

	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 30

21.1

FECHA viernes, 6 de enero de 2023

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad Fusagasugá

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
Bonilla Mora	Karol Vanessa	1003540916
Cubillos Varón	José Giovanni	1069767455

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

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Valencia Achuri	Paola Andrea

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 30

TÍTULO DEL DOCUMENTO

Agricultura de precisión para la producción de arroz empleando tecnología para cultivos extensivos, RPAS en el monitoreo y aspersión.

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 EDICIÓN DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
22/11/2022	18

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)

ESPAÑOL	INGLÉS
1.Imágenes multiespectrales	Multispectral image
2.Cultivos extensivos	Extensive crops
3.Arroz	Rice
4.Vehículo aéreo no tripulado	Unmanned aerial vehicle
5.Aspersión	Spraying
6.Agricultura de precisión	Precision farming

FUENTES (Todas las fuentes de su trabajo, en orden alfabético)

Alwateer, M., Loke, S. W., & Fernando, N. (2022). Drones-as-a-service: a simulation-based analysis for on-drone decision-making. *Personal and Ubiquitous Computing*, 26(4), 1117–1136. <https://doi.org/10.1007/s00779-021-01524-5>

Arboleda, G., & Massuh, F. (2014). Análisis de factibilidad del uso de drones en las plantaciones bananeras de la provincia de El Oro. Proyecto de Graduación Presentado Para Cumplir Con Los Requisitos Finales Para La Obtención Del Título de Ingeniero En Comercio y Finanzas Internacionales Bilingüe. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Facultad de Especialidades Empresariales. G.

	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 30

Avalos Villa, J. P. R. (2021). Diseño de un dron para mapeo de zonas vulnerables a desastres naturales mediante uso de sensor de Lidar.

Barrera Barrea, C., & Vallejo Delgado, J. (2018). Servicio de Fumigación con Drones para Plantaciones Bananeras en la Provincia del Guayas. Espol.

Barrero, O., & Perdomo, S. A. (2018). RGB and multispectral UAV image fusion for Gramineae weed detection in rice fields. Precision Agriculture, 19(5), 809–822. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9558-x>

Bartesaghi, I., & Sandes, E. S. (2021). La dinamización de cadenas agroindustriales uruguayas en contexto de expansión comercial global (2001-2019). Revista de Política Económica y Desarrollo Sostenible, 7(1), 1–34.

Bhujade, V. G., & Sambhe, V. (2022). Role of digital, hyper spectral, and SAR images in detection of plant disease with deep learning network. Multimedia Tools and Applications, 81(23), 33645–33670. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13055-z>

Bonilla Bolaños, A. G., & Singaña Tapia, D. A. (2019). La productividad agrícola más allá del rendimiento por hectárea: análisis de los cultivos de arroz y maíz duro en Ecuador. LA GRANJA. Revista de Ciencias de La Vida, 29(1), 70–83.

Cadena Piedrahita, D. L. (2021). Sustentabilidad de fincas productoras de Arroz bajo riego en el Cantón Badahoyo, Ecuador.

Chávez Tierra, M. A. (2019). Mejoramiento de la productividad mediante la implementación de drones en el cultivo de flores de verano y rosas en el grupo Esmeralda Ecuador. PUCE-Quito.

Chira Pozo, A. D., & Gómez Florián, O. D. (2021). Propuesta de utilización de drones para mejorar la productividad en procesos de fumigación de cultivos de arroz IR-43 en la empresa Semillas Piuranas SAC La Arena-2021.

Chuquen Tovar, A. F., & León Molina, N. S. (2019). Registro y gestión de primer vuelo ante la aerocivil de la aeronave Vant Solvenvus.

Croplife. (2019). Procedimiento Operativo Estándar (POE).

Deshmukh, D., Pratihari, D. K., Deb, A. K., Ray, H., & Bhattacharyya, N. (2021). Design and Development of Intelligent Pesticide Spraying System for Agricultural Robot BT - Hybrid Intelligent Systems (A. Abraham, T. Hanne, O. Castillo, N. Gandhi, T. Nogueira Rios, & T.-P. Hong (eds.); pp. 157–170). Springer International Publishing.

Devia, C. A., Rojas, J. P., Petro, E., Martinez, C., Mondragon, I. F., Patino, D., Rebolledo, M. C., & Colorado, J. (2019). High-Throughput Biomass Estimation in Rice Crops Using UAV Multispectral Imagery. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 96(3), 573–589. <https://doi.org/10.1007/s10846-019-01001-5>

Di Puglia Pugliese, L., Guerriero, F., & Scutellá, M. G. (2021). The Last-Mile Delivery Process with Trucks and Drones Under Uncertain Energy Consumption. Journal of Optimization Theory and Applications, 191(1), 31–67. <https://doi.org/10.1007/s10957-021-01918-8>

Díaz Sánchez, C. del R. (2021). Respuesta agronómica de dos variedades de arroz (Oryza sativa L.) a diferentes densidades de siembra en el cantón Yaguachi. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil.

Espitia, Y., & Santiago, S. (2021). Diseño Conceptual y Preliminar de un UAV Fumigador para Cultivos de Papa en Úmbita – Boyacá. Fundación Universitaria Los Libertadores Facultad.

	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 30

Garzón, J. M., & Luque, F. (2018). IMPLEMENTACIÓN DE DRONES PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN EL AGRO COLOMBIANO. *Biomass Chem Eng*, 3(2), http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127%0Ahttp://publicacoes.cardiol.br/portal/ijcs/portugues/2018/v3103/pdf/3103009.pdf%0Ahttp://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-75772018000200067&lng=en&tlng=

Ghosh, S., & Dasgupta, R. (2022). Machine Learning and Precision Farming. In *Machine Learning in Biological Sciences* (pp. 239–249). Springer.

Gomez Murillo, S. E. (2019). Efecto de la apertura del mercado internacional del arroz, en el mercado colombiano en el periodo (2000-2017). Fundación Universidad de América.

Gómez Urrutia, A. A., & Morales Ramos, K. J. (2020). Manejo integrado de cultivos (MIC) de tomate, bajo dos sistemas de producción agrícola (agroecológico y con productos químicos).

Gong, Y., Yang, K., Lin, Z., Fang, S., Wu, X., Zhu, R., & Peng, Y. (2021). Remote estimation of leaf area index (LAI) with unmanned aerial vehicle (UAV) imaging for different rice cultivars throughout the entire growing season. *Plant Methods*, 17(1), 88. <https://doi.org/10.1186/s13007-021-00789-4>

González, A., Amarillo, G., Amarillo, M., & Sarmiento, F. (2016). Drones aplicados a la agricultura de precisión. *Publicaciones e Investigación*, 10, 23–37.

Guo, S., Li, J., Yao, W., Hu, X., Wei, X., Long, B., Wu, H., & Li, H. (2021). Optimization of the factors affecting droplet deposition in rice fields by rotary unmanned aerial vehicles (UAVs). *Precision Agriculture*, 22(6), 1918–1935. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09818-7>

Hernández-Clemente, R., Hornero, A., Mottus, M., Peñuelas, J., González-Dugo, V., Jiménez, J. C., Suárez, L., Alonso, L., & Zarco-Tejada, P. J. (2019). Early diagnosis of vegetation health from high-resolution hyperspectral and thermal imagery: Lessons learned from empirical relationships and radiative transfer modelling. *Current Forestry Reports*, 5(3), 169–183.

Hernández, R. R. (2021). La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(1).

Hernández, Z. L. D., Amaya, J. O. B., & Cuevas, J. A. A. (2020). CULTIVO DE ARROZ EN LA CUENCA MEDIA Y BAJA DEL RÍO CRAVO SUR. EL RETO DE CONSERVAR Y PRODUCIR, 352.

Herrera, G. C., Poletine, J. P., Brondani, S. T., Antônio, M., Barelli, A., & da Silva, V. P. (2020). Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de soja na região sul do Brasil por meio de modelagem mista. *Journal of Agronomic Sciences*, 9, 185–202.

Jian-Sheng, P. (2014). An intelligent robot system for spraying pesticides. *The Open Electrical & Electronic Engineering Journal*, 8(1).

Lottes, P., Khanna, R., Pfeifer, J., Siegwart, R., & Stachniss, C. (2017). UAV-based crop and weed classification for smart farming. 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 3024–3031.

Lozano Rojas, C. L. (2020). Alternativas de usos de la cascarilla de arroz (*Oriza sativa*) en Colombia para el mejoramiento del sector productivo y la industria.

	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 30

Mabele, L., & Mutegi, L. (2018). Leveraging low-power wide area networks for precision farming: Limbora—A smart farming case using LoRa modules, gateway, ttn and firebase in Kenya. *Interactive Mobile Communication, Technologies and Learning*, 259–272.

Mansor, Y., Mansor, S., Zulhaidi, H., Ramli, A. R., & Isola, A. I. (2018). Multispectral sensors calibration for lightweight UAV. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 169(1), 12033.

Mariño Ojeda, J. R. (2019). Importancia de los sistemas de aeronave no tripulada "UAS", en la clasificación de coberturas del suelo, variable fundamental utilizada en los avalúos rurales en el municipio de Tena-Cundinamarca.

Maslekar, N. V, Kulkarni, K. P., & Chakravarthy, A. K. (2020). Application of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Pest Surveillance, Monitoring and Management BT - Innovative Pest Management Approaches for the 21st Century: Harnessing Automated Unmanned Technologies (A. K. Chakravarthy (ed.); pp. 27–45). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0794-6_2

Medina, A. C., & Cordero, C. R. P. (2012). Guía para el monitoreo de insectos fitófagos. Federación Nacional de Arroceros.

Merino Galarza, M. de los Á., & Veintimilla Freire, M. A. (2021). Análisis de herramientas para el control de vuelo y control de cámaras en un sistema de imágenes multiespectral de bajo costo para monitoreo de cultivos. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas

Meza Zapata, D. A. (2022). Análisis comparativo de un levantamiento fotogramétrico con diferentes alturas de vuelo y cantidades de puntos de apoyo usando drones.

Monroy Olano, F. A. (2018). Desarrollo normativo de la industria de aeronaves no tripuladas (UAV) en el sector de salvamento-rescate y medico preventivo en Colombia.

Negrete, J. (2018). Introducción al estudio de la aviación agrícola. Obtenido de [https://www. Researchgate. Net/Publication/325616528_Introduccion_al_estudio_de_la_aviacion_agricola](https://www.researchgate.net/publication/325616528_Introduccion_al_estudio_de_la_aviacion_agricola).

Oberti, R., Marchi, M., Tirelli, P., Calcante, A., Iriti, M., Tona, E., Hočevár, M., Baur, J., Pfaff, J., & Schütz, C. (2016). Selective spraying of grapevines for disease control using a modular agricultural robot. *Biosystems Engineering*, 146, 203–215.

Oberti, R., & Schmilovitch, Z. (2021). Robotic Spraying for Precision Crop Protection BT - Innovation in Agricultural Robotics for Precision Agriculture: A Roadmap for Integrating Robots in Precision Agriculture (A. Bechar (ed.); pp. 117–150). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77036-5_6

Ortega, V., DAVID, GARCÍA-CABAÑAS BUENO, J. A., VERGARA MERINO, R., BERNARDO SANZ, S., HERNÁNDEZ CORREAS, A., & RAMOS CAMPO, D. (2016). *Piloto de dron (RPAS) 2*. Ediciones Paraninfo, SA.

Ospina, W. (2020). drones al mejoramiento de la producción agrícola en Tercero en América.

Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia (Arica)*, 37(1), 75–84.

Planas de Martí, S. (2018). Agricultura de precisión y protección de cultivos. *Revista de Ingeniería*, 47, 10–19.

Quespaz Rosero, C. A. (2022). Desarrollo de una aplicación web para el monitoreo de cultivos (crop monitoring) mediante el análisis de imágenes multiespectrales.

	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 30

Ren, Q., Zhang, R., Cai, W., Sun, X., & Cao, L. (2020). Application and Development of New Drones in Agriculture. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 440(5). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/440/5/052041>

Robles Macías, M. Á. (2021). Diseño e implementación de un prototipo para fumigación automatizada de drones para el cultivo de cacao con tecnología Raspberry. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas

Rodríguez-Palomino, P. (2021). Inteligencia artificial para la administración de los Reglamentos Aeronáuticos De Colombia (RAC). Revista Estrategia Organizacional, 10(1).

Rodríguez González, L. J. (2020). Agricultura de precisión en el mundo y en Colombia: revisión bibliográfica.

Sánchez, M. V, Cicowiez, M., & Ortega, A. (2021). Inversión pública productiva en la agricultura para la recuperación económica con bienestar rural: un análisis de escenarios prospectivos para México: Economía del desarrollo agrícola de la FAO–Estudio técnico 11 (Vol. 11). Food & Agriculture Org.

Segura Castillo, E. A. (2021). Estudio de factibilidad del uso de drones para la fumigación en el cultivo de arroz en Daule. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil.

Shaikh, T. A., Mir, W. A., Rasool, T., & Sofi, S. (2022). Machine Learning for Smart Agriculture and Precision Farming: Towards Making the Fields Talk. Archives of Computational Methods in Engineering. <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09761-4>

Thomasson, J. A., Wang, T., Wang, X., Collett, R., Yang, C., & Nichols, R. L. (2018). Disease detection and mitigation in a cotton crop with UAV remote sensing. Autonomous Air and Ground Sensing Systems for Agricultural Optimization and Phenotyping III, 10664, 150–156.

Tovar Nieto, D. C. (2019). Análisis de las Particularidades de la Producción y Comercialización del Arroz en Colombia 2010-2018. Fundación Universidad de América.

Trendov, N. M., Varas, S., & Zeng, M. (2019). Tecnologías digitales en la agricultura y las zonas rurales. División de Tecnología de La Información. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación and La Agricultura (FAO), 1–26.

Waleed, M., Mubeen, M., Ahmad, A., Habib-ur-Rahman, M., Amin, A., Farid, H. U., Hussain, S., Ali, M., Qaisrani, S. A., Nasim, W., Javeed, H. M. R., Masood, N., Aziz, T., Mansour, F., & EL Sabagh, A. (2022). Evaluating the efficiency of coarser to finer resolution multispectral satellites in mapping paddy rice fields using GEE implementation. Scientific Reports, 12(1), 13210. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17454-y>

Wang, Y.-P., Chang, Y.-C., & Shen, Y. (2022). Estimation of nitrogen status of paddy rice at vegetative phase using unmanned aerial vehicle based multispectral imagery. Precision Agriculture, 23(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09823-w>

Yinka-Banjo, C., & Ajayi, O. (2019). Sky-farmers: Applications of unmanned aerial vehicles (UAV) in agriculture. Autonomous Vehicles, 107–128.

	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 30

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS
(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

El arroz es el alimento básico de más del 50% de la población, se producen aproximadamente 510 millones de toneladas, este cultivo forma parte de la cultura de los países orientales y sus sistemas de producción emplean casi mil millones de personas en las zonas rurales para el área de poscosecha y procesamiento de este cereal en los países en desarrollo.

Esta revisión bibliográfica muestra las ventajas del uso de RPAS (sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto) en el monitoreo y aspersión implementado en cultivos de gran extensión como la especie *Oryza sativa* L.; en los resultados se obtuvieron las diferencias entre las labores de monitoreo y aspersión realizadas de forma convencional y con el uso de drones, por ejemplo, en el tiempo de ejecución; el RPAS tarda 15 minutos fumigando una hectárea de arroz, a comparación de una motobomba que tarda 6 horas y sumado a ello se requiere de 3 jornales, lo que conlleva a un incremento de tiempo y dinero, por otra parte, se presentan riesgos en la salud y bienestar de los operarios con una incorrecta manipulación de agroquímicos en los cultivos.

Es importante que los agricultores tengan conocimiento de las nuevas herramientas que se han desarrollado para una agricultura de precisión donde se pueden tomar datos espaciales con la captura de imágenes por medio de la fotogrametría, facilita la aplicación de agroquímicos, y permite llevar un seguimiento exhaustivo de la producción de cultivos y cosechas de alta extensión.

Abstract

Rice is the staple food of more than 50% of the population, approximately 510 million tons are produced, this crop is part of the culture of Eastern countries and its production systems employ almost a billion people in rural areas to the post-harvest and processing area of this cereal in developing countries.

This bibliographic review shows the advantages of the use of RPAS (remotely controlled aircraft systems) in monitoring and spraying implemented in large-area crops such as the *Oryza sativa* L. species; The results obtained the differences between the monitoring and spraying tasks carried out conventionally and with the use of drones, for example, in the execution time; The RPAS takes 15 minutes fumigating one hectare of rice, compared to a motor pump that takes 6 hours and added to this requires 3 wages, which leads to an increase in time and money, on the other hand, there are risks in the health and well-being of operators with incorrect handling of agrochemicals in crops.

It is important that farmers are aware of the new tools that have been developed for precision agriculture where spatial data can be taken with the capture of images through photogrammetry, facilitates the application of agrochemicals, and allows exhaustive monitoring of the production of crops and harvests of high extension.

	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 30

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	
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

	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 30

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 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).

	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 30

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. 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.

	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 30



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. 1. Agricultura de precisión para la producción de arroz empleando tecnología para cultivos extensivos, RPAS en el monitoreo y aspersión..pdf	Texto
2.	
3.	
4.	

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

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafo)
Bonilla Mora Karol Vanessa	
José Giovanni Cubillos Varón	

21.1-51-20.

Agricultura de precisión para la producción de arroz empleando tecnología para cultivos extensivos, RPAS en el monitoreo y aspersión.

Karol Vanessa Bonilla Mora ¹, José Giovanni Cubillos Varón ², Paola Andrea Valencia Achuri ³

1. Estudiante programa ingeniería agronómica, Universidad de Cundinamarca
2. Estudiante programa ingeniería agronómica, Universidad de Cundinamarca
3. Docente e investigador programa Tecnología en Cartografía, Universidad de Cundinamarca

Resumen

El arroz es el alimento básico de más del 50% de la población, se producen aproximadamente 510 millones de toneladas, este cultivo forma parte de la cultura de los países orientales y sus sistemas de producción emplean casi mil millones de personas en las zonas rurales para el área de poscosecha y procesamiento de este cereal en los países en desarrollo. Este trabajo tiene como objetivo presentar una revisión bibliográfica de las ventajas del uso de RPAS (sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto) en el monitoreo y aspersión implementado en cultivos de gran extensión como la especie *Oryza sativa* L. así mismo demuestra las diferencias entre esta innovadora herramienta y las convencionales; para ello se realizó una búsqueda en diferentes bases de datos con palabras claves con el fin de obtener resultados relacionados con el tema, posteriormente se elaboró una matriz bibliográfica en editor de texto CSV, en donde se almacenó información clave de cada artículo y/o documento seleccionado. Se obtuvieron cierta cantidad de resultados, demostrando diferencias principalmente en el tiempo de ejecución en las labores de monitoreo y aspersión; una de ellas es que un RPAS tarda 15 minutos fumigando una hectárea de arroz, a diferencia de una motobomba que tarda 6 horas y sumado a ello se requiere de 3 jornales, lo que conlleva a un incremento de tiempo, dinero y riesgo a la salud y bienestar de los operarios, con este resultado es evidente determinar que algunas labores cuando se realizan de forma convencional como lo son la aspersión en cultivos de gran extensión, no son rentables en tiempo ni dinero, sumado a ello no es posible garantizar el cubrimiento parcial en la plantación por diversos factores que influyen en su ejecución, a diferencia de los RPAS los cuales garantizan mayor precisión y focalización en las aplicaciones.

Introducción

El arroz (*Oryza sativa* L.) ocupa el segundo puesto a nivel mundial en producción de cereales, se clasifica como un cultivo de gran extensión de áreas sembradas (Bartesaghi & Sandes, 2021), su producción impacta en gran medida a la economía mundial al ser uno de los productos más consumidos porque aporta cerca del 20% de energía y el 15% de proteínas en la alimentación humana (Cadena Piedrahita, 2021a). En Asia, es el producto más cultivado, así mismo, el primer país productor de arroz en el continente americano es Brasil, con 10,6 millones de toneladas, seguido por EE. UU. con 10,2; por otra parte, en Sudamérica los países con alta producción en arroz después de Brasil, son Perú con 3,2 millones de toneladas, Colombia con 2,6 y el país Argentino con 1,4 (Gomez Murillo, 2019)

En Colombia, las zonas con mayor extensión en cultivos de arroz son los Llanos Orientales, seguido por la zona Centro, el Bajo Cauca, los Santanderes y finalmente la Costa Norte (Z. L. D. Hernández et al., n.d.; Tovar Nieto, 2019), a pesar de ser el arroz un cultivo de gran interés agronómico, productivo, cultural y social al ser el suministro crucial en la alimentación nacional y mundial, aún se encuentran procesos que se realizan de manera tradicional, entre estos se encuentra la aspersión (Chira Pozo & Gómez Florián, 2021a), este método consiste en el ingreso del operario con bombas de espalda al cultivo donde se genera una inversión de tiempo alta por el proceso manual del operario, el recorrido de las grandes extensiones para el cumplimiento de la labor y el traslado de la recarga del insumo de fumigación, adicionalmente, se producen costos de mano de obra, mantenimiento del equipo de aspersión, reparaciones del cultivo por daños a causa de factores ambientales o por el constante ingreso del operario, finalmente, existen riesgos en la salud física de las personas que realizan la manipulación permanente de las sustancias químicas (Chira Pozo & Gómez Florián, 2021b).

En busca de incrementar la producción, reducir los impactos ambientales y evitar efectos negativos en la salud humana, a inicios de los años 80 surge la agricultura de precisión la cual es una ciencia que integra diferentes disciplinas tales como informática, algoritmos, ingeniería, ciencias ambientales, fisiología vegetal; la aplicación de esta ciencia hace que se monitoreen detalladamente los estadios de las plantas del cultivo, desde su crecimiento hasta su producción en tiempo real, lo que permite realizar toma de decisiones inmediatas por parte de los agricultores (Ghosh & Dasgupta, 2022; R. R. Hernández, 2021; Planas de Martí, 2018; Rodríguez González, 2020).

Dentro de los avances tecnológicos que se han venido registrando en los últimos años, se incorporan los vehículos aéreos no tripulados (sigla en inglés UAV) que es una herramienta que se puede controlar desde tierra y emplea las fuerzas aerodinámicas para generar la sustentación (Avalos Villa, n.d; Meza Zapata, 2022), los UAV incluyen componentes tales como; la aeronave que se refiere a un vehículo en este caso con motor el que le permite pilotar por el aire, cargas útiles las cuales no son necesarias para volar pero son transportadas para el cumplimiento de misiones específicas, y una estación de tierra cuyo fin es la planificación de misiones, comunicación con la plataforma y control de la carga útil, esto mediante sistemas de comunicaciones y enlaces de datos (Espitia & Santiago, 2021).

En la agricultura el uso de la tecnología de drones puede: a. tomar datos espaciales con la captura de imágenes por medio de la fotogrametría, b. facilitar la aplicación de agroquímicos hasta el punto de medir cuantas gotas caen sobre cada hoja, c. fertilizaciones específicas para cada ambiente de acuerdo con las imágenes tomadas, d. programación de siembra que engloba parámetros muy detallados como la profundidad de siembra y la reducción en el uso de semilla, también permite tener en cuenta la mejor oferta ambiental según los datos que brinden las estaciones, además, e. permite llevar un seguimiento exhaustivo de la producción de cultivos y cosechas de alta extensión, y en cuanto al área pecuaria favorece el monitoreo de los animales, recopilación de datos de la población y estado de salud de estos (Ren et al., 2020).

De acuerdo con lo anterior, una de las labores de mayor importancia en la producción agrícola es el monitoreo, el cual consiste en identificar de forma visual y periódica el comportamiento de las plagas durante las diferentes etapas de desarrollo de las plantas con el objetivo de realizar un control o revisión de eventos con anomalías como cambios en

la población, daños generados en los tejidos vegetales, preferencias o presencia y regulación por enemigos naturales, por lo tanto, para esta actividad es necesario llevar un registro de los datos encontrados a través de lo observado, medidas o conteos (Cuevas & Pérez, 2018), especialmente en cultivos de grandes extensiones como el arroz, donde el manejo integrado centrado en monitoreo y aspersión, permite el seguimiento periódico sobre el comportamiento de las plagas en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo y con ayuda de la aspersión permite solucionar las falacias que presenta el cultivo, con base en los resultados arrojados por monitoreo (Gomez & Morales, 2020).

Por lo anterior, el presente artículo pretende evidenciar a través de revisión bibliográfica los resultados investigativos que existen entorno a la utilidad que brindan los drones en la agricultura de precisión, enfocado al monitoreo y aspersión en cultivos de grandes extensiones como el arroz (*O. sativa* L.).

Materiales y Métodos

Esta investigación de tipo cualitativo de carácter analítico, basada en revisión documental, cuyo objetivo es realizar una revisión bibliográfica sobre el tema en cuestión, lo cual, permitió tener un primer acercamiento al problema sobre las dificultades fitosanitarias presentes en el cultivo de arroz, y la atención de estas necesidades a través de drones de aspersión.

La presente investigación, se desarrolló en 2 etapas o paso a paso:

1. Se identificaron los referentes metodológicos en la implementación de los drones en agricultura de precisión orientada al cultivo de extensivos junto con la consulta de referentes en investigación sobre la temática de monitoreos con la interpretación de imágenes captadas por RPAS (Vehículo Aéreo no Tripulado) y aspersión en cultivos de arroz.
2. Cuadro comparativo de los referentes metodológicos springerlink, Scopus, j-gate y Science direct, además se hace un análisis de los resultados de referentes investigativos en la temática de manejo integrado de cultivos agrícolas de grandes extensiones con el uso de drones UAV (vehículo Aéreo no tripulado).

Etapas 1: Se establece el tema a investigar, y se realiza una primera consulta en bases de datos (springerlink, Scopus, j-gate y Science direct) científicas especializadas donde es posible establecer las fuentes claves, relacionadas con el empleo de los drones en el monitoreo y la aspersión en los cultivos de arroz para ejecutar un manejo integrado, se realizó la revisión con el buscador Google académico y se accedió a las bases de datos que se encuentran disponibles en la biblioteca de la universidad, empleando palabras claves como análisis de imágenes multiespectrales AND cultivos extensivos AND arroz; drones AND aspersión AND arroz y agricultura AND precisión AND drones AND arroz de donde se obtuvieron 853, 242 y 119 resultados.

Etapas 2: En esta etapa se estableció el universo investigado y se recopiló la información en una matriz bibliográfica en editor de texto CSV, para el caso de artículos científicos se relaciona, tipo de material (artículo, working paper, 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.

Desde la página principal de la Universidad de Cundinamarca se ingresa a la opción biblioteca, consiguiendo se le da clic a e-biblioteca para poder acceder a las bases de datos empleadas durante la construcción del artículo de revisión con el respectivo usuario y contraseña, luego en la página principal se buscan las palabras claves relacionadas al tema de interés, tras aparecer resultados de documentos (artículos y libros) se procede a leer el abstract o resumen para tener un acercamiento a la información y empezar a diligenciar la matriz, se realiza finalmente la selección de los textos que aportan a la temática del presente documento y se procede a la redacción teniendo en cuenta las normas apa 7ma versión.

Resultados

El arroz - cultivo extensivo

“El cultivo de arroz ha sido el alimento básico de más del 50% de la población mundial y es uno de los cereales más consumidos por la población de alto y bajo poder adquisitivo” (Cadena Piedrahita, 2021b), su valor monetario es relativamente menor a otros cereales y aporta un 20% de calorías, cumpliendo un papel de suma importancia en la seguridad alimentaria de la población global (Herrera et al., 2020). El arroz se ha considerado uno de los cereales más cultivados en el mundo, con una superficie aproximada de 161 millones de hectáreas; en el país ecuatoriano se registró para el año 2018, que el área sembrada de arroz fue de 292.777 hectáreas, de las cuales se obtuvo una producción de 1,1 millones de toneladas de arroz. Sin embargo, para el año 2019 se registró una superficie de 257.273 hectáreas, y se reportó una producción de 895.400 toneladas, 60% menos que el año anterior (Bonilla Bolaños & Singaña Tapia, 2019). A pesar de esta baja en el área sembrada y el descenso en la producción obtenida que se evidenció al paso de un año, es evidente ver que el cultivo de arroz es una especie vegetal que se cultiva a gran escala a comparación de otros cultivos de importancia agronómica.

En Colombia, la evolución que ha tenido el sector arrocero ha sido de vital importancia para la mayoría de habitantes que consumen a diario este alimento, sin embargo se debe resaltar que del arroz se derivan componentes que han sido usados para otros fines, como es el caso de la cascarilla; a nivel nacional este componente es una alternativa de aprovechamiento integral, básicamente se podría decir que la cascarilla de arroz ha sido uno de los desechos más importantes de la producción de arroz de la Orinoquía colombiana (Lozano Rojas, 2020), región nacional en donde es extensiva la siembra y a su vez la producción de este cereal (Z. L. D. Hernández et al., n.d.).

Monitoreo con UAV en cultivo de arroz

El cultivo de arroz, como cualquier otra plantación, ha requerido de la toma de datos para obtener un buen resultado en la producción, estos datos se recopilan a través del monitoreo lo cual está arrojando constantemente variables como lo son: curvas de crecimiento de las plantas, humedad, inventario de las plantas existentes en el cultivo, sanidad del cultivo, entre otras cosas (Segura Castillo, 2021), como ayuda a esta labor, en la actualidad los agricultores han tenido un aliado importante para tener una revisión integral del cultivo, y con ello obtener la recopilación de dicha información, con la finalidad de poder realizar una toma de decisiones que vayan en la búsqueda del aumento productivo y reducción de costos (Negrete, 2018a); con ello se hace referencia a los drones (RPAS), estas aeronaves han permitido el monitoreo permanente del cultivo desde la siembra hasta la cosecha, utilizando principalmente la captura de imágenes y con ello proporcionar datos que

posteriormente son traducidos en información útil para tener parámetros, de esta manera se ha contribuido para que los agricultores reaccionen más rápidamente ante las amenazas que provocan las malezas, insectos y hongos (Lottes et al., 2017; Thomasson et al., 2018). Esta propuesta para el uso de drones, surge en la agricultura del siglo XXI, entre ellos se destacan los drones especializados para aplicaciones fitosanitarias de los cultivos, a través del cual se ha reducido la contaminación ambiental gracias al sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global) que poseen los drones es posible aplicar únicamente en los sitios que se encuentran las afectaciones y no en todo el cultivo agrícola como se realiza comúnmente en muchas plantaciones agrícolas (Mansor et al., 2018; Yinka-Banjo & Ajayi, 2019a). Lo anterior da solución a la necesidad de aumentar la producción anual de cereales en 3 mil millones de toneladas para el año 2050 con el fin de satisfacer la demanda de la población mundial por medio de las técnicas propuestas de la inteligencia artificial como sensores remotos para detectar el contenido de humedad del suelo, facilita el riego automatizado asistido por GPS, los robots autónomos disminuyen el uso de agroquímicos innecesarios e incluso los UAV (Vehículo Aéreo no Tripulado) se usan para rociar con éxito pesticidas y herbicidas (Shaikh et al., 2022; Trendov et al., 2019).

Con la ayuda de la agricultura de precisión implementada en el cultivo de arroz se han desarrollado nuevos métodos para la captura de datos como ocurre en la investigación llevada a cabo en el departamento del Tolima donde se combina la información proporcionada por una imagen rojo-verde-azul (RGB) de alta resolución y la información de reflectancia proporcionada por una imagen multiespectral (MS) de baja resolución, para obtener una imagen RGB-MS fusionada con mejores características de discriminación de malezas en un campo de arroz con plantas a los 50 dde, en este caso el sistema de detección NN que usa la imagen fusionada superó los valores de los índices para los sistemas de detección NN basados en imágenes RGB y RGB + NGRDI (El índice de diferencia verde rojo normalizado), para el índice M/M GT (porcentaje de área de maleza detectada) , para la imagen fusionada estuvo entre 80 y 108 % en las cuatro zonas de validación, lo que indica un buen desempeño de detección; además, para el índice MP (precisión de la detección) el método que utiliza la imagen fusionada fue el mejor con valores entre 70 y 85% (Barrero & Perdomo, 2018). Además, se ha encontrado que en otros países como Taiwán para reducir las interferencias en el monitoreo del estado del nitrógeno de las plantas en el campo han recurrido al uso de imágenes aéreas de alta resolución espacial basadas en UAV, en el estudio calcularon varios índices de vegetación de las plantas de arroz y junto con la incorporación de una nueva variable, N-index (relación entre el contenido de N de las plantas a evaluar y las plantas que no reciben fertilizantes nitrogenados), pudieron desarrollar un modelo para predecir cambios rápidos en el contenido de nitrógeno de las plantas de arroz durante la fase vegetativa, también fue fundamental generar un modelo de regresión lineal para determinar el rendimiento del arroz y la calidad del grano (Waleed et al., 2022), a comparación de la estimación del índice de área foliar (IAF) donde en China se han programado dos vuelos de UAV, para obtener información espectral y estructural del dosel, respectivamente, en el primer vuelo se consiguieron las imágenes multiespectrales de 12 bandas para el sitio de estudio y luego se tomaron las imágenes RGB en el otro vuelo, esto indica que a través de la reflectancia y la altura del dosel de las plantas se generó una metodología para generar datos del IAF en diferentes cultivares de arroz durante toda la temporada de crecimiento presentando variaciones entre las etapas fenológicas previas y posteriores al descabezado del arroz, como resultado se produjo un modelo que usa un algoritmo durante toda la temporada de

crecimiento con OSAVI (índice de vegetación utiliza la reflectancia en el espectro del infrarrojo cercano y del rojo con factor de ajuste del fondo del dosel de 0,16). y la altura del dosel puede estimar el IAF del arroz con RMSE (Error cuadrático medio) por debajo de 1 (Gong et al., 2021).

Para el monitoreo de fitopatógenos en los cultivos se usan plataformas de sensores ópticos aéreos porque permiten capturar y analizar información de campo, además han sido de gran utilidad las herramientas geoespaciales con el objetivo de disminuir la carga de información sobre el agricultor y mitigar los problemas de gestión al implementar operaciones agrícolas sostenibles impulsadas por la tecnología, estos elementos dentro de la agricultura incluyen la dirección automática, diseñada para reducir la superposición de aplicaciones de insumos y conserva energía a medida que la maquinaria se mueve por el área productiva, y también se ha usado el sensor Yara N, diseñado para optimizar la aplicación de fertilizantes nitrogenados específicos del sitio pues este la reflectancia del dosel en el espectro EM rojo e infrarrojo cercano para determinar el estado del nitrógeno y la biomasa del cultivo, con un algoritmo de fertilización para informar a los equipos agrícolas de dosis variable (Bhujade & Sambhe, 2022). Como se ha mencionado anteriormente, en la actualidad hay cierta cantidad de investigaciones que arrojan resultados comprometedores con beneficio a la producción e impulsan para que se opte por vincular estos drones en los planes de manejos integrados, y es que resulta más fácil la vinculación de estas tecnologías en el cultivo de arroz, ya que normalmente está situado en un terreno plano, y no tiene obstrucción en la parte aérea que pueda dificultar el vuelo de los UAV, como es el caso de la industria floricultora, donde normalmente se cultiva bajo invernaderos y al infraestructura complicaría el desplazamiento de la aeronave, pero aun así, se han registrado captura de imágenes de alta calidad que arrojan diagnósticos rápidos y precisos del cultivo; el caso se registró en un cultivo de flores de verano y rosas en el grupo Esmeralda Ecuador, esta investigación consistió en la captura de fotos de alta calidad y el uso de software agrícolas especializados se pudo establecer desde la siembra en flores de verano la cantidad de plantas existentes en la plantación, se evidencio el crecimiento periódico con lo cual se logra determinar si el cultivo se encuentra dentro de los parámetros de exportación o se debe tomar decisiones inmediatas para corregir cualquier deficiencia nutricional y pueda ser ofrecida comercialmente, con ello posteriormente resulto poco conveniente implementar el uso de drones en el cultivo de rosas, debido a que el plástico de los invernaderos resulta ser un problema para el libre desplazamiento del aeronave, pero en cuanto al cultivo de girasol se evidencio que la cantidad de botones florales existentes en el cultivo al ser cosechados en un rango de 15 días antes del corte, podría garantizar un ofrecimiento del 99% de seguridad a las comercializadoras (Chávez Tierra, 2019). Esta investigación demuestra el peso que está adquiriendo el uso de drones en la disciplina floricultora, y que es más probable que se implemente constantemente en monitoreos de cultivo de arroz, pues como se ha mencionado anteriormente, este es uno de los alimentos más demandantes a nivel mundial y necesita de constantes y aceleradas mejoras para incrementos en la producción.

Aspersión con UAV en cultivos de arroz

Para la aspersión es necesario un monitoreo previo de plagas con un UAV, que cubre un área específica lo cual ayuda a clasificar el área afectada por la plaga como (a) baja, (b) moderada, (c) alta y (d) críticamente baja, por ejemplo en Corea del Sur se realizó un

muestreo aéreo para recolectar diversas plagas e insectos benéficos sobre los campos de arroz como una alternativa a los métodos de muestreo convencionales, como resultado de 21 vuelos se capturaron 251 insectos en 6 órdenes y 22 familias a 5, 10, 50 y 100 m (Maslekar et al., 2020). Con el objetivo de brindar tratamientos dirigidos se detectan los síntomas provocados por los fitopatógenos primero debido al aumento de reflectancia del tejido en el rango VIS (Espectro visible), segundo la senescencia del tejido y el crecimiento reducido disminuyen la reflectancia NIR (Espectro cercano infrarrojo) del dosel, las alteraciones en el contenido de agua de la hoja modifican el espectro en el rango SWIR (infrarrojos de longitud de onda corta), y los cambios de temperatura en el follaje a causa de cambios en la tasa de transpiración pueden detectarse en la banda TIR (infrarrojo térmico) (Hernández-Clemente et al., 2019).

La fumigación agrícola se puede realizar de muchas maneras, mediante avionetas o helicópteros agrícolas es una de ellas, y el manejo de los dos sistemas es similar. No obstante, el helicóptero efectúa la tarea con mayor precisión, gracias a que puede mantenerse suspendido en el aire debido a su sistema de sobrevuelo con doble hélice (Arboleda & Massuh, 2014). Los agricultores en nuestra actualidad han tenido un aliado importante para obtener una visión integral de sus cultivos, esto se ha logrado a través de los drones equipados con sensores especiales para realizar monitoreo de los cultivos, también para determinar las curvas de crecimiento de la planta, sanidad del cultivo, y de más factores, con la finalidad de tomar decisiones como puede ser la fumigación, siempre con el fin de aumentar la producción con una reducción de costos (Negrete, 2018b).

En la agricultura siguen surgiendo nuevas propuestas para el uso de los drones, por ejemplo, están los que son especializados para las aplicaciones fitosanitarias de los cultivos, los cuales han reducido la contaminación ambiental debido a las aplicaciones focalizadas y no en todo el cultivo como se realiza comúnmente en diversas plantaciones agrícolas, permitiendo emplear una menor cantidad de producto agroquímico y están dirigidas directamente a la planta sin afectar los recursos naturales, la precisión está dada por el sistema GPS que poseen estas aeronaves (Yinka-Banjo & Ajayi, 2019b).

El uso de los UAV de aspersión, son de gran importancia ya que pueden aplicar plaguicidas sobre áreas productivas sin causar daños al ambiente, entre ellos se destaca el cuidado y preservación de los suelos evitando que se genere compactación, también se destaca que es una herramienta que facilita el acceso a zonas en donde se tiene una topografía con pendientes muy inclinadas lo que resulta ser una desventaja para que los operarios transiten libremente (Arboleda & Massuh 2014). Algunas de las características de estos drones de aspersión que permiten la ejecución de esta labor, es su carga útil que puede ser de 10 a 20 kg, cuenta con múltiples rotores alimentados por batería, y empleando una o más boquillas debajo de los rotores se proveen volúmenes de 5–50 L/ha de aspersión, operan a una altitud de 1–2 m con una velocidad de pulverización moderada de 2 a 3 m/s, lo anterior ha sido presentado en investigaciones de Asia oriental (Oberti & Schmilovitch, 2021).

En un estudio donde se llevó a cabo la factibilidad del uso de drones para la fumigación en el cultivo de arroz, se lograron determinar los factores que hacen de los drones un vehículo más eficiente y práctico dando una amplitud de beneficios para los agricultores, siendo una herramienta que se puede aplicar en diferentes tareas de la producción agrícola como: monitoreo de estrés hídrico, control y detención de plagas, detección de estrés nutricional

y sobre todo la labor más importante que es la fumigación y/o aspersión en áreas focalizadas; el dron tiene amplias ventajas sobre el uso de moto bomba, en esta investigación se identifica que un dron en poco tiempo (15 minutos) puede cubrir una hectárea, en cambio la bomba de motor necesita mucho más tiempo para cubrir una hectárea (6 horas), sumándole a esto que la bomba de motor requiere de 3 jornales para cubrir la hectárea, lo que se resume en un incremento de costos de aplicación para una hectárea de U.S.D. 36,00, a diferencia de la aeronave que solo requirió de la configuración del lugar que va a cubrir generando un gasto de U.S.D. 18,00, otra ventaja del dron es que cubre toda la hectárea uniformemente sin ninguna falla, la bomba de motor por diferentes circunstancias que ocurren con el jornalero que la manipula quedan parches o líneas sin aplicar el producto químico, con la bomba de motor se corre el riesgo de intoxicarse y contaminar la piel por el contacto con las moléculas químicas que albergan los productos o por acción del viento (Segura Castillo, 2021).

En la ciudad de Zhongluotan de China se buscó optimizar los factores que afectan la distribución de gotas en campos de arroz por UAV donde se encontró que el factor más influyente fue el parámetro de vuelo, seguido del tamaño de gota mientras que el fenotipo del cultivo tuvo la menor influencia en el volumen de deposición de gotas, la combinación óptima para lograr el mejor volumen de gotas fue FbDbCa (vuelo de nivel medio con una altura de vuelo de 2 a 3 m y una velocidad de vuelo de 2 a 3 m/s, con boquilla TeeJet XR 11015 VS y nivel de fenotipo 83mx20m) además se ve influenciado por el aumento del área horizontal de la respuesta inducida por el viento de la planta, mientras para una mejor uniformidad de deposición de gotas fue FcCcDc (vuelo de nivel superior con una altura de vuelo superior a 3 m y una velocidad de vuelo superior a 3 m/s, con boquilla TeeJet XR 11001 VS y nivel de fenotipo 73mX38m) (Guo et al., 2021).

Otras de las tecnologías desarrolladas entorno a la aspersión es la propuesta de un robot rociador para cultivo de invernadero de vid de 6 DOF (grados de libertad) (Oberti et al., 2016), en otro estudio se reportó un robot de coordenadas cartesianas de 3 DOF con una fumigación a diferentes caudales estas dos alternativas se usaron en conjunto con un adecuado monitoreo para controlar la aplicación de agroquímicos y reducirla hasta en un 60% a comparación de las aplicaciones convencionales evitando a su vez el contacto directo con estos productos (Jian-Sheng, 2014), por último está una investigación que desarrolló una lógica difusa del modelo de Simulink para diseñar y exportar un modelo experimental basado en varios casos de pulverización donde el controlados permite regular la cantidad de pesticida asperjado en función de la incidencia y severidad de la enfermedad del cultivo (Deshmukh et al., 2021).

Discusión

Los drones están posicionándose en la agricultura con el paso del tiempo, pues se considera una herramienta que tiene el potencial para resolver los conflictos actuales que se presentan en la producción agrícola, esto es recurrente en los países en desarrollo donde han sido de gran utilidad para la obtención de imágenes multiespectrales junto con su respectivo procesamiento geo-informático que brinda como resultado información del estado de los cultivos, hay estudios que también indican los métodos adecuados para realizar aspersiones específicas a las unidades vegetales que presentan síntomas y signos producidos por fitopatógenos o insectos plaga. En Colombia se ha analizado la posibilidad de incorporar los drones a cultivos con áreas extensivas para esto se han realizado

investigaciones que demuestran la precisión para obtener la información en tiempo real del área productiva. En esta sección se encuentra información de los tipos de drones que existen, las labores en las cuales se desempeñan algunos de ellos, el tipo de operaciones, posteriormente se indicaran la metodología y normatividad que implica el vuelo de la aeronave.

Actualmente los drones se usan para cumplir labores en la agricultura como el mapeo de áreas, la vigilancia, el monitoreo de cultivos, identificación de blancos biológicos y aplicación de plaguicidas, estas funciones han llevado a que varios países adopten estas tecnologías como es el caso de China donde entre el año 2016 a 2017 la cantidad de drones se duplicaron, alcanzando 13000 UAV (CropLife, 2019).

En Colombia se ha reportado que en el Valle del Cauca ha ocurrido un incremento en la producción de caña de azúcar y se ha mejorado el manejo de las plagas, esto a causa de la incorporación de drones en todas las etapas productivas para los procesos de planeación y ahorro de costos en la cosecha (Ospina, 2020).

En la tabla 1 se observa la comparación entre los drones con las motobombas tradicionales empleadas en la aspersión de agroquímicos, la bomba tiene un menor costo inicial de adquisición y de operación a comparación de los agrodrones, su consumo de diesel es mínimo para fumigar mientras para el uso de los drones hay un mayor costo de las baterías recargables necesarias para volar el dron y para completar la aspersión del cultivo, lo anterior demuestra que la inversión de los drones es aproximadamente 26 veces mayor a la bomba estacionaria pero varía la eficiencia de aplicación ya que la estacionaria deja de cubrir por cada hora hasta 11 hectáreas incrementando los costos de personal 75.000 este valor se da del precio de venta del producto sin incluir las prestaciones sociales al ser un precio informal (salario no regulado) (Garzón & Luque, 2018).

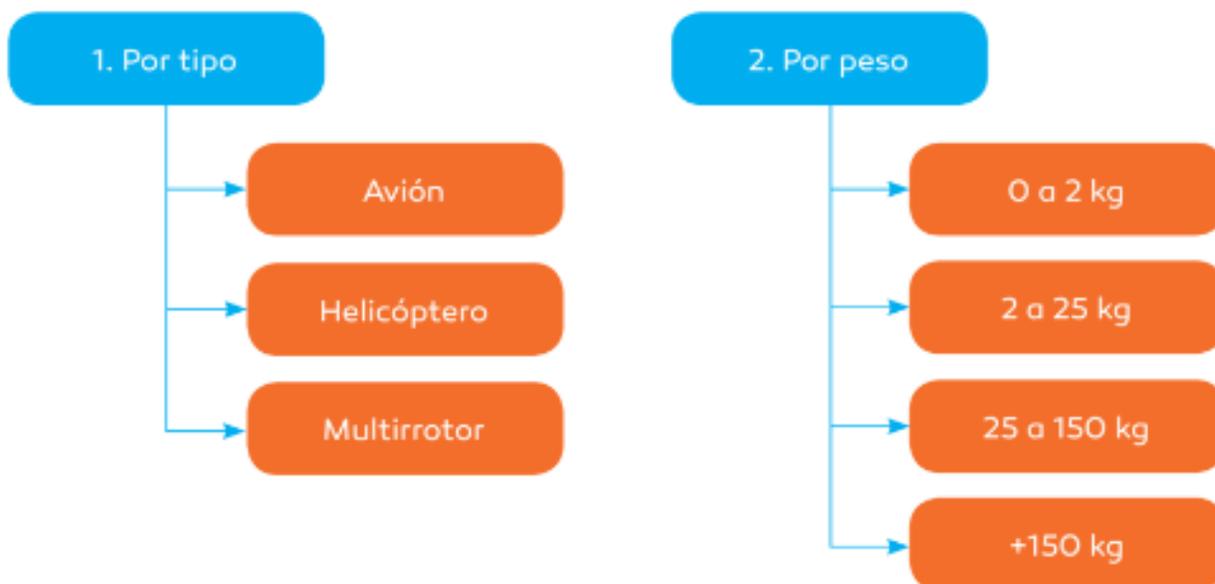
Con los drones se puede lograr un aporte en diferentes áreas e incluso entregar como servicio, su uso se ha destinado para salvar vidas, entregar bienes o suministros médicos, inspeccionar, filmar, rescatar, construir estructuras, inspección de tuberías, agricultura y participa en los proyectos de movilidad aérea urbana que se centran principalmente en la entrega de paquetes en 60 ciudades de todo el mundo (Mabele & Mutegi, 2019), estos equipos tienen una autonomía limitada siendo una desventaja, por esta razón hay que hacer una adecuada gestión del consumo de energía con el fin de realizar los proceso de entrega eficiente y evitar daños severos en el área urbana como consecuencia de una falla en el equipo (Di Puglia Pugliese et al., 2021).

Tabla 1 Comparativo Agrodrones y método tradicional

	Agrodrones				Bomba Diésel para fumigar
Capacidad tanque	10L	15L	20L	30L	Ilimitada
Precio cop	24,900,000	27,900,000	31,500,000	39,000,000	1,500,000
Peso	10 KG	13 KG	16 KG	20 KG	Estacionaria
Batería	16000 mah	16000 mah	22000 mah	30000 mah	Diesel 5HP
Tiempo de vuelo / tanqueada	20 min / 2 pilas	20 min / 2 pilas	35 min / 2 pilas	35 min / 2 pilas	8 h / galón
Eficiencia aspersor	4 ha./h	6 ha./h	10 ha./h	12 ha./h	0.56 ha/h
Operario	1	1	1	1	12

Fuente: Tomado de (Garzón & Luque, 2018).

Figura 1. Clasificación de los UAV.



Fuente: Tomado de (Morales et al, 2018)

Debido a la gran variedad existente de RPAS en cuanto a diseño, características de vuelo, tamaños y pesos, se consideró necesario elaborar una clasificación que recoja a todos y los agrupe entre ellos en función de sus particularidades más comunes. De esta forma es posible referirse a un grupo o a otro y delimitar los requisitos y limitaciones que deben cumplir cada uno; la AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea) solo incluye tres categorías, por tipo, figura 2, y son las consideradas para la obtención de certificado de piloto de dron.

Existen otros tipos de RPAS (dirigible, planeador, entre otros.) que no están muy extendidos, esto se debe a su poca utilidad en la relación de trabajos aéreos, y por ello no se incluyen en esta clasificación. Pero, si cabe mencionar que los de tipo dirigible se utilizan en recintos cubiertos, en donde no hay corrientes de aire, lo que permite un bajo nivel sonoro y estabilidad para la captación de imágenes aéreas de eventos (Ortega et al., 2016).

En cuanto a la clasificación de los RPAS en función de su peso, figura 2, se obtienen varias categorías con sus distintas limitaciones de uso, particularidades y requisitos marcados por la legislación al respecto. Esta clasificación por peso se circunscribe únicamente a la reglamentación española en vigor. Este asunto se trata en profundidad en el Apartado 5.6. Normativa específica de RPAS.

Se debe resaltar que los pesos que definen un tipo u otro indican la masa máxima al momento del despegue, ya que se supone que será el momento del vuelo donde el peso del aparato puede resultar mayor. Esto se debe a que el contenido de combustible será máximo al inicio del vuelo en caso de tratarse de un RPAS que lo quiere para funcionar (el combustible se consumirá en el transcurso de su operación, reduciendo así su masa inicial progresivamente) (Ortega et al., 2016). Del mismo modo, de transportar cargas desechables tales como sensores arrojables, rocío de fluidos como se ve en fumigaciones agrícolas, etc., la masa de estos elementos estará presente en la suma total de masas en el momento de iniciar el vuelo.

Tabla 2 Servicio de aeronaves no tripuladas de Colombia de las empresas

AeroScanTech	Topografía, cartografía, riesgos y desastres, monitoreo, interventoría de obras, audiovisuales, eventos, publicidad, minas y energía.
Astrike	Noticias, fotografía y video aéreo (RGB, IR, NIR), mapas digitales (2D y 3D), ortofotos, rectificación, DEM (modelo digital de elevación), áreas y monitoreo de desastres, inspección, monitoreo y vigilancia
Ecoexplora	Gestión ambiental, seguimiento de obras, monitoreo de cultivos y gestión del riesgo.
Ecompass	Identificación de terreno, nubes de puntos, cálculos área y volumen, monitoreo de recursos minerales, modelo digital de superficie, monitoreo.
Sempmira	Mapeo digital, estudios forestales, agricultura de precisión, monitoreo y estudios ambientales, prevención, control y mitigación de desastres, vigilancia, monitoreo de construcción y avance de obras, inspección infraestructura, líneas eléctricas, líneas de metano y líneas de gasolina.
To drone	Topografía, monitoreo y seguridad, producción cinematográfica, agricultura.
Sistemas inteligentes en red	Monitoreo y captura de datos.
Drone Shot	Fotografía y video (eventos), vigilancia y monitoreo, fotogrametría (topografía y cartografía), agricultura de precisión, inspecciones industriales, cine y televisión, emergencias búsqueda y rescate.
Seguridad Atlas	Monitoreo y seguridad
Grupo Anka S.A.S	Mapas 2D y 3D georreferenciados, levantamiento y mapeo, agricultura de precisión, monitoreo e inspección (estructuras, vías, redes eléctricas, hidrocarburos).
Explora UAV	Cartografía, fotografía – video geoespacial, fotogrametría, topografía.

Fuente: (Monroy, 2018)

Por medio de la información de la Aerocivil se observa los exploradores registrados y aprobados para realizar operaciones RPAS por la Aerocivil en su listado de versión 10 del 20 de marzo del 2018 (UAEAC, 2018). Tabla 2.

Con la propuesta normativa para drones especializados, se debe tener en cuenta que en Colombia al tener una clasificación tan cegada, solo se ve el uso civil como un aeromodelo y una sección especial para algunos tipos de operaciones, en donde se obliga a una utilización operativa diurna para tener condiciones meteorológicas

visibles, estos elementos son para el desarrollo en áreas especializadas de operación como el caso de salvamento, rescate y medicina preventiva, los cuales son campos de desarrollo que han ido avanzando en el mundo con el fin de ayudar en casos de riesgo (Chuquen Tovar & León Molina, 2019).

Para el explotador laboral, al realizar operaciones especiales, se debe mejorar la seguridad de los drones y elementos de control utilizados por medio de una ley de Cyber – seguridad, en caso de atentados, robo de información y/o robo del UAV. Del mismo modo debe manejar seguros contra accidentes a terceros, y la policía nacional y autoridades militares realizaran el seguimiento y colaboración para la seguridad de la nación (Monroy, 2018).

Los vuelos realizados por la aeronave están conformados por tres etapas, la primera se conoce como operación donde se obtienen imágenes del cultivo, la siguiente es postproceso la cual consta del análisis de imágenes multispectrales para conocer el estado de las plantas y finalmente está la aplicación con los drones la cual se efectúa basada en los mapas obtenidos (González et al., 2016), esta fumigación puede ser autónoma, monitorizada, supervisada o vuelo controlado remotamente que implica el uso de un control remoto (Pino, 2019).

Los modelos de aeronaves para aspersion necesitan el montaje de las partes como el tanque de spray, los brazos del rotor, las boquillas, el módulo de Radar y la batería, luego se realizan las siguientes tareas: Verificación del checklist de vuelo, calibración (Unidad de medición inercial, compass o brújula y gimbal), comprobación del funcionamiento de los motores, es necesario mantener los límites de vuelo y evitar las zonas de restricción, también se revisa el estado de la batería, no se puede sobrevolar las áreas de construcción o con obstáculos, además es importante tener en cuenta las condiciones climáticas de temperatura de 20-40°C con vientos que tengan una velocidad menor a los 8m/s (Barrera & Vallejo , 2018).

Las aplicaciones de plaguicidas tienen que seguir las reglamentaciones de la RAC 91 y 4 las cuales se observan en la tabla 3 relacionada con el mantenimiento, requisitos de aeronavegabilidad entre otras temáticas operacionales de esta nueva tecnología.

Tabla 3 Reglas generales de vuelo y operación

TIPO DE NORMA	NÚMERO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
RAC	4	Normas de Aeronavegabilidad y Operaciones de Aeronaves	Normas generales de mantenimiento, requisitos generales, directivas y circulares, certificación de aeronavegabilidad, normas y requisitos especiales de aeronavegabilidad para aeronaves de ala rotatoria, talleres aeronáuticos, normas generales de operación, aviación deportiva, y mejoramiento de la seguridad operacional.
RAC	91	Reglas Generales de Vuelo y Operación	Deroga la norma RAC 5 y el Capítulo XIV del Actual RAC 6 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia, y demás disposiciones que le sean contrarias.

Fuente: Tomado de (Mariño, 2019).

Conclusiones

- ✓ Se determinaron los diferentes parámetros que deben cumplir los operadores para hacer uso de los sistemas de aeronave no tripuladas “UAV” en el territorio nacional. Así mismo, se definen las categorías, las cuales se enmarcaron de acuerdo con el riesgo operacional.
- ✓ Se concluye que las labores de monitoreo y aspersión en un cultivo de gran extensión como el arroz, cuando se realizan de forma convencional, demanda mayor tiempo y mano de obra, sin garantizar precisión y eficiencia, además puede generar un incremento en los costos de producción y perjudica la salud de los operarios.
- ✓ Se identificó que el uso de “UAV” implementado en el monitoreo y la aspersión en cultivos de arroz, garantiza una reducción en el tiempo de ejecución, en asperjar o fumigar una hectárea de este cultivo tarda 15 minutos en cubrirla uniformemente, en cambio la moto bomba tarda más de 20 veces en efectuar la labor (6 horas) y no se garantiza un cubrimiento total en la hectárea del cultivo.
- ✓ Con la interpretación de imágenes multispectrales obtenidas a partir de un método acorde seleccionado se puede tener un acercamiento a las anomalías que se estén presentando en el cultivo o para realizar un seguimiento de efectividad de los controles de las aplicaciones que se están ejecutando para el manejo de plagas y enfermedades.

Referencias bibliográficas.

- Alwateer, M., Loke, S. W., & Fernando, N. (2022). Drones-as-a-service: a simulation-based analysis for on-drone decision-making. *Personal and Ubiquitous Computing*, 26(4), 1117–1136. <https://doi.org/10.1007/s00779-021-01524-5>
- Arboleda, G., & Massuh, F. (2014). Análisis de factibilidad del uso de drones en las plantaciones bananeras de la provincia de El Oro. *Proyecto de Graduación Presentado Para Cumplir Con Los Requisitos Finales Para La Obtención Del Título de Ingeniero En Comercio y Finanzas Internacionales Bilingüe. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Facultad de Especialidades Empresariales*. G.
- Avalos Villa, J. P. R. (2021). *Diseño de un dron para mapeo de zonas vulnerables a desastres naturales mediante uso de sensor de Lidar*.
- Barrera Barrea, C., & Vallejo Delgado, J. (2018). *Servicio de Fumigación con Drones para Plantaciones Bananeras en la Provincia del Guayas*. Espol.
- Barrero, O., & Perdomo, S. A. (2018). RGB and multispectral UAV image fusion for Gramineae weed detection in rice fields. *Precision Agriculture*, 19(5), 809–822. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9558-x>
- Bartesaghi, I., & Sandes, E. S. (2021). La dinamización de cadenas agroindustriales uruguayas en contexto de expansión comercial global (2001-2019). *Revista de Política Económica y Desarrollo Sostenible*, 7(1), 1–34.
- Bhujade, V. G., & Sambhe, V. (2022). Role of digital, hyper spectral, and SAR images in detection of plant disease with deep learning network. *Multimedia Tools and Applications*, 81(23), 33645–33670. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13055-z>
- Bonilla Bolaños, A. G., & Singaña Tapia, D. A. (2019). La productividad agrícola más allá del rendimiento por hectárea: análisis de los cultivos de arroz y maíz duro en Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de La Vida*, 29(1), 70–83.
- Cadena Piedrahita, D. L. (2021). *Sustentabilidad de fincas productoras de Arroz bajo riego en el Cantón Badahoyo, Ecuador*.
- Chávez Tierra, M. A. (2019). *Mejoramiento de la productividad mediante la implementación de drones en el cultivo de flores de verano y rosas en el grupo Esmeralda Ecuador*. PUCE-Quito.
- Chira Pozo, A. D., & Gómez Florián, O. D. (2021). *Propuesta de utilización de drones para mejorar la productividad en procesos de fumigación de cultivos de arroz IR-43 en la empresa Semillas Piuranas SAC La Arena-2021*.
- Chuquen Tovar, A. F., & León Molina, N. S. (2019). *Registro y gestión de primer vuelo ante la aerocivil de la aeronave Vant Solvenvus*.
- Croplife. (2019). *Procedimiento Operativo Estándar (POE)*.
- Deshmukh, D., Pratihari, D. K., Deb, A. K., Ray, H., & Bhattacharyya, N. (2021). *Design and Development of Intelligent Pesticide Spraying System for Agricultural Robot BT - Hybrid Intelligent Systems* (A. Abraham, T. Hanne, O. Castillo, N. Gandhi, T. Nogueira Rios, & T.-P. Hong (eds.); pp. 157–170). Springer International Publishing.
- Devia, C. A., Rojas, J. P., Petro, E., Martinez, C., Mondragon, I. F., Patino, D., Rebolledo, M. C., & Colorado, J. (2019). High-Throughput Biomass Estimation in

- Rice Crops Using UAV Multispectral Imagery. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 96(3), 573–589. <https://doi.org/10.1007/s10846-019-01001-5>
- Di Puglia Pugliese, L., Guerriero, F., & Scutellá, M. G. (2021). The Last-Mile Delivery Process with Trucks and Drones Under Uncertain Energy Consumption. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 191(1), 31–67. <https://doi.org/10.1007/s10957-021-01918-8>
- Díaz Sánchez, C. del R. (2021). *Respuesta agronómica de dos variedades de arroz (Oryza sativa L.) a diferentes densidades de siembra en el cantón Yaguachi*. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil.
- Espitia, Y., & Santiago, S. (2021). Diseño Conceptual y Preliminar de un UAV Fumigador para Cultivos de Papa en Úmbita – Boyacá. *Fundación Universitaria Los Libertadores Facultad*.
- Garzón, J. M., & Luque, F. (2018). IMPLEMENTACIÓN DE DRONES PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN EL AGRO COLOMBIANO. *Biomass Chem Eng*, 3(2), ^{تفتتفتت}. <http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127%0A> http://publicacoes.cardiol.br/portal/ijcs/portugues/2018/v3103/pdf/3103009.pdf%0Ahttp://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-75772018000200067&lng=en&tlng=
- Ghosh, S., & Dasgupta, R. (2022). Machine Learning and Precision Farming. In *Machine Learning in Biological Sciences* (pp. 239–249). Springer.
- Gomez Murillo, S. E. (2019). *Efecto de la apertura del mercado internacional del arroz, en el mercado colombiano en el periodo (2000-2017)*. Fundación Universidad de América.
- Gómez Urrutia, A. A., & Morales Ramos, K. J. (2020). *Manejo integrado de cultivos (MIC) de tomate, bajo dos sistemas de producción agrícola (agroecológico y con productos químicos)*.
- Gong, Y., Yang, K., Lin, Z., Fang, S., Wu, X., Zhu, R., & Peng, Y. (2021). Remote estimation of leaf area index (LAI) with unmanned aerial vehicle (UAV) imaging for different rice cultivars throughout the entire growing season. *Plant Methods*, 17(1), 88. <https://doi.org/10.1186/s13007-021-00789-4>
- González, A., Amarillo, G., Amarillo, M., & Sarmiento, F. (2016). Drones aplicados a la agricultura de precisión. *Publicaciones e Investigación*, 10, 23–37.
- Guo, S., Li, J., Yao, W., Hu, X., Wei, X., Long, B., Wu, H., & Li, H. (2021). Optimization of the factors affecting droplet deposition in rice fields by rotary unmanned aerial vehicles (UAVs). *Precision Agriculture*, 22(6), 1918–1935. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09818-7>
- Hernández-Clemente, R., Hornero, A., Mottus, M., Peñuelas, J., González-Dugo, V., Jiménez, J. C., Suárez, L., Alonso, L., & Zarco-Tejada, P. J. (2019). Early diagnosis of vegetation health from high-resolution hyperspectral and thermal imagery: Lessons learned from empirical relationships and radiative transfer modelling. *Current Forestry Reports*, 5(3), 169–183.
- Hernández, R. R. (2021). La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(1).
- Hernández, Z. L. D., Amaya, J. O. B., & Cuevas, J. A. A. (2020). CULTIVO DE ARROZ EN LA CUENCA MEDIA Y BAJA DEL RÍO CRAVO SUR. *EL RETO DE*

CONSERVAR Y PRODUCIR, 352.

- Herrera, G. C., Poletine, J. P., Brondani, S. T., Antônio, M., Barelli, A., & da Silva, V. P. (2020). Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de soja na região sul do Brasil por meio de modelagem mista. *Journal of Agronomic Sciences*, 9, 185–202.
- Jian-Sheng, P. (2014). An intelligent robot system for spraying pesticides. *The Open Electrical & Electronic Engineering Journal*, 8(1).
- Lottes, P., Khanna, R., Pfeifer, J., Siegwart, R., & Stachniss, C. (2017). UAV-based crop and weed classification for smart farming. *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 3024–3031.
- Lozano Rojas, C. L. (2020). *Alternativas de usos de la cascarilla de arroz (Oriza sativa) en Colombia para el mejoramiento del sector productivo y la industria*.
- Mabele, L., & Mutegi, L. (2018). Leveraging low-power wide area networks for precision farming: Limabora—A smart farming case using LoRa modules, gateway, ttn and firebase in Kenya. *Interactive Mobile Communication, Technologies and Learning*, 259–272.
- Mansor, Y., Mansor, S., Zuhaidi, H., Ramli, A. R., & Isola, A. I. (2018). Multispectral sensors calibration for lightweight UAV. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 169(1), 12033.
- Mariño Ojeda, J. R. (2019). *Importancia de los sistemas de aeronave no tripulada "UAS", en la clasificación de coberturas del suelo, variable fundamental utilizada en los avalúos rurales en el municipio de Tena-Cundinamarca*.
- Maslekar, N. V., Kulkarni, K. P., & Chakravarthy, A. K. (2020). *Application of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Pest Surveillance, Monitoring and Management BT - Innovative Pest Management Approaches for the 21st Century: Harnessing Automated Unmanned Technologies* (A. K. Chakravarthy (ed.); pp. 27–45). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0794-6_2
- Medina, A. C., & Cordero, C. R. P. (2012). *Guía para el monitoreo de insectos fitófagos*. Federación Nacional de Arroceros.
- Merino Galarza, M. de los Á., & Veintimilla Freire, M. A. (2021). *Análisis de herramientas para el control de vuelo y control de cámaras en un sistema de imágenes multiespectral de bajo costo para monitoreo de cultivos*. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas
- Meza Zapata, D. A. (2022). *Análisis comparativo de un levantamiento fotogramétrico con diferentes alturas de vuelo y cantidades de puntos de apoyo usando drones*.
- Monroy Olano, F. A. (2018). *Desarrollo normativo de la industria de aeronaves no tripuladas (UAV) en el sector de salvamento-rescate y medico preventivo en Colombia*.
- Negrete, J. (2018). Introducción al estudio de la aviación agrícola. *Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/325616528_Introduccion_al_estudio_de_la_aviacion_agricola*.
- Oberti, R., Marchi, M., Tirelli, P., Calcante, A., Iriti, M., Tona, E., Hočevár, M., Baur, J., Pfaff, J., & Schütz, C. (2016). Selective spraying of grapevines for disease control using a modular agricultural robot. *Biosystems Engineering*, 146, 203–215.

- Oberti, R., & Schmilovitch, Z. (2021). *Robotic Spraying for Precision Crop Protection BT - Innovation in Agricultural Robotics for Precision Agriculture: A Roadmap for Integrating Robots in Precision Agriculture* (A. Bechar (ed.); pp. 117–150). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77036-5_6
- Ortega, V., DAVID, GARCÍA-CABAÑAS BUENO, J. A., VERGARA MERINO, R., BERNARDO SANZ, S., HERNÁNDEZ CORREAS, A., & RAMOS CAMPO, D. (2016). *Piloto de dron (RPAS) 2*. Ediciones Paraninfo, SA.
- Ospina, W. (2020). *drones al mejoramiento de la producción agrícola en Tercero en América*.
- Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia (Arica)*, 37(1), 75–84.
- Planas de Martí, S. (2018). Agricultura de precisión y protección de cultivos. *Revista de Ingeniería*, 47, 10–19.
- Quespaz Rosero, C. A. (2022). *Desarrollo de una aplicación web para el monitoreo de cultivos (crop monitoring) mediante el análisis de imágenes multiespectrales*.
- Ren, Q., Zhang, R., Cai, W., Sun, X., & Cao, L. (2020). Application and Development of New Drones in Agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 440(5). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/440/5/052041>
- Robles Macías, M. Á. (2021). *Diseño e implementación de un prototipo para fumigación automatizada de drones para el cultivo de cacao con tecnología Raspberry*. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas
- Rodríguez-Palomino, P. (2021). Inteligencia artificial para la administración de los Reglamentos Aeronáuticos De Colombia (RAC). *Revista Estrategia Organizacional*, 10(1).
- Rodríguez González, L. J. (2020). *Agricultura de precisión en el mundo y en Colombia: revisión bibliográfica*.
- Sánchez, M. V, Cicowiez, M., & Ortega, A. (2021). *Inversión pública productiva en la agricultura para la recuperación económica con bienestar rural: un análisis de escenarios prospectivos para México: Economía del desarrollo agrícola de la FAO–Estudio técnico 11* (Vol. 11). Food & Agriculture Org.
- Segura Castillo, E. A. (2021). *Estudio de factibilidad del uso de drones para la fumigación en el cultivo de arroz en Daule*. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil.
- Shaikh, T. A., Mir, W. A., Rasool, T., & Sofi, S. (2022). Machine Learning for Smart Agriculture and Precision Farming: Towards Making the Fields Talk. *Archives of Computational Methods in Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09761-4>
- Thomasson, J. A., Wang, T., Wang, X., Collett, R., Yang, C., & Nichols, R. L. (2018). Disease detection and mitigation in a cotton crop with UAV remote sensing. *Autonomous Air and Ground Sensing Systems for Agricultural Optimization and Phenotyping III*, 10664, 150–156.
- Tovar Nieto, D. C. (2019). *Análisis de las Particularidades de la Producción y Comercialización del Arroz en Colombia 2010-2018*. Fundación Universidad de América.
- Trendov, N. M., Varas, S., & Zeng, M. (2019). Tecnologías digitales en la agricultura

- y las zonas rurales. *División de Tecnología de La Información. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación and La Agricultura (FAO)*, 1–26.
- Waleed, M., Mubeen, M., Ahmad, A., Habib-ur-Rahman, M., Amin, A., Farid, H. U., Hussain, S., Ali, M., Qaisrani, S. A., Nasim, W., Javeed, H. M. R., Masood, N., Aziz, T., Mansour, F., & EL Sabagh, A. (2022). Evaluating the efficiency of coarser to finer resolution multispectral satellites in mapping paddy rice fields using GEE implementation. *Scientific Reports*, 12(1), 13210. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17454-y>
- Wang, Y.-P., Chang, Y.-C., & Shen, Y. (2022). Estimation of nitrogen status of paddy rice at vegetative phase using unmanned aerial vehicle based multispectral imagery. *Precision Agriculture*, 23(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09823-w>
- Yinka-Banjo, C., & Ajayi, O. (2019). Sky-farmers: Applications of unmanned aerial vehicles (UAV) in agriculture. *Autonomous Vehicles*, 107–128.