

EVALUACIÓN DE UNA PLANTACIÓN DE NARANJA VALENCIA (*Citrus sinensis* L. Osbeck) MEDIANTE TELEDETECCIÓN CON VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO EN BEJUMA, ESTADO CARABOBO, VENEZUELA.

Angel Valera,^{1*} Yanireth Zapata,¹ Saúl Elías López³

¹ Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales "Rómulo Gallegos". Área de Ingeniería Agronómica, San Juan de los Morros, Estado Guárico, Venezuela. **e-mail:** angelvalera@unerg.edu.ve, v30144540@gmail.com. **Orcid:** <https://orcid.org/0009-0007-1819-0315>

² SIAGRICA. Sociedad de Ingenieros Agrónomos y consultores en agricultura 4.0, C.A.

* Autor de correspondencia

Recibido: 24 /04 /2025; **Aceptado:** 30 /05 /2025; **Publicado:** 30 /06 /2026.

RESUMEN

El monitoreo preciso del estado de los cultivos perennes en etapas tempranas de desarrollo constituye un desafío técnico relevante para la agricultura de precisión en regiones tropicales. El presente estudio evaluó el estado fisiológico y estructural de una plantación de naranja Valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck) de un año de edad, ubicada en Bejuma, estado Carabobo, Venezuela, mediante el empleo de vehículos aéreos no tripulados (UAV) equipados con sensores RGB y el procesamiento de índices de vegetación derivados de bandas espectrales visibles. Los objetivos específicos incluyeron: (i) caracterizar la topografía del terreno mediante un modelo digital de elevación (MDE), (ii) determinar la cobertura del dosel (Canopy Cover), (iii) evaluar el vigor de la planta mediante clasificación espectral, y (iv) analizar la variabilidad espacial mediante los índices de vegetación EXG, GLI, Visual NDVI y VARI. Los resultados indicaron una cobertura de dosel del 25,2% (0,64 ha), un vigor promedio del 37,11%, con el 52,16% del área clasificada como "Buen Vigor" y el 44,31% como "Vigor Deficiente". El rango altitudinal del terreno osciló entre 607,2 y 621,6 msnm, evidenciando una topografía irregular con zonas de acumulación hídrica potencial. Los índices RGB (rojo, verde, azul) mostraron valores consistentes con plantaciones jóvenes de cítricos, con el EXG registrando el rango más amplio (-0,029 a 0,369). Se concluye que la teledetección con UAV constituye una herramienta efectiva para el manejo diferenciado en huertos cítricos en formación, permitiendo identificar zonas que

requieren intervenciones específicas de fertilización, riego o replante.

Palabras clave: *Citrus sinensis*, agricultura de precisión, UAV, índices de vegetación, cobertura del dosel, clasificación espectral, agricultura tropical.

EVALUATION OF THE YIELD OF YELLOW CORN (*Zea mays* L.) VARIETY GUANAPE IN A LOW FERTILITY SOIL OF THE STATE OF GUARICO.

ABSTRACT

Accurate monitoring of perennial crop status during early developmental stages represents a significant technical challenge for precision agriculture in tropical regions. The present study evaluated the physiological and structural condition of a one-year-old Valencia orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) plantation located in Bejuma, Carabobo State, Venezuela, through the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) equipped with RGB sensors and the processing of vegetation indices derived from visible spectral bands. The specific objectives included: (i) characterizing terrain topography through a Digital Elevation Model (DEM), (ii) determining canopy cover, (iii) assessing plant vigor through spectral classification, and (iv) analyzing spatial variability using the EXG, GLI, Visual NDVI, and VARI vegetation indices. Results indicated a canopy cover of 25.2% (0.64 ha), an average vigor of 37.11%, with 52.16% of the area classified as "Good Vigor" and 44.31% as "Deficient Vigor". The altitudinal range of the terrain

ranged between 607.2 and 621.6 m a.s.l., evidencing irregular topography with potential water accumulation zones. RGB indices (red, green, blue) showed values consistent with young citrus plantations, with EXG recording the widest range (-0.029 to 0.369). It is concluded that UAV-based remote sensing constitutes an effective tool for differentiated management in young citrus orchards,

enabling the identification of zones requiring specific interventions for fertilization, irrigation, or replanting.

Keywords: *Citrus sinensis*, precision agriculture, UAV, vegetation indices, canopy cover, spectral classification, tropical agriculture.

INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión ha experimentado una transformación significativa durante la última década gracias a la integración de tecnologías de teledetección de alta resolución espacial, particularmente los Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV, por sus siglas en inglés), que permiten la adquisición de datos espectrales y estructurales a escalas centimétricas (Zarco-Tejada *et al.*, 2014). En el contexto de los cultivos perennes, y específicamente en huertos cítricos, el monitoreo del estado fisiológico de los árboles en etapas tempranas de desarrollo resulta crítico para establecer estrategias de manejo que aseguren la viabilidad económica y productiva a mediano plazo (Avioz *et al.*, 2025).

Los cítricos constituyen uno de los cultivos frutales más importantes a nivel global, y en Venezuela han representado históricamente un pilar fundamental del sector agrícola, particularmente en la región central del país donde el estado Carabobo alberga zonas tradicionalmente destinadas a su producción. No obstante, el establecimiento de nuevas plantaciones enfrenta múltiples desafíos edafoclimáticos y fitosanitarios que exigen un monitoreo continuo y espacialmente explícito (Torres-Sánchez *et al.*, 2015).

La estimación del estado de la vegetación mediante índices espectrales constituye

una de las aplicaciones más consolidadas de la teledetección en agricultura. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), basado en las bandas del rojo (Red) e infrarrojo cercano (NIR), ha sido ampliamente utilizado para evaluar la salud vegetal, la biomasa y la productividad de los cultivos (Rouse *et al.*, 1974; Tucker, 1979). Sin embargo, la adquisición de datos NIR requiere sensores multispectrales de mayor costo y complejidad operativa, lo cual limita su adopción generalizada, especialmente en pequeñas y medianas explotaciones agrícolas en economías en desarrollo (Meyer y Neto, 2008).

En respuesta a esta limitación, diversos investigadores han desarrollado índices de vegetación basados exclusivamente en las bandas del visible (RGB: *Red, Green, Blue*), que pueden ser obtenidos con cámaras fotográficas estándar de bajo costo montadas en plataformas UAV. Woebbecke *et al.* (1995) demostraron que el índice de exceso de verde ($ExG = 2G - R - B$) permitía distinguir eficazmente material vegetal de suelos y residuos orgánicos bajo diversas condiciones de iluminación. Posteriormente, Louhaichi *et al.* (2001) propusieron el Índice de Hoja Verde ($GLI = (2G - R - B)/(2G + R + B)$) para evaluar el impacto del pastoreo en cultivos de trigo mediante fotografía aérea. Gitelson *et al.* (2002) desarrollaron el Índice Resistente a la Atmósfera en el

Visible ($VARI = (G - R)/(G + R - B)$), diseñado específicamente para minimizar los efectos atmosféricos y diferencias de iluminación en imágenes de bandas visibles. Más recientemente, plataformas comerciales de análisis agrícola como Agremo han incorporado índices derivados de RGB (incluyendo el Visual NDVI, EXG, GLI y VARI) para ofrecer análisis de salud vegetal en tiempo real a partir de imágenes de drones.

La cobertura del dosel (Canopy Cover) constituye un parámetro estructural fundamental en huertos frutales, ya que está directamente relacionada con la capacidad fotosintética del cultivo, la interceptación de la radiación solar y el potencial de rendimiento (Wünsche *et al.*, 2000). En plantaciones jóvenes de cítricos, una cobertura inadecuada puede indicar problemas de establecimiento, deficiencias nutricionales, estrés hídrico o daños por plagas y enfermedades (Dobrowski *et al.*, 2003). La estimación de la cobertura del dosel mediante UAV ha demostrado ser altamente precisa y eficiente comparada con métodos tradicionales de evaluación visual o mediciones destructivas (Torres-Sánchez *et al.*, 2015).

Paralelamente, el Modelo Digital de Elevación (DEM) derivado de fotogrametría de estructura desde el movimiento permite caracterizar la topografía del terreno con resolución métrica, facilitando el análisis de la variabilidad edáfica, el drenaje superficial, la erosión hídrica y la planificación de sistemas de riego por goteo (Colomina y Molina, 2014). En terrenos ondulados típicos de la región central venezolana, la topografía ejerce un control significativo sobre la distribución de la

humedad del suelo y la disponibilidad de nutrientes, factores que inciden directamente en el vigor de los árboles jóvenes.

El vigor de la planta, entendido como la expresión integrada de su estado fisiológico y desarrollo vegetativo, puede ser inferido mediante la clasificación de índices espectrales en categorías operacionales (*Excellent, Good, Poor, No Vegetation*) que guían las decisiones de manejo a nivel de parcela (Ye *et al.*, 2018). La combinación de información estructural (cobertura del dosel, topografía) y fisiológica (índices de vegetación) permite una caracterización holística del estado del cultivo, fundamental para la implementación de agricultura de precisión en contextos tropicales.

A pesar del potencial demostrado de estas tecnologías en múltiples regiones y cultivos, su aplicación sistemática en huertos cítricos venezolanos en etapa de formación permanece limitada. El presente estudio busca contribuir al llenado de este vacío técnico mediante la evaluación integrada de variables estructurales y fisiológicas en una plantación comercial de naranja Valencia de un año de edad en Bejuma, estado Carabobo, utilizando una plataforma UAV equipada con sensor RGB y procesamiento profesional de índices de vegetación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se desarrolló en una parcela comercial ubicada en el municipio Bejuma, estado Carabobo, Venezuela (aproximadamente 10°15' N, 68°15' W). La zona pertenece a la región de los Valles Altos del Centro-Norte de Venezuela,

caracterizada por un clima tropical de sabana (Aw según Köppen), con temperatura media anual de 24-26°C y precipitación anual de 800-1200 mm, con una marcada estación seca de diciembre a abril. El terreno presenta topografía ondulada a fuertemente ondulada, con suelos generalmente clasificados como Inceptisoles y Ultisoles derivados de materiales sedimentarios y metamórficos (López et al., 2018).

La plantación objeto de estudio corresponde a un lote de naranja Valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck) de aproximadamente un año de edad desde el trasplante a campo definitivo, con un área total de 2,55 hectáreas. El huerto se encuentra en fase de establecimiento, con árboles jóvenes que aún no han alcanzado su porte definitivo ni su capacidad de cobertura completa del suelo.

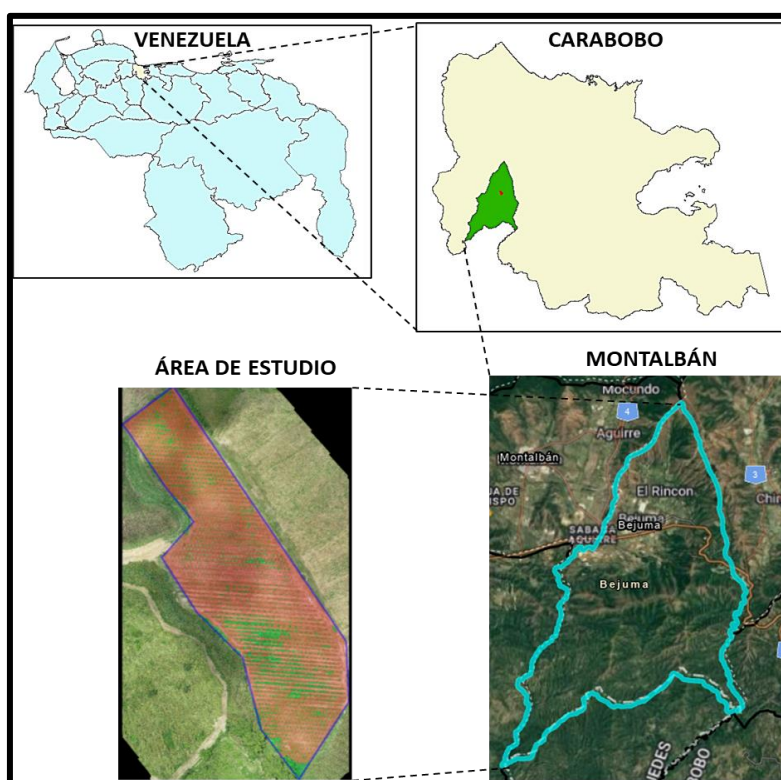


Figura 1. Ubicación relativa de la zona de estudio en el municipio Bejuma, estado Carabobo, Venezuela

Adquisición de datos

El levantamiento de información se realizó el 21 de agosto de 2025, mediante un vuelo con vehículo aéreo no tripulado (UAV) multirrotor equipado con cámara fotográfica RGB estándar (bandas Rojo, Verde, Azul). Las condiciones meteorológicas durante el vuelo fueron favorables: cielo despejado, viento inferior a 15 km/h,

y hora solar próxima al mediodía (10:00-14:00 h) para minimizar efectos de sombra.

El procesamiento de las imágenes y la generación de los productos de teledetección fueron ejecutados por la empresa SIAGRICA mediante la plataforma Agremo (app.agremo.com), utilizando técnicas de fotogrametría de estructura

desde el movimiento para la generación de ortofotomosaicos de alta resolución espacial.

Variables evaluadas

Modelo Digital de Elevación (MDE)

Se generó un Modelo Digital de Elevación del terreno a partir del procesamiento fotogramétrico de las imágenes RGB adquiridas. El MDE representa la elevación del suelo desnudo (*Digital Terrain Model*, DTM) en metros sobre el nivel del mar (msnm), permitiendo caracterizar la morfología del terreno, identificar zonas de depresión (potenciales acumulaciones de agua) y zonas de mayor pendiente (potencial erosión). El área total del MDE generado fue de 12.64 hectáreas, incluyendo zonas aledañas a la parcela de estudio.

Índices de vegetación RGB (rojo, verde, azul)

Se calcularon cuatro índices de vegetación derivados exclusivamente de las bandas del espectro visible, seleccionados por su amplia validación en la literatura científica para monitoreo de cultivos:

a) Índice de Exceso de Verde (EXG - *Excess Green*):

Desarrollado por Woebbecke *et al.* (1995), este índice realza la componente verde de la vegetación en contraste con el fondo del suelo. Su fórmula es:

$$EXG = 2G - R - B \quad (1)$$

donde G, R y B corresponden a los valores de reflectancia (o números digitales) de las bandas verde, roja y azul, respectivamente. Valores positivos indican presencia de vegetación verde, mientras que valores negativos o cercanos a cero

sugieren suelo desnudo o material no vegetal.

b) Índice de Hoja Verde (GLI - *Green Leaf Index*):

Propuesto por Louhaichi *et al.* (2001) para evaluar el impacto del pastoreo en trigo mediante fotografía aérea, normaliza la contribución del verde respecto al rojo y azul:

$$GLI = (2G - R - B)/(2G + R + B) \quad (2)$$

El GLI oscila teóricamente entre -1 y +1, donde valores negativos representan suelo y características no vivas, y valores positivos indican hojas y tallos verdes (Geospatial Software).

c) Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Visual (*Visual NDVI*):

Esta adaptación del NDVI clásico para sensores RGB utiliza las bandas verde y roja en lugar de NIR y rojo, como aproximación para evaluar la diferenciación vegetación-suelo cuando no se dispone de banda infrarroja:

$$Visual\ NDVI = (G - R)/(G + R) \quad (3)$$

Aunque no captura la información estructural del dosel que proporciona el NIR, ha demostrado utilidad para monitoreo general de cultivos en entornos de bajo costo (e.g. Agremo).

d) Índice Resistente a la Atmósfera en el Visible (VARI - *Visible Atmospherically Resistant Index*):

Desarrollado por Gitelson *et al.* (2002), este índice fue diseñado para enfatizar la vegetación en la porción visible del espectro mientras mitiga diferencias de iluminación y efectos atmosféricos. Su fórmula es:

$$\text{VARI} = (G - R)/(G + R - B) \quad (4)$$

El VARI es particularmente útil para imágenes RGB adquiridas bajo condiciones de iluminación variable y ha sido empleado exitosamente en la estimación de la fracción de vegetación y el índice de área foliar (LAI) en cultivos de maíz (Gitelson et al., 2002; Gitelson et al., 2003).

Cobertura del dosel (*Canopy Cover*)

La cobertura del dosel fue estimada mediante clasificación supervisada de los píxeles del ortofotomosaico en dos categorías: "*Canopy*" (vegetación arbórea) y "*No Canopy*" (suelo desnudo, sombra, malezas, o espacios entre árboles). El análisis se expresó en hectáreas y porcentaje del área total de la parcela (2,55 ha). Este parámetro está directamente relacionado con el Índice de Área Foliar (LAI) y la capacidad de interceptación lumínica del cultivo).

Vigor de la planta

El vigor de la planta fue clasificado en cuatro categorías operacionales mediante análisis espectral de los píxeles vegetales:

1- Excelente Vigor: Vegetación óptima, máxima densidad foliar y coloración.

2- Buen Vigor: Vegetación saludable con desarrollo adecuado.

3- Pobre Vigor: Vegetación con estrés evidente, clorosis, o desarrollo deficiente.

4- Sin Vegetación: Ausencia de vegetación arbórea (suelo desnudo, sombra, malezas).

Los resultados se expresaron en hectáreas y porcentaje del área total, y se calculó un índice de vigor promedio ponderado para toda la parcela.

Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento fotogramétrico, la generación de ortofotomosaicos, el cálculo de índices espectrales y la clasificación de coberturas se ejecutaron en la plataforma comercial Agremo, que utiliza algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático para la segmentación de imágenes agrícolas. La validación de la clasificación se basó en la coherencia espacial con los patrones visibles en el ortofotomosaico de alta resolución.

El análisis estadístico descriptivo incluyó el cálculo de valores mínimos, máximos, medias y distribución espacial de cada índice. La integración de la información topográfica (MDE) con los mapas de vigor y dosel permitió identificar posibles relaciones entre la morfología del terreno y el estado del cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización topográfica mediante el Modelo Digital de Elevación

El modelo digital de elevación generado para el área de estudio abarcó 12.64 hectáreas, registrando una elevación mínima de 607,28 msnm y una máxima de 621,60 msnm, lo que implica un rango altitudinal de 14,32 metros dentro del área analizada (Figura 2, Cuadro 1). La distribución de frecuencias de elevación mostró un patrón bimodal, con dos concentraciones principales de superficie: una entre 609-611 msnm (aproximadamente 0.0 ha en la categoría más baja) y otra más predominante entre 615-617 msnm (12.42 ha), además de una fracción menor (0.22 ha) correspondiente a las zonas de mayor elevación (>621 msnm).

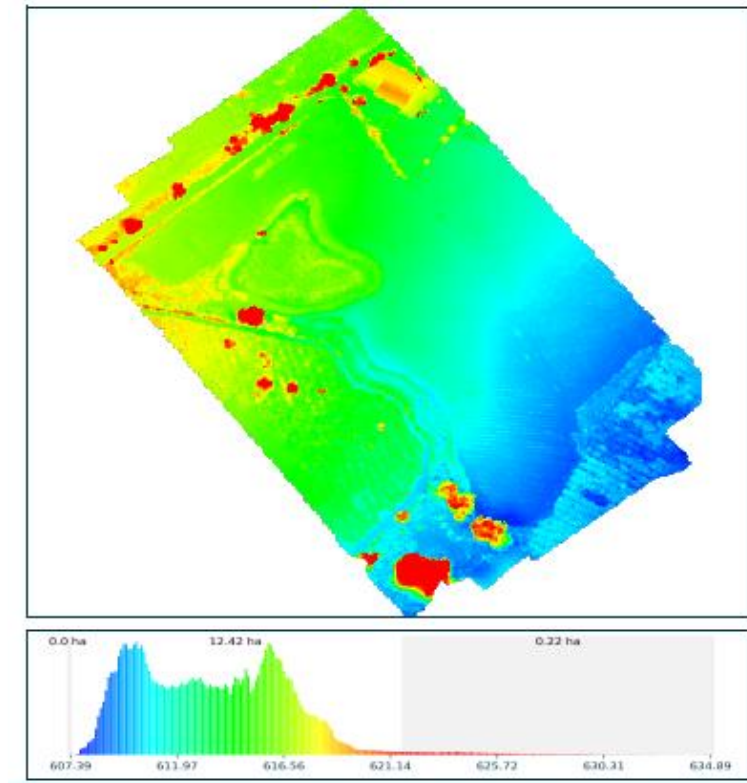


Figura 2. Modelo digital de elevación de la zona evaluada.

La variabilidad topográfica observada tiene implicaciones directas para el manejo del huerto. Las zonas de menor elevación (607-611 msnm), localizadas predominantemente en la porción sureste de la parcela según la distribución espacial del DEM, corresponden potencialmente a áreas de acumulación de escorrentía superficial y mayor retención de humedad edáfica. En contraste, las zonas de mayor elevación (>618 msnm), representadas en colores rojizos en el mapa de elevación, pueden experimentar mayores tasas de drenaje y potencial erosivo por escorrentía, particularmente durante la estación lluviosa característica de la región. Estos resultados son consistentes con lo reportado por Colomina y Molina (2014),

quienes señalan que los DEM derivados de fotogrametría UAV permiten identificar microrelieves que condicionan la distribución de la humedad del suelo y la disponibilidad de nutrientes en huertos frutales. En plantaciones de cítricos jóvenes, la interacción entre topografía y estado hídrico del suelo es crítica, ya que el sistema radicular aún es superficial y susceptible tanto al exceso como al déficit de humedad (Dobrowski *et al.*, 2003).

Índices de vegetación RGB

Los resultados de los índices evaluados mediante la combinación de bandas generaron los valores indicados en el Cuadro 1, y los mapas obtenidos se presentan en la figura 3.

Cuadro 1. Resumen de los parámetros agromorfológicos e índices espectrales en plantación de Naranja Valencia (Bejuma, 2025).

Parámetro / Métrica	Valor	Unidad / Detalle
Área de la parcela	2,55	Hectáreas
Cultivo / Edad	Naranja Valencia / 1 año	Citrus sinensis L. Osbeck
Fecha de vuelo	21 de agosto de 2025	Lluvia local
Sensor	RGB (R-G-B)	Cámara estándar
Elevación mínima	607,281	msnm
Elevación máxima	621,600	msnm
Rango altitudinal	14,319	m
Canopy Cover	25,20	% (0,64 ha)
No Canopy	74,80	% (1,91 ha)
Vigor promedio	37,11	%
Buen Vigor	52,16	% (1,33 ha)
Vigor Deficiente	44,31	% (1,13 ha)
Sin Vegetación	3,53	% (0,09 ha)
EXG (Min / Max)	-0,029 / 0,369	Índice RGB
GLI (Min / Max)	-0,010 / 0,342	Índice RGB
Visual NDVI (Min / Max)	-0,063 / 0,301	Índice RGB
VARI (Min / Max)	-0,126 / 0,342	Índice RGB

Los cuatro índices de vegetación calculados mostraron rangos y distribuciones características de una plantación joven con cobertura parcial del suelo (Figura 3).

Del Cuadro 1 y las figuras mencionadas se pueden extraer las siguientes consideraciones sobre los índices obtenidos:

El índice EXG presentó el rango más amplio (-0,02905 a 0,36947), evidenciando

su alta sensibilidad para discriminar entre píxeles de vegetación activa (valores altos) y suelo desnudo o material senescente (valores bajos o negativos). Este comportamiento es consistente con la literatura, ya que el EXG fue diseñado específicamente para maximizar el contraste entre vegetación verde y fondo no vegetal (Woebbecke et al., 1995; Meyer y Neto, 2008).

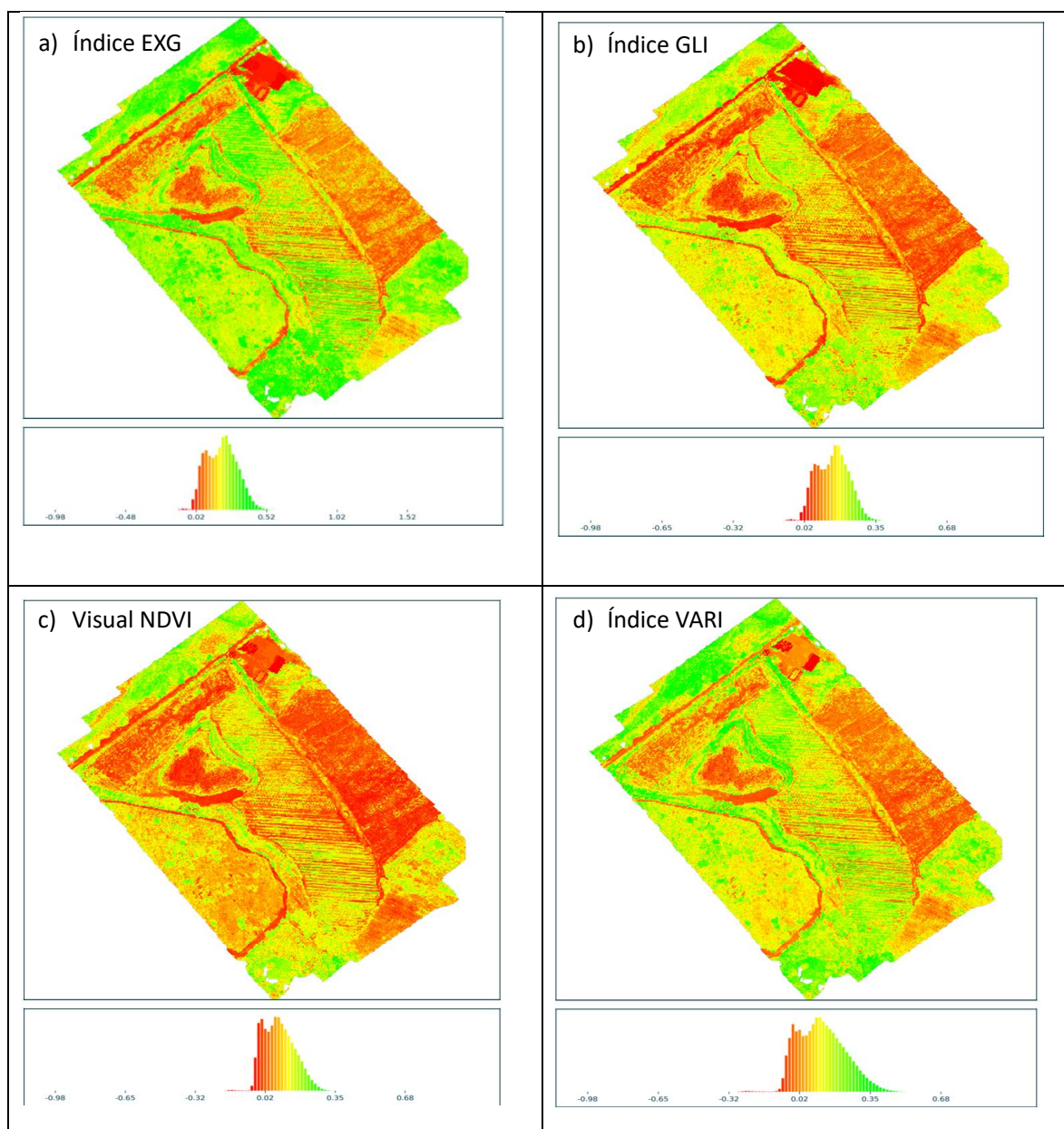


Figura 3. Índices de vegetación de la plantación de naranja Valencia.

Por su parte, el Índice GLI registró valores entre -0.00952 y 0,34225, con un rango ligeramente menor que el EXG debido a su naturaleza normalizada. La cercanía del valor

mínimo a cero sugiere una predominancia de píxeles con baja vegetación o suelo parcialmente cubierto, típico de plantaciones en formación (Louhaichi *et al.*, 2001).

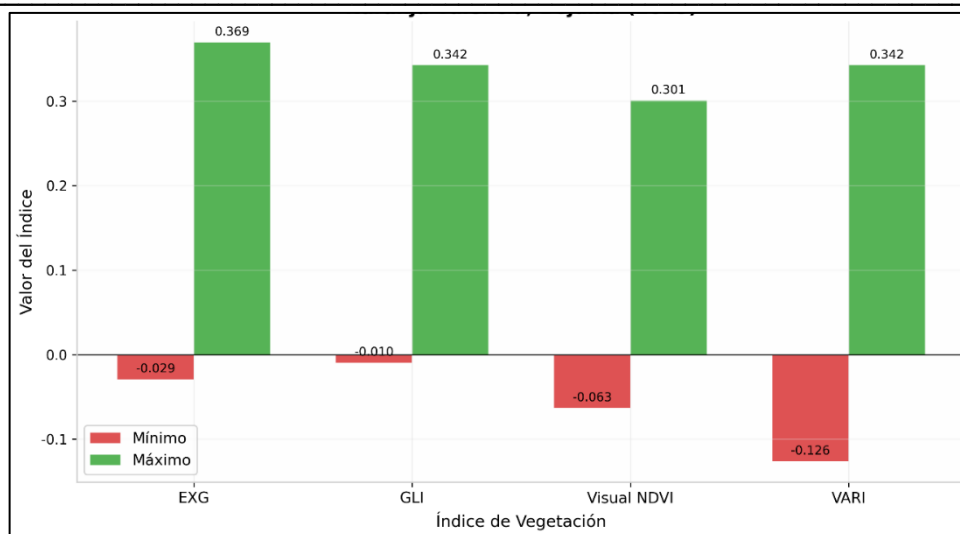


Figura 4. Rango de valores de los índices de vegetación RGB de la plantación de naranja Valencia.

Sin embargo, el índice Visual NDVI obtuvo el rango más estrecho (-0,06321 a 0,30071), con valores mínimos negativos que indican presencia de suelo desnudo o sombra. La compresión del rango superior respecto al NDVI tradicional (que típicamente alcanza valores >0,8 para vegetación densa) refleja la ausencia de la banda NIR, limitante para capturar la estructura del dosel en cultivos esparcidos.

Finalmente, el índice VARI mostró el valor mínimo más negativo (-0.12597) y un máximo de 0.34225. El amplio rango negativo sugiere zonas con alta reflectancia del rojo (posible suelo expuesto o material senescente) y baja contribución del verde. Según Gitelson et al. (2002), el VARI está diseñado para ser robusto ante variaciones atmosféricas, aunque su sensibilidad puede disminuir en condiciones de baja cobertura vegetal cuando la señal del suelo domina el espectro visible (Rosen et al., 2024).

La comparación entre índices revela patrones espaciales coherentes: las zonas con mayores valores de EXG y GLI coinciden con las áreas clasificadas como

"Buen Vigor" en el mapa de vigor de la planta, mientras que los valores bajos o negativos de Visual NDVI y VARI se localizan predominantemente en sectores con "Vigor Deficiente" o "Sin Vegetación". Esta coherencia entre índices espectrales y clasificación fisiológica valida la consistencia del procesamiento realizado.

Cobertura del dosel (*Canopy Cover*)

El análisis de cobertura del dosel reveló que el 25,2% de la superficie de la parcela (0,64 ha) está cubierto por el dosel de los árboles de naranja, mientras que el 74,8% restante (1,91 ha) corresponde a suelo desnudo, sombra, o espacios intercalares entre los árboles jóvenes (Figura 5).

Este nivel de cobertura es esperable y fisiológicamente consistente para una plantación de cítricos de apenas un año de edad. Según Wünsche et al. (2000), los huertos cítricos en formación típicamente alcanzan entre el 20-40% de cobertura durante su primer año, dependiendo del patrón de plantación, el porte injertado y las condiciones de manejo.

Torres-Sánchez *et al.* (2015) reportaron valores similares (20-30%) en plantaciones jóvenes de olivo monitoreadas con UAV, destacando que la baja cobertura inicial no constituye necesariamente un indicador de mal manejo, sino una etapa evolutiva del sistema.

No obstante, la alta proporción de suelo desnudo (74,8%) implica desafíos operativos relevantes: mayor susceptibilidad a la colonización por malezas, mayor evaporación directa desde el suelo, y potencial erosión hídrica en las zonas de mayor pendiente identificadas en el MDE. En este contexto, la implementación de coberturas vegetales o mantillo orgánico en

los callejones podría mitigar estos efectos negativos sin competir significativamente con los árboles jóvenes por recursos edáficos (Avioz *et al.*, 2025).

La distribución espacial del dosel (Figura 5, mapa de cobertura del dosel) muestra un patrón de franjas verdes que siguen el alineamiento de los surcos de plantación, con mayor densidad de cobertura en la porción sur de la parcela. Esta heterogeneidad espacial puede deberse a variaciones en la supervivencia del trasplante, diferencias microtopográficas no detectables a simple vista, o variabilidad en la aplicación de riego y fertilización.

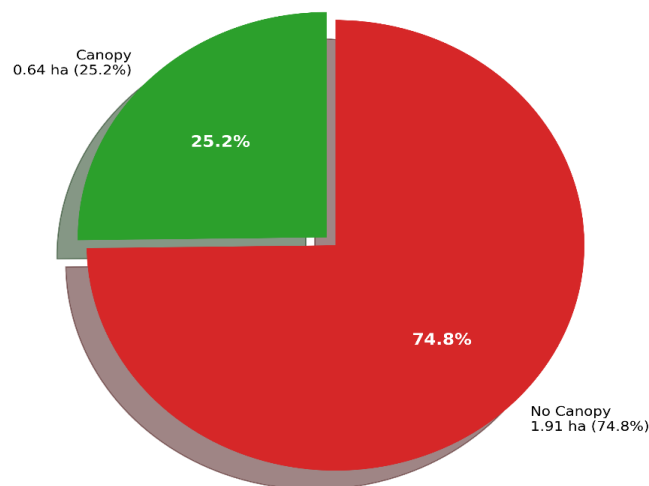


Figura 5. Cobertura del dosel de la plantación de naranjas Valencia, Bejuma.

Vigor de la planta

Los resultados del vigor de la planta se pueden visualizar en el mapa representado por la figura 4, y los valores de la clasificación obtenida se indican en la figura 6. La clasificación del vigor de la planta

arrojó los siguientes resultados (Figura 7): a) Vigor Excelente: 0% (0 ha); b) Buen Vigor: 52,16% (1,33 ha); c) Vigor Deficiente: 44,31% (1,13 ha), y d) Sin Vegetación: 3,53% (0,09 ha).

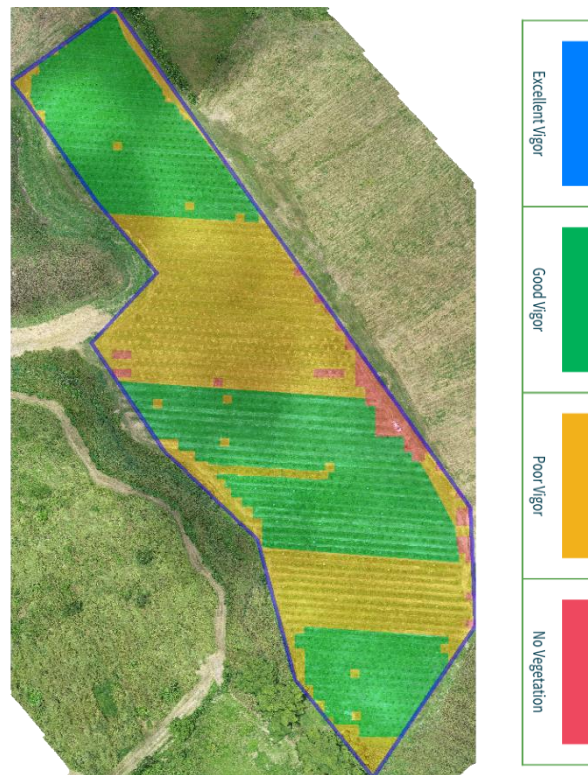


Figura 6. Distribución espacial del vigor de las plantas de naranja Valencia (Bejuma, Carabobo).

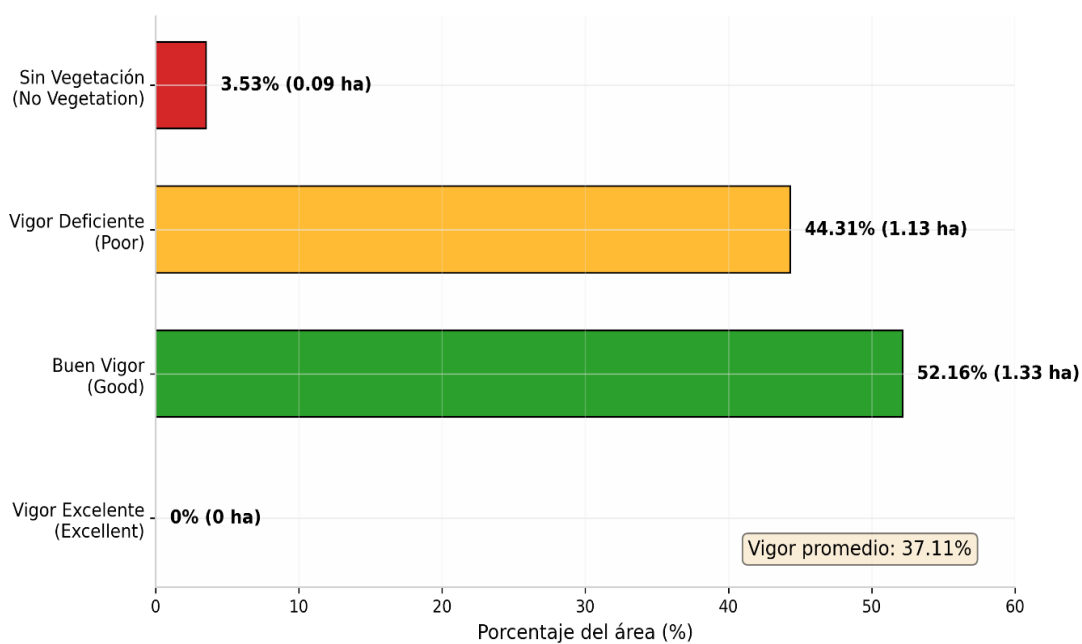


Figura 7. Distribución del vigor de las plantas de naranja Valencia (Bejuma, Carabobo).

El vigor promedio ponderado de la parcela fue de 37,11%, valor que refleja un estado fisiológico intermedio, con una ligera predominancia de áreas en buen estado sobre áreas con estrés evidente.

La ausencia total de áreas con "Vigor Excelente" (0%) es notable y sugiere que la plantación, en su conjunto, no alcanza condiciones óptimas de desarrollo. Este hallazgo puede atribuirse a múltiples factores no mutuamente excluyentes: (i) la edad juvenil del material vegetal, que aún no ha desarrollado la totalidad de su capacidad fotosintética; (ii) posibles limitaciones edáficas (acidez, disponibilidad de micronutrientes) comunes en suelos de la región central venezolana; (iii) estrés hídrico residual asociado a la estación seca previa al vuelo (agosto); o (iv) El 3,53% de área "Sin Vegetación" (0,09 ha) puede corresponder a: árboles muertos o no establecidos tras el trasplante, zonas de sombra prolongada por topografía, áreas con compactación severa del suelo, o espacios intencionales del diseño de plantación. La inspección visual de campo es recomendada para determinar la causa específica y programar eventuales replantes.

Comparativamente, el estado de la plantación de Bejuma muestra un desempeño superior al reportado para la plantación hermana en Nirgua, donde el "Buen Vigor" alcanzó solo el 31,62% y el "Vigor Deficiente" predominó con 55,56%. Esta diferencia inter-sitio sugiere que las condiciones edafoclimáticas o de manejo en Bejuma son relativamente más favorables, aunque ambas plantaciones comparten la limitación estructural de baja cobertura del dosel (~25%).

Integración de resultados e implicaciones de manejo

La integración de la información topográfica,

deficiencias en la fertilización de establecimiento (Zarco-Tejada *et al.*, 2014).

El 44,31% del área con "Vigor Deficiente" constituye la principal preocupación de manejo. Las zonas identificadas con este estatus (representadas en color amarillo/dorado en el mapa de vigor) se localizan predominantemente en la porción central y noreste de la parcela. La superposición espacial de este mapa con el DEM sugiere una posible correlación entre las zonas de menor vigor y las áreas de mayor elevación (>615 msnm), donde el drenaje más rápido podría limitar la disponibilidad de agua durante períodos secos. Esta hipótesis requiere validación mediante muestreo de suelo y análisis de humedad edáfica a profundidad de raíz.

estructural y fisiológica permitió una diagnosis integrada del estado de la plantación:

1. Las áreas clasificadas como "Vigor Deficiente" que coinciden con zonas de mayor elevación (>615 msnm) y menor cobertura del dosel deberían ser priorizadas para evaluaciones edáficas detalladas y ajustes en el programa de fertirrigación.
2. El 74,8% de suelo sin cobertura arbórea representa un riesgo de erosión, particularmente en las zonas de mayor pendiente identificadas en el MDE. La implementación de una cobertura vegetal de servicio en los callejones (ej. *Arachis pintoii*, *Macroptilium atropurpureum*) podría estabilizar el suelo sin competir agresivamente con los cítricos jóvenes (Avioz *et al.*, 2021).
3. El 3,53% de área sin vegetación arbórea (0,09 ha) debe inspeccionarse para confirmar la ausencia de árboles vivos y programar el replante durante la próxima ventana favorable (inicio de la estación lluvia).
4. La realización de vuelos UAV periódicos

(cada 3-6 meses) permitirá evaluar la evolución de la cobertura del dosel y el vigor, constituyendo un registro digital del desarrollo del huerto que facilite la toma de decisiones adaptativas.

CONCLUSIONES

La teledetección con UAV equipado con sensor RGB, procesada mediante plataformas especializadas de agricultura de precisión, constituye una herramienta técnicamente viable y costo-efectiva para el monitoreo de huertos cítricos en formación en condiciones tropicales venezolanas.

La plantación de naranja Valencia de un año de edad en Bejuma presenta una cobertura del dosel del 25,2% (0,64 ha), valor fisiológicamente esperable para su etapa de desarrollo, pero que implica un 74.8% de suelo desnudo susceptible a erosión y colonización de malezas.

El vigor promedio de la parcela fue de 37,11%, con el 52,16% del área en categoría de "Buen Vigor" y el 44,31% en "Vigor Deficiente". La ausencia de áreas con "Vigor Excelente" sugiere margen significativo para mejorar el manejo agronómico.

Los índices de vegetación RGB (EXG, GLI, Visual NDVI, VARI) mostraron rangos y distribuciones espaciales coherentes con el estado fisiológico del cultivo, siendo el EXG el índice con mayor sensibilidad para discriminar vegetación activa de suelo desnudo.

El modelo digital de elevación reveló una variabilidad topográfica de 14,32 m dentro del área estudiada, con zonas de menor elevación potencialmente más húmedas y zonas altas con mayor riesgo de drenaje excesivo, lo cual debe considerarse en la planificación del riego y la fertilización.

Se recomienda implementar un programa de monitoreo periódico con UAV,

complementado con validación de campo mediante muestreo edáfico y foliar en las zonas de menor vigor, para fundamentar decisiones de manejo diferenciado y mejorar la productividad sostenible de la plantación de cítricos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la empresa SIAGRICA por el aporte de los datos generados mediante vuelo UAV realizado el 21 de agosto de 2025 en la plantación de Naranja Bejuma, Estado Carabobo, Venezuela.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avioz, D., R. Linker, Raveh, E., Baram, S., Paz-Kagan, T. (2025). Multi-Scale Remote Sensing for Sustainable Citrus Farming: Predicting Canopy Nitrogen Content Using UAV-Satellite Data Fusion. Published in Smart Agricultural Technology. DOI: 10.1016/j.atech.2025. 100906Corpus ID: 277366113
- Colomina, I., and Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92, 79-97.
- Dobrowski, S. Z., Ustin, S. L., and Wolpert, D. (2003). Estimating subcanopy soil moisture with remote sensing. Agricultural and Forest Meteorology, 117(3-4), 185-193.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Stark, R., and Rundquist, D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. Remote Sensing of Environment, 80(1), 76-87.
- Gitelson, A. A., Viña, A., Arkebauer, T. J., Rundquist, D. C., Keydan, G., and Leavitt, B. (2003). Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize

- canopies. *Geophysical Research Letters*, 30(5), 1248.
<https://doi.org/10.1029/2002GL016450>
- López, J., Comerma, J., Albarracín, J., y Pérez, M. (2018). Caracterización edafológica de los Valles Altos de Carabobo, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 35(2), 45–58.
- Louhaichi, M., Borman, M. M., and Johnson, D. E. (2001). Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto International*, 16(1), 65-70.
- Meyer, G.E. and Neto, J.C. (2008). Verification of Color Vegetation Indices for Automated Crop Imaging Applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63, 282-293.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2008.03.009>
- Rosen, L., Ewing, P.M., and Runck, B.C. (2024). RGB-based indices for estimating cover crop biomass, nitrogen content, and carbon:nitrogen ratio. *Agronomy Journal*, 116(5), 21657.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., and Deering, D.W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 1, 309–317.
- Sishodia R.P., Ram L.R. and Singh, S.K. (2020). Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. *Remote Sens.* 2020, 12, 3136
- Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., Serrano, N., Arquero, O., and Peña, J.M. (2015). High-throughput 3-D monitoring of agricultural-tree plantations with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology. *PLoS ONE*, 10(6), e0130479.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130479>
- Tucker, C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150.
[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Woebbecke, D.M., Meyer, G.E., Von Bargen, K., and Mortensen, D.A. (1995). Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions of the ASAE*, 38(1), 259-269.
- Wünsche, J.N., Lakso, A.N., and Robinson, T.L. (2000). Comparison of four methods for estimating total light interception by apple trees of varying forms. *HortScience*, 35(5), 768-773.
- Ye, X., Sakai, K., Garciano, L.O., Asada, S.I., and Sasao, A. (2018). Remote sensing for precision agriculture: Sensor systems and analysis methods. *Remote Sensing*, 10(12), 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10122018>
- Zarco-Tejada, P.J., Poblete, T., Beck, P.S.A., Edwards, G., Carmo, M., and Margate, R. (2014). High spatial and temporal resolution remote sensing for mapping crop water status. *Proceedings of SPIE*, 9239, 923907. <https://doi.org/10.1117/12.2067427>