcione casi toda su energía hasta que se descargue por completo. Las baterías LiFePO4 tienen una capacidad ligeramente menor que las baterías LiCoO2 (óxido de cobalto de litio) que se usan comúnmente en la electrónica, pero tienen una vida útil 10 veces más larga, más

potencia y son más seguras, por lo que a menudo se usan en robots, automóviles, aviones, medicina, vehículos eléctricos y conservación de energía.



Ilustración 28-2: Batería de LiFe

Fuente: (PAZMIÑO ESTRELLA, y otros, 2008).

2.16.1.2 Baterías de Níquel-Cadmio

Las baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd) son una de las tecnologías más consolidadas en la actualidad, siendo la segunda más producida después de las baterías de plomo-ácido. Estas baterías se engloban dentro de las categorías de baterías alcalinas, las cuales utilizan una solución acuosa con base como electrolito, a diferencia de las baterías de plomo-ácido, que emplean una solución ácida; en el caso de las baterías Ni-Cd, el electrolito es una solución acuosa de hidróxido de potasio (VIERA PÉREZ, 2003).

Para tener una mejor concepción de como son las baterías de Níquel-Cadmio se ha procedido a adjuntar la ilustración 29-2 en donde se observa una batería de la marca Energizer.

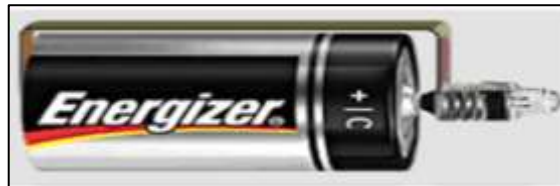


Ilustración 29-2: Batería de Níquel-Cadmio

Fuente: (ORTIZ LÓPEZ, 2009).

2.16.1.3 Batería de Litio

En las baterías de ion de litio, el proceso interno ocurre de la siguiente manera: Durante la descarga, la oxidación en el ánodo provoca la migración de iones de litio (Li^+) a través del electrolito en dirección al cátodo. Para mantener el equilibrio de carga en el ánodo, se liberan electrones que, a su vez, se desplazan hacia el cátodo a través de un conductor situado entre ambos electrodos. Es a partir del movimiento de estos electrones por el conductor que se origina la corriente eléctrica que se aprovecha (OLMO, 2019).

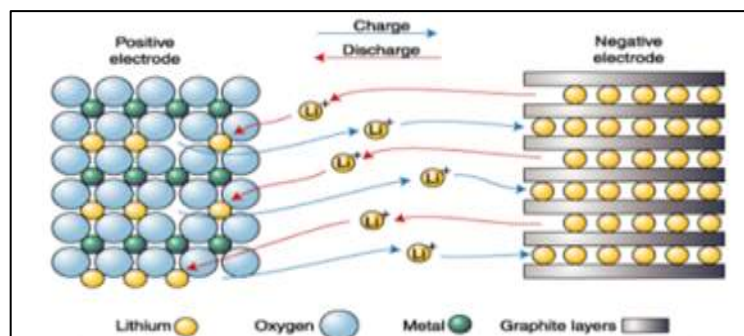


Ilustración 30-2: Procesos de carga y descarga de la batería de Litio

Fuente: (OLMO, 2019).

2.16.2 Comparación entre baterías

Tabla 10-2: Comparación entre la batería de LiFe, Niquel-Cadmio y Litio

Parámetros	Batería LiFe	Niquel-Cadmio	Litio
Voltaje (v/celda)	3.6 v	1.2 v	3.6/3.7 v
Auto descarga (%/mes)	10%	10%	8%
Mantenimiento	Malo	Malo	Fácil
Ciclos de vida	5000	1500-2000	400-1200
Energía específica [w/kg]	130	40-60	100-250
Potencia específica [w/kg]	90-160	150	250-340
Robustez	Buena	Buena	Mala
Seguridad	Buena	Buena	Buena

Fuente: (PEÑA, 2011).

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

2.17 Material en la construcción de la estructura

Como primer punto se procedió a elegir el material ideal para el proceso de fabricación del tanque, así como también de las placas rompeolas que van a estar soldadas internamente en el depósito. Tomando en cuenta que se trabaja con pesticidas que contienen elementos químicos fue necesario buscar un material que soporte la corrección a la que está expuesta por lo tanto el acrílico fue la mejor opción.

Mientras que para la estructura que va a soportar el sistema de fumigación se utilizó láminas de trípex de 5.5 mm de espesor ya que al ser un drone fumigador se hicieron algunos cambios y en el caso de llegarse a dañar es mucho más fácil el cambiar las piezas además más económico.

Conocido como multilaminado, es un tablero elaborado con finas chapas de madera pegadas con las fibras transversalmente una sobre la otra. Madera contrachapada (MURILLO, 2020).

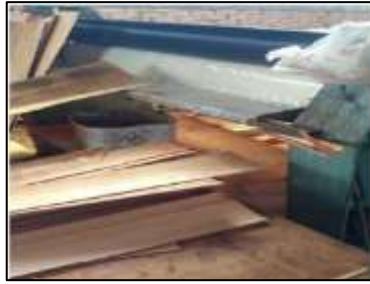


Ilustración 31-2: Creación del trípex

Fuente: (MURILLO, 2020).

2.18 Tiempo de vaciado del tanque

Para poder determinar el tiempo de vaciado del tanque es necesario primero conocer cuál es el volumen que tiene este prisma rectangular ya que una vez que se sepa esto se puede calcular el tiempo de vaciado del tanque. A continuación, se muestra la ecuación para encontrar el volumen.

$$V = b * h * w \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Donde b representa a la base del prisma, h la altura y por último w que viene a ser el ancho del cuerpo. Una vez que se multiplica estos valores se obtiene el volumen.

$$\text{Tiempo de vaciado} = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

En la ecuación 3-2 se observa cómo se debe calcular el tiempo de vaciado para el tanque en donde V representa al valor encontrado con anterioridad en la ecuación 2-2 y Q es la tasa de flujo de salida.

Una vez que se ha especificado las ecuaciones con las que se va a calcular el tiempo de vaciado de tanque solo resta aplicarlas y obtener un dato numérico.

2.19 Aspersores

Los rociadores de drones son dispositivos diseñados para acoplarse a drones y rociar líquidos, como pesticidas, fertilizantes, herbicidas o incluso agua, en áreas específicas, con precisión y control. Estos aspersores permiten una aplicación más eficiente y rápida de productos químicos o líquidos en tierras agrícolas, forestales o cualquier área que requiera tratamiento o riego.

Hay diferentes tipos de sistemas de rociadores de drones, que varían en diseño y capacidad de carga. Algunos rociadores usan tanques conectados al dron, mientras que otros usan un sistema de bombas y mangueras para distribuir el líquido desde el tanque hasta el suelo.



Ilustración 32-2: Aspersor

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

2.20 Tamaño de la muestra

La ecuación utilizada para calcular el tamaño de la muestra cuando se conoce el tamaño de la población es:

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q}$$

Ecuación 4-2

En donde (TORRES, y otros, 2018):

- N = tamaño de la población
- Z = nivel de confianza
- P = probabilidad de éxito
- Q = probabilidad de fracaso.
- D = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el siguiente capítulo se presenta los requerimientos necesarios para la creación del “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE FUMIGACIÓN DE BAJO COSTO CON ARQUITECTURA IOT PARA EL DRONE DJI MATRICE 600 PRO.”, que a partir de este punto se lo llamará como dron fumigador. Para el desarrollo del siguiente apartado se debe considerar toda la bibliografía investigada con anterioridad ya que esta ayudará en la toma de decisiones con respecto a los elementos a utilizarse.

3.1 Requerimientos del dron fumigador

- El sistema dron fumigador debe tener una plataforma basada en iOS/Android para la generación de trayectorias.
- Establecer una conexión entre el dron fumigador y una plataforma IoT en un ambiente tele operado.
- El dron fumigador debe tener un sistema de aviso para precautelar la fumigación.
- Es necesario desarrollar una interfaz de monitoreo remoto basado en dispositivos móviles para la supervisión y monitoreo del vuelo y fumigación.
- Se requiere implementar una red LAN para la comunicación del sistema del dron fumigador y el control remoto.
- El dron fumigador debe volver de manera autónoma hacia el controlador remoto en el caso de existir eventualidades en el proceso de fumigación.
- El dron fumigador debe tener la opción para fumigación automáticamente y manual.
- El dron fumigador debe ser de fácil transporte, operación y manipulación.

3.2 Concepción general del sistema de fumigación

A continuación, en la ilustración 1-3 se describe de una manera gráfica el diseño del dron fumigador, como se observa en primera instancia cuenta con un bloque que es el sistema de fumigación el cual consta de sensores, placa controladora, fuente de alimentación, aspersores y la bomba. Además, consta de una especificación de la red LAN que se va a usar y la plataforma IoT que en este caso será Node-Red.

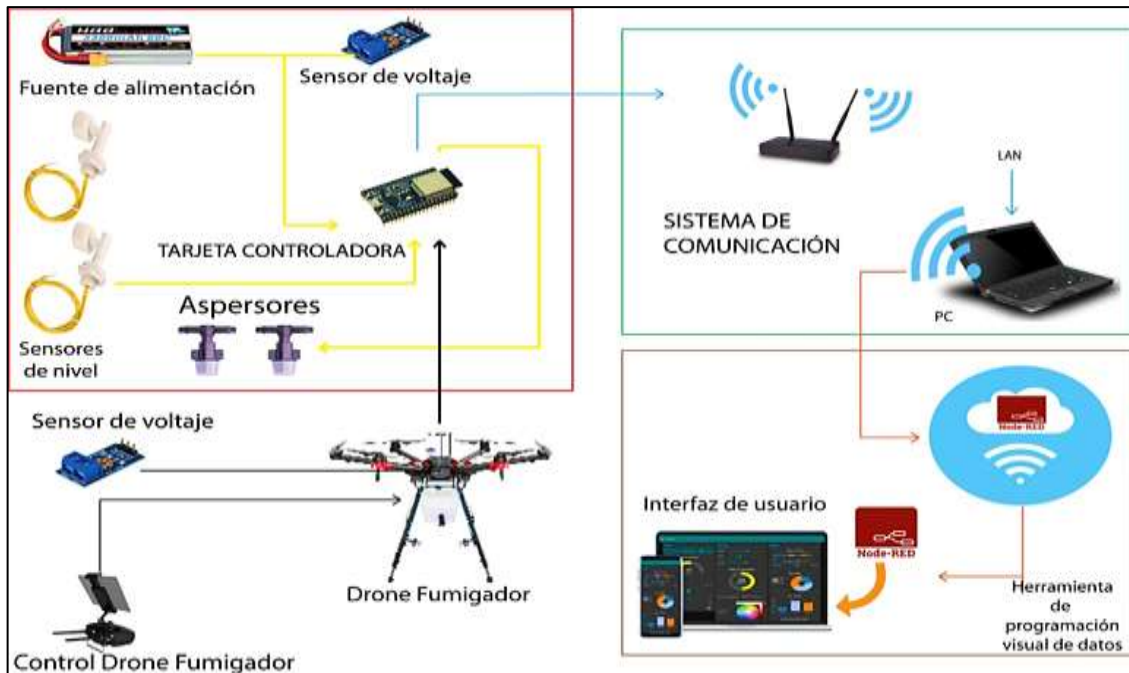


Ilustración 1-3: Concepción general del drone fumigador

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

3.3 Módulo de generación y envío de datos

El siguiente modulo está conformado por los sensores de medición los mismos que son dos ZPC1 o también conocidos como sensores de nivel los mismo que darán una lectura sobre la cantidad de líquido fumigante que existe en el tanque. Además, va a contar con dos sensores FZ0430 para la medición del voltaje en baterías que se encargan de la alimentación del drone que es el encargado de la fumigación. Estos dispositivos van a estar conectados a una placa PCB en donde se encuentra la tarjeta ESP32 que será la encargada de recibir los datos generados y los enviará a través de una red LAN generada por un router.

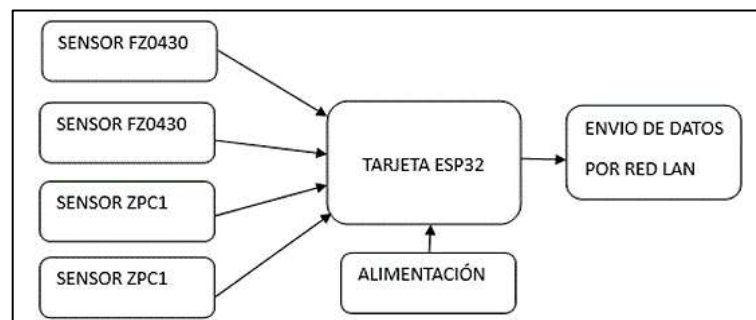


Ilustración 2-3: Diagrama de bloques del primer módulo

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

3.4 Módulo de control y actuación

Para el siguiente apartado, una vez que el módulo antes descrito ha generado los datos y los mismos han sido receptados por la placa de control estos van a ser enviados través de una red

LAN y se van a receptor en una plataforma IoT. Una vez que se ha tomado una decisión por parte del usuario se podrá encender o apagar la bomba perteneciente al sistema de fumigación a través de controles creados en el Interfaz de Node-Red.

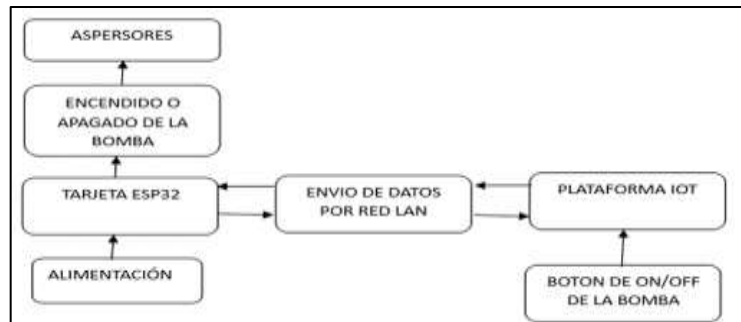


Ilustración 3-3: Diagrama de bloques del segundo módulo

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

3.5 Módulo de visualización

La información enviada a la plataforma IoT por medio de los dos módulos anteriores será visualizada a través de una interfaz gráfica interactiva para el usuario en donde se podrá mirar el nivel que tiene de líquido fumigante el tanque, además el nivel de carga que tienen las baterías también contará con botones para el encendido y apagado de la bomba. Todo esto se podrá observar en una laptop en donde se desarrolló toda la interfaz.

3.6 Diseño mecánico del drone fumigador

En el siguiente apartado se detalla cómo se fue diseñando, construyendo e implementando los diferentes elementos que formaran parte de todo el drone fumigador como es el diseño del tanque el cual constará de placas internas llamadas rompeolas, además el sistema de fumigación y la arquitectura final del modelo en cuestión.

3.6.1 *Diseño del tanque*

Para el diseño del tanque se utilizó el software SolidWorks en donde se creó tres diferentes tipos de estructuras las mismas que se las va a someter a tres diferentes pruebas para escoger cual será el ideal a implementarse.

3.6.1.1 *Diseño de la forma del tanque*

Se ha decidido utilizar la forma del tanque ilustrada en la ilustración 4-3. Se ha tomado en cuenta este diseño ya que se acopla al espacio destinado para el recipiente, además que con la puesta de las placas rompeolas en su interior el fluido tendrá un comportamiento más suave evitando así problemas con el vuelo.

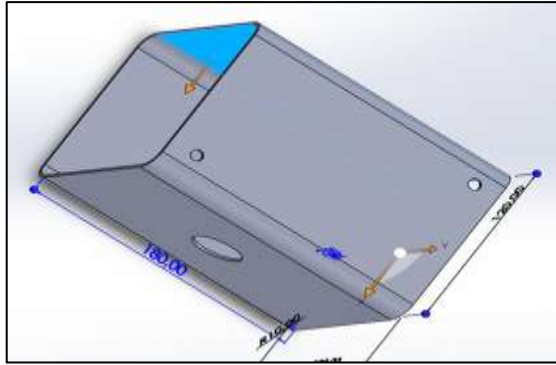


Ilustración 4-3: Diseño sólido del tanque

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

3.6.2 *Tiempo de vaciado*

3.6.2.1 *Cálculo del volumen*

Como primer punto es necesario calcular el volumen para lo cual se debe multiplicar la base por altura y ancho del tanque en cuestión.

$$V = 18\text{cm}^3 * 12\text{cm}^3 * \text{cm}^3 = 2592.0 \text{ cm}^3 = 2.592 \text{ litros} \quad \text{Ecuación 1-3}$$

Una vez que se tiene el volumen se puede calcular el tiempo de vaciado con la ecuación 3-2 como se mostrará a continuación.

$$\text{Tiempo de vaciado} = \frac{V}{Q} = \frac{2.5920}{\frac{\text{litro}}{1 \text{ minuto}}} = 2.5920 \text{ minutos} \quad \text{Ecuación 2-3}$$

Se ha calculado que el tiempo de vaciado es de 2.5920 minutos.

3.6.3 *Diseño de placas rompeolas*

Los rompeolas son paredes colocadas en un tanque o tanque con el propósito de reducir el movimiento del líquido en su interior, reduciendo el espacio por el que se mueve. Se utilizan especialmente en camiones cisterna y en depósitos de gasolina de automóviles. En el caso de los camiones, se utiliza debido a la inercia inducida por el fluido durante la aceleración y las curvas, que afecta los momentos de deflexión y cabeceo. En cuanto al tanque de combustible de un automóvil de carreras, se usa para evitar el caso de que quede poco combustible, la bomba de combustible se quedará sin combustible para aspirar.

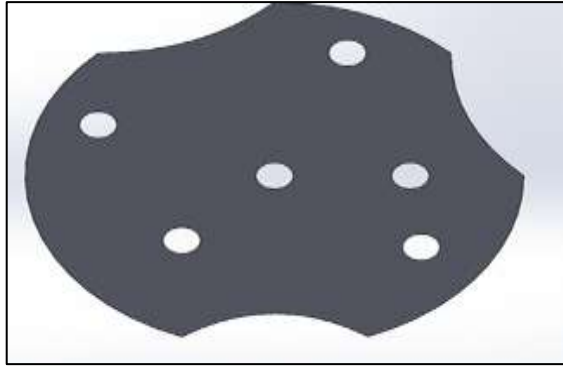


Ilustración 5-3: Diseño de una placa rompeolas

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

Se ha investigado el correcto funcionamiento de las placas rompeolas dentro del taque de fumigante y se ha visto necesaria la colocación de dichos elementos dentro del recipiente con el objetivo de disminuir el movimiento del líquido para lo cual se ha diseñado la propuesta como se puede observar en la ilustración 5-3, estas placas van a ser creadas del mismo material del cual se ha creado el tanque es decir de acero galvanizado.

3.6.4 Sistema de fumigación



Ilustración 6-3: Tentativa de colocación del tanque

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

A continuación, se describe la parte del sistema de fumigación el cual está complementado realizarlo de la siguiente manera en donde el tanque de abastecimiento de líquido fumigante va a estar controlado por dos sensores de nivel que reflejarán su lectura en el Dashboard de Node-Red. Dependiendo de la lectura de los sensores se accionará o apagará la bomba que envía el líquido a los aspersores para su trabajo. La bomba será controlada de forma automática o manual, esta tendrá una alimentación independiente con una batería de Litio la misma que es controlada por un sensor de voltaje que de igual manera reflejará su lectura en el interfaz de Node-Red.

3.7 Diseño electrónico del drone fumigador

3.7.1 Descripción de los elementos utilizados

3.7.1.1 ESP32

Para la parte de control se utiliza la placa ESP32 la misma que se va a encargar de recibir la información enviada por los sensores de nivel y de voltaje, esta misma se envía hacia la plataforma IoT y la respuesta finalmente será ejecutada para el control del sistema de fumigación. Se ha decidido utilizar este controlador ya que es ideal para la aplicación de IoT además de las características expuestas en la tabla 8-2: Comparación de características de las tarjetas de desarrollo Raspberry Pi 4 y ESP32.

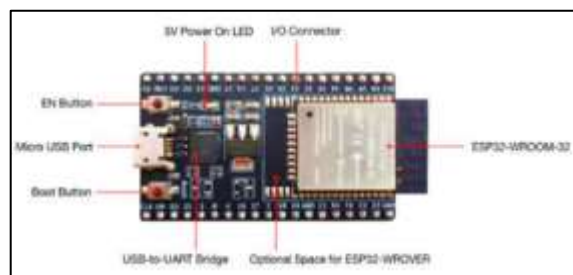


Ilustración 7-3: Estructura de la placa ESP32

Fuente: (FONSECA YUPA, y otros, 2020).

3.7.1.2 Sensor FZ0430

Se ha declinado por el uso de sensor FZ0430 para la lectura de voltaje, este va a estar conectado a la batería que alimenta el sistema y su lectura se envía a través de la placa controladora para posteriormente visualizarse en la plataforma IoT, en la ilustración 8-3, se ha descrito los diferentes pines de conexión.



Ilustración 8-3: Estructura del sensor FZ0430

Fuente: (PONLUISA MARACALLA, 2021).

3.7.1.3 Sensores de nivel ZPC1

Para el control del nivel de líquido dentro del tanque se ha utilizado un sensor ZPC1 el cual dará la medida del recipiente, van a estar conectados dos sensores que dan un nivel alto y un nivel bajo. Cuando el nivel bajo se active mandará una orden que apaga la bomba evitando fallos.



Ilustración 9-3: Sensor ZPC1

Fuente: (SÁNCHEZ CRUZ, y otros, 2021).

3.7.1.4 Batería de Litio

Como se observa en la ilustración 10-3, se plantea la batería a utilizarse la misma que es una batería de litio de 11.1 y una corriente de 3000 mAh, dicha batería alimenta el sistema de fumigación ya que la bomba exige una alimentación de 12 v y una corriente de 3000 mAh.



Ilustración 10-3: Batería de Litio

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

3.7.1.5 Bomba de diafragma DC micro PLD-1206

El sistema de fumigación incorpora una bomba de diafragma la misma que es la encargada de extraer el líquido fumigante del tanque hacia los aspersores a través de las mangueras conectadas, la bomba será alimentada con la batería de Litio descrita en la ilustración 11-3.



Ilustración 11-3: Bomba PLD-1206

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

3.7.2 Descripción y esquemas de conexión del drone fumigador

En el siguiente apartado se muestra el esquemático de las conexiones diseñadas para el drone fumigador. Como se puede observar en la ilustración 12-3 se especifica las conexiones para la

parte de alimentación de la bomba que trabaja con 12 voltios, también se muestra las conexiones de la placa ESP32 con sus diferentes entradas y salidas para sensores, un buzzer y más.

También se puede observar las conexiones para los dos sensores analógicos que son los de voltaje y los digitales que son los sensores de nivel. Posterior a estos bloques se tiene el bloque de actuadores como son el RELE que es el encargado de encender o apagar la bomba

Una vez que se ha desarrollado el esquemático de las conexiones necesarias para el drone fumigador es necesario diseñar una placa PCB en donde van a estar montados todos los elementos necesarios para que se dé su correcto funcionamiento, como se puede apreciar en la ilustración 13-3 se crearon las pistas para las conexiones de la placa y posteriormente en la ilustración 14-3 se puede ver un modelo 3D de como quería la placa para luego imprimirla y soldar todos los componentes.

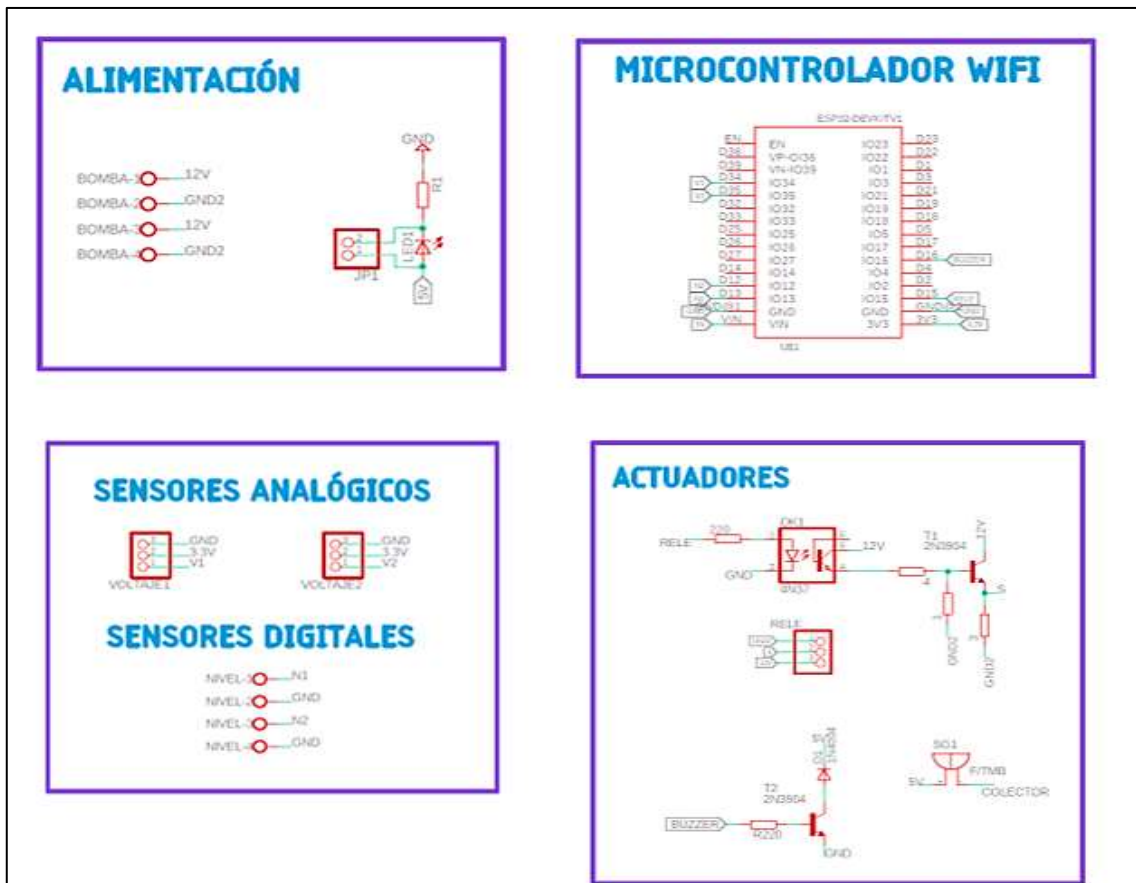


Ilustración 12-3: Esquema de conexiones del drone fumigador

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

3.8.1 Programación en la ESP32

Como primer punto fue necesario crear el código para programar la tarjeta controladora que en este caso será el ESP32, para lo cual fue necesario realizar los siguientes puntos que vienen descritos mediante un diagrama de flujo de la ilustración 15-3.

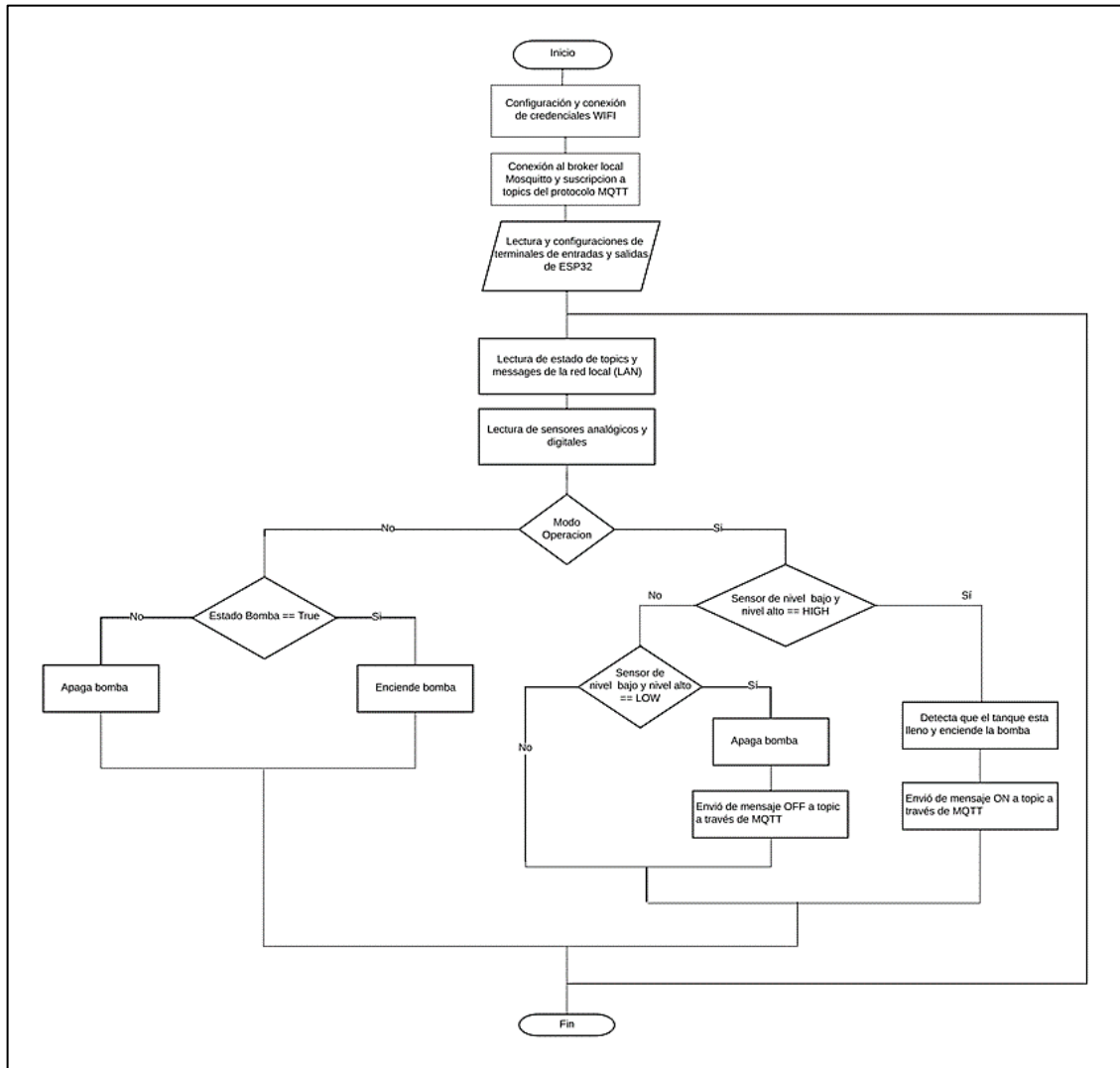


Ilustración 15-3: Diagrama de flujo del ESP32

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

Se inicia con incluir las librerías:

- **Arduino.h:** Archivo de inclusión principal para Arduino
- **WiFi.h:** Permiten la configuración, conexión y administración de redes WiFi en un dispositivo.
- **PubSubClient.h:** Implementa la comunicación mediante el protocolo MQTT.
- **WiFiClient.h:** Permite establecer conexiones TCP

- **HTTPClient.h:** Proporciona una clase llamada "HTTPClient" que simplifica la comunicación con servidores HTTP.
- **WiFiManager.h:** Permite crear una interfaz web en la que los usuarios pueden seleccionar y configurar redes WiFi a las que el dispositivo debe conectarse.
- **SimpleKalmanFilter.h:** Es una implementación sencilla de un filtro de Kalman para sistemas de estimación y predicción.

Se configura la conexión del ESP32 con las credenciales de la red a conectarse.

Se configura el bróker local que en este caso es el Mosquitto y la suscripción a topics del protocolo MQTT.

Se configura las entradas y salidas de la tarjeta controladora que van a ser utilizadas por los sensores y actuadores.

3.8.2 Modo de Operación

El modo de operación puede ser manual o automático

3.8.2.1 Manual

- Se compara el estado de la bomba si este es verdadero enciende la bomba.
- Si el estado de la bomba no es verdadero se apaga la bomba.
- Una vez que se comprueba el estado de la bomba se manda al fin de la programación.

3.8.2.2 Automático

- Si el sensor de nivel alto y el sensor de nivel bajo se encuentran encendidos detecta que el tanque está lleno y enciende la bomba.
- Envía el mensaje de ON a topic a través de MQTT.
- Si los sensores de bajo y alto no se encuentran encendidos y los dos sensores se encuentran apagados se apagan la bomba.
- Se envía el mensaje de OFF a través de MQTT.

3.8.3 Programación en Node-Red

Para el siguiente apartado se especifica la programación creada en la plataforma IoT la misma que se describe y posteriormente se ha creado un diagrama de flujo que describe el funcionamiento en la ilustración 16-3.

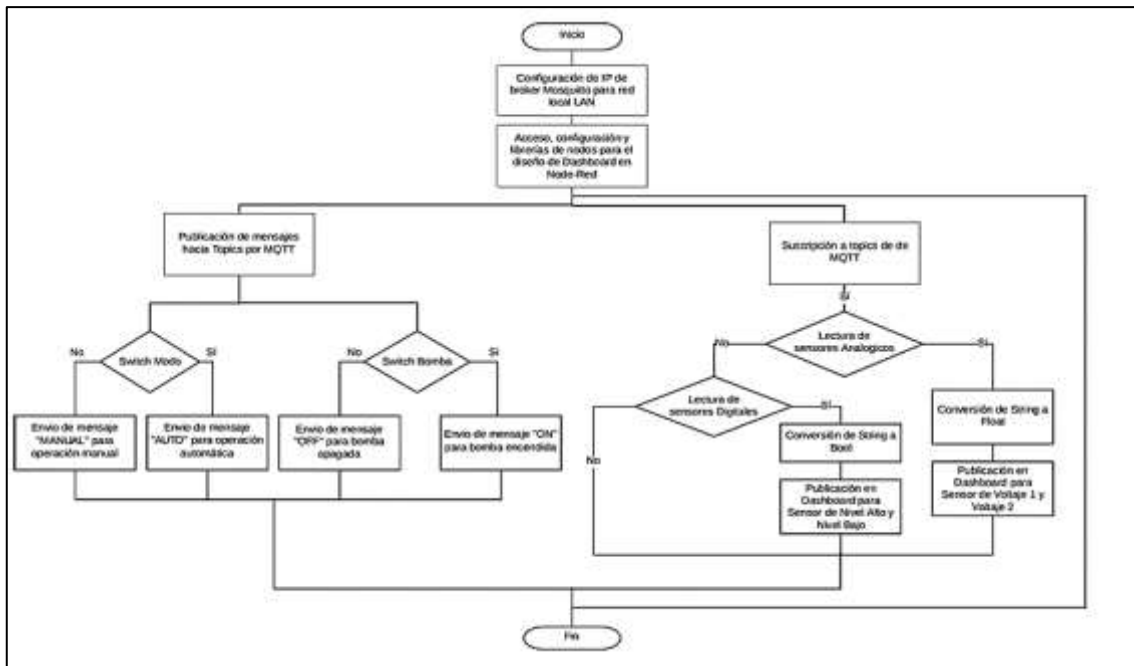


Ilustración 16-3: Diagrama de flujo del Node-Red

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

- Primero es necesario configurar la IP del broker Mosquitto para una red LAN.
- Se crea el acceso, la configuración y los nodos para el diseño del Dashboard en Node-Red.

3.8.3.1 Publicación de mensajes hacia Topics por MQTT

- Va a existir dos Switch los mismo que serán para el modo de trabajo y para el trabajo de la Bomba.
- Primero se toma el Switch de Modo de trabajo si este esté encendido envía un mensaje de operación “AUTO” que hace trabajar de forma automática.
- Si el switch no está encendido el trabajo será manual por lo tanto se enviará el mensaje “MANUAL”.
- Por otra parte, se trabajará con switch para la bomba en donde si este se encuentra encendido de enviará el mensaje “ON” para bomba encendida.
- Si el switch se encuentra en apagado de enviará el mensaje “OFF” haciendo referencia de que esta apagado.

3.8.3.2 Suscripción a topics de MQTT

- Se da la lectura de sensores analógicos.
- Si es que esta lectura se da se realiza una conversión de String a Float para posteriormente publicarlo en el Dashboard para sensor de voltaje 1 y 2.
- Si es que no se da la lectura de los sensores analógicos se da la lectura de sensores digitales.

- Si la lectura de sensores digitales se da se convierte de String a Bool para luego publicarlo en el Dashboard para sensor de nivel alto y bajo.
- Si no se da la lectura de sensores digitales se acaba y se acaba la lectura.
- Antes de terminar el programa se vuelve a la parte de publicación y suscripción.

3.8.4 Interfaz gráfica en Node-Red

A continuación, se muestra el Dashboard creado en la plataforma Node-Red para el control del dron fumigador en donde se puede observar por un lado el modo de funcionamiento el mismo que puede ser manual o automático, en el centro se observa la medición arrojada por los sensores de voltaje. Por último, en el lado derecho se mira los niveles del tanque que son bajo y alto. Finalmente se ha insertado imágenes representativas de la institución y la carrera.



Ilustración 17-3: Interfaz en Node-Red

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

3.9 Cálculo del tamaño de la muestra

Para el cálculo de la muestra se ha investigado los datos sobre la población existente en el MAGAP de Riobamba ya que ellos llevan un registro de todas las organizaciones registradas por lo tanto con esos datos se puede calcular utilizando la ecuación 4-2.

- N = tamaño de la población
- Z = 1.96
- P = 0.5
- Q = 95%
- D = 3%

En donde desarrollando la ecuación arroja el siguiente valor:

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{d^2 \times (N-1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q} = \frac{244 \times 1.96^2 \times 0.5 \times 0.95}{0.05^2 \times (244-1) + 1.96^2 \times 0.5 \times 0.95} = 183 \approx 180$$

Ecuación 3-3

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

En el siguiente capítulo se analizan los datos obtenidos mediante las pruebas a las que se le sometió el dron fumigador, las mismas que consisten en el tiempo de latencia existente a diferentes distancias, tiempo de vaciado del tanque, prueba del tiempo de autonomía de las baterías con respecto a las cargas del tanque, prueba de generación de rutas, prueba de distribución de líquido y una prueba de concentración en la planta. Para la realización de las pruebas se ha seleccionado un cultivo de maíz de 70 días de crecimiento con una altura de 1.60 metros en la ciudad de Riobamba.

4.1 Prueba de latencia

La siguiente prueba se la realizó con la finalidad de saber cuál es el tiempo de latencia que se tiene al momento de accionar el sistema de fumigación desde la estación de control hasta el momento en el que la bomba comienza a fumigar y los aspersores comienzan a liberar el líquido.

Para la realización de la prueba se hizo una medición cada 20 metros hasta llegar a los 200 metros, se armó la estación de control de la manera más visible posible ya que cualquier tipo de interferencia puede alterar el tiempo de respuesta. Una vez que se han realizado las pruebas se completa la siguiente tabla.

Tabla 1-4: Datos para la prueba de latencia

Número N°	Distancia del dron fumigador para activación de la bomba.									
	20m	40m	60m	80m	100m	120m	140m	160m	180m	200m
1	1.14 s	1.68 s	1.90 s	2.30 s	2.6 s	3.1 s	3.57 s	4.45 s	5.98 s	.....
2	0.80 s	1.70 s	2.1 s	2.56 s	2.75 s	3.21 s	3.68 s	4.22 s	5.89 s	.....
3	1.20 s	1.90 s	2.50 s	2.60 s	2.86 s	3.43 s	4.20 s	5.31 s	.....	.....
4	1.02 s	1.52 s	1.98 s	2.15 s	2.48 s	2.90 s	3.95 s	4.86 s	5.69 s	.....
5	1.20 s	1.85 s	2.05 s	2.33 s	2.54 s	3.26 s	3.25 s	4.34 s	5.75 s	.....
6	0.98 s	1.68 s	1.83 s	2.41 s	2.81 s	3.21 s	4.02 s	4.52 s	5.95 s	.....
7	1.21 s	1.73 s	2.04 s	2.37 s	2.64 s	3.04 s	3.51 s	4.62 s	5.15 s	.....
8	1.31 s	1.69 s	2.00 s	2.54 s	2.41 s	2.94 s	3.32 s	4.79 s	5.71 s	.....
9	0.92 s	1.88 s	1.96 s	2.10 s	2.60 s	3.10 s	3.49 s	4.31 s	6.10 s	.....
10	0.98 s	1.74 s	1.86 s	2.44 s	2.64 s	3.74 s	3.93 s	4.56 s	5.91 s	.....
11	0.96 s	1.55 s	1.98 s	2.23 s	2.71 s	3.22 s	3.96 s	4.51 s	5.86 s	.....
12	1.01 s	1.63 s	2.02 s	2.41 s	2.77 s	3.56 s	3.82 s	4.44 s	5.79 s	.....
13	1.25 s	1.88 s	2.10 s	2.53 s	2.97 s	3.38 s	4.12 s	5.12 s	6.10 s	.....
14	1.19 s	1.78 s	1.99 s	2.42 s	3.02 s	3.52 s	3.97 s	4.68 s	5.81 s	.....
15	0.88 s	1.24 s	1.83 s	2.12 s	2.89 s	3.21 s	3.99 s	4.49 s	5.84 s	.....
16	0.92 s	1.22 s	1.88 s	2.29 s	2.81s	3.05 s	3.87 s	4.41 s	.....	.....
17	1.20 s	1.69 s	2.09 s	2.32 s	2.94 s	3.40 s	3.72 s	4.58 s	5.96 s	.....
18	1.01 s	1.39 s	1.88 s	2.39 s	3.00 s	3.50 s	4.10 s	4.49 s	5.71 s	.....
19	0.98 s	1.45 s	1.93 s	2.33 s	2.82 s	3.36 s	3.78 s	4.61 s	5.58 s	.....
20	1.32 s	1.76 s	2.12 s	2.46 s	2.89 s	3.30 s	3.82 s	4.42 s	5.69 s	.....
21	0.92 s	1.66 s	1.90 s	2.21 s	2.62 s	3.15 s	3.59 s	4.32 s	5.79 s	.....
22	1.19 s	1.48 s	1.82 s	2.10 s	2.74 s	3.16 s	3.33 s	4.51 s	5.79 s	.....
23	1.02 s	1.44 s	1.69 s	2.43 s	2.77 s	3.35 s	3.88 s	4.62 s	5.62 s	.....

24	1.12 s	1.39 s	1.90 s	2.37 s	2.63 s	3.48 s	3.59 s	4.69 s	5.98 s	.....
25	1.14 s	1.68 s	1.99 s	2.30 s	2.60 s	3.10 s	3.57 s	4.45 s	5.98 s	.....
26	1.09 s	1.77 s	1.75 s	2.35 s	2.71 s	3.41 s	3.91 s	4.37 s	6.15 s	.....
27	1.20 s	1.69 s	2.09 s	2.32 s	2.94 s	3.40 s	3.72 s	4.58 s	5.96 s	.....
28	0.98 s	1.68 s	1.83 s	2.41 s	2.81 s	3.21 s	4.02 s	4.52 s	5.95 s	.....
29	1.02 s	1.52 s	1.98 s	2.15 s	2.48 s	2.90 s	3.95 s	4.86 s	5.69 s	.....
30	0.92 s	1.88 s	1.96 s	2.10 s	2.60 s	3.10 s	3.49 s	4.31 s	6.10 s	.....

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

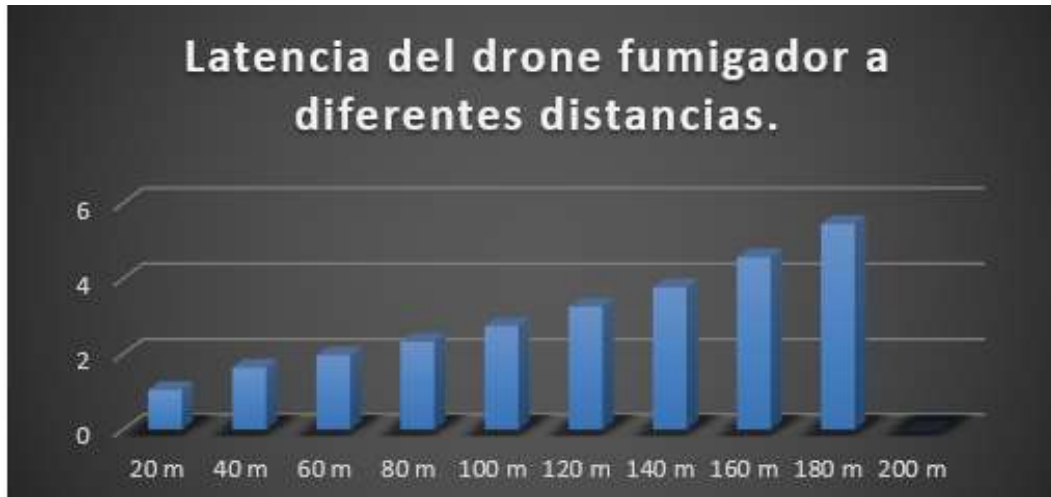


Gráfico 1-4: Primera prueba

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

4.1.1 Hipótesis

- La latencia existente a los 100 metros no es mayor a los 3 segundos.
- La latencia existente a los 180 metros no es mayor a los 6 segundos.

4.1.2 Análisis de datos

Tabla 2-4: Análisis de datos para la prueba de latencia

Análisis	20m	40m	60m	80m	100m	120m	140m	160m	180m	200m
Media	1,07	1,64	1,97	2,33	2,74	3,26	3,77	4,57	5,45	0
Desviación estándar	0,14	0,18	0,15	0,14	0,16	0,20	0,25	0,24	1,49	0
Varianza	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,06	2,23	0
Nivel de confianza	0,05	0,07	0,06	0,05	0,06	0,08	0,09	0,09	0,56	0

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

4.1.3 Validez de las hipótesis

- La primera hipótesis contemplaba que la media del tiempo a los 100 metros no era mayor a los 3 segundos, para lo cual se hizo el análisis en donde se observa que el tiempo es de 2,74 segundos satisfaciendo la propuesta.
- Como se observa en la tabla 2-4 la media que se obtuvo a los 180 metros es de 5,45 segundos, por lo tanto, se encuentra en el rango establecido como un valor bueno.

4.2 Prueba de comparación para el tiempo de vaciado

A continuación, se ha realizado las pruebas correspondientes a la comparación entre la fumigación manual y la fumigación generada por el dron fumigador, para lo cual se ha utilizado la misma cantidad de líquido que son 3 litros y en condiciones ambientales ideales arrojando los siguientes datos.

Tabla 3-4: Datos comparando la fumigación manual vs dron fumigador

Ítem	Cantidad	Tiempo (m)		Área (m ²)	
		Dron Fumigador	Fumigación Manual	Dron Fumigador	Fumigación Manual
1	3 litros	2:04	4:01	75	40
2	3 litros	1:59	4:21	78	42
3	3 litros	1:58	3:59	81	44
4	3 litros	2:06	4:26	85	41
5	3 litros	2:33	4:33	79	43
6	3 litros	2:20	4:15	89	40
7	3 litros	2:21	3:59	77	45
8	3 litros	2:09	4:19	87	39
9	3 litros	1:59	4:26	86	44
10	3 litros	2:24	4:28	76	41
11	3 litros	2:15	3:56	84	42
12	3 litros	2:20	3:55	89	43
13	3 litros	2:05	3:45	82	42
14	3 litros	2:21	3:39	84	40
15	3 litros	2:09	4:09	88	41
16	3 litros	2:14	4:19	85	45
17	3 litros	2:08	4:37	84	42
18	3 litros	1:58	4:48	85	49
19	3 litros	2:09	4:21	87	40
20	3 litros	2:15	4:11	82	46
21	3 litros	2:18	3:59	79	41
22	3 litros	2:05	3:50	83	41
23	3 litros	2:16	3:48	85	45
24	3 litros	2:01	4:01	86	40
25	3 litros	2:29	4:18	88	44
26	3 litros	2:07	4:22	86	42
27	3 litros	2:19	4:18	82	51
28	3 litros	2:26	4:22	89	48
29	3 litros	2:11	4:38	83	47
30	3 litros	2:19	4:22	84	42

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.



Gráfico 2-4: Tiempo de vaciado drone fumigador vs fumigación manual

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.



Gráfico 3-4: Área fumigada del drone fumigador vs fumigación manual

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

4.2.1 Hipótesis

- El tiempo de vaciado del drone fumigador comparado con la fumigación manual es menor.
- El área que fumiga el drone fumigador es mayor a los 80 metros cuadrados.

4.2.2 Análisis de datos

Tabla 4-4: Análisis de datos para la prueba de vaciado del tanque

Análisis de datos	Tiempo (m)		Área (m ²)	
	Drone Fumigador	Fumigación manual	Drone Fumigador	Fumigación manual
Media	2.07	4.01	83.90	43.10
Desviación estándar	0.21	0.35	3.60	2.94
Varianza	0.04	0.12	12.95	8.67
Nivel de confianza	0.08	0.13	1.37	1.12

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.



Gráfico 4-4: Tiempo de trabajo vs área fumigada para forma manual

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

4.2.3 Validez de la hipótesis

- La primera hipótesis resultó ser verdadera ya que si se compara la media de los datos del drone fumigador y los de la fumigación manual se observa que en cuestión la media del drone fumigador es menor dando validez a la hipótesis.
- La media del área que fumiga el drone fumigador debe ser mayor a los 80 metros cuadrados y como se observa se obtiene un valor de 83.90 que está dentro del rango establecido como aceptable.

4.3 Prueba de generación de rutas

Para la realización de esta prueba se generó dos tipos de rutas diferentes que fueron cargadas al drone fumigador para observar cómo se comportaba frente a ellas.

4.3.1 Primera prueba



Ilustración 1-4: Primera prueba de forma horizontal

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

Para la primera prueba se ajustó la velocidad del dron a 1 m/s para que la aplicación sea de mejor manera, mientras que la altura es de 4.4 metros. Estos parámetros fueron estudiados con anterioridad para saber la altura y velocidad adecuada para este cultivo.

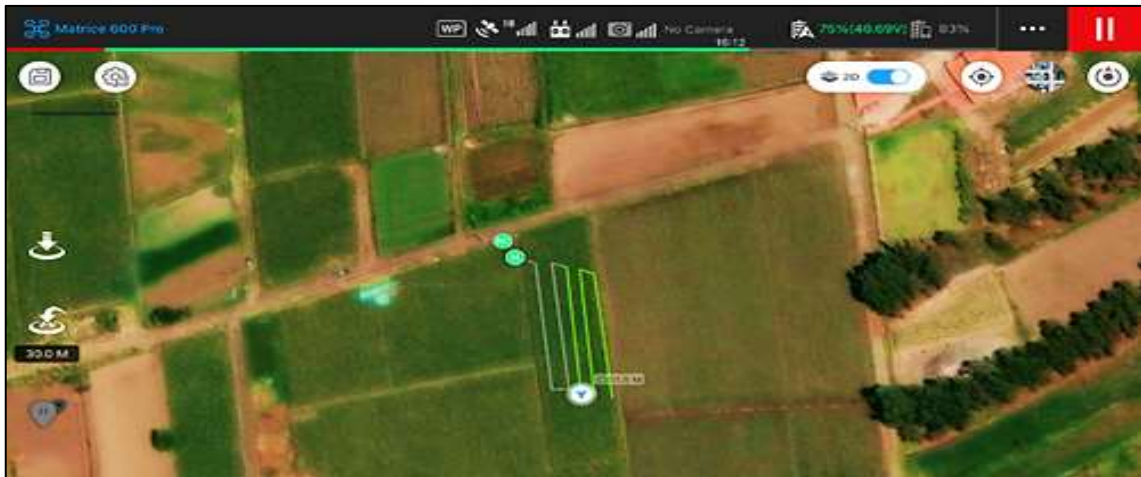


Ilustración 2-4: Dron fumigador siguiendo la ruta establecida

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

4.3.2 Segunda prueba



Ilustración 3-4: Generando la ruta a seguir para el dron fumigador

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

Para la segunda prueba se desarrolló una trayectoria en forma vertical, disminuyendo la distancia entre punto y punto. Los parámetros son los mismos que para la primera prueba es decir va a volar a 1 m/s y a una altura de 4.4 metros para que el sistema de fumigación cumpla su propósito.



Ilustración 4-4: Ruta de vuelo para drone fumigador

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

Una vez que se ha finalizado las dos pruebas se puede concluir que para analizar cuál sería la mejor ruta de vuelo es necesario tener en cuenta factores como, la forma de los guachos de la plantación, la dirección del viento, entre otros más. Por lo tanto, para poder generar la ruta de vuelo es necesario hacer un reconocimiento visual que ayudará a tomar la mejor decisión.

4.4 Prueba de tiempo de autonomía de las baterías

Para la siguiente prueba se tomó el tiempo que se demora el drone fumigador en quedarse sin batería para volar, para lo cual se ha trabajado con cinco cargas de líquido de 3 litros cada una en donde arrojó los siguientes tiempos.

Tabla 5-4: Datos para la prueba de la autonomía de las baterías

Número	Porcentaje de carga	Tiempo de trabajo (minutos)
1	100%	18:50
2	100%	19:30
3	100%	18:24
4	100%	19:46
5	100%	18:04
6	100%	20:01
7	100%	19:11
8	100%	19:36
9	100%	18:22
10	100%	19:54
11	100%	20:23
12	100%	18:36
13	100%	18:44
14	100%	19:25
15	100%	19:41
16	100%	18:16
17	100%	19:18
18	100%	20:11

19	100%	19:19
20	100%	17:46
21	100%	18:46
22	100%	19:48
23	100%	19:36
24	100%	19:25
25	100%	20:36
26	100%	19:57
27	100%	19:43
28	100%	18:45
29	100%	19:38
30	100%	19:17

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.



Gráfico 5-4: Autonomía de las baterías del dron fumigador

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

4.4.1 Hipótesis

- La autonomía que tienen las baterías antes de descargarse es de 18 minutos trabajando con el tanque lleno.

4.4.2 Análisis de datos

Tabla 6-4: Análisis de datos para la prueba de autonomía de baterías

Autonomía de las baterías	
Análisis de datos	Valor
Media	19.08
Desviación estándar	0.70
Varianza	0.49
Nivel de confianza	0.26

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

4.4.3 Validez de la hipótesis

- Una vez que se ha realizado los correspondientes análisis a los datos obtenidos se obtiene una media de 19.08 que es un dato que da el carácter de valida a la hipótesis planteada.

4.5 Prueba del tamaño de la gota

La forma de muestreo fue en un bloque A que corresponde al drone fumigador, y un bloque B para la bomba de mochila, cada uno con 5 repeticiones como se indica en la figura tomando en cuenta la dirección del viento con un largo de 10 metros con una separación de 20 entre tratamientos para evitar alteración de muestras por el factor deriva. Hay que tomar en cuenta las tarjetas colocadas a 15 cm con sujeción de varillas de metal en cada caso.

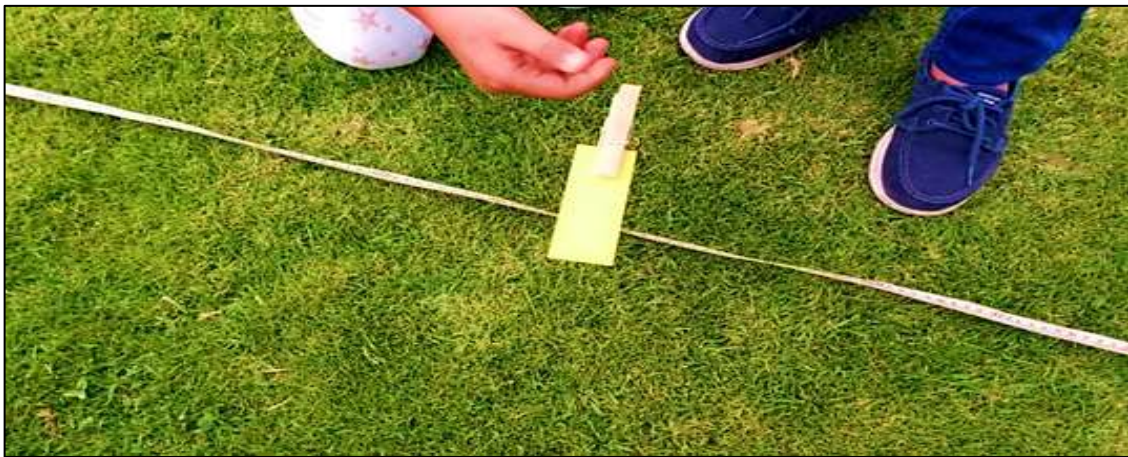


Ilustración 5-4: Tarjetas colocadas a 15 cm de la sujeción de varillas de metal

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

4.5.1 Diseño en campo

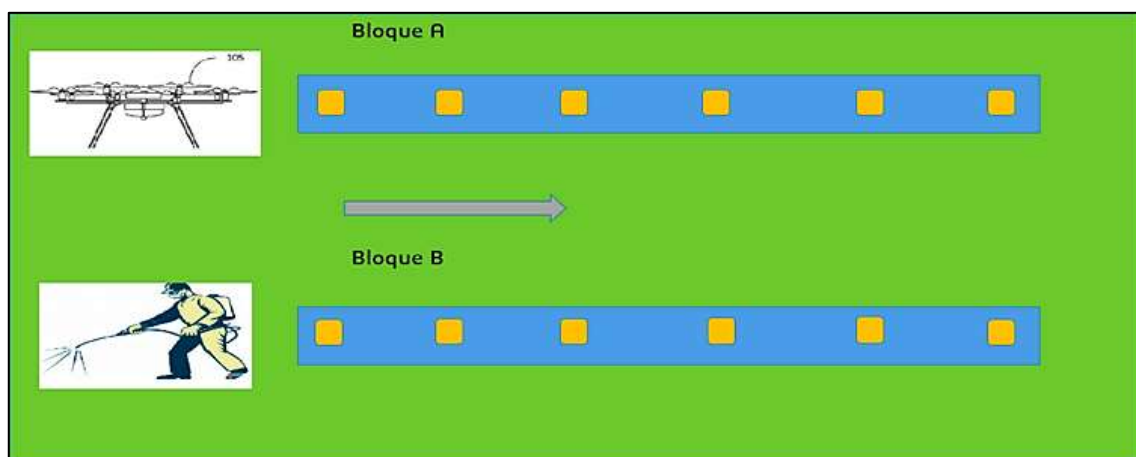


Ilustración 6-4: Diagrama de diseño experimental

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

4.5.2 Tamaño de gota y número de impactos



Ilustración 7-4: Tamaño de gota y número de impactos

Fuente: Bastidas A., Tapia M., 2023.

La lectura de las tarjetas hidro sensibles con CIR1.5 dentro de la pulverización o fumigación se considera imprescindible el uso de tarjetas para medir la calidad del asperjado. Dentro de la variedad de factores que contempla CIR1.5 existen el DVM (Diámetro Volumétrico Mediano), EL DNM (Diámetro Numérico Mediano), el factor de dispersión y la eficiencia, entre otro.

Que a partir de los datos obtenidos en campo de las tarjetas hidro sensibles, determinaremos el tamaño de gota por el método de DVM (diámetro volumétrico medio) y el DNM (diámetro numérico medio), expresado en micras (μm). Este método determinara que tan fina y con qué calidad de aspersión se procedió tanto el Drone fumigador como la bomba de mochila. También se determinó el número de impactos en cada uno de los casos.

El proceso para de determinación de número de impactos, así como tamaño de gota se lo realizó de forma manual al no contar en el país con el software CIR 1.5 para conteo automático.

Tabla 7-4: Resultados de la lectura de las tarjetas según tratamientos

Tratamientos	Velocidad (m/s)	Número de impactos / cm ²	DVM	Factor de dispersión.
Drone Fumigador	5	36.6	150	1.6
Bomba	0.5	25	320	3.8

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

4.5.3 Número de impactos



Gráfico 6-4: Media del número de impactos del drone fumigador vs la bomba de mochila

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

4.5.3.1 Resultado y análisis

El drone fumigador tuvo un mayor número de impactos que la bomba de mochila eléctrica, obteniendo 31.6% más de impactos como promedio de las muestras estudiadas.

El mayor número de presión en el sistema de pulverización del drone fumigador incidió en el incremento del número de impactos y una mejor uniformidad en la tarjeta de muestreo que es lo que se busca en las fumigaciones para la máxima eficiencia del producto.

4.5.4 Diámetro volumétrico medio (DVM)

El diámetro de volumen medio en la UAV es menor diámetro que presenta la bomba de mochila con 320μ frente a 150μ como se pudo observar en las muestras de las tarjetas obtenidas.

4.5.5 Resultado y análisis en la bomba de mochila

El diámetro volumétrico medio para las muestras analizadas es mayor para la bomba de mochila en donde se observaron gotas alargadas he irregulares que son un indicador de bajo calidad de aspersión y esto puede deberse a la poca distancia entre la boquilla y la planta que no le da espacio para que el abanico se disperse de forma correcta. Para el caso del Drone fumigador en diámetro volumétrico medio fue menor lo que dio formas más regulares que resultan en una aspersión más homogénea resulta mejor para que el líquido a aplicar llegue a más espacios en la hoja.

4.6 Análisis del estudio de mercado

El estudio de mercado se direccionó hacia las asociaciones de agricultores que son los que pueden acceder a la compra o alquiler del dispositivo. Para lo cual fue necesario recurrir a la base de datos

generada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP), en donde se pudo apreciar que existen registradas en la provincia de Chimborazo 244 asociaciones. Como se puede apreciar en el apartado 3.9 se calculó el número de encuestas que se deben aplicar las mismas que son 180.

A continuación, se muestra en el Anexo B la encuesta creada para este análisis. Dicho formulario fue desarrollado en la herramienta Forms para su fácil difusión.

4.6.1 *Pregunta 1: ¿Qué nivel tiene de conocimiento sobre drones fumigadores?*

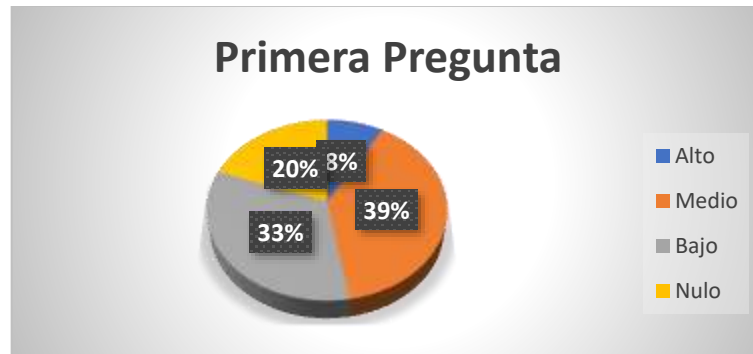


Gráfico 6-4: Resultado de la primera pregunta

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

Tabla 8-4: Resultados de la primera pregunta

Nivel	Valor	Porcentaje
Alto	15	8,33
Medio	70	38,89
Bajo	60	33,33
Nulo	35	19,44
Total	180	100

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

- **Interpretación:** Posterior al estudio realizado, se ha determinado que del total de encuestados el 38,89% tiene un conocimiento medio, un 33,33% de personas es bajo y el 19,44% no tiene conocimiento acerca del tema y tan solo el 8,33% del total sabe acerca del tema.

4.6.2 *Pregunta 2: ¿Cree usted que un drone fumigador reduciría enfermedades asociadas a la fumigación?*



Gráfico 7-4: Resultado de la segunda pregunta

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

Tabla 9-4: Resultados de la segunda pregunta

Nivel	Dato	Porcentaje
No	50	27,78
Si	130	72,22

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

- **Interpretación:** Luego de la recolección de datos se ha determinado que el 72,22% de la población considera que la fumigación por drones incide en la salud, mientras que el 27,78 considera que no existe repercusiones en la salud.

4.6.3 Pregunta 3: ¿Qué tan difícil cree usted que es el manejo de un drone fumigador?

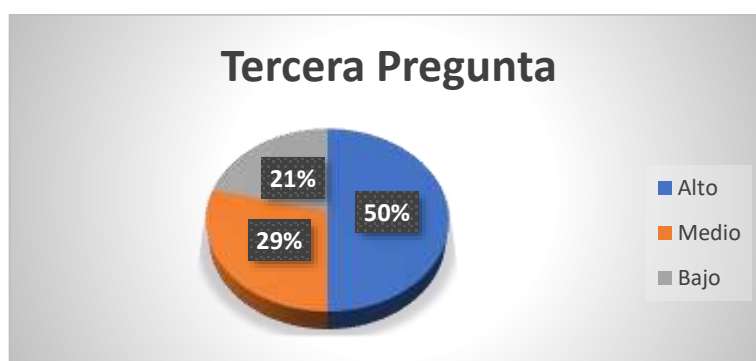


Gráfico 8-4: Resultado de la tercera pregunta

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

Tabla 10-4: Resultados de la tercera pregunta

Nivel	Valor	Porcentaje
Alto	90	50,00
Medio	52	28,89
Bajo	38	21,11
TOTAL	180	100,00

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

- **Interpretación:** Posterior a la aplicación de la encuesta se ha encontrado que, para el 50% de la población considera que tiene un alto grado de dificultad el controlar un dron fumigador, mientras que el 29% una dificultad media y el 21% no encuentra un mayor grado de dificultad en el manejo.

4.6.4 Pregunta 4: ¿Qué tan accesible cree usted que resulta el adquirir un drone fumigador para trabajos en la localidad?

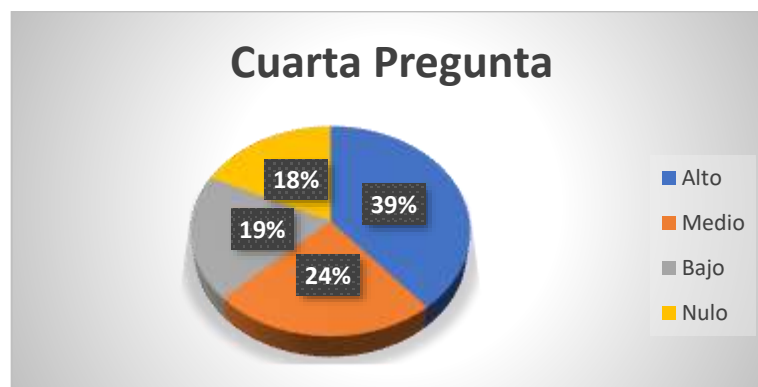


Gráfico 9-4: Resultado de la cuarta pregunta

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

Tabla 11-4: Resultados de la cuarta pregunta

Nivel	Valor	Porcentaje
Alto	70	38,89
Medio	43	23,89
Bajo	35	19,44
Nulo	32	17,78
TOTAL	180	100,00

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

- **Interpretación:** Del total de la población encuestada, el 38,89% de la muestra encuestada han coincidido en que sería fácil el acceso a un drone propio, mientras que el 23,89 acordaron en que no sería tan fácil, un 19,44% piensan que es difícil el ingreso debido a muchos factores. Finalmente, el 17,78% no estaría en capacidades de adquirir un drone fumigador.

4.6.5 Pregunta 5: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por un drone fumigador tomando en cuenta los beneficios que este genera?

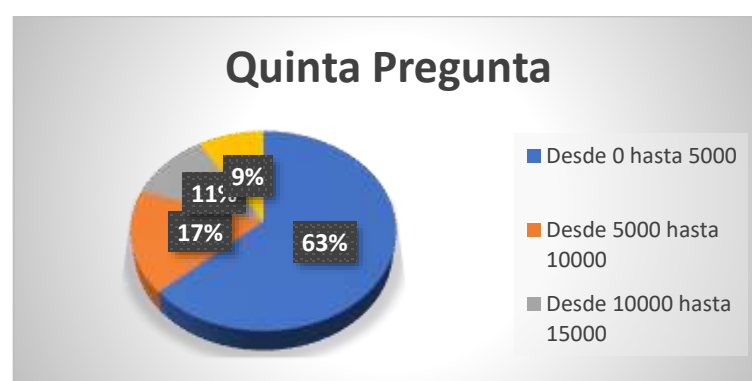


Gráfico 10-4: Resultado de la quinta pregunta

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

Tabla 12-4: Resultados de la quinta pregunta

Nivel	Valor	Porcentaje
Desde 0 hasta 5000	114	63,33
Desde 5000 hasta 10000	30	16,67
Desde 10000 hasta 15000	20	11,11
Desde 15000 en adelante	16	8,89
TOTAL	180	100,00

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

- **Interpretación:** Posterior a una investigación sobre un posible presupuesto de compra se encuentra que el 63,33% de los encuestados consideran que una inversión adecuada sería hasta 5000 dólares, un 16,67% de las personas consideran un rango ideal el comprendido entre los 5000 hasta los 10 000 dólares, para el 11,11% de los encuestados el precio debería estar entre los 10 000 hasta los 15 000, mientras que el 8,89% restante de la muestra coinciden en que el precio podría superar los 15 000.

4.6.6 Pregunta 6: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar para alquilar un drone fumigador por una hora de trabajo?

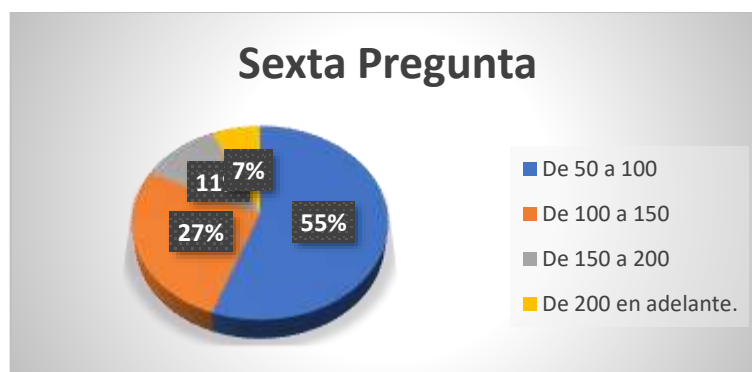


Gráfico 11-4: Resultado de la sexta pregunta

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

Tabla 13-4: Resultados de la sexta pregunta

Nivel	Valores	Porcentaje
De 50 a 100	100	55,56
De 100 a 150	48	26,67
De 150 a 200	20	11,11
De 200 en adelante	12	6,67
TOTAL	180	100,00

Realizado por: Bastidas A., Tapia M., 2023.

- **Interpretación:** Luego de aplicada la encuesta, se encuentra que, el precio adecuado para el alquiler del drone fumigador es de 50 dólares por hora según el 55,56%, seguido de 100 a 150 como la inversión más cómoda con un 26,67%, el 11,11% piensa que es de 150 a 200 dólares y el 6,67% piensa que el precio excede los 200 dólares.

4.7 Interpretación de los datos

Tras llevar a cabo el análisis de mercado, se desprende una conclusión de relevancia sustancial: prevalece un significativo nivel de desconocimiento acerca de los drones fumigadores. Esta falta de familiaridad se atribuye en gran parte a la novedosa naturaleza de esta tecnología, que no ha sido ampliamente difundida entre los agricultores, a pesar de ser estos los principales beneficiarios. No obstante, es importante destacar que un porcentaje considerable de la muestra encuestada manifiesta tener cierto grado de conocimiento sobre la funcionalidad y los beneficios inherentes de los drones fumigadores.

El estudio de mercado se focalizó en las opciones de adquisición y arrendamiento del dron fumigador. En el caso de la compra, al considerar los beneficios de este dispositivo, se constata que un 63% de los encuestados estaría dispuesto a invertir entre 0 y 5000 dólares. Sin embargo, este rango no se ajusta al nivel de inversión necesario para cubrir los costos de producción de un dron fumigador. Por lo tanto, se ha determinado que el rango más adecuado se encuentra entre 10000 y 15000 dólares, con una muestra del 11,11% del total de los encuestados que sería aceptable para iniciar la producción y comercialización. En última instancia, se destaca que, en caso de optar por desarrollar prototipos de mayor envergadura, aún hay un 9% de la muestra, equivalente a 16 encuestados, dispuesto a invertir más recursos por un dron fumigador de condiciones superiores.

CONCLUSIONES

- El uso de drones para la agricultura del país podría mejorar la competitividad y los rendimientos de los agricultores. De la misma forma contribuye con la reducción de la exposición química de los trabajadores al no necesitar estar ínsita durante la fumigación de los cultivos.
- Mediante la creación de una interfaz web para el operador de vuelo en Node-Red y la conexión inalámbrica a través de un Esp32, se estableció un sistema que permite supervisar de manera remota y en tiempo real los datos de voltaje y nivel de fumigante, mismo que cumplió con los parámetros para las pruebas de fumigación.
- La implementación de soluciones basadas en IoT, permitió una asistencia remota significativa para la fumigación del maíz en la provincia de Chimborazo, sector vía Chambo - Ecuador.
- Para generar la mejor ruta de vuelo, es esencial revisar algunos factores externos que pueden afectar de forma directa. Principalmente es necesario inspeccionar las condiciones climáticas del sector donde se quiere realizar los trabajos de fumigación, ya que si existe presencia de fuertes vientos o precipitaciones que harían complicado el vuelo del Drone Fumigador lo recomendable sería no realizar ningún tipo de maniobra. Los factores propios del terreno y el cultivo también juegan un papel muy importante para poder definir la altitud de vuelo, la velocidad de desplazamiento, los puntos por donde debe pasar, etc. La unión de todas estas variables externas hace que se pueda generar una buena ruta de vuelo.
- La investigación de mercado ha demostrado que los agricultores valoran la capacidad del drone fumigador para aplicar productos químicos y en áreas de difícil acceso para equipos terrestres. La reducción en el consumo de insumos, la disminución de la exposición humana a productos químicos son factores clave que influyen en la adopción de esta tecnología. En resumen, el mercado de drones fumigadores ofrece oportunidades prometedoras para la mejora de la eficiencia agrícola y la reducción de impactos ambientales. Si los fabricantes y proveedores logran abordar los desafíos clave, como la aceptación del mercado, la regulación y la capacitación de los usuarios, es probable que se vea una continua aceptación de esta tecnología en la industria agrícola en los próximos años.

RECOMENDACIONES

- Una recomendación clave para la generación de rutas eficientes en un dron fumigador es utilizar software de planificación de vuelo especializado. Este tipo de software tiene en cuenta factores cruciales como la topografía del terreno, la distribución de los cultivos, la dirección y velocidad del viento, entre otros, para crear rutas óptimas que maximicen la eficiencia de la fumigación y minimicen el tiempo de vuelo.
- Es fundamental implementar sesiones informativas dirigidas específicamente a la comunidad agrícola, quienes constituyen los principales destinatarios de los beneficios que ofrecen los drones fumigadores. Estas charlas tienen como objetivo generar una mayor comprensión acerca de las funcionalidades, ventajas y consideraciones económicas asociadas a la adquisición o arrendamiento de un dron fumigador. Dado que esta tecnología aún no es ampliamente reconocida, es comprensible que exista cierta desconfianza frente a la transición desde los métodos convencionales en ciertas actividades.
- Si se pretende extender la cobertura de la red LAN, se aconseja considerar la adquisición de un módem de mayor potencia, tal como los dispositivos "rompe muros", que tienen la capacidad de abarcar un área de hasta 900 metros cuadrados.
- Si se desea realizar trabajos por un tiempo más extenso con el Dron Fumigador, se sugiere acondicionar al prototipo con baterías de mayor tiempo de duración ya que con las que se encuentra equipado el dron DJI Matrice 600 Pro tiene un tiempo de autonomía que varía entre los 17 y 20 minutos.
- Revisar de manera rigurosa las condiciones meteorológicas como son la velocidad del viento que debe estar entre los 5 y 15 kilómetros por hora, un cielo despejado, ausencia de precipitaciones, un rango de temperatura que oscile entre los 15°C y 30 °C y una humedad relativa adecuada es decir entre el 40% y 80%. Es necesario consultar con anticipación los informes sobre las condiciones meteorológicas en fuentes confiables.
- Antes de realizar cualquier tipo de trabajo es necesario conocer las reglas impuestas por la Dirección General de Aviación Civil (DGAC) en donde se menciona que para volar drones mayores a un peso de 250g (0.25 kg) es fundamental contar con una licencia para operadores. Se menciona una altitud máxima de vuelo de 120 metros, además se habla de los lugares en

los que no se puede volar como son aeropuertos y zonas de aviación, bases militares, instalaciones gubernamentales, áreas pobladas, etc. Es necesario tener en cuenta estas restricciones para evitar problemas futuros.

BIBLIOGRAFÍA

ALTAMIRANO BENALCÁZAR, Héctor Rodrigo y PUENTE MORENO, Amanda Madelaine. Diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores inteligentes para el registro de la contaminación acústica en la ESPOCH basado en tarjetas de desarrollo. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. [En línea] 2016. [Citado el: 30 de Marzo de 2023.] <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6378>.

ALVAREZ HUAMAN, Victor Hugo. Diseño de un sistema de fumigación para cultivos frutales de baja altura usando vehículo aéreo no tripulado (UAV). *Universidad Nacional de Piura*. [En línea] 2019. [Citado el: 03 de Enero de 2023.] <https://es.scribd.com/document/422838903/Proyecto-Mecatronico-2-Cuarto-Avance>.

AMORTEGUI DIAZ, Daniel Albeiro; et al. Diseño de un sistema autónomo para fumigación aérea. *Universidad Tecnológica de Pereira*. [En línea] 2014. [Citado el: 12 de Febrero de 2023.] <https://core.ac.uk/download/pdf/71398747.pdf>.

ASTUDILLO BASTIDAS, Ramiro Andrés & CANDO GARZÓN, David Patricio. Diseño e implementación de un prototipo de medidor de nivel de agua a través de un sensor ultrasónico para pasos deprimidos. *Universidad Israel*. [En línea] 2016. [Citado el: 27 de Marzo de 2023.] <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/1181>.

AYALA SANTILLÁN, María José & GRANDA PARRA, Yolanda Jeanneth. Automatización del Bioreactor para obtener la base de bebidas energéticas con tecnología difusa en el laboratorio de procesos industriales de la Facultad de Ciencias. *Epoch*. [En línea] 2016. [Citado el: 21 de Julio de 2021.] <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4972>.

BARONE, Gerónimo. Control de calidad de pulverizaciones agrícolas. *UNLP*. [En línea] 2019. [Citado el: 16 de Febrero de 2023.] <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/74064>.

BENITO, Álvaro. Desarrollo de aplicaciones para IoT con el módulo ESP32. *Universidad de Alcalá*. [En línea] 2019. [Citado el: 02 de Abril de 2023.] <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/35420>.

BORNACELY L. Técnicas de Aplicación Aérea de Plaguicidas Agrícolas. *Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA*. [En línea] 2010. [Citado el: 11 de Febrero de 2023.] <http://hdl.handle.net/20.500.12324/766>.

BUSTAMANTE VILLAGÓMEZ, Diego Fernando & CHUGÁ ROSERO, María Alejandra. 2022. Diseño e Implementación de un Sistema de Riego Inteligente y Monitoreo de Variables Edafológicas y Meteorológicas Activado por IoT. *Universidad Internacional SEK*. [En línea] 2022. [Citado el: 28 de Marzo de 2023.] <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4876>.

CARBONELL, Alejandro; et al. Educar para un futuro sostenible a través de la Economía Circular: Implicación ciudadana y cambio social. *Comunicar*. [En línea] 2022. [Citado el: 14 de Febrero de 2023.] <https://www.revistacomunicar.com/index.php?contenido=detalles&numero=73&articulo=73-2022-02>.

CARPIO, L. The use of technology in agriculture. [En línea] 2018. [Citado el: 06 de Enero de 2023.]

CARVAJAL HOYOS, Camilo Andrés & SUSA VELANDIA, Juan Sebastián. Módulo de energía para el vehículo estratosférico Sabio Caldas II. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. [En línea] 2018. [Citado el: 27 de Marzo de 2023.] <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13466/CarvajalHoyosCamiloAndres2018.pdf?sequence=1>.

CERVANTES, Williams; et al. Arduino en la automatización de los sistemas de riego. *Universidad Autónoma de Bucaramanga*. [En línea] 2016. [Citado el: 26 de Marzo de 2023.] <https://revistas.unab.edu.co/index.php/rcc/article/view/2720>.

CHIRA, Alberto & GÓMEZ, Oscar. Propuesta de utilización de drones para mejorar la productividad en procesos de fumigación decultivos de arroz IR-43en la empresa Semillas Piuranas S.A.C.La Arena-2021. *Universidad César Vallejo*. [En línea] 2021. [Citado el: 01 de Enero de 2023.] https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/87216/Chira_PA-D-G%c3%b3mez_FOD-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

CICOM. Congreso Internacional México-Colombia CICOM 2018. *FABBECOR.ONG*. [En línea] 2018. [Citado el: 03 de Abril de 2023.] <https://comunidad.udistrital.edu.co/cicom2019/files/2019/05/MemoriasCicom2018.pdf>. 2462-9588.

CLOUD PIX4D. Pix4Dmapper guía de inicio. *Cloud pix4D*. [En línea] 2023. [Citado el: 15 de Febrero de 2023.] <https://cloud.pix4d.com/signup/>.

DIAZ VILLAGRAN, Jhonny Alberto; et al. Diseño y construcción de un drone para la aplicación en la detección de plagas y fumigación en el cultivo de café en el estado de Chiapas. *Tecnológico Nacional de México*. [En línea] 2018. [Citado el: 02 de Enero de 2023.] https://www.academia.edu/37426973/Drone_Fumigador.

DÍAZ, Carlos. Diseño e implementación de un asistente personal inteligente en español basado en reconocimiento de voz empleando Raspberry Pi. *Universidad Carlos III de Madrid*. [En línea] 2018. [Citado el: 01 de Abril de 2023.] <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/29445>.

DJI. DJI GS PRO. *DJI*. [En línea] 2022. [Citado el: 19 de Febrero de 2023.] <https://www.dji.com/global/ground-station-pro>.

ESPITIA ROMERO, Yeison Ferney & SANTIAGO MONTAÑO, Stivent Alfonso. Diseño conceptual y preliminar de un UAV fumigador para cultivos de papa en Úmbita – Boyacá. *Fundación Universitaria Los Libertadores*. [En línea] 2022. [Citado el: 08 de Enero de 2023.] <http://hdl.handle.net/11371/4898>.

FONSECA YUPA, Juan Diego & SORIA BADILLO, Daniel Andretty. Diseño e implementación de control domótico (con sistemas embebidos) para conectarse con aplicaciones adaptivas basados en IOT. *Universidad Politécnica Salesiana*. [En línea] 2020. [Citado el: 22 de Abril de 2023.] <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18986>.

GARCIA, J. Desarrollo de aplicaciones para IoT con módulos embebidos ESP-12E integrando las plataformas Thingspeak y Google Sites. *Universidad Nacional de Piura*. [En línea] 2021. [Citado el: 19 de Febrero de 2023.] <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/3140?show=full>.

GALE RODRÍGUEZ, Eduardo Leonel. Diseño e implementación de un sistema automatizado para la preparación del desinfectante en los botellones de agua. *UPSE*. [En línea] 2019a. [Citado el: 29 de Marzo de 2023.] <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/4792>.

GUANANGA NARVÁEZ, Evelyn Josette & VIVAS DÍAZ, Wilmer Ricardo. Comparación de protocolos de comunicación para internet de las cosas (IoT). *Universidad Politécnica Salesiana*. [En línea] 2022. [Citado el: 20 de Febrero de 2023.] <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23315>.

GUATO FERNÁNDEZ, Karen Estefani. Análisis de las redes de sensores inalámbricos en la agricultura de precisión en el Ecuador. *Universidad Agraria del Ecuador*. [En línea] 2019. [Citado el: 06 de Enero de 2023.] <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/GUATO%20FERNANDEZ%20KAREN%20ESTAFANI.pdf>.

LAURIC, Andrea; et al. Utilización de tarjetas hidrosensibles para evaluar el efecto de la presión sobre la calidad de aplicación. *Agricultura*. [En línea] 2019. [Citado el: 15 de Febrero de 2023.] https://www.engormix.com/agricultura/pulverizacion-aerea-terrestre/utilizacion-tarjetas-hidrosensibles-evaluar_a43572/.

LEIVA, Pedro. Pastillas para pulverización agrícola, su correcta selección y uso para una óptima calidad de aplicación. *Sitio Argentino de Producción Animal*. [En línea] 2011. [Citado el: 15 de Febrero de 2023.] https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_combate_de_plagas_y_malezas/137-Pastillas.pdf.

LIBERATORI, Mónica. Redes de datos y sus protocolos. *Universidad Nacional de Mar del Plata*. [En línea] 2018. [Citado el: 19 de Febrero de 2023.] <http://www2.mdp.edu.ar/images/eu-dem/pdf/redes%20de%20datos.pdf>. 978-987-4440-11-2 .

MANZANO VILLAFUERTE, Victor Santiago & MAYANQUER GAVILANEZ, Diego Fernando. Sistema autónomo de pulverización para fumigación de plantaciones de frutilla asistido por un dron. *Universidad Técnica de Ambato*. [En línea] 2019. [Citado el: 05 de Enero de 2023.] <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30072>.

MARTINEZ, Rodrigo. Comparativa y estudio de plataformas IoT. *Universidad Politécnica de Catalunya*. [En línea] 2017. [Citado el: 16 de Febrero de 2023.] <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/113622/TFG-RodrigoMartinezJacobson.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MEDINA AGUILAR, Carmen Pamela & MORALES PERUGACHI, Lilian del Carmen. Manual práctico para cuidar la salud y el ambiente, en la comunidad de Shanshipamba frente al uso de plaguicidas. *Universidad Técnica del Norte*. [En línea] 2009. [Citado el: 09 de Enero de 2023.] <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2314/2/05%20FECYT%20689%20CARATULA%20DE%20TESIS.pdf>.

MEDINA ROCHA, Andrea Liliana. Estudio cualitativo sobre el riesgo químico asociado a la aspersión terrestre de glifosato en los trabajadores del programa de erradicación de cultivos ilícitos - peccat - en el departamento de Nariño. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. [En línea] 2017. [Citado el: 13 de Febrero de 2023.] <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/7325>.

MINTA REINO, Julio Cesar. Aplicación de herbicidas con drones en el Ecuador. *Universidad Técnica de Babahoyo*. [En línea] 2022. [Citado el: 18 de Febrero de 2023.] <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13342>.

MOLINA PUMA, Diego Armando. Desarrollo de un sistema prototipo de control para mezclado y monitoreo del proceso de fumigación manual en plantaciones de cacao de la comuna Flor del Valle - Santo Domingo de los Tsáchilas. *Universidad Politécnica Salesiana*. [En línea] 2016. [Citado el: 08 de Enero de 2023.] <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13088>.

MURILLO, Adolfo. Evaluación del proceso de producción de paneles de madera en la empresa triplex San Juan Ltda. *Universidad Autónoma de Occidente*. [En línea] 2020. [Citado el: 11 de Mayo de 2023.] <https://red.uao.edu.co/handle/10614/12221?show=full>.

NOBOA BECERRA, Mayra Alexandra. Sistema electrónico de control de un prototipo de seguidor solar fotovoltaico en la facultad de ingeniería en sistemas, electrónica e industrial de la Universidad Técnica de Ambato. *Universidad Técnica de Ambato*. [En línea] 2021. [Citado el: 25 de Marzo de 2023.] <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33498/1/t1868ec.pdf>.

OLMO, Esteban. Caracterización de baterías de litio para el estudio del envejecimiento. *Universidad Politécnica de Madrid*. [En línea] 2019. [Citado el: 10 de Abril de 2023.] https://oa.upm.es/57278/1/TFG_GUILLERMO_OLMO_ESTEBAN.pdf.

ORTIZ LÓPEZ, Catalina del Rocío. Estudio de solidificación de pilas y baterías de uso doméstico mediante la técnica de macroencapsulación. *Escuela Politécnica Nacional*. [En línea] 2009. [Citado el: 09 de Abril de 2023.] <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1743>.

PAZMIÑO ESTRELLA, Daniel Carlos & GUANOLUISA TACO, Milton Orlando. Cargador de baterías de plomo-ácido de 48 voltios. *Escuela Politécnica Nacional*. [En línea] 2008. [Citado el: 04 de Abril de 2023.] <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/643>.

PEÑA, Carlos. Estudio de baterías para vehículos eléctricos. *Universidad Carlos III de Madrid*. [En línea] 2011. [Citado el: 04 de Abril de 2023.] <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/11805>.

PLENGE TELLECHEA, Luis Fernando; et al. Riesgos a la salud humana causados por plaguicidas. *Tecnociencia Chihuahua*. [En línea] 2007. [Citado el: 10 de Enero de 2023.] <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/55>.

PONLUISA MARACALLA, Neisser Fernando. Diagnóstico paramétrico predictivo de fallos de paneles solares en cadena utilizando tecnología de bajo costo. *Universidad Politécnica de Valencia*. [En línea] 2021. [Citado el: 23 de Abril de 2023.] <https://riunet.upv.es/handle/10251/177235>.

REYES ORTIZ, Maria Ximena. Proyecto de investigación en el entorno educativo en Colombia utilizando drones para agricultura de precisión, fotogrametría, riego y fumigación. *Los libertadores*. [En línea] 2022. [Citado el: 20 de Febrero de 2023.] <https://repository.libertadores.edu.co/handle/11371/5581>.

RODRÍGUEZ, Fabio & RAMOS, Edgar. Sistema remoto de monitoreo eléctrico para una central telefónica. *Universidad Privada del Valle*. [En línea] 2021. [Citado el: 22 de Marzo de 2023.] <https://doi.org/10.52948/mare.v3i2.563>.

SALDARRIAGA ANDRADE, José Omar & MERO SIMISTERRA, Juan José. Diseño e implementación de dos robots de batalla de 3 libras para el Club de Robótica de la Universidad Politécnica Salesiana. *Universidad Politécnica Salesiana*. [En línea] 2020. [Citado el: 24 de Marzo de 2023.] <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19594>.

SÁNCHEZ CRUZ, Christian Daniel & VILCA MONTA, Víctor Damián. Automatización del proceso de fumigación para la prevención de plagas en el galpón N° 2 en la granja avícola Sánchez durante el periodo 2021. *Universidad Técnica de Cotopaxi*. [En línea] 2021. [Citado el: 24 de Abril de 2023.] <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7961>.

SIABATO ROMERO, Steven Ricardo; et al. Riesgos a la salud pública por aspersión aérea con glifosato en la erradicación de coca. *Boletín Semillas Ambientales*. [En línea] 2018. [Citado el: 12 de Febrero de 2023.] <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/download/15875/15476/81135>.

TOMALA CHIMBO, Yomira Verónica. Efecto de fumigación con dron y avioneta para el control de *Mycosphaerella fijiensis* (Sigatoka negra) en el cultivo de banano de variedad Williams. *Universidad Agraria del Ecuador*. [En línea] 2022. [Citado el: 04 de Enero de 2023.] <https://docplayer.es/230824897-Universidad-agraria-del-ecuador-facultad-de-ciencias-agrarias-carrera-de-ingenieria-agronomica.html>.

TORRES, J; et al. Rendimiento para la interoperabilidad entre Raspberry pi, ESP8266 y PLC con Node-RED para el IIoT. *INGENIUS Revista de Ciencia y Tecnología*. [En línea] 2023a. [Citado el: 17 de Febrero de 2023.] <https://ingenius.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/6340>.

TORRES, Mariela & PAZ, Karim. Tamaño de una muestra para una investigación de mercado. *Universidad Rafael Landívar*. [En línea] 2018. [Citado el: 11 de Mayo de 2023.] http://moodle.landivar.url.edu.gt/url/oa/fi/ProbabilidadEstadistica/URL_02_BAS02%20DETERMINACION%20TAMA%C3%91O%20MUESTRA.pdf.

VALDOVINOS VALDOVINOS, Sergio Alexis; et al. Instrumentación de un generador. *Revista Tecnología En Marcha*. [En línea] 2019. [Citado el: 21 de Marzo de 2023.] <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4270>.

VIERA PÉREZ, Juan Carlos. Carga rápida de baterías de ni-cd y ni-mh de media y gran capacidad. Análisis, síntesis y comparación de nuevos métodos. *Universidad de Oviedo*. [En línea] 2003. [Citado el: 05 de Abril de 2023.] <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=18387>.

YANEZ, Carlos; et al. Guía de Producción de maíz para pequeños agricultores y agricultoras. *INIAP*. [En línea] 2013. [Citado el: 07 de Enero de 2023.] <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2435/1/iniapscg96.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A: CERTIFICADO 1 DE VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE FUMIGACIÓN


CERTIFICADO

Riobamba, 02 de agosto de 2023

Mediante la presente certifico que la tesis titulada "Diseño e Implementación de un sistema de fumigación de bajo costo con arquitectura IoT para el Drone DJI Matrice 600 Pro" realizada por el Sr. Angel Alejandro Bastidas Argudo y Marlon David Tapia Farinango, quienes han llevado a cabo la investigación y construcción de un prototipo de dron fumigador en aplicaciones agrícolas, cumple con todos los parámetros de seguridad y calidad que garantizan su normal funcionamiento y desempeño en las condiciones de trabajo requeridas.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a los interesados en hacer el uso del presente documento, como tuviere conveniente, siempre dentro del marco de la ética y de la honradez.

Atentamente,


Ing. Agr. Mónica Tapia G.

0602577066

ANEXO B: CERTIFICADO 2 DE VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE FUMIGACIÓN

CERTIFICADO

Riobamba, 02 de agosto de 2023

Mediante la presente certifico que la tesis titulada "Diseño e Implementación de un sistema de fumigación de bajo costo con arquitectura IoT para el Drone DJI Matrice 600 Pro" realizada por el Sr. Angel Alejandro Bastidas Argudo y Marlon David Tapia Farinango, quienes han llevado a cabo la investigación y construcción de un prototipo de dron fumigador en aplicaciones agrícolas, cumple con todos los parámetros de seguridad y calidad que garantizan su normal funcionamiento y desempeño en las condiciones de trabajo requeridas.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a los interesados en hacer el uso del presente documento, como tuviere conveniente, siempre dentro del marco de la ética y de la honradez.


Atentamente,



Ing. Agr. Juan Haro Vallejo

0603607458

ANEXO C: ENCUESTA UTILIZADA EN EL ESTUDIO DE MERCADO

	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN</p> <p style="text-align: center;">CUESTIONARIO PARA ESTUDIO DE MERCADO DEL DRONE FUMIGADOR DJI MATRICE 600 PRO.</p>
<p>El siguiente cuestionario es de carácter anónimo y de estricta confidencialidad, la información obtenida se utilizará únicamente con fines académicos en el desarrollo del trabajo de investigación para finalización de carrera.</p>	
<p>Instrucciones: A continuación, se presenta un video que muestra lo que es un Drone Fumigador y como es su manera de trabajo, si no se tiene conocimientos sobre el tema se le pide ingresar al enlace y mirar el video para seguir con el cuestionario.</p>	
<p>Enlace: https://youtu.be/JWItpau1JsQ?si=gIYNYb35vYgTGWzr</p>	
<p>Preguntas</p>	
<p>¿Qué nivel tiene de conocimiento sobre drones fumigadores?</p>	
<ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Alto<input type="radio"/> Medio<input type="radio"/> Bajo<input type="radio"/> Nulo	
<p>¿Cree usted que un drone fumigador reduciría enfermedades asociadas a la fumigación?</p>	
<ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Si<input type="radio"/> No	
<p>¿Qué tan difícil cree usted que es el manejo de un drone fumigador?</p>	
<ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Alto<input type="radio"/> Medio<input type="radio"/> Bajo<input type="radio"/> Nulo	
<p>¿Qué tan accesible cree usted que resulta el adquirir un drone fumigador para trabajos en la localidad?</p>	
<ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Alto<input type="radio"/> Medio<input type="radio"/> Bajo<input type="radio"/> Nulo	
<p>¿Cuánto estaría dispuesto a invertir por un drone fumigador tomando en cuenta los beneficios que este genera.?</p>	
<ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Desde 0 hasta 5000 dólares.<input type="radio"/> Desde 5000 hasta 10000 dólares<input type="radio"/> Desde 10000 hasta 15000 dólares<input type="radio"/> De 15000 en adelante.	
<p>¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por el alquiler de un drone fumigador por una hora de trabajo.?</p>	
<ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> De 50 a 100<input type="radio"/> De 100 a 150<input type="radio"/> De 150 a 200<input type="radio"/> De 200 en adelante.	



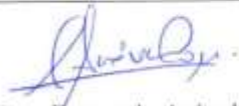
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 25/10/2023

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES
Nombres – Apellidos: Marlon David Tapia Farinango- Angel Alejandro Bastidas Argudo
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Informática y Electrónica
Carrera: Ingeniería Electrónica y Automatización.
Título a optar: Ingeniero en Electrónica y Automatización.
f. Analista de Biblioteca responsable:  Ing. Fernanda Arévalo M.

