

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 1 de 12

21.1

FECHA	viernes, 16 de diciembre de 2022
--------------	----------------------------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Sede Fusagasugá
TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo De Grado
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Agronómica

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Ramirez Mendez	Andres Felipe	1069764050
Lozano Sandoval	David Santiago	1069761793

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Valencia Achuri	Paola Andrea

TÍTULO DEL DOCUMENTO
Tecnologías de precisión en el cultivo de Maíz (<i>Zea mays</i>)

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 2 de 12

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

EXCLUSIVO PARA PUBLICACIÓN DESDE LA DIRECCIÓN INVESTIGACIÓN	
INDICADORES	NÚMERO
ISBN	
ISSN	
ISMN	

AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
16/11/2022	15

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1. Tenologias	Technologies
2. Evolución	Evolution
3. Índices de vegetación	Vegetation indices
4. Agroindustria	Agroindustry

FUENTES (Todas las fuentes de su trabajo, en orden alfabético)
<p>Adam, D. (2021). How far will the global population rise? . <i>Nature</i>.</p> <p>Ahirwar, S. S. (2019). Application of drone in agriculture. <i>International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences</i>.</p> <p>Aldana, Y. A. (2020). Drones y procesamiento de imágenes, una alternativa a la erradicación de malezas. <i>Indagare</i>.</p> <p>Anshori, M. F. (2021). A new approach to select doubled haploid rice lines under salinity stress using indirect selection index. <i>Rice Science</i>.</p> <p>Araya-Alman, M. L.-O.-G.-V. (2019). A new localized sampling method to improve grape yield estimation of the current season using yield historical data. <i>Precision Agriculture</i>.</p>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 3 de 12

- Avery, A. (2007). Organic abundance report: fatally flawed. *Renewable Agric. Food Systems*.
- Bahtiar, B. Z. (2020). Advantages of Hybrid Corn Seed Production Compared to Corn Grain. *International Journal of Agriculture System*.
- Benincasa, P. A. (2018). Reliability of NDVI derived by high resolution satellite and UAV compared to in-field methods for the evaluation of early crop N status and grain yield in wheat. *Experimental Agriculture*.
- Bieganowski, A. D.-B.-Z. (2021). Sensor-based outdoor monitoring of insects in arable crops for their precise control. *Pest Management Science*.
- Bock, C. H. (2010). Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging. *Critical reviews in plant sciences*.
- Brewer, K. C. (2022). Estimation of maize foliar temperature and stomatal conductance as indicators of water stress based on optical and thermal imagery acquired using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) platform. *Drones*.
- CINU (Centro de Información de las Naciones Unidas). (2011). Alimentación.
- Dai, Y. D. (2004). A two-big-leaf model for canopy temperature, photosynthesis, and stomatal conductance. *Journal of climate*.
- de Castro, A. I. (2021). UAVs for vegetation monitoring: overview and recent scientific contributions. *Remote Sensing*.
- Du Plessis, J. (2003). *Maize production*. Pretoria, South Africa: Department of Agriculture.
- El-Hendawy, S. E.-S. (2019). Potential of the existing and novel spectral reflectance indices for estimating the leaf water status and grain yield of spring wheat exposed to different irrigation rates. *Agricultural Water Management*.
- Emsley, J. (2001). Enriching the earth: Fritz, H. and Bosch, C. and the transformation of world food. *Nature*.
- Espinosa, J. &. (2009). Herramientas para mejorar la eficiencia de uso de nutrientes en maíz.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2009). How to feed the world in 2050. https://doi.org/http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_
- FAO. (2017). *Base de datos de la producción agropecuaria*.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 4 de 12

- Farid, M. N. (2020). Genetic parameters and multivariate analysis to determine secondary traits in selecting wheat mutant adaptive on tropical lowlands. *Plant breeding and biotechnology*.
- Fellahi, Z. E. (2018). Analysis of direct and indirect selection and indices in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) segregating progeny. *International Journal of Agronomy*.
- Feng, J. S. (2022). Autonomous Detection of *Spodoptera frugiperda* by Feeding Symptoms Directly from UAV RGB Imagery. *Applied Sciences*.
- Feng, J. S. (2022). Autonomous Detection of *Spodoptera frugiperda* by Feeding Symptoms Directly from UAV RGB Imagery. *Applied Sciences*.
- Gitelson, A. A. (2005). Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophysical Research Letters*.
- Gu, Y. W. (2013). NDVI saturation adjustment: A new approach for improving cropland performance estimates in the Greater Platte River Basin, USA. *Ecological Indicators*.
- Hall, O. &. (2016). The challenge of comparing crop imagery over space and time. *ICT Update*.
- Hall, O. D. (2018). Classification of maize in complex smallholder farming systems using UAV imagery. *Drones*.
- Huete, A. D. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*.
- Husserl, J. &. (2018). ARROZ BLANQUITA: Construyendo comunidad, oportunidades y crecimiento para los pequeños agricultores. *Revista de Ingeniería*, 32-41.
- Isla Climente, R. Q.-M. (2011). Utilización de imágenes aéreas multispectrales para evaluar la disponibilidad de nitrógeno en maíz.
- Jackson, R. D. (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water resources research*.
- Kassahun, B. M. (2013). Correlation studies and path coefficient analysis for seed yield and yield components in Ethiopian coriander accessions. *African Crop Science Journal*.
- Khoirunisa, H. &. (2019). Penggunaan Drone dalam Mengaplikasikan Pestisida di Daerah Sungai Besar, Malaysia. *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat (PIM)*.
- Laraswati, A. A. (2021). Image Based-Phenotyping and Selection Index Based on Multivariate Analysis for Rice Hydroponic Screening under Drought Stress. *Plant breeding and biotechnology*.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 5 de 12

- Li, W. C. (2019). Automatic localization and count of agricultural crop pests based on an improved deep learning pipeline. *Scientific reports*.
- Li, X. J. (2021). Drip application of chlorantraniliprole effectively controls invasive *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its distribution in maize in China. *Crop Protection*.
- Lima, M. C. (2020). Automatic detection and monitoring of insect pests—a review. *Agriculture*.
- Maresma, Á. A.-C. (2016). Analysis of vegetation indices to determine nitrogen application and yield prediction in maize (*Zea mays* L.) from a standard UAV service. *Remote Sensing*.
- Matese, A. T. (2015). Intercomparison of UAV, aircraft and satellite remote sensing platforms for precision viticulture. *Remote Sensing*.
- Mochammad Abduh, A. D. (2021). Interaction of Genetic and Cultivation Technology in Maize Prolific and Productivity Increase. *Pakistan Journal of Biological Sciences*.
- Mogili, U. R. (2018). Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia computer science*.
- Nanni, L. M. (2019). Research on insect pest image detection and recognition based on bio-inspired methods. <https://doi.org/arXiv preprint arXiv:1910.00296>.
- Nguy-Robertson, A. G. (2012). Green leaf area index estimation in maize and soybean: Combining vegetation indices to achieve maximal sensitivity. *Agronomy journal*.
- Pablos Andrés, D. (2016). Seguimiento de cultivos de maíz mediante tecnología UAV.
- Paliwal, R. (2001). *Introducción al maíz y su importancia. En: El maíz en los tropicos: mejoramiento y producción*.
- Panday, U. S. (2020). A review on drone-based data solutions for cereal crops. *Drones*.
- Pasqualotto, N. D. (2018). Retrieval of canopy water content of different crop types with two new hyperspectral indices: Water Absorption Area Index and Depth Water Index. *International journal of applied earth observation and geoinformation*.
- Pes, M. P. (2020). Translocation of chlorantraniliprole and cyantraniliprole applied to corn as seed treatment and foliar spraying to control *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *PLoS One*.
- Portafolio. (2019). *Las tecnologías que podrán 'salvar' el agro colombiano*.
- Rokhmana, C. A. (2015). The potential of UAV-based remote sensing for supporting precision agriculture in Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 6 de 12

- S.A. Saseendran, T. T. (2015). Quantifying crop water stress factors from soil water measurements in a limited irrigation experiment. *Agricultural Systems*, 191-205. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.11.005>.
- Salamí, E. B. (2014). UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas. *Remote Sensing*.
- Salamí, E. B. (2014). UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas. *Remote Sensing*.
- Selvaraj, M. G. (2019). AI-powered banana diseases and pest detection. *Plant Methods*.
- Song, Y. (2016). Evaluation of the UAV-based multispectral imagery and its application for crop intra-field nitrogen monitoring and yield prediction in Ontario.
- Syngenta. (2017). *Importancia del control temprano de malezas*.
- Taghvaeian, S. C. (2014). Minimizing instrumentation requirement for estimating crop water stress index and transpiration of maize. *Irrig Sci*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00271-013-0415-z>
- Tirado, S. B. (2020). UAV-based imaging platform for monitoring maize growth throughout development. *Plant Direct*.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*.
- Vallejos Zarco, H. (2017). Delimitación de zonas de manejo en agricultura de precisión a partir de adquisición remota de imágenes mediante vehículos aéreos no tripulados.
- Vega, F. A. (2015). Multi-temporal imaging using an unmanned aerial vehicle for monitoring a sunflower crop. *Biosystems Engineering*.
- Wahab, I. H. (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*.
- Walker. (2016). Population growth and its implications for global security. *The American Journal of economic and sociology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ajes.12161>
- Yang, G. L. (2017). Unmanned aerial vehicle remote sensing for field-based crop phenotyping: current status and perspectives. *Frontiers in plant science*.
- Zafar, M. M. (2021). Exploiting Agronomic and Biochemical Traits to Develop Heat Resilient Cotton Cultivars under Climate Change Scenarios. *Agronomy*.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 7 de 12

- Zhang, C. K. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agric.* <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>
- Zhang, C. W. (2014). Applications of low altitude remote sensing in agriculture upon farmers' requests—a case study in northeastern Ontario, Canada. *PloS one.*
- Zhang, F. &. (2019). Estimation of vegetation water content using hyperspectral vegetation indices: A comparison of crop water indicators in response to water stress treatments for summer maize. . *BMC ecology.*
- Zhang, X. Q. (2018). Identification of maize leaf diseases using improved deep convolutional neural networks. *Ieee Access.*
- Zhang, X. Z. (2022). Combining spectral and texture features of UAS-based multispectral images for maize leaf area index estimation. . *Remote Sensing.*

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

En este documento de reseña histórica, se permite informar parte de la evolución del sector maicero en la adopción de tecnologías de precisión, enfocadas al mejoramiento en el proceso de producción del cultivo. Con el pasar del tiempo se ha generado la necesidad de optar por incursiones tecnológicas debido a los avances en esa materia, donde el análisis de rendimientos, control de plagas y enfermedades, resultados de variables fisicoquímicas, generación de mapas, índices de vegetación, entre otros, son algunos de los aspectos que pueden ser tratados a profundidad a través de nuevas herramientas tecnológicas ofrecidas por la agricultura de precisión (Vallejos, 2017).

La metodología desarrollada bajo el enfoque cualitativo, se basó en la consulta de artículos científicos y bibliografía en torno a la tecnología de precisión en el cultivo del maíz, en las principales bases de datos Scopus, Web of science, Scielo, concluyendo con una matriz de Excel para organizar el cumulo de información obtenida y se seleccionó la información relacionada con agricultura de precisión, drones y cultivo de maíz en una ventana de tiempo considerable a los inicios de la incursión de tecnologías en el cultivo del maíz y algunos de sus nuevos métodos de recolección de datos, se redactó el documento con la ayuda de herramientas de citación como Mendeley y finalmente se realizó la discusión de los resultados lo que posteriormente genera conclusiones dentro de las que se destacan el gran potencial de los productores maiceros a la hora de evolucionar a través de las necesidades agroindustriales y, por consiguiente, la aplicación de tecnologías en el campo

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 8 de 12

agrícola, con referentes tecnologías aplicadas a otros cultivos, pero con convencimiento de trabajo en este sector.

In this historical review document, it is possible to report part of the evolution of the maize sector in the adoption of precision technologies, focused on improving the production process of the crop. With the passage of time, the need to opt for technological incursions has been generated due to advances in this area, where the analysis of yields, pest and disease control, results of physicochemical variables, generation of maps, vegetation indices, among others, are some of the aspects that can be treated in depth through new technological tools offered by precision agriculture (Vallejos, 2017).

The methodology developed under the qualitative approach was based on the consultation of scientific articles and bibliography about precision technology in corn cultivation, in the main databases Scopus, Web of science, Scielo, concluding with a matrix of Excel to organize the accumulation of information obtained and the information related to precision agriculture, drones and maize cultivation was selected in a considerable time window at the beginning of the incursion of technologies in corn cultivation and some of its new methods of data collection, the document was drafted with the help of citation tools such as Mendeley and finally the discussion of the results was carried out, which later generates conclusions within which the great potential of corn producers is highlighted when it comes to evolve to through agro-industrial needs and, consequently, the application of technologies in the agricultural field, with referent technologies applied to other crops, but with the conviction of working in this sector.

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2. La comunicación pública, masiva por cualquier procedimiento o medio físico, electrónico y digital.	X	

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 9 de 12

3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 10 de 12

está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI ___ **NO** X.

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos) en carta adjunta, expedida por la entidad respectiva, la cual informa sobre tal situación, lo anterior con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales.

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca

Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414

www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co

NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 11 de 12

Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

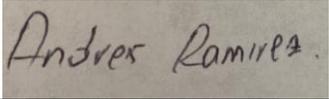
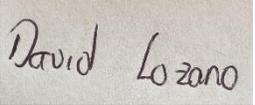
Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. Nombre completo del proyecto.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Tecnologías de precisión en el cultivo de Maíz (<i>Zea mays</i>)	Texto

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 12 de 12

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafo)
Ramírez Méndez Andrés Felipe	
Lozano Sandoval David Santiago	

21.1-51-20.

Tecnologías de precisión en el cultivo de Maíz (*Zea mays*)

Andrés Felipe Ramírez Mendez¹; David Santiago Lozano Sandoval². Paola Andrea Valencia Achuri³

¹ Estudiante del programa de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, afamirez@ucundinamarca.edu.co

² Estudiante del programa de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, dslozano@ucundinamarca.edu.co

³ Docente e investigadora programa Tecnología en Cartografía, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá pvalencia@ucundinamarca.edu.co

Resumen

En este documento de reseña histórica, se permite informar parte de la evolución del sector maicero en la adopción de tecnologías de precisión, enfocadas al mejoramiento en el proceso de producción del cultivo. Con el pasar del tiempo se ha generado la necesidad de optar por incursiones tecnológicas debido a los avances en esa materia, donde el análisis de rendimientos, control de plagas y enfermedades, resultados de variables fisicoquímicas, generación de mapas, índices de vegetación, entre otros, son algunos de los aspectos que pueden ser tratados a profundidad a través de nuevas herramientas tecnológicas ofrecidas por la agricultura de precisión (Vallejos, 2017).

La metodología desarrollada bajo el enfoque cualitativo, se basó en la consulta de artículos científicos y bibliografía en torno a la tecnología de precisión en el cultivo del maíz, en las principales bases de datos Scopus, Web of science, Scielo, concluyendo con una matriz de Excel para organizar el cumulo de información obtenida y se seleccionó la información relacionada con agricultura de precisión, drones y cultivo de maíz en una ventana de tiempo considerable a los inicios de la incursión de

tecnologías en el cultivo del maíz y algunos de sus nuevos métodos de recolección de datos, se redactó el documento con la ayuda de herramientas de citación como Mendeley y finalmente se realizó la discusión de los resultados lo que posteriormente genera conclusiones dentro de las que se destacan el gran potencial de los productores maiceros a la hora de evolucionar a través de las necesidades agroindustriales y, por consiguiente, la aplicación de tecnologías en el campo agrícola, con referentes tecnologías aplicadas a otros cultivos, pero con convencimiento de trabajo en este sector.

Palabras claves: Tecnologías, Evolución, Índices de vegetación, Agroindustria

In this historical review document, it is possible to report part of the evolution of the maize sector in the adoption of precision technologies, focused on improving the production process of the crop. With the passage of time, the need to opt for technological incursions has been generated due to advances in this area, where the analysis of yields, pest and disease control, results of physicochemical variables, generation of maps, vegetation indices, among others, are some of the aspects that can be treated in depth through new

Corresponding author:

Name SURNAME

Street address

City, Country, Postal Code

(+4877) 423-40-31

mper@univtech.eu

technological tools offered by precision agriculture (Vallejos, 2017).

The methodology developed under the qualitative approach was based on the consultation of scientific articles and bibliography about precision technology in corn cultivation, in the main databases Scopus, Web of science, Scielo, concluding with a matrix of Excel to organize the accumulation of information obtained and the information related to precision agriculture, drones and maize cultivation was selected in a considerable time window at the beginning of the incursion of technologies in corn cultivation and some of its new methods of data collection, the document was drafted with the help of citation tools such as Mendeley and finally the discussion of the results was carried out, which later generates conclusions within which the great potential of corn producers is highlighted when it comes to evolve to through agro-industrial needs and, consequently, the application of technologies in the agricultural field, with referent technologies applied to other crops, but with the conviction of working in this sector.

Keywords: Technologies, Evolution, Vegetation indices, Agroindustry

Introducción

La evolución de la agricultura como fuente básica de obtención de alimento se ha evidenciado no solo en la forma en la que se siembran los alimentos o en la que se recogen al terminar un ciclo de producción, sino también en las etapas de desarrollo de los cultivos (Portafolio, 2019).

El maíz es el principal cereal cultivado en el ámbito mundial, en los últimos cinco años el promedio de producción de maíz superó en el mismo periodo en un 23% al promedio registrado por el cultivo de trigo (FAO, 2017). Este cereal se cultiva en una gran diversidad de ambientes ecológicos, superior a la de cualquier otro cultivo, desarrollándose desde los 58° de latitud norte en Canadá y Rusia, hasta los 40° de latitud sur y desde altitudes por debajo del nivel

del mar como lo son las planicies del Caspio, y superior a los 3800 msnm en la cordillera de los Andes (Paliwal, 2001)

En la actualidad, con los nuevos problemas económicos, productivos y ambientales, han aparecido nuevas soluciones que incluyen tecnologías que ofrecen mejores resultados en cuanto a tiempo y costo de producción (Syngenta, 2017) y que prometen minimizar el impacto ambiental y maximizar las ganancias, gracias a que las nuevas tecnologías, permiten por un lado obtener modelos bidimensionales y tridimensionales de los cultivos, lo cual les permiten planear y diseñar los lotes de acuerdo con las propiedades del terreno (Husserl, 2018).

Una de las soluciones para la disminución de tiempos de aplicación y costos de producción, es el uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT) o mayormente conocidos como drones, que principalmente ayudan a la obtención de fotografías que al ser procesadas ayudan a detectar e identificar zonas que requieran atención (Aldana, 2020). Adicionalmente, a la identificación de zonas problemáticas en los cultivos, los drones permiten detectar tempranamente zonas con bajo crecimiento y problemáticas en el estado físico-químico de las plantas, como cambios de color en las plantas, deficiencia nutricional, ataque de insectos e incidencia y severidad de enfermedades (Zhang C. K., 2012; Espinosa, 2009), lo cual cobra importancia porque al detectar tempranamente las enfermedades evitarán la propagación de estas y reducirá las pérdidas que conlleva en los cultivos. Con el pasar de los años se ha logrado varias evoluciones en los drones, llegando al punto de incorporar atomizadores o rociadores de alta precisión para procesos de aspersión o entrega puntualizada, donde se ha demostrado un impacto altamente favorable en la producción de cultivos gracias a la velocidad en la precisión (Mogili, 2018).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es presentar las diferentes utilidades de la agricultura de precisión con respecto al uso de drones en el cultivo de maíz (*Zea mays*),

encontrados en los diferentes trabajos investigativos a nivel mundial.

Materiales y Métodos

Esta investigación, de tipo cualitativo de carácter analítico, basada en revisión documental cuyo objetivo es realizar una revisión bibliográfica sobre el uso de drones en el cultivo de maíz (*Zea mays*), lo cual, permitirá un primer acercamiento al problema que se pretende abordar en el aporte de las tecnologías a la agricultura de precisión e igualmente permite generar una perspectiva de diferentes maneras de utilidad de estas tecnologías.

La presente investigación, se desarrolló en 2 etapas:

1. Identificación de referentes metodológicos en tecnologías de agricultura de precisión en el cultivo de maíz.
2. Cuadro comparativo de los referentes: Adinarayana Jagarlapudi – Rohit Pingale - Raj Rahul - Walker Jeffrey – Zarco-Tejada Pablo, entre otros, que exponen diversos aportes sobre agricultura de precisión en el cultivo de interés.

Etapas 1: Se establece el tema a investigar, y se realiza una primera consulta en bases de datos especializadas Scopus, web of Science, Scielo donde es posible establecer las fuentes claves, relacionadas con el uso de drones en el cultivo de maíz, se consulta palabras clave “drone AND UAS” (se obtuvieron 1136 resultados), “drone AND UAS AND maize” (se encontraron 60 resultados).

Etapas 2: En esta etapa se establece el universo investigado y se recopila la información en una matriz bibliográfica en editor de texto CSV, donde para el caso de artículos científicos se relaciona, tipo de material (artículo, libros, memoria de conferencia), autor(es), título del documento, palabras clave, resumen,

definiciones y conceptos, métodos-técnicas y herramientas, fecha de publicación, URL, DOI, Base de Datos o revista, versión y número, se desarrolla la referencia bajo las norma APA v. 7; para el caso de fuente bibliográfica, se relaciona autor(es), título, resumen, definiciones y conceptos, metodología, aspectos claves en la temática

Una vez desarrolladas las matrices, se procede a extraer los textos o frases que resultan relevantes para el objeto de la investigación, se realiza análisis de los conceptos y experiencias emitidas por los autores, se realiza comparaciones o similitudes y se redacta de forma que pueda ser analizados los discursos bajo una lógica e hilo conductor que conlleve a una conclusión por sí mismo. Finalmente se construye el artículo junto con sus referencias.

Resultados

Según Adam (2021), la población mundial alcanzará los 9.700 millones en 2070, lo que indica que la estabilidad y seguridad alimentaria será el principal problema en muchos países en un futuro cercano (Walker, 2016). La causa principal de la crisis alimentaria en el mundo, no será un problema de producción sino de inequidad en el acceso y la distribución de los alimentos. Donde la seguridad alimentaria estará relacionada también con la nutrición y salud. Es decir, que, a pesar de la sobreproducción mundial de alimentos, la situación de hambre ha empeorado, con cerca de mil millones de personas en esta condición a nivel mundial (FAO, 2009; CINU, 2011). Esto obliga a diseñar estrategias que permitan enfrentar el reto de la seguridad alimentaria, no sólo en cómo producir los alimentos sino cómo lograr mayor disponibilidad de alimentos en un escenario de recursos limitados (suelo, agua) y cambio climático, es por ello que aparece el concepto de resiliencia que se basa en el aumento sostenible de la producción de los principales cereales como el maíz, el trigo y el arroz. El maíz es un grano básico para la alimentación, tiene un papel importante y vital en el mantenimiento del

equilibrio en la seguridad alimentaria mundial (Bahtiar, 2020; Abduh, 2021). Por lo tanto, el aumento de la producción de maíz ha sido una prioridad en muchos países, no obstante, Emsley (2001) y Avery (2007) manifiestan serias dudas de que métodos alternativos puedan satisfacer las necesidades de producción de alimentos para una población mundial creciente y sostienen que sólo la agricultura industrial (Revolución verde) será capaz de producir en cantidad suficiente los alimentos para la población global futura.

El uso de drones es una excelente estrategia para mitigar la necesidad alimentaria ya que tiene su mayor utilidad en el área agrícola, ofreciéndole gran precisión, pues se utiliza para monitorear y predecir el rendimiento de los cultivos, las afectaciones en el recurso suelo, así como la identificación de la necesidad y el impacto de la fertilización y los pesticidas (Ahirwar, 2019; Khoirunisa, 2019). Sumado a esto, la tecnología de drones se convierte en una herramienta importante y clave, pues proporciona información analítica relacionada con el estado del cultivo a través de imágenes aéreas (Rokhmana, 2015). A continuación, se revisarán los principales problemas y/o soluciones de los cultivos altamente observables a través de drones.

Estrés hídrico

El maíz requiere entre 450 y 600 mm de agua por temporada, ya que es sensible al estrés hídrico, especialmente durante las etapas de espigamiento, floración y polinización (Taghvaeian, 2014). En la madurez fisiológica, un solo cultivo de maíz requiere aproximadamente 250 L de agua para producir aproximadamente 15 kg de grano por cada milímetro de agua consumido (Du Plessis, 2003). Los déficits de agua dan como resultado que las

células de los estomas, que se encuentran en la epidermis de la hoja, se cierran para reducir la pérdida de humedad a través de la transpiración, lo que resulta en un aumento de la temperatura de la hoja debido a la conductancia e humedad limitada disponible para enfriar la superficie de la hoja (Zhang, 2019; Saseendran, 2015). Por lo tanto, la determinación de la temperatura foliar y la conductancia estomática se utilizan a menudo como indicadores para la detección casi en tiempo real del estrés hídrico del cultivo que puede ayudar a los pequeños agricultores a adoptar medidas para mitigar las pérdidas y optimizar el rendimiento (Jackson, 1981; Dai, 2004).

Según El-Hendawy (2019), varias regiones multispectrales del espectro electromagnético son indicadores indirectos de estrés hídrico y útiles para cuantificar el contenido de agua del cultivo a través de los atributos bioquímicos de la hoja (El-Hendawy, 2019). Específicamente, las longitudes de onda visible (azul, verde, rojo) y el infrarrojo cercano (NIR) tienen un gran potencial para la predicción del agua debido a su absorción de agua a través de pigmentos de hojas como la clorofila (Pasqualotto, 2018). Además, la porción térmica infrarroja del espectro electromagnético se correlaciona directamente con indicadores del contenido de agua, como la temperatura y la actividad de los estomas, esto se puede observar a través de la imagen de Temperatura foliar del maíz sobre el campo de minifundistas para etapas vegetativas (Imagen No.1), por lo tanto es competente en el análisis de los atributos de temperatura. Por lo tanto, el mapeo y análisis precisos de los campos agrícolas de maíz utilizando un UAV óptico e infrarrojo térmico tiene un potencial significativo para proporcionar datos que informen a los pequeños agricultores sobre el posible estrés hídrico de los cultivos.

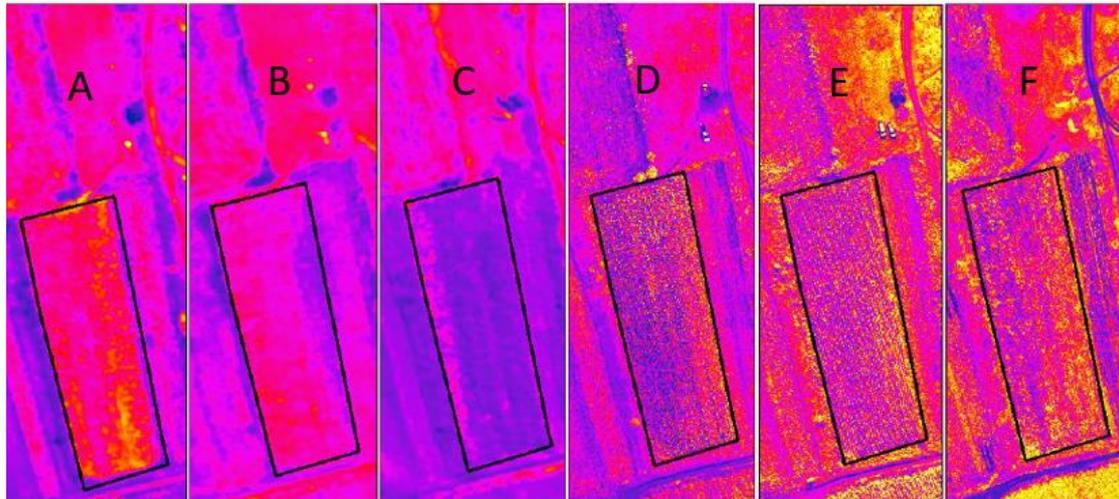


Imagen No.1 Temperatura foliar del maíz sobre el campo de minifundistas para etapas vegetativas (A) vegetativo temprano, (B) vegetativo medio, (C) vegetativo tardío y etapas reproductivas, (D) reproducción temprana, (E) reproducción media, (F) reproductiva tardía (Brewer, 2022).

Control de plagas

Se han realizado varios estudios de investigación centrados en la identificación de plagas y enfermedades que afectan a las hojas de las plantas. La mayoría de los datos de imágenes provienen de sensores terrestres, como teléfonos móviles y cámaras digitales (Nanni, 2019; Li, 2019), y una pequeña parte de este es recolectado por vehículos aéreos no tripulados (UAV), que pertenecen a la tecnología de sensores remotos (RS) (Zhang X. Q., 2018; Selvaraj, 2019). RS se ha adoptado con frecuencia como un medio rápido, no destructivo y rentable para Detección de enfermedades y plagas de plantas que se puede adaptar a diferentes escenarios y diferentes objetos (Salamí, 2014; Matese, 2015).

En comparación con la teledetección satelital y la teledetección aérea, los UAV tienen grandes ventajas en términos de costo, operación, transporte, etc. (Matese, 2015), y se han utilizado ampliamente en la clasificación de cultivos, el control del crecimiento, la estimación del rendimiento y otros aspectos, especialmente para campos grandes (Zhang X. Z., 2022).

En comparación con los estudios de enfermedades, las plagas de insectos son más flexibles. Hay dos enfoques principales para la identificación de insectos (Lima, 2020): (1) directos, centrados en la ontología de los insectos, e (2) indirectos, que se centran en los daños causados por los insectos (Bieganowski, 2021).

Según estudios realizados por Li (2021), el clorantropilprol aplicado mediante aspersión artificial tuvo una mayor eficacia de control contra *S. frugiperda* que el de la fumigación con UAV. Esto se debió a que la fumigación con UAV no pudo rociar uniformemente sobre las hojas de las partes media e inferior del maíz (Pes, 2020), y los drones se ven fácilmente afectados por factores ambientales como el viento y la temperatura.

Por otra parte, gracias a la imagen de Mapa de atención basado en CAM (Mapa de Activación de Clase basado en el gradiente promedio) (Imagen No.2) se puede identificar el objetivo de manera más precisa y cercana, es decir, fue posible evidenciar de manera más fácil los ataques de insecto plaga.

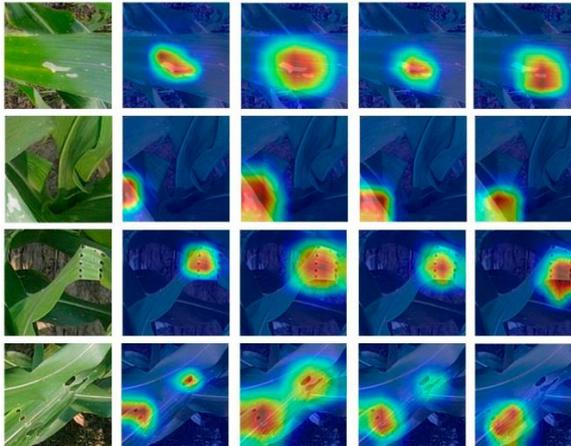


Imagen No.2 Mapa de atención basado en CAM (Mapa de Activación de Clase basado en el gradiente promedio) graduado (Feng J. S., 2022)

Teniendo en cuenta lo anterior y con base en las eficacias de control, la fumigación artificial y la fumigación con vehículos aéreos no tripulados proporcionaron un control más rápido que el riego por goteo. Sin embargo, el clorantraniliprol aplicado a través del riego por goteo dio como resultado una mayor eficacia de control que la fumigación artificial y la fumigación con vehículos aéreos no tripulados después del día 7 y proporcionó una eficacia de control más prolongada que la fumigación.

Índices de vegetación

En los últimos cinco años, varios investigadores han informado sobre la aplicabilidad de UAV para monitorear variables agronómicas (Yang, 2017; Zhang C. W., 2014), en diferentes sistemas de cultivo y en diversas geografías. Muchas de estas variables se consideran posibles indicadores para la estimación del rendimiento (Hall, 2016; Wahab, 2018; Song, 2016), especialmente a nivel de parcela y campo (típicamente hasta 1000 ha). Hay varios métodos existentes para estimar los rendimientos de los cultivos con sensores remotos. Un enfoque popular es relacionar los rendimientos específicos de la ubicación medidos con los índices de vegetación (VI) derivados de sensores de cámara RGB, multiespectrales o

hiperespectrales. Los VI a menudo proporcionan una fuerte expresión de la cobertura del suelo y el contenido de clorofila del material verde (Salamí, 2014; Tucker, 1979). Se han desarrollado muchos VI, siendo el más común el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) (Hall, 2016; Yang, 2017; Huete, 2002; Maresma, 2016). Sobre la base de diversas relaciones entre diferentes bandas espectrales de reflectancia, otros VI también han evolucionado con una gran relevancia para los sistemas agrícolas. Estos incluyen la diferencia normalizada de borde rojo (NDRE), el índice de vegetación de diferencia normalizada verde (GNDVI), el índice de vegetación de dosel verde (GCVI), el índice de vegetación roja (RVI), el índice de dosel de borde rojo (RECI) y muchos otros (Vega, 2015; Gitelson, 2005). Debido a que estos VI representan características espectrales (y, en menor medida, estructurales) de la vegetación, son indicadores potenciales para una evaluación rápida del rendimiento y la variabilidad del rendimiento. Además, cuando estos VI se derivan de imágenes de detección remota espacialmente explícitas, pueden proporcionar una comprensión muy útil de la variabilidad del rendimiento en diferentes escalas espaciales. Por ejemplo, el uso de VI individuales para el diagnóstico de las limitaciones de nutrientes y las diferencias de rendimiento de cultivos entre campos/parcelas ha sido prometedor (Benincasa, 2018; Wahab, 2018). Además, los investigadores han propuesto que una combinación de VI puede proporcionar un efecto de sensibilidad aditivo y mejorar la detectabilidad de las características matizadas de la vegetación para mejorar la evaluación de los parámetros agronómicos, incluido el rendimiento (Gitelson, 2005; Nguy-Robertson, 2012). Esto se debe a que los VI individuales pueden verse limitados por la estructura y composición de la vegetación, que pueden ser indetectables en longitudes de onda específicas del espectro electromagnético. Investigadores (Maresma, 2016; Gu, 2013; Isla, 2011) han sugerido que el verdor de las plantas cultivadas en condiciones adecuadas de nutrientes puede comprometer la precisión del NDVI de detección remota (del sensor multiespectral) debido a la saturación

dentro de la banda espectral verde. Este tipo de limitación puede evitarse utilizando otros VI que se basen en información espectral de otras bandas de reflectancia dentro del espectro electromagnético.

Según Pablos (2016), el uso de valores de NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada)

ayuda al análisis de la vigorosidad del cultivo, ya que compara matemáticamente la cantidad de luz roja visible absorbida y la luz infrarroja cercana reflejada, esto se ve evidenciado en la imagen Mapa de vigor y mapa de vigor tras realizar la interpolación 1 (Imagen No.3).

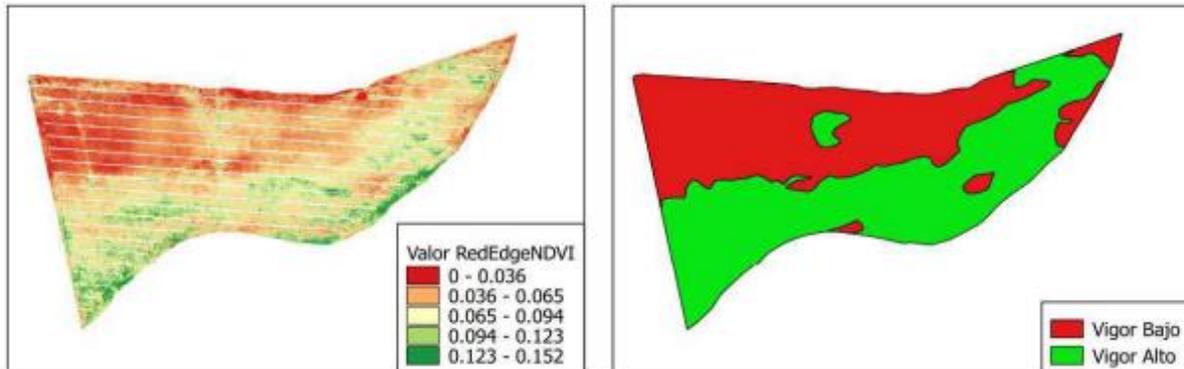


Imagen No.3 Mapa de vigor y mapa de vigor tras realizar la interpolación 1. (Pablos Andrés, 2016)

Discusión

Debido a la necesidad urgente de un método de bajo costo, alta eficiencia y alta precisión para obtener información de campo de manera rápida y efectiva, incluida la ubicación, el alcance y la distribución general de las plagas de insectos, entre otros (Bock, 2010), surge una nueva tecnología llamada agricultura de precisión donde los drones son los representantes principales.

Según estudios realizados por Feng (2022), establece que el uso de Drones puede identificar y juzgar con precisión y rapidez las hojas de maíz presentes en la imagen para detectar plagas de insectos, los siguientes problemas aún deben estudiarse y explorarse más en la aplicación práctica: (1) bajo la condición de proyecciones positivas, de modo que algunas plagas las hojas pueden ignorarse debido a la oclusión; (2) los parámetros de adquisición de imágenes como la altura, el ángulo y la resolución y las condiciones reales de plantación en el campo; (3) el análisis estadístico general de la distribución de plagas en el campo y la aplicación posterior deben

explorarse más a fondo con conocimientos agronómicos.

Otros factores observables a través de drones son el índice NDVI y uno que destaca es el enfoque morfofisiológico ya que es más complejo que el NDVI del dron y el fitomejoramiento participativo. Este enfoque resume en detalle todas las características importantes de las plantas para apoyar su potencial de rendimiento. También se vuelve imprescindible ya que una valoración basada únicamente en el rendimiento conferirá un alto error (Araya-Alman, 2019; Laraswati, 2021; Zafar, 2021). El rendimiento de grano es un carácter cuantitativo y poligénico que no puede separarse de las influencias e interacciones ambientales (Kassahun, 2013; Fellahi, 2018; Farid, 2020). Anshori (2021) mencionó que la evaluación del potencial de rendimiento de un cultivo debe incluir caracteres secundarios, especialmente si la evaluación se lleva a cabo solo en un lugar (ambiente); los rasgos componentes fueron la altura de la planta, el diámetro del tallo, la altura de la mazorca desde el suelo, el número de hojas, la edad de floración masculina y femenina, el diámetro de la mazorca, la longitud de la mazorca, las hileras de semillas por mazorca, el cierre de la mazorca

y el peso de la mazorca. En cuanto a las características fisiológicas, estas son absorción, reflexión, transmisión, SPAD foliar, valor verde, clorofila a y b, clorofila total y número de estomas.

Hall y Tirado sugieren que el uso de NDVI podría aumentar la efectividad de la evaluación a través del cultivo a gran escala. Varios estudios han reportado efectivamente el uso de drones NDVI para evaluar el cultivo de maíz en un área amplia (Hall O. D., 2018; Tirado, 2020). Además

de eso, este enfoque puede dar una corrección al resultado de la medición humana de los rasgos de crecimiento y rendimiento de las plantas (Panday, 2020; Tirado, 2020; de Castro, 2021), de modo que se pudiera corregir la evaluación por parte de investigadores y agricultores para seleccionar las mejores líneas o tecnología de cultivo. Por lo tanto, el NDVI podría recomendarse para ayudar en la evaluación de la morfología.



Esquema No1. Síntesis de las ventajas y desventajas del uso de drones en el cultivo de Maíz (Elaboración propia)

Conclusiones

El aporte de diferentes autores sobre la evolución y la aparición de nuevas tecnologías en el sector maicero, nos hace creer en el nuevo sistema agrícola está entrando en una etapa en dónde la precisión es uno de los mayores promotores de la nueva agricultura, esto gracias a la integración de diferentes métodos tales como el uso de drones para la detección temprana de plagas y enfermedades, conocimiento preciso del

estado del cultivo y lo mas importante, disminución de costos a gran escala, esto todo aplicado a uno de los cultivos más importantes a nivel mundial como lo es el maíz. Así mismo mediante la presente investigación se pudo conocer los avances y aplicaciones de los diferentes métodos y técnicas utilizados en la agricultura de precisión, principalmente el control de plagas, controles fisicoquímicos e índices de vegetación del cultivo de maíz.

Agradecimientos

Agradecimiento a los docentes del diplomado UAS DRONES, de la Universidad de Cundinamarca por compartir sus conocimientos

críticos en la temática. Al programa de Tecnología en Cartografía por la generación del diplomado como opción de grado.

Referencias

- Adam, D. (2021). How far will the global population rise? . *Nature*.
- Ahirwar, S. S. (2019). Application of drone in agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*.
- Aldana, Y. A. (2020). Drones y procesamiento de imágenes, una alternativa a la erradicación de malezas. *Indagare*.
- Anshori, M. F. (2021). A new approach to select doubled haploid rice lines under salinity stress using indirect selection index. *Rice Science*.
- Araya-Alman, M. L.-O.-G.-V. (2019). A new localized sampling method to improve grape yield estimation of the current season using yield historical data. *Precision Agriculture*.
- Avery, A. (2007). Organic abundance report: fatally flawed. *Renewable Agric. Food Systems*.
- Bahtiar, B. Z. (2020). Advantages of Hybrid Corn Seed Production Compared to Corn Grain. *International Journal of Agriculture System*.
- Benincasa, P. A. (2018). Reliability of NDVI derived by high resolution satellite and UAV compared to in-field methods for the evaluation of early crop N status and grain yield in wheat. *Experimental Agriculture*.
- Bieganowski, A. D.-B.-Z. (2021). Sensor-based outdoor monitoring of insects in arable crops for their precise control. *Pest Management Science*.
- Bock, C. H. (2010). Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging. *Critical reviews in plant sciences*.
- Brewer, K. C. (2022). Estimation of maize foliar temperature and stomatal conductance as indicators of water stress based on optical and thermal imagery acquired using an Unmanned

- Aerial Vehicle (UAV) platform. *Drones*.
- CINU (Centro de Información de las Naciones Unidas). (2011). Alimentación.
- Dai, Y. D. (2004). A two-big-leaf model for canopy temperature, photosynthesis, and stomatal conductance. *Journal of climate*.
- de Castro, A. I. (2021). UAVs for vegetation monitoring: overview and recent scientific contributions. *Remote Sensing*.
- Du Plessis, J. (2003). *Maize production*. Pretoria, South Africa: Department of Agriculture.
- El-Hendawy, S. E.-S. (2019). Potential of the existing and novel spectral reflectance indices for estimating the leaf water status and grain yield of spring wheat exposed to different irrigation rates. *Agricultural Water Management*.
- Emsley, J. (2001). Enriching the earth: Fritz, H. and Bosch, C. and the transformation of world food. *Nature*.
- Espinosa, J. &. (2009). Herramientas para mejorar la eficiencia de uso de nutrientes en maíz.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2009). How to feed the world in 2050. <https://doi.org/>. http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_
- FAO. (2017). *Base de datos de la producción agropecuaria*.
- Farid, M. N. (2020). Genetic parameters and multivariate analysis to determine secondary traits in selecting wheat mutant adaptive on tropical lowlands. *Plant breeding and biotechnology*.
- Fellahi, Z. E. (2018). Analysis of direct and indirect selection and indices in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) segregating progeny. *International Journal of Agronomy*.
- Feng, J. S. (2022). Autonomous Detection of *Spodoptera frugiperda* by Feeding Symptoms Directly from UAV RGB Imagery. *Applied Sciences*.

- Feng, J. S. (2022). Autonomous Detection of Spodoptera frugiperda by Feeding Symptoms Directly from UAV RGB Imagery. *Applied Sciences*.
- Gitelson, A. A. (2005). Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophysical Research Letters*.
- Gu, Y. W. (2013). NDVI saturation adjustment: A new approach for improving cropland performance estimates in the Greater Platte River Basin, USA. *Ecological Indicators*.
- Hall, O. &. (2016). The challenge of comparing crop imagery over space and time. *ICT Update*.
- Hall, O. D. (2018). Classification of maize in complex smallholder farming systems using UAV imagery. *Drones*.
- Huete, A. D. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*.
- Husserl, J. &. (2018). ARROZ BLANQUITA: Construyendo comunidad, oportunidades y crecimiento para los pequeños agricultores. *Revista de Ingeniería*, 32-41.
- Isla Climente, R. Q.-M. (2011). Utilización de imágenes aéreas multiespectrales para evaluar la disponibilidad de nitrógeno en maíz.
- Jackson, R. D. (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water resources research*.
- Kassahun, B. M. (2013). Correlation studies and path coefficient analysis for seed yield and yield components in Ethiopian coriander accessions. *African Crop Science Journal*.
- Khoirunisa, H. &. (2019). Penggunaan Drone dalam Mengaplikasikan Pestisida di Daerah Sungai Besar, Malaysia. *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat (PIM)*.
- Laraswati, A. A. (2021). Image Based-Phenotyping and Selection Index Based on Multivariate Analysis for Rice Hydroponic Screening under Drought Stress.

- Plant breeding and biotechnology.*
- Li, W. C. (2019). Automatic localization and count of agricultural crop pests based on an improved deep learning pipeline. *Scientific reports.*
- Li, X. J. (2021). Drip application of chlorantraniliprole effectively controls invasive *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its distribution in maize in China. *Crop Protection.*
- Lima, M. C. (2020). Automatic detection and monitoring of insect pests—a review. *Agriculture.*
- Maresma, Á. A.-C. (2016). Analysis of vegetation indices to determine nitrogen application and yield prediction in maize (*Zea mays* L.) from a standard UAV service. *Remote Sensing.*
- Matese, A. T. (2015). Intercomparison of UAV, aircraft and satellite remote sensing platforms for precision viticulture. *Remote Sensing.*
- Mochammad Abduh, A. D. (2021). Interaction of Genetic and Cultivation Technology in Maize Prolific and Productivity Increase. *Pakistan Journal of Biological Sciences.*
- Mogili, U. R. (2018). Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia computer science.*
- Nanni, L. M. (2019). Research on insect pest image detection and recognition based on bio-inspired methods. <https://doi.org/arXiv> preprint arXiv:1910.00296.
- Nguy-Robertson, A. G. (2012). Green leaf area index estimation in maize and soybean: Combining vegetation indices to achieve maximal sensitivity. *Agronomy journal.*
- Pablos Andrés, D. (2016). Seguimiento de cultivos de maiz mediante tecnologia UAV.
- Paliwal, R. (2001). *Introduccion al maiz y su importancia. En: El maiz en los tropicos: mejoramiento y produccion.*

- Panday, U. S. (2020). A review on drone-based data solutions for cereal crops. *Drones*.
- Pasqualotto, N. D. (2018). Retrieval of canopy water content of different crop types with two new hyperspectral indices: Water Absorption Area Index and Depth Water Index. *International journal of applied earth observation and geoinformation*.
- Pes, M. P. (2020). Translocation of chlorantraniliprole and cyantraniliprole applied to corn as seed treatment and foliar spraying to control Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae). *PLoS One*.
- Portafolio. (2019). *Las tecnologías que podrán 'salvar' el agro colombiano*.
- Rokhmana, C. A. (2015). The potential of UAV-based remote sensing for supporting precision agriculture in Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*.
- S.A. Saseendran, T. T. (2015). Quantifying crop water stress factors from soil water measurements in a limited irrigation experiment. *Agricultural Systems*, 191-205. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2014.11.005>
- Salamí, E. B. (2014). UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas. *Remote Sensing*.
- Salamí, E. B. (2014). UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas. *Remote Sensing*.
- Selvaraj, M. G. (2019). AI-powered banana diseases and pest detection. *Plant Methods*.
- Song, Y. (2016). Evaluation of the UAV-based multispectral imagery and its application for crop intra-field nitrogen monitoring and yield prediction in Ontario.
- Syngenta. (2017). *Importancia del control temprano de malezas*.
- Taghvaeian, S. C. (2014). Minimizing instrumentation requirement for estimating crop water stress index and transpiration of maize. *Irrig Sci*.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00271-013-0415-z>
- Tirado, S. B. (2020). UAV-based imaging platform for monitoring maize growth throughout development. *Plant Direct*.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*.
- Vallejos Zarco, H. (2017). Delimitación de zonas de manejo en agricultura de precisión a partir de adquisición remota de imágenes mediante vehículos aéreos no tripulados .
- Vega, F. A. (2015). Multi-temporal imaging using an unmanned aerial vehicle for monitoring a sunflower crop. *Biosystems Engineering*.
- Wahab, I. H. (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*.
- Walker. (2016). Population growth and its implications for global security. *The American Journal of economic and sociology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ajes.12161>
- Yang, G. L. (2017). Unmanned aerial vehicle remote sensing for field-based crop phenotyping: current status and perspectives. *Frontiers in plant science*.
- Zafar, M. M. (2021). Exploiting Agronomic and Biochemical Traits to Develop Heat Resilient Cotton Cultivars under Climate Change Scenarios. *Agronomy*.
- Zhang, C. K. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agric*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>
- Zhang, C. W. (2014). Applications of low altitude remote sensing in agriculture upon farmers' requests—a case study in northeastern Ontario, Canada. *PloS one*.
- Zhang, F. &. (2019). Estimation of vegetation water content using

hyperspectral vegetation indices: A comparison of crop water indicators in response to water stress treatments for summer maize. . *BMC ecology*.

Zhang, X. Q. (2018). Identification of maize leaf diseases using improved deep convolutional neural networks. *Ieee Access*.

Zhang, X. Z. (2022). Combining spectral and texture features of UAS-based multispectral images for maize leaf area index estimation. . *Remote Sensing*.