

23CPU1\_2

**“FOTOGRAMETRÍA Y TELEDETECCIÓN CON DRONES Y  
SATÉLITES.  
APLICACIONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN”**

<b>Área:</b>	AGRICULTURA DE PRECISIÓN
<b>Ubicación:</b>	LORCA
<b>Coordinación:</b>	Mariano Miguel Espín Aledo
<b>Técnicos:</b>	Antonio José Hernández Copé (CIFEA de Lorca) Francisco Martínez Mínguez (Fundación ALIMER)
<b>Duración:</b>	2023
<b>Financiación:</b>	Programa de Desarrollo Rural de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia 2014-2020



*“Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural: Europa invierte en las zonas rurales”*

## Contenido

1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS .....	3
2. BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	4
3. PERFIL DEL POTENCIAL BENEFICIARIO FINAL DEL PROYECTO.....	4
4. ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN.....	4
5. ACTIVIDAD DE DEMOSTRACIÓN.....	5
5.1. Cultivo y variedades, características generales.....	8
5.2. Ubicación del proyecto y superficie. ....	8
5.3. Características de las parcelas demostración .....	8
5.4. Características del agua, suelo y clima.....	9
5.5. Medios necesarios.....	10
5.6. Fases de la actividad de demostración. ....	10
5.7. Análisis y Controles a realizar.....	11
6. CALENDARIO DE ACTUACIONES .....	12
7. Referencias.....	13

## 1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Los avances tecnológicos en RPAS (vehículos aéreos controlados por control remoto) o drones, así como la disponibilidad de imágenes multiespectrales de satélite de libre descarga, permiten realizar nuevos análisis de los cultivos y las explotaciones no disponibles hace unos años.

Respecto a la teledetección satelital, el programa COPERNICUS de la Agencia Espacial Europea (ESA) dispone de varias constelaciones de satélites, con sensores radar y multiespectrales, cuya visualización y descarga de imágenes es gratuita. En concreto los satélites SENTINEL-2 multiespectrales, recogen información en 13 bandas del espectro electromagnético, que van desde el visible hasta el infrarrojo, con resoluciones espaciales entre 10 y 60 m, y resoluciones temporales de 5 días. Esto da la posibilidad de calcular diferentes índices de vegetación, aguas y suelos que permiten sacar conclusiones acerca del estado/vigor de los cultivos, contenido de humedad de plantas y suelo, nivel de clorofila, etc.

Por otro lado, el desarrollo de la tecnología de los drones ha permitido que se puedan adquirir modelos a precios asequibles, con funciones limitadas pero que permiten una rápida supervisión aérea de los cultivos, así como la generación de ortoimágenes, modelos digitales de terreno y modelos 3D, con los que poder hacer mediciones detalladas de las parcelas, medidas de la altura o dimensiones de los cultivos, etc.

Además, la incorporación de sensores (cámaras) multiespectrales sobre los drones, posibilita calcular índices de vegetación a un nivel de detalle mucho mayor que en el caso de las imágenes de satélite, con tamaños de pixel de hasta 1 cm (en contraposición a los 10 metros de SENTINEL-2).

Teniendo en cuenta lo comentado, con este proyecto se pretende:

- Mostrar la utilidad de imágenes multiespectrales de satélite (opensource o de descarga libre) en la agricultura y manejo de cultivos.
- Mostrar las utilidades de los drones en fotogrametría y teledetección multiespectral para analizar el estado de los cultivos, cantidad de biomasa, humedad del suelo, y otras variables que permiten implantar la agricultura de precisión.
- Utilización de software libre de fotogrametría (OpenDronMap), sistemas de información geográfica y teledetección (QGIS, SNAP), así como plataformas online para el procesado de estas imágenes, geolocalización de elementos de la explotación y elaborando mapas de la finca representando distintas variables.

## 2. BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Se pretende utilizar **imágenes de satélite** las constelaciones **SENTINEL-1 (radar)** y **SENTINEL-2 (multiespectral)** para la supervisión y manejo de cultivos, procesándolas mediante programas de SIG y teledetección de licencia libre.

Además, se pretende utilizar un **dron** dotado de **cámara multiespectral (5 bandas)** y **RGB** para extraer información sobre el estado sanitario y nutricional de los cultivos, estrés hídrico, cantidad de biomasa, así como generar ortomosaicos de toda la explotación, modelos digitales de elevaciones (MDE) y modelos en tres dimensiones (3D) de los cultivos, para la gestión de fincas mediante **agricultura de precisión**.

## 3. PERFIL DEL POTENCIAL BENEFICIARIO FINAL DEL PROYECTO.

Este proyecto se orienta principalmente a jóvenes agricultores y técnicos agrícolas, aunque está abierto a cualquier agricultor o personas interesadas en el sector

Este proyecto va dirigido a:

- Participantes que deben desarrollar o están en disposición de iniciar su actividad en el sector agrario, alimentario y forestal, así como en la gestión de tierras y otros agentes económicos que constituyan una PYME cuyo ámbito de actuación se el medio rural.
- Aquellas personas que están en disposición de iniciar su actividad deberán acreditar su compromiso a trabajar en los sectores indicados en el párrafo anterior
- Al tipo de participante establecido en el artículo 14.2 del Reglamento 1305/2013.

## 4. ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN.

Actuaciones	Si/No	Observaciones
1. Publicación Consejería	No	
2. Otras publicaciones	No	
3. Jornada técnica	Si	Webinar
4. Acción formativa	No	
5. Memoria inicial proyecto.	Si	
6. Informes de seguimiento. Actividad demostración.	Si	
7. Informe anual de resultados. Actividad demostración.	Si	

8. Visitas a parcela demostración. No  
 Actividad demostración.

9. Otras

### 5. ACTIVIDAD DE DEMOSTRACIÓN.

La actividad consistirá en mostrar la utilidad de las imágenes multiespectrales captadas por satélites y drones, mediante su procesado y análisis con los programas informáticos adecuados (principalmente software libre o de bajo coste) para calcular distintos **índices de vegetación (IV)** y, finalmente, interpretar la información que aportan estos índices acerca del estado de los cultivos.

Respecto a las imágenes de SENTINEL -2, estas recogen información de 13 bandas espectrales, que van desde el visible hasta el infrarrojo de onda corta (Tabla 1).

**Tabla 1. Longitudes de onda y anchos de banda de las tres resoluciones espaciales de los instrumentos MSI del Sentinel 2B (fuente: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload/resolution-and-swath>)**

Resolución espacial (m)	Nº de banda	Longitud de onda central (nm)	Ancho de banda (nm)
10	2 (BLUE)	492.1	66
	3 (GREEN)	559.0	36
	4 (RED)	664.9	31
	8 (NIR)	832.9	106
20	5 (EDGE IR)	703.8	16
	6 (NIR)	739.1	15
	7 (NIR)	779.7	20
	8a (NIR)	864.0	22
	11 (SWIR)	1610.4	94
	12 (SWIR)	2185.7	185
60	1	442.2	21
	9 (NIR)	943.2	21
	10 (SWIR)	1376.9	30

Por otro lado, el del dron Phantom 4 Multiespectral recoge datos en las cinco bandas multiespectrales, además de tener una cámara RGB (Tabla 2). La ventaja respecto a las imágenes de satélite está en que la resolución espacial obtenida con el dron es de centimétrica (hasta un pixel de 1x1 cm).

**Tabla 2. Bandas espectrales y ancho de banda captadas por el Phantom 4 Multiespectral**  
(<https://agrontech.hu/2020/04/19/test-english-comparison-multispectral-agron-micasense-dji-multispectral-phantom-4-dji/>)

Resolución espacial (cm)	Nº de banda	Longitud de onda central (nm)	Ancho de banda (nm)
1	2 (BLUE)	450	16
	3 (GREEN)	560	16
	4 (RED)	650	16
	8 (NIR)	840	26
1	5 (EDGE IR)	171	16

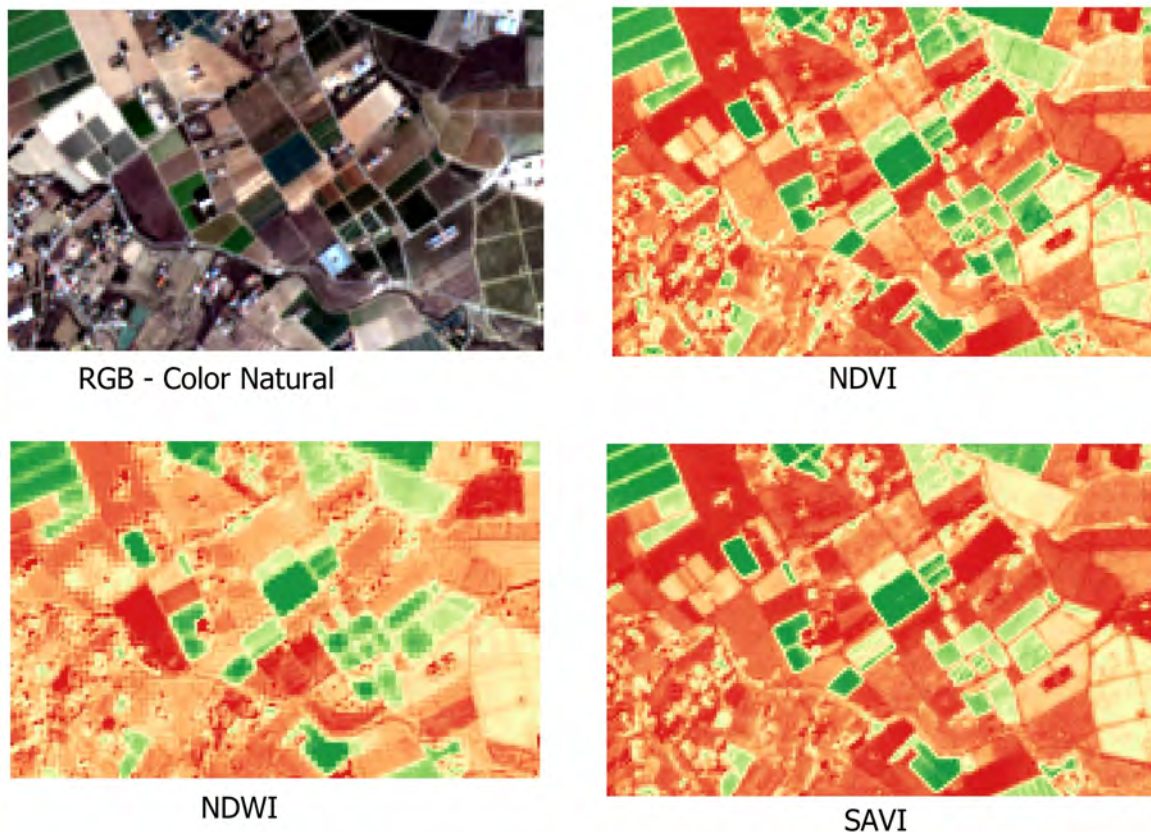
Los índices de vegetación que pueden calcularse (combinando estas bandas) son muy numerosos (Tabla 3), informando del estado de los cultivos. Además, la información está geolocalizada sobre el terreno, permitiendo realizar “**mapas de prescripción**” para intervenir únicamente en las zonas donde el cultivo se presente anomalías, facilitando aplicar técnicas de agricultura de precisión al poder trasladar esta información a máquinas con tecnología de distribución variable (VRT o Variable Rate Technology), que permiten que la dosis aplicada pueda ser modificada durante la marcha sin intervención del operador. Todo esto contribuye a la sostenibilidad de las explotaciones agrícolas y a la optimización del uso de recursos.

**Tabla 3. Índices de vegetación (IV) (Nuñez, Ahmad, & Garcia del Moral Garrido, 2022).**

Nombre	Función	Ecuación
Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI)	Monitorización de los cultivos y estudios empíricos.	$\frac{NIR - R_{red}}{NIR + R_{red}}$
Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)	Mejora de la sensibilidad del NDVI a los fondos del suelo.	$\frac{(1 + 0.5)(NIR - R_{red})}{NIR + R_{red} + 0.5}$
Índice de Vegetación Clorofílica (CVI)	Representación de la abundancia relativa de la vegetación y el suelo.	$NIR * \frac{R_{red}}{R_{green}^2}$
Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada de Vegetación (gNDVI)	Estimación de la actividad fotosintética.	$\frac{NIR - R_{green}}{NIR + R_{green}}$
Índice de clorofila – verde (CI-G)	Determinación del contenido de clorofila en la hoja.	$\frac{NIR}{R_{green}} - 1$
Índice de Diferencia verde-rojo Normalizado (NGRDI)	Estimación del estado nutritivo	$\frac{R_{green} - R_{red}}{R_{green} + R_{red}}$
Índice de Hoja Verde (GLI)	Estimación del contenido en clorofila.	$\frac{2 \cdot R_{green} - R_{red} - R_{blue}}{2 \cdot R_{green} + R_{red} + R_{blue}}$
Índice de Estrés hídrico de los Cultivos (CWSI)	Medición de los cambios y la dinámica de la temperatura del dosel.	$\frac{T_{canopy} - T_{nws}}{T_{dry} - T_{nws}}$
Índice Fotoquímico de Reflectancia (PRI)	Detección de síntomas de enfermedades.	$\frac{R_{521} - R_{570}}{R_{521} + R_{570}}$

Donde: NIR es la reflectancia de la banda del infrarrojo cercano; Rred es la reflectancia de la banda del rojo; Rblue es la reflectancia de la banda del azul; Rgreen es la reflectancia de la banda del verde; Tcanopy es la temperatura del dosel de las hojas bajo la luz del sol; Tnws es la temperatura del dosel de las hojas bajo la luz del sol cuando el cultivo está bien regado; Tdry es la temperatura del dosel de las hojas bajo la luz del sol cuando el cultivo está bajo estrés por sequía.

Un ejemplo de Índices de Vegetación calculados mediante imágenes de SENTINEL – 2 (a tamaño de pixel de 10x10m<sup>2</sup>), de fecha 12/10/2022 se puede observar en la Figura 1.



**Figura 1. Cálculo de índices de vegetación NDVI, NDWI, SAVI e imagen a color natural (RGB) derivadas de imágenes del satélite SENTINEL-2 de fecha 12/10/2022.**

Además de la información multiespectral, también se pretende exponer la utilidad de las imágenes RGB (en color natural) captadas por los drones para realizar ortofotomapas a escala de las explotaciones, modelos digitales de elevaciones (MDT, MDS), y modelos en tres dimensiones de las plantaciones (estimación de biomasa, etc.).

Otra utilidad de los drones a mostrar es para supervisión aérea de las explotaciones, facilitando una rápida observación de toda la explotación sin necesidad de recorrerla a pie o en vehículo terrestre.

### 5.1. Cultivo y variedades, características generales.

Los cultivos sobre los que se espera realizar la actividad de demostración son:

- Plantaciones de cítricos del CDA de Purias: plantación de limón verna y colección de variedades de cítricos.
- Plantación de almendros del CDA de Purias.
- Cultivos de hortalizas del CDA de Purias gestionados por ALIMER (brásicas, alcachofa, melón, sandía, etc.).
- Cultivo de olivos del CDA de Purias.

### 5.2. Ubicación del proyecto y superficie.

El proyecto se llevará a cabo en el CDA de Purias, que ocupa la parcela 168 del polígono 110 de Lorca (Murcia). Las coordenadas geográficas del centro de la finca son 37º 36' 6" N, y 1º 37' 47" W.

### 5.3. Características de las parcelas demostración

La distribución de cultivos y superficies es la siguiente (Figura 2):

Parcela 168: ocupa una superficie total de **24,75 ha**. Se ha dividido y numerado en sectores en función del uso o aprovechamiento actual:

- Sector 1: 24.430m<sup>2</sup>. Almendro de regadío (variedades Marta y Antoñeta).
- Sector 2: 18.930 m<sup>2</sup>. Almendro de regadío (variedades Ferragnes y Ferraduel).
- Sector 3: 10.178 m<sup>2</sup>. Cítricos en regadío. Limón verna, clones 51 y 62.
- Sector 4: 6000 m<sup>2</sup>. Cítricos en regadío. Colección de variedades de limón, mandarina, naranjo y pomelo.
- Sector 5: 7924 m<sup>2</sup>. Hortalizas de regadío: actualmente alcachofa de semilla.
- Sector 6: 56.189 m<sup>2</sup>. Hortalizas de regadío: Brásicas (actualmente) y melón y sandía (en verano).
- Sector 7: 23.000 m<sup>2</sup>. Hortalizas de regadío. Brásicas (actualmente) y melón y sandía (verano).
- Sector 8: 3230 m<sup>2</sup>. Turmas (*Terfezia claveriy*) (1000m<sup>2</sup>) y barbecho (resto).
- Sector 9: 3650 m<sup>2</sup>. Barbecho. Regadío.
- Sector 10: 39600 m<sup>2</sup>. Barbecho. Actualmente pastizal con retamas arbustivas de más de 2 m de altura, dispersas por la parcela.



- Sector 11: 15863 m<sup>2</sup>. Pastizal y pies de tápena de un antiguo ensayo (hace más de 30 años, puede haber material vegetal interesante).
- Sector 12-13: 4679 m<sup>2</sup> y 5121 m<sup>2</sup>: islotes forestales con especies de coníferas (*Pinus halepensis*, *Pinus canariensis*; *Zizyphus lotus*, etc.).
- Sector 14: 6938 m<sup>2</sup>: olivos en regadío, cultivo tradicional.



Figura 2. Finca y sectores de cultivo del CDA de Purias

#### 5.4. Características del agua, suelo y clima.

La explotación dispone de agua de riego de la Comunidad de Regantes de Lorca, por lo que normalmente tiene una calidad aceptable.

En cuanto a los suelos, son principalmente Calcisoles háplicos (FAO, 2022).

Respecto al clima, en el CDA de Purias está ubicada la estación meteorológica del LO01 del SIAM (Sistema de Información Agraria de Murcia) (IMIDA, 2022) de la que se pueden tomar datos climáticos necesarios (Tabla 4).

**Tabla 4. Datos climáticos medios del periodo 1999-2021 de la estación meteorológica LO01 del SIAM ubicada en el CDA de Purias (<http://siam.imida.es>).**

DIAS	FECHA	TMED (° C)	ETO_PM_FAO (mm)	HSOL (h)	HRMED (%)	PREC (mm)	RADMED (w/m2)	VVMED (m/s)	DPV (Kpa)
	<b>Media</b>	17,17	<b>1.278,20</b>	<b>3.399,73</b>	<b>62,49</b>	<b>277,32</b>	<b>202,08</b>	<b>1,63</b>	<b>0,97</b>

## 5.5. Medios necesarios.

### 5.5.1. Equipos.

- Para el desarrollo de este proyecto se requiere la adquisición de un dron modelo DJI Phantom 4 Multiespectral y una Tablet (compatible con este modelo de dron) necesaria para la visualización del vuelo y que se acopla a la estación de control del dron.
- Para el procesado y obtención de índices con la información captada por el dron, será necesaria la adquisición de un ordenador con la suficiente potencia en cuanto a memoria RAM (mínimo 32 GB), procesador (mínimo Intel core i7) y disco duro SSD (1TB).

### 5.5.2. Suministros.

- Software de fotogrametría y teledetección, en concreto se ha optado por el programa OpenDroneMap, por ser opensource con una licencia muy económica para empresas y organizaciones. Será necesario adquirir la licencia.
- Software QGIS: sistema de información geográfica libre y gratuito, para la espacialización de datos del área de producción agrícola.
- Software SNAP de la ESA. Software gratuito de teledetección optimizado para el procesado de imágenes de los satélites SENTINEL.

## 5.6. Fases de la actividad de demostración.

La actividad de demostración consistirá en realizar vuelos programados con dron multiespectral sobre las plantaciones, en diferentes estados fenológicos y momentos del cultivo, para extraer información y ayudar en su manejo.

Para las mismas fechas en las que se realicen vuelos se descargarán imágenes de satélite SENTINEL-2 para comparar los resultados.

- Para los almedos las fechas críticas son:

- Floración:

- Brotación hojas.

- Seguimiento durante primavera y verano para controlar posibles déficits hídricos o plagas y enfermedades.

- Para los cítricos: un vuelo mensual para estimar el estado del cultivo, producciones, etc.
- Para cultivos hortícolas: 3 vuelos por ciclo de cultivo, a los 30 días de plantación, a los 50-60 días y previo a la recolección (para determinar calibres y rendimientos).
- Olivo: un vuelo mensual para estimar el estado del cultivo, producciones, etc.
- Tápena: un vuelo mensual a partir de la brotación para estimar el estado del cultivo, densidad de vegetación arvense, necesidades de riego, etc.

### 5.7. Análisis y Controles a realizar.

Se analizarán mediante procesamiento de las imágenes digitales los siguientes Índices de Vegetación y Parámetros:

**NDVI:** (Índice de vegetación de diferencia normalizada): monitorización de la actividad fotosintética y estructura foliar de la planta (biomasa)

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$$

**EVI** (Índice de Vegetación Mejorado): corrige el efecto de la atmósfera y la influencia del suelo (L). Permite monitorizar el estado de la vegetación en caso de altas densidades de biomasa (Asociación Geoinnova, 2022).

$$\text{EVI} = 2.5 * (\text{NIR} - \text{RED}) / ((\text{NIR} + \text{C1} * \text{RED} + \text{C2} * \text{BLUE}) + \text{L})$$

**NDRE** (Índice de diferencia normalizada del borde rojo): monitoriza el contenido de clorofila, uno de los principales indicadores del nivel de nitrógeno, permitiendo generar mapas de zonas que precisan aplicación de fertilizantes (EOS DATA ANALYTICS, 2022).

$$\text{NDRE} = (\text{NIR} - \text{Red Edge}) / (\text{NIR} + \text{Red Edge})$$

**NDWI** (Índice de humedad de diferencia normalizada): cantidad de agua que posee la vegetación y nivel de saturación de humedad del suelo.

$$\text{NDWI} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$$

**SAVI** (Índice de vegetación ajustado al suelo): mejora la sensibilidad del NDVI en caso que cultivos con poca cobertura y mucho reflejo del suelo (estadíos iniciales y medios del cultivo).

$$\text{SAVI} = ((\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED} + \text{L})) * (1 + \text{L})$$

**CIG** (Índice de clorofila verde): estimación del contenido de clorofila en la hoja. Permite estudiar estados fenológicos de la vegetación, presencia de enfermedades, fisiopatías o carencia de nutrientes y cambios estacionales.

$$CGI = (NIR/Verde) - 1$$

## 6. CALENDARIO DE ACTUACIONES

Fase del proyecto	Año	En	Fb	Mr	Ab	My	Jun	Jul	Ag	Sp	Oc	Nv	Dc
<b>Actividad de divulgación</b>													
Publicación Consejería	2023												
Jornada técnica	2023										x		
Actividad demostración. Informe inicial.	2023			x									
Actividad demostración. Informes de seguimiento	2023						x			x			
Actividad demostración. Informe anual de resultados.	2023												x
Actividad demostración. Visitas a parcela demostración.													
<b>Actividad de demostración</b>													
Preparación parcela (Estercolado, corte de tierra)													
Semillero													
Riego, abonado													
Seguimiento y control de plagas													
Plantación													
Recolección													
Toma de datos	2023	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

## 7. Referencias

Asociación Geoinnova. (08 de 11 de 2022). *Geoinnova.org*. Obtenido de <https://geoinnova.org/blog-territorio/analisis-de-indices-de-vegetacion-en-teledeteccion/>

EOS DATA ANALYTICS. (08 de 11 de 2022). *EOS*. Obtenido de <https://eos.com/es/industries/agriculture/ndre/>

Núñez, V., Ahmad, A., & Garcia del Moral Garrido, B. (2022). Analizando las posibles aplicaciones de los drones y los satélites en la enseñanza de la Fisiología Vegetal. *REIDOCREA*, 11 (8), 90-93.