

Agricultura en Venezuela: empleo de la teledetección en la determinación de la calidad del suelo

Agriculture in Venezuela: the use of remote sensing to determine soil quality

Agricultura na Venezuela: aplicação do sensoriamento remoto na determinação da qualidade do solo

Barrios Richard ^{1*}, Seijas César ¹, Naranjo Isaac ², Pérez Egilda ¹

¹ Centro de Procesamiento de Imágenes. Universidad de Carabobo, Naguanagua 2005. Venezuela. ROR: <https://ror.org/05sj7yp62>

² Research and Development Dept., Yttrium Technology Corp, Houston, TX 77002. USA.

✉ rbarrios@uc.edu.ve | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3769-7898>

✉ cseijas@uc.edu.ve | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6050-4436>

✉ inaranjo21@ujap.edu.ve | ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6626-1085>

✉ egiperez@uc.edu.ve | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0633-8200>

E-mail de correspondencia: rbarrios@uc.edu.ve

Revista Saastal

Vol. 1(2) julio - diciembre 2025

Como citar este artículo

Barrios R., Seijas C., Naranjo I., & Pérez E. (2025). *Agricultura en Venezuela: empleo de la teledetección en la determinación de la calidad del suelo*. *Saastal*, 1(2), e3.

© 2025 Saastal. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite debidamente al autor y la fuente original.

Recibido: 12 de junio de 2025

Revisado: 15 de julio de 2025

Aceptado: 30 de julio de 2025

Publicado: 15 de agosto de 2025

Resumen

La gestión agrícola moderna demanda herramientas de precisión para monitorear la fertilidad del suelo y asegurar la sostenibilidad de los sistemas productivos estratégicos. El objetivo de este estudio fue caracterizar la variabilidad espacial de la calidad edáfica mediante técnicas de teledetección avanzada, con el fin de generar información geoespacial de alta precisión que sirva de base para la planificación agrícola y la formulación de políticas públicas. La metodología se fundamentó en el procesamiento de imágenes satelitales de la constelación Sentinel-2, utilizando la plataforma Google Earth Engine para aplicar correcciones atmosféricas a nivel de reflectancia de superficie (L_{2A}). El análisis se centró específicamente en los sistemas de producción de arroz (*Oryza sativa*) ubicados en el Sistema de Riego del Río Guárico, en Calabozo. Se emplearon diversos índices de vegetación como indicadores proxy de la fertilidad, logrando discriminar con éxito la señal espectral entre la fracción de vegetación pura y la mezcla compleja de suelo y vegetación. Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad técnica de correlacionar la respuesta espectral del dosel vegetal con las propiedades intrínsecas del sustrato edáfico. En la discusión se destaca que esta aproximación permite identificar heterogeneidades en el terreno que los métodos de muestreo convencionales suelen omitir. Se concluye que la integración del análisis geoespacial y la agricultura de precisión constituye una estrategia fundamental para optimizar el uso de insumos y mejorar la resiliencia de los cultivos de cereales, proporcionando una cartografía detallada que facilita la toma de decisiones informadas en tiempo real.

Palabras clave: agricultura de precisión; análisis geoespacial; NDVI; procesamiento digital de imágenes; segmentación semántica.

Abstract

Modern agricultural management requires precision tools to monitor soil fertility and ensure the sustainability of strategic production systems. The objective of this study was to characterize the spatial variability of soil quality using advanced remote sensing techniques, with the aim of generating high-precision geospatial information to serve as a basis for agricultural planning and public policy formulation. The methodology was based on the processing of satellite images from the Sentinel-2 constellation, using the Google Earth Engine platform to apply atmospheric corrections at the surface reflectance level (L_{2A}). The analysis focused specifically on rice (*Oryza sativa*) production systems located in the Guárico River Irrigation System in Calabozo. Various vegetation indices were used as proxy indicators of fertility, successfully distinguishing the spectral signal between the pure vegetation fraction and the complex mixture of soil and vegetation. The results obtained demonstrate the technical feasibility of correlating the spectral response of the plant canopy with the intrinsic properties of the edaphic substrate. The discussion highlights that this approach makes it possible to identify on-the-ground variations that conventional sampling methods often overlook. It concludes that the integration of geospatial analysis and precision agriculture is a key strategy for optimizing the use of inputs and improving the resilience of cereal crops, providing detailed maps that facilitate informed decision-making in real time.

Keywords: precision agriculture; geospatial analysis; NDVI; digital image processing; semantic segmentation.

Resumo

A gestão agrícola moderna requer ferramentas de precisão para monitorar a fertilidade do solo e garantir a sustentabilidade de sistemas produtivos estratégicos. O objetivo deste estudo foi caracterizar a variabilidade espacial da qualidade do solo por meio de técnicas avançadas de sensoriamento remoto, com a finalidade de gerar informações geoespaciais de alta precisão que sirvam de base para o planejamento agrícola e a formulação de políticas públicas. A metodologia foi baseada no processamento de imagens de satélite da constelação Sentinel-2, utilizando a plataforma Google Earth Engine para aplicar correções atmosféricas no nível de reflectância de superfície (L₂A). A análise concentrou-se especificamente em sistemas de produção de arroz (*Oryza sativa*) localizados no Sistema de Irrigação do Rio Guárico, em Calabozo. Diversos índices de vegetação foram empregados como indicadores indiretos de fertilidade, permitindo distinguir com sucesso o sinal espectral entre a fração de vegetação pura e a mistura complexa de solo e vegetação. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica de correlacionar a resposta espectral do dossel vegetal com as propriedades intrínsecas do substrato edáfico. A discussão destaca que essa abordagem possibilita identificar variações em campo que frequentemente passam despercebidas pelos métodos convencionais de amostragem. Conclui-se que a integração da análise geoespacial e da agricultura de precisão constitui uma estratégia fundamental para otimizar o uso de insumos e aumentar a resiliência das culturas de cereais, fornecendo mapas detalhados que facilitam a tomada de decisões informadas em tempo real.

Palavras-chave: agricultura de precisão; análise geoespacial; NDVI; processamento digital de imagens; segmentação semântica.

Introducción

La calidad del suelo constituye uno de los factores más importantes que determinan la productividad agrícola, la sostenibilidad de los sistemas de cultivo y la seguridad alimentaria. Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo influyen directamente en la disponibilidad de nutrientes, la retención de agua, el desarrollo radicular y la capacidad de las plantas para expresar su potencial productivo. Sin embargo, la evaluación convencional de la calidad del suelo mediante muestreos de campo y análisis de laboratorio suele requerir una elevada inversión de tiempo, recursos económicos y personal especializado, lo que limita su aplicación a gran escala [1].

En las últimas décadas, la teledetección se ha consolidado como una herramienta estratégica para el monitoreo agrícola debido a su capacidad para proporcionar información espacial y temporal de extensas áreas de cultivo de manera rápida y no destructiva. El desarrollo de sensores multiespectrales de alta resolución, junto con plataformas satelitales de libre acceso como Sentinel-2, ha permitido generar indicadores biofísicos que facilitan la evaluación del estado de la vegetación, la detección temprana de estrés y la identificación de zonas con diferente potencial productivo [2].

Entre los índices espectrales más utilizados destaca el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), ampliamente empleado para estimar vigor vegetativo, cobertura vegetal, biomasa y productividad agrícola. Este índice aprovecha el contraste existente entre la absorción de radiación en la banda roja por parte de la clorofila y la elevada reflectancia en el infrarrojo cercano generada por la estructura interna de las hojas. Diversos estudios han demostrado que las variaciones espaciales y temporales del NDVI pueden utilizarse como indicadores indirectos de condiciones edáficas, permitiendo identificar limitaciones asociadas a déficit hídrico, compactación, salinidad o deficiencias nutricionales [3], [4].

La incorporación de información satelital en programas de agricultura de precisión ha permitido optimizar el uso de fertilizantes, mejorar la eficiencia hídrica y aumentar la productividad de diversos cultivos estratégicos [5]. En particular, el cultivo de arroz requiere un monitoreo continuo de las condiciones del suelo y del desarrollo fenológico debido a su elevada sensibilidad a cambios en la disponibilidad de agua y nutrientes. En este contexto, las imágenes Sentinel-2 ofrecen una alternativa eficiente para el seguimiento de la dinámica espacial del cultivo y la evaluación de factores asociados a la calidad del sitio agrícola [6].

A pesar de los avances alcanzados en el uso de tecnologías geoespaciales para la agricultura, aún existe una limitada aplicación de metodologías basadas en índices espectrales para la caracterización indirecta de la calidad del suelo en sistemas arroceros venezolanos. La integración de datos satelitales, análisis multitemporal y herramientas de procesamiento geoespacial representa una oportunidad para generar información de alta resolución que contribuya a la toma de decisiones agronómicas y a la gestión sostenible de los recursos productivos [7].

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad del suelo mediante técnicas avanzadas de teledetección utilizando imágenes Sentinel-2 y el índice NDVI, con el propósito de generar información espacial que permita identificar variaciones en el potencial productivo de áreas agrícolas y fortalecer la implementación de estrategias de agricultura de precisión en el estado Guárico, Venezuela.

Metodología

Área de estudio

La investigación se desarrolló en áreas agrícolas destinadas al cultivo de arroz ubicadas en el estado Guárico, Venezuela. Esta región constituye una de las principales zonas productoras de cereales del país y presenta condiciones edafoclimáticas favorables para el desarrollo de sistemas agrícolas extensivos.

Adquisición y preprocesamiento de imágenes satelitales

La adquisición de datos se realizó mediante imágenes multispectrales de la misión Sentinel-2, operada por la Agencia Espacial Europea (ESA, París, Francia). Se utilizaron imágenes Sentinel-2 MSI (MultiSpectral Instrument) con resolución espacial de 10 m en las bandas visibles e infrarrojo cercano y resolución temporal de cinco días.

Las imágenes fueron obtenidas a través de la plataforma Google Earth Engine (Google LLC, Mountain View, California, Estados Unidos), empleando productos Sentinel-2 Level-2A previamente corregidos atmosféricamente. Estos productos proporcionan valores de reflectancia de superficie (Bottom of Atmosphere, BOA), minimizando los efectos asociados a aerosoles atmosféricos, vapor de agua y dispersión radiativa.

Corrección, integración y georreferenciación

Las imágenes fueron sometidas a procedimientos de control de calidad, eliminación de nubes

y análisis multitemporal. Posteriormente, se aplicaron técnicas de correregistro espacial para garantizar la coincidencia geométrica entre escenas adquiridas en diferentes fechas.

La integración y procesamiento de los datos geoespaciales se realizaron mediante Google Earth Engine (Google LLC, Mountain View, California, Estados Unidos) y software de Sistemas de Información Geográfica QGIS versión 3.34 (QGIS Development Team, Zúrich, Suiza).

Cálculo del índice NDVI

La evaluación del vigor vegetativo se realizó mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), calculado a partir de las bandas espectrales roja (Banda 4; 665 nm) e infrarrojo cercano (Banda 8; 842 nm) de Sentinel-2 utilizando la ecuación 1.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde *NIR* representa la reflectancia en el infrarrojo cercano y *R* la reflectancia en la banda roja.

Los valores de NDVI fueron calculados para cada fecha de análisis y posteriormente integrados en series temporales con el fin de evaluar la dinámica fenológica de los cultivos y su relación con la calidad del suelo.

Segmentación y análisis espacial

Para discriminar la influencia espectral del suelo desnudo y aislar la señal correspondiente a la vegetación activa, se aplicaron procedimientos de segmentación digital y enmascaramiento espectral. Se generaron dos conjuntos de datos:

NDVI – V + S: reflectancia combinada de vegetación y suelo.

NDVI – Vegetación: reflectancia correspondiente exclusivamente a biomasa fotosintéticamente activa.

Los mapas temáticos obtenidos fueron incorporados a un Sistema de Información Geográfica (SIG) para su análisis espacial y comparación con información agronómica disponible.

Interpretación de la calidad del suelo

La calidad del suelo fue inferida indirectamente mediante el comportamiento temporal de los índices espectrales. Valores elevados de NDVI durante el ciclo de cultivo fueron interpretados como indicadores de condiciones edáficas favorables, mientras que valores persistentemente bajos fueron asociados a posibles limitaciones relacionadas con disponibilidad de nutrientes, compactación, estrés hídrico o degradación física del suelo.

Los valores de NDVI pueden variar en el intervalo comprendido entre 0,0 y 1,0. Un valor de 0,85 correspondería a una vegetación muy densa y sana mientras que un valor de 0,15 correspondería a un suelo arado y sin vegetación (Figura 1).

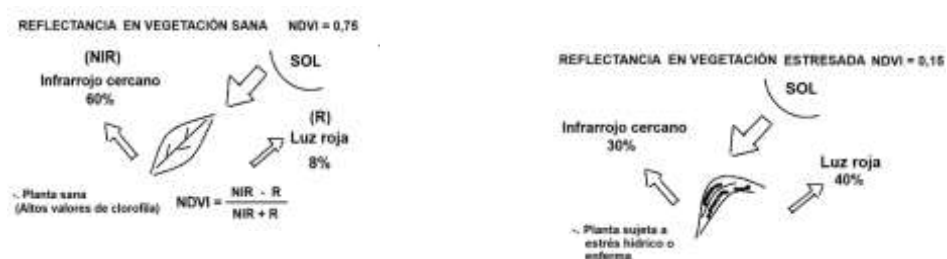


Figura 1. Reflectancia en vegetación sana (izquierda) y en vegetación estresada (derecha).

Análisis estadístico

El procesamiento estadístico y la visualización de datos se realizaron utilizando el software R versión 4.0.0 (R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria). Se efectuaron análisis descriptivos y comparativos de las series temporales de NDVI para identificar patrones espaciales asociados a la calidad del suelo y al desempeño agronómico de las parcelas evaluadas.

Resultados

Caracterización espectral de la vegetación y del suelo

Los valores de NDVI obtenidos a partir de las imágenes Sentinel-2 permitieron diferenciar claramente las áreas con cobertura vegetal activa de aquellas con predominio de suelo desnudo. La segmentación espectral generó dos conjuntos de datos: NDVI-V+S (Vegetación

+ Suelo) y NDVI-Vegetación (Vegetación activa), los cuales fueron utilizados para analizar la respuesta temporal del cultivo y su relación con las condiciones edáficas (Figura 2).

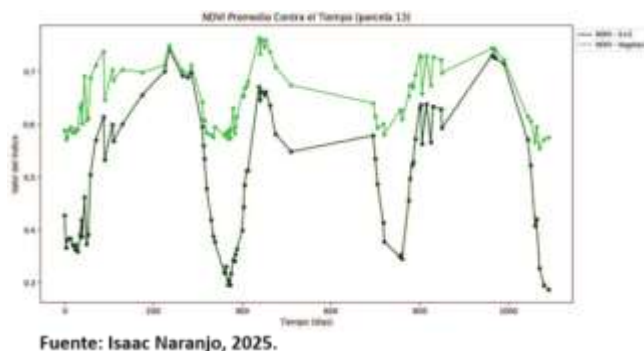


Figura 2. Evolución temporal de los índices NDVI V+S y NDVI Vegetación.

La evolución temporal de ambos índices mostró diferencias significativas durante las primeras etapas fenológicas del cultivo. Mientras la curva correspondiente a NDVI-Vegetación presentó valores elevados desde las primeras observaciones, la curva NDVI-V+S registró incrementos más graduales debido a la influencia espectral del suelo y de superficies con baja cobertura vegetal.

Los valores máximos observados para NDVI-Vegetación se ubicaron entre 0,6 y 0,7; indicando una elevada actividad fotosintética y una adecuada cobertura del dosel. Por su parte, los valores inferiores registrados en NDVI-V+S durante las etapas iniciales reflejaron la presencia de suelo expuesto y zonas con menor densidad de biomasa [8].

Evaluación indirecta de la calidad del suelo

El análisis espacial permitió identificar sectores con diferentes niveles de aptitud productiva. Las parcelas que presentaron mayores valores integrales de NDVI durante el ciclo de cultivo evidenciaron un desarrollo vegetativo más uniforme y una rápida cobertura del suelo.

Por el contrario, algunas áreas mostraron valores persistentemente bajos de NDVI, sugiriendo posibles limitaciones relacionadas con disponibilidad de nutrientes, condiciones hídricas desfavorables o restricciones físicas del suelo.

Las zonas clasificadas con valores altos de NDVI se asociaron con condiciones favorables para el crecimiento del cultivo, mientras que los sectores con valores bajos representaron áreas prioritarias para intervenciones de manejo agronómico y monitoreo continuo.

Discusión

Los resultados obtenidos demuestran que la teledetección basada en imágenes Sentinel-2 constituye una herramienta eficiente para la evaluación indirecta de la calidad del suelo en sistemas agrícolas [9]. La separación observada entre las curvas NDVI-V+S y NDVI-Vegetación refleja la influencia que ejerce el suelo sobre la respuesta espectral durante las primeras etapas del desarrollo fenológico, fenómeno ampliamente documentado en estudios de agricultura de precisión.

La rápida convergencia de ambas curvas encontradas en determinadas parcelas indica un cierre temprano del dosel vegetal y una alta capacidad productiva del suelo. Este comportamiento sugiere condiciones favorables de fertilidad, disponibilidad hídrica y estructura edáfica, permitiendo una adecuada expresión del potencial fisiológico del cultivo [10].

Por el contrario, la persistencia de diferencias entre ambas curvas en determinados sectores puede interpretarse como evidencia de heterogeneidad espacial en la calidad del suelo. Estas diferencias son consistentes con reportes previos que relacionan valores reducidos de NDVI con problemas de compactación, estrés hídrico, limitaciones nutricionales o degradación física del suelo [11], [12].

Asimismo, los resultados confirman la utilidad del análisis multitemporal como herramienta para el monitoreo agrícola. La integración de series temporales de NDVI permite evaluar la dinámica del cultivo a lo largo del ciclo productivo y detectar oportunamente anomalías que podrían afectar el rendimiento final [13].

Desde una perspectiva operativa, la metodología propuesta ofrece ventajas importantes respecto a los métodos convencionales de evaluación edáfica, ya que permite generar información espacial continua sobre grandes extensiones agrícolas con costos significativamente menores que los asociados a campañas intensivas de muestreo de campo. Además, la disponibilidad gratuita de imágenes Sentinel-2 y plataformas como Google Earth Engine facilita la implementación de sistemas de monitoreo agrícola escalables y reproducibles [14], [15].

Finalmente, aunque el NDVI demostró ser un indicador útil para inferir la calidad del suelo, la interpretación de los resultados debe complementarse con datos de campo y análisis fisicoquímicos que permitan validar las relaciones observadas entre la respuesta espectral y las propiedades edáficas. La integración de ambas fuentes de información contribuirá al

desarrollo de modelos predictivos más robustos para la gestión sostenible de los sistemas agrícolas.

Conclusión

La aplicación de técnicas de teledetección basadas en imágenes Sentinel-2 y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) permitió identificar patrones espaciales y temporales asociados al desarrollo vegetativo de cultivos agrícolas en el estado Guárico, Venezuela. Los resultados demostraron que la diferenciación entre las métricas NDVI-V+S y NDVI-Vegetación constituye una herramienta útil para detectar variaciones en la cobertura vegetal y generar información indirecta sobre la heterogeneidad de las condiciones edáficas.

El análisis multitemporal evidenció que las parcelas con mayores valores integrales de NDVI presentaron una respuesta vegetativa más vigorosa y uniforme, lo que sugiere condiciones favorables de fertilidad, disponibilidad hídrica y estructura del suelo. Por el contrario, las áreas con valores persistentemente bajos de NDVI fueron identificadas como zonas potencialmente afectadas por limitaciones físicas o químicas que podrían comprometer el rendimiento agrícola.

La metodología propuesta demostró ser una alternativa eficiente para el monitoreo de grandes extensiones agrícolas, permitiendo generar información geoespacial de alta resolución con menor costo y mayor cobertura espacial que los métodos tradicionales basados exclusivamente en muestreos de campo. Asimismo, la utilización de imágenes Sentinel-2 y plataformas de procesamiento de acceso abierto favorece la reproducibilidad y escalabilidad de este tipo de análisis en programas de agricultura de precisión.

Futuras investigaciones deberán incorporar análisis fisicoquímicos de suelo y procedimientos de validación en campo que permitan fortalecer la relación entre los índices espectrales y las propiedades edáficas evaluadas. En este sentido, la integración de datos de teledetección, sistemas de información geográfica y modelos de inteligencia artificial podría representar una línea prometedora para el desarrollo de sistemas de monitoreo agrícola de nueva generación, orientados a mejorar la productividad, la sostenibilidad y la resiliencia de los agroecosistemas frente a los desafíos asociados al cambio climático.

Contribución y autoría

R.B.: Conceptualización, Metodología, Investigación, Curación de datos, Análisis formal, Visualización, Redacción del borrador original, Supervisión. **C.S.:** Metodología, Software,

Curación de datos, Análisis formal, Validación, Visualización, Redacción del borrador original, Redacción, revisión y edición, Administración del proyecto. **I.N.:** Investigación, Adquisición de datos, Validación, Curación de datos, Recursos, Redacción, revisión y edición. **E.P.:** Conceptualización, Supervisión, Administración del proyecto, Obtención de financiamiento, Redacción, revisión y edición.

Todos los autores contribuyeron al desarrollo de la investigación, revisaron el manuscrito, aprobaron la versión final para su publicación y aceptan la responsabilidad sobre la integridad y exactitud del trabajo.

Financiamiento

Este trabajo recibió financiamiento del Ministerio del Poder Popular para Ciencia y Tecnología (MinCyT), Venezuela, mediante el proyecto de investigación «Consolidación del sistema inteligente para la estimación de la producción de arroz a nivel nacional» coordinado por César Seijas. El financiamiento apoyó las actividades relacionadas con la adquisición, procesamiento y análisis de información geoespacial utilizada en el presente estudio.

Declaración ética

Este estudio se basó exclusivamente en el análisis de datos de teledetección. El mismo no involucró investigaciones con seres humanos ni con animales, por lo que no se requirió aprobación de un comité de ética.

Uso de inteligencia artificial

Los autores declaran que no se utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa ni tecnologías asistidas por IA en la preparación o redacción de este manuscrito. Todo el contenido, incluida la redacción, el análisis y la presentación de los resultados, fue producido de forma autónoma por los autores.

Disponibilidad de datos

En concordancia con las políticas de ciencia abierta, los autores declaran: “Los datos que respaldan los resultados de este estudio, incluyendo los scripts de Google Earth Engine y las máscaras de segmentación, están disponibles a través del autor de correspondencia, previa solicitud razonable con fines académicos”.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés financiero, personal o profesional que haya influido en el desarrollo, interpretación o presentación de los resultados de esta investigación.

Referencias

- [1] H. Chaudhry *et al.*, «Evaluating the Soil Quality Index Using Three Methods to Assess Soil Fertility», *Sensors*, vol. 24, n.º 3, p. 864, ene. 2024, doi: 10.3390/s24030864.
- [2] M. Guerini Filho, T. M. Kuplich, y F. L. F. D. Quadros, «Estimating natural grassland biomass by vegetation indices using Sentinel 2 remote sensing data», *Int. J. Remote Sens.*, vol. 41, n.º 8, pp. 2861-2876, abr. 2020, doi: 10.1080/01431161.2019.1697004.
- [3] R. Orsini, M. Fiorentini, y S. Zenobi, «Evaluation of Soil Management Effect on Crop Productivity and Vegetation Indices Accuracy in Mediterranean Cereal-Based Cropping Systems», *Sensors*, vol. 20, n.º 12, p. 3383, jun. 2020, doi: 10.3390/s20123383.
- [4] M. E. Fadl, M. A. E. AbdelRahman, A. I. El-Desoky, y Y. A. Sayed, «Assessing soil productivity potential in arid region using remote sensing vegetation indices», *J. Arid Environ.*, vol. 222, p. 105166, jun. 2024, doi: 10.1016/j.jaridenv.2024.105166.
- [5] J. Segarra, M. L. Buchailot, J. L. Araus, y S. C. Kefauver, «Remote Sensing for Precision Agriculture: Sentinel-2 Improved Features and Applications», *Agronomy*, vol. 10, n.º 5, p. 641, may 2020, doi: 10.3390/agronomy10050641.
- [6] A. San Bautista *et al.*, «Crop Monitoring Strategy Based on Remote Sensing Data (Sentinel-2 and Planet), Study Case in a Rice Field after Applying Glycinebetaine», *Agronomy*, vol. 12, n.º 3, p. 708, mar. 2022, doi: 10.3390/agronomy12030708.
- [7] F. Terribile *et al.*, «The LANDSUPPORT geospatial decision support system (S-DSS) vision: Operational tools to implement sustainability policies in land planning and management», *Land Degrad. Dev.*, vol. 35, n.º 2, pp. 813-834, ene. 2024, doi: 10.1002/ldr.4954.
- [8] T. R. Tenreiro, M. García-Vila, J. A. Gómez, J. A. Jiménez-Berni, y E. Fereres, «Using NDVI for the assessment of canopy cover in agricultural crops within modelling research», *Comput. Electron. Agric.*, vol. 182, p. 106038, mar. 2021, doi: 10.1016/j.compag.2021.106038.

- [9] A. Jędrejek, J. Jadczyzyn, y R. Pudelko, «Increasing Accuracy of the Soil-Agricultural Map by Sentinel-2 Images Analysis—Case Study of Maize Cultivation under Drought Conditions», *Remote Sens.*, vol. 15, n.º 5, p. 1281, feb. 2023, doi: 10.3390/rs15051281.
- [10] M. Hou *et al.*, «The effects of canopy gaps on soil nutrient properties: a meta-analysis», *Eur. J. For. Res.*, vol. 143, n.º 3, pp. 861-873, jun. 2024, doi: 10.1007/s10342-024-01660-6.
- [11] X. Chen, Y. Wang, Y. Chen, S. Fu, y N. Zhou, «NDVI-Based Assessment of Land Degradation Trends in Balochistan, Pakistan, and Analysis of the Drivers», *Remote Sens.*, vol. 15, n.º 9, p. 2388, may 2023, doi: 10.3390/rs15092388.
- [12] D. A. Ayalew, D. Deumlich, B. Šarapatka, y D. Doktor, «Quantifying the Sensitivity of NDVI-Based C Factor Estimation and Potential Soil Erosion Prediction using Spaceborne Earth Observation Data», *Remote Sens.*, vol. 12, n.º 7, p. 1136, abr. 2020, doi: 10.3390/rs12071136.
- [13] J. C. D. M. Esquerdo, J. Zullo Júnior, y J. F. G. Antunes, «Use of NDVI/AVHRR time-series profiles for soybean crop monitoring in Brazil», *Int. J. Remote Sens.*, vol. 32, n.º 13, pp. 3711-3727, jul. 2011, doi: 10.1080/01431161003764112.
- [14] Z. Jin *et al.*, «Smallholder maize area and yield mapping at national scales with Google Earth Engine», *Remote Sens. Environ.*, vol. 228, pp. 115-128, jul. 2019, doi: 10.1016/j.rse.2019.04.016.
- [15] S. Aksoy, A. Yildirim, T. Gorji, N. Hamzehpour, A. Tanik, y E. Sertel, «Assessing the performance of machine learning algorithms for soil salinity mapping in Google Earth Engine platform using Sentinel-2A and Landsat-8 OLI data», *Adv. Space Res.*, vol. 69, n.º 2, pp. 1072-1086, ene. 2022, doi: 10.1016/j.asr.2021.10.024.

Descargo de responsabilidad

Los artículos publicados en la revista *Saastal* representan únicamente las opiniones de los autores. La Editorial Unión Científica, su equipo editorial y sus revisores no se hacen responsables del contenido, las interpretaciones o las consecuencias derivadas de la aplicación de los métodos o conclusiones incluidas en los trabajos. Todas las publicaciones se rigen por las políticas éticas de la editorial.