INFORME DE RESULTADOS

Intervención 7201_02 Actividades de demostración e información

Título operación: Uso de drones y teledetección multiespectral para una agricultura de precisión

Código operación: LO0124L

Solicitante: CIFEA DE LORCA

Ubicación/CDA: LO-CDA-LORCA

Coordinación: Antonio Hernández Copé

Técnicos: Mariano Miguel Espín Aledo

Colaboran (*): Francisco Martínez Mínguez (Fundación ALIMER)

Duración total (**): del 1 de julio al 31 de diciembre de 2024

(*) Empresas u organismos públicos que colaboran técnicamente en la ejecución.

(**) Duración de la actuación (años) indicando las fechas inicio y fin previstas.

Contenido

1. RESUMEN. 3
2. MATERIALES Y MÉTODOS. 3
2.1. Equipos. 3
2.2. Parcela demostración. 4
2.3. Datos agronómicos del cultivo. 6
2.4. Parámetros evaluados y controles realizados. 6
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. 6
3.1. Vuelos Purias 6
3.1.1. Sandías 04/07/2024 6
3.1.2. Alcachofas 01/10/2024 9
3.1.3. Alcachofas 21/10/2024 12
3.1.4. Alcachofas 12/11/2024 15
3.1.5. Alcachofas 12/12/2024 17
4. CONCLUSIÓN 21
5. ACTIVIDADES DE DEMOSTRACIÓN. 22
6. PERSONAS BENEFICIADAS (R-1) 22
7. BIBLIOGRAFIA, PROYECTOS INVESTIGACIÓN, OTROS. 23

1. RESUMEN.

Esta operación se ha realizado durante los meses de julio a diciembre de 2024. En este periodo se hizo un seguimiento de cultivos de sandía y alcachofa en el CDA de Purias. En el CDA de Lorca no se realizaron vuelos por no disponer en este periodo de cultivos con un mínimo de superficie para poder extraer conclusiones prácticas con esta tecnología.

Respecto a la sandía, se realizó un vuelo el 04/07/2024, días antes de la recolección, en que se observó una fuerte afectación por oidio que redujo la biomasa foliar y por tanto la producción.

En cuanto a la alcachofa, se realizaron vuelos desde 15 días postrasplante hasta el mes de diciembre (aún no había comenzado la recolección). Se pudo tener un control preciso del número de marras, y un seguimiento del desarrollo y la homogeneidad de la plantación.

El estado de la vegetación se evaluó principalmente mediante los índices espectrales de vegetación NDVI y GNDVI. Se compararon los valores obtenidos para estos índices en imágenes calibradas con el panel radiométrico (adquirido con este proyecto) y sin él, comprobándose la mayor precisión en las lecturas efectuadas con el panel, lo que claramente justifica su utilidad la hora de comparar imágenes espectrales tomadas en distintas fechas y bajo diferentes condiciones atmosféricas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

Para esta operación se contó con los cultivos existentes en el CDA de Purias.

Para realizar los trabajos se emplearon los siguientes materiales:

- Dron dotado de cámara multiespectral con 5 bandas más RGB.
- Panel de calibración radiométrica para la cámara espectral.
- Ordenador portátil y software de fotogrametría, teledetección y sistemas de información geográfica.

2.1. Equipos.

Los equipos utilizados en esta operación provenían principalmente de proyectos de transferencia anteriores, y otros que se adquirieron para esta operación.

En cuanto a los adquiridos para este proyecto:

- Panel de calibración radiométrica de reflectancia MicaSense (Figura 1). Este dispositivo ayuda a calibrar los datos de radiancia, recogidos por la cámara multiespectral del dron, en función de las condiciones de iluminación solar.

Este panel de calibración es necesario para poder comparar imágenes del cultivo tomadas en diferentes fechas, pues permite igualar las condiciones de radiación solar con independencias de las diferentes perturbaciones atmosféricas existentes en cada vuelo (inclinación solar según la hora de vuelo, calima o polvo en suspensión en la atmósfera, humedad relativa, etc.). De este modo, es posible calcular diferentes índices de vegetación (NDVI, GNDVI, SAVI, etc.) y compararlos en distintas fechas para analizar la evolución de los cultivos.

Figura 1. Panel de calibración radiométrica MicaSense adquirido para esta operación.

Por otro lado, se utilizaron los equipos de proyectos de transferencia anteriores, como son:

- Dron dotado de cámara multiespectral con 5 bandas más RGB.
- Tablet para visualización por control remoto.
- Ordenador portátil y software de fotogrametría.

Figura 2. Dron dotado de cámara multiespectral y mando para centro remoto.

2.2. Parcela demostración.

Las parcelas agrícolas donde se realizaron los vuelos se encontraban en el CDA de Purias (Figura 3). Los cultivos sobre los que finalmente se realizaron los análisis fueron los de sandía y alcachofa (Figura 4).

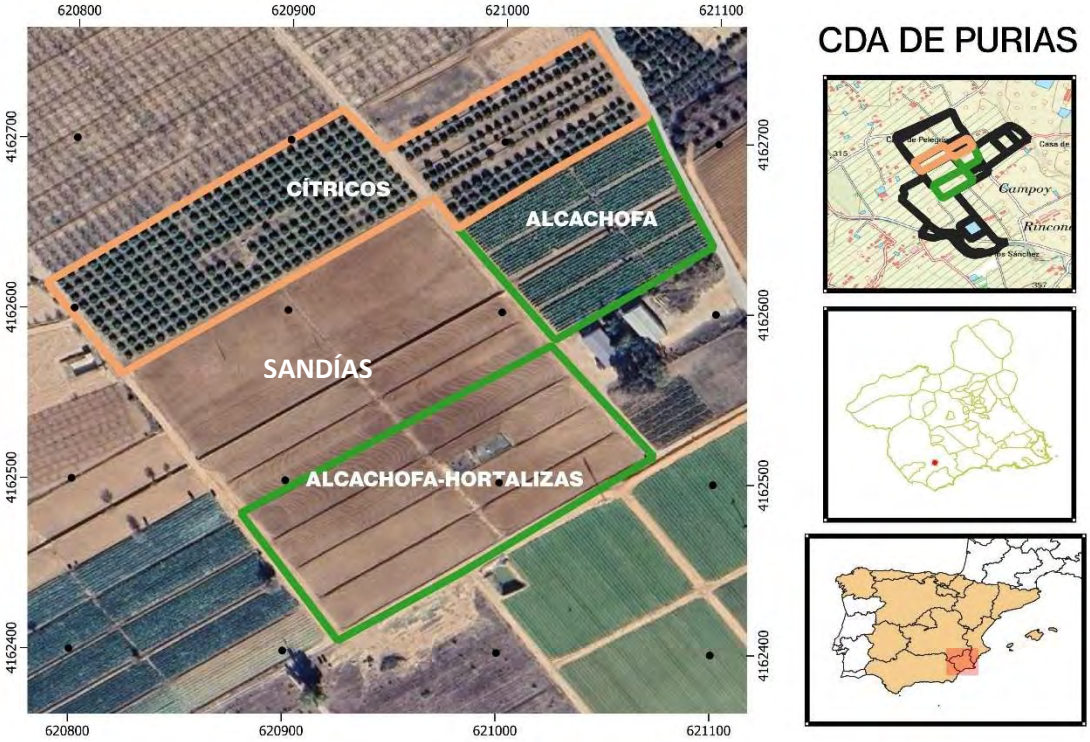


Figura 3. Parcelas del CDA de Purias objeto de esta actuación.

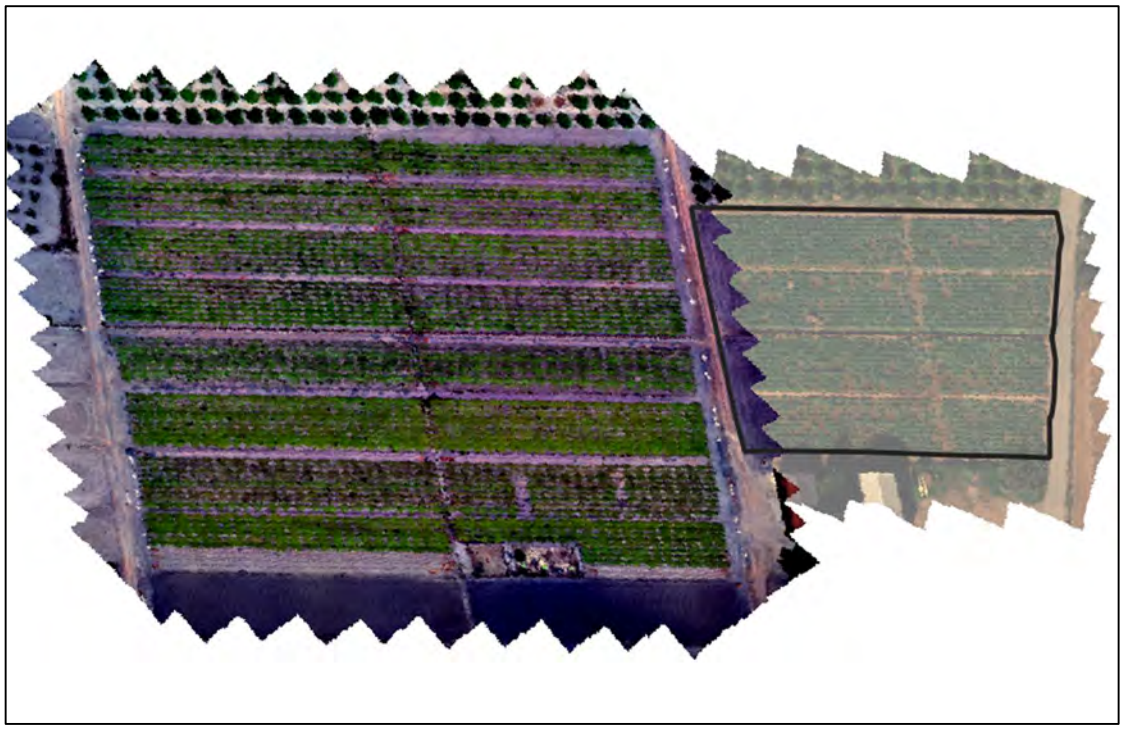


Figura 4. CDA de Purias: imagenes de dron de la plantación de sandías del 04/07/2024 (izquierda) y de alcachofas del 12/12/2024 (derecha).

2.3. Datos agronómicos del cultivo.

Todos los cultivos contaban con sistemas de riego localizado. Las variedades y superficies son las siguientes

- Sandía: 23.200m^2
- Alcachofa (ensayo de distintas variedades de semilla):
    - Sector 2: 8.100 m^2.

2.4. Parámetros evaluados y controles realizados.

Se realizaron vuelos periódicos sobre los cultivos (detallar fechas), buscando días soleados con nubosidad menor al 20% y poco viento. En cada vuelo, se tomaron imágenes con las 5 bandas de la cámara multiespectral (bandas infrarrojo cercano, borde infrarrojo, rojo, verde y azul)

- **Fechas de Vuelos CDA Purias:**
    - Sandías:
        - 20240704
    - Alcachofas:
        - 01/10/2024
        - 21/10/2024
        - 12/11/2024
        - 12/12/2024

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1. Vuelos Purias

3.1.1. Sandías 04/07/2024

Se realizó un vuelo sobre una plantación de sandía (de la Fundación Alimer) próxima a la recolección. Este cultivo se trataba de un ensayo de variedades de sandía sin pepita, por lo que había una mezcla de diferentes variedades (al menos 6 según los técnicos de ALIMER, pero no tenemos las denominaciones).

Sobre esta plantación no se hizo ningún tipo de tratamiento fitosanitario, por lo que estaba fuertemente afectada por oidio. En la Figura 5 se muestran 4 imágenes del cultivo, una en color verdadero, dos en falso color y un índice de vegetación calculado (NDVI).

En la imagen en color verdadero no se distinguen con claridad las plantas afectadas por oidio, aunque si se aprecia una vegetación menos frondosa. Sin embargo, en las composiciones en falso color si se distinguen con claridad las plantas afectadas de las sanas. En la imagen del índice NDVI se puede apreciar también con claridad el estado de la vegetación (ver leyenda de la Figura 5).

El plano de toda la parcela de cultivo se muestra en la Figura 6.

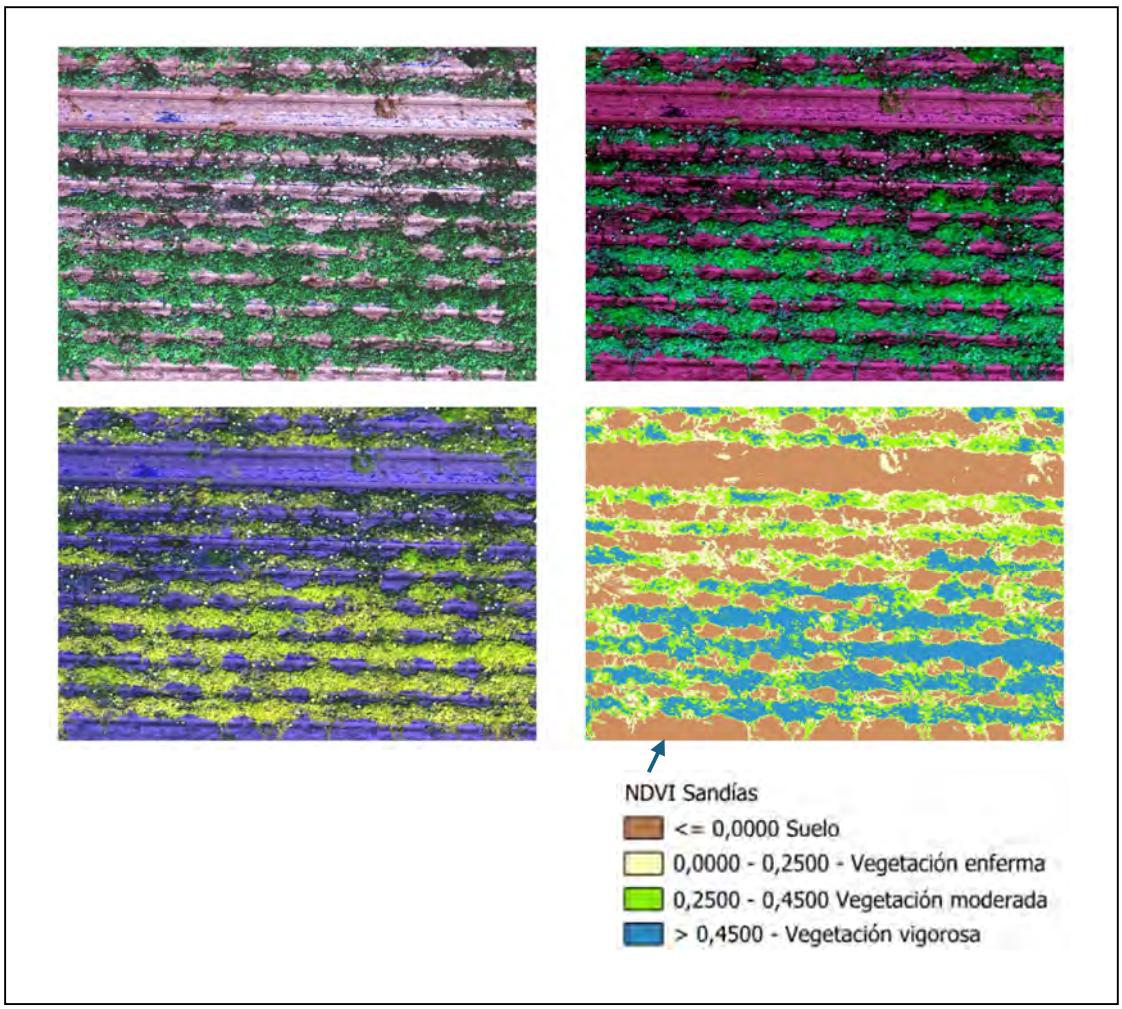
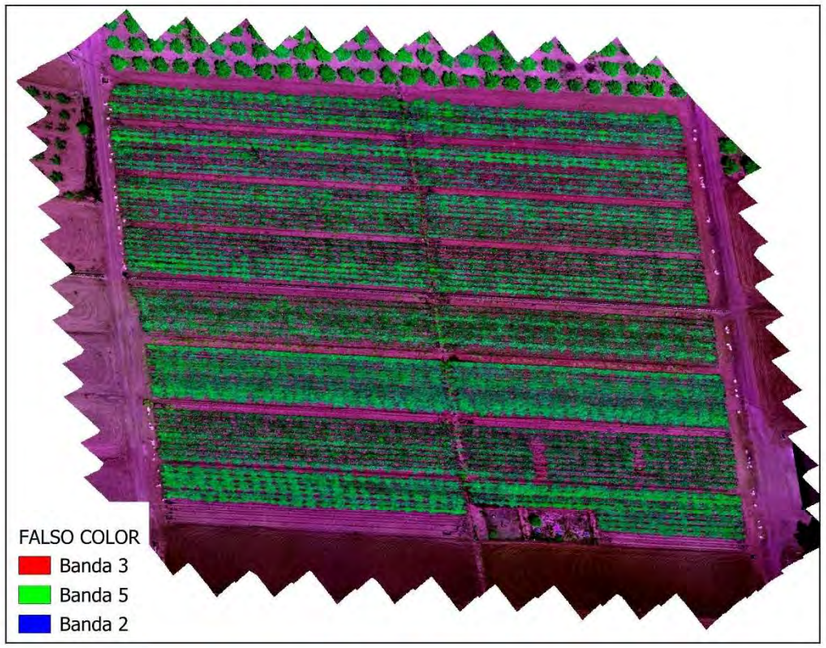
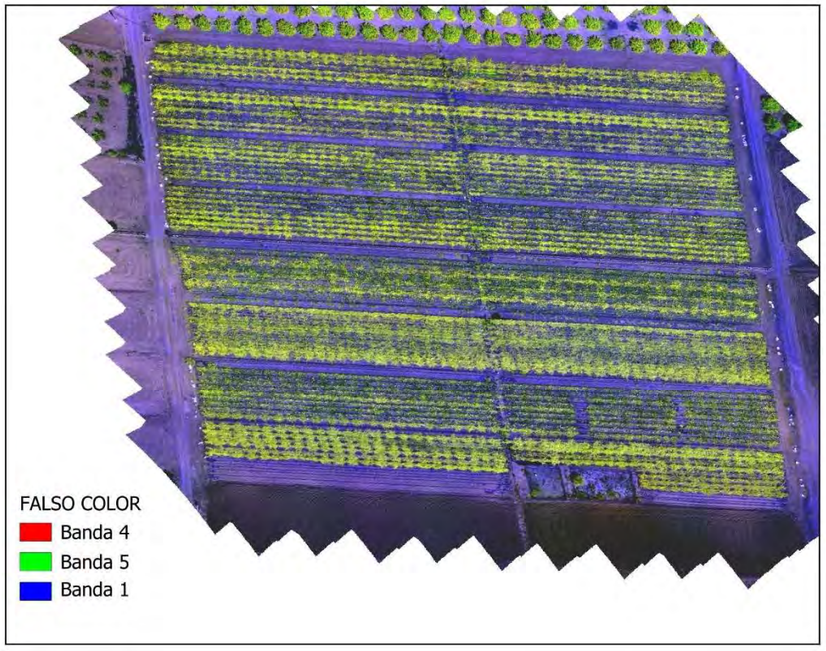


Figura 5. Arriba: Izquierda color verdadero; derecha falso color RGB: 352. Debajo: izquierda, falso color RGB 451; derecha índice de vegetación NDVI.





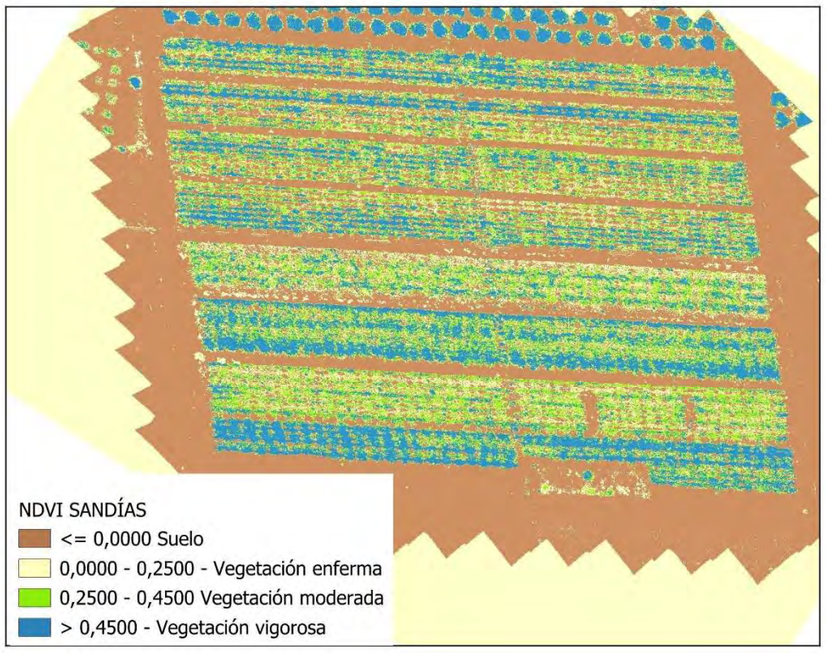


Figura 6. Vista del cultivo de sandía en diferentes composiciones: color natural, dos combinaciones de falso color e índice de vegetación NDVI.

3.1.2. Alcachofas 01/10/2024

Se realizaron varios vuelos sobre un cultivo de alcachofas de semilla. El primero 30 días tras el trasplante, para hacer un conteo de plantas, comprobar marras o fallos de plantación y analizar la uniformidad del cultivo. En la imagen de la Figura 7 no se aprecian las plantas pues aún tenían un tamaño reducido.

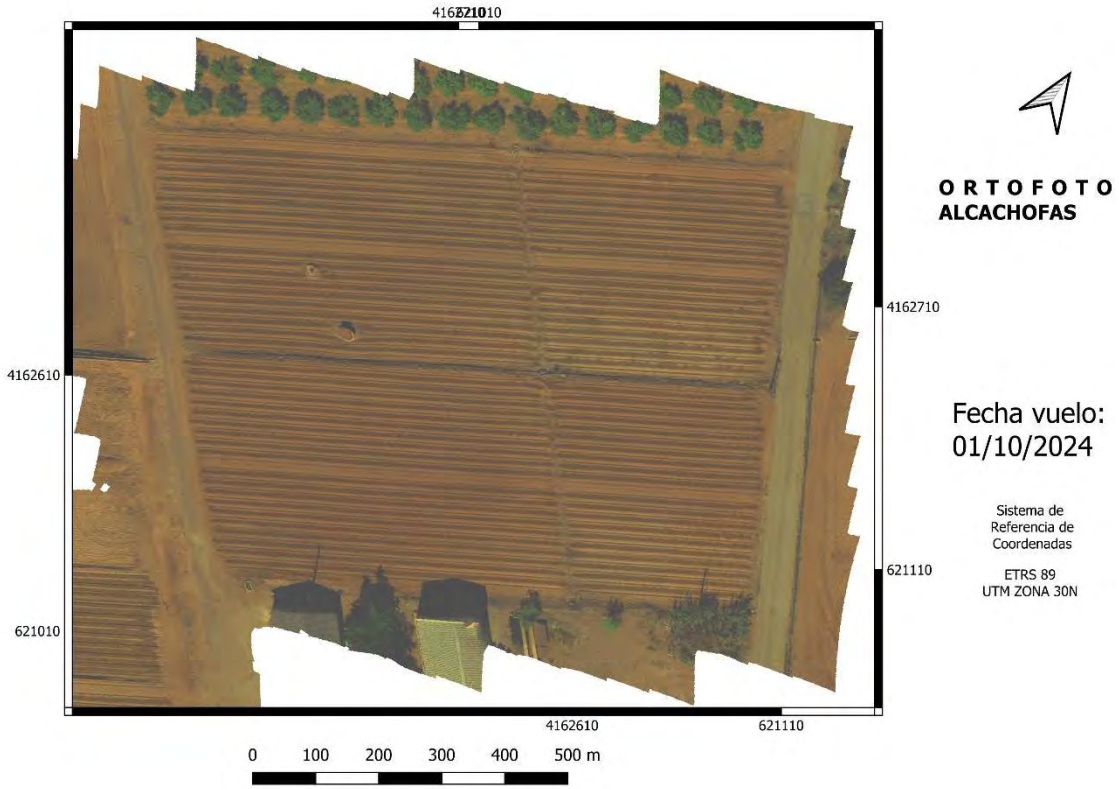


Figura 7. Parcela cultivada de alcachofa procedente de semilla. Imagen RGB captada con dron el 01/10/2024.

En la imagen de la Figura 8 se hace zoom para ver las plantas en distintas composiciones. También se ha generado una capa extrayendo solamente el contorno de las plantas para poder hacer un conteo y evaluar el porcentaje de arraigo. Además, se puede determinar la uniformidad en el tamaño de las plantas. Para separar las plantas del resto de la imagen del NDVI se ha realizado una operación de vectorización (pasar de formato de mapa “ráster a vectorial”).·

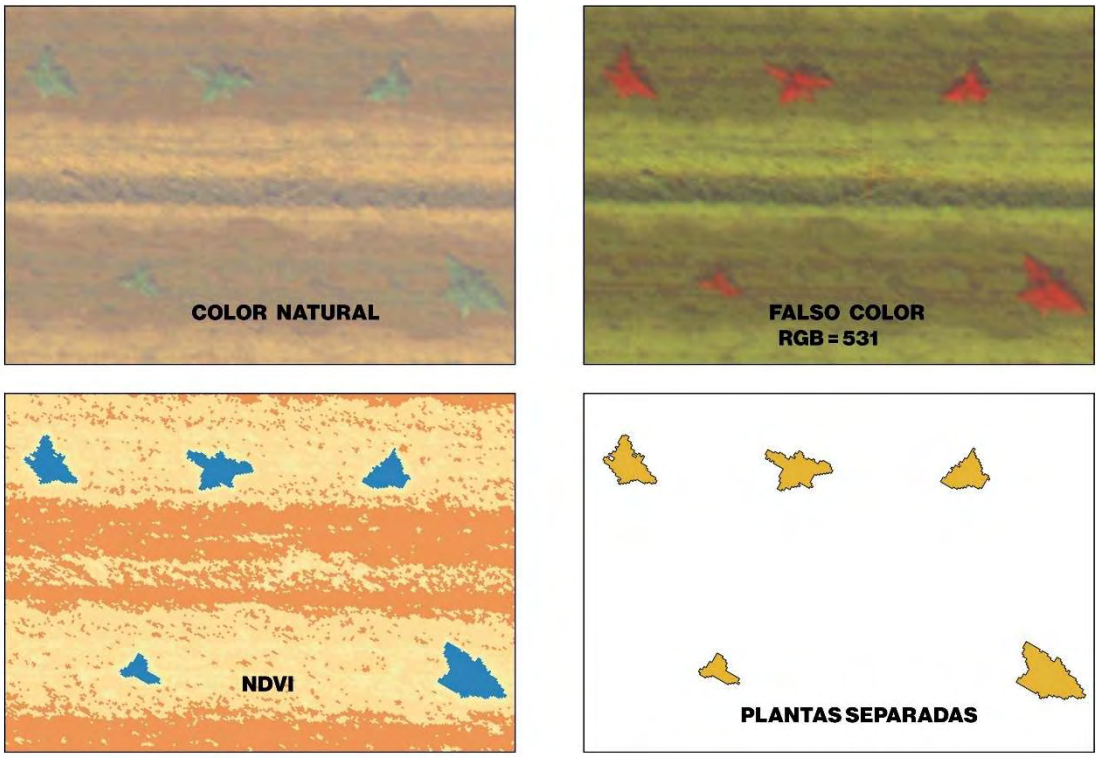


Figura 8. Detalle de las plantas de alcachofa. Arriba: color verdadero (izquierda) y falso color (derecha). Abajo: índice NDVI (derecha) y plantas separadas para su conteo (derecha).

Se ha calculado la superficie efectiva de la parcela (8220m^2 menos 705 m^2 de improductivos por espacios entre bancales), teniendo una superficie efectiva de cultivo de 7517 m^2.

El marco de plantación es de 1.1*1.85 m=2.035, se consideran 2 m^2/planta:

7518/2=3760 plantas deberían haber en la parcela.

En el conteo sobre la parcela (a partir de la imagen aérea vectorizada) sale un número de plantas de 2400.

Porcentaje de arraigo =2400/3760= 64 % (se aprecia un alto número de marras).

Los estadísticos obtenidos para la superficie foliar de las plantas son los siguientes (a partir de la capa vectorial):

- Campo analizado: **área Foliar (m^2)**
- Recuento: 2400 plantas
- Valor mínimo: 0.00509
- Valor máximo: 0.25468
- Intervalo: 0.24959
- Suma: 116.150

- Valor medio: 0.048
- Mediana: 0.0434
- Desviación estándar: 0.0304
- Coeficiente de variación: 0.629
- Minoría (valor más raro presente): 0.009
- Mayoría (valor presente con más frecuencia): 0.030
- Primer cuartil: 0.024 (el 25% de las plantas tiene un área foliar menor o igual a este valor)
- Tercer cuartil: 0.066 (el 75% de las plantas tiene un área foliar menor o igual a este valor).
- Intervalo intercuartil (IQR): 0.042

Estos estadísticos indican que la media de superficie foliar de las plantas es de 0.043m^2, pero que hay una alta variabilidad en el desarrollo de las plantas, lo que se muestra claramente en el valor del "*coeficiente de variación"* de 62,9% (por diferencias muy marcadas en el tamaño de las plantas).

Haciendo una interpolación con datos del tamaño de planta se puede obtener un mapa de zonificación de la parcela en función del desarrollo inicial de las plantas (Figura 9). Este mapa resulta de gran utilidad para intervenir en la parcela de forma localizada, `pudiendo realizar aplicaciones de dosis variable si se dispone de la maquinaria agrícola adecuada (agricultura de precisión).

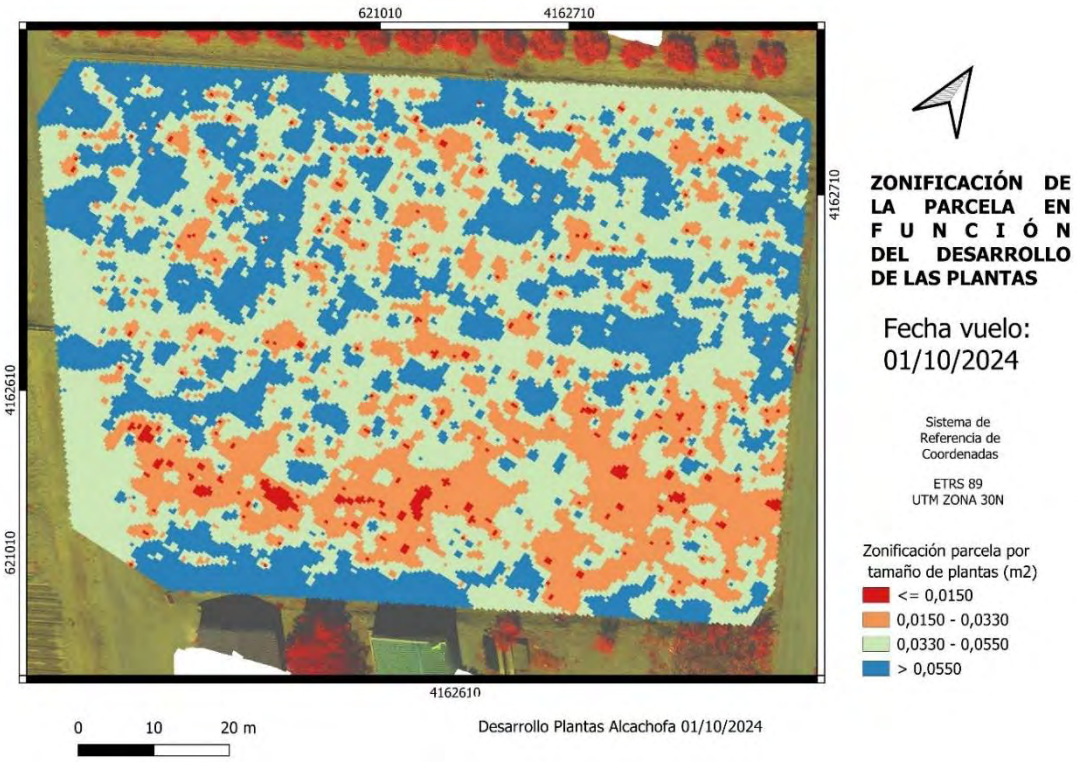


Figura 9. Mapa de zonificación de la parcela en función del tamaño medio de las plantas por zonas.

3.1.3. Alcachofas 21/10/2024

Se realizó un vuelo 20 días después del anterior. La imagen de toda la parcela se muestra en la Figura 10 , en color verdadero y en falso color (para resaltar las plantas en rojo).

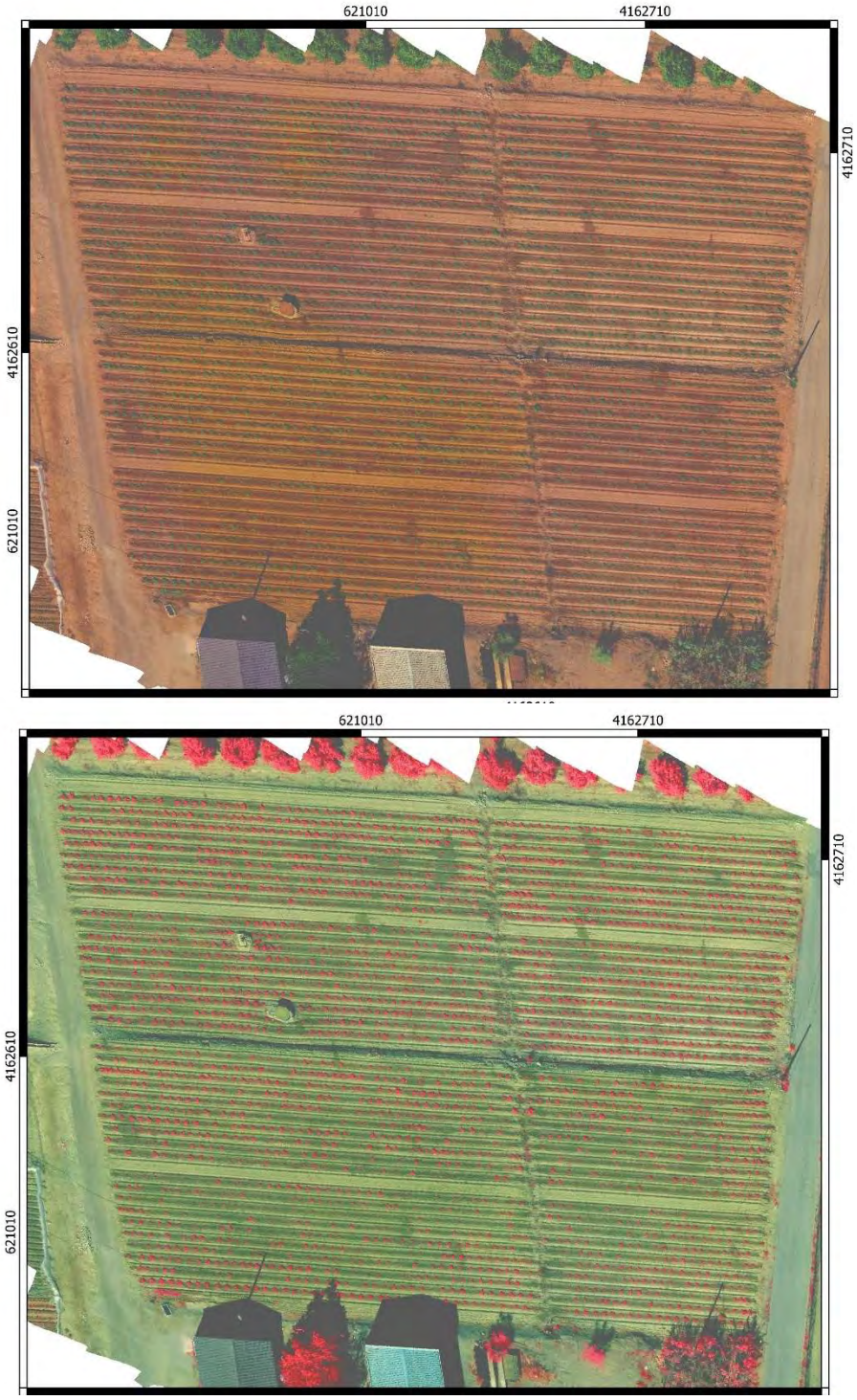


Figura 10. Imagen de la parcela de alcachofas del vuelo de fecha 21/10/2024. Color verdadero (arriba) y falso color RGB: 532 (abajo).

En la siguiente imagen (Figura 11), se muestran las plantas con más detalle. Se aprecia la diferencia de tamaño con el vuelo anterior. Se presentan distintas imágenes en color verdadero, falso color (para resaltar más las plantas), y dos índices de vegetación, el NDVI y el NDRE. Ambos índices muestran el estado fisiológico de la planta, aunque el NDRE es más sensible a los niveles de clorofila y estructura foliar, y menos sensible a la influencia del suelo desnudo.

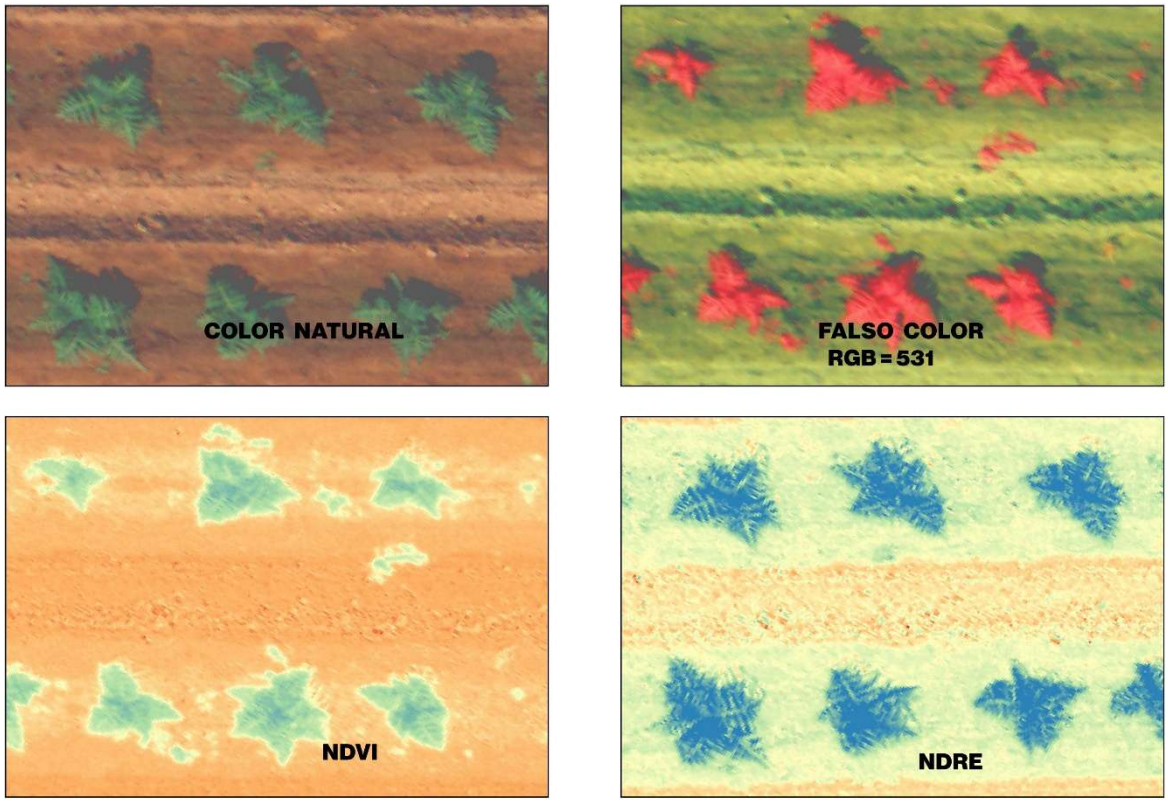


Figura 11. Detalle de las plantas de alcachofa (21/10/2024). Arriba: color verdadero(izquierda), falso color (derecha); abajo: NDVI (izquierda) y NDRE (derecha).

Al igual que en la fecha anterior, se ha vectorizado índice NDVI para estimar el tamaño medio de las plantas y la uniformidad de la plantación. Los resultados estadísticos del área foliar de las plantas son los siguientes:

Campo analizado: superficie foliar (m^2)

Recuento: 2460

Valor mínimo: 0.034

Valor máximo: 1.035

Intervalo: 1.001

Suma: 546.39

Valor medio: 0.222

Mediana: 0.218

Desviación estándar: 0.106

Coeficiente de variación: 0.477

Primer cuartil: 0.145

Tercer cuartil: 0.289

Intervalo intercuartil (IQR): 0.145

El tamaño medio de las plantas e de 0.22 m^2, y el coeficiente de variación es del 47,7%, sigue siendo alto, pero ha mejorado respecto a la fecha anterior (que era del 62,9%). Esto indica que el desarrollo de la plantación sigue siendo bastante desigual, hay poca uniformidad en el tamaño de las plantas (Figura 12), aunque se ha mejorado respecto al inicio.

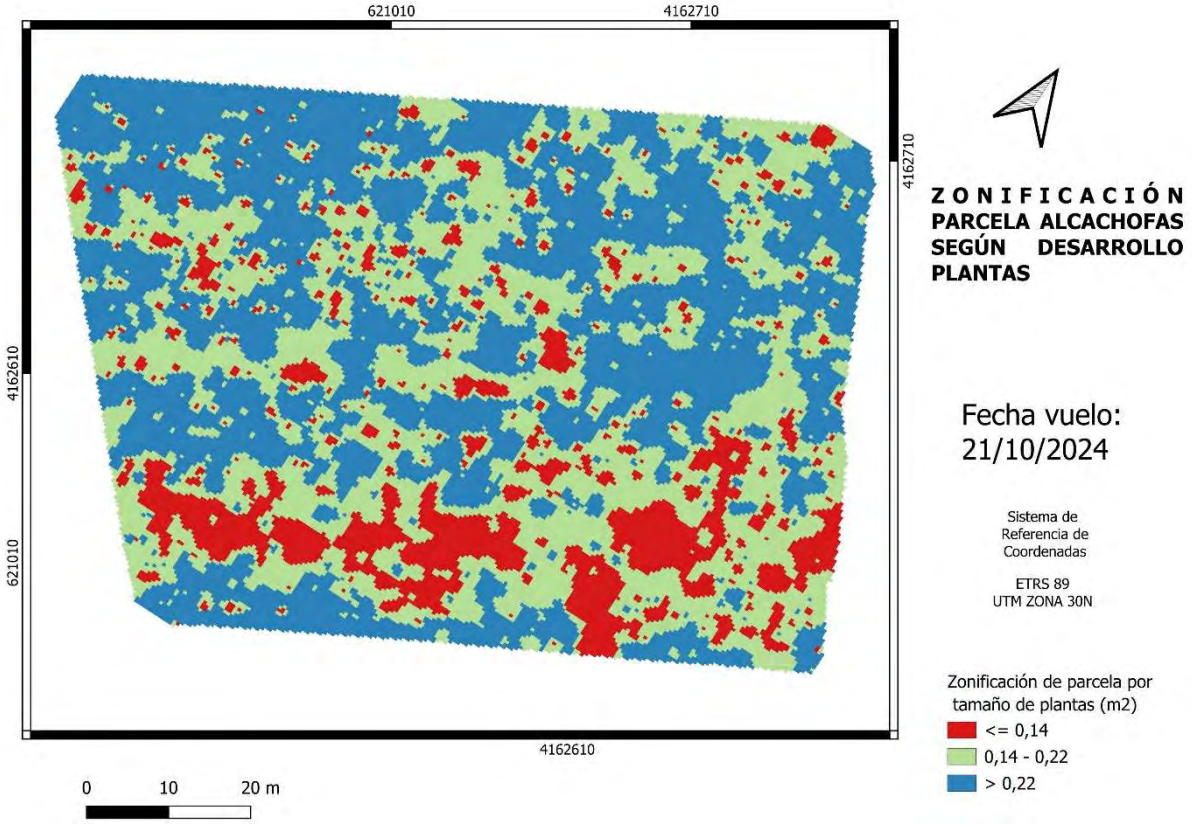


Figura 12. Mapa de zonificación de la parcela en función del tamaño medio de las plantas por zonas (21/10/2025).

Este mapa de zonificación es de utilidad para ver las zonas donde sería preciso reforzar la fertirrigación y comprobar sobre el terreno las posibles causas. En la parcela se comprobó que en la zona con menor desarrollo (sur) el suelo es algo más arenoso, además de estar a más altura, por lo que parece estar recibiendo menor cantidad de agua y nutrientes. Sería necesario sectorizar para diferenciar el manejo del riego en esa zona.

3.1.4. Alcachofas 12/11/2024

En este vuelo las plantas ya habían adquirido un buen desarrollo, aunque continuaban los problemas de uniformidad de la plantación y, además, quedaron varias zonas con claros en las que no se repusieron las marras, lo que se aprecia en la Figura 13 que muestra una imagen natural y una composición en falso color en la que se ha incluido la banda infrarroja.

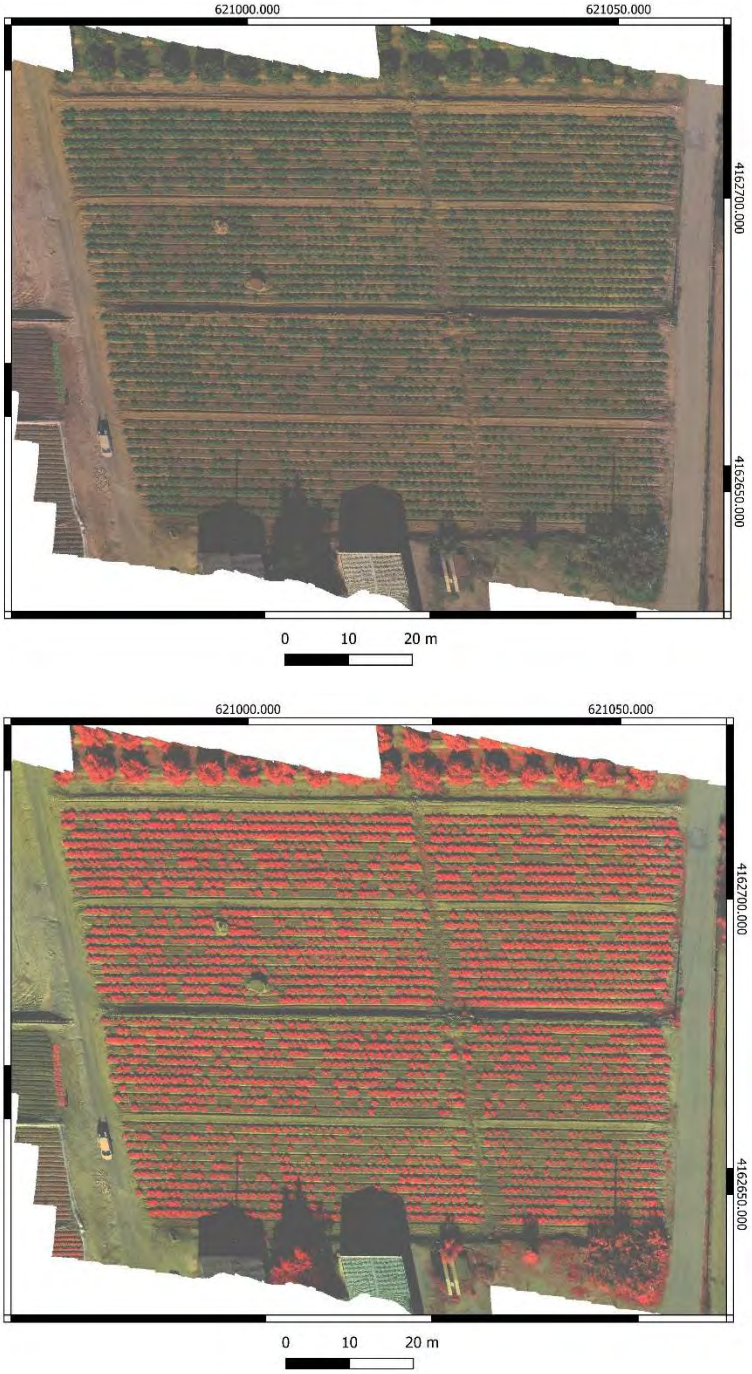


Figura 13. Vista de la parcela de alcachofas en color natural y falso color (RGB 531). Vuelo del 12/11/2024.

Se ha calculado el índice de vegetación NDVI para analizar el estado fisiológico de la vegetación. Según los resultados de este índice, las plantas están en buen estado, siendo el principal problema la existencia de zonas donde las plantas han adquirido un menor desarrollo o hay grandes huecos por muchas marras (Figura 14).

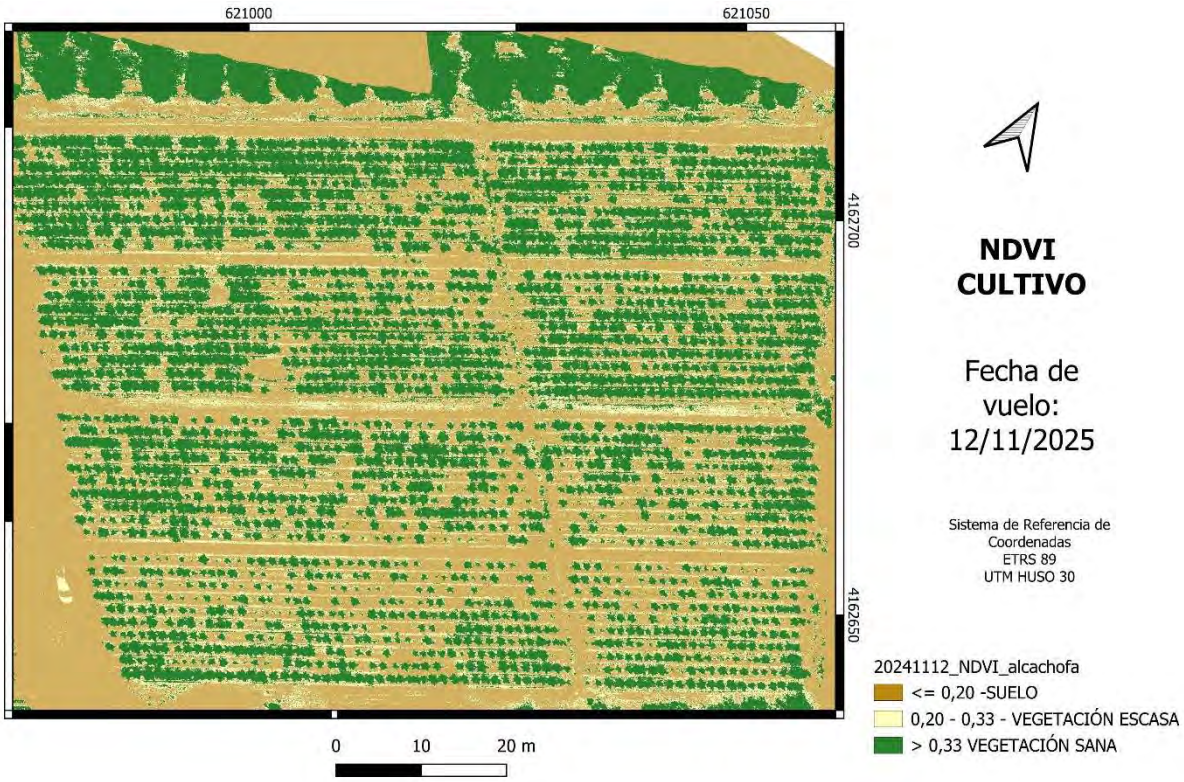


Figura 14. Índice NDVI calculado a partir de la imagen del 12/11/2024.

Las áreas con plantas poco desarrolladas requerirían algún tipo de tratamiento para intentar recuperarlas y homogeneizar el cultivo. Esto se podría hacer realizando algún tratamiento foliar con fitofortificantes naturales, abonos foliares, aminoácidos, etc., o mejorando las condiciones de fertiirrigación (algo más complicado al no ser sectores uniformes).

Para los tratamientos foliares con maquinaria se ha generado una capa vectorial con las plantas que deben ser tratadas, que puede ser cargada en maquinaria de agricultura de precisión (maquinaria de autoguiado con software adecuado y monitor de cabina). Para ello, se ha creado un archivo shapefile con 2 tipos de plantas, las que están bien desarrolladas (no hay que actuar sobre ellas) y las que necesitan algún tipo de intervención (Figura 15).

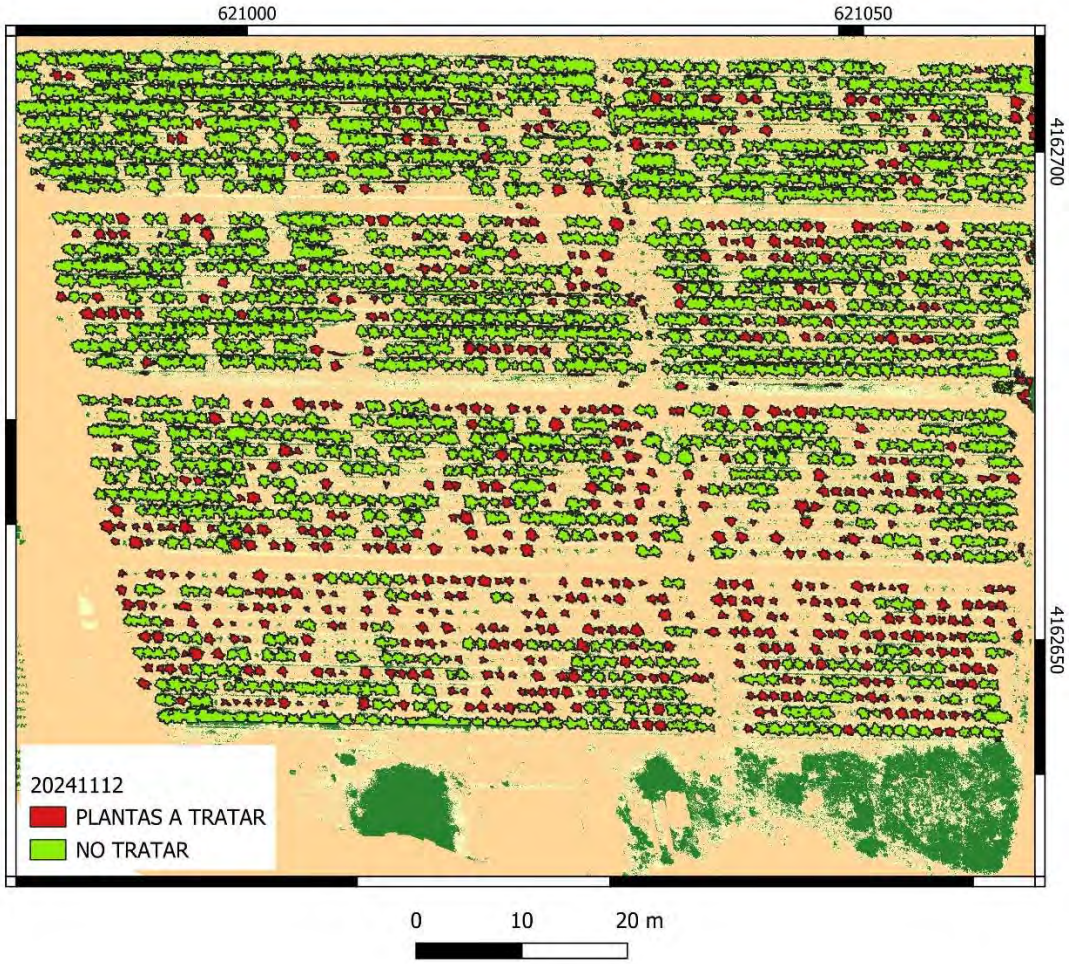


Figura 15. Identificación y geolocalización de las plantas que necesitan un tratamiento para reforzar la fertilización

3.1.5. Alcachofas 12/12/2024

El último vuelo se realizó el 12 de diciembre, cuando las plantas habían alcanzado un gran desarrollo (Figura 16).

Figura 16. Ortoimagen del cultivo tomada el 12/12/2024.

En este caso, al estar la vegetación más desarrollada, el índice NDVI (utiliza las bandas infrarrojo y rojo) se satura demasiado en las zonas donde la vegetación es muy densa o hay demasiado follaje. En estos casos, el índice GNDVI (utiliza las bandas infrarrojo y verde) aporta mejor información del estado del cultivo (Figura 17).

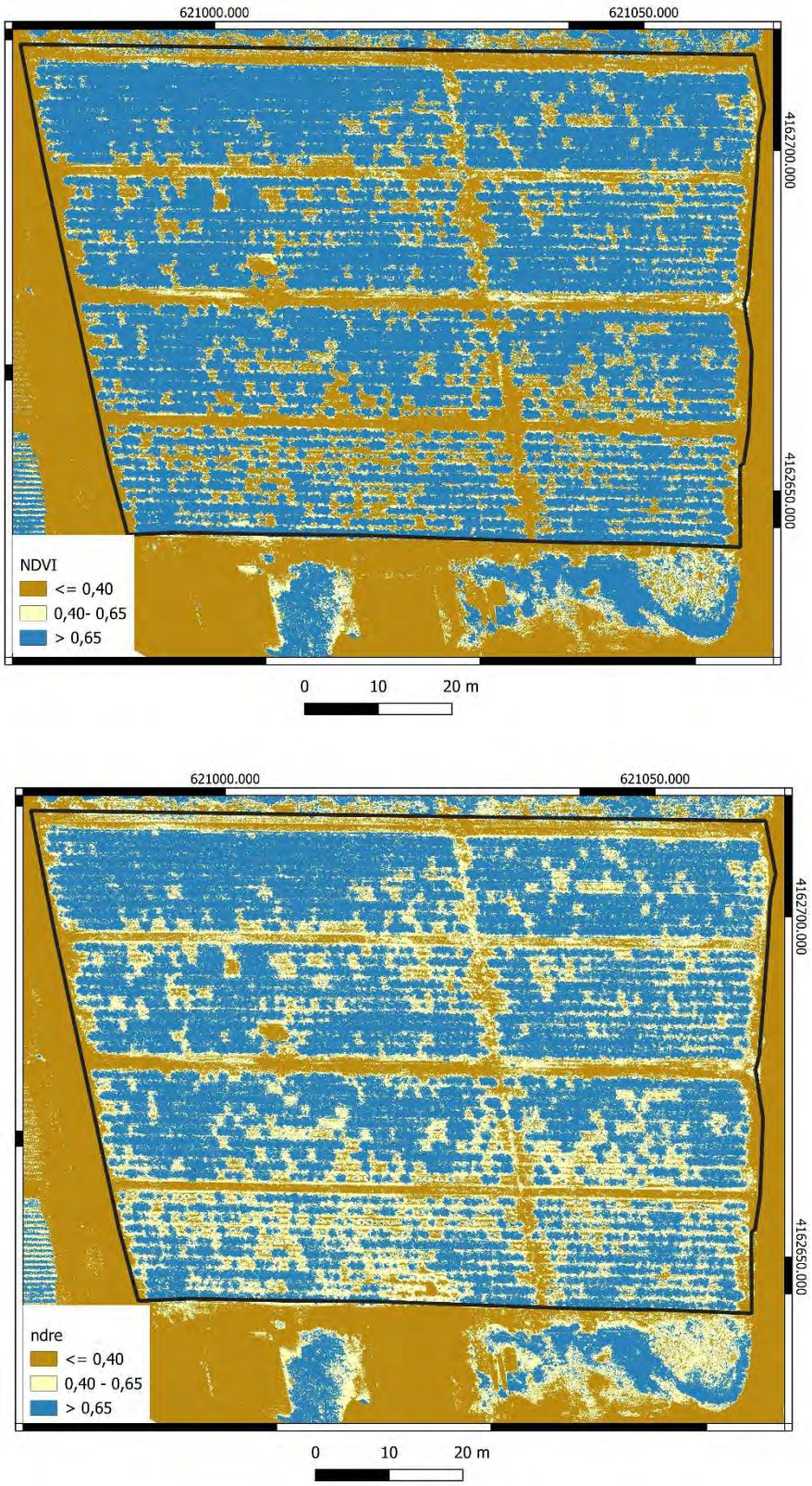
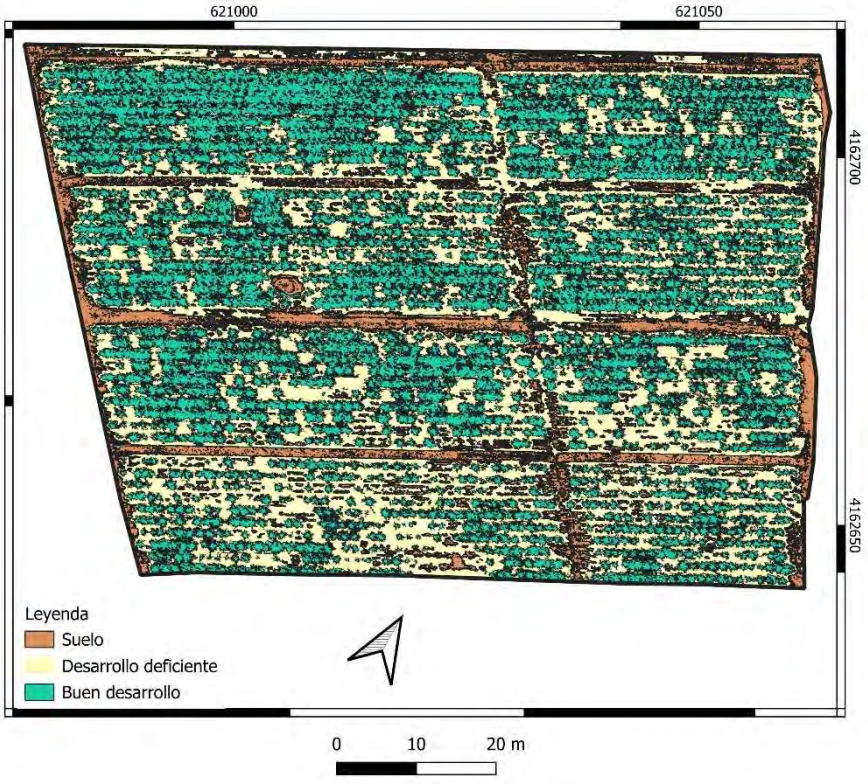


Figura 17. Comparación de los índices NDVI (arriba) y GNDVI (abajo) obtenidos en el vuelo de fecha 12/12/2024 sobre el cultivo de alcachofas.

A estas alturas del cultivo, las plantas deben haber alcanzado el suficiente desarrollo para comenzar a producir en aproximadamente 15-30 días. Pero, como se ha observado desde el inicio, el desarrollo medio en la parcela se ha mantenido muy heterogéneo, con plantas de tamaño muy desigual y claros por marras de plantación.

No obstante, se puede hacer una zonificación de la parcela en función de los resultados obtenidos hasta el momento. Para ello, el mapa en formato ráster del GNDVI se ha clasificado en 3 clases (suelo, desarrollo deficiente y buen desarrollo) y se ha transformado a un archivo en formato vectorial para hacer un "Mapa de aplicación de dosis variable", estos mapas vectoriales se pueden cargar o transferir a una maquina como tractor, dron, o cuba de tratamiento que disponga de sistemas de autoguiado y software.

En el mapa de zonificación (Figura 18) se observa una clara disminución del desarrollo de norte a sur (menor desarrollo conforme más al sur). Esto parece deberse, en parte, a variaciones de altitud (más bajo en la zona norte con mayor acumulación de agua y nutrientes) y diferencias de textura (más arenosa en la zona sur).



es

Figura 18. Zonificación de la parcela en función del índice GNDVI obtenido.

Por último, el la Figura 19 se muestra una comparativa de las **diferencias** en los valores obtenidos de GNDVI utilizando el **panel radiométrico MicaSense** (adquirido con este proyecto) y el sensor solar del que dispone el dron. Las variaciones en los valores del índice son muy acentuadas, lo que justifica el uso del panel, pues en caso de no utilizarlo la radiación obtenida está muy influenciada por las condiciones atmosféricas del momento. Para disponer de una lectura de radiancia más realista y poder comparar imágenes de distintas fechas, se hace necesario el uso de este panel radiométrico, pues

compensa las variaciones de las condiciones atmosféricas, igualando la radiometría de distintas imágenes.

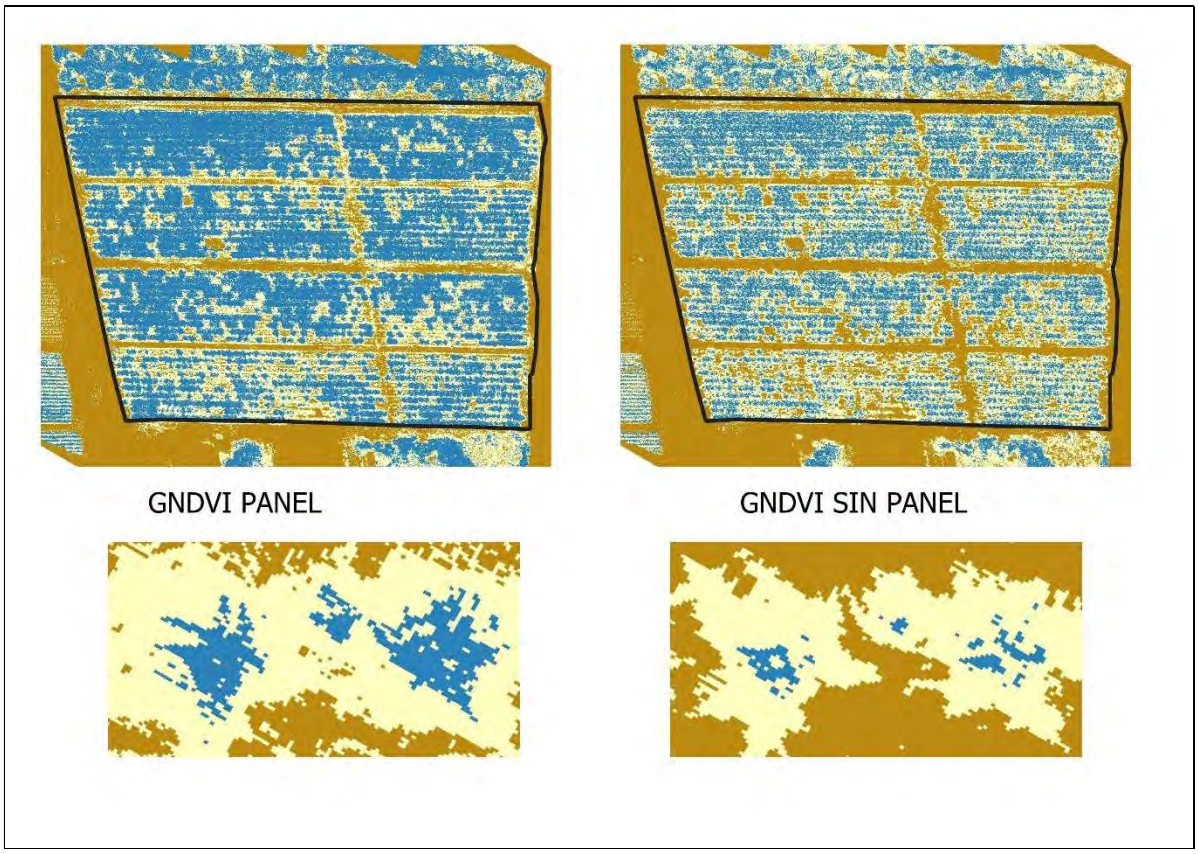


Figura 19 Comparativa del GNDVI obtenido utilizando el panel radiométrico (izquierda) y el sensor solar incorporado en el dron (derecha).

4. CONCLUSIÓN

Como conclusión a este trabajo se ha comprobado que los drones dotados de cámaras multiespectrales representan un gran avance y son de mucha utilidad para la agricultura de precisión.

Permiten la observación aérea de toda la parcela y el seguimiento del cultivo desde la plantación. Entre las múltiples utilidades, se pueden destacar:

- obtener el número de marras tras el trasplante y las zonas donde estas se concentran (conteno de plantas),
- seguimiento del desarrollo del cultivo, detectando zonas con menor vigor o problemáticas,
- detección temprana de plagas y enfermedades (no permite identificar la plaga/enfermedad, pero sí detectar las plantas enfermas),
- detección de deficiencias nutricionales, mediante los distintos índices de vegetación,
- zonificación de las parcelas en función de las características de fertilidad, textura y calidad del suelo,

- detección de malas hierbas,
- generación de mapas georreferenciados para realizar tratamientos de aplicación variable (de fertilización, riegos o fitosanitarios).

Por otra parte, se ha comprobado que el uso del panel radiométrico mejora mucho la precisión en la captación de la radiación reflejada por los cultivos y el suelo. Para cálculos precisos y comparación de imágenes de diferentes fechas resulta imprescindible su uso.

5. ACTIVIDADES DE DEMOSTRACIÓN.

Actuación de divulgación previstas	Prevista SI/NO	Realizada SI/No	Nº actividades	Justificación, observaciones
Jornada técnica, seminario, congreso, reunión técnica	Si	Si	1	Se realizó una jornada mostrando la utilidad de un dron dotado de cámara multiespectral y sistema RTK
Publicación en la web SFTT	SI	SI	1	
Publicación libro, folletos, trípticos	NO			
Realización de video, radio o TV	NO	SI	1	Se realizo un video, retransmitido en el programa Diario del Campo de la televisión pública regional 7 Región de Murcia (Diario del campo 23/09/2024)
Visitas de profesionales y otros	SI	SI	1	

6. PERSONAS BENEFICIADAS (R-1)

	Nº personas beneficiadas
Visitas web	
Jornada presencial	15
Webinar	
Libro, trípticos, otros	
Descargas memorias	
Visitas videos y otros	588 (en YouTube)
Visitas parcela demostrativa	15
TOTAL	100 aproximado

7. BIBLIOGRAFIA, PROYECTOS INVESTIGACIÓN, OTROS.

Amoros, R. (s. f.). Subdirección General de Regadíos, Caminos Naturales e Infraestructuras Rurales.

Gavilán-Acuna, G., Coops, N. C., Olmedo, G. F., Tompalski, P., Roeser, D., & Varhola, A. (2024). Assessing Soil Prediction Distributions for Forest Management Using Digital Soil Mapping. Soil Systems, 8(2), 55. https://doi.org/10.3390/soilsystems8020055

GNDVI - CropSense. (s. f.). Recuperado 2 de mayo de 2025, de https://cropsense.es/ayuda/indices-vegetativos/gndvi/

Índices De Vegetación Y Su Aplicación En La Agricultura Digital. (2022, febrero 18). https://eos.com/es/blog/indices-de-vegetacion/