



**UNIVERSIDAD TECNICA DE BABAHOYO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA,**  
**PESCA Y VETERINARIA**  
**CARRERA DE AGRONOMIA**



**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Componente práctico del examen de carácter Complexivo, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo a la obtención del título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**TEMA:**

Impacto del uso de los drones para realizar aspersiones en plantaciones de maíz (*Zea mays*)

**AUTOR:**

Juan José Vera Acosta

**TUTOR:**

Ing. Agr. Emilio Ramírez Castro MSc.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2022

## RESUMEN

La agricultura de precisión se originó como un conjunto de prácticas utilizadas por los agricultores para gestionar la fertilización de los cultivos utilizando la tecnología de los drones para reducir el uso excesivo de productos foliares, ahorrando así dinero y reduciendo el daño medioambiental. Es por ello, que la presente investigación ofrece un enfoque del impacto del uso de los drones en la aspersión sobre los cultivos de maíz, se examinaron publicaciones científicas, académicas, libros y tesis. Por consiguiente, es conveniente resaltar que los drones pueden volar a distancias cortas desde el suelo, permiten la detección rápida y transferencia de información al usuario, dado que la recolección de los datos es necesario para calcular la tasa variable de fertilización, esta información se obtiene principalmente a través de mapas de rendimiento, mapeo de suelo y sensores móviles. Por lo tanto, en síntesis, utilizar los drones para el control de los cultivos de maíz es demasiado útil, ya que pueden adquirir imágenes de alta resolución en diferentes bandas de ondas. Las imágenes multiespectrales o de canal RGB pueden convertirse en índices de vegetación como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Vegetación de Rango Dinámico Amplio (WDRI). Estos índices pueden distinguir eficazmente las plantas vivas del suelo, lo que es fundamental para determinar el espaciado de las plantas al principio de la temporada. En la actualidad existen varios tipos de índices multiespectrales, los cuales pueden ayudar a captar la variabilidad de los cultivos respecto a las contribuciones de nitrógeno y el rendimiento.

**Palabras claves:** maíz, agricultura de precisión, pulverización, sostenibilidad, rendimiento.

## **SUMMARY**

Precision agriculture originated as a set of practices used by farmers to manage crop fertilization using drone technology to reduce the excessive use of foliar products, thus saving money and reducing environmental damage. That is why, the present research offers an approach to the impact of the use of drones in spraying on corn crops, scientific, academic publications, books and theses were examined. Therefore, it is convenient to highlight that drones can fly at short distances from the ground, allow rapid detection and transfer of information to the user, since the collection of data is necessary to calculate the variable rate of fertilization, this information is obtained mainly through yield maps, soil mapping and mobile sensors. Therefore, in summary, using drones for corn crop monitoring is too useful, as they can acquire high-resolution images in different wavebands. The multispectral or RGB channel images can be converted into vegetation indices such as Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Wide Dynamic Range Vegetation Index (WDRI). These indices can effectively distinguish living plants from the ground, which is critical for determining early season plant spacing. Several types of multispectral indices are now available, which can help capture crop variability with respect to nitrogen contributions and yield.

Key words: corn, precision agriculture, spraying, sustainability, yield.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	II
<b>SUMMARY</b> .....	III
<b>I. CONTEXTUALIZACIÓN</b> .....	1
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	3
1.4. OBJETIVOS .....	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL .....	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
1.5. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN .....	5
<b>II. DESARROLLO</b> .....	6
2.1. MARCO CONCEPTUAL .....	6
2.1.1. Maíz (Zea mays).....	6
2.1.2. Estructura y composición del maíz.....	6
2.1.3. Plantación .....	7
2.1.4. Gestión del campo después de la siembra .....	9
2.1.5. Requisitos de fertilizantes.....	9
2.1.6. La agricultura de precisión .....	10
2.1.7. Drones en la agricultura.....	11
2.1.8. Drones para la agricultura de precisión .....	13
2.1.9. Beneficios del uso de drones en la agricultura .....	15
2.1.10. Avances en la aplicación de productos foliares con dron en cultivos de maíz          16	
2.2. MARCO METODOLÓGICO.....	20
2.3. RESULTADOS.....	21
2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	22
<b>III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	24
3.1. CONCLUSIONES .....	24
3.2. RECOMENDACIONES.....	25
<b>IV. REFERENCIAS Y ANEXOS</b> .....	26
4.1. REFERENCIAS BILIOGRÁFICAS .....	26
4.2. ANEXOS .....	31

# I. CONTEXTUALIZACIÓN

## 1.1. INTRODUCCIÓN

La agricultura es la principal fuente de alimentos del mundo y se encuentra en desafío a grandes retos debido a la creciente demanda de alimentos, las preocupaciones medioambientales y la seguridad alimentaria, así como a las exigencias de conservación y uso sostenible de los recursos hídricos (Friha et al. 2021). Además, el creciente uso de fertilizantes y plaguicidas, combinado con la intensificación de las actividades agrícolas, podría provocar futuros problemas medioambientales; dado que la tierra cultivable es limitada y el número de agricultores en todo el mundo está disminuyendo, estos retos refuerzan la necesidad de soluciones innovadoras y sostenibles para la agricultura (Rejeb et al. 2022).

Los países desarrollados han empezado a utilizar los drones también llamados vehículos aéreos no tripulados (UAV) en la agricultura de precisión, la teledetección y fotogrametría. Los drones suelen estar equipados con cámaras y sensores para vigilar los cultivos, y pulverizadores para aplicar los pesticidas, lo cuales son muy rápidos y pueden reducir la carga de trabajo de los agricultores (Mogili y Deepak 2018).

Por consiguiente, el maíz (*Zea mays*) es uno de los cultivos más extendidos en el mundo, y la producción de maíz aumenta a medida que crece la población mundial (Wang et al. 2022). En consecuencia, es urgente mejorar la mecanización de la aplicación de plaguicidas para sustituir los pulverizadores eléctricos de mochila (EKS). En la actualidad, los drones son empleados para la protección de cultivos y tienen mayor velocidad de funcionamiento, menor consumo de agua, mayor aplicación de plaguicidas y es más seguro (Mogili y Deepak 2018).

## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La agricultura de precisión mejora la gestión agrícola en todo el mundo, la popularización de los vehículos aéreos no tripulados (UAV) ha hecho que estas aeronaves sean más asequibles y fáciles de usar, proporcionando información con alta resolución espacial y temporal. Esta tecnología emergente está asociada al desarrollo, recopilación y análisis de datos que, a su vez, conducen a la aplicación de soluciones adecuadas para los cultivos (Furukawa et al. 2020).

En la actualidad, se requiere que la protección de los cultivos siga los principios de la gestión integrada de plagas, por lo que el momento y la exactitud de cualquier aplicación de un plaguicida o bioplaguicida deben ser más precisos para minimizar los efectos adversos en las especies no objetivo. El desarrollo de los vehículos aéreos no tripulados (UAV) proporciona un medio para proporcionar una aplicación más específica de la dosis correcta, especialmente mediante el uso de formulaciones que son más persistentes, minimizando así la pérdida de la pulverización en las zonas sujetas a la lluvia (Carvalho et al. 2020).

La demanda de maíz aumenta a medida que se incrementa el consumo, en los últimos años, los factores de estrés abiótico, como las condiciones meteorológicas extremas, la temperatura y los cambios climáticos, se evidencian como los principales obstáculos para la producción de cultivos, la cual puede mejorarse introduciendo prácticas agrícolas adecuadas para aumentar la resistencia de los cultivos a las tensiones ambientales (Hussain et al. 2022).

El uso de dosis demasiado bajas en las aspersiones ocasiona una mayor supervivencia de los enemigos naturales y reduce la presión de selección para que las plagas se vuelvan resistentes a modos de acción específicos, por lo tanto, existe una necesidad urgente de seleccionar métodos de aplicación eficientes de agroquímicos para una mejor deposición por aspersion (Wang et al. 2022).

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

El propósito de este proyecto es explorar el uso de drones en la agricultura, los cuales presentan oportunidades y retos únicos. La aplicación más común es como plataforma de teledetección para la evaluación y el seguimiento de los cultivos, pero existen aplicaciones emergentes en la agricultura que incluyen la distribución precisa de agentes de control químico y biológico. Para lo cual se pretende ofrecer una visión general del uso de drones específicamente en los métodos utilizados para las aspersiones en los cultivos de maíz.

En comparación con el cultivo tradicional del maíz desde el suelo, los drones ofrecen una forma innovadora de gestionar el riego, controlar el estado de los nutrientes, cartografiar las malas hierbas y predecir los rendimientos, con el apoyo de la tecnología de precisión y del sistema de información sobre la gestión de la agricultura, los agricultores pueden mejorar la eficiencia de la mano de obra, reducir los costes laborales y de recursos.

Los drones ofrecen a los agricultores un mayor acceso a la información en tiempo real sobre los campos de maíz en cuestión de horas, proporcionando una supervisión digital completa de los campos y una gestión inteligente. Los agricultores se liberan de la carga que supone el complejo procesamiento de datos y la intrincada planificación de las tareas agrícolas, esta es la mayor ventaja de los sistemas de producción agrícola basados en drones.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Analizar el impacto del uso de los drones en las aspersiones sobre plantaciones de maíz (*Zea mays*)

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Describir los avances en el uso de los drones como herramienta para una agricultura de precisión.
- Explicar el desempeño de la aplicación de productos foliares mediante dron en el cultivo de maíz (*Zea mays*).

## 1.5. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Dentro las líneas de investigación que aborda la carrera de Agronomía de la Universidad Técnica de Babahoyo, el estudio se desarrolla en la sublínea que comprende el campo de la Agricultura sostenible y sustentable. Es por ello que en relación con la sostenibilidad agrícola que describe las prácticas de los agricultores y las políticas públicas que evitan la degradación del medio ambiente, apoyan los medios de vida de los agricultores, y aumentan la producción agrícola para una población mundial creciente.

La agricultura de precisión se define como un conjunto de prácticas agrícolas para lograr la sostenibilidad de la agricultura y ha evolucionado gracias a los avances en el muestreo del suelo, la estadística y la informática, y la teledetección que han revelado la relación entre la variabilidad del suelo, el rendimiento de los cultivos.

Por consiguiente, estos avances que promueve la formación con drones y el uso de la biotecnología son de gran utilidad para evitar daños en los cultivos, como resultado del rápido desarrollo tecnológico, de la creciente integración con la mecanización agrícola y la inteligencia agrícola, los drones están empezando a desempeñar gradualmente un papel cada vez más importante en la gestión y el seguimiento de los cultivos.

Debe señalarse que las aplicaciones de drones en los cultivos de maíz son varias como la detección del estrés hídrico, la cartografía de las malas hierbas, el seguimiento del estado de los nutrientes, y la predicción del rendimiento. Además, las técnicas de gestión de datos de los drones proporcionan datos de flujo de trabajo estandarizados para los agricultores de maíz, lo que permite analizar los puntos fuertes y débiles en el cultivo del maíz.

## II. DESARROLLO

### 2.1. MARCO CONCEPTUAL

#### 2.1.1. Maíz (*Zea mays*)

El maíz (*Zea mays L.*) de la familia de las *Poáceas*, las zonas de origen se encuentran en América Central, especialmente en México, y en el Caribe. A partir de aquí, el maíz se extendió primero a América del Norte y del Sur y luego a Europa y otras partes del mundo, sigue siendo uno de los cultivos de cereales más importantes y extendidos geográficamente. Se cultiva desde los 58° de latitud norte en Canadá y Rusia, en toda la zona tropical, hasta los 42° de latitud sur en Nueva Zelanda y el continente sudamericano (Muimba-Kankolongo 2018).

#### 2.1.2. Estructura y composición del maíz

Según (Singh et al. 2019) los granos de maíz se componen de endospermo (82%-83%), germen (10%-11%), pericarpio (5%-6%) y ápice (0,8%-1,0%). El pericarpio es la capa exterior y se caracteriza por un alto contenido en fibra bruta, compuesta principalmente por hemicelulosa, celulosa y lignina. La hemicelulosa está presente en la mayor concentración de fibra bruta. El grosor del pericarpio varía en las distintas variedades de maíz y se extiende hasta la base del grano, que se une al sombrero.

El pericarpio y el capuchón sólo llevan una pequeña proporción de la grasa total de los granos. El endospermo está formado por un gran número de células, cada una con gránulos de almidón incrustados en una matriz proteica continua. Las paredes celulares están compuestas por polisacáridos no amiláceos ( $\beta$ -glucano y arabinoxilano), proteínas y ácidos fenólicos. El endospermo es rico en almidón y proteínas. Los granos de maíz tienen dos tipos de endospermo: el polvoriento y el córneo (Singh et al. 2019).

El endospermo polvoriento contiene granos de almidón poco compactados que rodean la hendidura central, mientras que el endospermo córneo tiene granos

de almidón más pequeños y densamente compactados en la periferia. Los granos de diferentes variedades de maíz pueden tener un contenido de grasa de hasta el 5,91% (Thakur et al. 2015).

Sin embargo, el contenido de grasa bruta del endospermo es relativamente baja cerca del 1 %. Los lípidos del endospermo contienen más ácidos grasos saturados que la grasa del germen (Singh et al. 2019) En cuanto, el germen está conformado por el embrión, que es el órgano vivo del grano, y el escutelo, que nutre al embrión, se caracteriza por su alto contenido en grasa y proteínas, alrededor de un 33% y un 18% y bajo contenido de almidón del 8 % (Singh et al. 2013).

### **2.1.3. Plantación**

#### **Momento de la plantación**

(Muimba-Kankolongo 2018) señala que el maíz se planta entre octubre y principios de enero, dependiendo de cuándo empiecen las lluvias, es durante esta temporada que, para evitar un rendimiento reducido debido a la siembra tardía, siempre se aconseja plantar variedades adecuadas para la temporada de lluvias en una zona determinada, es importante resaltar que la siembra temprana tiene una serie de ventajas, entre ellas:

- ✓ mayor rendimiento debido al aprovechamiento de los nutrientes del suelo;
- ✓ mayor estabilidad del maíz;
- ✓ sombreado más temprano del suelo por el follaje de las plantas, reduciendo la evaporación del suelo y evitando grandes cantidades de malas hierbas;
- ✓ un período de polinización suficiente, evitando la sequía de mitad de temporada;
- ✓ más luz solar durante el periodo de maduración del grano.

## **Espacios entre hileras**

Se debe considerar que la separación entre hileras debe ser de unos 75-90 cm entre hileras y de 20-30 cm por hilera para conseguir una población de plantas de 44.400-55.500 plantas/ha, dependiendo de la madurez de la variedad. En la mayoría de las explotaciones pequeñas, los patrones de plantación no siempre cumplen estas normas en la mayoría de las explotaciones pequeñas, y es habitual una densidad de plantas muy alta (Muimba-Kankolongo 2018).

## **Número de semillas por estación**

De esta manera (Muimba-Kankolongo 2018) indica que si el suelo está suficientemente húmedo al principio del periodo de cultivo, la uniformidad de la brotación depende de:

- ✓ el tratamiento de las semillas, fundamentalmente contra los patógenos transmitidos por el suelo;
- ✓ calidad de las semillas (viabilidad y pureza);
- ✓ el método de siembra correcto (profundidad y espaciado de las plantas);
- ✓ porcentaje de siembra correcto por bolsa.

Los métodos de siembra suelen variar en función de los recursos financieros del agricultor, la superficie a sembrar y la disponibilidad de mano de obra en el momento de la siembra. Los agricultores pueden utilizar uno de los siguientes métodos de cultivo:

- ✓ Propagar las semillas directamente en el suelo y luego arar;
- ✓ Siembra de semillas en el surco detrás del arado, seguido de la labranza;

- ✓ Excavar con una azada para abrir el agujero de la semilla y luego cubrirlo.

Para la siembra se puede emplear un total de aproximadamente 18-20 kg de semillas/ha, por consiguiente, los pequeños agricultores suelen trasplantar el maíz sembrando dos o tres semillas por saco para asegurarse de que aparezcan suficientes plantas en la hectárea para compensar la falta de plántulas. Unas 4 semanas después de la germinación, las plantas sobrantes se las retira para que sólo quede una planta en cada bolsa. Habitualmente, el maíz se planta a una profundidad de 3-5 cm., dado que si es demasiado profunda provocará una mala germinación, y si es demasiado superficial, puede hacer que las semillas sean recogidas por los pájaros o arrastradas por la lluvia (Muimba-Kankolongo 2018).

#### **2.1.4. Gestión del campo después de la siembra**

El maíz es un cultivo que requiere mucho abono y es sensible a las malas hierbas. Por lo cual la siembra debe realizarse después de la preparación del suelo, dado que si no se controla apropiadamente las malas hierbas pueden producirse grandes pérdidas en el cultivo del maíz (Muimba-Kankolongo 2018).

#### **2.1.5. Requisitos de fertilizantes**

Dadas las condiciones del suelo en algunas partes del mundo, el maíz no puede cultivarse sin añadir nutrientes al suelo. Las plantas suelen responder bien a los fertilizantes, siempre que otros factores de crecimiento, como la materia orgánica, sean suficientes para mejorar las propiedades físicas y la capacidad de retención de agua del suelo. Algunos agricultores utilizan semillas de variedades mejoradas, que sólo alcanzan su alto potencial de rendimiento si se les suministra suficientes nutrientes (Katinila et al. 1998).

El maíz tiene una gran necesidad de nitrógeno (N), que suele ser el nutriente limitante la absorción es lenta en el primer mes después de la siembra, pero alcanza un máximo durante la formación de la espiga y la brotación. Se deben aplicar grandes cantidades de nitrógeno en tres áreas, la primera aplicación se realiza en el momento de la plantación, la segunda cuando la planta

alcanza una altura de unos 50 cm y la tercera cuando se ensila (Muimba-Kankolongo 2018).

Es conveniente enfatizar que (Katinila et al. 1998) informaron que en el sur de Tanzania los fertilizantes más adecuados para el maíz son urea, nitrato amónico cálcico o sulfato amonio. No obstante, cuando el contenido de humedad es fiable, el uso de fertilizantes inorgánicos suele dar lugar a un mayor rendimiento económico. Por el contrario, en las zonas de precipitaciones moderadas a escasas y en las zonas costeras, la respuesta del maíz a los fertilizantes dependía en gran medida de una humedad adecuada del suelo, unos 20 kg de N/ha y 20 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha proporcionaron un excelente rendimiento.

#### **2.1.6. La agricultura de precisión**

La agricultura se enfrenta a grandes retos económicos en aspectos de productividad, la gradual escasez de mano de obra y eficiencia de costes, que se debe en parte a la despoblación rural. Estos desafíos globales incluyen el crecimiento de la población, la urbanización, el cambio climático, el cambio de los patrones alimentarios debido al envejecimiento de la población y la migración (Gnip et al. 2008).

Además, la detección fiable, la identificación precisa y la cuantificación adecuada de patógenos y otros factores que afectan a la salud de las plantas y los animales son cruciales para mantener bajo control, reducir los costes económicos, las interrupciones del comercio e incluso los riesgos para la salud. Por lo tanto, es necesario crear una agricultura más avanzada, especializada en métodos de producción, tecnologías y herramientas derivadas de los avances científicos y actividades de desarrollo (Daponte et al. 2019).

La agricultura de precisión y la medición ya se han instaurado como paradigmas para aumentar la productividad y calidad de la agricultura, así como optimizar las condiciones de trabajo. Todos estos factores desempeñan un papel importante en la sostenibilidad de la agricultura. Además, muchos de los agricultores actuales ya utilizan soluciones de alta tecnología, como equipos

agrícolas controlados digitalmente y vehículos aéreos no tripulados (UAV) para la vigilancia y la previsión (Reinecke y Prinsloo 2017, Daponte et al. 2019).

Los drones están disponibles a precios accesibles y son capaces de recoger datos sobre el terreno, por ende, esto ayuda a los usuarios a obtener una imagen nítida y precisa de la información terrestre. Los drones equipados con cámaras multiespectrales y RGB, ofrecen la ventaja de que pueden parte del infrarrojo cercano del espectro electromagnético sobre los cultivos, y así evaluar la salud de los cultivos (Reinecke y Prinsloo 2017).

### **2.1.7. Drones en la agricultura**

Los drones o vehículos aéreos no tripulados (UAV), han sido utilizados por los militares para la vigilancia remota desde la primera guerra mundial. En la última década, los agricultores han empezado a utilizarlos para controlar sus campos e impulsar los programas de agricultura de precisión, dado a su facilidad de uso y la posibilidad de especializar cada sistema hacen que haya un dron para cada entorno (Stehr 2015).

Los drones son muy versátiles, ya que pueden vigilar los campos con más frecuencia, tomar imágenes más exactas y no se ven obstaculizados por las nubes a diferencia de los satélites. Existen diferentes tipos de cámaras para los drones que pueden rastrear datos como los índices de fotosíntesis o determinar dónde se encuentran las manchas de maleza en el campo. A medida que la tecnología mejore y los costes sigan bajando, los drones se utilizarán cada vez más en la agricultura moderna (Poonia 2017).

El implemento de uso de los drones se está ampliando en el área industrial, logística y transporte, seguridad, entre otros. Sin embargo, la agricultura es considerada una de las áreas más relevantes, donde se requieren varias opciones con múltiples funciones para hacer frente a los diversos retos a los que se enfrentan los agricultores para mejorar el rendimiento de los cultivos (Poonia y Singh 2012). A continuación, se puntualizan las distintas ventajas relevantes de su uso en la agricultura (Puri et al. 2017):

- **Análisis de las explotaciones:** los drones son equipos fiables de alta gama y puede ser utilizado por los agricultores para comprobar el estado de la explotación al principio de ciclo agrícola. Los drones crean mapas 3D para el análisis del suelo y del campo, que pueden utilizarse para arar la semilla, regar y gestionar los niveles de nitrógeno en los campos para mejorar crecimiento de los cultivos.
- **Optimización del tiempo:** los agricultores que laboran extensas hectáreas les resulta difícil llegar a todos los rincones del campo e inspeccionarlos. Por esta razón los drones hacen este trabajo sin muchas complicaciones, ya que los agricultores pueden realizar observación aérea del campo para conocer el estado de la cosecha de forma regular.
- **Incrementar el rendimiento de los cultivos:** la aplicación precisa de plaguicidas, pesticidas, fertilizantes y agua, supervisado por drones, aumenta el rendimiento de los cultivos garantizando la calidad del cultivo.
- **Integración del mapeo GIS:** esta tecnología ha demostrado su valor en toda agricultura para la gestión de los recursos, el aumento de los rendimientos de los cultivos, la gestión de los costes de producción y la mejora en la gestión de las explotaciones. Al integrar el mapeo con los drones, los agricultores pueden dibujar los límites del campo para obtener un patrón de vuelo preciso.
- **Visualización del estado de los cultivos:** los drones pueden emplearse para controlar la salud de los cultivos mediante sensores infrarrojos, NVDI (índice de vegetación de diferencia normalizada) y multiespectrales, con la finalidad que los agricultores conozcan el estado de salud de las plantas, las tasas de transpiración y índices de absorción de la luz solar, entre otros.

### **2.1.8. Drones para la agricultura de precisión**

A continuación, se detallan los drones más destacados en el área de la agricultura de precisión.

#### **AgDrone de Honeycomb**

El sistema de drones agrícolas AgDrone de Honeycomb se considera el más dron agrícola más avanzado, que rodea 600-800 acres de campos cada hora a una altura de 400 pies. Las alas del dron están hechas de Kevlar compuesto de fibra, el mismo material que se utiliza para hacer chalecos antibalas. El dron es resistente a todas las condiciones, lo que lo hace duradero y versátil para la agricultura (Puri et al. 2017).

#### **DJI Matrice 300 RTK**

Este modelo cuenta con el nuevo OcuSync Enterprise que permite distancias de transmisión de hasta 15 km y admite vídeo 1080p con tres canales. La conmutación automática en tiempo real entre 2,4 GHz y 5,8 GHz garantiza un vuelo más fiable en entornos con muchas interferencias, mientras que el cifrado AES-256 asegura la transmisión de datos. El diseño mejorado del fuselaje y del sistema de propulsión garantiza un vuelo más eficiente y estable, incluso en condiciones difíciles y además posee tiempo de funcionamiento de 55 minutos (DJI 2022).

#### **Agras MG-1 - DJI**

Es el octocóptero indicado para rociar extensas superficies con pesticidas, insecticidas o fertilizantes. Este dron es portátil y puede transportar hasta 10 kg de carga líquida y cubrir un área de 4000-6000 m<sup>2</sup> en tan sólo 10 minutos. Está compuesto por una carcasa totalmente cerrada y consta de un eficiente sistema de refrigeración centrífugo integrado que suministra aire a cada parte del vehículo del dron durante el vuelo. Cuenta 4 boquillas que permiten la pulverización

precisa de fertilizantes en el campo y tiene tres modos de vuelo: inteligente, manual plus y manual según dependiendo de las especificaciones del campo (Puri et al. 2017).

### **EBEE SQ- SenseFly**

Es un dron de alto rendimiento para la agricultura, para el seguimiento de los cultivos desde la semilla hasta la cosecha. Este dron está totalmente integrado, es muy preciso y cuenta con un sensor multiespectral que puede adquirir datos en cuatro bandas invisibles, así como imágenes RGB en un solo vuelo. Este dron proporciona mayor cobertura que otros drones cuadricópteros y tiene una planificación automática de vuelo en 3D. Es compatible con Software Pix4dmapper AG para crear mapas NVDI de campos de cultivo e identificar las áreas problemáticas durante el vuelo (SenseFly 2009, Puri et al. 2017).

### **Lancaster 5 Precision Hawk**

Es uno de los drones autónomos diseñado específicamente para la agricultura y la vigilancia del medio ambiente posee la capacidad de optimizar el plan de vuelo, así mismo para recoger datos a través de la integración de sistemas inteligentes de control de vuelo, el dron se adapta a carga útil y las condiciones ambientales impredecibles para obtener la mejor para obtener los mejores datos posibles durante las operaciones de vuelo (PrecisionHawk 2016, Puri et al. 2017).

Consta de un enchufe, una toma de corriente y sensores como los de humedad y temperatura, presión y la luz para facilitar al usuario más datos en función de la aplicación. Como el dron es compatible con el código abierto tecnología, ofrece a los investigadores la oportunidad de escribir su propio código del sensor propio (PrecisionHawk 2016, Puri et al. 2017).

### **SOLO Agco Edition**

El dron es totalmente autónomo y proporciona mapas aéreos mejores y de mayor resolución para el seguimiento eficaz de las condiciones del campo. Utiliza un sistema intuitivo planificación de misiones y software de cartografía de alta resolución basado en la nube para aumentar la eficiencia del vuelo. El dron utiliza el sistema de imágenes Agribotix y Software de análisis para la agricultura de precisión. Es reconocido como una herramienta muy eficaz para una óptima gestión agrícola (AGCO 2015, Puri et al. 2017).

### **2.1.9. Beneficios del uso de drones en la agricultura**

**Seguridad:** los drones de fumigación agrícola son manipulados a distancia, esto ayuda a la integridad de los agricultores o trabajadores no estén expuestos al contacto directo con productos químicos y condiciones desfavorables (Pathak et al. 2020).

**Alta productividad y eficiencia del trabajo de campo:** dependiendo de la capacidad del dron, se pueden pulverizar entre 50 y 100 hectáreas al día, lo que supone 30 veces más que con un pulverizador de mochila convencional (Pathak et al. 2020). Además, estos equipos ayudan a los agricultores a aprovechar los insumos como semillas, fertilizantes y agua, y actuar inmediatamente a la presencia de plagas, malas hierbas y hongos, así como reducir el tiempo de inventario, mejorar la aplicación en tiempo real de las tasas variables y estimar los rendimientos del campo (Debangshi 2021).

**Disminución de residuos:** el alto grado de pulverización ahorra un 30% de pesticidas. Los plaguicidas en forma de niebla química pueden rociarse en todos los niveles de cultivo. La alta resolución de los datos de los drones puede utilizarse para evaluar la fertilidad de los cultivos, lo que permite a los agricultores aplicar los fertilizantes con mayor precisión, reducir las pérdidas y planificar los sistemas de riego (Pathak et al. 2020, Debangshi 2021).

**Ahorro de agua:** el dron utiliza una tecnología ultra bajo volumen de pulverización de que permite ahorrar un 90% de agua en comparación con los métodos de pulverización convencionales (Pathak et al. 2020).

**Menor coste:** en comparación con los métodos de pulverización convencionales, el coste de la pulverización con el dron es un 97% menor. Los resultados se consiguen en poco tiempo, estimado de 3-4 semanas, lo que permite un tratamiento rápido (Pathak et al. 2020).

**Facilidad de funcionamiento y mantenimiento:** los drones agrícolas tienen un diseño robusto con un bajo coste de mantenimiento, a su vez una fácil sustitución o adaptación de piezas (Pathak et al. 2020).

#### **2.1.10. Avances en la aplicación de productos foliares con dron en cultivos de maíz**

En la investigación de (Yongjun et al. 2017), se basó en determinar la relación entre los parámetros operativos y la eficacia de la pulverización. Se manejó un dron con seis rotores a distintas velocidades y alturas para evidenciar el efecto de la pulverización de plaguicidas sobre el maíz en diferentes fases de crecimiento. Por lo cual, se determinaron diferentes niveles de vegetación y coeficientes de penetración, con la finalidad de analizar el efecto del funcionamiento del dron en la tasa de deposición de gotas.

Los coeficientes de penetración de las gotas se manejaron como indicadores para evaluar y seleccionar los parámetros de funcionamiento de drones para el maíz en diferentes etapas de crecimiento. Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de todos los modelos fueron superiores a 0,90 y los errores relativos medios estuvieron dentro del 20%, lo que confirma una gran precisión en la predicción de los índices de penetración de las gotas (Yongjun et al. 2017).

(Kaniska et al. 2022) utilizaron un dron para la aplicación inteligente de nutrientes para los cultivos, y llevaron a cabo nueve tratamientos con 3 repeticiones, los tratamientos incluyeron NPK 19:19:19 junto con micronutrientes líquidos, ácido húmico y maíz TNAU máxima en dos intervalos. Estos nutrientes se aplicaron en forma de pulverización foliar con drones a batería y a gasolina y

se compararon con la pulverización manual. Se observaron datos biométricos como la altura de la planta, el área foliar, la materia seca y parámetros de rendimiento como el rendimiento de tallo y granos en las fases críticas de crecimiento del cultivo.

La aplicación foliar de nutrientes mediante drones tuvo un efecto significativo sobre el crecimiento y el rendimiento de las plantas de maíz. El TNAU Maize maxim aplicado mediante dron con un motor de combustible, boquilla T7 y con una pulverización de 30 l/ac tuvo el mayor rendimiento biométrico, asimismo como la altura de la planta de 261,2 cm y 270,32 cm, el LAI de 4,14 y 5,15 y la DMP de 12354 kg/ha y 18564 kg/ha en 60 DAS y 90 DAS respectivamente, se registró con la pulverización con drones. Esto también dio lugar a rendimientos de grano y tallo de 7195 kg/ha y 10942 kg/ha, respectivamente, en comparación con la pulverización manual (Kaniska et al. 2022).

Por otra parte, en el estudio de (Maresma et al. 2016) examinaron diferentes índices de vegetación con la finalidad de establecer el requerimiento de fertilizantes nitrogenados y predecir el rendimiento del grano. Por lo cual emplearon siete dosis distintas de nitrógeno inorgánico (0, 100, 150, 200, 250, 300, 400 kg-N-ha<sup>-1</sup>), dos dosis diferentes de estiércol de cerdo (150 o 250 kg-N-ha<sup>-1</sup>) y cuatro combinaciones de nitrógeno inorgánico y orgánico (N100/150, N100/250, N200/150, N200/250) a las parcelas experimentales de maíz.

El índice espectral WDRVI manifestó de una manera eficiente el rendimiento final del grano del tratamiento con nitrógeno, y se identificó un indicio relevante de 250-300 kg-N ha<sup>-1</sup>. El WDRVI, el NDVI y la altura de la planta no manifestaron una respuesta significativa al fertilizante nitrogenado adicional en la dosis de fertilizante económicamente óptima (239,8 kg-N-ha<sup>-1</sup>) con la que se obtuvo un rendimiento de grano de 16,12 Mg-ha<sup>-1</sup>. Por consiguiente, señala su potencial como predictor del rendimiento en la fase V12 (Maresma et al. 2016).

Cabe considerar en la investigación de (Corti et al. 2018) que el maíz (*Zea mays L.*) es el principal cultivo del valle del Po, en el norte de Italia, con una producción media de 11 y 50 t ha<sup>-1</sup> de maíz en grano y para ensilado. La gran parte de la superficie de maíz se clasificó como en riesgo de lixiviación de nitratos (Acutis et al. 2014), por lo que la aplicación de nitrógeno del ganado se limita a 170 kg de N ha<sup>-1</sup> por año<sup>-1</sup>, mientras que la legislación restringe la cantidad máxima de N que puede aplicarse anualmente al maíz es de 280 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Por lo tanto, la aplicación y monitorización de los cultivos mediante el uso de drones con alta resolución espacial y temporal, es necesaria con la finalidad de mapear la variabilidad de los cultivos asociada al suministro de N. Es fundamental para apoyar la aplicación de fertilizantes en un sitio específico y optimizar la distribución de fertilizantes, tanto en términos de cantidad y ubicación (Corti et al. 2018).

Este tipo de control es fundamentalmente interesante porque la aplicación de fertilizantes para la infra y sobrefertilización del maíz tiene lugar en un estrecho margen de tiempo, entre V6 y V9 (Ritchie et al. 1993). El periodo de tiempo relativamente corto sugiere el uso de herramientas de vigilancia basadas en drones en lugar de satélites (Corti et al. 2018).

En relación con este tema, para la vigilancia del maíz con drones, una revisión de la literatura mostró que se realizaron varios experimentos en los que se utilizó el comportamiento de una cámara de bajo coste para estimación de las variables del maíz medidas en el campo. Varios autores concuerdan en que los índices de vegetación basados en bandas verdes son los mejores predictores de las variables estudiadas relacionadas con el N (Osborne et al. 2007, Sakamoto et al. 2011, Rorie et al. 2011).

En la investigación de (Arroyo et al. 2017) se presenta un modelo para estimar el contenido de nitrógeno en los cultivos de maíz (*Zea mays*), basándose en información de las cámaras multiespectrales en bandas rojo, verde, azul e infrarrojo cercano (808 nm). En la fase de formación, constó con tres niveles diferentes de fertilización (70, 140 y 210 kg- N- ha<sup>-1</sup>), y tres repeticiones en dos fases de crecimiento (V10 y formación de la espiga).

Se manejó drones tipo cuadricóptero, los cuales vuelan a 70 metros por encima de las plantas. Los resultados evidenciaron que el modelo random forest puede estimar el contenido de nitrógeno con una precisión del 80% utilizando tecnología cámaras multiespectrales y drones. Por ende, se puede optimizar la aplicación de fertilizantes uniformemente a los cultivos, centrándose en las zonas en las que falta nitrógeno, para evitar el despilfarro y reducir el impacto medioambiental. El productor tiene poder de toma de decisiones para fertilizar su cultivo en zonas específicas y no de manera homogénea como tradicionalmente se aplica, bajando costos para el producto (Arroyo et al. 2017).

## **2.2. MARCO METODOLÓGICO**

De acuerdo con las características del proyecto, se estableció metódicamente dentro de esta metodología investigaciones académicas, libros, artículos científicos. En los últimos años, la agricultura de precisión ha avanzado de manera incommensurable, sobre todo en el aspecto de la vigilancia y sistemas de aplicaciones de productos foliares en los cultivos, dado que no sólo para aumentar la productividad sino también para satisfacer la demanda de una población creciente.

El control preciso de los campos a gran escala es un gran desafío, por ende, la finalidad de esta revisión bibliográfica fue explorar los avances del uso de drones en la agricultura de precisión, lo que conllevó a un enfoque preciso del análisis del desempeño de las aspersiones de productos foliares sobre las plantaciones de maíz.

### **2.3.RESULTADOS**

Desde una perspectiva general, la agricultura tiene que ser eficiente y optimizada, en respuesta a las elevadas exigencias de calidad de los alimentos por el incremento poblacional, de tal modo surge la agricultura de precisión, la cual apoya el proceso agrícola con sensores, automatización y tecnología innovadora, tal como es el implemento de los drones. El desarrollo y el rápido incremento de los drones en los últimos años en la teledetección, ha proporcionado datos con una espacialidad sin precedentes, resolución espectral y temporal.

El uso de drones es muy útil y eficaz para la pulverización de productos foliares, sustituyendo los métodos tradicionales, que requieren mucha mano de obra, dado que la mayoría de las actividades son llevadas a cabo a pie, por lo cual desde el suelo es difícil cubrir todo el campo, especialmente en la temporada cuando el maíz está por encima de la estatura de los trabajadores, por tal motivo se imposibilita inspeccionar todo el campo a pie.

Notablemente los campos agrícolas de cultivos de maíz son cada vez más extensos y por ende se necesita controlar más hectáreas, sin embargo, al implementar un dron, se puede supervisar, controlar, inspeccionar y programar los riegos y pulverizaciones en el campo cada semana durante toda la temporada de crecimiento.

Por consiguiente, es conveniente enfatizar que mediante el análisis de los datos almacenados por los drones se pueden tomar medidas oportunas en los cultivos de maíz, tal como prevenir las pérdidas derivadas de factores de estrés bióticos, como enfermedades y plagas, optimizar el riego y la fertilización, también disminuir el impacto del cambio climático.

## 2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La pulverización de productos químicos para contrarrestar las plagas y enfermedades, plantas no deseadas, como las malas hierbas, es crucial para la salud de los cultivos hoy en día. Para agilizar la pulverización, los drones pueden llevar contenedores de tamaño adecuado que pueden llenarse con pesticidas herbicidas, fertilizantes, reguladores del crecimiento de las plantas, etc.

Así como indica (Pathak et al. 2020) que la mayor parte del tiempo la pulverización manual es una tarea muy difícil, debido a la altura de las plantas, por lo que la actualidad, los agricultores tecnifican sus campos e implementan el uso de drones para la pulverización, disminuyendo de tal manera la exposición del contacto humano con los productos químicos nocivos para la salud.

Los drones tienen muchas características novedosas como un menor consumo de agua, mayor velocidad de trabajo, una mayor tasa de deposición de plaguicidas, incluyendo la tasa de cobertura de las gotas, la densidad, la uniformidad de la distribución, y son más seguros para las explotaciones agrícolas que los pulverizadores manuales. Además (Wang et al. 2022) manifiestan que la distribución de las gotas en los drones está influenciada por la altura y velocidad de vuelo, el volumen de pulverización, la dosis y los adyuvantes.

Los drones proporcionan una aplicación más específica de las dosis para los cultivos de maíz, lo que reduce la pérdida de pulverización, y, a su vez, evitando el uso de dosis altas, lo cual puede ayudar a que las plagas se vuelvan resistentes a modos de acción específicos. Cabe resaltar que (Debangshi 2021) indica que el rendimiento del pulverizador es cinco veces más rápido que el de las, por ende, la pulverización de un campo de 1 ha se realiza en menos de 40 minutos, de tal manera, se ahorra un 30% de pesticidas.

De acuerdo a (Kaniska et al. 2022) la aplicación de fertilizantes NPK ha sido durante mucho tiempo uno de los métodos más eficaces en el cultivo de

maíz para incrementar el rendimiento y la calidad de los nutrientes. Por consiguiente, es cada vez más importante la aplicación de nutrientes a través de la pulverización foliar con drones en las etapas críticas de crecimiento, dado que se ha evidenciado en varios estudios su eficiencia y mejora de la producción de los cultivos de maíz.

No obstante, (Maresma et al. 2016) indica que los agricultores suelen decidir las tasas de aplicación de N en función de la absorción de N esperada por los cultivos de maíz. Por lo contrario, no suelen tener en cuenta el posible efecto de tener altos niveles de N en el suelo antes de la siembra, condiciones que son comunes en muchas zonas de cultivo. Por lo que la sobrefertilización no aumenta el rendimiento del grano, sino que, se desaprovecha el fertilizante, aumenta los costes y puede ocasionar contaminación por nitrato.

Debido a este inconveniente los agricultores, técnicos de campo y científicos agrícolas han buscado la manera de estudiar cómo mejorar la eficiencia del N, evitar la contaminación del agua y del suelo asociada a la producción de maíz. Por lo tanto, los drones pueden ser utilizados para rociar cualquier tipo de fertilizantes y nutrientes a través de la pulverización foliar para cultivos de maíz.

### **III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **3.1. CONCLUSIONES**

- Se describió el avance de los drones y se constató mediante la revisión bibliográfica que son de mucha utilidad en la agricultura, dado que sirven para la supervisión y aplicación de fertilizantes, herbicidas, pesticidas entre otros productos que requieran los cultivos. Además, pueden recolectar datos sobre el rendimiento de las cosechas, la salud de las plantaciones, la calidad del suelo, la evaluación de los nutrientes, los patrones meteorológicos y las precipitaciones, controlar las enfermedades y plagas.
- Se afirmó a través de la recopilación de investigaciones que el uso de drones con alta resolución espacial y temporal, en el cultivo de maíz, es eficaz para la protección, aplicación de fertilizantes y nutrientes, lo cual ayuda a captar la variabilidad de los cultivos referente a los aportes de nitrógeno y el rendimiento. Es por ello, que es muy importante tener un registro mediante imágenes aéreas multiespectrales para obtener una información más detallada y completa de los cultivos.
- Los cultivos de maíz generalmente se siembran a una distancia entre hileras de 80 cm y una distancia entre plantas de 20 cm, cuando la altura de la planta supera los 2 m, la aplicación de agroquímicos para el control de plagas se vuelve muy complicada debido a su desarrollo fenotípico. Incluso fertilizando, la fumigación de estos productos con drones puede ser muy útil en áreas agronómicas.

### **3.2. RECOMENDACIONES**

- Es necesario continuar profundizando el uso de drones dado que pueden proporcionar una cartografía precisa del campo, incluida la información sobre la altura, en los cultivos de maíz, con la finalidad de ayudar a los agricultores en la toma de decisiones para poder optimizar e incrementar el rendimiento e identificar las irregularidades en el campo. La información sobre la elevación del terreno es útil para determinar los patrones de drenaje y las zonas húmedas o secas, lo que permite un riego más eficaz.
- Se recomienda la participación de responsables gubernamentales del área de la agricultura que ejecuten programas donde impliquen a todos los agricultores en el desarrollo tecnológico y socio-ético para crear un sistema equitativo, justo y estable para la innovación en el campo. Teniendo esto en cuenta, la creación de un equipo bien formado de pilotos y analistas de drones es clave para aprovechar esta tecnología y su valor.
- Se debe optimizar las pruebas de sostenibilidad para minimizar los impactos sobre la salud y el bienestar del ecosistema, porque la mejora de las medidas de sostenibilidad puede aportar beneficios económicos adicionales, permitiendo a los profesionales de la agricultura orientar sus recursos y esfuerzos de forma más eficiente.
- El uso de drones de fumigación aérea para el control de plagas y enfermedades de los cultivos de maíz, especialmente cuando los cultivos superan los 2 m de altura por su crecimiento, ya que presenta ventajas tanto en la aplicación como en el efecto de control.

## IV. REFERENCIAS Y ANEXOS

### 4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acutis, M; Alfieri, L; Giussani, A; Provolo, G; Di Guardo, A; Colombini, S; Bertoncini, G; Castelnuovo, M; Sali, G; Moschini, M; Sanna, M; Perego, A; Carozzi, M; Chiodini, M; Fumagalli, M. 2014. ValorE: An integrated and GIS-based decision support system for livestock manure management in the Lombardy region (northern Italy). *Land Use Policy* 41:149-162. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2014.05.007>.

AGCO. 2015. SOLO AGCO EDITION UAV (en línea). . Disponible en [https://www.pages05.net/agco/SOLO\\_UAV/contact/](https://www.pages05.net/agco/SOLO_UAV/contact/).

Arroyo, JA; Gomez-Castaneda, C; Ruiz, E; De Cote, EM; Gaviz, F; Sucar, LE. 2017. UAV technology and machine learning techniques applied to the yield improvement in precision agriculture. 2017 IEEE Mexican Humanitarian Technology Conference, MHTC 2017 2017-May:137-143. DOI: <https://doi.org/10.1109/MHTC.2017.8006410>.

Carvalho, FK; Chechetto, RG; Mota, AAB; Antuniassi, UR. 2020. Challenges of aircraft and drone spray applications. *Outlooks on Pest Management* 31(2):83-88. DOI: [https://doi.org/10.1564/V31\\_APR\\_07](https://doi.org/10.1564/V31_APR_07).

Corti, M; Cavalli, D; Cabassi, G; Vigoni, A; Degano, L; Marino, P. 2018. Application of a low-cost camera on a UAV to estimate maize nitrogen-related variables (en línea). *Precision Agriculture* 2018 20:4 20(4):675-696. DOI: <https://doi.org/10.1007/S11119-018-9609-Y>.

Daponte, P; De Vito, L; Glielmo, L; Iannelli, L; Liuzza, D; Picariello, F; Silano, G. 2019. A review on the use of drones for precision agriculture (en línea). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 275(1):012022. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/275/1/012022>.

Debangshi, U. 2021. Drones - Applications in Agriculture (en línea). *Chronicle of Bioresource Management* 5(3):115-120. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/355125734\\_Drone\\_-\\_Applications\\_in\\_Agriculture](https://www.researchgate.net/publication/355125734_Drone_-_Applications_in_Agriculture).

DJI. 2022. Matrice 300 RTK (en línea, sitio web). Disponible en [https://www.dji.com/matrice-300?site=brandsite&from=eol\\_matrice100](https://www.dji.com/matrice-300?site=brandsite&from=eol_matrice100).

Friha, O; Ferrag, MA; Shu, L; Maglaras, L; Wang, X. 2021. Internet of Things for the Future of Smart Agriculture: A Comprehensive Survey of Emerging Technologies. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica* 8(4):718-752. DOI: <https://doi.org/10.1109/JAS.2021.1003925>.

Furukawa, F; Maruyama, K; Saito, YK; Kaneko, M. 2020. Corn Height Estimation Using UAV for Yield Prediction and Crop Monitoring (en línea). *Unmanned Aerial Vehicle: Applications in Agriculture and Environment* :51-69. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-27157-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27157-2_5).

Gnip, P; Charvat, K; Krocan, M. 2008. Analysis of external drivers for agriculture. *In World conference on agricultural information and IT, IAALD AFITA WCCA 2008, Tokyo University of Agriculture, Tokyo, Japan, 24 - 27 August, 2008. s.l., Tokyo University of Agriculture. p. 797-801* DOI: <https://doi.org/https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20083298080>.

Hussain, M; Wang, Z; Huang, G; Mo, Y; Kaousar, R; Duan, L; Tan, W. 2022. Comparison of Droplet Deposition, 28-Homobrassinolide Dosage Efficacy and Working Efficiency of the Unmanned Aerial Vehicle and Knapsack Manual Sprayer in the Maize Field (en línea). *Agronomy* 12(2):385. DOI: <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY12020385>.

Kaniska, K; Jagadeeswaran, R; Kumaraperumal, R; Ragunath, KP; Kannan, B; Muthumanickam, D; Pazhanivelan, S. 2022. Impact of Drone Spraying of Nutrients on Growth and Yield of Maize Crop (en línea). *International Journal of Environment and Climate Change* :274-282. DOI: <https://doi.org/10.9734/IJECC/2022/V12I1130972>.

Katinila, N; Verkuil, H; Mwangi, Wilfred; Anandajayasekeram, Ponniah; Moshi, A. 1998. Adoption of Maize Production Technologies in Southern Tanzania (en línea). México, CIMMYT. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/237482635\\_Adoption\\_of\\_Maize\\_Production\\_Technologies\\_in\\_Southern\\_Tanzania](https://www.researchgate.net/publication/237482635_Adoption_of_Maize_Production_Technologies_in_Southern_Tanzania).

Maresma, Á; Ariza, M; Martínez, E; Lloveras, J; Martínez-Casasnovas, JA. 2016.

Analysis of Vegetation Indices to Determine Nitrogen Application and Yield Prediction in Maize (*Zea mays* L.) from a Standard UAV Service (en línea). *Remote Sensing* 2016, Vol. 8, Page 973 8(12):973. DOI: <https://doi.org/10.3390/RS8120973>.

Mogili, UR; Deepak, BBVL. 2018. Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. *Procedia Computer Science* 133:502-509. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2018.07.063>.

Muimba-Kankolongo, A. 2018. *Cereal Production*. s.l., Academic Press. p. 73-121 DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814383-4.00008-6>.

Osborne, SL; Schepers, JS; Schlemmer, MR. 2007. Using Multi-Spectral Imagery To Evaluate Corn Grown Under Nitrogen and Drought Stressed Conditions. <http://dx.doi.org/10.1081/PLN-200030042> 27(11):1917-1929. DOI: <https://doi.org/10.1081/PLN-200030042>.

Pathak, H.; Kumar, G.; Mohapatra, S.; Gaikwad, B.; Rane, J. 2020. Use of Drones in Agriculture: Potentials, Problems and Policy Needs (en línea). India, ICAR-National Institute of Abiotic Stress Management. Disponible en <http://niam.res.in/sites/default/files/pdfs/Use-of-Drone-in-Indian-Agriculture.pdf>.

Poonia, R; Singh, V. 2012. Performance evaluation of radio propagation model for vehicular ad hoc networks using vanetmobisim and NS-2 (en línea). *International Journal of Distributed and Parallel Systems* 3(4). DOI: <https://doi.org/10.5121/ijdps.2012.3415>.

Poonia, RC. 2017. Viability Analysis of TwoRayGround and Nakagami Model for Vehicular Ad-Hoc Networks (en línea). *International Journal of Applied Evolutionary Computation (IJAEC)* 8(2):44-57. DOI: <https://doi.org/10.4018/IJAEC.2017040103>.

PrecisionHawk. 2016. Lancaster 5 (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.precisionhawk.com/blog/media/topic/lancaster-5>.

Puri, V; Nayyar, A; Raja, L. 2017. Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture (en línea). <https://doi.org/10.1080/09720510.2017.1395171> 20(4):507-518. DOI: <https://doi.org/10.1080/09720510.2017.1395171>.

Reinecke, M; Prinsloo, T. 2017. The influence of drone monitoring on crop health and harvest size. *In* 2017 1st International Conference on Next Generation Computing Applications, NextComp 2017. s.l., Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. p. 5-10 DOI: <https://doi.org/10.1109/NEXTCOMP.2017.8016168>.

Rejeb, A; Abdollahi, A; Rejeb, K; Treiblmaier, H. 2022. Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis (en línea). *Computers and Electronics in Agriculture* 198. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2022.107017>.

Ritchie, SW.; Hanway, JJ.; Benson, GO. (1993). *How a corn plant develops*. s.l., s.e.

Rorie, R; Purcell, L; Mozaffari, M; Karcher, D; King, A; Marsh, M; Longer, D. 2011. Association of "Greenness" in Corn with Yield and Leaf Nitrogen Concentration (en línea). *Agronomy Journal* 103(2):529-535. DOI: <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2010.0296>.

Sakamoto, T; Gitelson, AA; Wardlow, BD; Arkebauer, TJ; Verma, SB; Suyker, AE; Shibayama, M. 2011. Application of day and night digital photographs for estimating maize biophysical characteristics. *Precision Agriculture* 2011 13:3 13(3):285-301. DOI: <https://doi.org/10.1007/S11119-011-9246-1>.

SenseFly. 2009. eBee SQ (en línea, sitio web). Disponible en <https://tycgis.com/ebec-sq-sensefly/>.

Singh, N; Kaur, A; Shevkani, K. 2013. Maize: Grain structure, composition, milling, and starch characteristics (en línea). *Maize: Nutrition Dynamics and Novel Uses* :65-76. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-81-322-1623-0\\_5/COVER](https://doi.org/10.1007/978-81-322-1623-0_5/COVER).

Singh, N; Singh, S; Shevkani, K. 2019. *Maize: Composition, Bioactive Constituents, and Unleavened Bread*. s.l., Academic Press. p. 111-121 DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814639-2.00009-5>.

Stehr, NJ. 2015. Drones: The Newest Technology for Precision Agriculture. *Natural Sciences Education* 44(1):89-91. DOI: <https://doi.org/10.4195/NSE2015.04.0772>.

Thakur, S; Kaur, A; Singh, N; Viridi, A. 2015. Successive Reduction Dry Milling of

Normal and Waxy Corn: Grain, Grit, and Flour Properties (en línea). *Journal of Food Science* 80(6):C1144-C1155. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12895>.

Wang, Z; Hussain, M; Huang, G; Yin, J; Guo, Y; Mo, Y; Duan, L; Li, Z; Tan, W. 2022. Better Droplet Deposition and Internode Shortening Effects of Plant Growth Regulator EDAH on Maize Applied by Small Unmanned Aerial Vehicle Than Electric Knapsack Sprayer (en línea). *Agriculture* 12(3):404. DOI: <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE12030404>.

Yongjun, Z; Shenghui, Y; Chunjiang, Z; Liping, C; Lan, Y; Yu, T; J, ZY; H, YS; J, ZC; P, CL; B, LY. 2017. Modelling operation parameters of UAV on spray effects at different growth stages of corns (en línea). *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 10(3):57-66. DOI: <https://doi.org/10.25165/IJABE.V10I3.2578>.

## 4.2. ANEXOS



**Maíz (*Zea mays*)**



**Honeycomb AgDrone System**



**DJI MATRICE 300 RTK**

**Agras MG-1- DJI**



**EBEE SQ- SenseFly**



**Lancaster 5 Precision Hawk**



**SOLO Agco Edition**

