

Drones en la agricultura 4.0

Drones in agriculture 4.0

Drones na agricultura 4.0

Maryuri Elizabeth León Rodríguez¹

Lesly Valentina Galeano Cañón²

Neil Andrés Jiménez Pinzón³

Rafael Ortega Ortega⁴

Ana Lucía Hurtado Mesa⁵

Received: October 17th, 2022

Accepted: January 30th, 2023

Available: May 1st, 2023

How to cite this article:

M. E. León-Rodríguez, L. V. Galeano-Cañón, N. A. Jiménez-Pinzón, R. Ortega-Ortega y A. L. Hurtado-Mesa, "Drones en la agricultura", *Revista Ingeniería Solidaria*, vol. 19, n.º 2, pp. 1-27, 2023.

doi: <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2023.02.05>

Research article. <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2023.02.05>

¹ Estudiante de Ingeniería de Sistemas. Facultad de Ingeniería. Universidad de Cundinamarca, seccional Ubaté.

Email: melizabethleon@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3463-8171>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001942841

² Estudiante de Ingeniería de Sistemas. Facultad de Ingeniería. Universidad de Cundinamarca, seccional Ubaté.

Email: lvalentinagaleano@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0333-4041>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001942884

³ Docente ocasional tiempo completo. Facultad de Ingeniería. Ingeniería de Sistemas. Universidad de Cundinamarca, seccional Ubaté.

Email: nandresjimenez@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7065-7495>

CvLAC: <https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/EnRecursoHumano/inicio.do>

⁴ Docente ocasional tiempo completo. Facultad de ingeniería. Ingeniería de sistemas. Universidad de Cundinamarca, seccional Ubaté.

Email: rortegao@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8646-7565>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000100452

⁵ Docente ocasional tiempo completo. Facultad de Ingeniería. Ingeniería de sistemas. Universidad de Cundinamarca, seccional Ubaté.

Email: alhurtado@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3598-8421>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001341130



Resumen

Introducción: el artículo es producto del proyecto de investigación "Drones en la agricultura 4.0", ligado al grupo de investigación Creinng, subproducto de la investigación de la estación meteorológica, creada como herramienta de prevención y toma de decisiones ante posibles eventos climáticos desarrollado en la Unidad Agroambiental El Tibar de la Universidad de Cundinamarca Seccional Ubaté, Cundinamarca, en 2022.

Problema: identificar las diferentes plagas que afectan los forrajes (cultivos de pastos) en etapas tempranas usando la tecnología de dron, lo cual permite fortalecer el desarrollo de diferentes procesos en especial la agricultura basada en el análisis de imágenes por medio de algoritmos.

Metodología: revisión sobre la agricultura de precisión utilizando drones para sobrevolar el terreno en varios países, todo esto son artículos de investigación que abarcan los procesos de mapeo, procesamiento de imágenes, sacado de páginas oficiales de repositorios de universidades.

Objetivo: evaluar mediante un algoritmo de procesamiento de imágenes el estado de un cultivo de pasto identificando el porcentaje de daño ocasionado por plagas utilizando un dron para su detección; y analizar el comportamiento climático, empleando técnicas de inteligencia artificial, enfocado en la búsqueda de estrategias para la optimización de cultivos agrícolas en la provincia de Ubaté.

Conclusión: el proyecto tiene como finalidad ayudar a campesinos y agricultores, por medio del uso de las nuevas tecnologías, para optimizar algunos procesos y permitir que el tiempo invertido en estas actividades sea utilizado en otras.

Limitación del proyecto: la adquisición de un dron con tecnología de sensores, cámara y colorimetría de las hojas del pasto.

Palabras clave: agricultura de precisión, dron con sensores, forrajes, procesamiento de imágenes, plagas.

Abstract

Introduction: The article is the product of the research project "Drones in agriculture 4.0", linked to the Creinng research group, being a by-product of the research on the weather station, created as a tool for prevention and decision-making in the face of possible climatic events developed in Tibar Agro-environmental Unit of the University of Cundinamarca Seccional Ubaté -Cundinamarca in the year 2022.

Problem: Identify the different pests that affect forage (pasture crops) in early stages using drone technology, allowing to strengthen the development of different processes, especially agriculture based on image analysis through algorithms.

Methodology: Review on precision agriculture using drones to fly over the terrain in several countries, all these are research articles that cover mapping processes, image processing, all taken from official pages of university repositories.

Objective: Evaluate, through an image processing algorithm, the state of a grass crop, identifying the percentage of damage caused by pests using a drone for its detection, analysis of climatic behavior, using artificial intelligence techniques, focused on the search for strategies to the optimization of agricultural crops in the province of Ubaté.

Conclusion: The purpose of the project is to help peasants and farmers, through the use of new technologies, optimizing some processes, allowing the time invested in activities to be used in another.

Limitation of the project: The acquisition of a drone with sensor technology, camera and colorimetry of the grass leaves.

Keywords: Drone with sensors, forages, image processing, pests, precision agriculture.

Resumo

1. Introducción

La investigación inicia con un proceso de revisión bibliográfica en el cual se identifica la tecnología que usan los diferentes drones en agricultura con el fin de seleccionar el dron que cumpla con las características y especificaciones acordes para el desarrollo del proyecto, y se decide usar el dron DJI Spark Fly, con cámara FHD con el cual se realiza un primer reconocimiento del campo y del cultivo de la granja El Tibar de la Universidad de Cundinamarca, seccional Ubaté; proceso que permitió capturar las primeras imágenes con diferentes ángulos y alturas, en las cuales se identificó un alto porcentaje en tres plagas: el chinche, el pulgón y el gusano trozador, las cuales evidencian una amenaza para los cultivos de forraje. Así mismo, es importante continuar con el proceso de captura de imágenes para establecer una base de datos que permita generar un análisis de las mismas, con el fin de identificar detalles y características en los diferentes ciclos del forraje. En las fases posteriores se utilizarán algoritmos para el procesamiento de imágenes para identificar diferentes variables como: área por metro cuadrado del cultivo según su estado (el porcentaje de daño inicial, medio y grave) e indicar el tipo de plaga que está atacando cada área, así el administrador del cultivo puede tomar medidas adecuadas al respecto.

En Colombia, los primeros drones empezaron a volar en 2005, con el propósito de vigilar las bases militares, lo que marcó el punto de partida para una de las flotas más experimentales de América Latina. Este desarrollo fue liderado por el coronel Eliot Benavides, jefe de la dirección de aeronaves remotamente tripuladas de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC). Actualmente existen operativos con drones, que cubren el 45 % del espacio aéreo las 24 horas del día. Esta tecnología ofrece varias ventajas, ya que el costo de una hora de vuelo es 55 % menor en comparación con un avión tradicional, además, por su tamaño los drones pueden acceder a zonas que hasta ahora eran inaccesibles [1].

Cada día los drones presentan más ventajas y beneficios en la agricultura, como el monitoreo de áreas pequeñas, medianas y grandes en tiempos relativamente cortos; el mapeo de suelos; y la aplicación de agroquímicos en la cantidad de dosis adecuada y en el lugar del cultivo apropiado. Por otro lado, está el sistema de control que permite identificar qué tipo de plaga y el porcentaje o nivel de daño del cultivo que ha causado a través del análisis de un conjunto de fotos organizado en una base de datos.

El sistema de control consiste en el procesamiento digital de imágenes basado en un análisis de precisión, en el cual se pueden utilizar diferentes técnicas y algoritmos para mejorar la calidad o identificar cambios a través del tiempo entre todas las imágenes tomadas y organizadas en una base de datos.

1.1 Antecedentes de investigación

En 1896, Samuel P. Langley fabricó los drones o aeronaves a vapor no pilotadas a distancia que fueron usadas con éxito. Su uso inicial fue para fines bélicos y luego civiles. Hacia 1951, y gracias al avance de Firebee en Estados Unidos, se pudo demostrar que un avión no tripulado, podía ser más eficiente que uno tripulado, estos avances fueron importantes hacia los años ochenta [2].

En Colombia, los primeros drones empezaron a volar en 2005 con el propósito de vigilar las bases militares, lo que marcó el punto de partida para una de las flotas más experimentales de América Latina. Este desarrollo fue liderado el coronel Eliot Benavides, jefe de la dirección de aeronaves remotamente tripuladas de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), hoy en día hay operativos con drones, que cubren el 45 % del espacio aéreo las 24 horas del día. Esta tecnología trae numerosas ventajas, ya que el costo de una hora de vuelo es 55 % menor en comparación con un avión tradicional, y por su tamaño, los drones pueden acceder a zonas que hasta ahora eran inaccesibles [1].

Se desarrolló un prototipo de sistema de identificación de plagas, en el que el *software* de procesamiento de imágenes trabaja con ayuda del *software* Matlab. Estas imágenes son capturadas por un dron con cámara espectral de alta definición. Para el procesamiento de imágenes se emplean cuatro técnicas en la etapa de mejoramiento: conversión a escala de grises, segmentación, operaciones morfológicas y etiquetados.

Además, se ha creado un sistema de captura de imágenes que utiliza cámaras distribuidas a una altura determinada en todo el cultivo, las cuales transmiten las imágenes a la central ósea del *software*. De lo anterior, se concluye que es mejor realizar la primera propuesta por su factibilidad [3].

Se trabaja en la georreferenciación, que es un proceso manual consistente en utilizar coordenadas de mapa para determinar una ubicación en el espacio. La capacidad de ubicar de manera exacta es primordial tanto en la representación cartografía como en los sistemas de información geográfica. Este proceso se divide en dos métodos: el primero la georreferenciación orbital, en la que se definen los orígenes de error geométrico conocidos; la ventaja de utilizar este método es que no necesita intervención humana una vez que está funcionando. El segundo es la georreferenciación por puntos de control, que parte de un conjunto de puntos que se encuentran en una imagen y de los cuales se conocen sus coordenadas exactas [4].

Se analizan los diferentes sensores y cámaras multispectrales utilizados para calcular diversos índices de vegetación que indican el estado del cultivo. Además, se emplean escáneres lidar para hacer escaneos en 3D del área requerida., También se muestra cómo se puede determinar la distancia de muestreo del terreno (GSD) y se presentan los diferentes índices vegetales, como el NDVI, para el análisis del desarrollo de los cultivos con sus respectivas ecuaciones.

En este proyecto también se evaluaron varios *software* pueden utilizarse para el procesamiento de imágenes, como el Open Drone Map, el cual es gratuito, pero tiene un límite de almacenamiento de 250 imágenes. Además, se propone una metodología para el levantamiento de imágenes empleando un dron [5].

Se presenta el proyecto sobre el uso de drones en la agricultura de precisión, explicando sus características específicas y por qué son tan utilizados en el sector agrícola. Se describe la metodología empleada, la cual se divide en tres fases: operación, postproceso y aplicación a los cultivos. También se mencionan algunos campos de estudio en los que se pueden utilizar, como para la plantación de palma de aceite, el monitoreo forestal a largo plazo y el seguimiento del ecosistema [6].

La palabra "dron" se asocia muchas veces con el armamento moderno utilizado en conflictos militares, y es cierto que esta tecnología se utiliza para ataques aéreos

dirigidos. Sin embargo, en los últimos años, los drones también se han utilizado en aplicaciones agrícolas. En Alemania, por ejemplo, se usan para proteger a los animales jóvenes de la caza; en Japón, los utilizan para la aplicación de PPP (productos, fitosonarrarios, pesticidas), y Estados Unidos, dada la extensión de las tierras de uso agrícola, los drones capturan imágenes del tamaño de un campo de 20 hectáreas, lo que ayuda a mejorar la calidad de las cosechas. Cabe mencionar que cada uno de estos países tiene normativas específicas que regulan el uso de los drones [7].

La Universidad de Pamplona realizó un proyecto haciendo uso de vehículos aéreos no tripulados para sobrevolar y analizar unos cultivos de papa (*Solanum tuberosum*), su principal objetivo era la detección temprana de problemas; para ello emplearon cámaras RGB (*red, green, blue*) y NIR (cámaras en infrarrojo cercano), para obtener los respectivos ortofotomosaicos y así identificar zonas con mayor o menor actividad fotosintética. Este proyecto tomó como punto de referencia variables como área cubierta, duración de batería, resolución de fotografías, estabilidad, costo, duración de vuelo, impacto del ambiente, preparación remota de la misión, entre otras, para poder establecer qué tipo de dron se adapta mejor al monitoreo del cultivo. Entre los tipos de drones evaluados se encuentran los modelos de ala fija (*fixed wing aircraft*) [8].

Los drones también se pueden utilizar para el levantamiento de terreno por medio de la elaboración de modelos digitales y fotometría. En este proceso se utilizan varias herramientas como la teledetección, que consiste en obtener información a partir de fotografías multispectrales o radar. También se usa la ortofotografía, la cual proporciona una imagen de una zona de la superficie terrestre que muestra los porcentajes de elementos en una escala homogénea; Y, finalmente, el MDT (modelo digital de terreno), que es un conjunto de datos geográficos tridimensionales que representan una superficie compleja, tienen en cuenta el levantamiento topográfico convencional, cuyo objetivo es medir extensiones de tierra recopilando información para poder alimentar un plano [9].

Este proyecto describe cómo ha sido la implementación de la agricultura 4.0 en Colombia. Estas tecnologías se presentaron en el país tarde, sin embargo, en los últimos años se pudieron observar proyectos enfocados en la agricultura digital que ayuda a mejorar las actividades y a aumentar la productividad, esto se pudo llevar a cabo gracias universidades, centros de investigación de productos agrícolas colombianos y empresas públicas y privadas. Los drones también juegan un papel importante en la agricultura de precisión, ya que realizan procesos de teledetección para el manejo de cultivos [10].

Los drones en la agricultura desempeñan un papel importante al proporcionar información cuantitativa para la toma de decisiones en procesos de riego, siembra,

fertilización y cosecha. Dichos procesos pueden ser controlados de manera autónoma, monitorizados, supervisados, preprogramados y controlados remotamente, con lo cual se logra una mayor eficiencia en el uso de recursos naturales que necesita el cultivo. De acuerdo con la comunidad científica, los resultados obtenidos mediante el uso de este tipo de tecnología demuestran un incremento en la precisión de las labores agrícolas, lo que deriva en productos de mayor calidad. Además, la tecnología de uso de drones analiza los factores para optimizar el rendimiento del cultivo [11].

El procesamiento de imágenes ha adquirido un papel importante, ya que se utiliza para descubrir o resaltar información contenida en una imagen mediante el uso de una computadora. A esto se le conoce como procesamiento digital de imágenes (PDI). Esta línea de investigación se basa en dos áreas de aplicación principales. En primer lugar, se pretende mejorar la calidad de la imagen con el fin de que pueda ser interpretada por los seres humanos. En segundo lugar, se utiliza para el procesamiento de datos a través de una máquina de percepción autónoma. El PDI se utiliza en la cartografía automatizada y sistemas de información geográfica (SIG), en la medicina, en las ciencias además de otras aplicaciones que existen [12].

En esta investigación se plantea determinar los estados nutricionales y detectar enfermedades en extensiones donde se cultivan diferentes tipos de cítricos. En este caso, el enfoque es el cultivo de melón, en el municipio de Nules (Castellón de la Plana), perteneciente a la provincia de Castellón. Se utilizan diferentes herramientas como el índice de vegetación, que ayuda a verificar si la planta se encuentra saludable; así como también se usan las imágenes multiespectrales para detectar la presencia de hongos que pueden llegar a destruir el cultivo [13].

En el caso de Estados Unidos, los drones son utilizados por el 84 % de agricultores para gestionar grandes terrenos agrícolas. Para monitorear el cultivo se usan drones semiautónomos, los cuales cuentan con un sistema de medición y posicionamiento gracias a los *waypoints*. Dentro de las funciones más importantes de los drones en la agricultura están el monitoreo de los cultivos, donde se tiene una vista más rápida, detallada y regular del estado del cultivo; y la gestión ganadera, donde se tiene un control en el pastoreo de los animales y límites [14].

Las expectativas para el uso de drones en la agricultura son muy altas, por eso, las empresas que ofrecen servicios en esta tecnología han identificado un gran potencial en el mercado. Sin embargo, es importante que estas empresas cuenten con la experiencia adecuada en la adquisición de imágenes para aplicaciones de teledetección. Por ejemplo, en España, se han observado algunas deficiencias, como desenfoque en las imágenes, huecos, bandedo y falsas formas en la ortofoto. En el procesamiento de datos, también se han encontrado productos mal georreferenciados.

Para mejorar sus servicios, se recomienda a estas empresas que ejerzan una gestión de tiempo adecuada y realicen controles de calidad antes de entregar los resultados al usuario final [15].

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

La presente investigación se realizó en la Unidad Agroambiental El Tibar, que se encuentra ubicada en la vereda Palo Gordo, sector Novilleros, municipio de Ubaté, vía Lenguazaque, a 3,5 km aproximadamente del perímetro urbano. Cuenta con un área de 10,1 fanegadas (6,47 hectáreas); de esta área total, aproximadamente 4 fanegadas son utilizables para la producción bovina, siendo subutilizado una mínima parte en lumbricultura y apicultura, 0,5 fanegadas para la producción ovina, 0,5 fanegadas para sistemas silvopastoriles, 0,4 fanegadas para la producción avícola y próximamente cunícola, 0,3 fanegadas en infraestructura y confinamientos de porcinos, cunícola y cuyes [16].

El objetivo principal del espacio académico es apoyar los procesos y dinámicas de investigación en pro del desarrollo de proyectos (pasantías, trabajos de grado, investigaciones y procesos interinstitucionales) planificados y monitoreados, que permiten la vinculación y participación de la comunidad universitaria al servicio de los programas de Ciencias Agropecuarias, productores, asociaciones, colegios y entidades con intereses académicos e investigativos afines. Con el propósito de que la institución sea reconocida en el desarrollo ambiental, generación de ideas, intercambio de conocimientos y crecimiento en sus sistemas productivos y se construya como entidad líder del sector agropecuario, por sus actividades encaminadas a la investigación e innovación en tecnologías ecológicas, pecuarias y de agricultura sostenible.

2.2. El chinche en Cundinamarca

En la sabana de Bogotá, en 2002 había 288.000 hectáreas de pasto en cada región de los valles de Ubaté y Chiquinquirá. En el 80 % del área se cultivan las gramíneas por su adaptabilidad a el clima frío, es decir, alrededor de 255.000 hectáreas. El 20 % restante está cubierto por pastos raigrás de diferentes clases, los estudios efectuados indicaron que la región más afectada fue la sabana occidente y la menos afectada fue la sabana norte (Chiquinquirá). Los municipios del valle de Ubaté más afectados fueron Facatativá, Zipaquirá, Albán y Tocancipá.

En las zonas húmedas, es común que la población del chinche aumente y su desplazamiento se da de norte a sur y de occidente a oriente; este insecto causa daños al introducir su estile en los tejidos de las hojas para extraer su contenido celular y la clorofila, que utiliza como alimento. Para identificar los daños que causa, basta con observar los puntos blancos en el tercio superior de las hojas. Con el tiempo, esta afectación se extiende y provoca amarillamiento en los bordes foliares y ápices en las hojas, lo que resulta en necrosis y entorchamiento del tercio de la hoja [14].

2.3 Agricultura 4.0

Es el empleo de las tecnologías de la información y la comunicación para lograr un uso es más eficiente y responsable de los recursos en el sector agrícola. Esta nueva forma de agricultura busca aprovechar al máximo los recursos que la tierra proporciona, teniendo un uso más eficiente y responsable de estos, al mismo tiempo que se promueve la sustentabilidad y el cuidado del medio ambiente.

Un uso responsable y eficiente del agua consiste en llevar a cabo técnicas avanzadas de tecnología. Por ejemplo, en Colombia se están utilizando de drones, teledetección, IA (inteligencia artificial) y Big Data [15] para impulsar esta Tercera Revolución Verde,

2.4 Tipos de drones

Un dron es un vehículo aéreo no tripulado, el cual ejerce funciones de forma remota. Es capaz de mantener de manera autónoma un nivel de vuelo controlado y sostenido que puede ser propulsado por un motor de explosión, un motor de reacción o un motor eléctrico [19].

Tabla 1. Tipos de drones

Tipo	Características generales	Ventajas	Desventajas	Campo de aplicación
Dron mapeador	Realiza mapas GPS, cuenta árboles, escanea el estado de las plantas.	Mide la cantidad de luz que recibe, pinta un mapa de colores.	Se limita el área que pueden cubrir para cada carga útil.	Fincas ganaderas, cultivos y granjas.
Dron autónomo	Opera sin necesidad de un piloto remoto de vuelo controlado.	Es capaz de tomar decisiones por su propia cuenta, realiza tareas con efectividad.	Se requiere de una gran inversión, de un personal capacitado para manejarlo.	Reconocimiento de terrenos, análisis de suelo y monitoreo de cultivos,

(continúa)

(viene)

Tipo	Características generales	Ventajas	Desventajas	Campo de aplicación
Dron monitorizado	Puede realizar ciertas cosas de manera autónoma.	Puede adentrarse en áreas contaminadas de humo, fuego, gases y vertidos tóxicos.	Capacidad de vuelo limitada.	Actividades recreativas o de un tiempo no muy prolongado.
Dron impermeable	Modo de aterrizaje seguro, con coordenadas de ubicación exacta.	Se adapta a cualquier tipo de clima.	Son caros.	Ciudades, casa, zonas rurales.
Dron de ala rotatoria	Lleva hélices incorporadas en los extremos de cada brazo.	Permite una gran estabilidad durante el vuelo.	Necesita una zona plana para aterrizar y despegar	Para cualquier tipo de actividad.

Fuente: adaptada de [19].

2.5 Tipos de sensores

Un sensor es un dispositivo que capta magnitudes físicas o químicas y las transforma en variables eléctricas. Estas variables pueden ser temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. [20].

Tabla 2. Tipos de sensores

Tipo	Características generales	Ventajas	Desventajas	Campo de aplicación
CMOS	Consiste en la utilización conjunta de transistores.	Consumo eléctrico muy inferior.	Menor superficie receptora de la luz por píxel.	En las cámaras de los teléfonos móviles.
IMU externos	Dispositivo que mide aceleraciones y velocidades angulares.	Buen rendimiento, resistencia a las vibraciones.	Son afectadas por un error acumulativo.	Medir un campo magnético
GPS externo	Es un sistema que permite localizar cualquier objeto sobre la Tierra.	Obtener información en tiempo real.	Emite ondas radioactivas.	Saber la ubicación exacta en tiempo real de un objeto.
Calidad del aire	Detecta y mide químicos y contaminantes específicos en el aire.	Da un informe sobre el estado del aire.	La falta de estandarización	En ciudades, pueblos o instituciones.
Temperatura	Mide la temperatura mediante una señal eléctrica determinada.	Da a conocer la temperatura tanto del ambiente como del dron.	No lineal baja tensión menos estable, repetible. El menos sensible	En industrias, artefactos o suelos.
Lluvia	Capaz de detectar cuando está lloviendo y activar los limpiaparabrisas.	Permite una mejor visión, debido a que se activa automáticamente.	Tiene señal analógica.	Lugares con probabilidad alta de lluvias.

Fuente: adaptada de [20].

2.6 Tipos de cámaras

Una cámara es una caja oscura que permite el paso de la luz en un tiempo preciso para que las imágenes enfocadas por la lente sean capturadas por un sensor digital o una película. Más o menos complicadas, todas las cámaras tienen los componentes mínimos [21].

Tabla 3. Tipos de cámaras

Tipo	Características generales	Ventajas	Desventajas	Campo de aplicación
Cámara térmica	A partir de las emisiones de infrarrojos.	Permiten al ser humano ver lo que sus ojos no pueden ver.	El alto costo de los equipos, el estudio termográfico.	Medicina y arqueología.
Escáner laser (lídár)	Dispositivo que permite determinar la distancia desde un emisor.	Hablar de tecnología láser es hablar de precisión milimétrica.	Realiza un registro masivo de puntos.	Se usa el para detectar, ovis, radiación.
Multiespectrales	Es la que captura datos de imágenes dentro de rangos de longitud de onda.	Reducción del riesgo humano, menor contaminación, ahorrar tiempo.	Imágenes se distorsionan.	Medicina, agricultura, medio ambiente.
NIR	Imágenes térmicas radiométricas de alta resolución.	Medida de temperatura: puntual, rectángulo, polígono, isoterma, histograma.	Distorsión del enfoque	Hierro y acero.
TIR	Es una técnica que permite medir temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar.	Fusiona una fotografía digital junto con la imagen infrarroja y las fusiona.	Poco factible para espacios demasados amplios, pierde efectividad a mucha distancia.	Focos de humedad en tejados, paredes, suelos, techos.
Cámara RGB	Mide la capacidad de luz dentro del espectro visible en tres colores primarios.	Puede capturar una gama más amplia de tonos de color en sus fotos.	Los colores se desaturan, costoso.	Realizan inspecciones industriales en lugares inaccesibles.
Cámara FPV	El piloto por medio de unas gafas con un <i>display</i> incorporado con conexiones y una cámara integrada en el dron.	Menos ruido en las imágenes, mejor sensibilidad a la luz.	La capacidad para llevar cámaras y lentes de cine muy pesadas.	Carreras de drones, seguimiento de algún objeto.

Fuente: adaptada de [22].

2.7 Tipos de software para drones

El *software* es el soporte lógico al sistema formal de un sistema informático, que contiene el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hace posible realizar tareas específicas [23].

Tabla 4. *Software* usados en drones

Tipo	Características generales	Ventajas	Desventajas	Campo de aplicación
Pix4D	Transforma imágenes en modelos espaciales digitales.	Desarrolladas específicamente para conjuntos de datos.	Pierde efectividad en entornos como: arena, nieve, niebla.	Mapeo agrícola para análisis aéreo de cultivos y agricultura digital.
Open Drone Map	Es un kit de herramientas de código abierto para procesar imágenes capturadas por drones.	Fáciles de usar y ampliables para el procesamiento de imágenes de drones.	Es de pago, se tiene que instalar con programa externo.	Instalación en el <i>software</i> Ubuntu.
Drone Deploy	Procesa las imágenes de los vehículos aéreos no tripulados utilizando la visión por ordenador.	Sirve para realizar planes de vuelo en cualquier dispositivo y automatizar el despegue, vuelo.	Es de pago, solo tiene un cierto número de drones compatibles con el <i>software</i> .	Automatiza el vuelo en avión teledirigido, también facilita la captura de imágenes aéreas.
Sistema de Información Geográfica (QGIS)	Sistema de Información Geográfica de Código Abierto licenciado bajo GNU.	Compatible con todas las plataformas móviles, Windows, Mac, Android, Linux.	Necesita conocimiento básico del programa para entender su funcionamiento.	Proporciona un explorador de archivos espaciales.

Fuente: adaptada de [23].

2.8 Insectos plagas

Son organismos que, al aumentar sus poblaciones de manera descontrolada, pueden llegar a causar daños económicos al cultivo o a los animales al afectar su desarrollo normal y dañan directa e indirectamente a las plantas, al alimentarse de ellas hasta reduciendo la producción [21].

2.8.1 Masticadores

Son aquellos que consumen directamente el follaje y reducen la fuente de energía de la planta.

2.8.2. Chupadores

Estos insertan estructuras especializadas para succionar la savia de las plantas.



Figura 1. Insecto chupador. Fotografía tomada en la finca Naranjitos, municipio de Guachetá.

Fuente: elaboración propia.

2.8.3 Cortadores

Cortan las hojas y las transportan hacia otro lugar para utilizarlas posteriormente.



Figura 2. Insecto cortador. Fotografía tomada en la finca Naranjitos, municipio de Guachetá

Fuente: elaboración propia.

2.8.4. Chinchas

Estos insectos, en sus primeros días de vida, se localizan debajo de la tierra y afectan la raíz del pasto, mientras sus últimos días suben a la superficie de la hoja, utilizando la savia para su alimentación.

2.8.4.1. Chinche de los pastos (*Blissus leucopterus*)



Figura 3. Chinche Blissus. Fotografía tomada en la finca Naranjitos, municipio de Guachetá
Fuente: [24].

2.8.4.2 Chiche de los pastos (*Collaria oleosa* y *C. Columbiensis*)

Estos insectos producen lesiones en raíces y bases de los tallos lo que hace que estos se marchiten, amarillen, desecan el follaje, causan daños en la fisiología, nutrición y desarrollo de la planta, y, en el peor de los casos, la muerte; debido a su alta expansión se percibe un olor desagradable en el pasto y es rechazado por los animales durante el pastoreo.



Figura 4. Chinche collaria. Fotografía tomada en la finca Naranjitos, municipio de Guachetá
Fuente: elaboración propia.

2.9 Proceso de tratamiento de imágenes

El proceso de tratamiento de las imágenes se realiza inicialmente identificando las variables según el *software* de tratamiento de datos, precedido por la planeación de la ruta de vuelo del dron, luego se realiza la captura de la imagen y posteriormente se cargan estas imágenes a los algoritmos de procesamiento de imágenes.

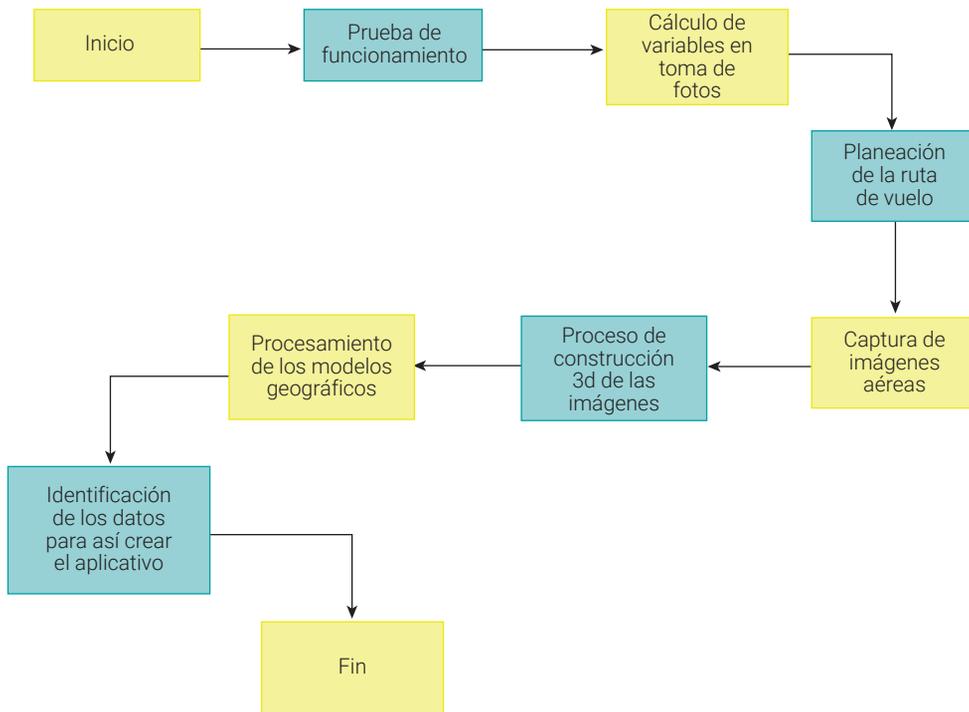


Figura 5. Diagrama de un sistema para la identificación de plagas

Fuente: [3].

2.10 Marco legal

En el marco de la legislación colombiana, se encuentra la Unidad Administrativa de Aeronáutica Civil (UAEAC) o Aerocivil. Esta es la autoridad del espacio aéreo colombiano, líder en los cumplimientos que demanda la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). A continuación, se presentan las bases legales de la regulación para drones actualizada desde el 5 de febrero del 2019, que reemplaza a la circular 002 de 2015, con algunos cambios como los tipos de drones y las diferentes formas de operación en espacio aéreo colombiano.

2.10.1 Circular 002 de 2015

Ninguna persona podrá operar un vehículo no tripulado a menos que este reúna las siguientes condiciones:

Sus hélices o rétores no podrán ser metálicas; debe tener sistema de piloto automático (para poder asistir al operador y facilitar la estabilización), sistema GPS, sistema de lanzamiento y recuperación en condiciones normales, sistema para la seguridad en vuelo, estación de pilotaje a distancia, sistema de radio control de transmisión y recepción de datos o imagen, sistema moto propulsor, instructivos o manuales técnicos y de operación; los colores del exterior del dron deben ser de colores visibles que sean detectables a la distancia, además, debe tener un placar con el nombre de la RPA y datos de contacto por si ocurre algún accidente o violación a la norma [26].

Existen dos categorías: la A, para pequeñas aeronaves con un peso máximo de despegue menor o igual a 25 k, y la categoría B, para grandes aeronaves con un peso máximo de mayor o igual a 25 k. [26].

2.10.2 Código de comercio

En los artículos 1827, 1835 y 1852 se habla sobre las precauciones que se debe tener cuando se presente alguna eventualidad que involucre daños al dron y a un tercero, lo recomendable en estos casos es tener una póliza de seguro que esté vigente. [27].

2.10.3 Ley 1581 de 2012

Artículo 1. Objetivo. La presente ley tiene por objeto desarrollar el derecho constitucional que tienen todas las personas a conocer, actualizar y rectificar las informaciones que se hayan recogido sobre ellas en bases de datos o archivos, y los demás derechos, libertades y garantías constitucionales a que se refiere el artículo 15 de la Constitución Política.

Artículo 2. Ámbito de aplicación. La presente ley aplicará al tratamiento de datos personales efectuado en territorio colombiano o cuando al responsable del tratamiento o encargado del tratamiento no establecido en territorio nacional le sea aplicable la legislación colombiana en virtud de normas y tratados internacionales. El régimen de protección de datos personales que se establece en la presente ley no será de aplicación:

- a) A las bases de datos o archivos mantenidos en un ámbito exclusivamente personal o doméstico.
- b) A las bases de datos y archivos que tengan por finalidad la seguridad y defensa nacional, así como la prevención, detección, monitoreo y control del lavado de activos y el financiamiento del terrorismo.
- c) A las bases de datos que tengan como fin y contengan información de inteligencia y contrainteligencia; 10 En el título III se categorizan por especiales datos

Artículo 5. Datos sensibles. Se entiende por datos sensibles aquellos que afectan la intimidad del titular o que su uso indebido puede generar su discriminación, tales como aquellos que revelen el origen racial o étnico, la orientación política, las convicciones religiosas o filosóficas, la pertenencia a sindicatos, organizaciones sociales, de derechos humanos o que promueva intereses de cualquier partido político o políticos de oposición, así como los datos relativos a la salud, a la vida sexual y los datos biométricos.

Artículo 6°. Tratamiento de datos sensibles. Se prohíbe el tratamiento de datos sensibles, excepto cuando:

- a) El titular haya dado su autorización explícita a dicho tratamiento, salvo en los casos que por ley no sea requerido el otorgamiento de dicha autorización.
- b) El tratamiento sea necesario para salvaguardar el interés vital del titular y este se encuentre física o jurídicamente incapacitado. En estos eventos, los representantes legales deberán otorgar su autorización.

Artículo 10. Casos en que no es necesaria la autorización. La autorización del titular no será necesaria cuando se trate de:

- a) Información requerida por una entidad pública o administrativa en ejercicio de sus funciones legales o por orden judicial.
- b) Datos de naturaleza pública.
- c) Casos de urgencia médica o sanitaria.
- d) Tratamiento de información autorizado por la ley para fines históricos, estadísticos o científicos.

- e) Datos relacionados con el Registro Civil de las Personas.

Artículo 12. Deber de informar al titular.

- a) El tratamiento al cual serán sometidos sus datos personales y la finalidad de este.
- b) El carácter facultativo de la respuesta a las preguntas que le sean hechas, cuando estas versen sobre datos sensibles o sobre los datos de las niñas, niños y adolescentes.
- c) Los derechos que le asisten como titular.
- d) La identificación, dirección física o electrónica y teléfono del responsable del tratamiento [28].

2.10.4 Marco metodológico

En cuanto a la metodología, se está utilizando la *waterfall* (cascada), ya que esta tiene una facilidad de implementación, debido a su secuencia lógica, donde los requisitos de los *stakeholders* (usuarios) se definen al inicio para diseñar un plan de desarrollo, es fácil de administrar, cada fase tiene entregables específicos y un proceso sencillo de revisión, la planificación que tiene este es más clara, además que los clientes no pueden agregar en cualquier momento requisitos haciendo que la producción vaya por buen camino [29], de estas ya se realizó la primera fase de requerimientos donde se evidenció cuáles eran esas características que el cliente, en este caso la unidad agroambiental El Tibar, solicita para el *software* de procesamiento de imágenes, ya que con el que contaban no cumplió con las expectativas, debido a que no almacenaba ni procesaba correctamente los datos recolectados, y hacía un análisis y una proyección errados. Para poder entregar todo de una manera organizada se está utilizando la herramienta Microsoft Project, la cual permite administrar un proyecto dividiéndolo en tareas específicas con unas fechas determinadas.

3. Resultados

Se realizaron diferentes prácticas en dos fincas, la primera se llevó a cabo en la finca Naranjitos, ubicada en la vereda Ticha del municipio de Guachetá, en la tercera semana del mayo de 2022. Se tomaron varias fotografías que evidenciaban la afectación de los diferentes tipos de plagas en los forrajes, con varias afectaciones graves causadas por el chinche.

En la figura 6 se puede observar el pasto en estado saludable.



Figura 6. Pasto sin daños. Fotografía tomada en la finca Naranjitos, municipio de Guachetá

Fuente: elaboración propia.

En las figuras 7 a 12 se muestran fotografías con los daños ocasionados por las tres plagas objeto de estudio.



Figura 7. Pasto con daños leves causado por el chinche. Fotografía tomada en la finca Naranjitos, municipio de Guachetá

Fuente: elaboración propia.



Figura 8. Pasto con daños moderados causado por el chinche, Fotografía tomada en la finca Naranjitos, Municipio de Guachetá
Fuente: elaboración propia.



Figura 9. Pasto con daños graves causado por el chinche, Fotografía tomada en la finca Naranjitos, Municipio de Guachetá
Fuente: elaboración propia.



Figura 10. Pasto con daños leves causado por el chinche, Fotografía tomada en la finca Naranjitos, Municipio de Guachetá
Fuente: elaboración propia.



Figura 11. Pasto con daños moderados causado por el chiche, Fotografía tomada en la finca Naranjitos, Municipio de Guachetá

Fuente: elaboración propia.



Figura 12. Pasto con daños graves causado por el chinche, Fotografía tomada en la finca Naranjitos, municipio de Guachetá

Fuente: elaboración propia.

La segunda práctica realizada en junio de 2022 en la unidad agroambiental El Tibar, perteneciente a la Universidad de Cundinamarca, seccional Ubaté, permitió identificar los diferentes estados en que se encontraban los cultivos de forraje a causa de las plagas, en este caso el chinche, haciendo uso del dron perteneciente a la Universidad de marca DJI Sparkle, sobrevolándolo a una altura de 12 m.



Figura 13. Pasto con afectaciones graves ocasionado por el chinche. Fotografía tomada por un dron en la granja experimental El Tibar, municipio de Ubaté

Fuente: elaboración propia.

4. Discusión y conclusiones

Se puede resaltar que el proyecto se relaciona con tres objetivos de desarrollo sostenible, uno de ellos es el objetivo 11, sobre comunidades y ciudades sostenibles, con el cual se pretende que la granja El Tibar incluya la tecnología para optimizar los procesos y el tiempo que lleva su desarrollo. Por otro lado, para el objetivo 12, sobre producción y consumo responsable, se quiere mejorar los tiempos que toma el desplazamiento y recorrido en el terreno de toma de imágenes y reducir o eliminar el esfuerzo que requiere este trabajo para una persona, dado que lo hará el dron y así el trabajador podrá desarrollar otra actividad. Finalmente, frente al objetivo 15, vida de ecosistemas terrestres, se busca abordar la problemática de los pastos, los cuales pueden afectar a sus consumidores, en este caso el ganado. Si los animales consumen plantas afectadas experimentarán consecuencias negativas, como una disminución en la producción de leche y pérdida de peso a causa de la falta de nutrientes.

En la siguiente fase del proyecto, se usarán algoritmos y programas como Matlab para el análisis y procesamiento de imágenes. Estos cuentan con herramientas para detectar los diferentes factores que componen la imagen, además del debido procedimiento y clasificación por las características determinadas de cada una.

El procesamiento de imágenes es el uso de algoritmos computacionales que toman una imagen como entrada y entregan una imagen como salida, utilizando

diferentes técnicas para poder mejorar el aspecto de esta haciendo relucir varios detalles que a simple vista no se pueden notar [30].

Para realizar este proceso, se deben considerar varios factores como: el contraste, los filtros espaciales, los filtros de suavidad, los filtros de obtención de contornos, las operaciones morfológicas, el espacio de color, segmentación y contorno. Las imágenes son representadas como una matriz $M \times N$ con valores (x, y, z) que son coordenadas espaciales. Z no es la altura si no la tonalidad de grises (valores altos y bajos) [31]. Los histogramas se usan para saber cuáles son los valores de intensidad de los pixeles que estén presentes en una imagen [32]. Existen diferentes tipos de imágenes como las indexadas, niveles de grises, binarias y las RGB (*red, green, blue*). Un programa diseñado para hacer este procesamiento es Matlab, ya que almacena las imágenes como vectores bidimensionales, y cada elemento del vector corresponde a un píxel [33].

Python es un lenguaje de programación de nivel alto que cuenta con librerías que permite leer y escribir imágenes para cualquier proyecto de visión artificial, por medio de un valor determinado para cada pixel con la ayuda de OpenCV y la librería Numpy puede almacenar solo elementos con características similares, lo que hace más eficiente almacenar y manipular una matriz [34].

El proyecto consta de cuatro fases que se basan en el modelo CDIO (concebir, diseñar, implementar y operar), de las cuales ya se ha realizado la primera: concebir el proyecto, la cual está al 100 %, ya que se identificó la problemática, se planteó una solución, se llevó a cabo una investigación en la que se encontraron varios trabajos anteriores en los cuales se evidencian el desarrollo de la agricultura 4.0. De la segunda fase, diseño, se tiene un 75 %, en el cual se ha realizado una interfaz gráfica de cómo se planea diseñar la base de datos final, se han hecho varias pruebas con el dron, sobrevolando y reconociendo el terreno, y en estas se notaron diferentes afectaciones de las plagas. También se recolectaron investigaciones sobre *software* de procesamiento de imágenes y se tienen dos opciones principales: Matlab, porque maneja matrices, permite un análisis más preciso y rápido de la imagen, y Python, porque el lenguaje que este tiene es más fácil de manipular y cuenta con funciones específicas para este.

Para las siguientes fases del proyecto se plantea probar qué tipo de algoritmos especializados se implementan a través de procesamiento de imágenes. Dentro de las opciones están Numpy y Scipy, que se basan en la manipulación básica de arreglos y los pasos para el reconocimiento y medición de variables, la adquisición de imágenes, el procesamiento, la segmentación, la extracción de características y la clasificación [35], [36], [37], [38].

5. Referencias

- [1] J. Tamayo, “Drones, una tendencia que en Colombia crece cada vez más”. 3 jun 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com.co/automovil/drones-una-tendencia-que-en-colombia-crece-cada-vez-mas> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [2] Delgado, D. “Historia de los drones - El Drone,” *El Drone*, 29 may 2016. [En línea]. Disponible en: <https://eldrone.es/historia-de-los-drones/> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [3] G. Rojas Carvajal, “Diseño de prototipo de un sistema para la identificación de plagas apoyado por cámara espectral y software de comparación de imágenes en Matlab”, tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2021.
- [4] “Georreferenciación y sistemas de coordenadas | ArcGIS Resource Center,” *ArcGIS Resources*, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://resources.arcgis.com/es/help/gettingstarted/articles/026n000000s000000.htm>. [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [5] C. H. Cristancho Toloza, “Análisis de imágenes aéreas como apoyo para el seguimiento de cultivos de pasto para consumo bovino”, tesis de pregrado, Universidad de la Salle, 2020. [En línea]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1783&context=ing_automatizacion [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [6] A. Gonzales, G. Amarillo, M. Amarillo y F. Sarmiento, “Drones aplicados a la agricultura de precisión”, *Revista Especializada en Ingeniería*, vol. 10, pp. 23-37, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1585/1917> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [7] M. Reger, J. Bauerdick y H. Bernhardt, “Drones in agriculture: Current and future legal status in Germany, the EU, the USA and Japan”, *Landtechnik*, vol. 73, n.º 3, pp. 62-80, 2018. doi: 10.15150/lt.2018.3183.
- [8] M. V. Berrío Meneses, J. Mosquera y D. A. Alzate, “Uso de drones para el análisis de imágenes multiespectrales en agricultura de precisión”, *@Limentech Cienciay Tecnología Alimentaria*, vol. 13, n.º 1, pp. 28-40, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/f9enSbL>
- [9] J. Nieto y W. Becerra, “Elaboración de modelos digitales de terreno por medio de fotogrametría obtenida por tecnología drone, relacionado con el método convencional, en la intersección de la vía Saboyá - Sutamarchán con la ruta 45a, Boyacá”, tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10983/26666> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].

- [10] Y. A. Montoya Álvarez y J. I. Rodríguez Molano, "Colombian agriculture: Approaching agriculture 4.0", *Ingeniería Solidaria*, vol. 18, n.º 2, pp. 1-19, 2022, doi: <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2022.02.04>
- [11] E. Pino V., "Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología," *Idesia (Arica)*, vol. 17, n.º 1, pp. 75-84, 2019. doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019005000402> Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [12] A. Domínguez Torres, "Procesamiento digital de imágenes". *Perfiles Educativos*, n.º 72, pp. 1-11, 1996. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13207206> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [13] I. Mingarro Mateu, "Uso de drones en agricultura 4.0: aplicación, en el entorno de Castellón, a la identificación de estados nutricionales y la detección temprana de incidencia de enfermedades", tesis de pregrado, Universitat Jaume I, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/196943> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [14] D. Kamthania, "Use of drones in agriculture", *Medicon Agriculture & Environmental Sciences*, vol. 2, n.º 1, pp. 49-52, 2022, [En línea]. Disponible en: <https://themedicon.com/pdf/agriculture-reenvironmental/MCAES-02-007.pdf> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [15] C. Portero, P. Salas, M. Mercadal y M. A. Casterad, "Experiencias en la adquisición de imágenes para agricultura a empresas de drones españolas", en *Nuevas plataformas y sensores teledetección. XVII Congr. la Asoc. Española Teledetección.*, pp. 461-464, 2017. [En línea]. Disponible en: https://digital.csic.es/bitstream/10261/157453/1/CasteradMA_XVIICongAsocEspTeledetecc-2_2017.pdf [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [16] . Siglo *et al.*, "Epicentro de la formación agroambiental con la magia de la naturaleza los ángeles del medio ambiente tiempo de sembrar esperanza", *Generación, Siglo XXI*, pp. 10-16. 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.ucundinamarca.edu.co/documents/comunicaciones/revista-gs21/G21_UBATE_JUNIO.pdf [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [17] C. Ramírez Gaitán y G. Díaz Riveros, *El chinche de los pastos (Collaria scenica) una amenaza para la producción lechera en la sabana de Bogotá y valles de Ubaté y Chiquinquirá*, Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario, 2002. [En línea]. Disponible en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/11595/78245_57102.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [18] National Pesticide Information Center, "Manejo integrado de plagas (MIP)," 2021. [En línea]. Disponible en: <http://npic.orst.edu/pest/ipm.es.html> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].

- [19] Mancuzo, G., “¿Qué es la metodología *waterfall*? Los pros y contras”, *Blog Compara Software*, 7 ago 2020. [En línea]. Disponible en: <https://blog.comparasoftware.com/metodologia-waterfall/> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [20] C. Valero, “Tipos de drones: clasificación según su uso y características”, *ADSL Zone*, 12 ene 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.adslzone.net/reportajes/drones/tipos-drones/> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [21] “Entender los sensores para drones”, *Drones, Cámaras, Acción*, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://drones-camaras-accion.com/blog/entender-los-sensores-para-drones/> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [22] “Tipos de cámaras para drones”, *Global Mediterránea & Geomática*, [En línea]. Disponible en: <https://www.globalmediterranea.es/tipos-de-camaras-para-drones/> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [23] “Cámaras para drones - Guía de compra”, *Novodrone*, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://novodrone.com/tipos-de-camaras-para-drones/> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [24] “Blissus leucopterus”, *Naturalista Co.* [En línea]. Disponible en: <https://colombia.inaturalist.org/taxa/261572-Blissus-leucopterus> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [25] “Los tipos de *software* y sus diferencias que debemos conocer | viU,” Universidad Internacional de Valencia, 25 abr 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/los-tipos-de-software-y-sus-diferencias-que-debemos-conocer> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [26] Aeronáutica Civil de Colombia, “Circular Reglamentaria N° 002 Requisitos Generales de Aeronavegabilidad y Operaciones para RPAS (Numeral 4.25.8.2)”, 27 jul 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/certificacion-y-licenciamiento/Documents/PROYECTO%20BORRADOR%20CIRCULAR%20RPAS.pdf> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [27] Presidencia de la República de Colombia, “Artículo 1827. Indemnización por daños sufridos en la superficie”, *Código de Comercio*, 1971. [En línea]. Disponible en: <https://leyes.co/codigo-de-comercio/1827.htm> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [28] Congreso de la República, “Ley Estatutaria 1581 DE 2012, Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales.” *Función Pública*, 18 oct 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=499>

- 81#:~:text=La%20presente%20ley%20tiene%20por,el%20art%C3%ADculo%2015%20de%20la [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [29] “Procesamiento de imágenes”, *Vistronica.com*, 22 sep 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.vistronica.com/blog/post/procesamiento-de-imagenes.html> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [30] W. Pratt, *Digital Image Processing*, Los Altos, California: John Wiley & Sons, Inc. [En línea]. Disponible en: https://nana.lecturer.pens.ac.id/index_files/referensi/image_processing/Digital%20Image%20Processing.pdf. [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [31] G. Gavidia, *Desarrollo de una herramienta de procesamiento de imágenes médicas en Matlab y su integración en medical GiD*, Barcelona, España: Instituto Nacional de Bioingeniería (IN-ABIO), Universidad Central de Venezuela; Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/QCrO6GE> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [32] P. Pérez y M. Valente, “Fundamentos básicos del procesamiento de imágenes. *Curso de Imágenes Médicas - 1.0*. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.famaf.unc.edu.ar/~pperez1/manuales/cim/cap2.html> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [33] Línea Electrónica Red Tecnoparque, *Procesamiento de imágenes con Matlab*, [Video en YouTube]. 24 sep 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=HuNGs8SYFko> [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [34] N. Alaa el Zine El Abidine, *Introduction to image processing with Python*, Marruecos: Laboratory FST Marrakech; Cadi Ayyad University. Doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18870.37444>
- [35] “1.3.1. El objeto array numpy — Scipy lecture notes”, *ClaudioVZ - Página personal*. [En línea]. Disponible en: https://claudiovz.github.io/scipy-lecture-notes-ES/intro/numpy/array_object.html [Último acceso: 11 de octubre de 2022].
- [36] J. Zambrano Nájera, V. Delgado, y J. J. Vélez Upegui, “Short-term temperature variability in a tropical Andean city Manizales, Colombia”, *Rev. Vínculos*, vol. 17, n.º 2, pp. 129-139, 2020.
- [37] S. A. Vaca, E. Serrano Vivas, y J. E. Rangel Díaz, “Ingeniería inversa para dispositivos electrónicos: estado de temperatura y humedad del suelo», *Vis. Electron.*, vol. 13, n.º 1, pp. 123-134, ene. 2019.
- [38] W. F. Moreno, H. I. Tangarife, y A. Escobar Díaz, “Aplicaciones de análisis de imágenes en agricultura de precisión”, *Vis. Electron.*, vol. 11, n.º 2, pp. 200-210, 2017.