

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



Drones en la agricultura: Tipos y Aplicaciones

Por:

DARIO MOSQUEDA MONCADA

MONOGRAFÍA

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:
Ingeniero Mecánico Agrícola

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio de 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



Drones en la agricultura: Tipos y Aplicaciones

Por:

DARIO MOSQUEDA MONCADA

MONOGRAFÍA

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:
Ingeniero Mecánico Agrícola

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio de 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

Drones en la agricultura: Tipos y Aplicaciones

POR:

DARIO MOSQUEDA MONCADA

MONOGRAFÍA

QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobada por



Dr. Jesús Rodolfo Valenzuela García
Asesor principal



Dra. Blanca Elizabeth de la Peña Casas



M.C. Juan Antonio López López
Vocal



M.C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio de 2024

Declaración de no plagio

C. Dario Mosqueda Moncada con numero de matricula 41196445. Estudiante del programa docente de Ingeniero Mecánico Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro como autor de este documento académico, titulado:

DRONES EN LA AGRICULTURA: TIPOS Y APLICACIONES

Y Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de: Ingeniero Mecánico Agrícola

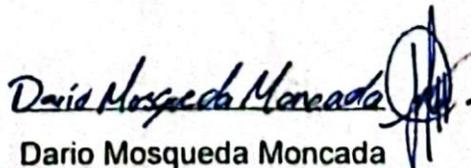
Declaro que:

Es un fruto de mi trabajo personal, no utilizo fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (copia y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia o sin mencionar de forma clara y estricta su origen, tanto en el cuerpo del texto como en la bibliografía (auto plagio); todo el material digital utilizado como imágenes, ilustraciones o figuras tienen sus respectivas citas, autor original y fuente, al igual declaro no comprar, robar o utilizar datos o la Monografía para presentarla como propia.

Al igual, estoy consciente de que el hecho de no respetar estos extremos es objeto de sanciones universitarias y/o de otro orden.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, a 04 de junio de 2024.

Pasante


Dario Mosqueda Moncada

Agradecimientos

A mi asesor el Dr. Jesús Rodolfo Valenzuela García, por su tiempo y dedicación que me brindo y por todos los conocimientos que me otorgo para la realización de este proyecto al igual para poder estar el día de hoy aquí.

A todos mis profesores, pero en especial al M.C. Héctor Uriel Serna Fernández y al M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández, por su tiempo tanto en aulas como en apoyo personal, porque gracias a eso logre culminar con esta meta.

A mis amigos, Víctor Alfonzo Pérez, Aureliano Santos, Juan Jerónimo, Benjamín Cortez, Joel Santiago, Juan Aguilar, Octavio Javier Pérez, Carlos Daniel López, Edgar López, Rodolfo Vales, gracias, infinitamente gracias por su amistad y su compañía, gracias por formar parte de mi vida.

Y al final, pero no menos importante, le doy las gracias a mi Universidad, la UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, mi segunda casa, gracias por todas las experiencias, actividades y por la nueva familia que me brindo, donde los cuales, cada día me impulsaban a seguir adelante.

Dedicatorias

A mis padres, Salvador Mosqueda Quiroz y Sofia Moncada Gallardo, por apoyarme durante este proceso de aprendizaje y desarrollo, gracias a ellos, a su amor y cariño incondicional lograron siempre alentarme a continuar con este gran proceso, gracias a su apoyo económico y material me ayudaron a enfocarme en la carrera y no desistir.

Para mis hermanas y hermano, Ibeth Mosqueda Moncada, Nancy Mosqueda Moncada y Jonathan García García, por acompañarme en este camino de mi vida, por compartirme sus experiencias y conocimientos para poder entender mejor la vida misma.

A mi novia, Brenda, que, gracias a ella y a su apoyo, pude continuar con los estudios, por todo su ánimo que me brido en momentos muy difíciles, por todas esas experiencias que tuvimos en este transcurso de nuestras vidas.

Tabla de contenido

Resumen	1
Introducción	3
Capítulo I. Tipos de drones utilizados en la agricultura	7
1.1 Drones en la agricultura	7
Capitulo II. Drones y su aplicación	11
2.1 Descripción de los tipos de drones usados en la agricultura	11
2.1.1 Drones de ala fija	11
2.1.2 Drones Multirotor	12
2.2 Aplicación de los drones en la agricultura	14
2.2.1 Diagnóstico (Fotogrametría)	14
2.2.2 Topografía	16
2.2.3 Aplicación de productos químicos	17
Capitulo III. Elementos que permiten el funcionamiento y uso de los drones ...	21
3.1 Software	21
3.1.1 Pix4D	21
3.1.2 OpenDroneMap	23
3.1.3 DroneDeploy	24
3.1.4 Sistema de Información Geográfica (QGIS)	25
3.2 Hardware	26
3.2.1 Partes de un Dron de ala fija	26
3.2.2 Partes de un Dron multirotor	35
3.3 Controles de mando	44
3.4 GPS	47
3.5 Baterías	55
3.6 Sensores de proximidad	58
Capítulo IV. Cámaras de monitoreo	64
4.1 Cámaras RGB	65
4.2 Cámaras térmicas	66
4.3. Cámaras multiespectrales	67
Capitulo V. Caso	69

5.1 Plan de vuelo en un predio de Nopal en la región de General Cepeda, Coahuila, México.	69
5.2 Obtención del ortomosaico	70
5.3 Ingreso de las fórmulas para el cálculo del índice de vegetación (VARI) ..	72
5.4 Obtención del mapa del índice de vegetación (VARI).....	73
5.5 Obtención del índice VARI	74
Capítulo VI. Conclusiones sobre los drones como herramienta para una agricultura eficiente: Un Futuro de Alta Tecnología	75
Bibliografía	77

Tabla de Figuras

Figura 1.1 Tipos de Drones. a) Ala Fija y b) Multirotor Fuente: (Barria y Villarroel, 2021).....	7
Figura 2.1 Dron de ala fija utilizado en la agricultura. Fuente: (SITEP, 2024). ..	11
Figura 3.2 Dron Quadcopter. Fuente: (IDC, 2024).....	12
Figura 2.3 Dron Hexacopter. Fuente: (DJI, 2024).....	13
Figura 2.4 Dron Octocopter. Fuente: (DJI, 2024). ..	13
Figura 2.5 Dron de ala fija utilizado para la captura de fotografías RGB. Fuente: (eBee Ag, 2023)	14
Figura 2.6 Dron multirotor, de tipo Quadcopter, utilizado para la captura de imágenes RGB. Fuente: (DJI, 2023).....	15
Figura 2.7 Mavic 2 Enterprise Dual Fuente: (DJI, 2024)	16
Figura 2.8 Dron Wingtra One. Fuente: (Taller Topográfico Quintero, 2024).....	17
Figura 2.9 Agras T40, demostración del rotor doble coaxial. (DJI, 2024).....	17
Figura 2.10 Agras T30, demostración de las 16 boquillas. Fuente: (DJI, 2023).	18
Figura 2.11 Agras T20. Fuente: (DJI, 2023).	19
Figura 2.12 Agras T10. Fuente: (DJI, 2023).	19
Figura 2.13 XAG P40. Fuente: (TECMUNDO, 2023).	20
Figura 3.1 Logo del software PIX4D. Fuente: (PIX4D, 2021).....	22
Figura 4.2 Logo de OpenDroneMap. Fuente: (HelixNorth, 2024).	23
Figura 3.3 Logo de DronePloy. Fuente: (DroneDeploy, 2024).	24
Figura 3.4 Vista previa de la ventana de ejecución de QGIS. Fuente: (Toribio, 2019).....	25
Figura 3.5: Partes de un dron de ala fija eBee. Fuente: (AgEagle, 2024).	26
Figura 3.6 Fuselaje del dron eBee. Fuente: (Wingtra, 2021).....	27
Figura 3.7 Dron de ala alta. Fuente: (ACGDORNE, 2016).	28
Figura 3.8 Dron de ala baja. Fuente: (BlueBird Aero Systms, 2024).....	28
Figura 3.9 Dron de ala media. Fuente: (El vuelo del Drone, 2024)	29
Figura 3.10 Motor Brushless, motor sin escobillas. Fuente: (Isaac, 2024).	29
Figura 3.11: Hélices de bajo ruido. Fuente: (TecnoPlanet, 2024).	30
Figura 3.12 Batería tipo Li-Po de un SenseFly eBee. Fuente: (marketify.mx, 2024).....	30

Figura 3.13 Controlador de vuelo de ala fija SpeedyBee F405. Fuente: (SPEEDYBEE, 2023).	31
Figura 3.14 Sensor giroscopio, indicando la función que tiene en los 3 ejes "X, Y, Z". Fuente: (NAYLAMP MECHATRONICS, 2024).	32
Figura 3.15 Brújula magnética programable con Arduino. Fuente: (Llamas, 2024).	32
Figura 3.16 Modulo GPS NEO8M. Fuente: (I+D ELECTRONICS, 2024).	33
Figura 3.17 Sensor digital de velocidad. Fuente: (I+D ELECTRONICS, 2024).	33
Figura 3.18 MS5611 módulo presión atmosférico "Usa la variación de presión". Fuente: (ArduProject, 2018).	34
Figura 3.19: Partes de un dron multirotor DJI Agras T40. Fuente: (DJI, 2024).	35
Figura 3.20 Chasis de un dron Quadcopter. Fuente: (RANTEC, 2024).	36
Figura 3.21 Brazos de un dron Quadcopter. Fuente: (RANTEC, 2024).	37
Figura 3.22 Motor Brushless, motor sin escobillas. Fuente: (Robot, 2024).	37
Figura 3.23 Hélices de bajo ruido. Fuente: (DJI, 2024).	38
Figura 3.24 Batería de un Mavic Air 2. Fuente: (DJI, 2024).	38
Figura 3.25 Controlador de vuelo de dron multirotor SpeedyBee F405. Fuente: (RCDRONE, 2024).	39
Figura 3.26 Sensor giroscopio, indicando la función que tiene en los 3 ejes "X, Y, Z". Fuente: (NAYLAMP MECHATRONICS, 2024).	39
Figura 3.27 Brújula magnética programable con Arduino. Fuente: (Llamas, 2024).	40
Figura 3.28 Modulo GPS M10Q5883. Fuente: (RCDRONE, 2024).	40
Figura 3.29 Sensor digital de velocidad. Fuente: (I+D ELECTRONICS, 2024).	40
Figura 3.30 MS5611 módulo presión atmosférico "Usa la variación de presión". Fuente: (ESPHOME, 2024).	41
Figura 3.31 Estabilizador del Phantom 4 Pro de DJI. Fuente: (DJI, 2024).	42
Figura 3.32 Variador de velocidad de un dron Quadcopter. Fuente: (PROMETEC, 2024).	42
Figura 3.33 Tren de aterrizaje del DJI Agras T40. Fuente: (DJI, 2024).	43
Figura 3.34 Representación del Modo de vuelo 1 de un dron. Fuente: (CarrerasdMidron, 2018).	45
Figura 3.35 Representación del Modo de vuelo 2 del dron. Fuente: (CarrerasdMidron, 2018).	46

Figura 3.36 Representación del Modo de vuelo 3 del dron. Fuente: (CarrerasdMidron, 2018)	46
Figura 3.37 Representación del Modo de vuelo 4 del dron. Fuente: (CarrerasdMidron, 2018)	46
Figura 3.38: Licencia expedida por DJI. Fuente: (Garcia J. R., 2024)	49
Figura 3.39 Ejemplo de una zona restringida para el uso de drones. Fuente: (IAEROCOL, 2024)	50
Figura 3.40 Demostración de la altura máxima de vuelo de un dron. Fuente: (Martinez, 2021)	51
Figura 3.41 Inspección de motores y hélices de un Quadcopter. Fuente: (APD, IDC, 2024)	52
Figura 3.42 Señales de comunicación entre torres de control y aeronaves tripuladas. Fuente: (Fernandez, 2022)	53
Figura 3.43 Ejemplo de etiquetado de un dron DJI. Fuente: (StickerHillStore, 2024)	54
Figura 3.44 Batería de Polímero de Iones de Litio. Fuente: (SHOPTRONICA, 2024)	55
Figura 3.45 Batería de iones de litio. Fuente: (Electronic Components, 2021) ..	56
Figura 3.46 Batería de botón de Hidruro Metálico de Níquel. Fuente: (Electronic Components, 2021)	57
Figura 3.47 Sensor ultrasónico. Fuente: (Wong, 2023)	59
Figura 3.48 Sensor óptico del DJI Air 2S. Fuente: (Ocón, 2021)	59
Figura 3.49 FC-51: Sensor de distancia infrarrojo. Fuente: (Massimi, 2024)	60
Figura 3.50 Sensor LIDAR LightWare LIDAR SF23/B de baja potencia. Fuente: (lightware, 2024)	61
Figura 3.51 Radar trasero para evitar obstáculos para controlador de vuelo JIYI K++ V2, drone agrícola. Fuente: (RCDrone, 2024)	62
Figura 4.1 Demostración de una captura obtenida con un sensor RGB Fuente: (Wingtra, 2023)	65
Figura 4.2 Medición de la radiación calorífica de un terreno o predio Fuente: (Jiménez, 2017)	66
Figura 4.3 Detección de las bandas del espectro electromagnético Fuente: (Heimdall, 2022)	68
Figura 5.1 Plan de vuelo para un Mavic 2 Enterprise Dual utilizando un DJI Smart Controller. Fuente: (González, 2023)	69
Figura 5.2 Ruta de vuelo del dron. Fuente: (González, 2023)	70

Figura 5.3 Ortomosaico obtenido al realizar el análisis en el software PIX4D con las capturas recabadas durante el vuelo. Fuente: (González, 2023).	71
Figura 5.4 Obtención del mapa en grises al introducir las fórmulas para cálculo de índice VARI en PIX4D. Fuente: (González, 2023).	72
Figura 5.5 Categorización de índice VARI en PIX4D. Fuente: (González, 2023).	73
Figura 5.6 Imagen obtenida al realizar el análisis en el software PIX4D Fuente: (González, 2023).	74

Resumen

La creación de los drones fue al menos hace unos 100 años, los cuales eran utilizados para entrenamiento de militares, al pasar de los años, se mejoraron para ser dispositivos de ataque y dispositivos de espionaje, gracias a todas estas mejoras, se comenzaron a instalar cámaras y a ser utilizados igualmente como regalos para niños o para la industria de obtención de fotografías y videos profesionales, así como en la agricultura de precisión.

Lo que se pretende al realizar este trabajo es centrarse en el tema de los diferentes drones existentes en el mercado y que son utilizados en el área de agricultura de precisión, en la cual son utilizados para el Diagnóstico de terrenos y cultivos, Pulverización y Esparcimiento de productos químicos líquidos o sólidos que sean requeridos por el cultivo.

Es necesario mantener informados a los productores el avance que ha tenido la tecnología a lo largo de todos estos años, la cual les ayuda a mejorar el rendimiento, disminución de costos en mano de obra y disminución a la hora de utilizar los diferentes productos químicos.

Al igual es importante que los productores o las diferentes personas que estén interesados en adquirir uno de estos equipos, sepan las reglas que los gobierno y autoridades competentes de los países les exigen para poder utilizarlos, las zonas en donde es prohibido el uso de estos, las alturas máximas, así como a identificar las principales partes que deben tener un mantenimiento riguroso, como lo son; motores, hélices, baterías, etc.

Palabras clave:

- Drones.
- Agricultura de precisión.
- Hélices.
- Diagnóstico de terrenos.
- Pulverización.
- Esparcimiento.
- Cámaras.

Introducción

El uso de los drones realmente comenzó hace al menos unos 100 años atrás, donde se comenzaron a desarrollar para el uso militar, sus primeros usos se realizaron en la Primera Guerra Mundial como una forma de entrenamiento, al pasar de los años, se les pudo comenzar a instalar cámaras y fueron utilizados para el espionaje, hasta la fecha con las actualizaciones de la tecnología son usados como armas letales.

Una de las primeras instituciones en darle un uso no militar al dron, fue la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio o por sus siglas en inglés National Aeronautics and Space Administration) y comenzó con mejoras hacia los drones pudiendo implementarle sensores para poder realizar investigaciones medioambientales, y así poder tomar datos meteorológicos. Toda esta tecnología de ser usado para ataques militares, se convirtió a equipos para la toma de datos meteorológicos, y hasta en un regalo para un niño el día de Navidad.

Alrededor del mundo se le están dando diferentes usos en la agricultura y ganadería, por ejemplo en Alemania uno de los principales usos es para proteger a los animales jóvenes de la caza, esto ayuda a minimizar la caza furtiva, otro ejemplo es Japón, en donde son utilizados para realizar aplicaciones de PPP (productos fitosanitarios, pesticidas), en Estados Unidos, se utilizan principalmente para la obtención de capturas del tamaño de un campo de hasta 20 hectáreas así ayudando a mejorar la calidad de las cosechas. (M. E. León-Rodríguez, et al, 2023)

Otro ámbito donde se utilizan principalmente en México, es en la agricultura que actualmente se apoya en el uso de tecnología lo cual ayuda en la economía del

productor como en la misma producción, a esto se le llama Agricultura de Precisión. (Olivera, 2017)

La agricultura de precisión es un conjunto de técnicas, que desde el 2006 es muy utilizada en México, donde las cuales están orientadas a la optimización del uso de los insumos agrícolas (semillas, agroquímicos, fertilizantes, etc.). Lo cual no solo implica realizar medidas de variabilidad existente en el área, también nos permite adoptar prácticas administrativas que se realizan en función de la o las variabilidades obtenidas. Al conocer todos estos datos se pueden generar mapeos, donde se pueden observar deficiencias por parte del suelo o cultivo y así poder aplicar insumos con dosis variables en las zonas requeridas. (Chartuni et. al., 2006)

Por esta razón, los productores han optado por la adquisición de equipos y herramientas (drones, cámaras y sensores) los cuales les ayudan a realizar estudios, ya sea del terreno o del cultivo, donde se obtienen datos e información requerida para mejorar la producción.

Un dron o drone, es una nave no tripulada, el cual es controlado de manera remota y a una distancia considerable, también es conocido por las organizaciones y agencia de seguridad aérea como RPAS (“Sistema de aeronave pilotada remotamente” o por sus siglas en ingles “Remote Piloted Aircraft System”) o UAV (“Vehículo Aéreo no tripulado” o por sus siglas en ingles “Unmanned Aerial Vehicle”)

En 2018 se hizo un trabajo por (Kharuf. et al. 2018) en donde menciona que el uso de los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) en la agricultura para la obtención de imágenes aéreas (mediante cámaras y sensores), tienen más beneficios que el uso

de aviones convencionales (tripulados) y de satélites, todo esto debido a que los VANT brindan una mejor calidad en mapas y pueden ser utilizados en áreas que son de difícil acceso. La obtención de estas imágenes, se realizan en varios rangos del espectro electromagnético, las cuales se basan en propiedades espectrales (reflectancia, transmitancia, absorbancia, etc.), todas estas, tanto del suelo como del cultivo en las diferentes etapas de crecimiento y desarrollo, principalmente las que son parte de actividad fotosintética, clorofílica, biomasa, estrés hídrico, etc.

Las cámaras multiespectrales son capaces de obtener imágenes ya sea en plataformas aéreas o terrestres, las cuales contiene una amplia gama de longitudes de onda, esto permitiendo resaltar características físicas del área a estudiar. La luz visible contiene longitudes de onda (es lo que se puede interpretar como diferentes colores), y estos colores (rojo, verde, azul) son utilizados por las cámaras convencionales, esto para poder formar los demás colores en la imagen obtenida. (Guirola et al., 2018)

Un trabajo realizado por (Garcia, 2021) señala que el uso de esta tecnología para la aplicación de agroquímicos, así como tiene beneficios, también presenta algunos riesgos al momento de su implementación, algunos de los beneficios son los siguientes:

- Aplicación precisa en áreas de difícil acceso.
- Disminución en la exposición del operador o aplicador.
- Ahorro de agua y tiempo.
- Incremento en la cosecha y productividad del agricultor.

Dentro de los riesgos se encuentran los siguientes:

- Se contamina el equipo.
- Pérdida de señal con el operador.
- Direccionarse hacia cultivos no objetivos.
- Choques con obstáculos y peatones, así como con otros vehículos.
- Caída en cuerpos de agua.

El uso de estos equipos en diferentes países aumento en gran medida y los gobiernos les exigen a las autoridades competentes que es necesario que los pilotos requieran capacitaciones y certificados en su manejo, mas no en la aplicación de los diferentes químicos. Cabe aclarar que, al igual, se les exige a los operadores que deben conocer los riesgos que implica el uso de los diferentes químicos, por lo cual deben utilizar el EPP adecuado (Equipo de Protección Personal).

- Guantes.
- Lentes.
- Overol.
- Mascarilla.

Capítulo I. Tipos de drones utilizados en la agricultura

1.1 Drones en la agricultura

Actualmente en el mercado internacional existen diferentes tipos de drones, los más comunes para este fin (agricultura) son los multirotor y de ala fija (Figura 1.1), estos son utilizados para la captura de imágenes multiespectrales, térmicas, RGB y para la fumigación o fertilización de los diferentes cultivos que se producen en México y en el mundo. (Pino V., 2019).



Figura 1.1 Tipos de Drones. a) Ala Fija y b) Multirotor
Fuente: (Barria y Villarroel, 2021).

Los de ala fija, son utilizados en grandes extensiones de cultivos y los multirotores son utilizados en campos de menor tamaño. Los drones que son utilizados para la toma de fotos multiespectrales, RGB O Infrarrojos (pueden ser multirotor o de ala fija), tienen sensores especializados, estos, identifican las necesidades del cultivo, el punto exacto para la cosecha, estrés hídrico, falta de algún mineral, etc.

Es importante dar a conocer que cada uno (Figura 1.1) tienen sus ventajas y desventajas a la hora de ser utilizados para las diferentes actividades. Un trabajo realizado por (APD P. D., 2024) nos explica algunas de ellas:

Ventajas de los drones de ala fija:

- Tiene una gran capacidad para volar a una mayor altura.
- Es más estable en el vuelo gracias a que es aerodinámico.
- Tiene una mayor capacidad de vuelo (dura más tiempo).
- Es de una estructura más simple.
- Cubre áreas más extensas.
- Genera menos ruido que los multirrotor.
- Realiza las actividades en menor tiempo.
- Recuperación segura en caso de pérdida de potencia en el motor.

Desventajas de los drones de ala fija:

- Es muy complicado que pueda realizar vuelos en áreas que son cerradas o con obstáculos cerca.
- Es necesario tener áreas planas para realizar las calibraciones necesarias y para realizar aterrizajes y despegues.
- Generalmente se requiere de un riel lanzador.
- Si no se cuenta con un riel lanzador, es necesario realizar un despegue asistido por una persona de forma manual.
- No es posible mantener un vuelo estático suspendido por el empuje que genera la hélice.

- Es necesario tener un buen clima para realizar las diferentes actividades, con esto se refiere a que no debe estar lloviendo o no debe haber vientos fuertes que comprometan la integridad del dron o infraestructura.

Ventajas de los drones multirotor:

- Este tipo de drones puede mantener un vuelo estático suspendido.
- Es de fácil acceso a zonas cerradas.
- Gran capacidad de despegue con carga.
- El despegue y aterrizaje es autónomo y de forma vertical.

Desventajas de los drones multirotor:

- Es muy ruidoso.
- No es aerodinámico.
- Es necesario tener un buen clima para realizar las diferentes actividades.

Los sensores que utilizan estos equipos, miden la cantidad de luz que reciben y reflejan las plantas, de esta forma se obtienen imágenes multiespectrales, térmicas o RGB, pero, para obtener el mapa, las imágenes obtenidas se procesan en softwares diseñados especialmente para el análisis de estas y para la creación del ortomosaico, debido a que no se obtienen por medio del dron, al terminar con el análisis de las imágenes se logra tener como resultado final, un mapa de reflectancia con indicadores NDVI (Índice Normalizado de Vegetación Diferencial) del estado clorofílico, cabe aclarar que el NDVI no es el único índice de vegetación que se usa.

Tras analizar el ortomosaico e identificar las necesidades del cultivo, entran en acción los drones fumigadores o fertilizadores que por lo general son multirotor, gracias a su alta capacidad de carga y a su potencia. Lo que los hace mejor es que son aeronaves que trabajan de forma automática, se programa en forma manual un vuelo en función del mapa de necesidades y este aplica el producto sobre la zona que lo requiera. (Sonia, 2019)

Capítulo II. Drones y su aplicación

2.1 Descripción de los tipos de drones usados en la agricultura

2.1.1 Drones de ala fija

Este tipo de drones se caracteriza por tener la estructura similar a la de un avión (Figura 2.1), esto quiere decir que cuenta con un par de alas fijas, las cuales le permiten desplazarse a velocidades altas y con mayor estabilidad. (UMILES, 2023)

Algunas de las principales características de este equipo son:

- Gran aerodinámica.
- Mayor autonomía.
- Óptima estabilidad durante el vuelo.
- Excelente autonomía de vuelo (batería).



Figura 2.1 Dron de ala fija utilizado en la agricultura.
Fuente: (SITEP, 2024).

2.1.2 Drones Multirrotor

Estos equipos se utilizan en diversos sectores productivos, estos se diferencian de los de ala fija porque están compuestos por un cuerpo central, varios brazos y rotores, los cuales se encargan de activar las hélices, estas son necesarias para hacerlos volar o realizar diversas maniobras que son necesarias a la hora de realizar los trabajos para los que son utilizados, estos equipos son nombrados y clasificados por el número de rotores por el que está compuesto. (IDC, 2024)

- **Quadcopter:**

Cuenta con cuatro motores (Figura 2.2), dos rotores hacen girar las hélices en sentido de las manecillas del reloj y los otros dos giran en sentido contrario al de las manecillas del reloj, lo cual le asegura al usuario que el equipo tendrá un aterrizaje correcto.



Figura 3.2 Dron Quadcopter.
Fuente: (IDC, 2024).

- **Hexacopter:**

Tiene seis motores (Figura 2.3), el funcionamiento es igual al caso anterior, pero en este caso 3 motores hacen girar las hélices en sentido de las manecillas del reloj y los otros 3 motores hacen girar las hélices en sentido contrario al de las manecillas del reloj, la principal diferencia de este equipo al anterior es que con estos dos motores más hacen el equipo tenga una mayor potencia de elevación.



Figura 2.3 Dron Hexacopter.
Fuente: (DJI, 2024).

- **Octocopter:**

Este equipo cuenta con ocho motores para ocho hélices (Figura 2.4), este se diferencia de los casos anteriores debido a que tiene mayor potencia y estabilidad.



Figura 2.4 Dron Octocopter.
Fuente: (DJI, 2024).

2.2 Aplicación de los drones en la agricultura

2.2.1 Diagnóstico (Fotogrametría)

Un trabajo realizado en Colombia por (Amador, 2021) nos dice que los drones con mayor uso para la captura de fotos multiespectrales, RGB o para la realización de estudios de los terrenos y cultivos, son los siguientes:

- **eBee Ag:**

Este equipo es de ala fija (Figura 2.5) y tiene una eficiencia de hasta 1000 hectáreas en un solo vuelo, este equipo tiene un tiempo de vuelo de hasta 45 minutos, trabaja de forma autónoma, solo se selecciona el área que se quiere mapear, él, de forma automática tomara las fotos de todo el terreno las cuales se transforman en un mapa (ortomosaico) y en modelos 3D con una precisión de 3 cm a 5 cm, cabe aclarar que esta transformación de imágenes es gracias a un software diseñado para esto. (Systems, 2023).



Figura 2.5 Dron de ala fija utilizado para la captura de fotografías RGB.
Fuente: (eBee Ag, 2023)

- **Phantom 4**

Este equipo es un dron multirrotor con cuatro motores (Figura 2.6), el cual, como ya se mencionó anteriormente, después del procesamiento de las imágenes nos proporciona un mapa NDVI, este tiene integrado seis sensores los cuales son, RGB (Azul, Verde, Rojo) y un sensor infrarrojo, esto le permite poder detectar problemas que tiene el cultivo con mucha precisión, tiene un alcance de hasta 7 km, tiene un peso de 1487 g, su tiempo de vuelo es de 27 minutos y alcanza una velocidad de hasta 13 m/s, de esta forma logra cubrir hasta 89 hectáreas en una hora. (Amador, 2021).



Figura 2.6 Dron multirrotor, de tipo Quadcopter, utilizado para la captura de imágenes RGB.
Fuente: (DJI, 2023)

- **Mavic 2 Enterprise Dual**

Este equipo (Figura 2.7) al igual que el anterior, es un dron multirrotor quadcopter, el cual tiene implementada una cámara RGB que al realizar el análisis de las imágenes obtenidas durante el vuelo obtiene el Índice de Resistencia Atmosférica Visible (VARI), tiene un alcance de hasta 6000 m de altura máxima de servicio sobre el nivel del mar, llegando a obtener una velocidad máxima de ascenso de hasta 5 m/s, un tiempo optimo de vuelo de hasta 30 minutos y un peso de 1,100 g. (DJI, 2024)



Figura 2.7 Mavic 2 Enterprise Dual
Fuente: (DJI, 2024)

2.2.2 Topografía

El uso de drones también es requerido en la topografía, ya que permite realizar una visualización especial del terreno, es esencial para la realización de mapas de cualquier área en 2D y 3D de alta precisión.

- **Wingtra One**

Este equipo cubre perfectamente trabajos en la agricultura, minería, construcción y topografía, fue diseñado para tener un despegue y aterrizaje vertical (Figura 2.8), esto permite que la maniobra (despegue o aterrizaje) se realice en áreas pequeñas de hasta 2m x 2m, al igual le garantiza al usuario, un aumento en su vida útil, tanto del aeronave como del equipo de captura de imágenes, debido a que al realizar las maniobras de forma vertical, protege valiosos sensores, alas y cámaras, de esta forma también mantiene la seguridad del usuario al no ponerse en riesgo para atraparlo al momento del aterrizaje o lanzarlo a la hora del despegue. (Taller Topografico Quintero, 2024)



Figura 2.8 Dron Wingtra One.
Fuente: (Taller Topográfico Quintero, 2024).

2.2.3 Aplicación de productos químicos

En el mismo trabajo (Amador, 2021) nos informa que en Colombia los drones con mayor uso para rociado de fertilizantes líquidos y esparcir fertilizantes sólidos, son los siguientes:

- **DJI AGRAS T40:**

Este equipo, tiene integrado 4 rotores dobles coaxiales (giran en direcciones opuestas), lo cual le permite rociar una carga de 40 kg y esparcir una carga de 50 kg (70 L). Tiene un ancho de trabajo máximo de 11 metros en aspersion (Figura 2.9), su estructura es plegable, esto facilita su transporte. Se puede establecer un radio de vuelo máximo de 2 km. (DJI, 2024)



Figura 2.9 Agras T40, demostración del rotor doble coaxial. (DJI, 2024).

- **DJI AGRAS T30:**

Es un dron de seis motores el cual fue diseñado para tratamientos agrícolas avanzados como lo es la aplicación de agroquímicos (Figura 2.10), contiene dieciséis boquillas, el cual tiene un control remoto que alcanza hasta 5 km y un flujo hasta de 8 litros por minuto, este equipo tiene integrado sensores que detectan obstáculos y de esta forma evita choques, puede programarse una rutina de vuelo con anterioridad. (Amador, 2021)

Tiene un peso de 66.5 kg y alcanza una velocidad de hasta 10 m/s con una buena señal GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite), con una altitud máxima de vuelo de 4500 m, tiene una eficiencia de trabajo de 40 acres (16 hectáreas) en una hora. (DJI, 2023)



Figura 2.10 Agras T30, demostración de las 16 boquillas.
Fuente: (DJI, 2023).

- **DJI AGRAS T20:**

Este es un equipo de seis motores este puede trabajar de forma autónoma y precisa, el cual está equipado con ocho boquillas (Figura 2.11) con un flujo de 6 litros por minuto, el cual tiene un control con un alcance de 5 km también tiene integrado sensores que detectan obstáculos y así evitando choques. (Amador, 2021)

Este equipo alcanza una velocidad de hasta 10 m/s con una señal GNSS intensa tiene una altura máxima de vuelo 2000 m y un peso de 42.6 kg. (DJI, 2023).



Figura 2.11 Agras T20.
Fuente: (DJI, 2023).

- **DJI AGRAS T10:**

Es un equipo de cuatro motores (Figura 2.12), el cual tiene integradas cuatro boquillas y tiene un flujo de 2.4 litros por minuto, al igual que los agras T30 y T20, tiene un control de hasta 5 km de alcance, y puede trabajar de forma autónoma y tiene una eficiencia de trabajo de 15 acres (6 hectáreas) en una hora. (Amador, 2021).

Tiene un peso de 26 kg alcanzando una velocidad de hasta 10 m/s con un buena señal de GNSS, y con una capacidad de vuelo a una altura máxima de 4500 m. (DJI, 2023)



Figura 2.12 Agras T10.
Fuente: (DJI, 2023).

- **XAG P40:**

Es un equipo con cuatro motores (Figura 2.13) y un peso de 29.1 kg y un peso máximo de 49.1 kg, alcanza hasta una velocidad de 10 m/s el cual contiene dos boquillas con un flujo de 5 litros por minuto con un alcance máximo de 1 km, alcanzando a cubrir hasta 89 hectáreas en una hora (XAG, 2023)



Figura 2.13 XAG P40.
Fuente: (TECMUNDO, 2023).

En la programación de drones multirrotores, para poder generar los movimientos, se deben de realizar variaciones de velocidades de giro de los motores que contenga, puede ser 3, 4, 6 y 8, al realizar estas variaciones se puede hacer que el dron avance, retroceda, gire a los lados, que solo gire en 90° hasta 360°, que ascienda o descienda, y esto dependerá de a que motores se les haga la variación de velocidad y también dependerá de la configuración que tenga el dron (+, x, *). (Sánchez Mejía, 2017)

Capítulo III. Elementos que permiten el funcionamiento y uso de los drones

3.1 Software

3.1.1 Pix4D

El software Pix4D (Figura 3.1) es un programa utilizado para el procesamiento de imágenes RGB, Térmicas, Multiespectrales, DSLR, Ojo de pez. El procesamiento implica la transformación de estas imágenes en mapas y modelado 3D. (Latam, 2024)

El uso de este software principalmente es para:

- **Levantamiento fotogramétrico y cartografía de muy alto detalle:**

Donde se generan modelos y mapas 3D, los cuales se utilizan para aumentar la productividad y reducir costos operativos

- **Agricultura:**

En este caso puede ser utilizado para poder identificar tempranamente alguna enfermedad o plaga, planificación de riegos y fertilizantes, así como la protección de los cultivos, con la aplicación de diferentes insumos de forma más directa o precisa.

- **Construcción:**

Sirve para realizar levantamientos topográficos, registros visuales de excavaciones, medición de volúmenes, trabajos de ingeniería de detalle, etc.

- **Inspección:**

Se utiliza para optimizar y simplificar procesos, agiliza la inspección visual utilizando solamente las imágenes necesarias gracias a una herramienta de extracción automática de información esencial.

- **Minería:**

Se utiliza para el monitoreo y para el control de los procesos mineros de forma eficiente y efectiva, ayuda al monitoreo de las instalaciones e infraestructura de la mina, así como también identifica riesgos geotécnicos, como, por ejemplo:

- Derrumbes de rocas y paredes.
- Entradas de agua y fugas.
- Estabilidad de la pendiente.



Figura 3.1 Logo del software PIX4D.
Fuente: (PIX4D, 2021).

3.1.2 OpenDroneMap

Este software (OPM “**OpenDroneMap**”) nos permite convertir imágenes aéreas obtenidas mediante el uso de drones en datos geográficos tridimensionales, para posteriormente poder utilizar estos datos en combinación con otros datos geográficos. (Morales, 2024), donde el cual nos permite generar:

- Mapas georreferenciados
- Nubes de puntos
- Modelos de elevación
- Modelos 3D texturizados

El uso de OPM (Figura 3.2) es más simple, debido a que elimina la necesidad de tener dispositivos o softwares costosos para poder realizar los procesamientos de imágenes, todo esto gracias a que el usuario puede acceder a la plataforma y utilizar toda su potencia de cómputo de la nube, esto indica que puede utilizarlo a través de internet sin la necesidad de realizar descargas y compras adicionales. Tiene una velocidad de procesamiento muy elevada, esto permite procesar grandes conjuntos de datos en un menor tiempo. Cuenta con herramientas de código abierto, así permitiendo que los usuarios más experimentados contribuyan con mejoras, correcciones de errores y nuevas opciones o herramientas que puedan servir para facilitar el procesamiento de datos. (HDDrones, 2024)



Figura 4.2 Logo de OpenDroneMap.
Fuente: (HelixNorth, 2024).

3.1.3 DroneDeploy

La funcionalidad de este software (Figura 3.3) está basada en la nube, lo cual permite que los operadores de drones puedan obtener imágenes y videos, procesar y analizar toda la información recabada en tiempo real, desde el aire, esto significa que su uso le permite al operador ahorrar tiempo y recursos en comparación con los métodos tradicionales, gracias a esto, se puede obtener una respuesta rápida en situaciones que sean de alto riesgo. (Puerto Rico Drone Academy, 2024)

El operador puede planificar un vuelo, realizar el despegue, toma de fotografías, aterrizar y analizar un conjunto de datos, al igual explorar y compartir mapas interactivos de alta calidad, ortomosaicos y modelos 3D directamente desde el dispositivo móvil, esto quiere decir que no es necesario la obtención de equipos especiales y costosos para su funcionamiento. (AGRIDICO, 2021)



Figura 3.3 Logo de DronePloy.
Fuente: (DroneDeploy, 2024).

3.1.4 Sistema de Información Geográfica (QGIS)

Este software es de fácil uso, gratis y de código abierto, el cual puede visualizar, gestionar, editar, analizar datos y diseñar mapas imprimibles. Este también permite la creación de mapas con numerosas capas que pueden ser ensambladas bajo diferentes formatos, dependiendo de la aplicación que se le vaya a dar. Una de sus ventajas es que este software es multiplataforma (puede ser usado en LINUX, WINDOWS, MAC ANDROID), y otra de sus ventajas es que este, puede ser instalado en una memoria USB, lo cual le permite al usuario poder transportar QGIS de una computadora a otra sin la necesidad de realizar una y otra vez la instalación. (CEUPE, 2024)

QGIS (Figura 3.4) no solo es una herramienta profesional, es también una herramienta educativa, el cual ayuda a algunas instituciones de nivel Media Superior y nivel Superior que ofrecen algunas asignaturas, donde el cual, se utiliza para enseñar a los estudiantes a cómo usar SIG (Sistema de Información Geográfica) y a como generar mapas de alta calidad. Lo mejor de este software, es gratis y de alta eficiencia. (Trojan, 2010)

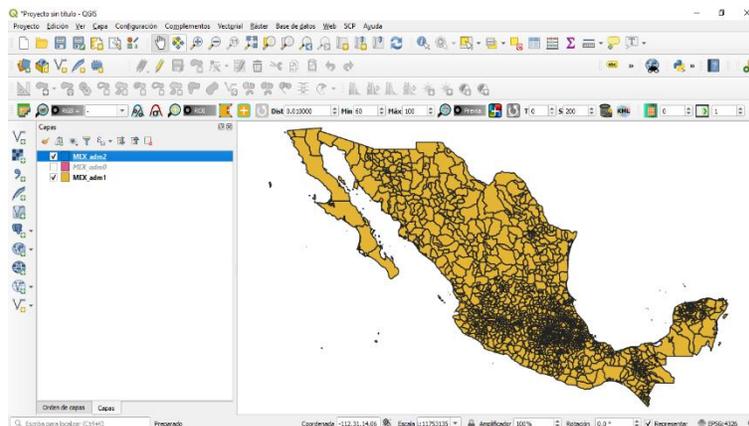


Figura 3.4 Vista previa de la ventana de ejecución de QGIS.
Fuente: (Toribio, 2019).

3.2 Hardware

Al hablar de drones, pensamos que todos tienen los mismos componentes o la misma estructura, pero como ya se mencionó anteriormente, existen dos tipos de drones, los de ala fija y multirrotor, ambos tienen muchas partes o componentes que son iguales, así como algunas son diferentes, y estas son fundamentales e inalterables para el funcionamiento de estos, todo dependerá del uso que se les dará a los dispositivos.

3.2.1 Partes de un Dron de ala fija

En un trabajo de (Escuela de Pilotos, 2024) nos señala que los drones de ala fija están basados en el funcionamiento de los aviones, ya que tienen la misma estructura y aerodinámica, son de dimensiones más pequeñas, cuentan con motores de combustión o baterías eléctricas (Figura 3.5).

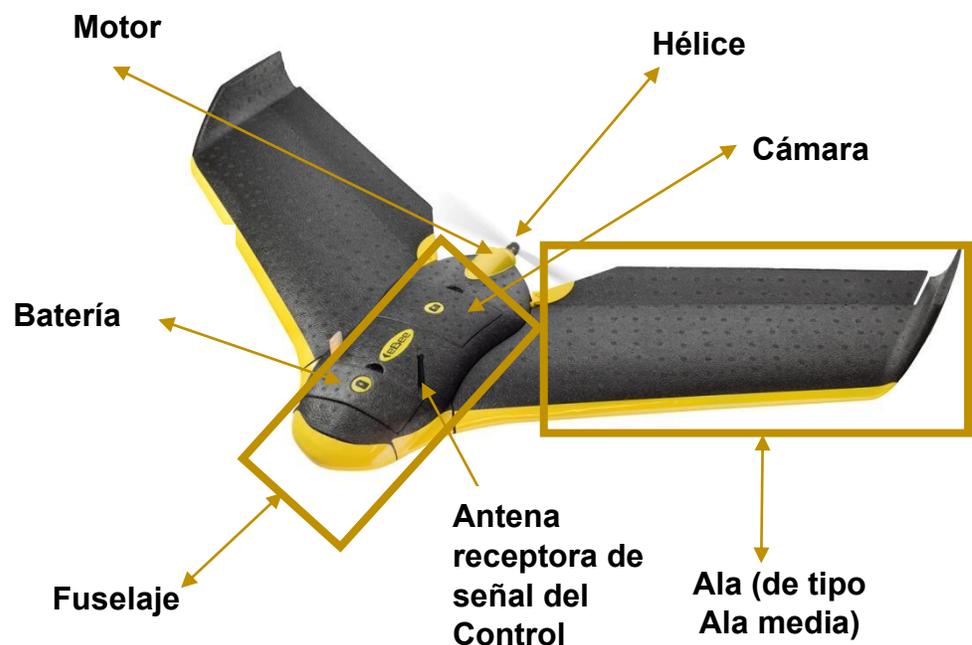


Figura 3.5: Partes de un dron de ala fija eBee.
Fuente: (AgEagle, 2024).

Para posibilitar su funcionamiento, primeramente, se debe de encender el motor, se pone en marcha y las hélices giran, así dando oportunidad al dron de volar, luego con el control remoto, el operador lo dirige desde el suelo, y sus partes principales son las siguientes:

- **Fuselaje:**

El Fuselaje (Figura 3.6), es la parte principal de la estructura del dron, en este van integrados los controles, accesorios, alas y el resto del equipamiento. Y su principal función es, recibir toda la carga que generan las alas al momento de elevarse, así permitiendo continuar con el vuelo.



Figura 3.6 Fuselaje del dron eBee.
Fuente: (Wingtra, 2021).

- **Alas o planos:**

Las alas son superficies aerodinámicas, estas se encargan de generar la elevación que compensa el peso, así permitiendo que el dron se mantenga en vuelo cuando se mueven rápidamente en el aire, estas también son las encargadas de darle dirección a la aeronave, velocidad, peso, etc.

Se tienen tres tipos de alas, todo dependerá de la posición en que se coloquen estas mismas, las tres formas, con las siguientes:

➤ **Ala alta:**

Son las alas que están situadas encima del fuselaje. (Figura 3.7)



Figura 3.7 Dron de ala alta.
Fuente: (ACGDORNE, 2016).

➤ **Ala baja:**

Son las alas que están situadas abajo del fuselaje. (Figura 3.8)



Figura 3.8 Dron de ala baja.
Fuente: (BlueBird Aero Systms, 2024).

➤ **Ala media:**

Son las alas que están encastradas a media altura del fuselaje. (Figura 3.9)



Figura 3.9 Dron de ala media.
Fuente: (El vuelo del Drone, 2024)

• **Motores:**

Los motores (Figura 3.10) son las piezas fundamentales, son las que ayudan a que el dron se mantenga en movimiento, los cuales se encargan de generar la impulsión para que este se eleve, en conjunto con las alas. En el van integradas las hélices.



Figura 3.10 Motor Brushless, motor sin escobillas.
Fuente: (Isaac, 2024).

• **Hélices:**

Las hélices (Figura 3.11) van integradas en el motor, la cual gira para proporcionar la elevación del dron, en conjunto con las alas.



Figura 3.11: Hélices de bajo ruido.
Fuente: (TecnoPlanet, 2024).

- **Baterías:**

Estas son las encargadas de proporcionarle energía al dron y a todos sus componentes, existen diversos tipos de baterías (Figura 3.12) para los drones, pero las más utilizadas son las baterías Li-Po (polímero de litio) gracias a su densidad de energía, que es de menor peso, así ofreciendo un gran rendimiento y autonomía en el vuelo.



Figura 3.12 Batería tipo Li-Po de un SenseFly eBee.
Fuente: (marketify.mx, 2024).

- **Placa controladora de vuelo:**

Este componente (Figura 3.13) es el encargado de recibir y registrar toda la información que proviene del control o mando, del sistema de geolocalización, sensores, y de todos los demás componentes, esto quiere decir que se encarga de controlar lo que sucede con el dron.

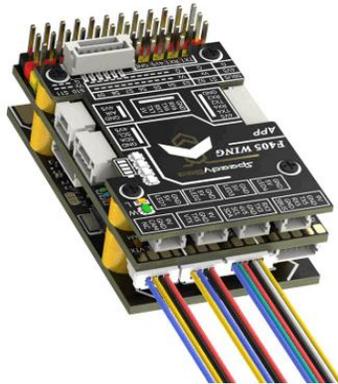


Figura 3.13 Controlador de vuelo de ala fija SpeedyBee F405. Fuente: (SPEEDYBEE, 2023).

- **Sensores:**

Un sensor es un dispositivo que detecta un cambio en el entorno y responde a alguna salida en el otro sistema, donde el sensor, tiene como componente principal un transductor, el cual se encarga de convertir este cambio o fenómeno físico en un voltaje analógico o medible (en algunas ocasiones en señales digitales), convirtiéndolo en un mensaje legible para los humanos en una pantalla o procesamiento adicional. (Smith, 2023)

No todos los drones tienen los mismos componentes como lo menciona (AreaDron, 2022), pero, la mayoría suelen tener una serie de sensores, los cuales son muy importantes para su buen desempeño, están integrados en la placa de control de vuelo, y son los siguientes:

➤ **Giroscopio:**

El giroscopio ayuda al dron a mantener o cambiar la orientación, al igual mide los grados de cabeceo y alabeo (Figura 3.14) respecto del horizonte.

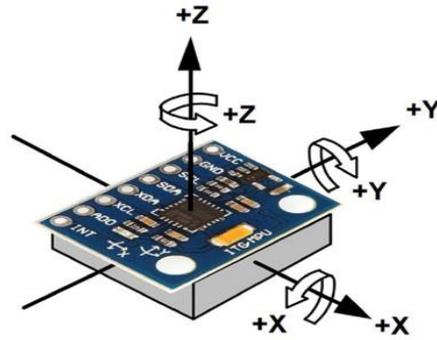


Figura 3.14 Sensor giroscopio, indicando la función que tiene en los 3 ejes "X, Y, Z".
Fuente: (NAYLAMP MECHATRONICS, 2024).

➤ **Brújula:**

Esta se encarga de indicar el rumbo (Figura 3.15), con la ayuda de un sensor, gracias a esto, puede reconocer su orientación respecto al norte magnético.

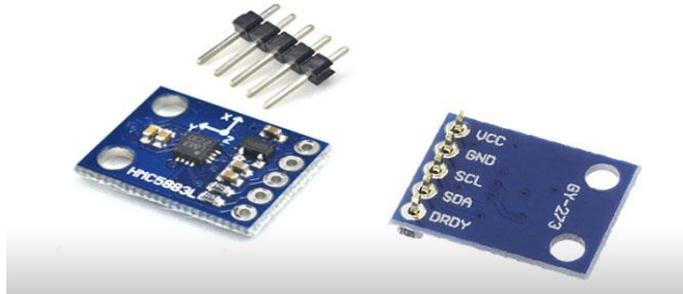


Figura 3.15 Brújula magnética programable con Arduino.
Fuente: (Llamas, 2024).

➤ **Sensores de posición:**

Estos sensores (Figura 3.16) reciben satelitalmente la posición exacta del dron en el mapa en tiempo real.



Figura 3.16 Modulo GPS NEO8M.
Fuente: (I+D ELECTRONICS, 2024).

➤ **Sensores de velocidad:**

Este tipo de sensores pueden obtener la velocidad del dron al detectar la presión del aire en la parte delantera cuando este está en movimiento. (Figura 3.17).



Figura 3.17 Sensor digital de velocidad.
Fuente: (I+D ELECTRONICS, 2024).

➤ **Sensores de altura y altitud:**

Se puede obtener la posición del dron respecto al suelo (altura) y la posición del dron respecto al nivel del mar, todo esto gracias a que estos sensores usan la variación de presión para así poder detectar la altura y altitud (Figura 3.18), cabe aclarar que algunas versiones de estos sensores pueden calcular estos datos con un radioaltímetro.

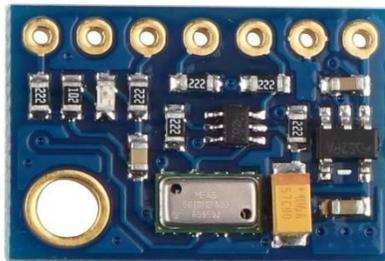


Figura 3.18 MS5611 módulo presión atmosférico "Usa la variación de presión".
Fuente: (ArduProject, 2018).

• **Cámara:**

No todos los drones cuentan con cámaras, es uno de los complementos más comunes, dependerá del uso que se le dará al equipo, por esta razón se suele dejar la estructura necesaria para instalar una cámara con su base en el cuerpo del dron (fuselaje).

• **Estación de control:**

La estación de control, depende de tres elementos que son muy importantes para el correcto funcionamiento y el correcto uso del dron, los cuales son los siguientes:

- Mando a distancia.
- Emisor y receptor de radio.
- Elementos de visualización y gestión de datos.

3.2.2 Partes de un Dron multirotor

Un artículo publicado por (UMILES, 2023) nos dice que los drones multirotor, al igual que los de ala fija, cuentan con partes que son muy necesarias e inalterables para su correcto uso y funcionamiento. (Figura 3.19)

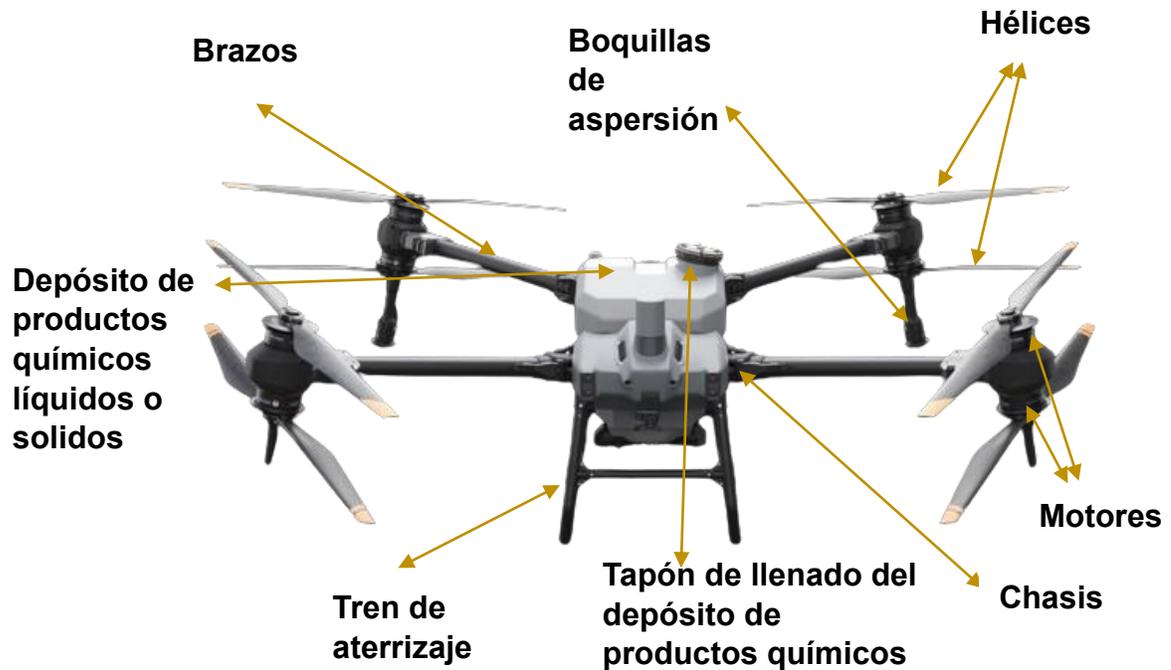


Figura 3.19: Partes de un dron multirotor DJI Agras T40.
Fuente: (DJI, 2024).

Para posibilitar el funcionamiento de este tipo de drones, al igual que los de ala fija, se deben encender los motores, se ponen en marcha, de esta forma se hacen girar las hélices para comenzar a elevarse, luego el operador los dirige o controla gracias al control remoto, a continuación, se muestran las partes más importantes de los multirotor:

- **Chasis del dron:**

El chasis o marco del dron (Figura 3.20), es el cuerpo del mismo y es el componente principal, ya que mantiene todas las partes sujetas y componentes unidos, siempre y cuando no afecte el desempeño aerodinámico del equipo, este también define el tamaño del dron.



Figura 3.20 Chasis de un dron Quadcopter.
Fuente: (RANTEC, 2024).

- **Brazos:**

Son los elementos que se encargan de sostener los motores y están sujetos al chasis (Figura 3.21), se tienen dos clasificaciones de brazos disponibles para el dron, y son los siguientes:

- **Brazos largos:**

Si los brazos son más largos le darán una mejor estabilidad al dron en la realización de las actividades.

- **Brazos cortos:**

Si los brazos son cortos, el dron tendrá una mejor maniobrabilidad a la hora de la realización de las actividades.



Figura 3.21 Brazos de un dron Quadcopter.
Fuente: (RANTEC, 2024).

- **Motores:**

Los motores (Figura 3.22) son las piezas fundamentales, son las que ayudan a que el dron se mantenga en movimiento, los cuales se encargan de generar la impulsión para que este se eleve, en conjunto con las alas. En el van integradas las hélices.



Figura 3.22 Motor Brushless, motor sin escobillas.
Fuente: (Robot, 2024).

- **Hélices del dron:**

Las hélices (Figura 3.23) van integradas en el motor, la cual gira para proporcionar la elevación del dron, en conjunto con las alas.



Figura 3.23 Hélices de bajo ruido.
Fuente: (DJI, 2024).

- **Batería:**

Estas son las encargadas de proporcionarle energía al dron y a todos sus componentes, existen diversos tipos de baterías (Figura 3.24) para los drones, pero las más utilizadas son las baterías Li-Po (polímero de litio) gracias a su densidad de energía, que es de menor peso, así ofreciendo un gran rendimiento y autonomía en el vuelo.



Figura 3.24 Batería de un Mavic Air 2.
Fuente: (DJI, 2024).

- **Placa controladora de vuelo:**

Este componente (Figura 3.25) es el encargado de recibir y registrar toda la información que proviene del control o mando, del sistema de geolocalización, sensores, y de todos los demás componentes, esto quiere decir que se encarga de controlar lo que sucede con el dron.

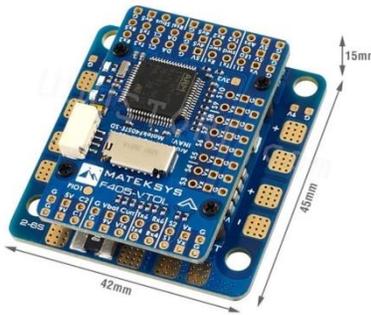


Figura 3.25 Controlador de vuelo de dron multirrotor SpeedyBee F405. Fuente: (RCDRONE, 2024).

- **Sensores:**

- **Giroscopio:**

El giroscopio ayuda al dron a mantener o cambiar la orientación, al igual mide los grados de cabeceo y alabeo (Figura 3.26) respecto del horizonte.

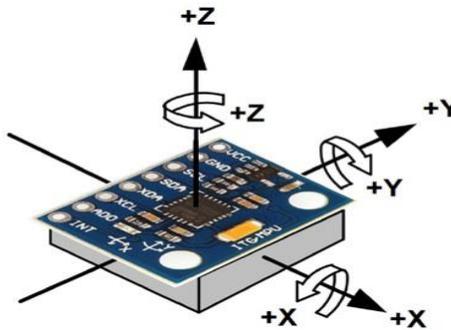


Figura 3.26 Sensor giroscopio, indicando la función que tiene en los 3 ejes "X, Y, Z". Fuente: (NAYLAMP MECHATRONICS, 2024).

- **Brújula:**

Esta se encarga de indicar el rumbo (Figura 3.27), con la ayuda de un sensor, gracias a esto, puede reconocer su orientación respecto al norte magnético.

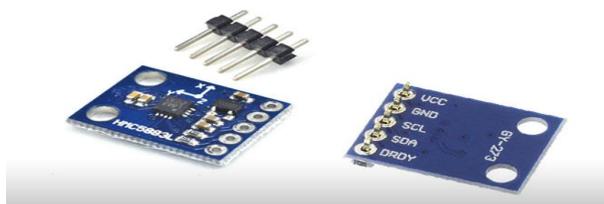


Figura 3.27 Brújula magnética programable con Arduino.
Fuente: (Llamas, 2024).

➤ **Sensores de posición:**

Estos sensores (Figura 3.28) reciben satelitalmente la posición exacta del dron en el mapa en tiempo real.



Figura 3.28 Modulo GPS M10Q5883.
Fuente: (RCDRONE, 2024).

➤ **Sensores de velocidad:**

Este tipo de sensores pueden obtener la velocidad del dron al detectar la presión del aire en la parte delantera cuando este está en movimiento. (Figura 3.29).



Figura 3.29 Sensor digital de velocidad.
Fuente: (I+D ELECTRONICS, 2024).

➤ **Sensores de altura y altitud:**

Se puede obtener la posición del dron respecto al suelo (altura) y la posición del dron respecto al nivel del mar, todo esto gracias a que estos sensores usan la variación de presión para así poder detectar la altura y altitud (Figura 3.30), cabe aclarar que algunas versiones de estos sensores pueden calcular estos datos con un radioaltímetro.



Figura 3.30 MS5611 módulo presión atmosférico "Usa la variación de presión".
Fuente: (ESPHOME, 2024)

• **Estabilizador:**

El uso de este componente es muy importante, debido a que este se encarga de estabilizar la cámara durante los vuelos del dron, y está colocado entre el cuerpo (chasis) y la cámara (Figura 3.31), le ayuda a evitar que las vibraciones de los motores le causen algún desperfecto en calidad a las imágenes que se capturaron con el dron. Este componente solo será instalado en drones que fueron diseñados o contruidos para la obtención de fotografías y videos profesionales, así como para los que son utilizados para el diagnóstico de terrenos.



Figura 3.31 Estabilizador del Phantom 4 Pro de DJI.
Fuente: (DJI, 2024).

- **Variadores o reguladores de velocidad:**

Mejor conocidos como ESC (Figura 3.32) por sus siglas en inglés (Electronic Speed Controllers) y son utilizados para variar la velocidad y dirección en la que se desplaza el dron. Estos reciben la señal del control de vuelo y envían la alimentación adecuada a los motores, de esta forma se hace avanzar, retroceder, dar vuelta, girar sobre su propio eje al dron.

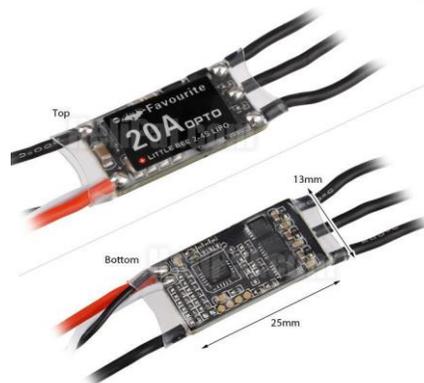


Figura 3.32 Variador de velocidad de un dron Quadcopter.
Fuente: (PROMETEC, 2024).

- **Estación de control del dron:**

La estación de control, depende de tres elementos que son muy importantes para el correcto funcionamiento y su correcto uso del dron, los cuales son los siguientes:

- Mando a distancia.
- Emisor y receptor de radio.
- Elementos de visualización y gestión de datos.

- **Tren de aterrizaje:**

Este componente es muy importante en los drones que cuentan con una carga suspendida, como el uso de cámaras, sistema de fumigación, riego o fertilización. Es una estructura que está ubicada bajo el chasis (Figura 3.33) y este se encarga de cuidar la integridad del dron al momento de entrar en contacto con el suelo y así mantener una distancia adecuada entre el chasis y el suelo.



Figura 3.33 Tren de aterrizaje del DJI Agras T40.
Fuente: (DJI, 2024).

3.3 Controles de mando

Como ya se mencionó anteriormente, los drones fueron diseñados para ataques militares en donde se ponía en riesgo a demasiado personal para realizar un ataque en los diferentes puntos importantes del mundo, por lo cual se crearon los Controles de Mando o Controles Remoto por sus siglas en ingles “**RC**” (Remote control) y de esta forma realizar las diferentes tareas encomendadas a distancia y sin tripulación a bordo.

Sabemos que todos los drones contienen un controlador de vuelo, el cual tiene integrado un Radio Receptor, este mismo recibe la señal del Control Remoto que se encarga de interpretar el movimiento que realiza el usuario y lo transforma en una onda radial, al momento de que el receptor recibe la señal esta es transformada en datos que se envían al controlador de vuelo y así poder ejecutar las instrucciones, como dar vuelta, elevarse, aterrizar, aumentar o disminuir la velocidad. (Droning, 2014)

Por lo general, todos los drones vienen con el transmisor RC el cual requiere de una frecuencia de radio que está disponible al público, así permitiéndole un alcance de hasta 3 km al usuario, esta frecuencia suele ser de 2.4 GHz y es la estándar en radiocontrol, a esta frecuencia se le considera como una alta frecuencia por eso no tiene mucho alcance, y con las bajas frecuencias el dispositivo tiende a tener un mayor alcance. (TIENDAELECTRONICA.MX, 2024)

La mayoría de los RC cuentan con uno o dos Joystick, los cuales tienen como función, el controlar la elevación o altura, aterrizaje, velocidad o dirección del dron, las palancas, que se encargan de accionar los motores y algunos botones que son

utilizados para realizar maniobras automáticas, de esta forma se mantiene el dron con un buen control y estabilidad. En el mercado se tiene RC con diferentes modos de vuelo o modos de transmisión, los cuales son los siguientes cuatro:

- **Modo de vuelo 1:**

El Joystick del lado izquierdo es el encargado de elevar o descender al dron, mientras que el del lado derecho, se encarga de acelerar o desacelerar los motores y así poder realizar las diferentes acciones. (Figura 3.34)



Figura 3.34 Representación del Modo de vuelo 1 de un dron.
Fuente: (CarrerasdMidron, 2018).

- **Modo de vuelo 2:**

En este modo, el Joystick del lado izquierdo se encarga de acelerar o desacelerar al dron y el del lado derecho se encarga de elevar o descender al dron, otra diferencia, es que el Joystick del lado izquierdo se centra en el eje del Jaw (dirección izquierda/derecha) y en el eje del acelerador (arriba/abajo) así permitiendo una aceleración constante, y el del lado derecho se centra en ambos ejes. (Figura 3.35)



Figura 3.35 Representación del Modo de vuelo 2 del dron.
Fuente: (CarrerasdMidron, 2018).

- **Modo de vuelo 3:**

En este modo, la configuración del modo 3 es la misma que la del modo 1, solo los canales del Alerón y el Timón se intercambian. (Figura 3.36)



Figura 3.36 Representación del Modo de vuelo 3 del dron.
Fuente: (CarrerasdMidron, 2018)

- **Modo de vuelo 4:**

La configuración de este modo es la misma configuración que del modo 2, excepto que los canales del Alerón y Timón, se intercambian. (Figura 3.37)



Figura 3.37 Representación del Modo de vuelo 4 del dron.
Fuente: (CarrerasdMidron, 2018).

3.4 GPS

El GPS o Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global) es un sistema satelital que permite obtener la ubicación geográfica precisa de un objeto, su funcionamiento se basa en una red de satélites que orbitan la tierra y estos transmiten señales a dispositivos receptores que utilizan estas señales para triangular su posición exacta. Un dron con GPS puede realizar vuelos autónomos, mantener una posición estable, mantener o seguir rutas que ya están predefinidas, aterrizajes o despegues. (UMILES, 2023)

El uso de GPS en drones tiene muchos beneficios para la navegación, como, por ejemplo:

- **Navegación precisa:**

La implementación de esta tecnología, le permite al dron desplazarse de manera precisa y pueda mantener una posición estable, esto beneficia al usuario a obtener fotografías y videos aéreos profesionales, así como la obtención de imágenes para análisis de datos y obtención de mapas precisos de algunas zonas (fotogrametría con drones).

- **Vuelo autónomo:**

El realizar un vuelo autónomo le permite al dron seguir con rutas programadas, esto le ayuda al usuario a realizar tareas de inspección, monitoreo de cultivo, búsqueda o rescate, fumigación de cultivos, fertilización, levantamiento topográfico, gracias a que puede seguir un patrón en específico.

- **Retorno a casa seguro:**

En este caso, el uso de GPS en drones, le permite al usuario estar seguro de que, si se pierde la conexión con el control remoto o la batería esta baja, el dron regresara automáticamente a su punto de despegue.

- **Limitaciones:**

Para poder usar un dron se tienen diferentes regulaciones en todos los países, a estas reglas se les puede dar el nombre de limitaciones, ya que, si no cumplimos con ellas, no podremos realizar las actividades o tareas necesarias como lo menciona (APD, 2024), en México, todas estas reglas se encuentran estipuladas en la Norma oficial mexicana “**NOM-107-SCT3-2019**”; a continuación, se muestran las 10 más comunes:

- 1. Registro y licencias de drones:**

Para poder operar un dron de manera legal se debe registrar ante las autoridades correspondientes, todo depende del uso y ubicación de vuelo, dentro de cada país varia la forma de registro o los requisitos, por lo general, el futuro operador requiere facilitar información sobre la aeronave, como, por ejemplo; el peso del dron, dimensiones, características técnicas, etc.

En México, el centro de instrucción reconocido por la Autoridad Aeronáutica existente es de la empresa DJI, el cual no solo es un centro distribuidor de estos equipos, si no, también se dedica a expedir licencias para vuelo de Aeronaves no Tripuladas, para que el operador pueda obtener esta licencia requiere aprobar dos cursos: un

curso teórico y un curso práctico. A continuación, se muestra un ejemplo de licencia expedida por DJI. (Figura 3.38)



Figura 3.38: Licencia expedida por DJI.
Fuente: (García J. R., 2024)

2. Restricciones de vuelo y zonas prohibidas:

Al realizar un vuelo con drones, ya sea para la toma de videos y fotos profesionales, así, como para el uso topográfico o en la agricultura (Fotogrametría, Fertilización y Fumigación), se deben de respetar las diferentes zonas restringidas, algunas de ellas son las siguientes:

- **Aeropuertos.**
- **Helipuertos.**
- **Áreas militares o áreas cercanas a instalaciones militares.**
- **Áreas de emergencia.**
- **Áreas de protección silvestre.**

Esto se debe a que, si se realizan este tipo de vuelos en estas zonas sin permiso (Figura 3.39) de las autoridades competentes, se corre el riesgo de tener interferencia con otras aeronaves (tripuladas o no tripuladas) y causar situaciones peligrosas.



Figura 3.39 Ejemplo de una zona restringida para el uso de drones.
Fuente: (IAEROCOL, 2024).

El avance de la tecnología en los drones le permite al usuario generar límites geográficos virtuales mejor conocidos como “GEOFENCING o GEOVALLAS”, estos límites restringen una cierta área de vuelo del dron, así garantizando que el dron no se alejara demasiado o de que no ingrese a áreas o propiedades restringidas, como lo son:

- **Zonas ZEPA:**

Zonas de Especial Protección para las Aves, las cuales son superficies dedicadas para el cuidado y conservación de las especies de aves clasificadas legalmente y para las aves migratorias. (FUNDACION MAPFRE, 2024)

- **Zonas ZEC:**

Zonas Especiales de Conservación, las cuales son áreas en donde se aplican medidas de conservación para el mantenimiento o restablecimiento de los hábitats o de las poblaciones de las especies locales. (FUNDACION MAPFRE, 2024)

3. Altitud máxima de vuelo:

Las altitudes máximas de vuelo varían en cada país o región, generalmente se tiene un rango de entre 90 metros y 120 metros sobre el nivel del suelo (Figura 3.40), y al respetar estos límites, evitamos generar situaciones riesgosas, con otras aeronaves, choques con estructuras o personas en tierra.

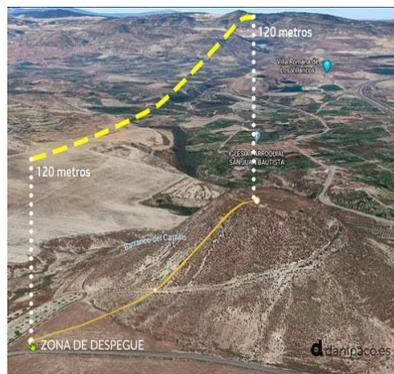


Figura 3.40 Demostración de la altura máxima de vuelo de un dron.
Fuente: (Martinez, 2021).

4. Mantenimiento y revisión de drones:

Para minimizar los riesgos de fallas durante el vuelo, es necesario realizar inspecciones visuales (Figura 3.41) y verificar que todas las partes del dron están en buenas condiciones, así como seguir con el plan de mantenimiento recomendado por el fabricante, como la revisión de baterías, motores, hélices, sistemas de navegación, sensores, etc.



Figura 3.41 Inspección de motores y hélices de un Quadcopter.
Fuente: (APD, IDC, 2024).

5. Seguro de responsabilidad civil:

Es necesario que al comprar un dron se adquiriera al igual un seguro, esto para proteger al operador en caso de daños a personas o propiedades durante el vuelo, así como para proteger daños a sí mismo, robos o pérdidas del mismo.

6. Protección de la privacidad y datos personales:

Es importante que se obtenga el consentimiento de personas involucradas para la captura de imágenes, videos u obtención de datos en áreas públicas o privadas, por esto es necesario informar de forma clara y precisa sobre el propósito de la captura de imágenes o

datos, al igual se deberá explicar la forma que se protegerá y almacenara toda esta información, así como para su publicación.

7. Interferencia con otras aeronaves y sistemas:

Es muy importante mantener una distancia o si es mejor, evitar volar cercas de las aeronaves tripuladas (aviones, helicópteros o drones en operación), al igual, se deben tomar precauciones adicionales, esto para evitar interferencias con los sistemas de comunicación (Figura 3.42) de las torres de control o señales de radio, de esta manera se puede garantizar un entorno seguro.



Figura 3.42 Señales de comunicación entre torres de control y aeronaves tripuladas.
Fuente: (Fernandez, 2022).

8. Condiciones climáticas y visibilidad:

Antes de comenzar o planear el vuelo del dron, es necesario que el usuario se informe sobre las condiciones meteorológicas en la zona donde se desea realizar la actividad, tomando en cuenta la velocidad del viento, lluvia, nieve o niebla, debido a que esto puede afectarle en la estabilidad y el control.

9. Etiqueta de identificación y marcado de drones:

El correcto etiquetado y marcado del dron, es esencial tanto para el operador como para autoridades competentes, para facilitar la identificación (Figura 3.43) o resolución de algún problema o incidente durante la operación del dron, por lo general en el proceso de etiquetado o marcado del dron se incluye lo siguiente:

- Nombre del propietario.
- Dirección del propietario.
- Numero de registro o licencia.



Figura 3.43 Ejemplo de etiquetado de un dron DJI.
Fuente: (StickerHillStore, 2024).

10. Educación y concienciación:

Es necesario que, si una persona desea usar drones, haya participado en cursos de capacitaciones y haber obtenido las certificaciones necesarias para poder operar drones de manera legal y segura.

3.5 Baterías

La batería es el componente principal del dron, ya que, sin ella, el dron estaría atado al suelo, este componente es un dispositivo que se encarga de almacenar energía, y esa energía es química, la cual es transformada en energía eléctrica así proporcionando la fuerza necesaria para hacer funcionar os diferentes componentes, como lo son los motores, luces, sensores, cámaras, etc. (IDC, 2024)

El tipo de batería puede afectar en el rendimiento al dron, todo dependerá de la tarea que se le vaya a encomendar al dron, ya que el rendimiento de los drones de Fotogrametría no es el mismo que los drones fumigadores o fertilizadores.

Los diferentes tipos de baterías son los siguientes:

- **Baterías de Polímero de Litio (Li-Po):**

Las baterías de Li-Po (Figura 3.44) son las principales en utilizarse por el hecho de que tienen una alta relación energía-peso y una gran capacidad para liberar una gran cantidad de energía rápidamente.



Figura 3.44 Batería de Polímero de Iones de Litio.
Fuente: (SHOPTRONICA, 2024).

Este tipo de baterías anteriormente eran fabricadas con un separador poroso empapado en electrolito, el cual en la actualidad tiene poca conductividad a temperatura ambiente, por esta razón se debe calentar la batería entre los 50°C y los 60°C, con el pasar de los años, se comenzaron a fabricar con un electrolito de polímero sólido (seco), así mejorando la conductividad e intercambio iónico, en la actualidad, para que estas baterías tengan una buena conducción a temperatura ambiente, se gelificó el electrolito.

- **Baterías de Iones de Litio (Li-ion):**

Estas son utilizadas, pero no mucho, en comparación con sus hermanas mayores (Li-Po), este tipo de baterías (Figura 3.45) tienen una densidad de energía ligeramente inferior, tiene una larga vida útil y son muy buscadas para usos de vuelos largos y tranquilos.



Figura 3.45 Batería de iones de litio.
Fuente: (Electronic Components, 2021).

- **Baterías de Níquel-Metal Hidruro (NiMH):**

Este tipo de baterías son las más antiguas en el mundo moderno de los drones, son muy pesadas y estas ofrecen menos energía que las baterías Li-Po o las de Li-ion, tienen una gran capacidad para resistir varios ciclos de carga, debido a esto son útiles para ciertas aplicaciones.

Anteriormente, las baterías más usadas en dispositivos de mano eran las de níquel y cadmio (NiCd), pero al pasar de los años se comenzaron a construir las baterías de hidruro metálico de Níquel (NiMH) debido a que abordaba la toxicidad del NiCd, se pueden encontrar en diferentes formas (botón, cilíndrica, prismática y rectangular). (Figura 3.46)



Figura 3.46 Batería de botón de Hidruro Metálico de Níquel.
Fuente: (Electronic Components, 2021).

Las baterías de un dron deben tener una buena densidad de energía, pequeñas, de bajo peso y una alta tasa de descarga (una liberación de gran cantidad de energía en un tiempo determinado), debido a que habrá ocasiones en que será necesario que el dron realice maniobras ágiles. Como, por ejemplo, una evasión de un obstáculo.

El rendimiento de las baterías por lo general es de 10 minutos y se considera como un rendimiento normal, pero pueden durar hasta 20 minutos, considerándose como un rendimiento excepcional, como ya se mencionó anteriormente, el rendimiento dependerá de las actividades que se realizaran con el dron, del tamaño del dron, así como la configuración del mismo. (Tajadura, 2017)

3.6 Sensores de proximidad

Al usar drones se requiere de mucha seguridad, esto evita daños al dron, como a las personas y propiedades en su entorno, a esto se le llama Tecnología anticolidión y se basa en la combinación de sensores de proximidad y cámaras que detectan los diferentes obstáculos en alrededor del dron, como lo son, arboles, edificios, postes, torres, cables eléctricos e incluso aves en vuelo, etc.

Los sensores al estar en funcionamiento recopilan información y estos envían señales al sistema de control del dron, el cual interpreta la información y toma decisiones para evadir los obstáculos, así evitando colisiones. (Cienfuegos, 2024)

Los sensores de proximidad más utilizados en drones son los siguientes:

- **Sensores ultrasónicos:**

Los sensores ultrasónicos (Figura 3.47) emiten ondas de sonido de alta frecuencia y estas rebotan en obstáculos cercanos, así regresando al sensor, para poder obtener la distancia a la que está el dron del obstáculo, el sistema mide el tiempo que tardan en regresar las ondas. Este tipo de sensores tiene muy poca resolución, ya que son funcionales para distancias cortas, los cuales son muy comunes en drones de gama baja y media.



Figura 3.47 Sensor ultrasónico.
Fuente: (Wong, 2023).

Al implementar este sensor, podremos observar que es un sensor de bajo costo y se puede usar en condiciones de poca luz, pero es de un alcance limitado y es muy sensible a interferencias acústicas y superficies absorbentes del sonido.

- **Sensores ópticos:**

Los sensores ópticos (Figura 3.48) son conocidos también como cámaras de detección de obstáculos y estos utilizan la visión por computadora para identificar y evadir obstáculos, así evitando colisiones, estos sistemas procesan las imágenes obtenidas por las cámaras reconociendo objetos o estructuras alrededor del dron, y son utilizados en drones profesionales.



Figura 3.48 Sensor óptico del DJI Air 2S.
Fuente: (Ocón, 2021).

Estos sensores pueden detectar objetos en alta resolución y pueden trabajar en un amplio rango de distancias, si hay una variación de iluminación muy alta tiende a ser muy sensible y también tiene un mayor consumo de energía y capacidad de procesamiento.

- **Sensores infrarrojos:**

Los sensores infrarrojos (Figura 3.49) detectan los objetos u obstáculos al emitir y recibir radiación infrarroja, para calcular la distancia a la que se encuentra el dron del obstáculo, miden la cantidad de radiación que se refleja en ellos, todo esto gracias al trabajo en conjunto del Led Infrarrojo (emisor) y del Fotodiodo (receptor), este tipo de sensores son eficaces en distancias cortas y medias, y son muy utilizados en drones de gama media y alta.



Figura 3.49 FC-51: Sensor de distancia infrarrojo.
Fuente: (Massimi, 2024).

La implementación de estos sensores, aseguran que tendrá una menor susceptibilidad a interferencias visuales y funcionan en condiciones de poca luz u oscuridad total, es de un alcance limitado y puede afectarle la variación de temperatura y superficies reflectantes.

- **LIDAR:**

El sensor LIDAR (Light Detection and Ranging) es utilizado para medir distancias y movimientos precisos en un entorno en tiempo real, y funciona gracias a que utiliza rayos láser. Estos sensores emiten pulsos de luz láser en el entorno, los cuales viajan a la velocidad de la luz y rebotan en los objetos u obstáculos, regresando al sensor LIDAR (Figura 3.50). Para poder calcular la distancia, su funcionamiento es parecido al sensor ultrasónico, porque mide el tiempo que tardan en regresar cada pulso y debido a que la velocidad de la luz láser es constante este tiempo de vuelo puede ser usado para calcular distancias muy precisas. (IBM, 2024)



Figura 3.50 Sensor LIDAR LightWare LIDAR SF23/B de baja potencia.
Fuente: (lightware, 2024).

Este tipo de sensores son muy precisos, gracias a esto pueden generar mapas tridimensionales del entorno del dron, son sensores que suelen encontrarse en drones de gama alta, por lo tanto, son sensores más costosos y complejos. Como ya se mencionó, son sensores muy precisos, con una alta

resolución, y funcionan en una lata gama de distancias, pero son más costosos y tienen un mayor consumo de energía.

- **RADAR:**

El Radio Detección y Alcance (Figura 3.51) o mejor conocido por sus siglas en ingles “RaDaR” (Radio Detection and Ranging) es un sistema de ondas electromagnéticas que se utiliza para calcular distancias, altitudes, direcciones y velocidades de objetos estáticos o móviles, como aeronaves, barcos, vehículos motorizados, formaciones meteorológicas, mediciones geológicas. Aun y cuando este elemento no es tan común dentro el mundo de los drones por su tamaño y consumo de energía, algunos modelos avanzados lo incorporan para hacer más precisa la detección de obstáculos en zonas más complejas o en condiciones meteorológicas adversas.



Figura 3.51 Radar trasero para evitar obstáculos para controlador de vuelo JIYI K++ V2, drone agrícola.
Fuente: (RCDrone, 2024).

Su funcionamiento para el cálculo de las distancias o en su defecto de la actividad que se le vaya a dar, emite un pulso de radio que se refleja en el objetivo y rebota en la misma posición del emisor, y así obteniendo una gran cantidad de información, todo esto gracias al “ECO”. Este sensor puede ser

usado en condiciones de poca luz y son muy útiles si se requiere detectar objetos a una larga distancia, también su funcionamiento es muy bueno en un mal tiempo (condiciones meteorológicas adversas) es más costoso y tiene un mayor consumo de energía.

Capítulo IV. Cámaras de monitoreo

La utilización de drones ha aumentado en gran medida por el hecho de que le proporciona al productor imágenes que contienen información que no es posible de detectar a simple vista, como así también, situaciones que podemos observar nosotros mismos pero que se complica por la gran cantidad de plantas o por el tamaño del terreno debido a que es difícil recorrerlo y realizar un análisis sobre la situación

En la agricultura actual se están utilizando cámaras con sensores instalados, los cuales permiten la detección y medir la luz en zonas del espectro electromagnético (radiación electromagnética), que es la luz emitida o absorbida por sustancias. Se puede dividir en diferentes grupos o bandas los cuales se pueden identificar por las distancias de onda, como lo son los de menor longitud de onda (rayos gamma, rayos X, luz ultravioleta, luz visible, rayos infrarrojos) hasta los de mayor longitud (ondas de radio). (Gómez, 2019)

Los tipos de cámaras que son utilizados con drones en la agricultura son:

- Cámaras RGB.
- Cámaras térmicas.
- Cámaras multiespectrales.

4.1 Cámaras RGB

Los sensores RGB como ya se mencionó anteriormente, estos son utilizadas para la captura de fotos o videos que son esenciales en la observación y análisis de algún problema en general que afecta a la población del cultivo, manchones con menor cantidad de plantas, manchones con mayor cantidad de plantas, zonas con encharcamientos de agua, etc. (Figura 4.1).



Figura 4.1 Demostración de una captura obtenida con un sensor RGB
Fuente: (Wingtra, 2023).

El funcionamiento de este tipo de cámaras es similar al de los ojos humanos, por el hecho de que estas no detectan o no capturan frecuencias como los rayos Ultravioleta, microondas, infrarrojos, solo captura el espectro visible (colores primarios), mejor conocidos como los colores del arcoíris. (Namesny, 2023)

4.2 Cámaras térmicas

Las cámaras térmicas nos permiten medir en un cuerpo u objeto la radiación calorífica que emite (Figura 4.2), a mayor cantidad de radiación emitida es mayor la temperatura del cuerpo, la cual no es posible poder observarla con las cámaras RGB y con los ojos humanos ya que se encuentra en el rango del espectro electromagnético entre la luz visible y la de radiación de microondas. Se le conoce como Termografía aérea a este estudio y permite realizar la medición de la temperatura de las plantas y la forma en que varía dependiendo de las condiciones que se encuentre el cultivo. Este estudio se utiliza principalmente para poder detectar si el cultivo está sufriendo por estrés hídrico, detecta las zonas en donde los requerimientos del cultivo son mayores que las disponibilidades de agua. (Jiménez, 2017)

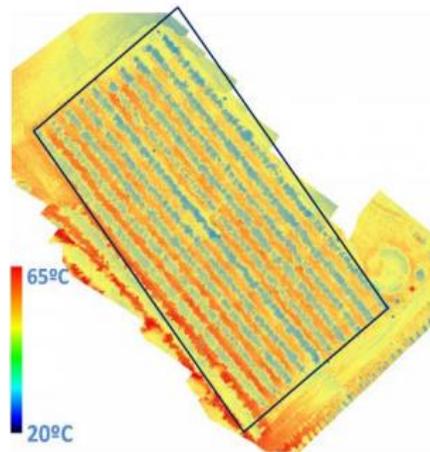


Figura 4.2 Medición de la radiación calorífica de un terreno o predio
Fuente: (Jiménez, 2017).

4.3. Cámaras multiespectrales

Las cámaras multiespectrales son artefactos capaces de capturar imágenes más allá del rango visible para el ojo humano. (UMILES, 2023) Gracias a que pueden detectar diferentes longitudes de la radiación como los son:

- Infrarrojo cercano (NIR “**NEAR INFRARED**”).
- Infrarrojo medio (MIR “**MEDIUM INFRARED**”).
- Infrarrojo térmico (TIR “**THERMAL INFRARED**”).

Estas cámaras utilizan sensores especializados para la detección de las bandas del espectro electromagnético (Figura 4.3), donde los cuales están formados por pixeles que son diseñados para ser sensibles a las diferentes longitudes de onda.

Los usos que se le dan a este tipo de tecnología son para:

- Agricultura de precisión.
- Monitoreo o teledetección ambiental.
- Cartografía y topografía.
- Detección de incendios.
- Seguridad y vigilancia.

Estos artefactos implementados en drones son herramientas muy valiosas para los productores agrícolas, ya que esto les ayuda a tomar mejores decisiones en la gestión de los cultivos, por el hecho de que permiten:

- Detectar plagas, enfermedades, deficiencias nutricionales y más condiciones que podrían afectar la salud de la planta.
- Identificar áreas que tengan un estrés hídrico.
- Nos permiten gestionar la distribución de las plantas y evaluar el rendimiento de la cosecha.
- Ayuda a minimizar el uso de productos químicos.
- Permite el ahorro de tiempo, dinero y agua.

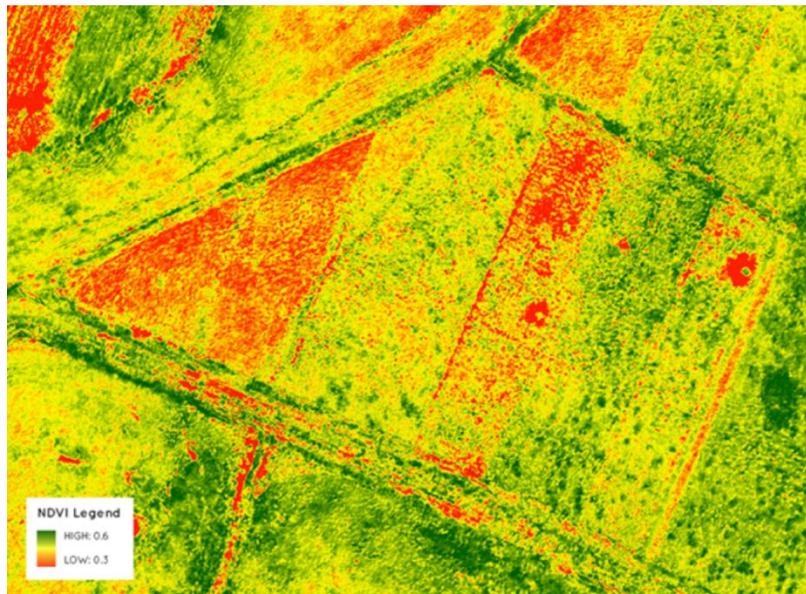


Figura 4.3 Detección de las bandas del espectro electromagnético
Fuente: (Heimdall, 2022).

Capítulo V. Caso

5.1 Plan de vuelo en un predio de Nopal en la región de General Cepeda, Coahuila, México.

Primeramente, se generó el plan de vuelo para un Dron DJI Mavic 2 Enterprise Dual utilizando el DJI Smart Controller (Figura 5.1) para la obtención de imágenes RGB y así realizar el análisis necesario en el software PIX4D para el cálculo de índice de vegetación (VARI) en un cultivo de nopal.

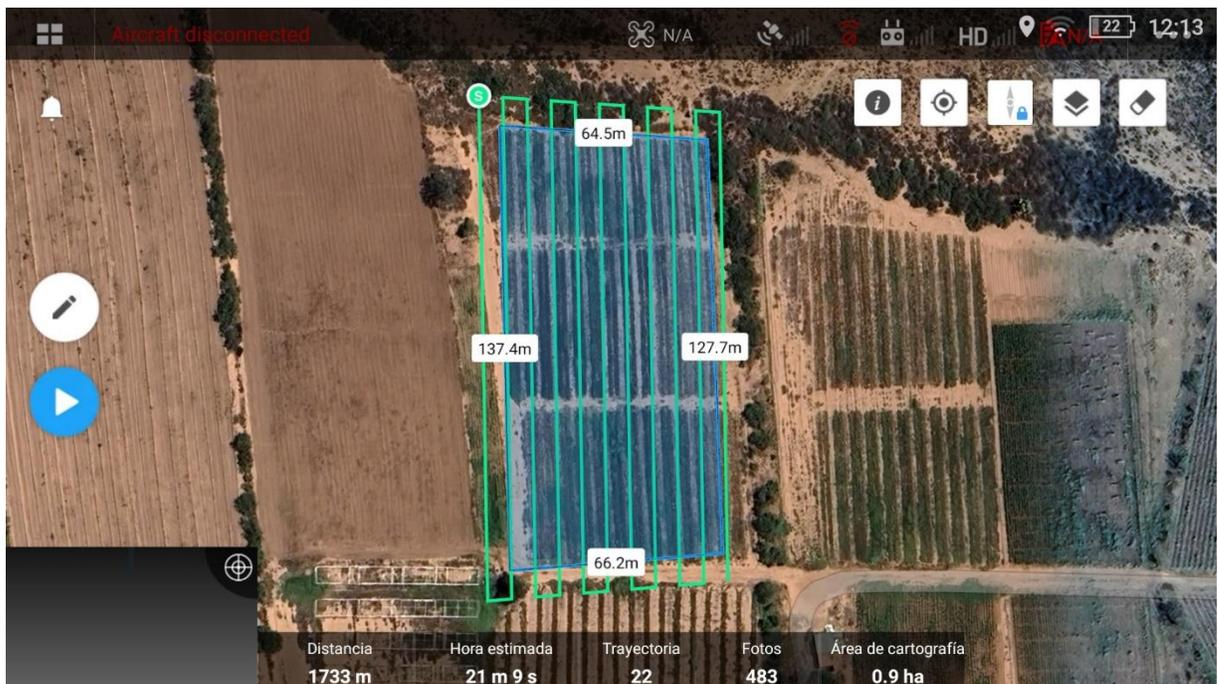


Figura 5.1 Plan de vuelo para un Mavic 2 Enterprise Dual utilizando un DJI Smart Controller.
Fuente: (González, 2023).



Figura 5.3 Ortomosaico obtenido al realizar el análisis en el software PIX4D con las capturas recabadas durante el vuelo.
Fuente: (González, 2023).

5.3 Ingreso de las fórmulas para el cálculo del índice de vegetación (VARI)

Al realizar el cálculo del índice de vegetación, se ingresan algunas fórmulas, las cuales, están cargadas predeterminadamente en el software, así obteniendo el mapa en grises (Figura 5.4), en el cual, no podemos diferenciar fácilmente las zonas con suficiente vegetación, solo se pueden observar manchas.

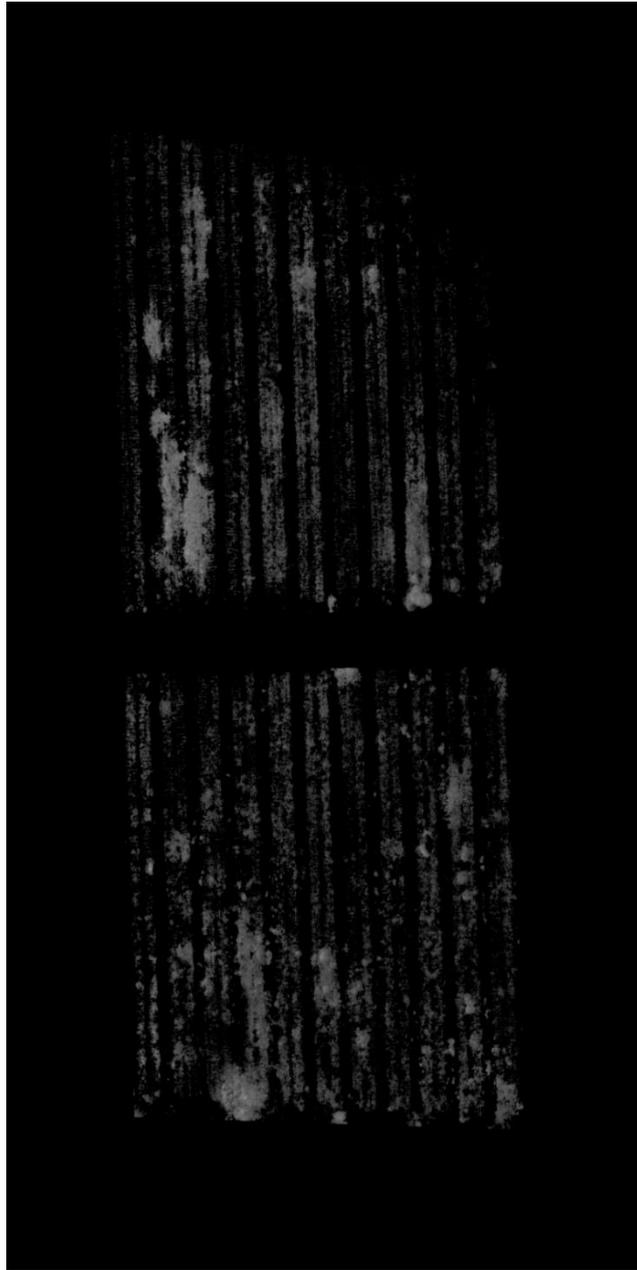


Figura 5.4 Obtención del mapa en grises al introducir las fórmulas para cálculo de índice VARI en PIX4D.
Fuente: (González, 2023).

5.4 Obtención del mapa del índice de vegetación (VARI)

Al introducir las fórmulas para el cálculo, se colorean las zonas del índice VARI (Figura 5.5) para poder observar y distinguir las zonas más críticas y las zonas con mayor vegetación, señalando que el color rojo son zonas críticas (sin vegetación) y el color verde son las zonas con mayor vegetación. Cabe aclarar que, en las zonas de color verde, se puede observar una mayor vegetación, pero no se puede distinguir si es vegetación que forma parte del cultivo que se está analizando o si es vegetación de maleza (plantas nativas), por esta razón se identifican estas zonas y son comparadas con el ortomosaico (Figura 5.3), así identificando las áreas con vegetación del cultivo que se está analizando, las áreas donde predomina la vegetación que es de maleza y las áreas que no tiene vegetación alguna.

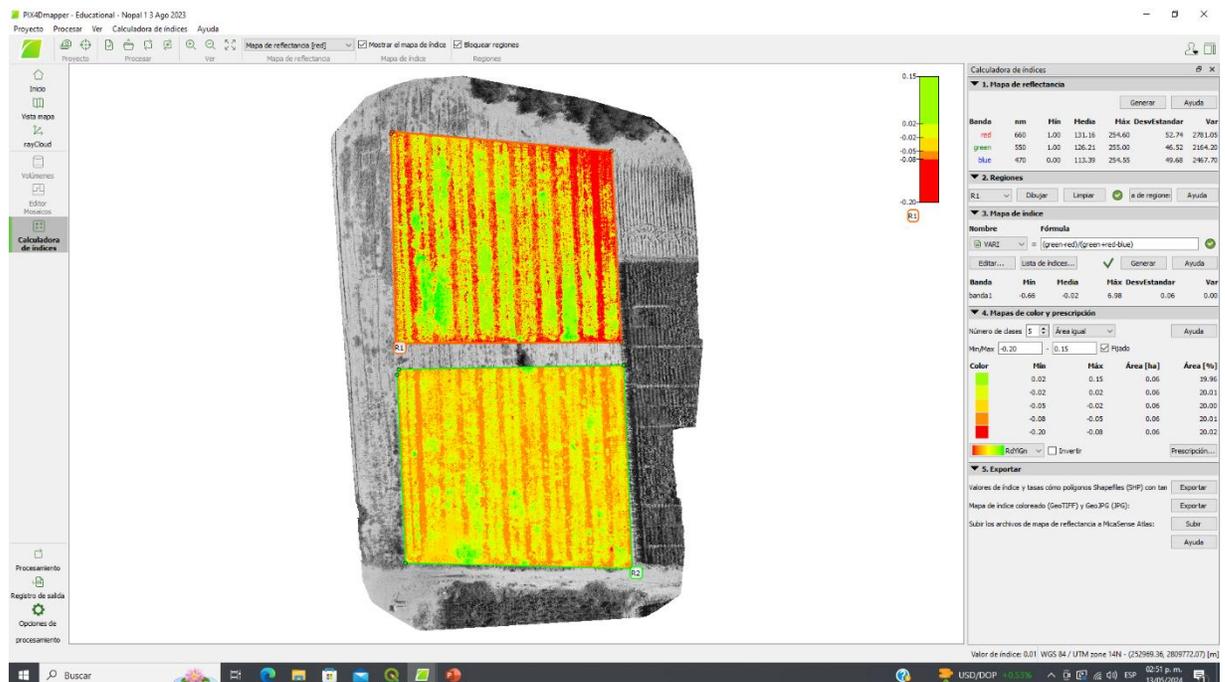


Figura 5.5 Categorización de índice VARI en PIX4D.
Fuente: (González, 2023).

5.5 Obtención del índice VARI

Se puede observar el apartado de la calculadora de índices (Figura 5.6), donde se muestra la señalización del rango de medida Mínimo (-0.20) y Máximo (0.15), al igual se nos muestra el rango que obtuvo cada área que va desde el rojo hasta el verde, resaltando que el verde es la mejor área con un índice óptimo del 0.02.

Calculadora de índices

1. Mapa de reflectancia

Banda	nm	Min	Media	Máx	DesvEstandar	Var
red	660	1.00	131.16	254.60	52.74	2781.05
green	550	1.00	126.21	255.00	46.52	2164.20
blue	470	0.00	113.39	254.55	49.68	2467.70

2. Regiones

R1 a de regione:

3. Mapa de índice

Nombre: VARI Fórmula: $(\text{green-red})/(\text{green+red-blue})$

Banda	Min	Media	Máx	DesvEstandar	Var
banda1	-0.66	-0.02	6.98	0.06	0.00

4. Mapas de color y prescripción

Número de clases: 5

Min/Max: -0.20 - 0.15 Fijado

Color	Min	Máx	Área [ha]	Área [%]
	0.02	0.15	0.06	19.96
	-0.02	0.02	0.06	20.01
	-0.05	-0.02	0.06	20.00
	-0.08	-0.05	0.06	20.01
	-0.20	-0.08	0.06	20.02

RdYlGn Invertir

5. Exportar

Valores de índice y tasas como polígonos Shapefiles (SHP) con tan

Mapa de índice coloreado (GeoTIFF) y GeoJPG (JPG):

Subir los archivos de mapa de reflectancia a MicaSense Atlas:

WGS 84 / UTM zone 14N - (253107.27, 2809741.36) [m]

29°C Parc. soleado 02:52 p. m. 13/05/2024

Figura 5.6 Imagen obtenida al realizar el análisis en el software PIX4D
Fuente: (González, 2023).

Capítulo VI. Conclusiones sobre los drones como herramienta para una agricultura eficiente: Un Futuro de Alta Tecnología

El principal uso de los drones tanto de ala fija como de multirotor, es en la agricultura, ya sea para toma de imágenes multiespectrales, infrarrojas o RGB y para la aspersión de químicos líquidos como para esparcir químicos sólidos.

Al realizar la investigación de este trabajo me di cuenta que la evolución de la tecnología avanzo muchísimo a lo largo de todos estos años y gracias a esto, le permitió y le seguirá permitiendo al productor, obtener mejores resultados en la producción que este tenga. Al igual note que el uso de esta nueva tecnología, hace que el productor disminuya el uso de mano de obra, así, minimizando los gastos y mejorando los resultados en su bolsillo.

Asimismo, pude observar que no solo disminuyendo el uso de mano de obra le ayuda al productor, si no, también, en el uso y aplicación de químicos ya sea para fumigación o fertilización, debido a que los drones aplicadores se les realiza un plan de vuelo que es autónomo, el cual es diseñado gracias al mapa obtenido en el análisis del terreno o del cultivo, de esta forma, se puede realizar una programación en el vuelo para que el dron aplique más en las zonas en donde se requiere o se disminuya la aplicación

Si bien, estos equipos pueden ser costosos al momento de la adquisición, así como algunas de sus refacciones también lo pueden llegar a ser, al realizar esta inversión asegurará que los productores tendrán un mejor rendimiento y mejores ventas, así obteniendo en poco tiempo la inversión realizada y mucho más.

Al igual nos informamos de las diferentes regulaciones que existen para usar o adquirir un equipo de estos, ya que son muy estrictas y si no se cumple con una de ellas, se puede llegar a infringir leyes de las diferentes zonas, y hasta puede terminar en problemas legales, además, se especifica que para un buen funcionamiento del dron debe de seguirse un plan de mantenimiento e inspección previo al uso de estos equipos, así disminuyendo el riesgo de accidentes o fallas durante el vuelo.

Como ya se mencionó anteriormente, cada tipo de dron tiene sus ventajas y desventajas y es necesario que el productor o nuevo operador que desee obtener uno de estos equipos tenga en cuenta para que actividad será utilizado, y si será utilizado para la agricultura, la cantidad de áreas con las que desea trabajar, al igual si estas áreas son concurridas, ya sea por personas, animales u otras aeronaves tripuladas o no tripuladas, si las áreas son completamente libres de estructuras u objetos, teniendo todo esto en cuenta se podrá tomar una decisión y se podrá escoger la mejor opción que exista en el mercado.

Bibliografía

- ACGDORNE. (25 de octubre de 2016). *ACGDRONE*. Obtenido de <https://acgdrone.com/dron-ala-fija-t-1-de-proskytec/#>
- AgEagle. (27 de mayo de 2024). *ROBOTS*. Obtenido de <https://robotsguide.com/robots/abee>
- AGRIDICO. (21 de enero de 2021). *DroneDeploy-Mapping for DJI*. Obtenido de <https://www.agridico.com//drone-deploy/>
- Amador, D. J. (2021). *Análisis de la utilización de drones como técnica de fumigación de cultivos de banano en el Corregimiento de Orihueca, Zona bananera, Colombia*. Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia.
- APD, P. d. (17 de mayo de 2024). *IDC*. Obtenido de <https://idc.apddrones.com/seguridad/regulaciones-de-seguridad-con-drones/>
- APD, P. d. (17 de mayo de 2024). *IDC*. Obtenido de <https://idc.apddrones.com/educacion/mantenimiento-seguro-con-drones/>
- APD, P. D. (29 de mayo de 2024). *IDC*. Obtenido de <https://idc.apddrones.com/drones/drones-multirotor-vs-ala-fija/>
- ArduProject. (23 de noviembre de 2018). *ArduProject.es*. Obtenido de MS5611 módulo presión atmosférica. Resolución de 10 cm de altura | Arduino: <https://arduproject.es/ms5611-modulo-presion-atmosferica-arduino/>
- AreaDron. (18 de mayo de 2022). *Conoce las partes de un dron*. Obtenido de <https://www.aredron.com/partes-de-un-dron/#:~:text=Sensores%20de%20velocidad%3A%20Son%20capaces,quando%20este%20est%C3%A1%20en%20movimiento.>
- Barria y Villarroel. (2021). Uso de drones en el manejo de riego en praderas. *INIA*, 1-4.
- BlueBird Aero Systms. (11 de abril de 2024). *DirecIndustry*. Obtenido de <https://www.directindustry.es/prod/bluebird-aero-systems/product-61783-1311559.html>
- CarrerasdMidron. (22 de enero de 2018). Obtenido de <https://www.midronedecarreras.com/tutoriales/emisoras-y-transmisor-rc/>
- CEUPE. (10 de abril de 2024). *QGIS ¿Qué es y qué ventajas tiene?* Obtenido de <https://www.ceupe.com/blog/qgis.html>

- Chartuni et. al. (2006). INTRODUCCIÓN A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN. En *Agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable* (págs. 13-22). Montevideo, Uruguay: PROCISUR.
- Cienfuegos, C. (24 de abril de 2024). *Detección de obstáculos en drones: Guía rápida*. Obtenido de <https://www.dronesbaratosya.com/deteccion-de-obstaculos-en-drones-guia-rapida/#:~:text=Los%20sensores%20infrarrojos%20detectan%20obst%C3%A1culos,que%20se%20refleja%20en%20ellos>.
- DJI. (21 de Junio de 2023). *DJI*. Obtenido de <https://www.dji.com/mx/t30/specs>
- DJI. (21 de Junio de 2023). *DJI*. Obtenido de <https://www.dji.com/mx/t20/specs>
- DJI. (21 de Junio de 2023). *DJI*. Obtenido de <https://www.dji.com/mx/t10/specs>
- DJI. (22 de febrero de 2024). Obtenido de <https://www.dji.com/mx/spreading-wings-s900>
- DJI. (22 de febrero de 2024). Obtenido de <https://www-v1.dji.com/mx/spreading-wings-s1000.html>
- DJI. (24 de febrero de 2024). Obtenido de <https://geospectral.com.mx/products/kit-agras-t40>
- DJI. (24 de febrero de 2024). Obtenido de <https://www.dji.com/mx/t40>
- DJI. (19 de abril de 2024). Obtenido de DJI: <https://www.dji.com/t40>
- DJI. (25 de mayo de 2024). Obtenido de DJI STORE: <https://www.dji.com/mx/search?q=propellers>
- DJI. (30 de mayo de 2024). *DJI*. Obtenido de <https://www.dji.com/mx/support/product/mavic-2-enterprise>
- DJI. (19 de abril de 2024). *DJI Store*. Obtenido de <https://store.dji.com/product/phantom-4-pro-gimbal-camera>
- DJI. (19 de abril de 2024). *DJI STORE*. Obtenido de <https://store.dji.com/product/mavic-air-2-intelligent-flight-battery?vid=90894>
- DroneDeploy. (09 de abril de 2024). *Desbloquea el poder de la captura de la realidad*. Obtenido de <https://www.dronedeploy.com/z-old-pricing-v3.html#industry-agriculture>
- Droning. (19 de octubre de 2014). Obtenido de <https://droningpage.wordpress.com/2014/10/19/que-partes-componen-un-drone-multirotor/>

- eBeeAg. (24 de Octubre de 2023). *eBee Ag*. Obtenido de eBee Ag:
<https://ageagle.com/drones/ebee-ag/>
- El vuelo del Drone. (11 de abril de 2024). *El vuelo del Drone*. Obtenido de
<https://elvuelodeldrone.com/drones-profesionales/drones-industriales/drone-de-ala-fija-delair-ux11/>
- Electronic Components . (07 de diciembre de 2021). *Electronic Components* .
 Obtenido de <https://www.tme.eu/es/news/library-articles/page/44796/tipos-de-baterias-bateria-li-ion-bateria-de-ni-mh-bateria-de-li-po/>
- Escuela de Pilotos. (11 de abril de 2024). *Drones de Ala fija*. Obtenido de
<https://casarrubiosonline.com/wp/drones-de-ala-fija/>
- ESPHOME. (25 de mayo de 2024). *ESPHome Store*. Obtenido de
<https://esphome.io/components/sensor/ms5611.html>
- Fernandez, M. (27 de septiembre de 2022). *El Español*. Obtenido de OMICRONO:
https://www.elespanol.com/omicrono/tecnologia/20220927/verdadero-motivo-importante-no-usar-movil-avion/706429474_0.html
- FUNDACION MAPFRE. (23 de abril de 2024). Obtenido de FUNDACION MAPFRE:
<https://www.fundacionmapfre.org/publicaciones/diccionario-mapfre-seguros/zonas-especiales-de-conservacion-zec/>
- FUNDACION MAPFRE. (23 de abril de 2024). *FUNDACION MAPFRE*. Obtenido de
<https://www.fundacionmapfre.org/publicaciones/diccionario-mapfre-seguros/zonas-de-especial-proteccion-para-las-aves-zepa/#:~:text=Son%20los%20espacios%20del%20territorio,de%20presencia%20regular%20en%20Espa%C3%B1a.>
- Garcia, G. (15 de Febrero de 2021). *The Food Tech*. Obtenido de Uso de drones en la agricultura: Beneficios para el campo: <https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/uso-de-drones-en-la-agricultura-beneficios-para-el-campo/#:~:text=Los%20beneficios%20del%20uso%20de,Contaminaci%C3%B3n%20del%20equipo>
- Garcia, J. R. (27 de mayo de 2024). Licencia DJI. (D. M. Moncada, Entrevistador)
- Gómez, D. G. (2019). Agricultura de precisión y uso de cámaras fotográficas. *Instituto de Ciencia, Tecnología e innovación*, 6-9.
- González, H. E. (13 de agosto de 2023). Proyecto cultivo de Nopal en General Cepeda. Coahuila. México. (J. R. Garcia, Entrevistador)
- Guirola et al. (2018). *Detección de estrés nutricional con cámaras multiespectrales*. Santa Clara, Cuba: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Facultad

de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Automática y Sistemas Computacionales.

- HDDrones. (09 de abril de 2024). *Open Drone Map: procesamiento de levantamiento fotogramétrico en la nube*. Obtenido de <https://huescadrones.es/hddrones/open-drone-map-procesamiento-de-levantamiento-fotogrametrico-en-la-nube/>
- Heimdall. (25 de noviembre de 2022). *DIY DRONES*. Obtenido de DIY DRONES: <https://diydrones.com/profiles/blogs/grasshopper-low-cost-ndvi-camera?context=tag-drone>
- HelixNorth. (09 de abril de 2024). *OpenDroneMap, software de proceso fotogramétrico Gratis y open source*. Obtenido de <https://www.helixnorth.com/blog/opendronemap-software-de-proceso-fotogrametrico-gratis-y-open-source>
- I+D ELECTRONICS. (17 de abril de 2024). *I+D ELECTRONICS*. Obtenido de Modulo GPS NEO8M con antena: <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/gps/neo-8m-detail>
- IAEROCOL. (17 de mayo de 2024). *Instituto Educativo Aeronautico de Colombia*. Obtenido de <https://iaerocol.co/blog/multas-por-uso-indebido-de-drones/>
- IBM. (25 de abril de 2024). *¿Qué es LiDAR?* Obtenido de [https://www.ibm.com/mx-es/topics/lidar#:~:text=LiDAR%20\(del%20ingl%C3%A9s%20%E2%80%9Clight%20detection,un%20entorno%2C%20en%20tiempo%20real](https://www.ibm.com/mx-es/topics/lidar#:~:text=LiDAR%20(del%20ingl%C3%A9s%20%E2%80%9Clight%20detection,un%20entorno%2C%20en%20tiempo%20real).
- IDC. (22 de febrero de 2024). Obtenido de IBEROAMERICAN DRON CONFERENCE: <https://idc.apddrones.com/drones/drones-multirotor-vs-ala-fija/>
- IDC. (23 de abril de 2024). Obtenido de <https://idc.apddrones.com/noticias/baterias-de-drones/>
- Isaac. (15 de abril de 2024). *Hardwarelibre*. Obtenido de <https://www.hwlibre.com/motor-brushless/>
- Jiménez, P. C. (2017). Desarrollo de una plataforma para adquisición de imágenes basada en dron y cámara térmica con aplicación en agricultura. *Trabajo fin de Máster*, 14-20.
- Latam, U. (8 de abril de 2024). *UAV Latam AERONAVES NO TRIPULADAS*. Obtenido de <https://uavlatam.com/pix4d-que-es-para-que-sirve-ejemplos/>
- lightware. (25 de abril de 2024). *MOUSERELECTRONICS*. Obtenido de <https://www.mouser.mx/new/lightware-lidar/lightware-lidar-sf23b-sensor/>

- Llamas, L. (16 de abril de 2024). *MURKY ROBOT*. Obtenido de BRÚJULA MAGNÉTICA CON ARDUINO: <https://www.murkyrobot.com/guias/sensores/brujula-magnetica>
- M. E. León-Rodríguez, et al. (2023). Drones en la agricultura 4.0. *Ingeniería Solidaria*, 1-27.
- marketify.mx. (15 de abril de 2024). *marketify.mx*. Obtenido de <https://www.marketify.mx/products/venom-3s-4900mah-11-1v-lipo-drone-bateria-para-sensefly-ebec-plus-y-ebec-sq>
- Martinez, D. F. (23 de marzo de 2021). *danipaco*. Obtenido de <https://www.danipaco.es/blog/volar-drones-por-encima-de-120-metros/>
- Massimi, M. (25 de abril de 2024). *Murky Robot*. Obtenido de <https://www.murkyrobot.com/guias/sensores/fc-51-sensor-de-distancia-infrarrojo>
- Morales, A. (9 de abril de 2024). *MappingGis*. Obtenido de <https://mappinggis.com/2019/08/opendronemap-crea-mapas-con-imagenes-capturadas-por-drones/>
- Namesny, A. (28 de Octubre de 2023). *Tecnología Hortícola*. Obtenido de Tecnología Hortícola: <https://www.tecnologiahorticola.com/drones-agricultura-tecnologia/#:~:text=Tipos%20de%20c%C3%A1maras&text=Las%20c%C3%A1maras%20utilizadas%20en%20drones,y%20NIR%2C%20y%20C%C3%A1maras%20Multiespectrales>.
- NAYLAMP MECHATRONICS. (16 de abril de 2024). *TUTORIAL MPU6050, ACELERÓMETRO Y GIROSCOPIO*. Obtenido de https://naylampmechatronics.com/blog/45_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html
- Ocón, R. (15 de abril de 2021). *DRONEGURU*. Obtenido de Tecnología y prestaciones superiores en el DJI AIR 2S: https://www.droneguru.es/nuevo-dron_dji_air-2s/
- Olivera, A. V. (2017). El Mundo de los Drones. *CIENCIORAMA*, 1-5.
- Pino V., E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *IDESIA*, 75-84.
- PIX4D. (1 de junio de 2021). *10 años de Pix4D: una celebración y un nuevo logo*. Obtenido de <https://www.pix4d.com/es/blog/aniversario-pix4d/>
- PROMETEC. (19 de abril de 2024). Obtenido de Lo que hay que saber para elegir los ESCs para un cuadricóptero: <https://www.prometec.net/esc-para-drones/>

- Puerto Rico Drone Academy. (09 de abril de 2024). *Revolucionando la Seguridad: Explorando las Funcionalidades y Beneficios de DroneDeploy*. Obtenido de <https://www.droneacademypr.com/blog/revolucionando-la-seguridad-explorando-las-funcionalidades-y-beneficios-de-dronedeploy>
- Ramírez, H. E. (13 de agosto de 2023). Proyecto cultivo de Nopal en General Cepeda. Coahuila. México. . (J. R. García, Entrevistador)
- RANTEC. (19 de abril de 2024). *RANTEC*. Obtenido de <https://rantec.mx/tienda/f450-chasis-frame-cuadricoptero-dron-quadcopter-dji/>
- RCDrone. (25 de abril de 2024). Obtenido de <https://rcdrone.top/es/products/rear-obstacle-avoidance-radar-for-jiyi-k-v2-flight-controller-agriculture-drone>
- RCDRONE. (25 de mayo de 2024). *RCDRONE*. Obtenido de <https://rcdrone.top/es/products/matek-f405-vtol-flight-controller>
- RCDRONE. (25 de mayo de 2024). *RCDRONE*. Obtenido de <https://rcdrone.top/es/products/matek-systems-gnss-m10q-5883-u-blox-m10-gps>
- Robot, E. (25 de mayo de 2024). *Tienda de electronica avanzada*. Obtenido de <https://robot.com.ve/product/motor-drone-brushless-sin-escobillas-a2212-1000kv/>
- Sánchez Mejía, L. E. (2017). *Diseño y programación de software para la automatización de drones utilizando la plataforma arduino*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- SHOPTRONICA. (25 de abril de 2024). *Que es? Baterias LiPo, Li-po, Litio*. Obtenido de <https://www.shoptronica.com/curiosidades-tutoriales-y-gadgets/1128-que-es-las-baterias-lipo-litio-0689593937322.html>
- SITEP. (02 de abril de 2024). *SITEP*. Obtenido de <https://sitep.com/que-tipo-de-dron-escojo-ala-fija-multicoptero-o-helicoptero/>
- Smith, G. M. (14 de marzo de 2023). *DEWESoft*. Obtenido de ¿Qué es un sensor y qué hace?: <https://dewesoft.com/es/blog/que-es-un-sensor>
- Sonia. (11 de Marzo de 2019). *EL VUELO DEL DRONE*. Obtenido de <https://elvuelodeldrone.com/blog-de-drones/drones-en-la-agricultura-como-funcionan/#:~:text=Existen%20dos%20tipos%20de%20drones,menor%20tam a%C3%B1o%20o%20m%C3%A1s%20abrupto.>
- SPEEDYBEE. (2023). SpeedyBee F405 Fixed Wing Flight Controller User Manual. 1-18.
- StickerHillStore. (17 de mayo de 2024). *Etsy*. Obtenido de <https://www.etsy.com/listing/1495252345/drone-id-sticker-set-with-4x-labels>

- Systems, D. A. (25 de Junio de 2023). *AeroExpo*. Obtenido de <https://www.aeroexpo.online/es/prod/danish-aviation-systems/product-181406-34979.html>
- Tajadura, R. d. (2017). USO DE DRONES EN LA INSPECCIÓN PARA LA REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO. *Universidad de Burgos*, 77-82.
- Taller Topografico Quintero. (24 de febrero de 2024). *Taller Topografico Quintero*. Obtenido de <https://ttqqueretaro.com/tienda/product/drone-wingtra-one/>
- TECMUNDO. (24 de octubre de 2023). *TECMUNDO*. Obtenido de <https://www.tecmundo.com/blog/noticias-soluciones-tecnologicas-1/que-drone-para-agricultura-deberia-comprar-14>
- TecnoPlanet. (15 de abril de 2024). *TecnoPlanet*. Obtenido de <https://tecnoplanet.mx/par-de-helices-propelas-de-bajo-ruido-para-dji-mavic-2-parte-13.html>
- TIENDAELECTRONICA.MX. (21 de abril de 2024). *Drones-Radiocontroladores y receptores*. Obtenido de <https://tiendadeelectronica.mx/>
- Toribio, G. (06 de junio de 2019). *CursosGIS.com*. Obtenido de <https://www.cursosgis.com/vas-aprender-curso-qgis-grass/>
- Trojan, J. (2010). *QGIS*. Obtenido de QGIS es un software SIG principal en el Laboratorio de Geografía Experimental y Aplicada: https://www.qgis.org/es/site/about/case_studies/czech_brno.html
- UMILES. (23 de agosto de 2023). Obtenido de <https://umilesgroup.com/gps-drones/#:~:text=Navegaci%C3%B3n%20precisa%3A%20El%20GPS%20permite,de%20la%20fotogrametr%C3%ADa%20con%20drones.>
- UMILES. (19 de Junio de 2023). *UMILES*. Obtenido de ¿Qué es y cómo funciona una Cámara Multiespectral?: <https://umilesgroup.com/camara-multiespectral/>
- UMILES. (09 de mayo de 2023). *UMILES*. Obtenido de <https://umilesgroup.com/dron-ala-fija/>
- UMILES. (6 de marzo de 2023). *UMILES*. Obtenido de ¿Cuáles son las partes de un Dron? Listado completo: <https://umilesgroup.com/partes-de-un-dron/>
- Wingtra. (28 de noviembre de 2021). *Lectura larga: Revisión de WingtraOne vs. eBee X*. Obtenido de <https://wingtra.com/es/comparacion-mejores-drones-para-fotogrametria-wingtraone/ebee-x-vs-dron-wingtra/>
- Wingtra. (28 de Octubre de 2023). *Wingtra*. Obtenido de <https://wingtra.com/es/aplicaciones-cartograficas-drones/uso-de-drones-agricolas/>

Wong, J. (25 de abril de 2023). *BijingUltrasonic*. Obtenido de <https://www.bjultrasonic.com/es/what-is-an-ultrasonic-sensor/>

XAG. (25 de Junio de 2023). *XAG*. Obtenido de <https://www.xa.com/en/p40/p40specs>

Kharuf-Gutierrez, Samy, Hernandez-Santana, Luis, Orozco-Morales, Ruben, Aday Diaz, Osmany de la C., & Delgado Mora, Irenaldo. (2018). Analisis de imagenes multiespectrales adquirirdas con vehiculos aereos no tripulados. RIELAC, 79-91.