

UTILIZACIÓN DE TELEDETECCIÓN REMOTA CON DRONES PARA LA EVALUACIÓN DE BIOESTIMULANTES DE ORIGEN MARINO EN EL CULTIVO DE ARROZ (ORYZA SATIVA L.).

Autores: Alejandro Rodríguez Rosario, Elizabeth Paulino Concepción, Esther Coronado Ogando, Gregory Thomas Acosta Paulino, Ireni María Jiménez Rodríguez, Lissette Estévez Torres, María Alberto y Noemí Encarnación Estévez.

Asesoras: Glennys Llinee López Rodríguez y Leocadia Sánchez Martínez

Resumen

El arroz es un alimento básico en la República Dominicana, y cualquier mejora en su producción tiene un impacto directo en la seguridad alimentaria del país. Evaluar estrategias como el uso de bioestimulantes podría ayudar a garantizar un suministro estable de arroz. Los bioestimulantes son sustancias naturales derivadas de algas marinas que han demostrado promover el crecimiento de las plantas, mejorar la calidad de los cultivos y aumentar la resistencia de las plantas al estrés. La presente propuesta tiene como objetivo principal llevar a cabo un proyecto de investigación que utilizará tecnologías de teledetección remota mediante dron para evaluar el impacto de bioestimulantes de origen marino en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). El estudio se pretende desarrollar en fincas de productores potenciales ubicados en las tres regiones arroceras con mayor impacto en República Dominicana: Nordeste, Norcentral y Noroeste. Se establecerán parcelas experimentales con aplicación de bioestimulantes y manejo controlado y parcelas convencionales, durante cuatro ciclos de cultivo. Se evaluarán diferentes caracteres cuantitativos y cualitativos. Se utilizará un dron DJI Mavic 3M® y se realizarán vuelos en distintas etapas fenológicas del cultivo. Las imágenes obtenidas se procesarán el estado nutricional del cultivo. Una vez concluido el vuelo se procederá a realizar un muestreo de material vegetal para determinar en laboratorio contenidos de N, P, K, Ca, Mg y S. El proyecto tendrá una duración de tres años (36 meses) con un monto general de RD\$15,163,500.00, de estos se buscará financiar con un organismo externo un monto de RD\$12,732,500.00 y la UTECO como entidad institucional proponente aportará una contrapartida de RD\$2,431,000.00.

Palabras claves: RPAS, Otofotomosaicos, Agricultura de Precisión.

Abstract:

The Rice is a staple food in the Dominican Republic, and any improvement in its production has a direct impact on the country's food security. Evaluating strategies such as the use of biostimulants could help ensure a stable supply of rice. Biostimulants are natural substances derived from seaweed that have been shown to promote plant growth, improve crop quality and increase plant resistance to stress.

The main objective of this proposal is to carry out a research project that will use remote sensing technologies using drones to evaluate the impact of biostimulants of marine origin on the cultivation of rice (*Oryza sativa* L.). The study is intended to be carried out on farms of potential producers located in the three rice-growing regions with the greatest impact in the Dominican Republic: Northeast, Northcentral and Northwest. Experimental plots will be established with the application of biostimulants and controlled management and conventional plots, during four crop cycles. Different quantitative and qualitative characteristics will be evaluated. A DJI Mavic 3M® drone will be used and flights will be carried out at different phenological stages of the crop. The images obtained will process the nutritional status of the crop. Once the flight is completed, a sampling of plant material will be carried out to determine the contents of N, P, K, Ca, Mg and S in the laboratory. The project will last three years (36 months) with a general amount of RD\$15,163,500.00. These will seek to finance an amount of RD\$12,732,500.00 with an external organization and UTECO as the proposing institutional entity will contribute a counterpart of RD\$2,431,000.00

Keywords: RPAS, Otophotomosaics, Precision Agriculture.

Introducción

El cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los pilares de la seguridad alimentaria en muchas regiones, es el segundo cereal más cultivado y el alimento básico más consumido en el mundo (Stavrakoudis et al., 2019), proporcionando una fuente esencial de carbohidratos y nutrientes para millones de personas (Qiu et al., 2021; Gadal et al., 2019). En el mundo, es uno de los tres granos alimenticios que predomina en superficie y producción junto con el trigo y el maíz (FAO, 2017). Según la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción mundial de arroz para el año 2021 en volumen fue de 787.29 millones de toneladas (arroz paddy), aproximadamente 513 millones de toneladas de arroz en grano, lo que supuso un crecimiento de más de tres millones de toneladas con respecto al volumen registrado el año anterior. China (212.8 millones TM) e India (195.4 millones TM) son los mayores productores mundiales, seguidos por Indonesia (56.9 millones TM) y Bangladesh (54.4 millones TM) (FAOSTAT, 2023).

El arroz es un alimento básico para la población dominicana, la cual consume alrededor de 57 kg per cápita anualmente, uno de los promedios de consumo más alto de América Latina (IICA, s/f). República Dominicana es considerado un país autosuficiente en la producción de arroz, por lo que, para el Estado Dominicano, es un cultivo de alta prioridad y muchas de las acciones políticas están enfocadas en el incremento de la productividad para garantizar la seguridad alimentaria (Presidencia de la República Dominicana, 2022).

En el país se manejan alrededor de unas 90 mil hectáreas dedicadas al cultivo del arroz, la producción se realiza fundamentalmente bajo sistema de riego (99 % de la producción) por más de 30 mil productores (Durán, 2022). Es el cultivo más importante en aplicación de tecnologías, en el uso intensivo de la tierra y el de mayor difusión en el territorio nacional (El Jaya, 2020). La producción de arroz en el país mantiene promedio de rendimiento de 4.23 quintales/ tarea (equivalentes a unas 6.73 ton/ ha), con un consumo per cápita de unas 127 libras (57.6 kg), uno de los promedios de consumo más alto de América Latina (IICA, s/f).

Territorialmente, el país cuenta con un sistema de división con ocho regiones agropecuarias: Norte, Norcentral, Noroeste, Nordeste, Este, Central, Sur y Suroeste. La provincia Duarte (Nordeste) concentra la mayor producción del cereal, debido a que cuenta con más de 300 mil tareas (18,750 ha) destinadas al cultivo. Le sigue Montecristi (Noroeste), y La Vega (Norcentral) con casi 200 mil tareas (12,500 ha cada una, aproximadamente), María Trinidad Sánchez (Nordeste) con 160 mil (10,000 ha) y Sánchez Ramírez (Nordeste) que cultiva unas 130 mil tareas (8,125 ha). En 2021, la producción nacional de arroz fue de 1.4 ton (14.4 millones de quintales), distribuidas por región, en términos de superficie cultivada de la siguiente manera: **Región Nordeste:** lideró la producción con una superficie cultivada de 1.4 ha. Esta región desempeña un papel crucial en la producción nacional de arroz. **Región Noroeste:** le siguió en importancia con 46,656 ha cultivadas, lo que la convierte en una contribuyente significativa al suministro de arroz del país. **Región Norcentral:** cultivó 37,086 ha de arroz en 2021, consolidándose como otra región destacada en la producción de este cultivo. Suroeste: contribuyó con 11,627 ha cultivadas, siendo una región que también juega un papel importante en la producción arrocerá.

Región Nordeste: lideró la producción con una superficie cultivada de 1.4 ha. Esta región desempeña un papel crucial en la producción nacional de arroz. **Región Noroeste:** le siguió en importancia con 46,656 ha cultivadas, lo que la convierte en una contribuyente significativa al suministro de arroz del país. **Región Norcentral:** cultivó 37,086 ha de arroz en 2021, consolidándose como otra región destacada en la producción de este cultivo. Suroeste: contribuyó con 11,627 ha cultivadas, siendo una región que también juega un papel importante en la producción arrocerá. **Región Este:** cultivó 3,152 ha de arroz, desempeñando su papel en la producción nacional. **Región Central:** con 2,664 ha cultivadas, teniendo esta región una participación significativa en la producción de arroz. **Región Norte:** aportó 36.955 tareas (2,310 ha) cultivadas, siendo una parte valiosa de la producción de arroz en el país.

Sánchez Ramírez es una de las 32 provincias de la República Dominicana y se encuentra en el centro del país, en la subregión del Cibao conocida como Cibao Central o meridional, en el Valle del Yuna. Su capital es el municipio de Cotuí (Plandesar, 2015). Está ubicada en el Cibao Central, es una demarcación rica en recursos naturales como el oro, la flora y los hídricos. Con una extensión territorial de 1,185.8 km², dividida en los municipios Cotuí, Cevicos, Fantino y Villa la Mata, la provincia está poblada por unas 150 mil personas (Almonte, 2019).

Diagnóstico del estado actual

El arroz, siendo el alimento fundamental para casi la mitad de la población mundial, enfrenta desafíos significativos en su producción debido al aumento constante de la demanda, provocado por el crecimiento demográfico (Prasad, Shivay y Kumar, 2017). De acuerdo a estos autores, este escenario se complica por el incremento acelerado en la disponibilidad per cápita de tierra y agua, así como por el traslado masivo de jóvenes de zonas rurales a urbanas en busca de mejores oportunidades, reduciendo la mano de obra agrícola disponible. El arroz se encuentra particularmente vulnerable a estos cambios debido a sus elevados requerimientos de agua y mano de obra.

Históricamente, el aumento en la producción de arroz ha estado impulsado por el desarrollo de variedades/híbridos de alto rendimiento y el uso intensivo de fertilizantes, especialmente nitrógeno (Herrera-Dávila, 2013). Sin embargo, este último ha generado problemas ambientales significativos, como el calentamiento global, la reducción de la capa de ozono y la eutrofización de aguas superficiales y subterráneas, generando preocupación a nivel global. La excesiva aplicación de nitrógeno debe abordarse, lo que podría impactar negativamente en la producción de arroz (Palomino-Roa, 2021).

De acuerdo a Soto-Moncada (2019), la eficiencia del uso de nitrógeno en el arroz es la más baja entre los cereales, lo que subraya la necesidad urgente de desarrollar variedades más eficientes en el uso de este elemento y tecnologías de producción de arroz que requieran menos agua, mano de obra, nitrógeno y pesticidas. Este desafío se presenta como una tarea monumental para los científicos agrícolas, quienes deben abordar estas cuestiones para garantizar la sostenibilidad y la seguridad alimentaria en el futuro.

Objetivos del diagnóstico

La ciencia y la tecnología están desencadenando una auténtica revolución global, transformando diversos aspectos en su camino hacia la reducción del impacto ambiental, la promoción de la salud humana y la optimización de los recursos naturales (CEPAL, 2019). Entre las transformaciones más destacadas se encuentra la creciente adopción de prácticas respetuosas con el medio ambiente, junto con la implementación de tecnologías de agricultura de precisión (según EOS Data Analytics, 2020), orientadas hacia la consecución de la sostenibilidad en la agricultura.

Actualmente, el sector agrícola se encuentra en un punto crucial, donde las tecnologías de la información están desempeñando un papel fundamental. La teledetección es una herramienta utilizada en la agricultura de precisión para el sensoramiento del estado de los cultivos, a través de imágenes capturadas desde sensores remotos ubicados en plataformas satelitales o vehículos aéreos tripulados y no tripulados (Unmanned Aerial Vehicle, UAVs) (Parody-Zuleta y Zapata-Sanjuán, 2018).

La sinergia entre la robótica, el geoposicionamiento y el análisis de Big Data ha demostrado ser de gran valor para abordar desafíos como la gestión eficiente del agua y la reducción del uso excesivo de productos químicos en la agricultura (Moreira, 2018). Los drones son una oportunidad de desarrollo tecnológico con aplicaciones en diversas áreas del conocimiento, una de ellas la agricultura de precisión. Como cultivo de producción destacado, el arroz ha sido un foco principal para el desarrollo de sistemas integrados de monitoreo, mapeo y estimación del rendimiento basados en sensores remotos y tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) (Man et al., 2019).

En la actualidad, los equipos y dispositivos agrícolas utilizan técnicas modernas, como Sensoramiento remoto (SR), Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Sistemas de posicionamiento global (GPS) para obtener información más precisa y así mejorar el manejo de los cultivos. Una de las herramientas más innovadoras es la utilización de los drones (Remotely Piloted Aircraft Systems – RPAS) y sensores para la recolección de información a través de imágenes multiespectrales (Beltrán-Barreto, 2023; Virgues y Zabala, 2023; Guevara et al, 2020). A través del uso de la tecnología de SR, es posible obtener ahorros sustanciales en los costos de fertilización, contribuir a incrementar la rentabilidad para los productores y reducir los impactos ambientales al evitar la aplicación de fertilizantes innecesarios (INIA, 2017).

Uno de los principales retos de los drones en la agricultura es la capacidad de analizar datos multiespectrales para el monitoreo de plantas, mejorando la eficiencia en el uso de agroquímicos y el monitoreo constante del cultivo (Barreiro y Valero, 2014). Distintos autores, tales como: Gasparetto y Bukzem (2023), Estrada y Cárdenas (2022), Ríos-Hernández (2021), Guevara-Bonilla (2020), Pino (2019), Parody-Zuleta y Zapata- Sanjuán (2018), Acosta y Mendoza (2017) coinciden y destacan las múltiples utilidades de los drones al analizar imágenes multiespectrales en la agricultura. Entre las aplicaciones más generalizadas de los drones en la agricultura se encuentran: manejo eficiente del agua, tratamientos localizados de herbicidas, uso óptimo de fertilizantes, detección temprana de enfermedades y plagas en cultivos, supervisión de áreas fumigadas, indicadores de calidad en cultivos, generación de inventarios de cultivos, control de subvenciones agrarias, conteo de plantas y peritación de cultivos.

Todas estas aplicaciones muestran los beneficios de los drones en la agricultura, dado que facilitan a los agricultores la información sobre el estado hídrico, nivel de desarrollo y sanidad de cultivos. Aprovechando las bondades de la tecnología, en este proyecto se pretende combinar el uso del dron y la aplicación de bioestimulantes de origen marino en el cultivo de arroz, como práctica de manejo sustentable.

El uso de bioestimulantes marinos combinado con tecnologías innovadoras como los drones, constituyen aliados estratégicos para mejorar el estado nutricional de los cultivos. Los bioestimulantes son productos naturales o sintéticos, que solos o mezclados con fertilizantes, contribuyen a mejorar el crecimiento de las plantas al desencadenar procesos fisiológicos específicos (Banchon-Aguirre, 2017) y por su lado los drones monitorean y controlan el estado de los cultivos, a través de índices espectrales (Pino, 2019). Por lo que, este estudio tiene como objetivo general “Utilizar la teledetección remota con drones para la evaluación de bioestimulantes de origen marino en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.)”.

Además, se pretende: evaluar la respuesta del cultivo de arroz a distintos niveles de fertilización combinado con la aplicación de bioestimulantes de origen marino; utilizar la teledetección remota con drones para adquirir información que permitan monitorear el estado nutricional del cultivo, correlacionar imágenes capturadas con un dispositivo RPAS (drone) junto con análisis de nutrientes en planta en distintas etapas del cultivo; y) analizar económicamente la aplicación de los bioestimulantes en función a lo

Revisión de la Literatura

En la actualidad, la agricultura se enfrenta a desafíos cada vez más apremiantes, incluyendo la necesidad de mejorar la eficiencia en el uso de recursos y la sostenibilidad ambiental (2018). En este contexto, el cultivo de arroz, uno de los pilares fundamentales de la seguridad alimentaria global, no es la excepción. Desde su introducción en República Dominicana en el año 1512, el cultivo de arroz fue principalmente considerado como una fuente de subsistencia hasta los albores del siglo XX. Sin embargo, a partir de la segunda década del siglo pasado, comenzó a adquirir una relevancia económica significativa (Paniagua-Herrera, 1999). La productividad y desarrollo del cultivo de arroz depende no solo del potencial genético; sino también de las condiciones ambientales y de manejo agronómico que se le dé al cultivo durante su desarrollo (Chauchan, 2012).

Varios estudios han establecido conexiones entre la información espectral y aspectos como el rendimiento y el estado nutricional de los cultivos de arroz, a través de respuestas del cultivo a fertilización nitrogenada (Polanía, 2017), índice de área foliar (Serrano et al., 2018), estimación del índice de vegetación y coeficiente del cultivo (Lezma, 2022), estimación de la conductividad eléctrica del suelo a partir de información espectral (García, 2021, Feria-Rodríguez, 2021), respuestas espectrales en distintas etapas fenológicas (Ortega, 2015), entre otros.

Se utilizó un UAV equipado con tres cámaras (RGB, cámara de infrarrojos en color (CIR) y cámaras multispectrales) para adquirir imágenes de las copas de los arrozales en diferentes etapas clave de crecimiento. Inmediatamente después de los sobrevuelos, se tomaron muestras foliares de arroz para determinar la acumulación de potasio en las plantas de arroz.

Yu et al. (2022), realizó una investigación sobre el “Método de fertilización preciso de la etapa de macollamiento del arroz basado en el mapa de prescripción de teledetección hiperespectral UAV”, con el fin de investigar un método para construir un mapa preciso de prescripción de fertilizantes en la etapa de macollamiento utilizando un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para diagnosticar la demanda de nitrógeno mediante sensores remotos y reducir la cantidad de fertilizante químico, mientras se garantiza el rendimiento del arroz.

En Brasil Coelho-Eugenio (2023), en su investigación “Estimación del rendimiento del grano de arroz inundado y del contenido de nitrógeno en las hojas basado en imágenes de RPAS y aprendizaje automático”, desarrolló modelos predictivos basados en aprendizaje automático para estimar los niveles indirectos de nitrógeno (Narea) y el rendimiento de grano en arroz irrigado. Durante las cinco etapas fenológicas del cultivo, una cámara Sequoia® a bordo de la plataforma Phantom 4® Pro adquirió las imágenes multispectrales. Además de las bandas espectrales, se tomaron 11 índices de vegetación como predictores de las variables de respuesta (Narea y rendimiento de grano). El coeficiente de correlación de Spearman (ρ) analizó la ventana de seguimiento ideal y seleccionó las variables del modelo. El algoritmo Perceptrón multicapa (MLP) ajustó los modelos predictivos cuyo desempeño se evaluó en el entrenamiento y las pruebas. Los resultados obtenidos por la correlación de Spearman indicaron que la ventana ideal para el monitoreo del arroz por RPAS, para ambas variables de respuesta, ocurre al inicio de la fase de reproducción (R1).

En el país, actualmente está en vigencia un proyecto pionero sobre Utilización de RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) para el mapeo de nutrientes en el cultivo de arroz en República Dominicana. Esta investigación incorpora la utilización de vehículos aéreos no tripulados (UAV) equipado con sensor multispectrales para el monitoreo de nutrientes, específicamente NPK en el cultivo de arroz. El monitoreo de NPK involucra el uso de fotogrametría con drones para determinar el índice normalizado de vegetación diferencial (NDVI) y el muestreo del cultivo en distintas etapas vegetativas y reproductivas. Los datos recolectados in situ a partir de análisis foliares de NPK se correlacionarán con los datos de detección remota extraídos de imágenes multispectrales de UAV para cuantificar la cantidad óptima de fertilizantes necesaria en distintos estadios del cultivo (MESCYT, 2021).

En cuanto a investigaciones relacionadas con el uso de la bioestimulación en el cultivo, se ha demostrado que la aplicación de diferentes tipos de extractos de algas marinas promueve la actividad de microorganismos beneficiosos en la zona de las raíces de las plantas (rizosfera) (Kuwada et al., 2006; Alam et al., 2014; Renaut et al., 2019; González-González et al., 2020), aumenta la tolerancia de las plantas a condiciones de estrés abiótico, como sequía o salinidad (Van Oosten et al., 2017; Di Stasio et al., 2018; Sharma et al., 2019), y proporciona protección contra plagas y enfermedades (Vera et al., 2011; Pérez et al., 2016; Hamed et al., 2018).

En Ecuador, González (2021) evaluó el uso de bioestimulantes foliares de algas marinas como complemento de la fertilización edáfica para mejorar la agronomía y calidad de grano del cultivo arroz de soca bajo riego. Por su parte, Alava-Ibarra (2023), en su estudio sobre la respuesta agronomía del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) a la aplicación de dosis de bioestimulante”, realizado con el objetivo de estudiar el efecto de un bioestimulante en el cultivo de arroz para la mejora del desarrollo vegetativo del cultivo, concluyó que uso de bioestimulante orgánicos aumenta el número de macollos fértiles en el arroz.

Martínez-Jiménez (2018), evaluó el efecto de la aplicación de bioestimulantes foliares, sobre el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), con el objetivo de conocer el efecto de la aplicación de bioestimulantes foliares, sobre el rendimiento del cultivo de arroz sembrado en seco. Los resultados determinaron que las aplicaciones de bioestimulantes solos y en mezcla influyeron en las variables altura de planta, número de macollos/m², número de panículas/m², número de granos por panículas y rendimiento por hectárea.

Almeida Veintimilla (2021), en su estudio efecto de algas marinas como fertilizante para el cultivo del arroz, con el objetivo de evaluar la producción del cultivo de arroz con la aplicación de algas marinas como complemento a la fertilización, concluyó que con la aplicación de algas marinas se logra incrementar los rendimientos del cultivo en un 13.58 % con relación a la parcela testigo. En Perú, Yáñez Torres (2017) en su trabajo documental sobre “Nuevos biofertilizantes a base de algas marinas”, concluyó que, el uso de productos comerciales Alga 600® y Alga 3600® ayudan a prevenir el estrés por factores abióticos, por el alto nivel de betaínas y ácido alginico que posee el primero, promueve el desarrollo vigoroso de plantas recién instaladas en campo definitivo y el segundo incentiva la diferenciación y división celular sobretodo en etapas reproductivas del cultivo, aumenta el número de flores viables y evita la caída de estas y de frutos recién cuajados.

El cultivo de arroz científicamente conocido como *Oryza sativa* L., desempeña un papel crucial en la alimentación global, ya que sirve como el alimento básico para más de la mitad de la población mundial. A nivel internacional, el arroz ocupa el segundo lugar en términos de superficie cosechada, solo superado por el trigo (Pilco-Desintonio, 2023). El arroz es una gramínea que se cultiva ampliamente en todo el mundo, y se ha observado que aproximadamente el 95 % de las áreas de cultivo de arroz se encuentran entre el paralelo 53° de latitud norte y el paralelo 35° de latitud sur.

Origen y distribución

El arroz (*Oryza sativa* L.) es una planta que ha sido cultivada durante miles de años y tiene su origen en Asia. Se cree que el arroz se domesticó por primera vez en la región del río Yangtsé en China, alrededor de 5000 a 6000 años atrás (Maroto-Borrego, 2014). Desde entonces, se ha extendido a lo largo de los siglos a diferentes partes del mundo, adaptándose a diversas condiciones climáticas y geográficas. Otros escritos describen que el cultivo de arroz, tiene sus raíces en regiones húmedas de Asia tropical y subtropical, donde se originó hace casi 10.000 años (Murillo- Zúñiga, 2022). De acuerdo a Cabezas y Espinosa (2000), los primeros vestigios de cultivo de arroz se remontan a alrededor de 5.000 años ac en China y se expandieron a Tailandia alrededor de 4.500 a.C. Posteriormente, esta práctica agrícola se extendió a países como Camboya y Vietnam. Desde estas regiones, se propagó a través de las diversas especies derivadas del arroz hacia otras naciones asiáticas, incluyendo Corea, Japón, Myanmar, Pakistán, Sri Lanka, Indonesia y Filipinas. Alrededor del año 800 a.C., el arroz asiático comenzó a establecerse en Europa, principalmente en las regiones orientales y meridionales del continente. La llegada del arroz a España se atribuye a los moros durante su conquista del país alrededor del año 700 d.C.

En el S. XV, el cultivo de arroz se propagó aún más a países europeos como Italia y Francia. Durante la era de los grandes descubrimientos protagonizados por exploradores europeos, el cultivo de arroz se introdujo en otras partes del mundo, incluyendo América, África y Oceanía (EcuRed, s/f). En 1694, el arroz llegó a Carolina del Norte procedente de un barco que provenía de Madagascar. Más tarde, los conquistadores españoles llevaron el cultivo de arroz a Sudamérica a principios del S. XVIII. De acuerdo a Moquete (2010), se estima que el arroz llegó a Santo Domingo (Hispaniola) en el año 1512. En Europa, este cereal adquirió un prestigio significativo. Incluso, en escritos culinarios franceses se menciona una preparación que incluye arroz, con leche, almendras y canela, servida en una comida ofrecida por el rey Luis IX a Santo Tomás de Aquino. Por lo que, la historia del arroz en República Dominicana está vinculada a su llegada durante la época colonial. Durante la colonización española, el arroz se introdujo en la isla de La Española, que hoy se divide en República Dominicana y Haití. Desde entonces, el arroz se ha convertido en un cultivo importante en la agricultura de República Dominicana, desempeñando un papel crucial en la seguridad alimentaria y la economía del país (Moquete, 2010).

Drones en la Agricultura

La aplicación de drones en la agricultura va más allá de la generación de mapas del suelo y el seguimiento de los cultivos; además, se utilizan para la aplicación de agroquímicos, particularmente en cultivos de tamaño moderado y pequeño. En este sentido, China lidera a nivel mundial en el empleo de drones en la agricultura, y su adopción en este sector se encuentra en crecimiento en América Latina (CropLife, 2021).

Los drones son una tecnología inicialmente concebida con fines militares, pero en la actualidad su campo de aplicaciones se ha diversificado ampliamente (Puri et al., 2017). En el ámbito agrícola, los drones desempeñan un papel fundamental en diversas tareas, tales como el mapeo de campos, la vigilancia y seguimiento de cultivos, la detección de plagas y enfermedades, la optimización de la irrigación, y la aplicación segura y precisa de productos fitosanitarios (Stehr, 2015), lo que reduce significativamente el riesgo de contaminación para el operador. En la agricultura, de acuerdo a Sánchez-García (2017) existen varios tipos de drones que se utilizan en función de sus características y usos específicos. Algunos de los tipos y modelos de drones agrícolas más comunes incluyen (Figura 10):



Figura 10. Tipos de drones utilizados en agricultura. Fuente: Sitep, <https://sitep.com/que-tipo-de-dron-escojo-ala-fija-multicoptero-o-helicoptero/>

Multirrotores: Estos drones están equipados con entre cuatro y ocho rotores, lo que les proporciona una gran estabilidad y maniobrabilidad. Son ampliamente utilizados en la agricultura para tareas como el mapeo detallado de campos, el seguimiento de cultivos a nivel individual y la aplicación de pesticidas o fertilizantes de manera precisa.

Alas fijas: Los drones de alas fijas tienen una sola ala, similar a un avión, y son ideales para la vigilancia y el mapeo de grandes extensiones de terreno. Suelen cubrir áreas más extensas en cada vuelo en comparación con los multirrotores, lo que los hace eficientes para la monitorización de cultivos en campos extensos.

Híbridos: Los drones híbridos combinan características de los multirrotores y los de alas fijas. Pueden despegar y aterrizar verticalmente como los multirrotores, pero luego cambian a un vuelo de ala fija para mayor eficiencia en la cobertura de grandes áreas. Estos drones son versátiles y adecuados para diversas aplicaciones agrícolas.

Helicópteros: Los drones en forma de helicóptero se utilizan principalmente para la aplicación de pulverización en cultivos, especialmente en áreas de difícil acceso. Su capacidad de vuelo vertical los hace útiles para aplicaciones precisas de productos químicos o fertilizantes, así como para la vigilancia de cultivos.

La elección del tipo de dron dependerá de las necesidades específicas de la agricultura de precisión y del tamaño y la topografía de los campos agrícolas (Montes- Solís, 2020). Cada tipo de dron tiene sus ventajas y desventajas, por lo que es importante seleccionar el que mejor se adapte a las tareas requeridas en cada caso.

Sensores en drones agrícolas

Los drones pueden equiparse con cámaras, escáneres térmicos, lectores de matrículas y software de reconocimiento facial. Con capacidades de vuelo más simples y volátiles que las aeronaves tripuladas, los drones pueden acercarse a una persona o propiedad, pasar desapercibidos y tomar grabaciones de audio o video y fotografías. También pueden proporcionar streaming de videos a través de cualquier dispositivo móvil (tablet, celular, computadora, etc.) (Ferrero, 2018).

Beltrán-Barreto (2023), indica que los drones utilizados en la agricultura están equipados con una variedad de sensores que les permiten recopilar información valiosa sobre los cultivos y el entorno agrícola. Estos sensores pueden capturar datos de diferentes bandas del espectro energético con una impresionante resolución espacial de hasta cinco (5) centímetros. Esta capacidad de captura de datos es especialmente crucial durante momentos críticos en el desarrollo de los cultivos.

Bioestimulantes

Los bioestimulantes son sustancias o microorganismos que activan procesos naturales que aceleran la asimilación de nutrientes, mejoran las condiciones agronómicas del suelo y protegen los cultivos del estrés. Su uso, puede facilitar la adaptación de los suelos y los cultivos agrícolas al cambio climático, hacerlos más resistentes a las situaciones de sequía y favorecer el secuestro de carbono (Planas, 2023). Los bioestimulantes agrícolas se definen como sustancias naturales y/o microorganismos que se aplican a las plantas, semillas o la zona de las raíces (rizosfera) con el propósito de promover el crecimiento vegetal, mejorar la utilización eficiente de nutrientes, aumentar la resistencia al estrés y mejorar los parámetros de calidad de los cultivos (du Jardin, 2015; Van Oosten et al., 2017).

De acuerdo a García-Morales et al. (2021), los bioestimulantes se pueden clasificar según su origen, incluyendo: Ácidos húmicos y fúlvicos: Sustancias orgánicas presentes en el suelo y derivadas de materia orgánica en descomposición. Ayudan a mejorar la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Hidrolizados de proteínas: Productos obtenidos del hidrólisis de proteínas vegetales o animales. Contienen aminoácidos y péptidos que pueden estimular el crecimiento y la respuesta de las plantas al estrés. Biopolímeros: Sustancias naturales que promueven el desarrollo de raíces y aumentan la resistencia de las plantas a condiciones adversas. Extractos de algas y botánicos: Compuestos extraídos de algas marinas y otras plantas que pueden estimular el crecimiento, mejorar la absorción de nutrientes y fortalecer la defensa de las plantas contra

contra patógenos. Hongos y bacterias benéficas: Microorganismos beneficiosos que pueden establecer simbiosis con las raíces de las plantas, mejorando la absorción de nutrientes y aumentando la resistencia al estrés.

Según Planas (2023), el uso de bioestimulantes en la agricultura ha experimentado un crecimiento significativo. Estos productos no buscan reemplazar la fertilización tradicional, sino más bien complementarla. Su objetivo principal es estimular los procesos naturales que tienen lugar en las plantas, con el fin de mejorar la absorción y la eficiencia en la utilización de nutrientes esenciales. Este enfoque tiene un impacto positivo directo en el rendimiento y la calidad de los cultivos.

Bioestimulantes de origen marino

La utilización de bioestimulantes de origen marino ha surgido como una posible solución para aumentar la productividad y la resistencia de los cultivos, al tiempo que se minimiza el impacto ambiental (Campos, 2012). Sin embargo, la evaluación de estos bioestimulantes y su efecto en el cultivo de arroz requiere métodos precisos y eficientes. Los extractos de algas marinas son ampliamente utilizados en la agricultura como bioestimulantes del crecimiento vegetal y constituyen una alternativa ecológica al consumo excesivo de productos agroquímicos sintéticos (Espinosa-Antón et al., 2020). Estos productos naturales son mezclas complejas de compuestos bioactivos, tales como: reguladores del crecimiento vegetal, polisacáridos, fenoles, aminoácidos, esteroides, betaínas, vitaminas, macro y microminerales. Su aplicación en la producción de diferentes cultivos genera un amplio espectro de respuestas positivas en el sistema planta-suelo, señala Espinosa-Antón et al. (2020).

Los extractos de algas marinas (EAM) han estado disponibles comercialmente desde la década de 1980 (Craigie, 2011) y actualmente representan más del 33% del mercado global de bioestimulantes para plantas (El Boukhari et al., 2020). Estos extractos gozan de una amplia aceptación en la agricultura debido a que se consideran insumos ecológicos, biodegradables y seguros tanto para la salud animal como humana (Khan et al., 2009; Calvo et al., 2014; Arioli et al., 2015). Se obtienen a partir de la biomasa de algas marinas, que puede ser cosechada directamente en las costas o cultivada en mar abierto. Su popularidad en la agricultura se debe a sus beneficios demostrados y a su perfil respetuoso con el medio ambiente.

Metodología

La metodología propuesta combina la tecnología de teledetección remota con drones y la evaluación de bioestimulantes marinos para proporcionar información valiosa sobre la eficacia de estos productos en el cultivo de arroz. El estudio se pretende desarrollar en fincas de productores potenciales ubicados en las tres regiones arroceras con mayor impacto en República Dominicana:

: Nordeste, Norcentral y Noroeste. En una primera etapa se establecerá en la provincia Sánchez Ramírez en donde se elegirá un área representativa de cultivo de arroz y se aplicarán los bioestimulantes de origen marino para llevar a cabo el monitoreo con drones. Posteriormente, el establecimiento de los ensayos se replicará en las provincias Duarte, La Vega, Montecristi y María Trinidad Sánchez, por su impacto en el sector.

Enfoque metodológico

El enfoque metodológico que se utilizará en la investigación es un enfoque mixto, lo que implica la combinación de métodos cualitativos (observación y cuantitativos (toma de datos)). Las características cuantitativas se dan al recolectar imágenes del cultivo de arroz, a través de un drone con cámara multiespectral (sensor). Estas imágenes serán utilizadas para elaborar ortofotomosaicos, los cuales generan miles de valores espectrales del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por su sigla en inglés).

El análisis cualitativo implicará la categorización de los ortofotomosaicos que se generarán a partir del cultivo de arroz en tres tipos distintos: áreas que mostrarán signos de estrés, áreas saludables y áreas densamente pobladas. Este proceso se llevará a cabo mediante la comparación de las observaciones que se realizarán en el campo con la información disponible en la literatura, respaldada por los datos calculados del NDVI que se aplicarán al mosaico. Además, será importante destacar que este estudio se clasificará como longitudinal, ya que la recopilación de datos se realizará a lo largo del ciclo fenológico del cultivo de arroz, abarcando diferentes etapas de su desarrollo.

Tipo de estudio

El estudio de investigación será de tipo experimental y descriptivo. En cada región de estudio se establecerán parcelas experimentales durante años consecutivos, dos ciclos de cultivo por año (diciembre-abril y julio-noviembre). También, en cada región, de forma paralela se establecerá una parcela convencional (sin bioestimulantes) dividida en cuatro cuadrantes para fines de evaluación.

Establecimiento del ensayo. Para su establecimiento se utilizará un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro (4) tratamientos y cuatro (4) repeticiones, para un total de dieciséis (16) unidades experimentales (UE). Cada unidad experimental tendrá una superficie de 200 m² (10 m x 20 m) para un total de área útil de ensayo de 3200 m² y contará con seis pasillos internos (tres verticales y tres horizontales de un metro de ancho). Los tratamientos serán los siguientes: T1= Testigo (cero aplicaciones, sin bioestimulantes), T2= 100 % fertilizante + bioestimulantes), T3= 90 % fertilizante + bioestimulantes, T4= 80 % fertilizante + bioestimulantes. Manejo agronómico del ensayo. El manejo agronómico se llevará a cabo acorde con las prácticas realizadas por los productores en las distintas regiones,

Informantes claves o Población

Para llevar a cabo la investigación sobre la evaluación de los bioestimulantes marinos en el cultivo de arroz en las regiones Nordeste, Norcentral y Noroeste de la República Dominicana, es importante identificar a los informantes clave o la población de interés, los cuales se describen a continuación: Productores, Técnicos de las áreas/ expertos, Fabricantes o distribuidores de bioestimulantes, Autoridades agrícolas: Comunidades locales. Investigadores y académicos, Organizaciones agrícolas, Proveedores de tecnología de drones.

Métodos y técnicas de recolección de datos

Durante el ciclo de desarrollo del cultivo se evaluarán diferentes caracteres cuantitativos, utilizando las metodologías: Sistema de Evaluaciones Estándar para Arroz, Descriptores Varietales del CIAT y Formulario de Descripción Varietal para Arroz (Morejón-Rivera et al., 2021). Las variables de estudio que se pretenden obtener a lo largo del proyecto son las siguientes: Variable dependiente: Comportamiento agronómico del cultivo de arroz (componentes de vegetación): Número de plantas/ m² (densidad). Se calculará en base a un metro cuadrado y para esto se utilizará un marco de PVC de 0.5 m x 0.5 m, se tirará cuatro veces de forma aleatoria y se contarán el número de plantas que contenga. Altura de la planta (cm). Se tomará la medida en cm con una cinta métrica desde la superficie del suelo hasta la punta de la panícula más alta excluyendo la arista. Número de macollos (máximo macollamiento, macollos totales, repetir evaluación antes de cosecha, para evaluar macollos efectivos/ m²). Se registrará el número de macollas por plantas.

Evaluación de panículas (espigas): longitud de las panículas número de espigas/m², granos/espiga, peso de la espiga y peso total/ m². Se tomarán diez plantas aleatorizadas dentro de la parcela útil y se realizará el conteo del número de tallos fértiles y números de panículas. Además, se cosecharán diez panículas al azar con el fin de tomar datos como; longitud de panículas, números de granos por panículas y fertilidad de la misma.

Porcentaje fertilidad de panícula. De las diez panículas cosechadas por tratamiento en cada parcela se contarán los granos llenos y los granos vanos para obtener el porcentaje de fertilidad por panícula. Peso de mil granos (g). Se tomará una muestra de 1000 granos llenos por tratamiento y se pesará en gramos al 14 % humedad. Rendimiento (kg/ha) (peso total y tara). El rendimiento se determinará en el estado fenológico 9 de la planta (arroz en cáscara o paddy) y se expresará en kg/ha al 14 % de humedad. Las observaciones se realizarán en 10 plantas seleccionadas al azar en cada parcela. Las panículas por metro cuadrado se muestrearán una vez por parcela, en un marco de 0.25 m². Los restantes componentes (granos llenos por panícula y masa de 1000 granos) se determinarán en 20 panículas centrales tomadas al azar, y el rendimiento agrícola del cultivo será calculado en un área de 1 m².

Variable independiente: Programa de fertilización con bioestimulantes de origen marino.

Otras variables a evaluar: Biomasa fresca: peso de material vegetal en gramos.

Datos de clorofila con clorofilómetro SPAD 502®, promedio de 10 hojas por repetición, en las etapas de monitoreo de nutrientes. Análisis de extracto celular de peciolo con equipo IMACIMUS® en etapas principales (2 o 3 hojas, máximo macollamiento, diferenciación y espigado). Se tomarán 10 hojas banderas por repetición para extraer nutrientes y muestra de suelo, para análisis de pasta saturada (que coincida con las etapas de análisis de nutrientes foliar). Productividad parcial de nutrientes. se calculará la eficiencia aparente de recuperación (ER), eficiencia fisiológica (EF), eficiencia agronómica (EA), eficiencia interna de recuperación (EI) y factor parcial de productividad (FPP) según la metodología definida por Steward (2007).

Análisis de nutrientes foliar. Las muestras serán enviadas al Laboratorio para la determinación de los contenidos de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, y B presentes en los tejidos. Imágenes multiespectrales del cultivo con un drone en cuatro etapas fenológicas específicas (V3, V5, R3 y R5). para mapeo de nutrientes. Se realizarán cuatro vuelos con un drone DJI Mavic 3M® en las etapas fenológicas de interés. Con los niveles digitales (ND) se calcularán los índices de vegetación NDVI y GNDVI y las ratios entre la banda del infrarrojo cercano y las bandas del Rojo (RR) y el Verde (RG), índices seleccionados por su relación con el contenido de nitrógeno y rendimiento (Gilabert y Melia, 1990; Xue et al., 2004; Chang et al., 2005) (Moreno-García, 2013):

Descripción del problema específico a solucionar con el proyecto

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los cultivos fundamentales que tienen un gran impacto social, económico y ambiental en los países donde se producen. El arroz producido a nivel nacional es considerado suficiente para satisfacer la demanda interna de consumo y desempeña un papel significativo a nivel económico, pues genera más de 470 millones de dólares al año (Faxas, 2018). Pero, aunque es un país autosuficiente en su producción, no ha avanzado en cuanto a productividad, rendimiento y potencial para exportación (En Alimentos, 2021).

A pesar de su potencial agrícola, el sector arrocero en la República Dominicana se enfrenta a desafíos significativos relacionados con la productividad, la competitividad y la sostenibilidad del cultivo, los cuales están asociados principalmente con la incertidumbre en los costos de producción, el proceso de desgravación arancelaria con la expiración de los plazos de protección establecidos en el Tratado de Libre Comercio entre Centroamérica, Estados Unidos y República Dominicana (DR-CAFTA) prácticas de cultivo insostenibles, entre otros (Alvarado, 2023; Rosario 2023; Faxas, 2018).

El sistema tradicional de cultivo de arroz que los agricultores dominicanos han utilizado durante muchos años ha generado una serie de problemas. Entre estos problemas que incluyen una disminución en la producción por baja productividad (rendimientos bajos), incremento en los costos de producción por mano de obra y aumento en los precios de los insumos agrícolas (IICA, 2016).

Durante el periodo 2005 al 2010 el rendimiento promedio de producción de arroz en el país fue de 4.23 quintales/tarea, equivalentes a unas 6.73 toneladas/hectárea (IICA, s/f), sin embargo, para la década 2011-2020, dicho rendimiento promedio apenas aumentó a 4.51 quintales por tarea (equivalentes a unas 6.73 toneladas/hectárea) (Los Defensores, 2020).

En un análisis publicado por el Centro Regional de Estrategias Económicas Sostenibles (CREES), destaca que el arroz es uno de los rubros agrícolas que menor incremento ha experimentado en su productividad agrícola en los últimos 20 años, creciendo sólo 7.1 % del 2002 al 2022 (De la Cruz .2023; Contacto Social, 2023). En este contexto, uno de los desafíos críticos es optimizar el rendimiento del cultivo de arroz mientras se minimizan los impactos ambientales negativos (Andrade et al., 2017).

En el contexto anterior planteado, los bioestimulantes de origen marino han surgido como una posible solución para aumentar la productividad de cultivos importantes como el arroz y reducir el impacto ambiental. Estos compuestos, derivados de organismos marinos y sus extractos, han demostrado tener propiedades beneficiosas para el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como para la resistencia a condiciones de estrés ambiental.

Por otro lado, la teledetección remota con drones se ha convertido en una herramienta valiosa de gestión en la agricultura de precisión, permitiendo la monitorización de los cultivos de manera eficiente y no invasiva. La combinación de la teledetección remota con drones y la aplicación de bioestimulantes de origen marino ofrecen un enfoque innovador para mejorar la productividad y la calidad de los cultivos de arroz. Partiendo del escenario planteado surgen las siguientes interrogantes:

¿Cómo puede la teledetección remota con drones ser utilizada eficazmente para adquirir datos de alta resolución espacial y temporal in situ y, así, monitorear el estado nutricional del cultivo de arroz en las regiones de impacto de la República Dominicana?

¿Cuál es el efecto de bioestimulantes de origen marino bajo dos niveles de fertilización (baja y convencional), en el desarrollo y producción del cultivo de arroz?

¿Cuál es la respuesta del cultivo de arroz a dos niveles de fertilización con bioestimulantes de origen marino para el aprovechamiento de los fertilizantes de uso común en los productores?

¿De qué manera la utilización de teledetección remota con drones para la adquisición de datos de alta resolución espacial y temporal in situ que permite monitorear el estado nutricional del cultivo?

¿Qué información de alerta temprana puede obtenerse al correlacionar imágenes de teledetección capturadas con un drone, con análisis nutricionales en planta obtenidos en distintas etapas del cultivo?

¿Cuál es la viabilidad económica de la aplicación de los bioestimulantes y la utilización de un dronmultiespectral para mapeo de nutrientes en el cultivo de arroz, en función de los resultados obtenidos?

Objetivo General

-Utilizar teledetección remota con drones para la evaluación de bioestimulantes de origen marino en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en regiones de impacto de República Dominicana.

Objetivos Específicos

-Evaluar el efecto de bioestimulantes de origen marino bajo dos niveles de fertilización (baja y convencional), en el desarrollo y producción del cultivo de arroz.

-Evaluar la respuesta del cultivo de arroz a dos niveles de fertilización con bioestimulantes de origen marino para el aprovechamiento de los fertilizantes de uso común en los productores.

-Utilizar la teledetección remota con un drone para adquirir datos de alta resolución espacial y temporal in situ que permitan monitorear el estado nutricional del cultivo.

-Correlacionar imágenes de teledetección capturadas con un drone, con análisis de nutrientes en planta durante diferentes etapas de desarrollo del cultivo.

-Analizar la viabilidad económica de la aplicación de los bioestimulantes en función de los resultados obtenidos.

Justificación del proyecto

El arroz desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria a nivel mundial al proporcionar una fuente de alimento básica, accesible y asequible para una gran parte de la población (Chacón y Gutman, 2022). La producción global de arroz ha experimentado un notable crecimiento en las últimas cinco décadas, principalmente impulsado por mejoras en el rendimiento de los cultivos y, en parte, por la expansión de las áreas de cultivo. Actualmente, con aproximadamente 154 millones de hectáreas cosechadas anualmente, el arroz se destaca como uno de los cereales más cruciales a nivel mundial (FAO, 2019). Además, desempeña un papel fundamental como fuente primaria de calorías y constituye el alimento básico para más de tres mil millones de personas en todo el planeta (Datta et al., 2017; Ullah et al., 2017).

En el país, la producción de arroz es una parte esencial de la agricultura del país y contribuye significativamente a la seguridad alimentaria y la economía nacional. Este rubro aporta al PIB alrededor de 42 mil millones de pesos, equivalentes a unos 750 millones de dólares y de él dependen de forma directa e indirecta alrededor de 250 y 300 mil personas (Ministerio de Agricultura, 2022). Además, es un cultivo de alta prioridad para el gobierno dominicano porque es parte fundamental de la canasta familiar y es determinante para la seguridad y soberanía alimentaria. Sin embargo, enfrenta desafíos relacionados con la eficiencia en el uso de recursos, la optimización de la fertilización y la maximización de los rendimientos.

Para lograr mayores beneficios económicos, independientemente del tamaño de la superficie cultivada, es fundamental mantener un riguroso control de los costos operativos y alcanzar niveles sobresalientes de productividad. Por lo que, se requieren acciones innovadoras enfocadas a mejorar la productividad, además, que contribuyan con la optimización de recursos y en la mejora de la calidad y el rendimiento del cultivo (Kato y Katsura, 2014; Wan et al., 2020). Uno de los ejemplos más notorios de esta tendencia en la agricultura, es el uso de los bioestimulantes se erigen como protagonistas, encarnando el espíritu de la búsqueda de la sostenibilidad en la producción de cultivos agrícolas (Alarcón y Guerrero, 2021).

Propuesta de Solución

Propuesta de Proyecto “Utilización de Teledetección Remota con Drones para la Evaluación de Bioestimulantes de Origen Marino en el Cultivo de Arroz (*Oryza sativa* L.).

Fundamentación de la propuesta

La intensificación del cuidado del medio ambiente y la acción por el clima, y la conservación del paisaje y la biodiversidad, se convierten en un objetivo principal (CEPAL, 2018), que ha de llevarse a cabo a través del conocimiento, la innovación y la digitalización en las zonas rurales (Quiñones, 2023). Investigadores de diversas partes del mundo consideran de máxima importancia la creación de metodologías destinadas a identificar y gestionar eficazmente las amenazas bióticas y abióticas en la producción agrícola. Asimismo, buscan desarrollar estrategias que fortalezcan la resiliencia de los sistemas agrícolas y promuevan la gestión sostenible de los recursos hídricos y del suelo (Sarkar et al., 2018).

En República Dominicana, la Agricultura de Precisión juega un papel fundamental en este escenario futuro, ya que implica optimizar procesos y costos que ayuden a la agroindustria a tener más productividad gastando menos y evitando desperdicios innecesarios. Existen varias herramientas que ayudan a los productores rurales a aumentar su eficiencia productiva, como el uso de sensores de suelo, la teledetección -que permite localizar con precisión a través de fotografías satelitales de amplias zonas- y los drones o Vehículos Aéreos No Tripulados (UAVs) recientemente incorporados al mercado dominicano, que ayudan en el proceso de manejo de cultivos, entre otros. En este contexto, el uso de drones en RD se convierte en un aliado en la Agricultura de Precisión ya que es mucho más preciso, permite la detección y monitoreo de grandes áreas casi en tiempo real.

El empleo de drones en la agricultura extensiva ha logrado consolidarse como una opción de gran relevancia. Esta tecnología se ha convertido en una herramienta altamente capacitada y eficaz para evaluar diversas variables espaciales relacionadas con la aplicación de fertilizantes, herbicidas y nutrientes, como se señala en el estudio de Navia- Zamora (2019). A través, de las imágenes generadas con drone es posible identificar dónde combatir plagas, o aplicar fertilización en el suelo de forma más específica, evitando así desperdicios, y en consecuencia reportando al productor un aumento en la productividad (Garelli, 2022).

En el marco de la Ley 1-12, que establece la Estrategia Nacional de Desarrollo 2030 de la República Dominicana (END 2030). La END 2030 es un marco integral que busca orientar el desarrollo sostenible del país y abordar diversos aspectos, incluyendo el económico, social y ambiental. Por lo que, el proyecto propuesto es coherente con los objetivos y prioridades de la END 2030 de la República Dominicana al impulsar el desarrollo económico, la seguridad alimentaria y nutricional, la sostenibilidad agrícola y la innovación tecnológica en el sector agrícola del país. A continuación, se puntualizan algunas formas en las que este proyecto podría alinearse con los objetivos y prioridades de la END 2030: Desarrollo Económico Sostenible: la producción de arroz es una parte importante de la economía agrícola en la República Dominicana. Utilizando la teledetección remota con drones para evaluar los bioestimulantes en el cultivo de arroz, el proyecto puede contribuir a aumentar la eficiencia y la productividad agrícola. Esto, a su vez, puede impulsar el crecimiento económico sostenible al mejorar los

a) Seguridad Alimentaria y Nutricional: mejorar la calidad y la cantidad de la producción de arroz es fundamental para garantizar la seguridad alimentaria y nutricional de la población dominicana. El proyecto puede contribuir a esta meta al permitir una gestión más precisa de los cultivos y una mayor producción de arroz de alta calidad.

b) Uso Eficiente de Recursos: la teledetección remota con drones puede ayudar a optimizar el uso de recursos como el agua y los fertilizantes, lo que se alinea con los esfuerzos para promover prácticas agrícolas más sostenibles y el uso eficiente de recursos naturales, un objetivo clave de la Estrategia Nacional de Desarrollo 2023.

c) Innovación y Tecnología: la adopción de tecnologías avanzadas, como la teledetección remota con drones, demuestra un compromiso con la innovación y la mejora de la productividad agrícola. Esto está en línea con los esfuerzos para promover la innovación y la tecnología como impulsores del desarrollo económico y social en la República Dominicana.

d) Colaboración y Alianzas: para implementar con éxito este proyecto, es probable que se requiera la colaboración entre el gobierno, instituciones académicas, el sector agrícola y otros actores relevantes. Esta colaboración promovería la construcción de alianzas, un aspecto destacado en la Estrategia Nacional de Desarrollo 2023.

e) Seguridad Alimentaria y Nutricional: mejorar la calidad y la cantidad de la producción de arroz es fundamental para garantizar la seguridad alimentaria y nutricional de la población dominicana. El proyecto puede contribuir a esta meta al permitir una gestión más precisa de los cultivos y una mayor producción de arroz de alta calidad.

f) Uso Eficiente de Recursos: la teledetección remota con drones puede ayudar a optimizar el uso de recursos como el agua y los fertilizantes, lo que se alinea con los esfuerzos para promover prácticas agrícolas más sostenibles y el uso eficiente de recursos naturales, un objetivo clave de la Estrategia Nacional de Desarrollo 2023.

g) Innovación y Tecnología: la adopción de tecnologías avanzadas, como la teledetección remota con drones, demuestra un compromiso con la innovación y la mejora de la productividad agrícola. Esto está en línea con los esfuerzos para promover la innovación y la tecnología como impulsores del desarrollo económico y social en la República Dominicana.

h) Colaboración y Alianzas: para implementar con éxito este proyecto, es probable que se requiera la colaboración entre el gobierno, instituciones académicas, el sector agrícola y otros actores relevantes. Esta colaboración promovería la construcción de alianzas, un aspecto destacado en la Estrategia Nacional de Desarrollo 2022.

A nivel sectorial el proyecto propuesto se alinea con la Ley 64-00 de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la República Dominicana y con las políticas del sector agrícola del país al promover prácticas agrícolas sostenibles, la gestión responsable de recursos y la mitigación del impacto ambiental. Esto contribuiría a un sector agrícola más resilientes y sostenibles en la República Dominicana. Algunas formas en las que este proyecto podría alinearse con la legislación ambiental y las políticas agrícolas de la República Dominicana, se presentan a continuación:

a) Uso Sostenible de Recursos Naturales: la Ley 64-00 promueve el uso sostenible de los recursos naturales y la conservación del medio ambiente. Al utilizar la teledetección remota con drones para evaluar los bioestimulantes en el cultivo de arroz, el proyecto puede contribuir a una gestión más sostenible de los recursos agrícolas al reducir el uso de productos químicos dañinos y optimizar el uso de agua y fertilizantes.

b) Mitigación del Impacto Ambiental: reducir la dependencia de productos químicos en la agricultura puede disminuir la contaminación del suelo y del agua, lo que está en línea con los objetivos de la Ley 64-00 de proteger los recursos naturales y minimizar el impacto ambiental.

c) Desarrollo de Prácticas Agrícolas Sostenibles: las políticas agrícolas de la República Dominicana están cada vez más enfocadas en promover prácticas agrícolas sostenibles. Este proyecto puede servir como un ejemplo de adopción de tecnologías innovadoras y prácticas agrícolas responsables, lo que podría influir en la promoción de tales prácticas en el sector agrícola más amplio.

d) Fortalecimiento del Sector Agrícola: el proyecto podría mejorar la productividad y la calidad del cultivo de arroz, lo que podría tener un impacto positivo en el sector agrícola de la República Dominicana. Un sector agrícola más fuerte contribuye al desarrollo económico del país y al bienestar de los agricultores.

e) Mejora en la Gestión de Riesgos Agrícolas: la teledetección remota con drones puede ayudar a los agricultores a monitorear y gestionar mejor los riesgos relacionados con el clima y las plagas. Esto es importante en un contexto de cambio climático, donde se busca fortalecer la resiliencia del sector agrícola.

f) Cumplimiento de Regulaciones Ambientales: el proyecto podría ayudar a los agricultores a cumplir con regulaciones ambientales relacionadas con la gestión de productos químicos y la protección del medio ambiente, lo que es esencial para el cumplimiento de la Ley 64-00.

proyecto puede contribuir a una gestión más sostenible de los recursos agrícolas al reducir el uso de productos químicos dañinos y optimizar el uso de agua y fertilizantes.

a) Mitigación del Impacto Ambiental: reducir la dependencia de productos químicos en la agricultura puede disminuir la contaminación del suelo y del agua, lo que está en línea con los objetivos de la Ley 64-00 de proteger los recursos naturales y minimizar el impacto ambiental.

b) Desarrollo de Prácticas Agrícolas Sostenibles: las políticas agrícolas de la República Dominicana están cada vez más enfocadas en promover prácticas agrícolas sostenibles. Este proyecto puede servir como un ejemplo de adopción de tecnologías innovadoras y prácticas agrícolas responsables, lo que podría influir en la promoción de tales prácticas en el sector agrícola más amplio.

c) Fortalecimiento del Sector Agrícola: el proyecto podría mejorar la productividad y la calidad del cultivo de arroz, lo que podría tener un impacto positivo en el sector agrícola de la República Dominicana. Un sector agrícola más fuerte contribuye al desarrollo económico del país y al bienestar de los agricultores.

d) Mejora en la Gestión de Riesgos Agrícolas: la teledetección remota con drones puede ayudar a los agricultores a monitorear y gestionar mejor los riesgos relacionados con el clima y las plagas. Esto es importante en un contexto de cambio climático, donde se busca fortalecer la resiliencia del sector agrícola.

e) Cumplimiento de Regulaciones Ambientales: el proyecto podría ayudar a los agricultores a cumplir con regulaciones ambientales relacionadas con la gestión de productos químicos y la protección del medio ambiente, lo que es esencial para el cumplimiento de la Ley 64-00.

Productos del proyecto de acuerdo a los objetivos planteados

Los productos del proyecto "Utilización de Teledetección Remota con Drones para la Evaluación de Bioestimulantes de Origen Marino en el Cultivo de Arroz (*Oryza sativa* L.)" serán diversos y abarcará áreas como: investigación, agricultura y gestión. Aquí se presentan algunos de los productos del proyecto: Producto 1: Informe de Investigación Científica. Un informe detallado que documenta los hallazgos de la investigación, incluyendo la metodología utilizada, los resultados de la aplicación de bioestimulantes de origen marino en el cultivo de arroz, y el análisis de datos de teledetección remota con drones. Producto 2: Mapas de Prescripción Agrícola. Mapas detallados que indican las áreas específicas del campo de arroz que se beneficiarían de la aplicación de bioestimulantes, basados en los datos recopilados mediante teledetección. Estos mapas ayudarían a los agricultores a tomar decisiones precisas sobre la aplicación de insumos agrícolas. Producto 3: Protocolo de Monitoreo Continuo. Un protocolo para la monitorización continua de los cultivos de arroz utilizando teledetección remota con drones, lo que permitiría a los agricultores realizar un seguimiento regular del estado de sus cultivos y ajustar sus prácticas de manejo en consecuencia.

Producto 4: Software de Apoyo a la Toma de Decisiones. El desarrollo de una herramienta de software que permita a los agricultores y asesores agrícolas cargar datos de teledetección y obtener recomendaciones personalizadas sobre la aplicación de bioestimulantes en tiempo real.

Producto 5: Publicaciones Científicas. Artículos científicos que describen los resultados del proyecto, que pueden ser publicados en revistas especializadas para contribuir al conocimiento científico en el campo de la agricultura y la teledetección.

Producto 6: Capacitación y Transferencia de Conocimientos. Programas de capacitación para agricultores y profesionales agrícolas sobre el uso de la teledetección remota y la aplicación de bioestimulantes de origen marino en el cultivo de arroz.

Conclusiones

En la actualidad, la agricultura se enfrenta a desafíos cada vez más apremiantes, incluyendo la necesidad de mejorar la eficiencia en el uso de recursos y la sostenibilidad ambiental. En este contexto, el cultivo de arroz, uno de los pilares fundamentales de la seguridad alimentaria global, no es la excepción. La utilización de bioestimulantes de origen marino ha surgido como una posible solución para aumentar la productividad y la resistencia de los cultivos, al tiempo que se minimiza el impacto ambiental. Sin embargo, la evaluación de estos bioestimulantes y su efecto en el cultivo de arroz requiere métodos precisos y eficientes.

Para lograr los objetivos de la competitividad y la sostenibilidad del sector agrícola es fundamental contar con información confiable, oportuna y pertinente sobre los cultivos, en aspectos como ubicación, extensión, distribución espacial, relaciones entre los tipos de uso, entre otros. El uso de imágenes de sensores remotos en la agricultura se ha planteado como una alternativa para obtener datos cuantitativos que permiten ubicar y caracterizar los cultivos con el fin de tomar decisiones para la planificación y el manejo.

La teledetección remota con drones es una tecnología emergente con un potencial significativo en la agricultura de precisión. Su aplicación en este proyecto no solo permitirá una evaluación más precisa de los bioestimulantes, sino que también impulsará el conocimiento y la capacidad tecnológica en el sector agrícola dominicano. A través de esta investigación, se busca contribuir al conocimiento y la aplicación de tecnologías avanzadas que puedan impulsar la agricultura sostenible y mejorar la producción de uno de los principales alimentos básicos del mundo.

Referencias Bibliográficas

Acosta Henríquez, G.F., Mendoza Torres, C.M. (2017). Aplicaciones de los drones en la agricultura. Anuario de Investigación 2017 / Vol. 6 / ISSN 2227-4235. Universidad Católica de El Salvador.

Disponible en:

<https://repositoriounicaes.catolica.edu.sv/jspui/bitstream/123456789/199/1/25dragon esAN17.pdf>

Alarcón Paliz, G.C.; Guerrero Ochoa, G.I. (2021). Análisis de factibilidad de la producción de un biofertilizante foliar a base de extractos de algas en cultivos de arroz Proyecto Integrador previo a la obtención del título Ingeniero Químico. Escuela Superior Politécnica del Litoral Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas.

Disponible en:

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52013/3/T-110209%20ALARCON%20Y%20GUERRERO.pdf>

Alava Ibarra, P.N. (2023). Respuesta agronómica del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) a la aplicación de dosis de bioestimulante, cantón Daule, provincia del Guayas (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Agrarias). Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/67602>

Almeida Veintimilla, A.C. (2021). Efecto de algas marinas como fertilizante para el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil).

Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/56346>

Almonte, W. (26 enero 2019). Sánchez Ramírez: provincia rica en recursos naturales.

Periódico Digital El Caribe.

Disponible en: <https://www.elcaribe.com.do/panorama/pais/sanchez-ramirez-provincia-rica-en-recursos-naturales/#:~:text=Su%20principal%20sustento%20econ%C3%B3mico%20son,%20acuerdo%20a%20sus%20habitantes.>

Alvarado, R. (31 de agosto 2023). Arroz dominicano: entre costos, amenazas del DR- Cafta y autosuficiencia. Periódico digital El Dinero. Disponible en: <https://eldinero.com.do/244658/arroz-dominicano-entre-costos-amenazas-del-dr-cafta-y-autosuficiencia/>

Álvarez, R., Torres, O., Reyes, E., O. Moreno. (2004). El cultivo del arroz en Venezuela.

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Venezuela, pp. 59-70.

- Andrade, F., Taboada, M., Lema, D., Maceira, N., Echeverría, H., Posse, G., Prieto, D., Sánchez, E., Ducasse, D., Bogliani, M., Gamundi, J.C., Trumper, E., Frana, J., Perotti, E., Fava, F., Mastrángelo, M. (2017). Los desafíos de la agricultura argentina. Satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental. INTA Ediciones. Argentina. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Ducasse/publication/322083906_Los_desafios_de_la_agricultura_argentina_satisfacer_las_futuras_demandas_y_reducir_el_impacto_ambiental/links/5a610fefa6fdc_cb61c50208c/Los-desafios-de-la-agricultura-argentina-satisfacer-las-futuras-demandas-y-reducir-el-impacto-ambiental.pdf
- Arioli T, Mattner SW, Winberg PC (2015) Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: past, present and future. *Journal of Applied Phycology* 27: 2007- 2015; doi:10.1007/s10811-015-0574-9
- Banchon Aguirre, J.J. (2017). Influencia de bioestimulantes foliares a base de algas marinas, sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), bajo riego (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2017). Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/5017/TE-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000100.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Barreiro Elorza, P., Valero Ubierna, C. (2014). Drones en la agricultura. *Tierras de Castilla y León: Agricultura*, 220, 36-42. Disponible en: https://oa.upm.es/32561/7/Agri_220_p_36-42.pdf
- Beltrán Barreto, G.X. (2023). Antecedentes, uso y aplicación de drones en Colombia como herramienta estratégica de análisis en la agricultura de precisión. Disponible en: <https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/5386/BeltranTF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cabezas Bolaños, E.; Espinoza Esquivel, A.M. (2000). El arroz en américa: Su introducción y primeras siembras. *Revista de historia de América*, 7-18. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/20140023>
- Calvo P, Nelson L., Kloepper J.W. (2014) Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil* 383: 3-41; doi:10.1007/s11104-014-2131-8
- Campos Hernández, J.P. (2012). Evaluación del efecto del uso de fertilizantes foliares con acción bioestimulante, sobre la producción y calidad de lechugas.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (2019). *Revolución tecnológica: desafíos y oportunidades para la industria, el empleo, la igualdad de género y el desarrollo social en América Latina y el Caribe*. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/eventos/revolucion-tecnologica-desafios-oportunidades-la-industria-empleo-la-igualdad-genero>

CEPAL. (2018). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Naciones Unidas. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/c41bc64e-b240-4f80-802d-4a60484a02e4/content>

Chacón, K., Gutman, D. (2022). Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz. Hitos de una agricultura sustentable en las Américas. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/21247>

Chang, K.W., Shen, Y., Lo, J.C. (2005). Predicting rice yield using canopy reflectance measured at booting stage. *Agronomy Journal* 97: 872-878. Disponible en: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj2004.0162>

Chauchan, B. (2012). Weed management in direct-seeded rice systems. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute (IRRI), p. 20. Disponible en: https://books.google.com.do/books?hl=es&lr=&id=L65N-VGmVIEC&oi=fnd&pg=PA1&ots=pWtIvaRZto&sig=uo93Ee1SJZJpe_hhJMnP_WoFv_K8&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Craigie JS (2011) Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology* 23: 371-393; doi:10.1007/s10811-010-9560-4

CropLife. (2021). Drones en agricultura, una tecnología con potencial para apoyar especialmente a los pequeños agricultores. Blog. Disponible en: <https://www.croplifela.org/es/actualidad/articulos/drones-en-agricultura-una-tecnologia-con-potencial-para-apoyar-especialmente-a-los-pequenos-agricultores#:~:text=El%20uso%20de%20los%20drones,en%20expansi%C3%B3n%20en%20Am%C3%A9rica%20Latina.>

De la Cruz, I. (8 mayo 2023). Crees: Productividad del arroz crece apenas 7.1 % en 20 años. Periódico Digital Diario Libre. Disponible en: <https://www.diariolibre.com/economia/agro/2023/05/07/productividad-agricola-del-arroz-crecio-71-en-20-anos/2308052>

Di Stasio E, Van Oosten MJ, Silletti S, Raimondi G, dell'Aversana, Carrillo P, Maggio A (2018) *Ascophyllum nodosum*-based algal extracts act as enhancers of growth, fruit quality, and adaptation to stress in salinized tomato plants. *Journal of Applied Phycology* 30: 2675-2686; doi:10.1007/s10811-018-1439-9

EcuRed. (s/f). *Oryza sativa*: origen y distribución. Disponible en: https://www.ecured.cu/Oryza_sativa#Origen_y_distribuci.C3.B3n

El Boukhari ME-M, Barakate M, Bouhia Y, Lyamlouli K (2020) Trends in Seaweed Extract Based Biostimulants: Manufacturing Process and Beneficial Effect on Soil-Plant Systems. *Plants* 9(359): 1-23; doi:10.3390/plants9030359

El Jaya. (15 octubre 2020). Destaca aportes y fortaleza del sector arrocero del país: Pese a pandemia no ha habido escasez; alerta sobre la amenaza del DR-CAFTA en el año 2025. Disponible en: <https://www.eljaya.com/108979/destaca-aportes-y-fortaleza-del-sector-arrocero-del-pais/>

EOS Data Analytics. (12 octubre 2020). Prácticas Agrícolas. La Agricultura Sostenible: Un Nuevo Concepto De Cultivo. Blog. Disponible en: <https://eos.com/es/blog/agricultura-sostenible/>

Espinosa-Antón, A. A., Hernández-Herrera, R. M., González-González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Biotechnología Vegetal*, 20(4), 257-282. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2074-86472020000400257&script=sci_arttext&tlng=en

Estrada Zúñiga, A. C., Cárdenas Rodríguez, J., Bejar Saya, J. V., & Ñaupari Vásquez, J. (2022). Estimación de la biomasa de una comunidad vegetal altoandina utilizando imágenes multiespectrales adquiridas con sensores remotos UAV y modelos de Regresión Lineal Múltiple, Máquina de Vectores Soporte y Bosques Aleatorios. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 301-310. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172022000300301&script=sci_arttext

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2017). Estadísticas. Roma: FAOSTAT.

FAOSTAT. (2023). Cultivos y productos de ganadería: Arroz. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>

Faxas, N. (03 diciembre 2018). Los retos de la industria del arroz en República Dominicana. *Forbes Centroamérica*. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/los-retos-de-la-industria-del-arroz-en-republica-dominicana/>

Ferraro, P. (2018). Drones: nuevas tecnologías y vacíos legales ¿un problema en puerta?, Disponible en: <http://repositorio.udesa.edu.ar/jspui/bitstream/10908/18514/1/%5BPaper%5D%5B%5D%20T.%20Ab.%20Ferraro%2C%20Paloma.pdf>

Feria Rodríguez, L. Á. (2021). Estimación de la conductividad eléctrica del suelo a partir de información espectral en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) (Bachelor's thesis, Universidad de Holguín, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias). Disponible en: <https://repositorio.uho.edu.cu/handle/uho/9388>

Gadal, N., Shrestha, J., Poudel, M. N., Pokharel, B. (2019). A review on production status and growing environments of rice in Nepal and in the world. Archives of Agriculture and Environmental Science, 4(1), 83-87. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Jiban-Shrestha/publication/331641330_A_review_on_production_status_and_growing_environments_of_rice_in_Nepal_and_in_the_world/links/5c85327192851c695069fe4b/A-review-on-production-status-and-growing-environments-of-rice-in-Nepal-and-in-the-world.pdf

García-Morales, S., García-Gaytán, V., & León-Morales, J. M. (2021). Current Overview of Agricultural Biostimulants. Tópicos de Herramientas Biotecnológicas para el Desarrollo Agrícola, 14. Disponible en: https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_61a6389738a4b.pdf#page=21

García-Reyes, R. A., González Posada-Dacosta, M. D., Villazón-Gómez, J. A., & Rodríguez-Rodríguez, S. (2021). Estimación de la conductividad eléctrica del suelo a partir de información espectral en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 30 (4). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542021000400001&script=sci_arttext

Garrelli, M. G. (2022). El impacto positivo de la tecnología de agricultura de precisión en explotaciones agropecuarias (Bachelor's thesis). Disponible en: <https://repositorio.21.edu.ar/handle/ues21/24930>

Gilabert, M.A., Meliá, J. (1990). Usefulness of the temporal analysis and the normalized difference in the study of rice by means of landsat-5 TM images: Establishment of Relationships for Yield Prediction Purpose. Geocarto International 5: 27-32. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10106049009354278>

González Fariña, J.J. (2022). El uso de algas marinas como bioestimulantes. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/29095/EI%20uso%20de%20algas%20marinas%20como%20bioestimulantes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

González-González M.F., Ocampo-Álvarez H., Santacruz-Ruvalcaba F, Sánchez- Hernández C.V., Casarrubias-Castillo K, Becerril-Espinosa A, Castañeda-Nava J.J., Hernández-Herrera R.M. (2020) Physiological, Ecological, and Biochemical Implications in Tomato Plants of Two Plant Biostimulants: Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Seaweed Extract. Frontiers in Plant Science 11(999): 1-18; doi:10.3389/fpls.2020.00999

Guevara-Bonilla, M., Meza-Leandro, A. S., Esquivel-Segura, E. A., Arias-Aguilar, D., Tapia-Arenas, A., & Masís-Meléndez, F. (2020). Uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT's) para el monitoreo y manejo de los recursos naturales: una síntesis. *Revista Tecnología en Marcha*, 33(4), 77-88.

Guevara-Bonilla, M., Meza-Leandro, A.S., Esquivel-Segura, E.A., Arias-Aguilar, D., Tapia-Arenas, A., Masís-Meléndez, F. (2020). Uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT's) para el monitoreo y manejo de los recursos naturales: una síntesis. *Revista Tecnología en Marcha*, 33(4), 77-88. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0379-39822020000400077&script=sci_arttext

Herrera Dávila, B. (2013). Tendencias y desafíos de la Ciencia y Tecnología en el sector agrícola en Ecuador (Master's thesis, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador). Disponible en: <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/3727>

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR). (Marzo 2016). Informe final Proyecto de Transferencia Tecnológica del Sistema Intensivo del Cultivo Arrocerero (SICA) para la Disminución del Vaneamiento y Aumento de la Competitividad del Arroz en la República Dominicana, Santo Domingo.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (s/f). El Cultivo del Arroz en República Dominicana: un Cultivo Básico en la Alimentación del País. Disponible en: <http://www.iica.int/es/prensa/noticias/el-cultivo-del-arroz-en-rep%C3%BAblica-dominicana>

INIA (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria). (2017). Nuevas técnicas para mejorar la eficiencia de uso de agua y nitrógeno en los sistemas de cultivo. Disponible en: <http://www.agripa.org/post/127973/nuevas-tecnicas-para-mejorar-la-eficiencia-de-uso-de-agua-y-nitrogeno-en-los-sis>

Kato, Y., Katsura, K. (2014). Rice adaptation to aerobic soils: physiological considerations and implications for agronomy. *Plant Production Science*, 17(1), 1-12. Disponible en: https://www.jstage.jst.go.jp/article/pps/17/1/17_1/article/-char/ja/

Khan W, Rayirath UP, Subramanian S, Jithesh MN, Rayorath P, Hodges DM, Critchley AT, Craigie JS, Norrie J, Prithiviraj B (2009) Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation* 28: 386- 399; doi:10.1007/s00344-009-9103-x

Kuwada K, Kuramoto M, Utamura M, Matsushita I, Shibata Y, Ishii T (2005) Effect of mannitol from *Laminaria japonica*, other sugar alcohols, and marine alga polysaccharides on in vitro hyphal growth of *Gigaspora margarita* and root colonization of trifoliolate orange. *Plant and Soil* 276: 279-286; doi:10.1007/s11104-005-4985-2

Lezma Jara, J. A. (2022). Estimación del índice de vegetación y coeficiente del cultivo para arroz mediante teledetección en la Estación Experimental Vista Florida, Chiclayo. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5383>

Man, N., Hassim, H., Sehu, N. I., Norasma, N. (2019). Drone services and application for paddy fertilizing and oil palm mapping for climate change. In Proc. 40th Asian Conf. Remote Sens.(ACRS) (pp. 1-7). Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Norsida-Man/publication/355390053_Drone_Services_and_Application_for_Paddy_Fertilizing_and_Oil_Palm_Mapping_for_Climate_Change/links/616e1bbb951b3574c66753e7/Drone-Services-and-Application-for-Paddy-Fertilizing-and-Oil-Palm-Mapping-for-Climate-Change.pdf

Manobanda García, T.B. (2023). Evaluación del efecto de bioestimulantes en palma africana (*Elaeis guineensis*) durante la etapa de vivero, en el cantón Francisco de Orellana, comunidad Las Cayanas. <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/19047/1/13T01085.pdf>

Martínez Jiménez, F. F. (2018). Efecto de la aplicación de bioestimulantes foliares, sobre el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), sembrado en secano (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2018). Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/5145>

MESCYT (Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología. (2021). XIII Seminario de Investigación Científica e Innovación Tecnológica. Programa y resúmenes: Utilización de RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) para el mapeo de nutrientes en el cultivo de arroz en República Dominicana. Fondo Nacional de Innovación y Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDOCYT 2021). Disponible en: <https://mescyt.gob.do/wp-content/uploads/2021/09/XIII-Seminario-de-Investigacion-Cientifica-e-Innovacion-Tecnologica-FONDOCYT-2020-2021-ISBN-978-9945-9201-4-7.pdf>

Ministerio de Agricultura (2021). Estadísticas Agropecuarias: Siembra, Cosecha, Producción y Rendimientos. Disponible en: <https://agricultura.gob.do/category/estadisticas-agropecuarias/siembra-cosecha-produccion-y-rendimientos/siembra-cosecha-produccion-y-rendimientos-siembra-cosecha-produccion-y-rendimientos/> Ministerio de Agricultura. (14 de abril 2021). Intervención del Gobierno incrementa productividad arroz; inicia cosecha 2021. Disponible en: <https://agricultura.gob.do/noticia/intervencion-del-gobierno-incrementa-productividad-arroz-inicia-cosecha-2021/>

Montes Solís, A. (2020). Utilización de la topografía en la agricultura de precisión (Bachelor's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla). Disponible en: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/10567>

Moquete, C. (2010). Guía Técnica: El Cultivo de Arroz. Serie Cultivos No. 37. Santo Domingo, República Dominicana: CEDAF. Disponible en: <https://cedaf.org.do/wp-content/uploads/2022/08/Arroz.pdf>

Moreira, M. (2018). Agricultura 4.0: cosechas abonadas con ciencia y tecnología: Drones, agroguias y plataformas de análisis Big Data ayudan a combatir los efectos del cambio climático en el el sector agroalimentario. Periódico Digital El Independiente. Disponible en: <https://www.elindependiente.com/desarrollo-sostenible/2018/04/07/agricultura-4-0-cosechas-abonadas-ciencia-tecnologia/#gs.hfVhHdU>

Moyé López, S. (2021). Teledetección de la humedad presente en la fenología del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) y su relación con el estado de la vegetación y suelo (Bachelor's thesis, Universidad de Holguín, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias). Disponible en: <https://repositorio.uho.edu.cu/handle/uho/8835>

Murillo Zúñiga, J. M. (2022). Procesó industrial molinero del arroz (*Oryza sativa* L) y su comercialización (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022). Naciones Unidas. (2023). Desafíos globales, Población: una población en crecimiento. Disponible en: <http://190.15.129.146/handle/49000/13277>

Navia Zamora, J. R. (2019). Optimización del proceso de fumigación agrícola mediante la utilización de los drones. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3708>

Ortega Gutiérrez, C. E. (2015). Respuesta espectral del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en dos fases fenológicas durante el periodo invernal 2014 (Bachelor's thesis, Quito: UCE). Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7257/1/T-UCE-0004-40.pdf>

Palomino Roa, T.J. (2021). Gestión de la Producción de Arroz en Ibagué Colombia, Bajo el Enfoque Una Salud (Tesis Doctoral, Universidad para la Cooperación Internacional). Disponible en: <https://www.ucipfg.com/biblioteca/files/original/641a4f14666cc66d34e610af08a3d986.pdf>

Paniagua Herrera, C. E. (1999). El cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) en República Dominicana. Tesis como requisito para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. División de Agronomía, Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.

Disponible en:

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/758/T10972%20PA%20NIAGUA%20HERRERA,%20CESAR%20EMILIO%20%20TESIS.pdf?sequence=1>

Parody Zuleta, A.M., Zapata Sanjuán, E.J. (2018). Agricultura de precisión en Colombia utilizando teledetección de alta resolución. *Suelos Ecuatoriales*, 48(1 y 2), 41-49. Disponible en:

http://unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos_ecuatoriales/article/view/94/78

Pérez-Pastor; Espinosa Jiménez, Pedro Jesús; Pérez Pastor, Alejandro.

Evaluación agronómica y fisiológica del uso de bioestimulantes en una agricultura intensiva. En: *Proceedings of the 8th Workshop on agri-food research: WiA.19*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, CRAI Biblioteca, 2020. Pp. 134-136. ISBN: 978-84-17853-08-2

Pilco Desintonio, J. J. (2023). Incidencia de la fertilización edáfica en la productividad del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en el cantón Samborondón, provincia del Guayas (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Agrarias). Disponible en:

<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/67701>

Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia* (Arica), 37(1), 75-84. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292019000100075&script=sci_arttext&tlng=en

PLANDESAR (Plan de Desarrollo Estratégico Provincia Sánchez Ramírez). (2015). Plan de Desarrollo Estratégico Provincia Sánchez Ramírez (2015-2020). Consejo Provincial para la Administración de los Fondos Mineros de Sánchez Ramírez, Inc. (FOMISAR), Disponible en: <https://fomisar.gob.do/transparencia/phocadownload/PlanEstrategico/PLANDESAR%202015-2020.pdf>

Polanía Montiel, D.C. (2017). Respuestas espectrales a la fertilización con nitrógeno en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia). Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/62002>

Prasad, R., Shivay, Y.S., Kumar, D. (2017). Estado actual, desafíos y oportunidades en la producción de arroz. En: Chauhan, B., Jabran, K., Mahajan, G. (eds) *Producción de arroz en todo el mundo*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5_1

Puri, V., Nayyar, A.; Raja, L. (2017). Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture. *Journal of Statistics and Management Systems*, 20 (4): 507- 518.

Disponible en:

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/758/T10972%20PA>
[NIAGUA%20HERRERA,%20CESAR%20EMILIO%20%20TESIS.pdf?sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/758/T10972%20PA)

Parody Zuleta, A.M., Zapata Sanjuán, E.J. (2018). Agricultura de precisión en Colombia utilizando teledetección de alta resolución. *Suelos Ecuatoriales*, 48(1 y 2), 41-49. Disponible en:

http://unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos_ecuatoriales/article/view/94/78

Pérez-Pastor; Espinosa Jiménez, Pedro Jesús; Pérez Pastor, Alejandro.

Evaluación agronómica y fisiológica del uso de bioestimulantes en una agricultura intensiva. En: *Proceedings of the 8th Workshop on agri-food research: WiA.19*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, CRAI Biblioteca, 2020. Pp. 134-136. ISBN: 978-84-17853-08-2

Pilco Desintonio, J. J. (2023). Incidencia de la fertilización edáfica en la productividad del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en el cantón Samborondón, provincia del Guayas (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Agrarias). Disponible en:

<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/67701>

Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia* (Arica), 37(1), 75-84. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292019000100075&script=sci_arttext&tlng=en

PLANDESAR (Plan de Desarrollo Estratégico Provincia Sánchez Ramírez). (2015). Plan de Desarrollo Estratégico Provincia Sánchez Ramírez (2015-2020). Consejo Provincial para la Administración de los Fondos Mineros de Sánchez Ramírez, Inc. (FOMISAR), Disponible en: <https://fomisar.gob.do/transparencia/phocadownload/PlanEstrategico/PLANDESAR%202015-2020.pdf>

Polanía Montiel, D.C. (2017). Respuestas espectrales a la fertilización con nitrógeno en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia). Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/62002>

Prasad, R., Shivay, Y.S., Kumar, D. (2017). Estado actual, desafíos y oportunidades en la producción de arroz. En: Chauhan, B., Jabran, K., Mahajan, G. (eds) *Producción de arroz en todo el mundo*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5_1

Puri, V., Nayyar, A.; Raja, L. (2017). Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture. *Journal of Statistics and Management Systems*, 20 (4): 507- 518.

Quiñones, A. (2023). El manejo integrado de los nutrientes. Hacia una fertilización sostenible y resiliente. L'Agraria. Revista de información técnica. 3, 24-29. Disponible en:

https://redivia.gva.es/bitstream/handle/20.500.11939/8654/2023_Quinones_El%20Manejo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Renaut S, Masse J, Norrie JP, Blal B, Hijri M (2019) A commercial seaweed extract structured microbial communities associated with tomato and pepper roots and significantly increased crop yield. Microbial Biotechnology 12(6): 1346-1358; doi:10.1111/1751-7915.13473

Ríos-Hernández, R. (2021). Uso de los Drones o Vehículos Aéreos no Tripulados en la Agricultura de Precisión. Revista Ingeniería Agrícola, 11(4), 75-84. Disponible en:

<https://www.redalyc.org/journal/5862/586268743010/586268743010.pdf>

Rosario, D. (28 de julio 2023). No hay plan ante desmonte de aranceles por el DR-Cafta: El Gobierno dominicano todavía no ha identificado alternativas viables: Periódico digital El Dinero. Disponible en:

<https://eldinero.com.do/239975/no-hay-plan- ante-desmonte-de-aranceles-por-el-dr-cafta/>

Sánchez García, M. (2017). Uso y aplicaciones de drones en minería.

Disponible: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/112714>

Sarkar, S.F., Poon, J.S., Lepage, E., Bilecki, L., Girard, B. (2018). Enabling a sustainable and prosperous future through science and innovation in the bioeconomy at agriculture and agri-food Canada. New Biotechnology . 40: 70-75. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871678417300122>

Serrano Reyes, J., Fábrega, J., Quirós, E., Jiménez, J.U., Sánchez Galán, J. (2018). Detección de índice de área foliar por firma espectral de cultivo de arroz (Oryza sativa L.). Disponible en:

<https://ridda2.utp.ac.pa/bitstream/handle/123456789/9430/laccei-FP303.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sharma H.S, Fleming C., Selby C., Rao J.R., Martin T. (2014) Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. Journal of Applied Phycology 26(1): 465- 490; doi:10.1007/s10811-013-0101-9

Soto Moncada, H. J. (2019). “Manejo del nitrógeno en el cultivo de arroz, basado en la sostenibilidad” (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2019).

Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/6013>

Stavrakoudis, D., Katsantonis, D., Kadoglidou, K., Kalaitzidis, A. Gitas, I. Z. (2019). Estimating rice agronomic traits using drone-collected multispectral imagery. *Remote Sensing*, 11(5), 545. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/5/545>

Stehr, N. J. 2015. Drones: The Newest Technology for Precision Agriculture. *Natural Sciences Education*, 44 (1): 89

Stewart, W.M. (2007). Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes (en línea). *Boletín Informaciones Agronomicas* N°. 67:1-6. Consultado 06 ene. 2021. Disponible en <http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/issue/IA-LAHP-2007-4>

Van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., & Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4, 1-12. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40538-017-0089-5>

Virgues Rodríguez, T.Y., Zabala Rodríguez, A.K. (2023). Aplicación de drones como herramienta tecnológica para la transición de la agricultura convencional a la de precisión. Disponible en: <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/4681/Virgues%20Rodriguez%20Tammy%20Yuliana%20-%20Zabala%20Rodriguez%20Andrea%20katerine.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Wan, L., Cen, H., Zhu, J., Zhang, J., Zhu, Y., Sun, D., ...He, Y. (2020). Grain yield prediction of rice using multi-temporal UAV-based RGB and multispectral images and model transfer—a case study of small farmlands in the South of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 291, 108096. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192320301982>

Yáñez Torres, R.E. (2017). Nuevos biofertilizantes a base de algas marinas. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2983>

Yu, F., Bai, J., Jin, Z., Zhang, H., Guo, Z., Chen, C. (2022). Research on precise fertilization method of rice tillering stage based on UAV hyperspectral remote sensing prescription map. *Agronomy*, 12(11), 2893. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/11/2893>

Yu, H.Y., Ding, X., Li, F., Wang, X., Zhang, S., Yi, J., Wang, Q. (2016). The availabilities of arsenic and cadmium in rice paddy fields from a mining area: The role of soil extractable and plant silicon. *Environmental Pollution*, 215, 258-265. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749116302X>