

12

La agricultura de precisión en la detección de áreas infectadas con Roya en Villa Clara

Precision agriculture in the detection of rust-infected areas in Villa Clara

Irenaldo Delgado Mora¹

Email: ireinaldo.delgado@inicavc.azcuba.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0626-8625>

Osmany Aday Díaz¹

Email: osmany.aday@inicavc.azcuba.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9128-8120>

Ilia Lugo Ruiz¹

Email: ilia.lugo@inicavc.azcuba.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2185-5273>

Rolando Orozco Morales²

Email: rorozco@uclv.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6240-1569>

Luis Hernández Santana²

Email: luishs@uclv.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0558-3690>

¹Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Villa Clara (INICA VC). Cuba.

²Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Delgado Mora, I., Aday Díaz, O., Lugo Ruiz, E., Lugo Ruiz, I., Orozco Morales, R. y Hernández Santana, L. (2024). La agricultura de precisión en la detección de áreas infectadas con Roya en Villa Clara. *Revista Científica Agroecosistemas*, 12(1), 105-111. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>

RESUMEN

El Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Cuba, desarrolló el servicio fitosanitario destinado a los productores cañeros. Elaborar un sistema de Infraestructura de Datos Espaciales, que permita la integración de toda la información agrícola disponible en una sola base de datos y que facilite su utilización por parte de los directivos y técnicos de la base productiva, es una prioridad en el trabajo del cultivo. El objetivo del presente documento fue mostrar la aplicación de la agricultura de precisión en la detección de áreas infectadas con roya en Villa Clara y su implementación en las recomendaciones de los Servicios Científicos Técnicos del INICA. El estudio se desarrolló en áreas experimentales del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Villa Clara y áreas de producción de diferentes Empresas Agroindustriales Azucareras. Como resultados se obtuvo que el uso de las imágenes hiperespectrales del satélite Sentinel-2, permitieron obtener información sobre la situación de esta enfermedad en el momento que se necesite, de manera rápida y confiable. La detección de áreas infectadas con roya parda, a través de técnicas de agricultura de precisión, perfeccionan la recomendación de los Servicios Científicos Técnicos.

Palabras clave:

Agricultura de precisión, Sistema de información, Sistema de soporte a decisiones.

ABSTRACT

The Cuban Sugar Cane Research Institute developed the phytosanitary service for sugarcane producers. Developing a Spatial Data Infrastructure system, which allows the integration of all available agricultural information in a single database and facilitates its use by managers and technicians of the productive base, is a priority in the work of cultivation. This work aimed to show the application of precision agriculture in rust-infected area detection in Villa Clara and its implementation in the recommendations of the Technical Scientific Services of INICA. The study is carried out in experimental areas of the Villa Clara Sugarcane Research Institute and production areas of different Agroindustrial Sugar Companies. As a result, the use of hyperspectral images of the Sentinel-2 satellite allowed obtaining information on the situation of this disease at the time it is needed, quickly and reliably. The detection of areas infected with brown rust, through precision agriculture techniques perfect the recommendation of the Technical Scientific Services.

Keywords:

Precision agriculture, Information system, Decision support system.

INTRODUCCIÓN

Las plagas y enfermedades constituyen uno de los factores principales que inciden negativamente sobre la producción de caña de azúcar (Chinea *et al.*, 2019). Se consideran de importancia económica por la distribución nacional y las pérdidas que ocasionan, las enfermedades como el carbón (*Sporisorium scitamineum* (Syd.) M. P.), roya parda (*Puccinia melanocephala* H. Syd. & P. Syd.), raquitismo de los retoños (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli* (Davis *et al.*) Evtushenko), y la escaldadura foliar (*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson) (Rodríguez *et al.*, 2014).

El Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Cuba (INICA), desarrolló por más de 50 años investigaciones en el control integral de plagas del cultivo, cuyos resultados fueron utilizados para diseñar y desarrollar el servicio de corte fitosanitario destinado a los productores cañeros. El Servicio Fitosanitario de la Caña de Azúcar, por sus siglas "SEFIT", fue creado por el INICA en el año 2000 sobre la base de los resultados de la investigación, la automatización del proceso de captura y el análisis de las variables soporte de decisiones, (Santana *et al.*, 2007).

El SEFIT está soportado en el sistema automatizado "SAFIT" primero de su tipo en Cuba, diseñado en ambiente web (Matos, 2004; 2010). Asimismo, procesa una "interface" diseñada y desarrollada también por el sistema, para la captura de la incidencia de los principales organismos nocivos. El software genera reportes de incidencia de las plagas y las necesidades de insumos fitosanitarios para su control. Permite introducir la información primaria de los muestreos que se ejecutan en las unidades de producción. Además, tiene incorporada facilidades para la generación de gráficos y mapas temáticos en formato digital a escala 1:10000 que se actualizan a partir del vínculo con el sistema automatizado MapInfo Profesional. Estos elementos facilitan la confección de los planes técnicos económicos y la creación de mapas temáticos a partir de vínculos establecidos con la plataforma MapInfo Profesional v8.0., de utilidad para análisis y toma de decisiones (Piñón *et al.*, 2001; Rodríguez *et al.*, 2004, 2013).

En Villa Clara, desde el año 2003 se implementa el SEFIT en las 10 Empresas Agroindustriales Azucareras y en 101 Unidades Productoras Cañeras (UPC) y 38 Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS). Aspecto, que ha permitido el muestreo de más del 90% del área planificada y la ejecución de las encuestas de plagas y enfermedades; realizando con éxito la planificación anual de las necesidades de insumos fitosanitarios, entre ellos la producción de medios biológicos.

Las recomendaciones han incidido directamente en la composición de cultivares, planificación de las demoliciones, rehabilitación de áreas y otras prácticas utilizadas en el control de plagas.

Las pesquisas realizadas, determinaron la presencia de la roya parda (*Puccinia melanocephala* H. Sydow and P. Sydow), la cual mantiene un Índice de Infección a nivel

de provincia en grado Ligero. Esto indica, que la severidad de la enfermedad disminuyó con la aplicación de las recomendaciones del SEFIT.

Sin embargo, en los últimos cinco años a pesar de mantener cubierta más del 90% de la estructura fitosanitaria de las unidades productoras con técnicos para esta actividad, es un indicador crítico a resolver por el éxodo y emigración del personal especializado para la misma. Aspecto este, que también perjudica la calidad de la ejecución de las encuestas de plagas y enfermedades, y el muestreo al área planificada.

La estimación de la severidad de la infestación con roya se realiza mediante inspección visual, lo cual requiere que el personal especializado recorra extensas áreas realizando muestreos esporádicos o esparcidos cuyos resultados están condicionados por la subjetividad característica de la estimación humana. De esta forma, el resultado depende de la experticia y la agudeza de la estimación realizada por el personal disponible en cada lugar, lo cual puede variar entre amplias zonas distantes entre sí.

Elaborar un sistema de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), que permita la integración de toda la información agrícola disponible en una sola base de datos y que facilite su utilización por parte de los directivos y técnicos de la base productiva, es una prioridad en el trabajo del cultivo y mitigaría los problemas anteriormente señalados. La IDE, es un sistema informático que combina las potencialidades de los SIG, y la accesibilidad y disponibilidad de la web, para buscar y acceder a información geográfica (IG) y servicios geográficos asociados a través de Internet (Iniesto y Nuñez, 2014).

Otra alternativa para perfeccionar los métodos tradicionales de muestreo de campo, sería a través de la espectrometría; ya sea mediante tecnologías geoespaciales, aéreas o a nivel de laboratorio, en el estudio de la infección de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) con roya parda (*Puccinia melanocephala*) y naranja (*Puccinia kuehnii*) (Soca *et al.*, 2020), a través del procesamiento de imágenes aéreas multiespectrales en la agricultura de precisión (Kharuf *et al.*, 2018a) y el análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados (VANT) (Kharuf *et al.*, 2018b).

Los VANT pueden estar limitados por recursos y adecuados conocimientos para su utilización, lo que abarca desde la planificación del vuelo hasta el procesamiento de las imágenes y el elevado costo inicial de la inversión. Sin embargo, los satélites brindan imágenes que pueden cubrir grandes áreas de manera regular con una resolución temporal estable y con una resolución espectral que permite obtener imágenes en múltiples bandas. No obstante, la resolución espacial de las imágenes satelitales puede ser muy inferior a la obtenida por un VANT volando a baja altura (Caasi *et al.*, 2020).

El Grupo Azucarero (AZCUBA) de Villa Clara, posee un Geoportal de la IDE, el cual está disponible desde la dirección (<https://azcuba.geocuba.cu>). El mismo, constituye

el elemento integrador para buscar conjuntos y servicios de datos espaciales; así como, sirve como plataforma para la gestión de los resultados de variables cañeras obtenidas de los Servicios Científicos Técnicos del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Villa Clara (INICA VC).

El objetivo del presente trabajo es mostrar la aplicación de la agricultura de precisión en la detección de áreas infectadas con roya parda en Villa Clara y su implementación en las recomendaciones de los Servicios Científicos Técnicos del INICA, para la toma de decisiones de los directivos y unidades productoras de la provincia de Villa Clara.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en áreas experimentales del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Villa Clara (INICA VC) en Ranchuelo (Figura 1), y áreas de producción de la Empresas Agroindustriales Azucareras (EAA) de Héctor Rodríguez (HR), Abel Santamaría (AS), Ibraín Alfonso (IA) y Perucho Figueredo (PF), provincia de Villa Clara, Cuba. Se plantaron 11 cultivares en explotación comercial, seleccionados por su importancia agrícola y diferente reacción ante la roya parda. Estos representaron en diciembre 2022 el 46,30 % del área cañera provincial (INICA, 2022).

Fig. 1. Áreas experimentales del INICA Villa Clara.



Fuente: Elaboración propia

Los cultivares seleccionados fueron: C1051-73, C132-81, C266-70, C323-68, C86-12, C86-503, C86-56, Co997, C88-380, C90-530 y SP70-1284. Además, se emplearon como patrones de resistencia a la enfermedad los cultivares PR980 (AR, altamente resistentes), Ja64-11 (R, resistentes) C334-64 (MR, moderadamente resistentes), Ja60-5 (S, susceptibles), My5514 (S, susceptibles) y B4362 (AS, altamente susceptibles), (Jorge *et al.*, 2011).

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres réplicas. Cada cultivar contó con un área de 9,60 m² (hileras de seis metros de longitud y 1,60 entre ellas (ancho)). Cada dos cultivares y como borde de los experimentos se plantó B4362 para incrementar y homogenizar la presión de inóculo, de acuerdo con Jorge *et al.* (2011). Los ensayos se plantaron en el mes de junio del 2019 y evaluados hasta julio de 2020; así como, las imágenes fueron adquiridas en este último mes y año.

Evaluación en áreas experimentales

Las evaluaciones se realizaron a partir de los tres meses posteriores a la plantación del experimento, cada 30 días hasta los 13 meses de edad de las plantas. Para determinar la severidad de la enfermedad se eligieron, por réplica, 10 plantas al azar de cada cultivar. En cada una se evaluó toda la lámina de las hojas +1 [con el primer labio visible (*TVD Top-Visible Dewlap Leaf*)], y en ese mismo orden las hojas +3, +5 y +7 (Jorge *et al.*, 2011).

Para la selección de muestras de hojas infectadas, en cada caso se adoptó primero un diagnóstico foliar, se recolectaron las hojas +3 (tercera hoja con cuello visible), utilizando la escala de cinco grados de severidad del ataque (estimando el porcentaje de área foliar afectada por pústulas), según (Alfonso *et al.*, 2000), donde: grado 1 se aplica cuando el área foliar afectada (AFA) alcanza hasta el 5% ($AFA \leq 5\%$), grado 2 ($5\% < AFA \leq 15\%$), grado 3 ($15\% < AFA \leq 25\%$), grado 4 ($25\% < AFA \leq 50\%$) y grado 5 ($50\% < AFA$).

La confirmación del diagnóstico visual (distribución, el tamaño, forma y color de las pústulas), de la enfermedad se realizó por microscopía óptica para la observación de las características particulares de las uredosporas del hongo (Comstock *et al.*, 2015), en los Laboratorios Provinciales de Sanidad Vegetal y los laboratorios de las estaciones experimentales del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Los cultivares con grado 1 se consideraron resistentes a la roya parda y a la roya naranja, y los de grado 5 se consideraron altamente susceptibles (Aday *et al.*, 2018).

Se tomaron en cada réplica 2 cm² del tercio medio de cada hoja de 10 tallos. Se utilizó para ello una lupa graduada a 2 cm² (Tamayo *et al.*, 2012). Con la media de los datos de severidad registrados de las cuatro hojas evaluadas por cultivar se elaboraron las curvas de progreso de la enfermedad, permitiendo determinar su forma y tendencia (Alfonso *et al.*, 2000) (Figura 2).

Fig. 2. Hojas de caña infectadas con roya parda con diferentes grados de severidad de ataque.

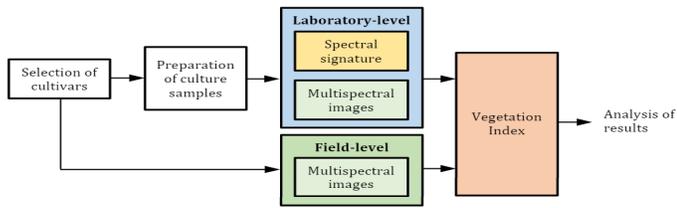


Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del índice espectral de la manifestación de roya parda se desarrolló un intenso trabajo de laboratorio que sigue los pasos mostrados en la Figura 3 (Soca *et al.*, 2020). Además, las firmas espectrales se desarrollaron solo a partir de hojas del cultivar B4362, sometidos

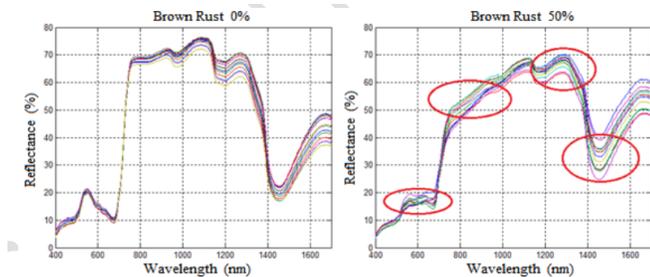
a un análisis hiperespectral en el laboratorio, donde se determinaron las longitudes de onda más sensibles al nivel de infección, mediante el espectrofotómetro Corona Plus, Figura 4. (Soca *et al.*, 2020).

Fig. 3. Metodología experimental para el índice espectral de la manifestación de la roya parda.



Fuente: Elaboración propia

Fig. 4. Firma espectral de la roya parda en caña de azúcar con el espectrofotómetro Corona Plus.



Fuente: Elaboración propia

Evaluación en áreas de producción

Se recopiló toda la información de las encuestas supervisadas por el Servicio Fitosanitario de la Caña de Azúcar del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Las evaluaciones se realizaron mediante muestreos sistemáticos en plantaciones comerciales, pruebas de validación comercial y áreas de semilla comercial, donde se evaluaron en la diagonal del campo, 10 tallos al azar. Para evaluar la incidencia de la enfermedad desde el punto de vista de la severidad de los síntomas, y la confirmación del diagnóstico visual de la enfermedad, se realizó por las metodologías descritas anteriormente en la evaluación de las áreas experimentales.

Las imágenes a nivel de campo se realizaron con la cámara multiespectral ParrotSequoia camera (<https://www.parrot.com/business-solutions-us/parrot-professional/parrot-sequoia>). La Figura 5 muestra las cuatro bandas de la cámara multiespectral en hojas infestadas con roya parda, así como los valores de reflectancia que muestran un punto en una región sana y en otra infectada.

Sobre la base de los análisis realizados se determinó un índice de vegetación, vinculado con la infección con roya parda (Figura 6). Por ello, para identificar mejor la severidad de la infestación se utilizaron las bandas espectrales en el intervalo de 700 nm a 1500 nm (Soca, *et al.*, 2020).

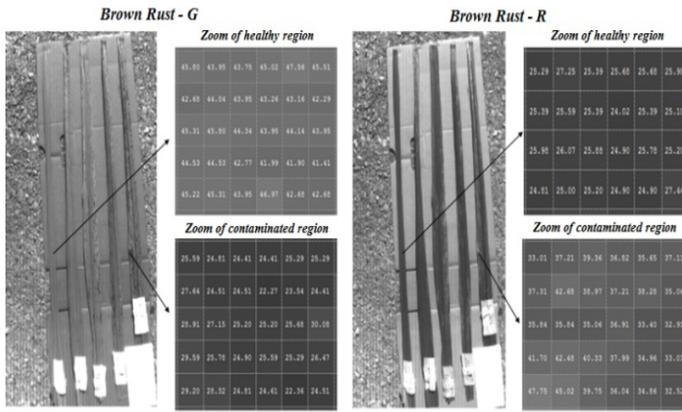
Resultados y discusión

A partir de las imágenes hiperespectrales del satélite Sentinel-2 con fecha 25 de enero del 2021, en la Infraestructura de Datos Espaciales de Azcuba, <https://azcuba.geocuba.cu/visor>, se calculó de forma automática el índice de infección de roya parda en el área plantada con caña de azúcar. El resultado se visualizó en un mapa del área evaluada (Figura 7), donde el 16 % de los campos presentaron una infestación intensa y el 10 % están en el rango de moderado a baja infestación. Aspecto este, coincidió con evaluaciones realizadas *in situ* por especialistas, dado que el mes de enero es favorable para el desarrollo de la enfermedad.

Estos resultados, perfeccionan la ejecución y calidad de las recomendaciones del SEFIT, al evitar implicaciones del factor humano en la inspección visual de los muestreos, las encuestas y evaluación emitida.

Fig. 5. Imágenes de las cuatro bandas de la cámara multiespectral en hojas sanas y en hojas infestadas por roya parda.

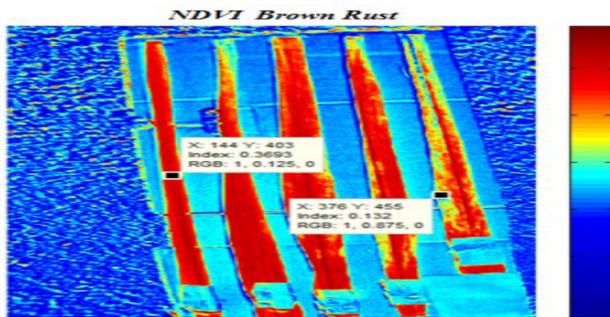




Brown Rust – G (imágenes de la roya parda a la izquierda), **Brown Rust – R** (imágenes de la roya parda a la derecha), **Zoom of healthy region** (ampliación de la región sana), **Zoom de región contaminada**, **Zoom of contaminated region** (ampliación de la región contaminada).

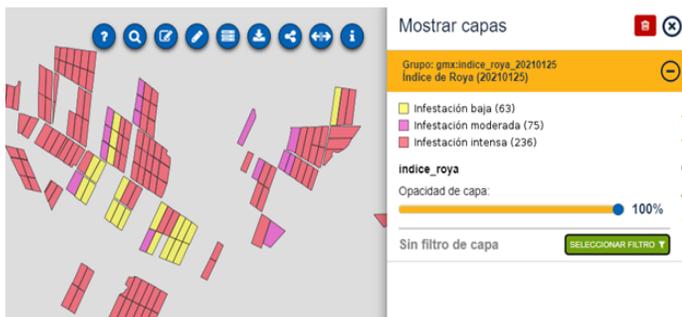
Fuente: Elaboración propia

Fig. 6. Índice calculado a partir de las imágenes multi-espectrales para roya parda indicando el valor numérico del índice en un píxel de una región sana y en otro de una región infectada de la hoja NDVI **Brown Rust** (Índice NDVI de la roya parda).



Fuente: Elaboración propia

Fig. 7. Capa de salida de la IDE de Azcuba, con un mapa con los campos del área evaluada y su índice de infección por roya parda.

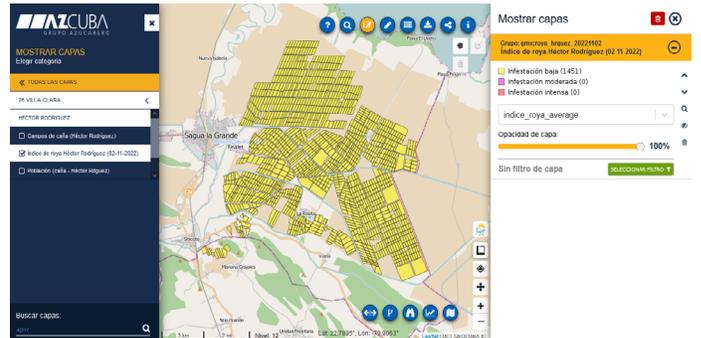


Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, en las imágenes adquiridas en las Empresas Agroindustriales Azucareras (EAA) de Héctor Rodríguez (HR), Abel Santamaría (AS), Ifraín Alfonso (IA) y Perucho Figueredo (PF), el día 2 de noviembre del 2022, ofrecieron baja infestación de roya parda en el cultivo (Figuras 8, 9,

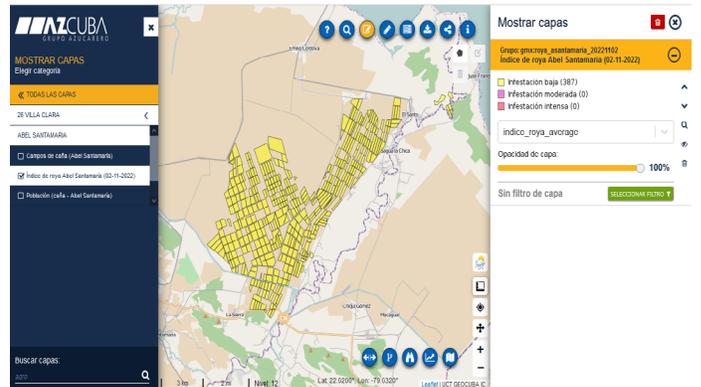
10 y 11). Estos resultados, coinciden con la información que el Servicio Fitosanitario (SEFIT) recomienda a los productores, dado que de noviembre es un mes en que las condiciones aún no son óptimas para desarrollo de la enfermedad. [Auravant \(2020\)](#), señaló que con la utilización de las imágenes se ponen de manifiesto las características de los cultivos, en espectros no visibles para el ojo humano.

Fig. 8. Índice de infestación de roya en la IDE de Azcuba, en la Empresa Agroindustrial Azucarera (EAA) de Héctor.



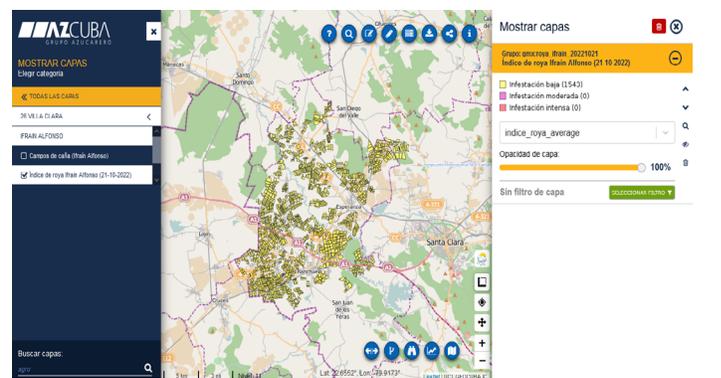
Fuente: Rodríguez (HR), del día 2 de noviembre del 2022

Fig. 9. Índice de infestación de roya en la IDE de Azcuba, en la Empresa Agroindustrial Azucarera.



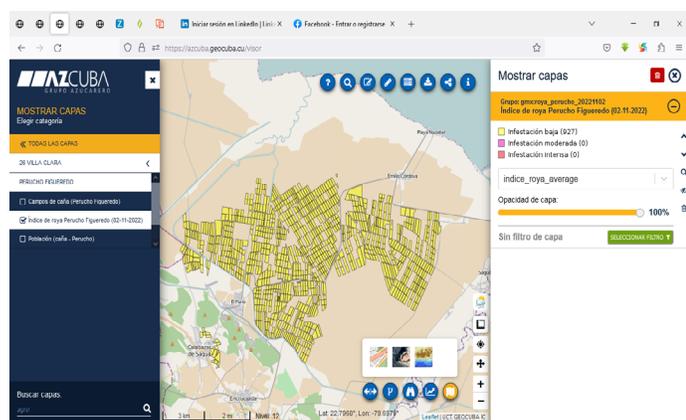
Fuente:(EAA) de Abel Santamaría (AS), del día 2 de noviembre del 2022.

Fig. 10. Índice de infestación de roya en la IDE de Azcuba, en la Empresa Agroindustrial Azucarera (EAA) de Ifraín.



Fuente: Alfonso (IA), del día 2 de noviembre del 2022.

Fig. 11. Índice de infestación de roya en la IDE de Azcuba, en la Empresa Agroindustrial Azucarera.



Fuente: (EAA) de Perucho Figueredo (PF), del día 2 de noviembre del 2022.

La aplicación de los resultados de la agricultura de precisión en la detección de áreas infectadas con roya parda en Villa Clara, mostró como ventajas que el resultado de la evaluación no depende de la experticia y la agudeza de la estimación realizada por el personal disponible en cada lugar. La información es más confiable y precisa que la obtenida por otros medios.

El servicio Fitosanitario (SEFIT), entrega la información y las recomendaciones una vez al año, en el mes de octubre. Por medio de la IDE y la aplicación del índice de roya, se pudo conocer cuál es la situación de la enfermedad en cualquier momento o mes del año. Así como, la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), permite la integración de toda la información agrícola disponible en una sola base de datos y facilita su utilización por parte de los directivos y técnicos de la base productiva.

Conclusiones

El uso de las imágenes hiperespectrales del satélite Sentinel-2 y la aplicación del índice de infección para la detección de la roya parda en la IDE de Azcuba, permite obtener información sobre la situación de esta enfermedad en el momento que se necesite, de manera rápida y confiable.

La detección de áreas infectadas con roya parda, a través de técnicas de agricultura de precisión se perfecciona la recomendación del SEFIT a la base productiva de la provincia de Villa Clara.

No existe conflicto de intereses en relación con la investigación presentada.

“La investigación que da origen a los resultados presentados en la presente publicación recibió fondos de la Oficina de Gestión de Fondos y Proyectos Internacionales del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba bajo el código **PN223VC004-004**”.

Agradecimientos

A GEOCUBA por facilitar obtención de las imágenes multispectrales con el UAV.

Referencias bibliográficas

- Aday O, Rodríguez E, Montalván J, Martínez E y Alfonso I. (abril-junio 2018). Estado de la roya naranja de la caña de azúcar en Cuba. *Revista Centro Agrícola*. Vol.45, No.2, 61-68. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.
- Alfonso I, Cornide MT, Sandoval J, Rodríguez I, Ojeda E, y Vallina J. (2000). Sistema evaluativo de la resistencia a las principales enfermedades de la caña de azúcar en Cuba. *Roya (Puccinia melanocephala H. y P. Sydov)*. *Cuba & Caña*, pp: 33-42.
- Auravant. (2020). ¿Qué es GNDVI?, [en línea], Auravant: <https://auravant.com/knowledge-base/que-es-gnd>, [Consulta: 20 de enero de 2020].
- Caasi O, Hongo C, Wiyono S, Giamerti Y, Saito D, Homma K, y Shishido M. (2020). The potential of using Sentinel-2 satellite imagery in assessing bacterial leaf blight on rice in West Java, Indonesia. *Journal of ISSAAS (International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences)*, 26(1): 1-16.
- Chinae Martín, A., E. Zayas, S. Bruner. (2019). Inventario de enfermedades de la caña de azúcar en cuba: tercera etapa. *Revista Cuba & Caña*, 22(3): 8-14.
- Comstock JC, Ovalle W, Chavarría E, Glynn NC, Castlebury LA. (2015). La roya naranja de la caña de azúcar, una enfermedad emergente: su impacto y comparación con la roya marrón. *Ciencia y Tecnología de los Cultivos industriales*, 5 (7): 12-26.
- INICA. (2022). [Los agroazucareros villaclareños despiden el 2022 con el plan de azúcar de la zafra chica](https://www.azcuba.cu/2022/12/). <https://www.azcuba.cu/2022/12/>
- Iniesto M y Núñez A. (2014). «Introducción a las infraestructuras de datos espaciales». Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)–Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (IGN). <https://doplayer.es/16574006-Introduccion-a-las-infraestructuras-de-datos-espaciales-maria-iniesto-amparo-nunez.html>.
- Jorge H, González R, Casas M y Jorge I. (2011). Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba: Publica.
- Kharuf S, Orozco R, Aday O, y Pineda E. (2018^a). Multi-spectral aerial image processing system for precision agriculture. *Sistemas & Telemática*, 16(47): 45-58.

- Kharuf S, Hernández L, Orozco R, Aday O, Delgado I. (2018b). Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados. *Ingeniería Electrónica Automática y Comunicaciones*, 39: 79–91.
- Matos GJ. (2001). Sistema Automatizado para el SEFIT (SAFIT). Publicinica.
- Matos GJ. (2010). Manual de usuario Interface Fitosanitaria (SEFIT). Publicinica.
- Piñón GD. (2001). Programa para el Manejo y Control de Enfermedades de la Caña de Azúcar SEFIT - Servicio Fitosanitario a la Producción. Junio 2001. INICA.
- Rodríguez M, Rodríguez EL, Alfonso I y Fuentes A. (2014). Enfermedades y plagas. Capítulo 8. *En: Instructivo técnico para el manejo de la caña de azúcar*, 2da Ed. Santana, I., M. González, S. Guillén, R. Crespo (Eds.). Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Cuba: 209-255.
- Rodríguez M, Rodríguez EL, Alfonso I y Acevedo R. (2013). Actualización del Manual de procedimientos del SEFIT. Publicinica.
- Rodríguez M, Rodríguez EL, Alfonso I y Acevedo R. (2004). Manual de procedimientos del SEFIT. Publicinica.
- Santana I, Santos JC, Guillen S. (2007). Instructivo Técnico del cultivo de la caña de azúcar. Publicinica.
- Soca JL, Rodríguez E, Aday O, Hernandez L y Orozco R. (2020). Spectral signature of brown rust and orange rust in sugarcane. *Revista Facultad de Ingeniería-Universidad de Antioquia*, 96: 9-20.
- Tamayo M, Puchades Y, Rodríguez R, González R, Jorge H, Alfonso I, Rodríguez E y La O M. (2012). Modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa aplicado a la evaluación de la roya parda de la caña de azúcar. *Fitosanidad* 16(3): 129-135.