

Valdiviezo Espinoza, J.; Jaramillo Carrión, M.; Aguilar Lome, J.; Ruiz Fernández, L.; Ramos Fernández, L. Integración de UAV multiespectral/térmico, captura de esporas y evaluación fitosanitaria para la vigilancia de *Bipolaris oryzae* en arroz

# Integración de UAV multiespectral/térmico, captura de esporas y evaluación fitosanitaria para la vigilancia de *Bipolaris oryzae* en arroz

Valdiviezo Espinoza, Juan <sup>1</sup> Jaramillo Carrión, María <sup>2</sup> Aguilar Lome, Jaime <sup>3</sup> Ruiz Fernández, Luis <sup>4</sup> Ramos Fernández, Lia <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Doctorado en Ingeniería y Ciencias Ambientales, Universidad Nacional Agraria La Molina

<sup>2</sup> Laboratorio de Fitopatología, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

<sup>3</sup> Laboratorio de Teledetección, Universidad Nacional Mayor de San Marcos

<sup>4</sup> Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección (CGAT), Universitat Politècnica de València

<sup>5</sup> Departamento de Recursos Hídricos, Universidad Nacional Agraria La Molina

ORCID: Valdiviezo Espinoza 0000-0001-7883-1742 Jaramillo Carrión 0009-0003-6012-6190 Aguilar Lome 0000-0002-6638-3177 Ruiz Fernández 0000-0003-0073-7259 Ramos Fernández 0000-0003-3946-7188

Correspondencia: [juan.valdiviezo.e@gmail.com](mailto:juan.valdiviezo.e@gmail.com) [mjaramillo@unprg.edu.pe](mailto:mjaramillo@unprg.edu.pe) [jaguilarlome@gmail.com](mailto:jaguilarlome@gmail.com) [laruiz@cgf.upv.es](mailto:laruiz@cgf.upv.es) [liarf@lamolina.edu.pe](mailto:liarf@lamolina.edu.pe)

## RESUMEN

La mancha carmelita del arroz, asociada a *Bipolaris oryzae*, requiere esquemas de vigilancia que permitan detección y respuesta temprana. En este trabajo se presenta un esquema metodológico de vigilancia fitosanitaria en arroz basado en la integración de teledetección de proximidad y mediciones in situ en sectores agrícolas del departamento de Lambayeque (provincias de Lambayeque, Ferreñafe y Chiclayo). Se empleó un UAV DJI Matrice 300 RTK con cámara multiespectral (B, G, R, RedEdge y NIR; azul, verde, rojo, borde rojo e infrarrojo cercano) y sensor térmico H20T, complementado con captura de esporas, inspección visual del cultivo y registro meteorológico in situ. Las adquisiciones se organizaron en jornadas de monitoreo sucesivas entre marzo y junio de 2025. Los resultados preliminares muestran la generación de productos georreferenciados multiespectrales y térmicos y la obtención de evidencia fitosanitaria de referencia (severidad visual y cuantificación de esporas) para su integración con variables espectrales y térmicas. El avance evidencia la factibilidad del enfoque y sienta las bases para etapas posteriores de modelado con inteligencia artificial, integración de variables meteorológicas y generación de mapas de riesgo con proyección a un geoportal de apoyo a la decisión fitosanitaria.


**Palabras clave:** Teledetección, arroz, *Bipolaris oryzae*, inteligencia artificial

Fecha de recepción: 22 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 22 febrero 2026


# Integración de UAV multiespectral/térmico, captura de esporas y evaluación fitosanitaria para la vigilancia de *Bipolaris oryzae* en arroz

Valdiviezo Espinoza, Juan <sup>(1)</sup>, Jaramillo Carrión, María <sup>(2)</sup>, Aguilar Lome, Jaime <sup>(3)</sup>, Ruiz Fernández, Luis <sup>(4)</sup>, Ramos Fernández, Lia <sup>(5)</sup>


<sup>(1)</sup> Doctorado en Ingeniería y Ciencias Ambientales, Universidad Nacional Agraria La Molina.

 0000-0001-7883-1742, juan.valdiviezo.e@gmail.com.


<sup>(2)</sup> Laboratorio de Fitopatología, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

 0009-0003-6012-6190, mjaramillo@unprg.edu.pe.


<sup>(3)</sup> Laboratorio de Teledetección, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

 0000-0002-6638-3177, jaguilarlome@gmail.com.

<sup>(4)</sup> Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección (CGAT), Universitat Politècnica de València.

 0000-0003-0073-7259, laruiz@cgf.upv.es.

<sup>(5)</sup> Departamento de Recursos Hídricos, Universidad Nacional Agraria La Molina.

 0000-0003-3946-7188, liarf@lamolina.edu.pe.

**Resumen:** La mancha carmelita del arroz, asociada a *Bipolaris oryzae*, requiere esquemas de vigilancia que permitan detección y respuesta temprana. En este trabajo se presenta un esquema metodológico de vigilancia fitosanitaria en arroz basado en la integración de teledetección de proximidad y mediciones in situ en sectores agrícolas del departamento de Lambayeque (provincias de Lambayeque, Ferreñafe y Chiclayo). Se empleó un UAV DJI Matrice 300 RTK con cámara multiespectral (B, G, R, RedEdge y NIR; azul, verde, rojo, borde rojo e infrarrojo cercano) y sensor térmico H20T, complementado con captura de esporas, inspección visual del cultivo y registro meteorológico in situ. Las adquisiciones se organizaron en jornadas de monitoreo sucesivas entre marzo y junio de 2025. Los resultados preliminares muestran la generación de productos georreferenciados multiespectrales y térmicos y la obtención de evidencia fitosanitaria de referencia (severidad visual y cuantificación de esporas) para su integración con variables espectrales y térmicas. El avance evidencia la factibilidad del enfoque y sienta las bases para etapas posteriores de modelado con inteligencia artificial, integración de variables meteorológicas y generación de mapas de riesgo con proyección a un geoportal de apoyo a la decisión fitosanitaria.

**Palabras clave:** Teledetección, arroz, *Bipolaris oryzae*, inteligencia artificial

## ***Integration of multispectral/thermal UAV, spore capture, and phytosanitary assessment for the surveillance of *Bipolaris oryzae* in rice***

**Abstract:** Brown spot disease in rice, associated with *Bipolaris oryzae*, requires monitoring schemes that enable early detection and response. This paper presents a methodological scheme for phytosanitary monitoring in rice based on the integration of proximity remote sensing and in situ measurements in agricultural sectors in the department of Lambayeque (provinces of Lambayeque, Ferreñafe, and Chiclayo). A DJI Matrice 300 RTK UAV with a multispectral camera (B, G, R, RedEdge, and NIR; blue, green, red, red-edge, and near-infrared) and H20T thermal sensor was used, complemented by spore capture, visual inspection of the crop, and in situ meteorological recording. The acquisitions were organized into successive monitoring days between March and June 2025. Preliminary results show the generation of georeferenced multispectral and thermal products and the collection of reference phytosanitary evidence (visual severity and spore quantification) for integration with spectral and thermal variables. The progress demonstrates the feasibility of the approach and lays the foundation for subsequent stages of modeling with artificial intelligence, integration of meteorological variables, and generation of risk maps with projection to a geoportal to support phytosanitary decision-making.

**Keywords:** Remote sensing, rice, *Bipolaris oryzae*, artificial intelligence

## 1. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria y la economía agrícola, cuyo desempeño productivo está fuertemente condicionado por estreses bióticos y abióticos. Entre las enfermedades foliares, la mancha parda o mancha carmelita asociada a *Bipolaris oryzae* (sin. *Cochliobolus miyabeanus* en su fase sexual) constituye un problema relevante por su amplia distribución y por su capacidad de afectar distintas fases fenológicas del cultivo. Reportes recientes indican que esta enfermedad puede comprometer, tanto el rendimiento como la calidad del grano, con impactos productivos y económicos en sistemas arroceros (Kaboré *et al.*, 2025).

En la práctica agrícola, el monitoreo de *B. oryzae* suele basarse en inspecciones visuales y muestreos puntuales, los cuales pueden resultar tardíos, subjetivos o costosos cuando se requiere cubrir áreas extensas. Esta limitación dificulta la transición hacia esquemas de vigilancia operativa capaces de priorizar zonas, anticipar brotes y sustentar decisiones de manejo (Liu *et al.*, 2022). En este contexto, la teledetección de proximidad con vehículos aéreos no tripulados (UAV) se ha consolidado como una alternativa eficaz para detectar variaciones espaciales del estado del cultivo mediante sensores multiespectrales y térmicos, capturando señales asociadas a cambios fisiológicos y biofísicos (Kouadio *et al.*, 2023; Yan *et al.*, 2025; Zhu *et al.*, 2024).

De manera complementaria, el monitoreo aerobiológico mediante captura y cuantificación de esporas aporta evidencia sobre la presión de inóculo y su dinámica epidemiológica, especialmente cuando se interpreta junto con el ambiente y el estado del cultivo (Mahaffee *et al.*, 2023). Asimismo, la inteligencia artificial (IA) se ha convertido en un componente clave para transformar datos UAV en información accionable, mediante estrategias de aprendizaje automático y profundo para detección/segmentación de síntomas, estimación de severidad y generación de mapas (Liu *et al.*, 2023; Ma *et al.*, 2023).

A pesar de estos avances, persiste una brecha entre estudios centrados únicamente en imágenes y la implementación de esquemas integrados de vigilancia fitosanitaria en campo. En este contexto, el presente trabajo propone un enfoque metodológico para la vigilancia de *B. oryzae* en arroz, articulando jornadas de adquisición UAV multiespectral y térmica, captura de esporas y evaluación fitosanitaria (con registro meteorológico como componente del esquema de monitoreo), con el fin de sentar las bases para etapas posteriores de modelado de riesgo y generación de productos cartográficos de apoyo a la decisión.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

El estudio se localiza en el departamento de Lambayeque, Perú, en sectores arroceros distribuidos en las provincias de Lambayeque, Ferreñafe y Chiclayo (Fig. 1). El monitoreo se enfocó en cuatro sectores de seguimiento, codificados como L (Lambayeque), ZF

(Zapote Figueroa, en la provincia de Ferreñafe), P (Paredones) y CB (Carniche Bajo).

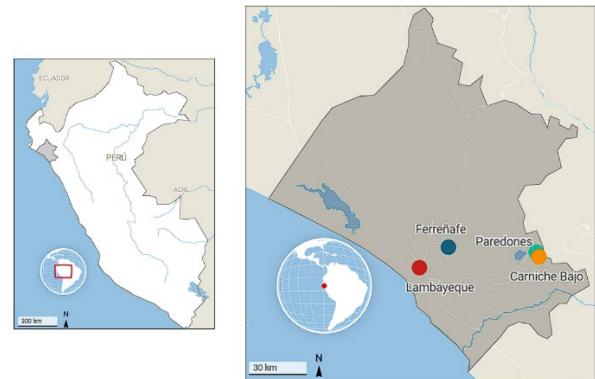


Figura 1. Mapa de ubicación de sitios de estudio.

Las zonas evaluadas presentan diferencias de disponibilidad hídrica y condiciones ambientales. En L y ZF se realiza generalmente una campaña anual, mientras que en CB y P (zona de influencia de Chongoyape) pueden desarrollarse dos campañas, lo que refleja mayor disponibilidad de agua para riego.

### 2.2. Diseño de jornadas de monitoreo

El monitoreo se realizó mediante jornadas sucesivas (J1–J5), con días centrales el 18/03, 26/03, 19/04, 13/05 y 29/05 de 2025, integrando captura de esporas, inspección fitosanitaria, vuelo UAV y registro meteorológico en los sectores evaluados. Cada jornada incluyó: (i) instalación de parantes/trampas, (ii) vuelo UAV y medición meteorológica *in situ* coincidente con Sentinel-2 y Landsat (Landsat 8 y Landsat 9), y (iii) retiro de trampas y recolección de hojas. Las jornadas se desarrollaron entre marzo y junio de 2025 y se emplearon como unidad temporal para la organización e integración de los datos multifuente.

### 2.3. Adquisición UAV y procesamiento de imágenes

Las imágenes se adquirieron con un DJI Matrice 300 RTK equipado con sensor multiespectral de cinco bandas (B, G, R, RedEdge y NIR) y sensor térmico H20T, en jornadas de monitoreo sucesivas (J1–J5) bajo un esquema replicable entre sectores (altura ~170 m; solape longitudinal y transversal 70–80%). La componente multiespectral incluyó calibración radiométrica con panel de reflectancia provisto por el fabricante, y la planificación de vuelo se definió con criterios de consistencia geométrica y cobertura espacial. Para la validación térmica se midió temperatura superficial con un radiómetro Apogee MI-210 sobre cuatro coberturas (tela negra, tela amarilla, suelo desnudo y aluminio) delimitadas en un marco de 1×1 m, registrando 4 lecturas por cobertura a 40 cm de altura al finalizar el vuelo. Bajo estas condiciones se obtuvo una resolución espacial de 14 cm/píxel (RGB) y 25 cm/píxel (térmico).

Las imágenes adquiridas fueron procesadas en Pix4D para generar productos georeferenciados multiespectrales y térmicos por sector. El flujo incluyó organización por jornada/sector, control de calidad y procesamiento fotogramétrico para la construcción de

ortomosaicos y capas térmicas de temperatura superficial aparente. Estos productos constituyeron la base para la extracción posterior de variables espectrales y térmicas en el contexto del monitoreo fitosanitario.

## 2.4. Muestreo fitosanitario, captura de esporas y evaluación en laboratorio

La evaluación fitosanitaria se planteó como componente de referencia en campo y laboratorio para complementar la información UAV y el registro meteorológico. Incluyó captura de esporas, muestreo foliar alrededor de parantes, inspección visual de síntomas y evaluación microscópica, con el fin de generar evidencia para la vigilancia de *B. oryzae* en arroz.

En cada parante se recolectaron tres hojas por punto cardinal (E, W, N y S) a ~1 m, las cuales fueron codificadas y transportadas en condiciones de conservación (~4 °C) al laboratorio, junto con las estructuras con placas portaobjetos empleadas para captura de esporas. Las hojas se clasificaron según la proporción del área foliar afectada en una escala de severidad 0–3. Con base en esta clasificación, el índice de enfermedad (ID, %) se estimó como severidad promedio ponderada por número de hojas y normalizada por el máximo (3). Posteriormente, se realizó la cuantificación de esporas fúngicas mediante microscopía. Estas variables se integraron como verdad de terreno para su futura vinculación con información espectral, térmica y meteorológica (Fig. 2).



**Figura 2.** (a) actividades de muestreo en campo en puntos de monitoreo, (b) preparación y codificación de muestras, (c) evaluación microscópica y (d) cultivo de muestras para análisis fitopatológico.

## 2.5. Integración multifuente y enfoque de IA

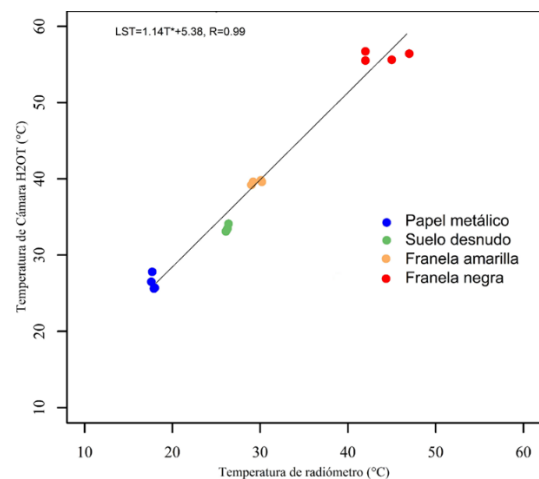
Durante las jornadas de monitoreo se registraron variables meteorológicas *in situ* con una estación (ATMOS 41, capaz de registrar temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, precipitación y viento) para complementar la información UAV y la evaluación fitosanitaria de campo/laboratorio. Los datos se estructuraron por jornada (J1–J5), sector y punto de

monitoreo, de modo que los productos UAV pudieran vincularse con los registros meteorológicos y las variables fitosanitarias de referencia (verdad de terreno).

A partir de la reflectancia UAV se calcularon diez índices de vegetación, aplicando filtrado Savitzky–Golay y regiones de interés (ROI) de 1×1 m para obtener valores promedio por unidad de muestreo. Estos datos servirán para la extracción de variables y el uso futuro de modelos de IA orientados a clasificación de riesgo y generación de insumos cartográficos, con proyección a un geoportail.

## 3. RESULTADOS PRELIMINARES

A partir del procesamiento fotogramétrico en Pix4Dmapper se generaron ortomosaicos georreferenciados multispectrales y térmicos, que constituyen la base para el análisis posterior de variables asociadas al estado del cultivo. En la componente térmica, el flujo incluyó conversión y procesamiento de imágenes radiométricas para estimar temperatura superficial. La Fig. 3 muestra la comparación entre las mediciones del radiómetro y la cámara térmica H20T, realizada sobre cuatro coberturas y en la misma ventana temporal del sobrevuelo UAV.



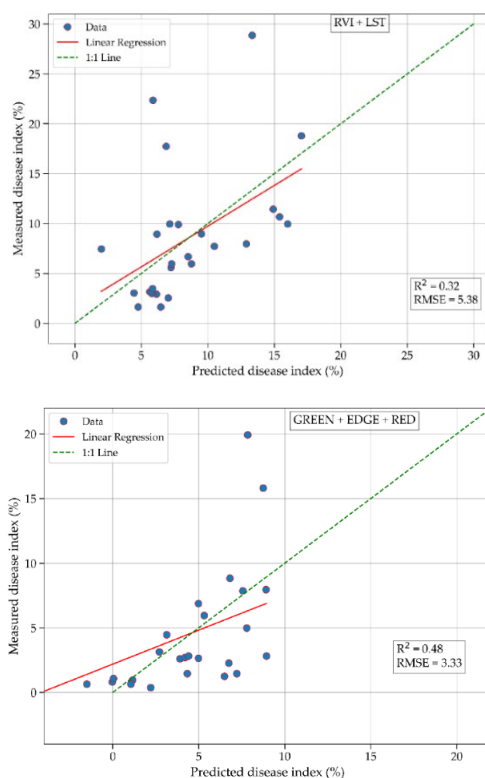
**Figura 3.** Comparación de temperatura estimada con radiómetro y con cámara H20T para cuatro coberturas

Las muestras foliares se clasificaron por severidad (escala 0–3) y, como resultado preliminar, se registraron 160 muestras en nivel 0 y 17 en nivel 1, evidenciando predominio de baja severidad visual durante el periodo analizado. Esta distribución desbalanceada (predominio de niveles 0–1) limita el rango de variación del ID y puede afectar la estabilidad de las correlaciones y de los modelos de regresión en esta etapa preliminar.

Los resultados preliminares mostraron correlación negativa entre el ID y RDVI, EVI, SAVI y RVI, mientras que las reflectancias en NIR, GREEN y RedEdge presentaron correlación positiva. En particular, RVI mostró sensibilidad a variaciones del estado fitosanitario, con una relación cuadrática respecto a la severidad evaluada. En términos biofísicos, estos patrones sugieren que la señal espectral vinculada al estado fitosanitario está asociada principalmente a cambios en

vigor/pigmentos y estructura del dosel (bandas Red/RedEdge/NIR e índices derivados), aunque esta interpretación es exploratoria dada la baja variabilidad de severidad observada.

Como aproximación inicial, se evaluaron modelos de regresión lineal múltiple (MLR) para predecir el ID a partir de variables espectrales y térmicas (Fig. 4). Un modelo con RVI + LST alcanzó  $R^2 = 0.32$ , mientras que un modelo basado en reflectancias RedEdge, GREEN y RED mostró mejor desempeño preliminar ( $R^2 = 0.48$ ). En la Fig. 4, esto sugiere mayor aporte explicativo de la señal espectral que de la componente térmica en esta fase; el menor desempeño con LST podría estar influenciado por el desbalance de severidad y por la sensibilidad de la temperatura superficial a microclima/manejo hídrico, por lo que se evaluará su contribución incorporando covariables ambientales y normalizaciones térmicas.



**Figura 4.** Relación entre la incidencia de enfermedades en las hojas del arroz observado y predicho (MLR).

#### 4. CONCLUSIONES

Se implementó un esquema de vigilancia fitosanitaria multifuente para *B. oryzae* en arroz, integrando UAV multispectral/térmico, meteorología, captura de esporas e inspección de campo/laboratorio. Como resultados preliminares, se generaron ortomosaicos georreferenciados, se consolidó el procesamiento térmico y se obtuvo una base de referencia fitopatológica (severidad visual y cuantificación de esporas) para integración con variables espectrales y térmicas. Los análisis preliminares de correlación y regresión muestran la factibilidad del enfoque, aunque requieren fortalecerse con mayor volumen y diversidad de datos.

Como trabajo futuro se propone completar la integración de variables meteorológicas y de esporas, evaluar modelos de IA más robustos y generar mapas de riesgo orientados a una futura implementación en geoportal para apoyo a decisiones fitosanitarias.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

La investigación fue financiada por Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) y del Programa Nacional de Investigación Científica y de Estudios Avanzados (PROCIENCIA), en el marco de la convocatoria E033-2023-01-BM “Alianzas Interinstitucionales para Programas de Doctorado” (Beca No. PE501088828-2024), así como del Programa de Doctorado en Ingeniería y Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

#### 6. REFERENCIAS

- Kaboré, K. H., Kassankogno, A. I., & Tharreau, D. (2025). Brown spot of rice: worldwide disease impact, phenotypic and genetic diversity of the causal pathogen *Bipolaris oryzae*, and management of the disease. *Plant Pathology*, 74(4), 908-922. <https://doi.org/10.1111/ppa.14075>
- Kouadio, L., El Jarroudi, M., Belabess, Z., Laasli, S. E., Roni, M. Z. K., Amine, I. D. I., ... & Lahlali, R. (2023). A review on UAV-based applications for plant disease detection and monitoring. *Remote Sensing*, 15(17), 4273. <https://doi.org/10.3390/rs15174273>
- Liu, C., Zhai, Z., Zhang, R., Bai, J., & Zhang, M. (2022). Field pest monitoring and forecasting system for pest control. *Frontiers in Plant Science*, 13, 990965. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.990965>
- Liu, S., Zhang, B., Yang, W., Chen, T., Zhang, H., Lin, Y., ... & Zhang, L. (2023). Quantification of physiological parameters of rice varieties based on multi-spectral remote sensing and machine learning models. *Remote Sensing*, 15(2), 453. <https://doi.org/10.3390/rs15020453>
- Ma, B., Cao, G., Hu, C., & Chen, C. (2023). Monitoring the rice panicle blast control period based on UAV multispectral remote sensing and machine learning. *Land*, 12(2), 469. <https://doi.org/10.3390/land12020469>
- Mahaffee, W. F., Margairaz, F., Ulmer, L., Bailey, B. N., & Stoll, R. (2023). Catching spores: Linking epidemiology, pathogen biology, and physics to ground-based airborne inoculum monitoring. *Plant Disease*, 107(1), 13-33. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-21-2570-FE>
- Yan, J., Wu, H., Diao, Z., Miao, Y., Zhang, B., & Zhao, C. (2025). Recent Developments and Applications of Crop Disease Detection, Prediction, and Early Warning: A Review. *Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2025.10.032>
- Zhu, H., Lin, C., Liu, G., Wang, D., Qin, S., Li, A., ... & He, Y. (2024). Intelligent agriculture: Deep learning in UAV-based remote sensing imagery for crop diseases and pests detection. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1435016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1435016>