

Capítulo 3

Metodología de captura de imágenes en cultivos de maíz utilizando vehículos aéreos no tripulados recreativos

*Giovanni Mora Castro*¹

*José de Jesús Valenzuela Hernández*²

*Gilberto Bojórquez Delgado*³

<https://doi.org/10.61728/AE24004527>



¹ Universidad Autónoma Indígena de México, Los Mochis, Sinaloa, México.
Email: gmora0601@gmail.com

² Universidad Autónoma Indígena de México, Los Mochis, Sinaloa, México.
Email: josevalenzuela_93@outlook.com

³ Instituto Tecnológico Nacional de México – ITS Guasave, Sinaloa, México.
Email: itsg.bojorquez@gmail.com

Resumen

El uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT) equipados con cámaras RGB (del inglés Red, Green, Blue, y en español rojo, verde y azul, estamos haciendo referencia a un sistema de composición de colores basado en la adición de los colores primarios de la luz en el ambiente) ha revolucionado la agricultura de precisión, ofreciendo una metodología avanzada para el monitoreo de cultivos de maíz. Este estudio propone un procedimiento estructurado para la captura de imágenes aéreas en cultivos de maíz utilizando VANT recreativos, específicamente el DJI Mavic Mini 2. La investigación se llevó a cabo en colaboración con “Agroproductores Cadena de Sinaloa S. A. de C. V.”, monitoreando el crecimiento de maíz blanco en diversas alturas y orientaciones. Los resultados demuestran que esta metodología es adecuada y efectiva, proporcionando imágenes de alta calidad que permiten una evaluación detallada del crecimiento y la salud del cultivo. Los beneficios de esta técnica incluyen su capacidad para ofrecer una alternativa económica y accesible en comparación con sistemas de alta capacidad, sin comprometer la calidad de los datos obtenidos. Este estudio sugiere que la combinación de VANT recreativos con herramientas avanzadas de procesamiento de imágenes puede mejorar significativamente la gestión agrícola, permitiendo a los agricultores tomar decisiones informadas basadas en datos precisos y oportunos.

Introducción

En el ámbito de la innovación agrícola, el uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT) equipados con cámaras RGB ha ganado fuerza para monitorear los cultivos de maíz. Estas tecnologías ofrecen una forma no invasiva y eficiente de recopilar datos durante la temporada de crecimiento, lo que permite a los agricultores tomar decisiones informadas sobre fertilización, riego, control de plagas y manejo de enfermedades

(Burglewski et al., 2023). La capacidad de monitorear las condiciones de los cultivos es crucial, especialmente considerando el impacto de diversos factores de estrés en la productividad de los cultivos, lo que requiere tecnologías de monitoreo avanzadas (Torres-Madronero et al., 2022).

En este estudio, proponemos una metodología innovadora para la captura de imágenes aéreas utilizando VANT recreativos, específicamente el DJI Mavic Mini 2. Esta metodología incluye la preparación minuciosa del VANT, la planificación detallada de las rutas de vuelo con el software Grid Mission Designer, y la captura de imágenes a diferentes alturas y orientaciones. Este enfoque sistemático asegura una cobertura completa y precisa del área de estudio, proporcionando datos valiosos para el análisis y la toma de decisiones en la gestión agrícola. Las imágenes obtenidas permiten identificar patrones de crecimiento y variaciones en el desarrollo del cultivo desde las etapas tempranas, facilitando intervenciones oportunas y efectivas.

Un aspecto clave del seguimiento de los cultivos de maíz es la evaluación del acame, que puede proporcionar información valiosa sobre el estado de crecimiento del cultivo. El seguimiento oportuno y preciso del alojamiento mediante tecnologías de teledetección puede ofrecer datos beneficiosos para los departamentos de agricultura, las reclamaciones de seguros y el ajuste de las políticas de producción (Qu et al., 2022). Además, la estimación del contenido de agua de las hojas de maíz mediante técnicas de aprendizaje automático y datos basados en vehículos aéreos no tripulados es esencial para desarrollar un marco de seguimiento sólido que sirva como indicador de la salud de los cultivos y la productividad general (Ndlovu et al., 2021).

La integración de diferentes tecnologías, como imágenes hiperespectrales y cámaras RGB en vehículos aéreos no tripulados, puede proporcionar datos valiosos para monitorear pastizales y áreas de cultivo. Las imágenes RGB calibradas han demostrado potencial para respaldar o incluso reemplazar las mediciones de campo hiperespectrales, facilitando las decisiones de gestión en entornos agrícolas (Lussem et al., 2017). Además, el uso de tecnología de teledetección satelital ha avanzado significativamente en el monitoreo de áreas de vegetación, ofreciendo una amplia cobertura, revisiones frecuentes y diversas resoluciones espaciales y temporales (Wei et al., 2023).

En el contexto del cultivo intercalado de maíz, los estudios han demostrado que la combinación de maíz con otros cultivos como caupí o legumbres puede mejorar la productividad, la rentabilidad y la fertilidad del suelo. Las estrategias de cultivos intercalados tienen como objetivo optimizar la utilización de recursos y mejorar el rendimiento general de los cultivos (Biruk et al., 2021; Shukla et al., 2022). Además, la inclusión de leguminosas en los sistemas de cultivo puede desempeñar un papel crucial en la restauración de la fertilidad del suelo y la mejora de la productividad de los cultivos (Shukla et al., 2022).

Las tecnologías de teledetección, como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) derivado de imágenes de vehículos aéreos no tripulados, han sido fundamentales para estimar el vigor y los rendimientos del maíz, particularmente en sistemas agrícolas complejos en regiones como el África subsahariana. El uso de VANT abre nuevas posibilidades para detectar remotamente el estado y el rendimiento de los cultivos, incluso en entornos agrícolas de pequeña escala (Wahab et al., 2018). Además, la integración de técnicas de fenotipado de alto rendimiento basadas en plataformas de detección remota de VANT permite la adquisición eficiente de rasgos fenotípicos dinámicos, cerrando la brecha entre el genotipado y los métodos tradicionales de perfil fenotípico de campo (Liang et al., 2019).

En conclusión, la integración de tecnologías avanzadas como vehículos aéreos no tripulados equipados con cámaras RGB, imágenes hiperespectrales y técnicas de aprendizaje automático está revolucionando el seguimiento y la gestión de los cultivos de maíz. Estas innovaciones ofrecen a los agricultores información valiosa sobre las condiciones de los cultivos, permitiéndoles tomar decisiones basadas en datos que pueden mejorar la productividad, optimizar la utilización de recursos y mejorar la sostenibilidad agrícola general.

Este artículo propone una metodología estructurada y efectiva para la captura de imágenes aéreas utilizando vehículos aéreos no tripulados recreativos, destacando su aplicabilidad y beneficios en la agricultura moderna. Busca no solo comprender su impacto actual sino también proyectar su futuro en la mejora de los procesos aBIRgrícolas, contribuyendo a una agricultura más eficiente, sostenible y productiva, alineada con las necesidades y retos del siglo XXI.

Estructura del artículo

Este artículo ha sido estructurado de la siguiente manera para facilitar la comprensión de la investigación y los avances propuestos en el campo de la agricultura de precisión. Se inicia con una “Introducción” que contextualiza el estudio dentro del panorama actual y subraya su importancia. A continuación, la sección “Trabajos relacionados” realiza una revisión crítica de la literatura existente, proporcionando el soporte académico a la investigación. El “Marco teórico”, nos adentra en las bases conceptuales que fundamentan la hipótesis y metodología. La “Propuesta” del artículo, describe con detalle el enfoque innovador que se ha adoptado, preparando el escenario para las secciones “Experimentación” y “Diseño del Experimento”, donde se explican los procedimientos metodológicos y las pruebas realizadas. Los “Resultados” son presentados de manera clara y concisa, seguidos por una “Discusión” reflexiva que busca interpretar los hallazgos en un contexto más amplio. Se finaliza el trabajo con “Conclusiones y reflexiones”, donde se describe acerca de la relevancia de los resultados y su contribución al avance de la agricultura de precisión, estableciendo posibles caminos para futuras investigaciones.

Trabajos relacionados

En esta sección, se presentan estudios previos que han abordado algunas aplicaciones de la tecnología en la agricultura de precisión y otros campos relacionados. Los trabajos destacan los avances en el procesamiento de imágenes, el uso de tecnologías de información y comunicación, el cómo se implementaron metodologías para la recolección y análisis de imágenes, el desarrollo de prototipos económicos para el monitoreo agrícola, la arquitectura para el Internet de las Cosas (IoT) en agricultura, la evaluación automatizada de daños en infraestructuras, y el uso de imágenes multiespectrales para la gestión de pasturas. Estos trabajos de estudio proporcionan un contexto valioso y relevante para la investigación que se está llevando a cabo, destacando la importancia de la tecnología en la mejora de la eficiencia y sostenibilidad en diversas aplicaciones agrícolas.

En Ponce et al. (2023), el artículo se centra en la mejora del procesamiento de imágenes agrícolas obtenidas a través de VANT, utilizando algoritmos paralelos para optimizar la segmentación de estas imágenes. La implementación se realiza en lenguajes de programación C o C++ usando la librería OpenMP (que es una biblioteca de programación en paralelo que se utiliza principalmente para sistemas de memoria compartida) en sistemas Linux con arquitecturas multicore (o arquitectura de múltiples núcleos, se refiere a un tipo de diseño de procesadores en el cual un solo chip integra dos o más núcleos de procesador independientes). Se comparan los algoritmos secuenciales tradicionales con una versión paralela para demostrar la reducción significativa en el tiempo de procesamiento. El estudio subraya la utilidad de los algoritmos paralelos en el procesamiento de imágenes agrícolas, lo cual es crucial para aplicaciones tales como la agricultura de precisión. La paralelización no solo mejora el tiempo de procesamiento, sino también optimiza el uso de los recursos computacionales, haciendo el proceso más eficiente y rápido.

Además, Orozco y Llano Ramírez (2016) ofrecen una revisión amplia sobre el uso de sistemas de información basados en tecnologías de agricultura de precisión aplicadas al cultivo de caña de azúcar. Se enfoca en cómo las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) están siendo implementadas a lo largo del ciclo de vida de la caña de azúcar, destacando su importancia para incrementar la eficiencia del cultivo y optimizar el uso de recursos. Los autores, en su artículo, subrayan la importancia de integrar las TIC en la agricultura de precisión para mejorar la productividad y sostenibilidad de los cultivos de caña de azúcar. Además, en el estudio, se resalta la necesidad de futuras investigaciones y desarrollos en la implementación práctica del sistema propuesto.

En Ribeiro Gomes et al. (2015), el artículo presenta el desarrollo de una metodología para optimizar el proceso de adquisición y tratamiento de imágenes de alta resolución capturadas por vehículos aéreos no tripulados. La metodología que presentan se centra en la automatización de la selección de imágenes no borrosas y en la simplificación de la georreferenciación (el proceso de asignar coordenadas espaciales a datos que inicialmente no tienen una ubicación geográfica específica, permitiendo su ubicación en un mapa o en un sistema de coordenadas

geográficas), lo que reduce significativamente el tiempo y esfuerzo requerido en el proceso. La metodología, propuesta en el estudio, ofrece una mejora significativa en la eficiencia del proceso de adquisición y procesamiento de imágenes aéreas, facilitando la implementación rápida y a menor costo de la tecnología de vehículos aéreos no tripulados en la agricultura de precisión.

Por otro lado, en Gama-Moreno et al. (2022), este estudio presenta un prototipo de cámara infrarroja de bajo costo diseñado para obtener el Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI), que es crucial en la agricultura de precisión. El prototipo permite capturar imágenes en los espectros visible e infrarrojo cercano para calcular el NDVI, que evalúa la salud y el crecimiento vegetativo a través de la reflectancia de la luz en diferentes bandas del espectro. El prototipo propuesto demuestra ser una herramienta valiosa para la agricultura de precisión, ofreciendo una solución económica y accesible para el monitoreo de la salud vegetal mediante la tecnología NDVI. Este desarrollo representa un avance significativo en la aplicación de tecnologías de bajo costo para mejorar la gestión agrícola.

Además, en Gutiérrez Arce et al. (2020), el artículo investiga la aplicación de imágenes multiespectrales (capturas fotográficas que recolectan información de múltiples bandas del espectro electromagnético) tomadas con vehículos aéreos no tripulados para estudiar las pasturas en Cajamarca, un enfoque relativamente nuevo en la región que promete aumentar la eficiencia en la gestión de pastos. El estudio se enfoca en la evaluación de raigrás (conocidas científicamente bajo el género *Lolium*, son un grupo de gramíneas muy utilizadas tanto en la agricultura como en la jardinería) y trébol para medir indicadores como biomasa, composición florística, altura de planta, tasa de crecimiento y contenido de materia seca. La utilización de imágenes multiespectrales tomadas con vehículos aéreos no tripulados se presenta como una herramienta valiosa para mejorar la gestión de pasturas en Cajamarca, proporcionando información detallada y actualizada que facilita una gestión más eficiente y sostenible.

Marco Teórico

El uso de VANT en el monitoreo agrícola ha ganado mucha atención debido a su capacidad para proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en las prácticas agrícolas. Los VANT, también conocidos como vehículos aéreos no tripulados, ofrecen un medio para monitorear continuamente variables cruciales para la producción agrícola (Ramos Cruz et al., 2022). Al capturar imágenes agrícolas mediante VANTs y procesarlas mediante algoritmos avanzados, los agricultores pueden acceder a información vital para tomar decisiones más informadas y eficientes (Ponce et al., 2022a). La integración de la tecnología de VANT en la agricultura va más allá del seguimiento de cultivos; también desempeña un papel en la mejora de las medidas de seguridad en las zonas urbanas y en la investigación arqueológica (Bermúdez Cifuentes et al., 2021; Villar et al., 2023).

Las cámaras RGB, que capturan imágenes en tres canales de color (rojo, verde y azul), han encontrado diversas aplicaciones en tecnología. Por ejemplo, se han utilizado en VANT para obtener imágenes de alta resolución en el análisis de la vegetación a través de la percepción remota (Vega-Puga et al., 2023a). Estas cámaras segmentan las imágenes en pequeños parches llamados superpíxeles para identificar la posición y orientación de cada uno de ellos (Lorente Rubio et al., 2022). Además, en entornos como platos virtuales de televisión, las cámaras son fundamentales para capturar la escena real donde se encuentran los presentadores mientras que los ordenadores generan fondos virtuales y los chroma-keyers combinan los mundos reales y virtuales (Fernández, 2023). En el ámbito de la robótica, se ha desarrollado un sistema de navegación autónoma para robots móviles basado en cámaras RGB-D, permitiéndoles moverse en entornos desconocidos (Muñoz et al., 2022). La accesibilidad a cámaras de alta resolución a precios accesibles ha aumentado su uso en aplicaciones como la navegación autónoma en interiores (Rico-Mendoza et al., 2022). Además, las cámaras térmicas de bajo costo han demostrado ser confiables en el diagnóstico de condiciones médicas como la neuropatía periférica diabética (Rodríguez Alonso y Cabrejo Paredes, 2022).

En la agricultura de precisión, el análisis de imágenes RGB es esencial para obtener información detallada sobre los cultivos y tomar decisiones informadas. Las imágenes obtenidas con VANT proporcionan datos valiosos para actividades relacionadas con la agricultura de precisión (Ponce et al., 2022b; Vega-Puga et al., 2023b). Estas imágenes permiten monitorear el estado de los cultivos de forma automática, extrayendo la información relevante mediante herramientas de procesamiento de imágenes (Giménez-Gallego et al., 2022). En la evaluación de cultivos, las imágenes RGB se han utilizado para analizar el fenotipo de las plantas, como en el caso de la evaluación de los efectos de herbicidas en los cultivos de maíz (Ramírez-Rojas et al., 2022). Además, se ha demostrado la utilidad de las imágenes RGB y de la fluorescencia de la clorofila para evaluar los efectos de los herbicidas de manera no invasiva.

El uso de imágenes multiespectrales en la agricultura de precisión ha demostrado ser una herramienta práctica para la gestión de sistemas pastoriles, permitiendo la construcción de índices de vegetación relacionados con características productivas y fisiológicas de las plantas (Giraldo et al., 2023). Asimismo, la utilización de cámaras infrarrojas para obtener el Índice NDVI ha contribuido al desarrollo de la agricultura de precisión (Gama-Moreno et al., 2022). En la detección de enfermedades en cultivos como el Banana Bunchy Top Virus (BBTV) y *Xanthomonas Wilt of Banana* (XWB), se ha empleado el uso de imágenes RGB y modelos de detección de objetos basados en Deep Learning (Guzmán-Alvarez et al., 2022). Esto resalta la importancia de la tecnología en la identificación temprana de problemas en los cultivos.

El uso de VANT recreativos equipados con cámaras RGB para la monitorización de cultivos ha surgido como una alternativa viable en la agricultura inteligente. Estos VANT permiten la captura de imágenes aéreas de alta resolución que pueden utilizarse para monitorear el estado nutricional, fitosanitario y de estrés de los cultivos (Guevara-Bonilla et al., 2023). Además, la combinación de VANT con algoritmos de inteligencia artificial promete automatizar la recopilación y análisis de datos, lo que facilita la toma de decisiones en la gestión agrícola (Guevara-Bonilla et al., 2023). La utilización de VANT en la agricultura posibilita una monitorización continua y precisa de los cultivos a través de diversos

sensores, lo que permite identificar las necesidades de las plantas de manera eficiente (De la Riva Fernández, Pérez Cabello, et al., 2022). Estos VANT pueden equiparse con diferentes tipos de sensores como cámaras RGB, multiespectrales, hiperespectrales, térmicas o sensores lidar, lo que amplía las capacidades de recopilación de datos para la agricultura de precisión (De la Riva Fernández, Pérez Cabello et al., 2022).

En resumen, la integración de tecnologías avanzadas como VANT equipados con cámaras RGB, imágenes hiperespectrales y técnicas de aprendizaje automático está revolucionando el seguimiento y la gestión de los cultivos de maíz. Estas innovaciones ofrecen a los agricultores información valiosa sobre las condiciones de los cultivos, permitiéndoles tomar decisiones basadas en datos que pueden mejorar la productividad, optimizar la utilización de recursos y aumentar la sostenibilidad agrícola.

Metodología

Este estudio se llevó a cabo utilizando una metodología estructurada para asegurar la precisión en la recolección y análisis para la clasificación de datos aéreos de cultivos de maíz. La elección de herramientas y técnicas se fundamentó en la necesidad de obtener imágenes de alta resolución y datos precisos, que son importantes para evaluar las condiciones del cultivo. A continuación, se detalla el procedimiento y el equipo utilizado, desde la preparación del VANT hasta el análisis final de los datos capturados.

Procedimientos metodológicos detallados

Para lograr los objetivos planteados en esta investigación y garantizar la exactitud de los resultados, la investigación se desarrolló a través de seis etapas importantes, cada una de las cuales contribuye de manera integral al éxito del estudio. Estas etapas están diseñadas para maximizar la eficacia de la recopilación de datos y asegurar su relevancia y confiabilidad. A continuación, se describe cada paso en detalle, proporcionando una visión completa de las técnicas y procesos implementados.

1.Preparación del Drone

La preparación del VANT es un paso fundamental para garantizar la seguridad y eficacia de las misiones de vuelo. Este proceso implica varias verificaciones y ajustes previos al despegue, asegurando que el equipo esté en óptimas condiciones para realizar la captura de datos.

Inicialmente, se realizó una inspección y configuración del VANT para garantizar su operatividad. Esto incluyó la verificación del estado de la batería, la calibración de sensores y la instalación de la cámara con sus ajustes óptimos de resolución y estabilización.

Proceso de preparación

Inspección física: se realiza una inspección visual detallada del VANT (DJI Mavic Mini 2) para verificar que no haya daños físicos, que las hélices estén bien aseguradas y libres de defectos, y que la estructura general del VANT no presente irregularidades.

Actualización de software y firmware: se verifica que el VANT y su controlador estén actualizados con la última versión de firmware disponible. Esto es esencial para asegurar la compatibilidad con las aplicaciones de vuelo y la optimización de las funciones del VANT.

Calibración de sensores: se calibran los sensores del VANT, incluyendo el sistema de GPS (global position system, por sus siglas en inglés) y la brújula interna. Esta calibración es crucial para mejorar la precisión del vuelo y la estabilidad del VANT durante las operaciones aéreas.

Configuración de la cámara: se ajustan los parámetros de la cámara, como la exposición, el balance de blancos y la resolución. Estos ajustes se personalizan según las condiciones de luz esperadas y los objetivos específicos de la captura de imágenes. A continuación se detalla cómo se programó el VANT en este apartado.

El VANT fue un DJI Mavic Mini 2, que posee un peso de despegue inferior a 249 gramos, lo cual lo hace ideal para maniobras en campos agrícolas sin perturbar los cultivos. Las dimensiones de la aeronave en su estado desplegado son 159 mm × 203 mm × 56 mm, proporcionando una estructura compacta y manejable para el vuelo entre los surcos del maíz.

El VANT fue seleccionada por su habilidad para ascender a una velocidad máxima de 5 m/s en modo S (modo Sport, donde el VANT actúa con una mayor velocidad), lo que facilitó un rápido desplazamiento vertical para obtener las perspectivas requeridas a las alturas de 3 m, 5.7 m y 17 m. Su capacidad de resistencia al viento de 8.5-10.5 m/s permitió realizar vuelos estables incluso en condiciones de viento moderado.

El VANT está equipado con una cámara con sensor CMOS 1/2.3" capaz de capturar imágenes de 12 MP y video en resolución 4K, lo que aseguró la obtención de imágenes detalladas y de alta calidad del cultivo. La apertura de f/2.8 del objetivo permitió capturar imágenes claras, incluso en condiciones de iluminación variable durante el periodo de vuelo.

La captura de datos se programó a intervalos regulares, utilizando el modo de fotografía de intervalo de la cámara para tomar una serie de imágenes que luego serían analizadas para identificar patrones de crecimiento y salud del maíz. Los modos Quicksort del VANT, no se utilizaron ya que nuestra prioridad era la recolección sistemática de imágenes fijas en lugar de video o imágenes en movimiento.

El VANT utilizó un sistema de navegación satelital (GNSS) que incluye GPS, GLONASS y GALILEO, lo cual ofreció una precisión de vuelo excepcional necesaria para mantener la consistencia en las rutas de vuelo durante la captura de imágenes. La batería de vuelo inteligente del VANT proporcionó una duración de hasta 31 minutos (nominales), suficiente para completar cada sesión de vuelo programada sin interrupciones.

Prueba de funcionamiento: antes de cada sesión de vuelo, se realiza una breve prueba de funcionamiento para verificar la respuesta del VANT a los comandos de control y asegurar que todos los sistemas operativos funcionen correctamente.

Consideraciones de Seguridad

Durante la preparación, también se revisan las normativas de seguridad vigentes para la operación de VANT. Se establecen medidas para mitigar riesgos, incluyendo la definición de un área segura de despegue y aterrizaje y la programación de rutas de vuelo que eviten zonas pobladas o restringidas (Sct11_C, 2019).

2. Establecimiento del mapa de captura con el Programa Grid Mission Designer

Se utilizó el software Grid Mission Designer (Grid Mission Designer, s. f.) para planificar las rutas de vuelo. Se seleccionó el área de estudio en el mapa y se configuró un patrón de vuelo en cuadrícula que cubría parte del campo, asegurando que el cultivo fuera capturado desde múltiples ángulos y alturas.

Descripción de Grid Mission Designer

Grid Mission Designer (Grid Mission Designer, s. f.) es un software de planificación de vuelo utilizado para programar y automatizar la ruta de vuelo de VANT, especialmente diseñado para aplicaciones en mapeo aéreo y fotogrametría. Este programa permite a los usuarios establecer patrones de vuelo precisos sobre áreas geográficas específicas, creando una cuadrícula o patrón llamada “grid” (malla) que el VANT seguirá durante la recolección de datos. La función principal de Grid Mission Designer es garantizar que el VANT capture imágenes aéreas sistemáticas y completas de un área de interés, lo que es crucial para aplicaciones como la agricultura de precisión, el monitoreo ambiental y la planificación urbana.

Ventajas de Usar Grid Mission Designer

Usar Grid Mission Designer en proyectos de mapeo aéreo ofrece varias ventajas:

- **Automatización eficiente:** automatiza completamente el proceso de vuelo, lo que reduce el error humano y asegura la repetibilidad y consistencia en la captura de datos.
- **Optimización de recursos:** optimiza el uso del tiempo y la batería del VANT al planificar rutas que maximizan la cobertura del área mientras minimizan el tiempo de vuelo necesario.
- **Mejora en la calidad de datos:** asegura una cobertura completa y uniforme del área de estudio, lo que es fundamental para análisis detallados y la generación de modelos digitales de terreno o mapas de vegetación.

- Interfaz de usuario amigable: ofrece una interfaz sencilla que permite a los usuarios menos experimentados en pilotaje de VANT configurar misiones complejas de forma intuitiva y eficaz.

En el contexto de esta investigación, Grid Mission Designer jugó un papel crucial al permitir la planificación detallada y ejecución de vuelos sobre el campo de maíz, garantizando que cada segmento del área estudiada fuera documentado con precisión. Esto facilitó la recolección sistemática de imágenes, lo cual es esencial para la monitorización de la evolución y salud de los cultivos en estudios agronómicos.

3. Carga del Archivo a la Plataforma Flylitchi

Una vez el plan de vuelo se configuró en Grid Mission Designer, se cargó en la plataforma Flylitchi (Litchi for DJI Drones, s. f.) para su ejecución. Este paso fue crucial para sincronizar el plan de vuelo con el VANT, incluyendo los waypoints (puntos de seguimiento de ruta) y la altura específica de vuelo para cada segmento del mapa.

Flylitchi, comúnmente conocido como Litchi, es una aplicación avanzada de planificación y control de vuelo para VANT (Litchi for DJI Drones, s. f.), diseñada para mejorar la funcionalidad de vuelos autónomos y la captura de imágenes aéreas. Esta aplicación es ampliamente utilizada por operadores de VANT para ejecutar misiones preprogramadas con alta precisión, lo que es fundamental en aplicaciones de fotografía, videografía y mapeo aéreo.

Preparación del plan de vuelo: una vez que el plan de vuelo se establece en Grid Mission, se exporta como un archivo compatible con Flylitchi.

Carga del archivo: el archivo de plan de vuelo se carga en la plataforma Flylitchi a través de su interfaz web o directamente en la aplicación móvil. Este proceso implica seleccionar el archivo desde el dispositivo de almacenamiento y subirlo a la cuenta del usuario en la aplicación Flylitchi.

Sincronización con el VANT: después de la carga, el plan de vuelo se sincroniza con el VANT. Se realiza una verificación de la ruta y los waypoints para asegurar que la misión se ajuste a las especificaciones deseadas y que no existen errores en la configuración.

Configuración final: antes de ejecutar la misión, se revisan y ajustan los últimos detalles, como la altitud de vuelo, la velocidad del dron y los ajustes específicos de la cámara, para asegurar que las imágenes capturadas cumplan con los requisitos de calidad y cobertura necesarios para el estudio.

Importancia de flylitchi en la investigación

Utilizar Flylitchi facilitó la ejecución precisa y eficiente de las misiones de vuelo programadas, permitiendo la captura sistemática de datos aéreos con mínima intervención manual. Esto no solo mejoró la eficiencia operativa, sino que también garantizó la repetibilidad de las misiones, un aspecto crucial para estudios comparativos y longitudinales en el campo de la agricultura de precisión.

4. Configuración del dron

Antes del despegue, se realizaron ajustes finales en el VANT, incluyendo la configuración del rango ISO, la velocidad del obturador, y la apertura de la cámara para adaptarse a las condiciones de luz del día de vuelo. También se ajustaron los parámetros de vuelo para mantener una altitud constante y evitar obstáculos.

Descripción general

La configuración del VANT es un paso crítico que precede al vuelo, donde se ajustan específicamente los parámetros técnicos del “DJI Mavic Mini 2” para alinearse con los objetivos y requerimientos del proyecto de investigación. Este proceso asegura que las imágenes y datos capturados sean de la máxima calidad y precisión posible.

Proceso de configuración

- Ajustes de la batería: se verifica el nivel de carga de la batería para asegurar una duración suficiente que cubra el plan de vuelo sin interrupciones. Además, se realiza una inspección del estado físico de la batería para descartar cualquier problema que pueda afectar su rendimiento.

Configuración de la Cámara:

- Resolución y Calidad: se selecciona la máxima resolución disponible para la captura de imágenes, ajustando también la calidad de compresión para evitar la pérdida de detalles (mencionadas en el apartado preparación del VANT).
- Ajustes de exposición: se configura la exposición manualmente para adaptarse a las condiciones de iluminación previstas durante la misión, con ajustes específicos en ISO, velocidad de obturación y apertura, para obtener la mejor calidad de imagen (mencionadas en el apartado preparación del VANT).

Parámetros de vuelo:

- Altura y velocidad: Se programan la altura y la velocidad del vuelo en función de los requerimientos del estudio, considerando la topografía del terreno y los objetivos de la captura de imágenes.

Importancia de la configuración adecuada

- Una configuración adecuada del VANT es fundamental para garantizar que las operaciones de campo se realicen sin contratiempos y que los datos recopilados sean de alta fiabilidad y utilidad para el análisis posterior. Este proceso reduce la probabilidad de errores o datos faltantes debido a configuraciones inadecuadas, asegurando que el proyecto cumpla con sus metas científicas.

5. Realización del vuelo y captura de fotos

Selección de la muestra y colaboración con la empresa

La investigación se desarrolló en colaboración con la empresa “Agroproductores Cadena de Sinaloa S. A. de C. V.”, una compañía de producción agrícola establecida en los valles del Carrizo y Río Fuerte, específicamente en los predios Santa Rosa y Corerepe. Con el permiso y apoyo

de la empresa, se seleccionó un campo de maíz blanco para realizar el estudio, lo que permitió un acceso sin precedentes a datos de alta relevancia agronómica y operacional.

Ubicación de la investigación

El sitio específico de investigación fue seleccionado por su relevancia para la producción de maíz blanco en la región, ofreciendo una muestra representativa de las prácticas agrícolas y condiciones de crecimiento locales. Los campos de “Grupo CADENA” en Bachoco, Sinaloa, proporcionaron el entorno ideal para llevar a cabo la recolección de datos y observar la evolución del cultivo desde la siembra hasta las primeras etapas de crecimiento.

Periodo de recolección de datos

Las capturas de imágenes se realizaron a lo largo de un periodo de cinco semanas, desde la siembra de las semillas hasta la quinta semana de crecimiento del cultivo, específicamente desde el 11 de noviembre hasta el 09 de diciembre de 2023. Este rango temporal permitió monitorear las diversas etapas tempranas de desarrollo del maíz.

Tecnología de recolección de datos

Los datos se almacenaron en tarjetas microSD recomendadas por el fabricante para asegurar la integridad y seguridad de los datos. El uso de tarjetas de alta velocidad y capacidad fue crucial para capturar y transferir grandes cantidades de datos de imagen sin pérdida de calidad o corrupción de archivos.

Procedimiento de recolección de datos

Las imágenes se tomaron desde alturas de 3 m, 5.7 m, y 17 m, y en orientaciones paralela, diagonal, y perpendicular a los surcos, garantizando una amplia cobertura y diversidad de perspectivas del campo. Esta me-

todoología buscó capturar detalles variados sobre la salud y el desarrollo del cultivo en sus diferentes etapas.

6. Clasificación de las imágenes

Posterior al vuelo, las imágenes capturadas fueron descargadas y clasificadas según los parámetros de interés del estudio, como el estado de crecimiento del maíz y la presencia de posibles anomalías. Utilizamos un software de edición para organizar las imágenes por fecha y ubicación, facilitando el análisis posterior. Como se describen en la tabla posterior.

7. Consideraciones adicionales

Consideraciones técnicas y legales

Durante la recolección de datos, se tuvo en cuenta que el peso estándar de la aeronave DJI Mavic Mini 2 es de 242 gr, lo cual está por debajo del límite para muchos países que requieren registro de VANTs más pesados. Sin embargo, el peso real del VANT puede variar, y en algunos países y regiones, es necesario realizar un registro de acuerdo con la normativa local antes de operar el VANT. Además, conforme a las especificaciones más recientes obtenidas con el firmware actualizado, las actualizaciones subsiguientes podrían mejorar aún más el rendimiento del VANT, lo cual resalta la importancia de mantener el VANT actualizado para el óptimo rendimiento durante la recolección de datos.

Limitaciones por normativa local

Se respetaron todas las normativas locales pertinentes durante el estudio. Específicamente, se cumplió con las regulaciones que restringen el uso de la banda de frecuencia de 5.8 GHz en ciertos países. Por lo tanto, se utilizó la banda de frecuencia de 2.4 GHz para evitar posibles modificaciones en el rendimiento que pudieran afectar la calidad de los datos recopilados. La banda de frecuencia utilizada está sujeta a regulaciones específicas de cada país y región, y en este estudio, la operación del VANT

se adhirió estrictamente a dichas regulaciones, asegurando la compatibilidad y legalidad del proceso de recolección de datos (Sct11_C, 2019).

Consideraciones éticas

Se obtuvo el consentimiento explícito de “Grupo CADENA” para la realización de este estudio, asegurando que la recolección y uso de los datos cumplieran con todas las normativas éticas para vuelo de vants (Sct11_C, 2019) y de privacidad correspondientes que la empresa maneja.

Evaluación de la metodología y limitaciones

La eficacia de nuestra metodología será evaluada por el uso y la precisión que presenten las imágenes para que en un futuro y como continuación de nuestro proyecto sean analizadas por redes neuronales convolucionales (RNC) y con ello poder determinar las características detectadas en las imágenes del cultivo. Se contemplarán pruebas de validación y ajustes al modelo para maximizar su precisión y robustez. Entre las limitaciones de este estudio, se incluye la dependencia de las condiciones climáticas para la captura óptima de imágenes y la resolución de la cámara del VANT, que podría no ser suficiente para capturar los detalles más finos del cultivo.

Resultados

Introducción a la sección de resultados

Se utilizó un vehículo aéreo no tripulado (VANT) para capturar imágenes de cultivos de maíz blanco en el cultivo de la empresa Grupo Cadena en el poblado Bachoco, con el objetivo de monitorear, mediante el uso de imágenes aéreas, el número de plantas de maíz que germinan una vez que son sembradas en el cultivo, además de monitorear el crecimiento durante un tiempo considerado... Durante el período de toma de imágenes aéreas que fue del 11 de noviembre al 09 de diciembre del 2023, se capturaron imágenes con varias alturas y direcciones de toma de imágenes en el

cultivo claves, proporcionando una perspectiva amplia de captación de imágenes y la evolución del cultivo durante el tiempo antes mencionado.

Descripción de los datos recopilados

Se recopilaron un número considerable de imágenes aéreas mediante el uso del VANT, durante un período de cinco semanas desde la siembra de las semillas de maíz blanco, mismas que fueron en cinco fechas distintas desde el 18 de noviembre al 19 de diciembre. Las alturas de captura variaron de 3 a 17 metros, lo que permitió obtener perspectivas diversas y detalladas del estado del cultivo en cada período de captura. A continuación se presenta la Tabla 1, con el número de imágenes aéreas capturadas por fecha.

Tabla 1
Número de Imágenes por semana.

#Semana	#Imágenes	Altura de la captura	Fecha de la captura
1	16	5 m	11/Noviembre
2	511	3 m	18/Noviembre
2	1117	5 m	18/Noviembre
2	180	17 m	18/Noviembre
3	936	5 m	25/Noviembre
4	284	3 m	02/Diciembre
5	148	3 m	09/Diciembre

Presentación de imágenes de localización

Se incluye una selección de las imágenes capturadas por satélite del área donde se llevó a cabo el experimento y la captura de las imágenes aéreas hechas por el VANT. Mediante el programa Grid Mission Designer. A continuación se detallan brevemente cada una de ellas.

En la Figura 1 se muestra una imagen, capturada utilizando el software Grid Mission Designer, donde se aprecia una vista aérea general del campo de cultivo de maíz. La captura ofrece una visión completa de la disposición del terreno, la distribución de las plantas y la estructura del cultivo en su totalidad. Es fundamental para comprender el entorno en

el que se desarrolló el estudio y sirve como referencia para las imágenes más detalladas tomadas posteriormente.

La Figura 2, presenta un acercamiento de una sección específica del campo de maíz. Esta toma permite observar con mayor detalle la densidad y alineación de las hileras de maíz, proporcionando información sobre la uniformidad en la siembra y posibles variaciones en el crecimiento a nivel de parcela.

En la Figura 3 se muestra una vista aún más detallada de una sección seleccionada del cultivo. Esta imagen se utilizó para analizar áreas específicas del campo, enfocándose en el estado de crecimiento y posibles anomalías en el desarrollo de las plantas. Es útil para detectar problemas localizados y evaluar la efectividad de las prácticas agrícolas en esas áreas.

Figura 1

Vista del cultivo general.



Figura 2

Vista del cultivo acercamiento.



Figura 3

Vista específica del cultivo.



Imágenes capturadas con FlyLitchi (programa de mapeo autónomo)

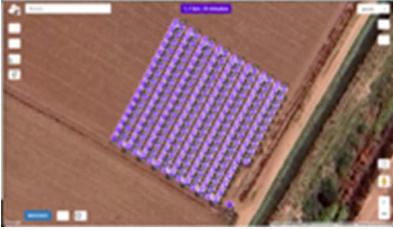
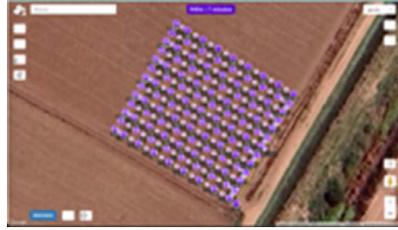
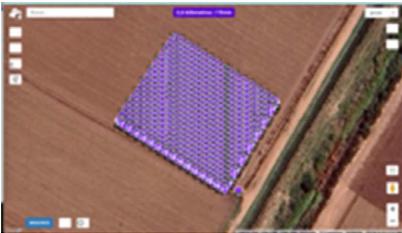
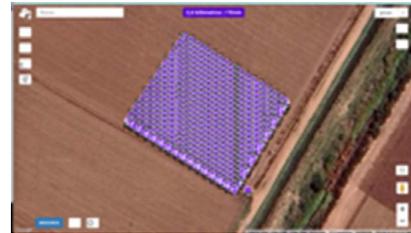
Para la captura de las imágenes en el cultivo de maíz a la par del uso de la plataforma Grid Mission Designer para complementar los vuelos autónomos en la metodología propuesta, se utilizaron las herramientas de la plataforma FlyLitchi para la captura de las imágenes aéreas a diferentes alturas. Estas imágenes fueron fundamentales para obtener una visión comprensiva del crecimiento y desarrollo del maíz a lo largo del periodo de estudio. A continuación, se presentan las imágenes obtenidas a través de esta plataforma, destacando las características específicas capturadas en cada una:

La Figura 4, fue capturada a una altura de 5 metros, esta imagen permite un análisis más cercano del estado de las plantas, mostrando detalles finos como el follaje y la cobertura del suelo. Es clave para identificar problemas de crecimiento en etapas tempranas que podrían no ser visibles desde una mayor altura.

En la Figura 5, se muestra una imagen capturada a una altura de 11 metros, utilizando la plataforma FlyLitchi. Ofrece una perspectiva intermedia del cultivo, donde se pueden apreciar tanto la disposición general de las hileras como detalles importantes del desarrollo del maíz. Es particularmente útil para evaluar la homogeneidad del crecimiento a esta altura específica.

La Figura 6, muestra una imagen tomada a 5.8 metros proporciona un equilibrio entre detalle y perspectiva general. Capturada en una fecha clave del estudio, ofrece información sobre el progreso del cultivo a nivel del suelo, ayudando a corroborar los datos obtenidos en las imágenes de otras alturas.

La Figura 7, fue capturada desde una altura de 29 metros, esta imagen ofrece una visión panorámica del campo, ideal para evaluar el estado general del cultivo en una etapa avanzada. Permite observar cómo las plantas han cubierto el terreno y cómo se ha desarrollado el cultivo en su conjunto.

Figura 4*Altura 5m - 25/noviembre.***Figura 5***Altura 11m - 25/noviembre.***Figura 6***Altura 5.8m - 02/diciembre.***Figura 7***Altura 29m - 02/diciembre.*

Imágenes capturadas con el VANT

Para un análisis detallado del desarrollo del cultivo de maíz, se realizaron capturas de imágenes aéreas utilizando un VANT. Estas imágenes, tomadas en diferentes semanas y a diversas alturas, proporcionan información crucial sobre el crecimiento y las condiciones del cultivo a lo largo del tiempo. A continuación, se describen las imágenes obtenidas por el VANT, destacando las características observadas en cada una:

La Figura 8 muestra una imagen tomada durante la primera semana de capturas a una altura de 5 metros. Muestra el estado inicial de germinación de las plantas de maíz, proporcionando una referencia para el desarrollo del cultivo en etapas posteriores. Específicamente, se observan las primeras plántulas emergiendo del suelo.

Figura 8

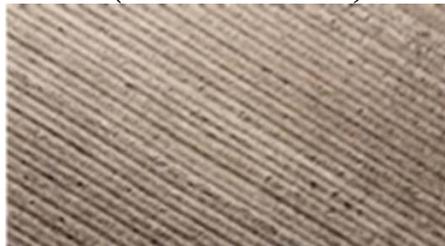
Semana 1 (5 m-11/noviembre).



En la segunda semana, se capturó esta imagen a una altura de 11.6 metros. Se puede observar un avance significativo en el crecimiento de las plantas, lo que permite evaluar la uniformidad del desarrollo y la densidad de las hileras en esta etapa temprana, esto se puede ver en la Figura 9.

Figura 9

Semana 2 (11.6 m - 18/noviembre).



La Figura 10 muestra una de las imágenes, también capturada a 11.6 metros de altura durante la tercera semana, muestra un mayor desarrollo en la altura de las plantas y una mayor cobertura del suelo. La imagen es útil para identificar áreas con crecimiento más vigoroso o donde podrían surgir problemas.

Figura 10

Semana 3 (11.6 m - 25/ noviembre).



Durante la cuarta semana, la imagen fue capturada a una altura más baja de 3 metros, permitiendo un análisis detallado del follaje y las condiciones del cultivo a nivel del suelo. Esta toma es clave para detectar posibles signos de estrés en las plantas, como deficiencias nutricionales o presencia de plagas, que podrían no ser visibles desde alturas mayores, esto se puede observar en la Figura 11.

Figura 11

Semana 4 (3m-02/diciembre).



La Figura 12, muestra una imagen de la quinta semana, capturada a 5 metros de altura, ofrece una visión general del cultivo en una etapa avanzada de crecimiento. En esta toma, se puede observar una cobertura más densa del suelo, lo que indica un desarrollo exitoso del cultivo en comparación con las semanas anteriores. Esta imagen final proporciona una referencia completa del progreso del maíz hasta el cierre del periodo de estudio.

Figura 11

Semana 4 (3m-02/diciembre).



Discusión de los resultados visuales

La revisión visual de las imágenes aéreas capturadas por el VANT proporciona una perspectiva valiosa sobre la dinámica del crecimiento de las plantas de maíz blanco. Las variaciones observadas en el crecimiento del cultivo desde los primeros días permiten establecer intervenciones tempranas y confirman la utilidad de la metodología empleada para la captura de imágenes. Estas imágenes demostraron ser una herramienta efectiva para monitorear la evolución del cultivo y tomar decisiones informadas.

Conclusiones

Este estudio ha demostrado la viabilidad y eficiencia del uso de VANT recreativos equipados con cámaras RGB para la monitorización de cultivos de maíz. Las imágenes aéreas capturadas proporcionaron datos valiosos sobre las tasas de germinación y el crecimiento temprano del maíz, permitiendo a los agricultores tomar decisiones oportunas. Los VANT recreativos como el DJI Mavic Mini 2 ofrecen una alternativa económica para el monitoreo de cultivos, aunque requieren capturar un número extenso de imágenes para seleccionar las más adecuadas, además de que se tienen que considerar algunas desventajas tales como la dependencia a las condiciones climáticas, la resolución de la cámara, la duración de la batería, así como las regulaciones de vuelo de drones. Futuras investigaciones deben enfocarse en la combinación de VANT

recreativos con herramientas avanzadas de procesamiento de imágenes para maximizar su precisión y aplicabilidad en la agricultura.

Referencias

- Bermúdez Cifuentes, A., Ramirez Lugo, P. A., Herrera Mosquera, Y. C., & Olaya Romero, W. F. (2021). Propuesta de mejoramiento de la seguridad mediante drones en la ciudad de Bogotá (Project Selantrophus). <http://ojs.urepublicana.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/795/597>
- Biruk, G., Awoke, T., & Anteneh, T. (2021). Effect of intercropping of maize and cowpea on the yield, land productivity and profitability of components crops in Bena- Tsemay Woreda, Southern Ethiopia. *International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology*, 11(2), 147–150. <https://doi.org/10.3329/IJARIT.V11I2.57268>
- Burglewski, N. M., Ketterings, Q. M., Shajahan, S., & Aardt, J. van. (2023). A comparison of traditional and machine learning corn yield models using hyperspectral UAS and Landsat imagery. <https://doi.org/10.1117/12.2663715>, 12519, 80–88. <https://doi.org/10.1117/12.2663715>
- De la Riva Fernández, J., Lamelas Gracia, M. T., Montorio Llovería, R., Pérez Cabello, F., & Rodrigues Mimbbrero, M. (2022). Actas del XIX Congreso de Tecnologías de la Información Geográfica. TIG al servicio de los ODS. Zaragoza, 12 a 14 de septiembre de 2022 - Repositorio Institucional de Documentos. <https://zaguan.unizar.es/record/119771>
- De la Riva Fernández, J., Pérez Cabello, F., Lamelas Gracia, M. T., Rodrigues Mimbbrero, M. (eds.), & Montorio Llovería, R. (2022). Actas del XIX Congreso de Tecnologías de la Información Geográfica. TIG al servicio de los ODS. Zaragoza, 12 a 14 de septiembre de 2022. Actas Del XIX Congreso de Tecnologías de La Información Geográfica. TIG al Servicio de Los ODS Zaragoza, 12 a 14 de Septiembre de 2022. <https://doi.org/10.26754/UZ.978-84-18321-49-8>
- Fernández, R. M. (2023). Capítulo 2. Platós Virtuales de Televisión: arquitectura, funcionamiento y tecnologías implicadas en la creación de contenidos audiovisuales en realidad mixta en tiempo real. Espe-

- jo de Monografías de Comunicación Social, 15, 37-52. <https://doi.org/10.52495/C2.EMCS.15.C45>
- Gama-Moreno, L. A., Plazola Soltero, V. H., Murguía Vadillo, C. G., Martínez Hernández, C., & López Carrillo, E. (2022). Prototipo de Cámara Infrarroja para obtener el Índice NDVI en Agricultura de Precisión. *Programación Matemática y Software*, 14(1). <https://doi.org/10.30973/progmat/2022.14.1/2>
- Giménez-Gallego, J., González-Teruel, J. D., Toledo-Moreo, A. B., Jiménez-Buendía, M., Soto-Valles, F., & Torres-Sánchez, R. (2022). Segmentación en imagen de frutos de granado usando deep learning con aplicación en agricultura de precisión. *XLIII Jornadas de Automática: Libro de Actas: 7, 8 y 9 de Septiembre de 2022, Logroño (La Rioja)*, 1001–1006. <https://doi.org/10.17979/SPUDC.9788497498418.1001>
- Giraldo, R. A. D., De León, M. Á., Castillo, Á. R., López, O. P., Rocha, E. C., & Asprilla, W. P. (2023). Estimation of forage availability and parameters associated to the nutritional quality of *Urochloa humidicola* cv Llanero based on multispectral images. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 11(1), 61-74. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(11\)61-74](https://doi.org/10.17138/TGFT(11)61-74)
- Grid Mission Designer. (n.d.). Retrieved June 3, 2024, from <https://ancient.land/>
- Guevara-Bonilla, M., Ortiz-Malavasi, E., Hernández-Cole, J., & Villalobos-Barquero, V. (2023). *Revista Colombia Forestal*. Colombia Forestal, 26(1), 123–133. <https://doi.org/10.14483/2256201X.19250>
- Gutiérrez Arce, F., Gutiérrez Arce, W., Rojas Vásquez, Z., Vallejos Fernández, L., & Álvarez García, W. (2020). Inserción de nuevas tecnologías en el estudio de indicadores productivos de la pastura, en Cajamarca. *REVISTA PERSPECTIVA*, 20(4), 383–387. <https://doi.org/10.33198/rp.v20i2.00051>
- Guzman-Alvarez, J. A., González-Zuñiga, M., Fernandez, J. A. S., & Calvo-Alvarado, J. C. (2022). Use of remote sensing in agriculture: Applications in banana crop. *Agronomía Mesoamericana*, 48279–48279. <https://doi.org/10.15517/AM.V33I3.48279>
- Rico-Mendoza, I. H., Reyna-Rodríguez, M., Morales-Díaz, B. A., Ordaz Hernández, K., & Treesatayapun, C. (2022). Navegación autónoma en interiores basada en localización visual. *Pädi Boletín Científico*

- de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI, 10(Especial5), 146–151. <https://doi.org/10.29057/ICBI.V10IESPECIAL5.10112>
- Liang, H., Yang, G., Dai, H., Yang, H., Xu, B., Feng, H., Li, Z., & Yang, X. (2019). Fuzzy clustering of maize plant-height patterns using time series of UAV remote-sensing images and variety traits. *Frontiers in Plant Science*, 10, 461398. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2019.00926/BIBTEX>
- Litchi for DJI Drones. (s. f.). Retrieved June 3, 2024, from <https://flylitchi.com/>
- Lorente Rubio, C., Niño Martín, D., Sáenz-Díez Muro, J. C., Jiménez Macías, E., & Blanco Fernández, J. (2022). Desarrollo de escaparate virtual para tienda de moda mediante dispositivo KINECT®. XLIII Jornadas de Automática: Libro de Actas: 7, 8 y 9 de Septiembre de 2022, Logroño (La Rioja), 908–920. <https://doi.org/10.17979/SPU-DC.9788497498418.0908>
- Lussem, U., Hollberg, J., Menne, J., Schellberg, J., & Bareth, G. (2017). Using Calibrated Rgb Imagery From Low-Cost Uavs For Grassland Monitoring: Case Study At The Rengen Grassland Experiment (Rge), Germany. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2-W6(2W6), 229–233. <https://doi.org/10.5194/ISPRS-ARCHIVES-XLII-2-W6-229-2017>
- Muñoz, S. D. V., Zannatha, J. M. I., & González-Miranda, O. (2022). Desarrollo de un sistema de navegación autónoma para un robot móvil basado en una cámara RGB-D. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 10(Especial5), 140–145. <https://doi.org/10.29057/ICBI.V10IESPECIAL5.10142>
- Ndlovu, H. S., Odindi, J., Sibanda, M., Mutanga, O., Clulow, A., Chimonyo, V. G. P., & Mabhaudhi, T. (2021). A Comparative Estimation of Maize Leaf Water Content Using Machine Learning Techniques and Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-Based Proximal and Remotely Sensed Data. *Remote Sensing*, 13(20), 4091. <https://doi.org/10.3390/RS13204091>
- Orozco, Ó. A., & Llano Ramírez, G. (2016). Sistemas de Información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión. *Revista Ingenierías Universidad de*

- Medellín, 15(28), 103–124. <https://doi.org/10.22395/rium.v15n28a6>
- Ponce, P., Chulde, M. P., & Bustamante, M. O. (2022). Segmentación de imágenes agrícolas adquiridas con drone mediante algoritmos paralelos. *Innovation & Development In Engineering And Applied Sciences*, 4(2), 16–16. <https://doi.org/10.53358/IDEAS.V4I2.861>
- Ponce, P., PUSDÁ Chulde, M., & Ortega Bustamante, M. (2023). Segmentación de imágenes agrícolas adquiridas con drone mediante algoritmos paralelos. *Innovation & Development In Engineering And Applied Sciences*, 4(2). <https://doi.org/10.53358/ideas.v4i2.861>
- Qu, X., Shi, D., Gu, X., Sun, Q., Hu, X., Yang, X., & Pan, Y. (2022). Monitoring Lodging Extents of Maize Crop Using Multitemporal GF-1 Images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 3800–3814. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2022.3170345>
- Ramírez-Rojas, C., Peña-Valdivia, C. B., García-Esteva, A., & Padilla-Chacón, D. (2022). Fenotipo de plantas de maíz con efecto del herbicida mesotrione. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(8), 1399–1410. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V13I8.2886>
- Ramos Cruz, C. M., Ramos-Cruz, C. M., Trucios-Caciano, R., Raquel Pérez-Evangelista, E., Miguel-Valle, E., & Delgado-Ramírez, G. (2022). Uso de imágenes captadas mediante UAV para estimar el estado general de huertas citrícolas: TECNOCENCIA Chihuahua, 16(2), e1007–e1007. <https://doi.org/10.54167/TCH.V16I2.1007>
- Ribeiro Gomes, K., Hernández Lopez, D., Ballesteros González, R., & Moreno Hidalgo, M. (2015). Desarrollo de una metodología para la optimización del flujo de trabajo en la adquisición y tratamiento de imágenes de alta resolución con vehículos aéreos no tripulados. 481–487. <https://doi.org/10.4995/cnriegos.2015.1467>
- Rodríguez Alonso, D., & Cabrejo Paredes, J. (2022). Excelente confiabilidad de la cámara termográfica de bolsillo para apoyar el diagnóstico de la neuropatía periférica diabética en atención primaria. *Revista Médica Vallejana / Vallejian Medical Journal*, 11(2), 11–20. <https://doi.org/10.18050/REVISTAMEDICAVALLEJANA.V11I2.01>
- sct11_C. (2019). https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/8006/sct11_C/sct11_C.html

- Shukla, M., Sadhu, A. C., Patel, P., & Mevada, K. D. (2022). Effect of Inclusion of Legumes in Cropping System and their Residue Incorporation on the Yield of Maize. *LEGUME RESEARCH - AN INTERNATIONAL JOURNAL*, Of. <https://doi.org/10.18805/LR-4868>
- Torres-Madronero, M. C., Goez, M., Guzman, M. A., Rondon, T., Carmona, P., Acevedo-Correa, C., Gomez-Ortega, S., Durango-Flórez, M., López, S. V., Galeano, J., & Casamitjana, M. (2022). Spectral Library of Maize Leaves under Nitrogen Deficiency Stress. *Data*, 8(1), 2. <https://doi.org/10.3390/DATA8010002>
- Vega-Puga, M., Romo-Leon, J. R., Castellanos, A. E., Castillo-Gómez, R. A., Garatuza-Payán, J. y Ángeles-Pérez, G. (2023). Uso de imágenes aéreas de alta resolución para la detección de cambios en el almacén de carbono en biomasa aérea en comunidades semiáridas, tras la introducción de la especie exótica *Cenchrus ciliaris*. *Botanical Sciences*, 101(1), 41-56. <https://doi.org/10.17129/BOTSCI.3026>
- Villar, F. A., Candelario, S., & Díaz, J. (2023). Drones, fotogrametría y Sistemas de Información Geográfica. Algunos aportes a la arqueología de contextos industriales. *Comechingonia. Revista de Arqueología*, 27(1), 35–50. <https://doi.org/10.37603/2250.7728.V27.N1.38136>
- Wahab, I., Hall, O., & Jirström, M. (2018). Remote Sensing of Yields: Application of UAV Imagery-Derived NDVI for Estimating Maize Vigor and Yields in Complex Farming Systems in Sub-Saharan Africa. *Drones*, 2(3), 28. <https://doi.org/10.3390/DRONES2030028>
- Wei, L., Song, X., & Yang, H. (2023). Extraction of maize planting area based on transformer and remote sensing data. <https://doi.org/10.1117/12.2689430>, 12748, 381–386. <https://doi.org/10.1117/12.2689430>

