



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

# MONITORIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE TIERRAS CON DRONES Y FOTOGRAMETRÍA AÉREA PARA APLICACIONES DE PRECISIÓN EN AGRICULTURA

---

## TRABAJO FINAL DE GRADO

Evangelos Mitsikostas

Curso 2016/2017

Tutores:

José Luis Lerma García

Israel Quintanilla García

Miembros de Tribunal:

Jesús Lorenzo Olivares Belinchon

Natalia Garrido Villen

Fernando Francisco Buchon Moragues

Evangelos Mitsikostas

Ingeniero en la Geodesia, Cartografía y Topografía UPV.

El autor afirma que el contenido de este proyecto es el resultado de un trabajo personal y que se hizo la referencia adecuada para terceras personas que involucraron para acabar este trabajo, donde era necesario según la normativa de la ética académica.

Copyright © Evangelos Mitsikostas, 2017

Todos los derechos reservados. All rights reserved

Se prohíbe el copiado, almacenamiento y distribución de este trabajo en su totalidad o parte de la misma, para un propósito comercial. Reproducción, almacenamiento y distribución de sin fines de lucro, carácter educativo o de investigación, siempre que la fuente de origen y para mantener el mensaje existente. Las cuestiones relativas a la utilización de trabajo para obtener beneficios deben dirigirse al autor.

## Agradecimientos

Principalmente, quiero agradecer a mis tutores por el trabajo final de grado, profesores Sr José Luis Lerma García y Sr Israel Quintanilla García para la ayuda y la orientación que me dieron durante la fase del proyecto. También quiero dar las gracias a Irini Soubry por apoyarme durante la fase del proyecto.

Pero todo lo debo a mi familia, por eso me gustaría agradecerlos, porque para llegar aquí se lo debo a ellos.

Especialmente, a mi padre Thanasis y a mi madre Litsa quiero agradecerlos por la ayuda y el sufrimiento de todos estos años que finalmente llega a su fin.

Finalmente, a mi abuelo Vangelis (Lalakis) y a mi tío Kosmas quiero dedicar este proyecto porque ellos son los mentores de mi vida junto con mi padre.

Evangelos

Valencia 6/6/2017

## MONITORIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE TIERRAS CON DRONES Y FOTOGRAMETRÍA AÉREA PARA APLICACIONES DE PRECISIÓN EN AGRICULTURA

EvangelosMitsikostas

Bajo la supervisión de los Profesores: Sr José Luis Lerma García y Sr Israel Quintanilla García

Titulación: Grado en Ingeniería Geomática y Topografía

Departamento: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica.

Email: [evmit@topo.upv.es](mailto:evmit@topo.upv.es)

### RESUMEN

El proyecto consiste en aplicar una tecnología específica para la rama de agricultura de precisión. La tecnología como todos sabemos, sufre una enorme evolución y tenemos que ser capaces de demostrar que somos los mejores en usarla. En concreto, en mi profesión he decidido de seguir la rama de agricultura de precisión y esto porque es un nuevo aspecto de mi carrera.

El objetivo de este proyecto, es proporcionar unos resultados óptimos para la mejora de producción para los agricultores. Con manera de que ellos reducirán los fertilizantes y los usos químicos en sus productos y tendrán muchos beneficios económicos.

El trabajo se desarrolló para la zona de Algemesí en la Comunidad Valenciana en 17 de Octubre en 2016. El vuelo se realizó con un Multicóptero, modelo DJI F-450 UAV (UnmannedAerialVehicle) o VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado), con una cámara Multiespectral y RGB llamada MicraSense para poder sacar el índice de vegetación NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Los resultados que queremos presentar son unos modelos de MDS (Modelo Digital de Superficie), MDT (Modelo Digital de Terreno) y un Ortomosáico. Sobre ello, he tomado unos puntos de control con un GPS de Leica para poder georreferenciar el Ortomosáico. Realice con los puntos de apoyo una imagen junto con el Google Maps del área para poder mostrar que los puntos tomados en el área se diferencian. El proceso de los datos se realizó en el Departamento de Topografía y en mi casa utilizando dos diferentes ordenadores. El Software que utilice para procesar los datos fue el Pix4D Mapper Pro.

Estos hechos sugieren que los instrumentos utilizados en este estudio representan una solución rápida, fiable y eficiente para la evaluación de los cultivos para aplicaciones agrícolas.

**Palabras clave:** Agricultura de Precisión, Drone, Fotogrametría, GPS, Pix4D

## **MONITORING AND OPTIMIZATION OF LANDS WITH DRONES AND AERIAL PHOTOGRAMMETRY FOR PRECISION APPLICATIONS IN AGRICULTURE**

EvangelosMitsikostas

Under the supervision of the Professors: Sir José Luis Lerma García y Sir Israel Quintanilla García

Titulation: Degree in Geomatic Engineering and Surveying

Department: Higher Technical School of Geodetic, Cartographic and Topographic Engineering.

Email: [evmit@topo.upv.es](mailto:evmit@topo.upv.es)

### **ABSTRACT**

The project consists of applying a specific technology for the precision agriculture branch. Technology as we all know undergoes enormous evolution and we have to be able to demonstrate that we are the best in using it. Specifically, in my profession I have decided to follow the branch of precision agriculture and this because it is a new aspect of my career.

The objective of this project is to provide optimum results for improved production for agriculturists. So that they will reduce the fertilizers and the chemical uses in their products and will have many economic benefits.

The work was developed for the area of Algemés in the Valencian Community on 17 of October of 2016. The flight was realized with a Multicopter, model DJI F-450 UAV (Unmanned Aerial Vehicle) or VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado), with a Multispectral and RGB camera called MicraSense to be able to extract the index of vegetation NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). The results that we want to present are models of DSM (Digital Surface Model), DTM (Digital Terrain Model) and an Orthomosaic. On this, I have taken some control points with a Leica GPS to be able to georeference the Orthomosaic. I made with the points of control an image along with the Google Maps of the area, to be able to show that the points taken in the area they differ. The data processing was done in the Department of Surveying and in my house using two different computers. The software used to process the data was the Pix4D Mapper Pro.

These facts suggest that the instruments used in this study represent a fast, reliable and efficient solution for the evaluation of crops for agricultural applications.

**Keywords:** Precision Farming, Drone, Photogrammetry, GPS, Pix4D

## Tabla de Contenidos

Agradecimientos.....	pag 3
Resumen.....	pag 4
Abstract.....	pag 5
Lista de Tablas.....	pag 8
Lista de Imágenes.....	pag 10
Lista de Figuras.....	pag 11
Abreviaturas.....	pag 13
1. Introducción.....	pag 14
2. Revisión Bibliográfica .....	pag 16
2.1 Definiciones.....	pag 18
3. Objetivo - Área de estudio – Equipamiento.....	pag 19
3.1. Propósito y objetivos del estudio.....	pag 19
3.2. Área de estudio.....	pag 19
3.3. Equipamiento.....	pag 21
3.3.1. UAV.....	pag 21
3.3.2. Camara digital.....	pag 24
3.3.3. GPS.....	pag 27
3.3.4. Software.....	pag 28
4. Metodología.....	pag 29
4.1. Investigación de las épocas y frecuencia de la recogida de los datos.....	pag 29
4.2. Diseño, instalación y medición de los puntos de control.....	pag 30
4.3. Diseño y proceso para la recolección de los datos UAV.....	pag 32
4.3.1 Diseño y cálculo de los parámetros de vuelo.....	pag 32
4.3.2 Proceso para la realización de UAV de vuelo.....	pag 35
4.4. Datos.....	pag 37

4.5. Procesamiento de los datos UAV.....	pag 38
4.5.1 Procesamiento utilizando el Agisoft PhotoScanner Pro.....	pag 38
4.5.2 Procesamiento utilizando el Pix4D y georreferenciación precisa para todas las Ortofotos.....	pag 39
4.6. Procesamiento de las Ortofotos a partir de Teledetección.....	pag 65
4.6.1 Cálculo de los índices de vegetación con Teledetección.....	pag 66
4.6.2 Clasificación de los indicadores de las imágenes.....	pag 74
4.7. Procesamiento de los datos con QGIS.....	pag 75
5. Análisis de los resultados.....	pag 77
6. Conclusión.....	pag 79
6.1 Discusión.....	pag 79
6.2 Sugerencias para futuras investigaciones.....	pag 80
7. Bibliografía.....	pag 81
8. Presupuesto.....	pag 88
9. ANEXO.....	pag 89
9.1 Coordenadas de los puntos de control.....	pag 9.1
9.2 Levantamiento Topográfico de la zona de trabajo.....	pag 96

## Lista de Tablas

Tabla 1: Ventajas y desventajas de distintos tipos de UAVs (0: es la mínima, 1: es la media, 2: es la máxima).....	pag 22
Tabla 2: Características del multicoptero (Fuente, DJI).....	pag 23
Tabla 3: Listado de los componentes y equipos de la aeronave (Fuente, DJI).....	pag 23
Tabla 4: Descripción del sistema de alimentación eléctrica y el sistema de propulsión (Fuente, DJI).....	pag 24
Tabla 5: Características de la cámara MicraSenseRedEdge (Fuente, MicraSense).....	pag 26
Tabla 6: Mapa conceptual con las etapas del proyecto.....	pag 29
Tabla 7: Fases del cultivo de la naranja (Fuente, <a href="http://www.comernaranjas.com">www.comernaranjas.com</a> ).....	pag 29
Tabla 8: Leyenda.....	pag 31
Tabla 9: Coordenadas de los puntos de control.....	pag 31
Tabla 10: Pasos básicos para volar un UAV.....	pag 35
Tabla 11: Mapa conceptual de los datos.....	pag 37
Tabla 12: Mapa conceptual de los pasos en Pix4D.....	pag 39
Tabla 13: Resumen del proyecto.....	pag 45
Tabla 14: Revisión del proyecto.....	pag 46
Tabla 15: Detalles de los ajustes.....	pag 49
Tabla 16: Parámetros de la cámara.....	pag 51
Tabla 17: Características de la cámara MicraSense 5 band.....	pag 51
Tabla 18: Puntos claves en 2D.....	pag 51
Tabla 19: Numero de coincidencias.....	pag 52
Tabla 20: Numero de coincidencias de los puntos claves en las imágenes.....	pag 53

Tabla 21: Detalles de los puntos de densidad.....	pag 55
Tabla 22: Detalles del MDS y del Ortomosaico.....	pag 55
Tabla 23: Índices de Vegetación.....	pag 65
Tabla 24: Clasificación de NDVI.....	pag 68
Tabla 25: Presupuesto del proyecto.....	pag 88
Tabla 26: Coordenadas del Levantamiento Topográfico en Algemésí.....	pag 91

## Lista de Imágenes

Imagen 1: Distancia entre la UPV y la zona de trabajo (Fuente Google Maps)....	pag 19
Imagen 2: Localización de las parcelas (Fuente Google Earth).....	pag 20
Imagen 3: Aeroclub de Algemésí.....	pag 20
Imagen 4: Zona de estudio.....	pag 21
Imagen 5: Multicoptero DJI F-450 (Fuente DJI).....	pag 22
Imágen 6: Cámara MicraSense RedEdge (Fuente, <a href="http://www.micrasense.com">www.micrasense.com</a> ).....	pag 24
Imágen 7. Las bandas espectrales (Fuente, <a href="http://www.micrasense.com">www.micrasense.com</a> ).....	pag 25
Imágen 8. Índice de vegetación NDVI (Fuente, <a href="http://www.micrasense.com">www.micrasense.com</a> ).....	pag 26
Imagen 9: Caja de herramientas del GPS LEICA.....	pag 27
Imagen 10: Características del Ordenador.....	pag 28
Imagen 11: Diseño de los puntos de control.....	pag 31
Imagen 12: Calibración de la cámara.....	pag 36

## Lista de Figuras

Figura 1: Creando un nuevo proyecto.....	pag 40
Figura 1: Creando un nuevo proyecto.....	pag 40
Figura 3: Propiedades de la imagen.....	pag 41
Figura 4: Seleccionar el sistema de coordenadas de salida.....	pag 42
Figura 5: Plantilla de opciones de procesamiento.....	pag 42
Figura 6: Plan de vuelo.....	pag 43
Figura 7: Procesamiento inicial.....	pag 44
Figura 8: Ortomosaico previsto.....	pag 46
Figura 9: MDS previsto.....	pag 47
Figura 10: Imagen inicial de las posiciones de los puntos.....	pag 47
Figura 11: Imagen calculada.....	pag 48
Figura 12: Solape entre el número de las imágenes.....	pag 49
Figura 13: Coincidencias entre los puntos claves en 2D.....	pag 54
Figura 14: Nube de puntos con las capturas.....	pag 56
Figura 15: Botón para introducir los puntos de control.....	pag 57
Figura 16: Cargar los puntos de control.....	pag 57
Figura 17: Puntos de control sin modificar.....	pag 58
Figura 18: Desactivar puntos erróneos.....	pag 58
Figura 19: Capas del proyecto.....	pag 59
Figura 20: Geoposicionamiento de los puntos de control al terreno.....	pag 59
Figura 21: Propiedades de los puntos de control.....	pag 60
Figura 22: Ajuste de los puntos de control sobre el terreno.....	pag 61
Figura 23: Modelo Digital de Superficie.....	pag 62
Figura 24: Ortomosaicos para las bandas Blue, Green, Red, Nir, RedEdge respectivamente.....	pag 64

Figura 25: Modelo Digital de Terreno.....	pag 64
Figura 26: Índice de vegetación DVI.....	pag 66
Figura 27: Firmas espectrales de la vegetación sana (Green grass), el suelo desnudo (Dry bare soil) y las hierbas secas (Dead grass).....	pag 67
Figura 28: Índice de vegetación NDVI.....	pag 69
Figura 29: Índice de vegetación RDVI.....	pag 69
Figura 30: Índice de vegetación GNDVI.....	pag 70
Figura 31: Índice de vegetación MSR.....	pag 70
Figura 32: Índice de vegetación OSAVI.....	pag 71
Figura 33: Índice de vegetación MCARI.....	pag 72
Figura 34: Índice de vegetación TCARI.....	pag 73
Figura 35: Índice de vegetación MTVI-1.....	pag 74
Figura 36: Estadísticas de los índices de vegetación.....	pag 74
Figura 37: Ortomosaico con Google Hybrid.....	pag 75
Figura 38: Google Hybrid sin Ortomosaico.....	pag 76
Figura 39: PNOA Máxima Actualidad ETRS89 Huso 30 con Ortomosaico.....	pag 76
Figura 40: PNOA Máxima Actualidad ETRS89 Huso 30 sin Ortomosaico.....	pag 77

## Abreviaturas

Precision Agriculture PA

UAV: Unmanned Aerial Vehicle

UAS: Unmanned Aerial System

MDS: Modelo Digital de Superficie

MDT: Modelo Digital de Terreno

GLONASS: Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema

GNSS: Global Navigation Satellite System

GPS: Geographic Positioning System

GSD: Ground Sampling Distance

GSM: Global System for Mobile

GIS: Geographic Information System

RGB: Red Green Blue

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

NIR: Near Infrared

CWSI: Crop Water Stress Index

LiDAR: Light Detection and Ranging

MTVI: Modified Transformed Vegetation Index

OSAVI: Optimized Soil Adjusted Vegetation Index

RDVI: Renormalized Difference Vegetation Index

TCARI: Transformed Chlorophyll Absorption Reflectance Index

TVI: Transformed Vegetation Index

Wi-Fi: Wireless Fidelity

## 1. Introducción

La precisión en agricultura (Precision Agriculture PA) es la aplicación de técnicas y sensores para identificar variaciones en el campo y tratarlas utilizando estrategias alternativas. Las imágenes de satélite de alta resolución se utilizan ahora con más frecuencia para estudiar estas variaciones en cuanto a las condiciones del cultivo y del suelo. Las imágenes tomadas por plataformas de teledetección de baja altitud, o pequeños sistemas aéreos no tripulados (UAS), son una alternativa potencial dada su bajo costo de operación en monitoreo ambiental, alta resolución espacial y temporal y su alta flexibilidad en adquisición de imágenes programación. **(Aber, J. S., Aaviksoo, K., Karofeld, E., & Aber, S. W).**

Las imágenes aéreas son herramientas útiles para los agricultores que practican la agricultura de precisión. La dificultad de tomar imágenes aéreas georreferenciadas de alta resolución en una estrecha ventana de tiempo considerando las restricciones climáticas y el alto coste de los servicios comerciales son los principales inconvenientes de estas técnicas. En este proyecto, se presenta una herramienta útil para obtener imágenes aéreas utilizando vehículos aéreos no tripulados de bajo costo. El sistema propuesto, permite a los agricultores definir y ejecutar fácilmente una misión de cobertura de imágenes aéreas utilizando herramientas de sistema de información geográfica para obtener mosaicos hechos de imágenes de alta resolución. El sistema calcula una trayectoria completa para el UAV teniendo en cuenta las características de cámara de a bordo una vez que se definen los requisitos de imagen y el área a cubrir. Este proyecto, introduce un procedimiento completo de cuatro pasos:

- Definición de misión
- Planificación de trayectoria automática
- Ejecución de misión
- Generación de mosaico. **(Berni, J., Zarco-Tejada, P., Suarez, L., & Fereres, E.)**

Para responder a lo anterior deben realizarse varios vuelos durante un tiempo concreto. Lo ideal sería hacerlo para un año. Esto, porque durante este periodo se desarrollara toda la fase de la naranja. En mi caso, solo hicimos un vuelo para poder tener una simple visualización de la situación de la vegetación de mi área. Para futuro trabajo sería un plan ideal. Los datos del vuelo se los debo a Sr Israel Quintanilla y a Sr José Luís Lerma para su ayuda con la Fotogrametría.

Los datos fueron recolectados con la cámara MicraSense y sus diferentes tipos (RGB, NIR, Multispectral). La extensión del área es 0.1611 km<sup>2</sup> / 16.1124 ha / 0.0622 sq. mi. / 39.8353 acres. El Software que utilice para procesar mis datos fue el:

- Pix4DmapperPro
- Pix4DmapperProTrial Version
- QGIS Desktop 2.18.9
- Leica Geo Office
- AutoCad 2014 English
- AgisoftPhotoscan Professional

En los siguientes capítulos voy a describir una revisión bibliográfica de los estudios previos relacionados con este tema **Capítulo 2** y luego en el **Capítulo 3**, se analizarán los objetivos del trabajo, el área de estudio y el equipo utilizado. En el **Capítulo 4** se establece la metodología general aplicada, en el **Capítulo 5** proporciona un análisis de los resultados producidos, en el sexto capítulo se presentan las siguientes conclusiones y recomendaciones para la investigación futura y al final el presupuesto de trabajo.

## 2. Revisión Bibliográfica

El objetivo de la agricultura de precisión es la obtención de mayores rendimientos económicos, medioambientales y sociales, aumentando la competitividad a través de una mayor eficacia en las prácticas agrícolas. **López-Granados (2013)** describe cómo se han usado vehículos aéreos no tripulados en la evolución de la producción agraria. Se trata de varios trabajos sobre tres de los principales problemas que pueden afectar al rendimiento de los cultivos en diferentes escenarios agrícolas:

- La detección de áreas infestadas por malas hierbas en cultivos herbáceos.
- La detección de zonas que necesitan mayor o menor riego en frutales.
- La detección de zonas infectadas por hongos en olivar.

El Investigador y director del programa nacional de agricultura de precisión del INIA e ingeniero agrónomo **Stanley Best (2014)**, indica que el uso de drones (vehículos aéreos no tripulados) en la agricultura es una práctica cada vez más común, y que los buenos resultados en términos de eficiencia son confirmados por los agricultores, como también por investigadores. Stanley Best reconoce su ayuda para la maximización de rendimientos, ya que a diferencia del agricultor que debe desplazarse por el campo, buscando “a ojo” las deficiencias que puedan existir en el cultivo, el dron vuela sobre el campo y logra recabar información sobre el estado de los cultivos, con mayor precisión, gracias a la captura aérea de fotografías termales y multiespectrales. Según **Best**, “el productor necesita tener información certera para tomar medidas, y hoy, la tecnología nos permite decirle al productor qué tiene que hacer y cómo, de manera eficiente”.

**Berni et al (2009)**, considera que los UAS/RPAS vienen a cubrir las limitaciones que tienen actualmente el uso de satélites y aviones en el manejo de cultivos en tiempo real, como son la falta de imágenes con resolución espacial y espectral óptimas y una mejora de la capacidad de revisita necesaria para detectar determinados problemas que afectan al desarrollo de los cultivos.

- Manejo eficiente del agua.
- Tratamiento localizado de herbicidas.
- Uso óptimo de fertilizantes.
- Conteo de planta.
- Supervisión de áreas fumigadas.
- Detección temprana de plagas y enfermedades en cultivos.

Sin embargo, y contrario a estos autores, **Salomón Montesinos (2012-2013)**, nos indica carencias que tienen los UAS/RPAS respecto a otras plataformas aéreas (satélites o aviones tripulados). Principalmente haciendo referencia a la menor

utilidad de los drones en la adquisición de datos en grandes superficies de plantaciones (olivares, viñedos o naranjas) debido a que para estas superficies, es más útil adquirir las imágenes aéreas procedentes de los satélites, ya que en una sola imagen recubrimos una superficie de 100 Km<sup>2</sup>.

Otra de las desventajas de los drones respecto a imágenes satelitales es la menor capacidad respecto a su resolución espectral, teniendo menores resoluciones espectrales las cámaras con las que están trabajando los drones respecto a las utilizadas en los satélites.

**Montesinos (2012-2013)**, lo que nos quiere dejar claro principalmente es que los UAS/RPAS transportan sensores cuya potencialidad en agricultura a la hora de captar datos, viene dada por la precisión espacial y disponibilidad temporal de ese dato, debido fundamentalmente a las características de las cámaras utilizadas, a la altura de vuelo, y mayor capacidad temporal de adquisición de datos respecto a satélites y aviones. Pero las aplicaciones operativas que utilizan los agricultores se basan en la integración de diferentes sensores que caracterizan la variabilidad espacial, como la variabilidad temporal de las fincas.

**Montesinos (2012-2013)** discrepa de afirmaciones o expresiones fáciles de encontrar como: «los UAS son capaces de detectar el estrés nutricional en los cultivos, lo que facilita el uso óptimo de fertilizantes sólo en las zonas en las que es necesaria su aplicación, y también son capaces de realizar una detección temprana de enfermedades y plagas». Debido a que, los UAS son solamente las plataformas sobre las que se instalan las cámaras y los sensores multiespectrales que nos permiten obtener datos de una explotación. No son el único tipo de plataforma, ya que estos sensores multiespectrales pueden estar instalados en satélites y en aviones; tampoco son la única fuente de datos, porque también podemos obtener la información que necesitamos para la toma de decisiones, por ejemplo, a partir de sensores planta-clima-suelo que se instalan directamente en campo.

Según Montesinos las aplicaciones operativas que tienen los drones, considerándose estas como aplicaciones que resuelven problemas reales y a un costo razonable dependen:

- Del valor añadido del cultivo. En España la viña, el olivo y las naranjas son los que más se aplican estas técnicas.
- De que la variabilidad influya en la producción/calidad final del producto.
- De que se pueda caracterizar la variabilidad (suelos/Litología, Morfología y desarrollo vegetativo).
- De que la información obtenida permita la mejora del manejo del cultivo y de su productividad.

## 2.1 Definiciones

Se entiende por un aeronave no tripulado **UAV** (*Unmanned Aerial Vehicle*) o **UAS** (*Unmanned Aircraft System*) o **UAVS** (*Unmanned Aircraft Vehicle System*) a aquella que es capaz de realizar una misión sin necesidad de tener una tripulación embarcada. Debe entenderse que ésta condición no excluye la existencia de piloto, controlador de la misión y otros operadores, que pueden realizar su trabajo desde tierra. La extensión del concepto de vehículo a sistema, refleja que el UAVS precisa, no solo de la aeronave adecuadamente instrumentada, si no también de una estación en tierra, que complementa la instrumentación y capacidades embarcadas. Es conveniente considerar que esta definición podría incluir algunos casos que quedan fuera del concepto subyacente de UAV. Así los globos aerostáticos, utilizados por ejemplo con fines meteorológicos, responden a la definición y sin embargo no son considerados como UAV dada su no controabilidad. Lo mismo cabría decir de los misiles autopilotados o con control remoto. **(C.Rossi)**

La definición más simple de **Agricultura de Precisión** establece que esta corresponde a un grupo de tecnologías que permiten la aplicación de insumos agrícolas, tales como fertilizantes, semillas, plaguicidas, etc., en forma variable dentro de un potrero, de acuerdo a los requerimientos y/o potencial productivo de varios sectores homogéneos, pre-definidos dentro del mismo.

En **AP** (Agriculture Precision) existen dos aproximaciones para la aplicación variable de insumos. La primera de ellas se basa en el muestreo y mapeo de los factores de producción a ser manejados en forma diferencial (fertilidad del suelo, malezas, etc.) y la posterior elaboración de mapas de prescripción para la aplicación variable de los insumos (fertilizantes, herbicidas, usos químicos etc.). La segunda aproximación es el sensoriamiento directo del suelo y/o el cultivo para la aplicación inmediata de los insumos en forma variable. El uso de una u otra dependerá del nivel tecnológico disponible y del coste de operación involucrado.

### 3. Objetivo - Área de estudio – Equipamiento

#### 3.1. Propósito y objetivos del estudio

El propósito de este proyecto, consiste en ayudar los agricultores a tener beneficioeconómicos y mejores producciones para sus cultivos. Para conseguirlo, utilizemos un U.A.V. en combinación con una cámara multiespectral, infrarroja, rededge y RGB para zonas cubiertas por naranjas. En principio, el primer objetivo era la obtención de los modelos MDS, MDT y del Ortomosaico para la zona de trabajo. Después de sacar estos modelos, he desarrollado unas formulas buscadas por vía ínternet para sacar los índices de vegetación. Aquí, tengo que destacar que en mis datos no tuve una cámara térmica. Con ella podría obtener el estrés hídrico de la planta. Para no interpretarse como una excusa, se planteara para futura investigación. En los resultados finales, el objetivo era de tener unas estadísticas gráficas con los índices de vegetación y lo he conseguido junto con la ayuda de mis mentores.

#### 3.2. Área de estudio

En la búsqueda de la zona de trabajo, involucró mucho mi mentor Sr Israel Quintanilla que eligió la zona de Algemesí. Se encuentra, en la Comunidad Valenciana con unas coordenadas WGS84 (39,23648219;-0,44414058) y UTM (egm96) con Huso 30 (720592,530; 4346133,027). En imagen 1, se puede visualizar el recorrido desde la Politécnica de Valencia hasta la zona de trabajo.

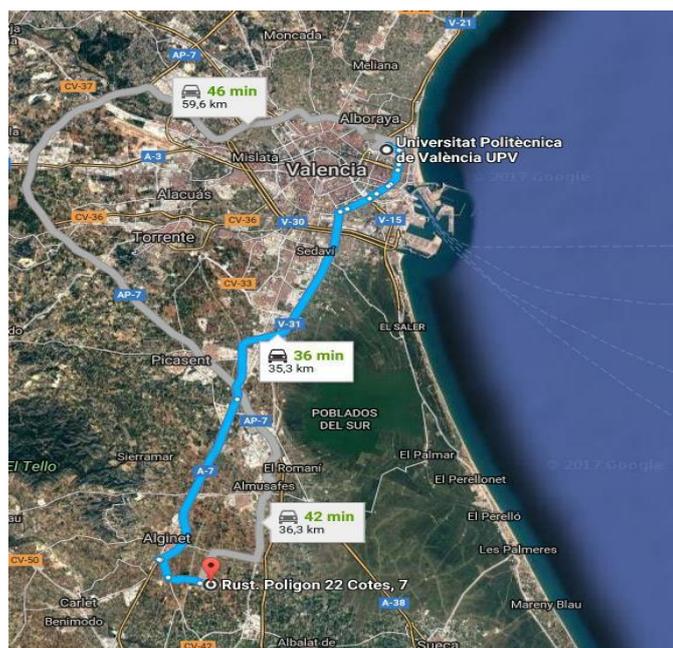


Imagen 1: Distancia entre la UPV y la zona de trabajo (Fuente Google Maps)

Hoy en día, el área de nuestras parcelas tiene 15.4217 ha y la distancia entre la Politécnica de Valencia y la zona donde he desarrollado mi proyecto final de grado son del orden de 35,3 Km con coche siguiendo la autovía A-7 y la V-31. El clima de la zona de Algemés es Mediterráneo, con inviernos suaves y veranos calurosos. El campo de los cultivos se ubica en el medio de Algemés y Alginet. Sus límites están entre una casa al dirección oeste y por el este hay un invernadero. Al norte pasa un pequeño calle y en los demás lados pasan tres pequeños caminos. Dentro de las parcelas, hay muchas acequias y varios almacenes. El suelo está compuesto por sustratos de arcilla y de piedras calizas. Los cultivos tienen varias especies de vegetación. En la mayoría son naranjas pero también existen cultivos de repollo (col).

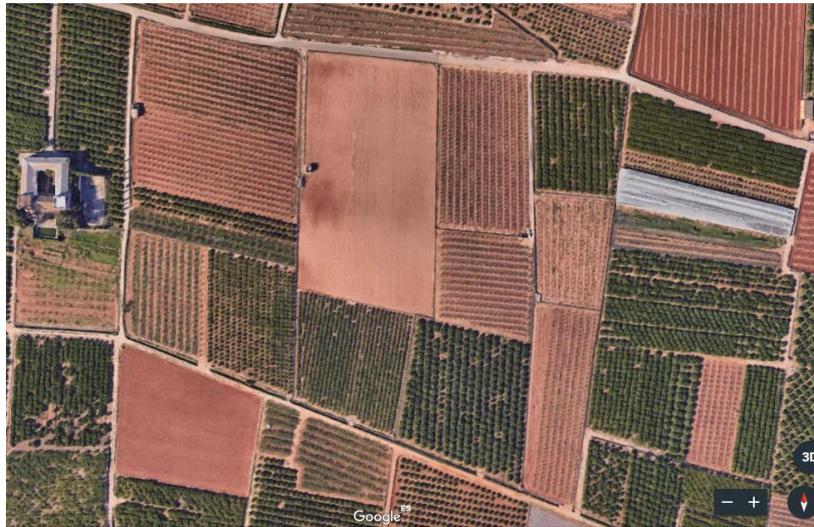


Imagen 2: Localización de las parcelas (Fuente Google Earth)

Al norte de la parcela, hay un pequeño aeródromo del aeroclub de **Algemés**. Desde ahí ha volado el multicoptero **DJI F-450**.



Imagen 3: Aeroclub de Algemés



Imagen 4: Zona de estudio

### 3.3. Equipamiento

Para la realización de los anteriores objetivos, se ha usado el equipo que se menciona enseguida. Aquí cabe destacar, que todo el equipo es propiedad de la UPV

#### 3.3.1. U.A.V

Como se ha mencionado antes, el uso de un sistema aéreo no tripulado es una atractiva y económica alternativa para la adquisición de datos (**Eisenbeis H., 2009**). Por esta razón, es importante seleccionar el sistema apropiado para el U.A.V. Basándonos en la Tabla 1 que aparece en la continuación, se puede sacar una conclusión que el U.A.V Aeronave (**Φλιούκα Π., 2013**) y el de Hélice y motor, tienen la capacidad de permanecer más hora en el aire volando, para captar grandes áreas y para volar en más grandes altitudes. Por esa razón, la mejor elección sería la utilización de un U.A.V Aeronave o Hélices y motor (**Soubry I., 2016**).

Tipo de aeronave	Ancho	Resistencia	Independencia de las condiciones climáticas y el viento	Flexibilidad de uso
Globo (Ballon)	0	2	0	0
Aeronave (Airship)	2	2	0	1
Cometas y planeadores (Kites/Gliders)	1	0	0	0
Aletas fijas (Fixed Wing)	2	1	1	1
Helices y motor (Propeller/Jet engines)	2	2	1	1
Cometa con rotor (Rotor-kite)	2	1	0	1
Helicóptero con un rotor (Single rotors)	1	1	1	2
Con dos rotores coaxiales (Coaxial)	1	2	1	2
Con cuatro rotores (Quadrotors)	0	0	0	2
Con muchos rotores (Multi-rotors)	1	1	1	2

Tabla 1: Ventajas y desventajas de distintos tipos de UAVs (0: es la mínima, 1: es la media, 2: es la máxima)

El U.A.V que utilice para desarrollar mi trabajo final de grado fue un multicoptero. Su modelo es el **DJI F-450** y se puede visualizar en la siguiente imagen.



Imagen 5: Multicoptero DJI F-450 (Fuente DJI)

MONITORIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE TIERRAS CON DRONES Y FOTOGRAMETRÍA AÉREA  
PARA APLICACIONES DE PRECISIÓN EN AGRICULTURA

AERONAVE	Fabricante	Modelo	Identificación	Categoría
	DJI	F450	6958265104015	RPA < 2 Kg
MOTOR	Tipo	Modelo/RPM	Potencia	Alimentación
	Electrónico	DJI-2212-920 Kv	250 W	7,4 a 14,8 V
VARIADOR ELECTRÓNICO	Tipo	Modelo	Amp. Cont/máx	Entrada DC
	OPTO	DJI	15 A	7,4 a 14,8 V
HÉLICE	Fabricante	Diámetro	Paso	Material
	DJI	9"	4,5"	Composite
PESOS	En vacío	Carga de pago	Peso Maximo	Peso en vuelo c/vid
	800 g	700 g	1600 g	1400 g
DIMENSIONES	Altura hélices/suelo	Anchura tren at.	Altura	Distancia diag. ejes
	455 mm	220 mm	265 mm	455 mm

Tabla 2: Características del multicoptero (Fuente, DJI)

	Descripción	Marca	Modelo	Datos
1	Cámara FPV	Sony	420 TVL	1/3", Pal, DC 12V, lente 2.8
2	Transmisor de vídeo	Boscam	200	200 mW, DC 12V, 8 ch. 5,8 GHz
3	Chasis	DJI	F450	Chasis Flame Wheel nylon/fv
4	Receptor de Radio enlace	Turnigy 9x	8 ch	2,4 Ghz, alcance 1000m
5	Propulsores eléctricos x4	DJI	2212-920	250W, salida 20 A, empuje 0,95Kg
6	Batería alimentación propulsor	DJI	3S-2,8A	LiPo, 2800 mA, 12 V, 20C
7	Regulador electrónico velocidad x4	DJI	150A	Bec 5V-3 A, 20-30 A, 5.6 a 12 V
8	Controladora de vuelo	DJI	NAZA M-V2	Modos Man, GPS, Atti, IOC
9	Antena GPS	DJI	NAZA M-V2	
10	Led Señales	DJI	NAZA M-V2	Modos de vuelo, alarmas, funcionamiento

Tabla 3: Listado de los componentes y equipos de la aeronave (Fuente, DJI)

Alimentación Eléctrica	Tipo batería	Células	Voltaje	Capacidad	Descargar	Autonomía
	Lito Polímero	3	11,1 V	2800 mAh	20/30 C	12 min.
Motor	Sistema	Revoluciones	Modelo/RPM	Empuje	Potencia	Alimentación
	Brushless	920 Kv	2212-920 Kv	0,6 Kg	250 W	7,4 a 14,8 V
Variador Electrónico	Tipo	Modelo	Amp.Cont/máx	Entrada DC		
	ESC	DJI 15 A	15 A / 30 A	7,4 a 14,8		
Hélice	Fabricante	Diámetro	Paso	Material		
	DJI	9"	4,5"	Composite		

Tabla 4: Descripción del sistema de alimentación eléctrica y el sistema de propulsión (Fuente, DJI)

### 3.3.2. Cámara digital

El multicoptero tenía su propia, pero nosotros hemos decido de sustituirla con la de MicraSense para tener mejores resultados y más precisos.

En la continuación, se puede visualizar la cámara **MicraSense RedEdge**.



Imagen 6: Cámara MicraSenseRedEdge (Fuente [www.micrasense.com](http://www.micrasense.com))

La cámara MicraSense de RedEdge es un sensor multispectral robusto, profesional que captura la banda de onda específica necesaria para el análisis exacto de la salud de la planta. Está compuesta con varias opciones de integración, también es una de las soluciones más flexibles del mercado. Además, dispone un GSD optimizado, un bajo consumo de energía y un obturador global para imágenes sin distorsión hacen de este sensor la potencia multispectral. En la actualidad es la mejor cámara en el mercado, pero tiene un precio elevado que es del orden de 5195 euros. (**MicraSense**)

Nos facilita a realizar un proyecto óptimo y en mi caso para una monitorización de tierras para la agricultura de precisión es la ideal. En la siguiente imagen, se muestra una estadística de las bandas espectrales (Blue, Green, Red, Red Edge, NearInfrared) con su longitud de onda. En mis datos que voy a explicar con detalle más adelante quiero saltar y mostrar mis datos de calibración que tuve.

- Blue(475 nm): 0.7183
- Green (560 nm): 0.7263
- Red (668 nm): 0.7223
- NIR (840 nm): 0.6666
- RE (717 nm): 0.7113

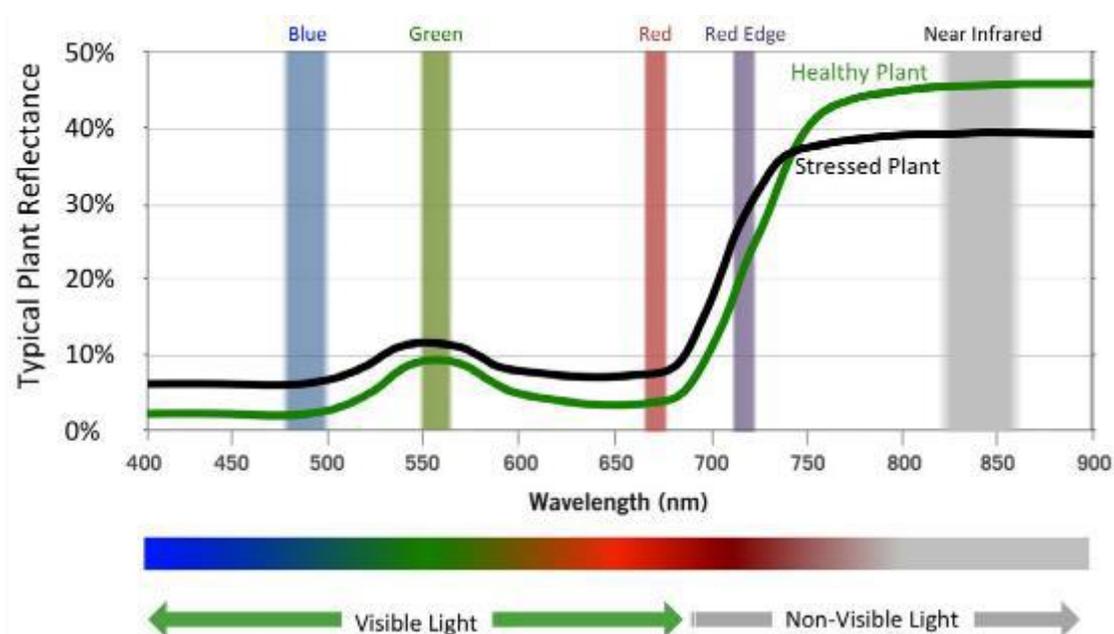


Imagen 7: Las bandas espectrales (Fuente [www.micrasense.com](http://www.micrasense.com))

En la próxima imagen quiero mostrar lo que es capaz de obtener a partir de esta cámara. Se puede observar la escala de la vegetación donde nos enseña la madurez y la situación de que como está la planta.

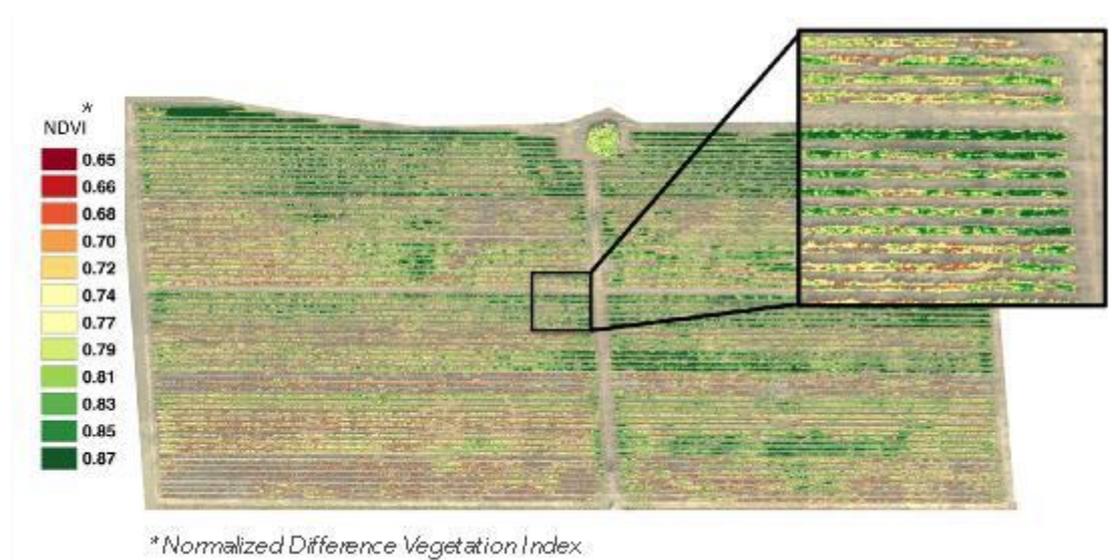


Imagen 8: Índice de vegetación NDVI (Fuente [www.micrasense.com](http://www.micrasense.com))

Las características de la cámara se pueden ver en la continuación.

Especificaciones	
Peso	180 gramos (6,3 onzas) (Incluyendo DSL y cable)
Dimensiones	12,1 cm x 6,6 cm x 4,6 cm (4,8 pulgadas x 2,6 pulgadas x 1,8 pulgadas)
Alimentación externa	5,0 V DC, 4 W nominal (pico de 8 W)
Bandas espectrales	Azul, verde, rojo, borde rojo, cercano de IR (obturador global, banda estrecha)
Salida de color RGB	3.6 MP (obturador global, alineado con todas las bandas)
Distancia de la muestra de tierra	8 cm por píxel (por banda) a 120 m (~ 400 pies) AGL
Velocidad de captura	1 captura por segundo (todas las bandas), RAW de 12 bits
Interfaces	Serial, Ethernet, WiFi, Disparador Externo, GPS
Campo de visión	47,2 ° HFOV

Tabla 5: Características de la cámara MicraSenseRedEdge (Fuente, MicraSense)

### 3.3.3. GPS

Durante la fase de proyecto, he sido a la zona de Algemesí para tomar unos de control. Al final, he tomado 203 puntos para poder representar la zona con más precisión. Todo esto lo voy a enseñar en las siguientes etapas. A todo esto debo dar las gracias a María Jesús y a Sergio por dejarme de llevar a un equipo tan caro para hacer mi trabajo. Sergio, además me ha dado su identificación del ICV para poder trabajar en el sistema de la Comunidad Valenciana.

Los componentes del receptor móvil (Rover) fueron los siguientes.

- Antena ATX1230GG
- Jalón
- Tornillo con mordaza
- Radio
- Antena para radio
- Controladora RX1250XC
- Soporte para la controladora GHT39

También, tuve conmigo una cinta métrica para poder medir puntos que no se podría tomar con GPS debido al mal señal y dos baterías para seguridad.

La siguiente imagen, se ha tomado durante la fase del proyecto.



Imagen 9: Caja de herramientas del GPS LEICA

### 3.3.4. Software

Para trabajar con precisión y exactitud, necesitas siempre un buen Software para que te dé estos resultados. En mi caso, tuve la suerte de que mi facultad está disponiendo de herramientas muy potentes y esto me ayudo de finalizar mi proyecto.

En concreto, utilice el Pix4D Mapper Pro y también el Pix4D Mapper Pro Trial Version para poder trabajar en casa las horas que no estuve en la Politécnica de Valencia. Además, aquí cabe destacar, que inicie mis primeros cálculos con el Agisoft Photo Scan Pro pero estaba tardando demasiado el procesamiento por eso lo he dejado de usar.

Como se comentó previamente, he sido a la zona de Algemesí para tomar los puntos de control. En este tramo, he utilizado el programa de Leica Geo Office para descargar los puntos y durante la fase de elaboración de mis datos use el AutoCad 2014 English para diseñar el área de los puntos. Finalmente, hice uso de QGIS Desktop 2.18.9 para representar el Ortomosáico de mis resultados en combinación con el mapa de la zona a partir de Google Maps.

Para procesar datos en fotogrametría debes disponer un bastante buen ordenador para no tardas más de lo normal. En el laboratorio de mi facultad he usado un ordenador muy potente con 64 GB de RAM.



Ver información básica acerca del equipo

Edición de Windows

Windows 7 Enterprise  
Copyright © 2009 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.  
Service Pack 1

Sistema

Evaluación: **7.8** Evaluación de la experiencia en Windows

Procesador: Intel(R) Core(TM) i7-6700 CPU @ 3.40GHz 3,40 GHz

Memoria instalada (RAM): 64.0 GB (63.9 GB utilizable)

Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits

Lápiz y entrada táctil: La entrada táctil o manuscrita no está disponible para esta pantalla

Configuración de nombre, dominio y grupo de trabajo del equipo

Nombre de equipo: MINECO-PC

Nombre completo de equipo: MINECO-PC.upvnet.upv.es

Descripción del equipo:

Dominio: upvnet.upv.es

Activación de Windows

Windows está activado

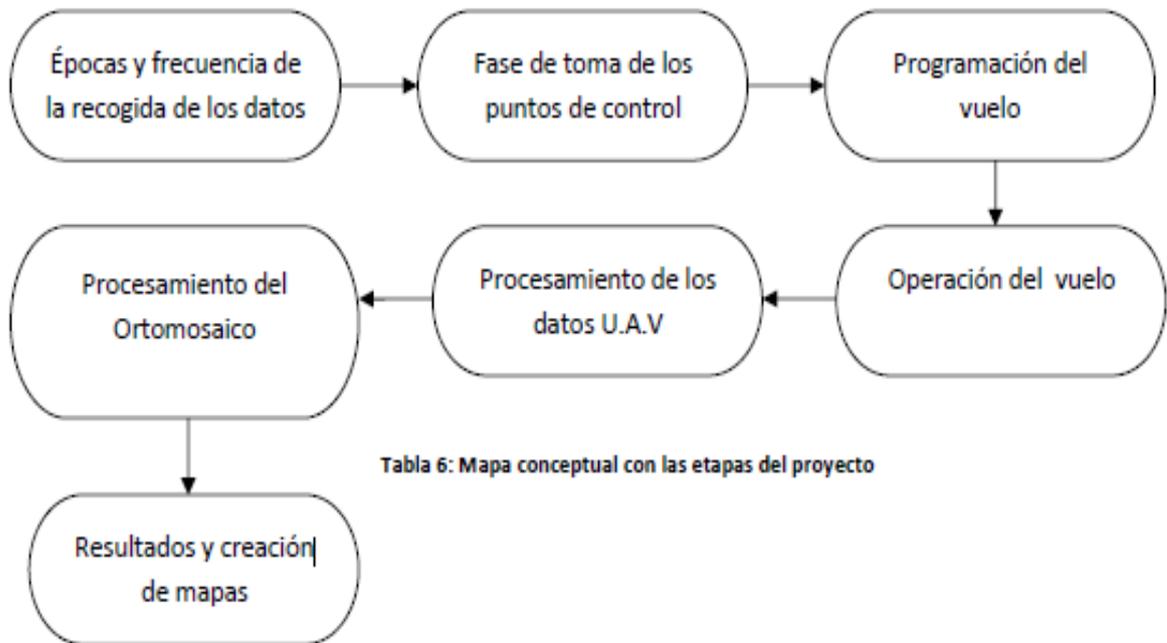
Id. del producto: 00392-918-5000002-85171 [Cambiar la clave de producto](#)

Obtener más información en línea...

Imagen 10: Características del Ordenador

## 4. Metodología

En este capítulo se van a analizar todas las etapas de la metodología que se empleó durante el proyecto. Para que se pueda entenderse mejor, he creado un mapa conceptual para poder ver las fases de la ejecución de los pasos de trabajo.



### 4.1. Investigación de las épocas y frecuencia de la recogida de los datos

Para que se pueda hacer una evaluación del área con una buena estimación para las naranjas, es necesario realizar una investigación para las etapas de todo el año, desde el principio hasta que se maduren y están listas para recogerlas. A la continuación, os adjunto un esquema con las distintas épocas y sus características.

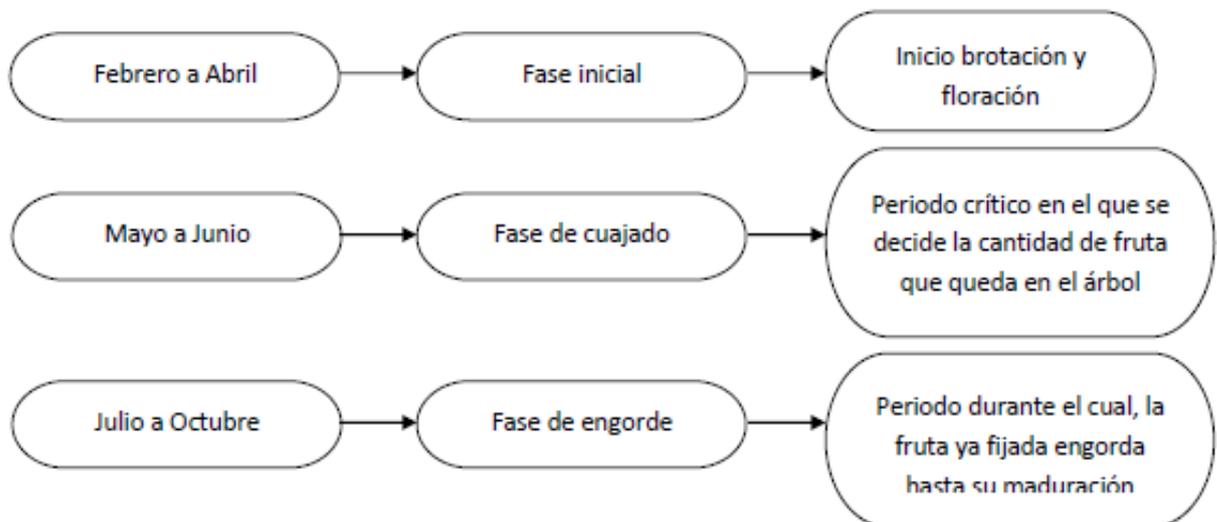


Tabla 7: Fases del cultivo de la naranja (Fuente, [www.comernaranjas.com](http://www.comernaranjas.com))

La conclusión que se produce después del anterior esquema, es que la épocas más semánticas para detectar el estrés hídrico y la maduración de la naranja son las de Febrero a Abril y las de Julio a Octubre respectivamente. Porque en la primavera es cuando se realiza el primer riego y en el verano es cuando se madura la naranja. Además, sabiendo que la poda se hace los meses de Febrero hasta inicio de Marzo, es importante que se realice un vuelo aéreo para detectar la vegetación después de la poda, porque así se observaran mejor las filas de las naranjas y el terreno será con mayor claridad.

Sobre la frecuencia de la recogida de datos, es óptimo que se realicen vuelos diariamente, pero esto sabemos que no se puede ocurrir porque asume grande coste y tiempo. Lo ideal sería de hacer observaciones para 2 semanas, pero en mi caso era imposible de planearlo, debido a que mis mentores tenían sus trabajos y yo no tuve los medios de coger el equipo y hacer los vuelos solo.

#### *4.2. Diseño, instalación y medición de los puntos de control*

Para lograr un resultado final con los datos de vuelo correctamente georreferenciados, requiere el uso de los puntos de control. Estos puntos, deben tener una buena dispersión en el espacio de la zona de trabajo para que se ajuste mejor el Ortomosaico. Yo mismo fui a la zona junto con mi mentor Sr Israel Quintanilla para tomar los puntos. En esta parte, me gustaría decir unas gracias a María Jesús Giménez y a Sergio Navarro, los chicos del laboratorio, para la colaboración que tuvimos porque me prestaron un equipo muy caro y confiaron en mí. Cuando estaba preparado con el montaje del equipo (GPS), me emocione bastante por ser la primera vez que realizo una práctica solo aquí en España. Por esto en vez de tomar unos 10 puntos he tomado 203 para desarrollar mejor la zona.

A partir estos puntos hice una elección de 7 puntos de control para mi proyecto. Los puntos se encuentran a los bordes y por el centro. La media altitud es del orden de 75 m para la zona de Algemesí.

Cuando he vuelto a la facultad de Topografía, he descargado con el programa de Leica Geo Office los datos del campo. Sobre ello, cabe destacar, que Sergio me ha dado un libro con las características del GPS y dentro de ese había un manual con los pasos de descarga. Después, he pasado mis datos al AutoCad 2014 English para poder diseñar el área. Cuando he terminado, incorpore al dibujo la foto a partir de Google Earth del área y he creado unas capas para que se puede visualizar con claridad.

A la continuación, podéis ver la imagen.



Imagen 11: Diseño de los puntos de control (Fuente Google Earth)



Tabla 8: Leyenda

Id. de punto	X (m)	Y (m)	h (m)
1	720.418.755	4.346.272.429	75.572
40	720.406.648	4.346.041.621	75.900
67	720.702.795	4.345.939.387	75.322
84	720.711.880	4.346.076.600	75.017
104	720.771.480	4.346.234.941	73.719
121	720.535.073	4.346.253.442	75.045
147	720.537.272	4.346.081.466	75.249

Tabla 9: Coordenadas de los puntos de control

### 4.3. Diseño y proceso para la recolección de los datos UAV

#### 4.3.1 Diseño y cálculo de los parámetros de vuelo

Para que un vuelo con UAV queremos que tenga éxito es necesario hacer una correcta y extensa planificación del vuelo. La planificación del vuelo, depende bastante con el Software que vamos utilizando y con la situación de la zona que vamos a trabajar (**Eisenbeis H., 2009**). Además, depende de la computación de la altitud de vuelo, de los porcentajes del recubrimiento de capturas, del tamaño que corta el suelo para cada captura y de las líneas horizontales y verticales del vuelo, pero también de la elección de la mejor hora posible a base de condiciones meteorológicas. (**He J., Li Y. & Zhang K., 2012, Soubry I., 2016**).

En las cámaras digitales, no existe un formato estándar del sensor, la mayoría tienen un formato de imagen rectangular. Se elige la mayor dimensión del sensor que sea perpendicular a la dirección de vuelo para reducir al mínimo el número de líneas de vuelo requeridos (**Neumann J. K., 2004, Soubry I., 2016**).

La altitud del vuelo se calcula con la siguiente formula:

$$H = \frac{GSD * f}{\mu}$$

donde,

H: altitud del vuelo (m)

GSD: tamaño del pixel al terreno (m/pixel)

f: distancia focal de la cámara (mm)

$\mu$ : tamaño del pixel del sensor (m/pixel) con

$$\mu = \frac{HCDD}{SH}$$

donde,

HCDD: altura de las distancias del sensor (mm)

SH: número de pixel por altura

(**He J., Li Y. & Zhang K., 2012, Soubry I., 2016**)

La distancia focal, cambia en función de la cámara que estamos utilizando. En el principio se requiere la determinación del deseable GSD, que es la mínima distancia en el terreno en la cual es posible que se detecten dos objetos, pero no es el mínimo tamaño para el reconocimiento del algún objeto a la imagen (He J., Li Y. & Zhang K., 2012, Soubry I., 2016). En concreto, un objeto con tamaño de 0,2 m al terreno para 0,2 GSD será un pixel. Por eso, se necesitan más pixeles para detectarse el objeto a la imagen. Así que el menor tamaño del terreno debe ser 5 con 10 veces más grande del GSD.

Cuando subamos la altura de vuelo, se produce un incremento del pixel al terreno. Además con la determinación de la altitud de vuelo y del GSD, se debe definir el ancho y la longitud del porcentaje de superposición de las imágenes. Teniendo en cuenta que la altura de vuelo no es estable durante el vuelo, deberán los porcentajes de recubrimiento que sean mayor que las que definen la clásica Fotogrametría, 60% la longitud de recubrimiento y 30 % la anchura de recubrimiento (Πατιάς Π., 1991, Soubry I., 2016). El porcentaje de recubrimiento, se influye de las condiciones meteorológicas. Así que el aire y la reducida estabilidad de la plataforma aérea (UAV) provocan el aumento de los definidos valores del recubrimiento.

El tamaño que se recorta con cada captura al terreno se calcula con las siguientes formulas:

$$W=w*GSD$$

donde,

W: anchura de cada captura al terreno (m)

w: anchura de cada captura a la imagen (pixel)

$$H=h*GSD$$

A partir de estas dos fórmulas, se deduce fácilmente que la zona de trabajo que recubre al campo una captura proviene desde la siguiente fórmula:

$$E=H*W \text{ (m}^2\text{)}$$

Además, la distancia entre las sucesivas líneas del vuelo se calculan como:

$$a = W * \left(1 - \frac{q}{100}\right)$$

donde,

q: porcentaje del ancho de recubrimiento de las capturas

La distancia entre los centros de dos sucesivas capturas se calcula como:

$$b = H * \left(1 - \frac{p}{100}\right)$$

donde,

p: porcentaje de la longitud de recubrimiento de las capturas

Finalmente, el número de las líneas del vuelo serán como:

$$n_l = 1 - \frac{lq - w}{b} + 1$$

donde,

lq: ancho de la zona (Πατιάς Π., 1991, Soubry I., 2016)

Un factor muy importante es, el desarrollo de los datos del relieve durante la planificación del vuelo, porque se puede provocar peligro si hay mucho relieve. Finalmente, afirmar que el UAV toma imágenes con enfoque al infinito. Esto es obligatorio, para que se mantenga estable la distancia focal y otros parámetros en todo el rango de la imagen, en la cual todos los objetos deben visualizarse con claridad. En general, es mejor que se elija un día soleada y sin viento para un vuelo aéreo con drone. (He J., Li Y. & Zhang K., 2012)

#### 4.3.2 Proceso para la realización de UAV de vuelo

Como se ha mencionado en anteriores capítulos, el vuelo se realizó al 17 de Octubre de 2016. Los datos ya se capturaron, pero no se habían tomado los puntos de control. Por eso, mi intención era de ir al campo para completar mi trabajo final de grado. En este vuelo se ha usado la cámara MicraSense con 5 bandas. A la continuación se muestra un mapa conceptual para aclararse de las básicas cosas que tiene que cumplir alguien que quiere volar un UAV.

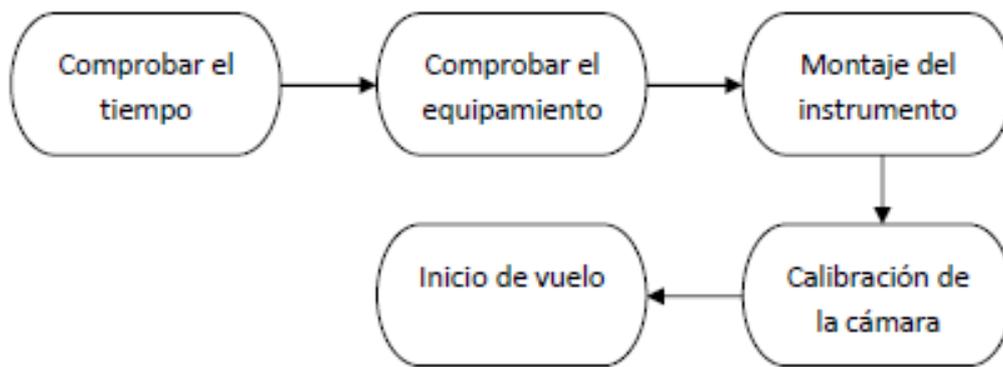


Tabla 10: Pasos básicos para volar un UAV

"Es muy importante comprobar las condiciones meteorológicas antes de realizar cualquier tipo de vuelo. Especial, el multicoptero que es pequeño, no puede volar con fuerte viento" **Soubry I., 2016**. Durante el vuelo que se hizo, el tiempo era lo suficientemente ideal para ayudar a nuestro trabajo.

El siguiente paso que se hizo, fue de comprobar el equipo de que todo estaba preparado. Como por ejemplo, el estado de las baterías, el correcto funcionamiento del mando, en general una revisión óptica para ver si hay algún daño a nuestro equipo. Se comprueban las hélices y el motor por si funciona y después pasamos a la siguiente etapa donde es el montaje del instrumento.

En esta fase, donde anteriormente hemos comprobado que todo el equipo está en condiciones para realizar el vuelo, empezamos a montar el vehículo aéreo no tripulado (UAV). En concreto, empezamos a montar la plataforma, poniendo las patas de soporte. Después, ponemos las hélices a su sitio e introducimos la batería al motor. Cuando lo conectamos con el mando, esperamos para que nos dé respuesta de sonido y de color para comprobar que todo funciona. Mientras comprobamos que todo está en correcta posición, introducimos la cámara en la base de soporte y conectamos los cables. El mando es aquel que controla el UAV por eso comprobamos en él a ver si funciona el botón de la captura de fotos y videos. Cuando todo está preparado, estamos ya en plenas condiciones para volar.

La fase donde es muy destacable para tener mejores resultados, es la fase de la calibración de la cámara. La calibración, se hace de modo para que las imágenes multispectrales sean adecuadas para tener así correctas mediciones espectrales. Principalmente, se realiza una comprobación de los lentes para asegurar que vamos a tener la mejor calidad posible para las imágenes y también se comprueban las condiciones de brillo por si sean las mismas en el inicio y en el fin de proyecto. A la continuación, la superficie de calibración se coloca en una superficie equilibrada al terreno que sea "abierto" con la ayuda de esférica burbuja. Mientras lo nivelamos, cogemos el multicoptero y lo levantamos a una distancia de 50 cm hasta 1 m para que no tengamos sobra **Soubry I., 2016 (Imagen 12)**.

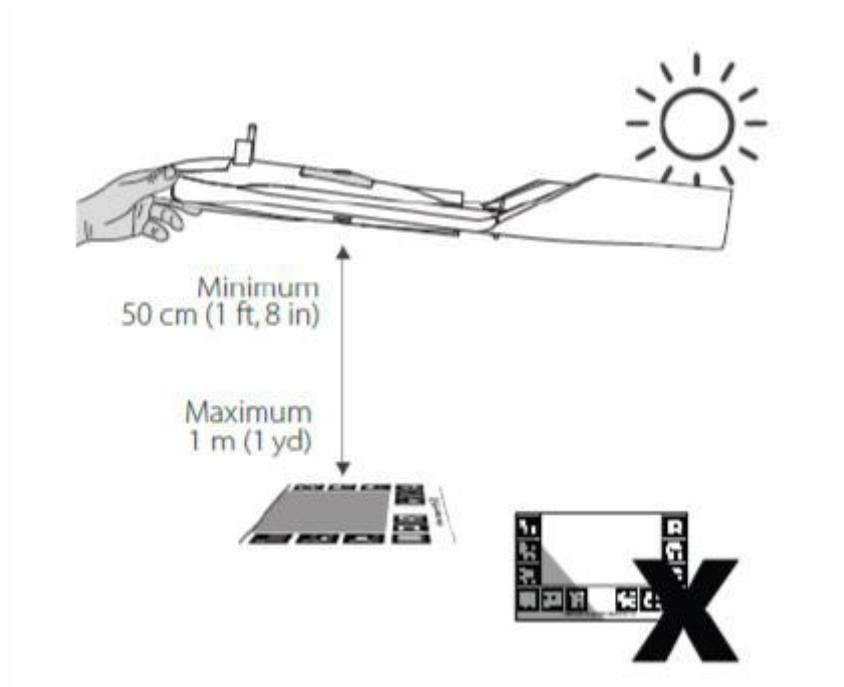


Imagen 12: Calibración de la cámara

Durante la calibración de la cámara hay que tener en cuenta la temperatura de ella. Si detectamos algún error tenemos que cancelar el vuelo o sustituirla. El tiempo de vuelo era aproximadamente en 24 minutos para las dos fases que se ha volado el multicoptero. Finalmente, cuando se acaba el proceso, descargamos los datos en el ordenador para poder trabajar luego con el Pix4D.

#### 4.4. Datos

Este capítulo, me ha costado demasiado tiempo para lograr obtenerlo. Principalmente, tuve unos datos de una empresa Griega llamada "Oikoanptyksi" para la zona de Stylida en Grecia, donde era una zona llena con olivas. Aquí, quiero dar muchas gracias al señor Mourelatos y a la señora Gewerd por la colaboración que tuvieron conmigo. Pero, durante la ejecución del proyecto he detectado unos errores que provocaron la suspensión de ese proyecto. He comunicado con mis tutores señor Lerma y señor Quintanilla y cuando les he dicho que tengo un GSD igual a 13cm era obvio que me dijeran que debería abandonar ese proyecto.

En esta fase, el señor Quintanilla, me proporciono los datos que utilice para desarrollar mi trabajo para la zona de Algemés. Su ayuda era enorme, porque me faltaba poco tiempo para acabar mi proyecto. Todo ha salido bien, pero se puede mejorar aún más para futuros trabajos.

A la continuación se muestran mis datos del proyecto.

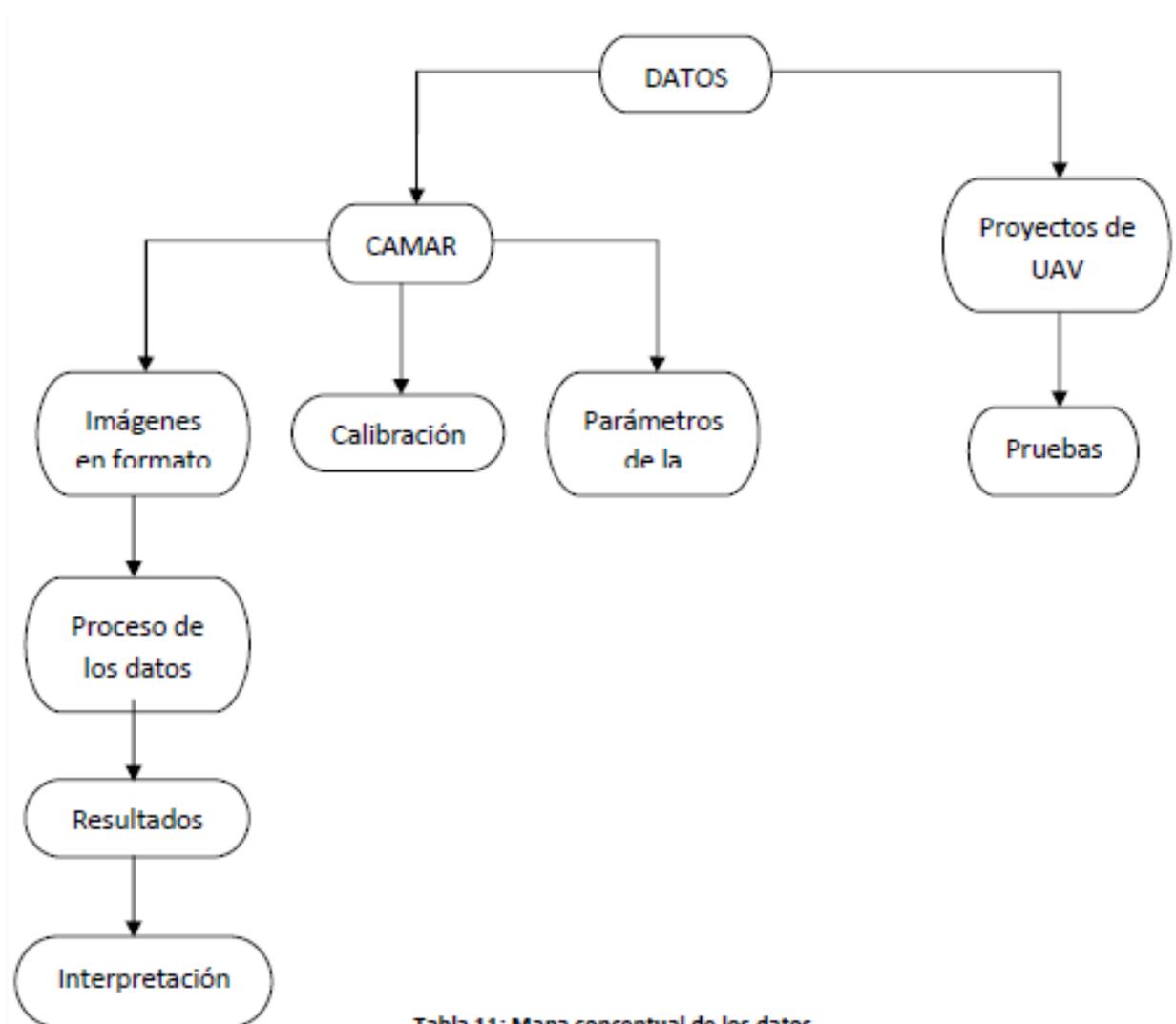


Tabla 11: Mapa conceptual de los datos

#### 4.5. *Procesamiento de los datos UAV*

La etapa de procesamiento previo de los datos de vuelo, se refiere a la creación de un fondo adecuado para analizar los datos con más extensión en nivel temático. Se refiere, a la creación de un Ortofoto de grande escala para el vuelo que se hizo. Para obtenerla, debemos localizar las coordenadas de todos los puntos con detalles de la zona en un sistema local. Aquí, los puntos de control que he tomado, van a servir para cumplir esta etapa. El procedimiento de la densidad de la presente red con el uso de Fotogrametría para la creación de una red de puntos de densidad con una buena dispersión se llama aerotriangulación (**Δερμάνης A., 1991, Soubry I., 2016**).

El método de triangulación aérea analítica, es el método del haz (Bundle Adjustment), con la cual se exploran las mediciones de las coordenadas del terreno y las coordenadas de los puntos de las imágenes y se identifican al mismo tiempo la relacionada y absoluta orientación, es decir, los objetos del exterior orientación, las coordenadas de los puntos del terreno y las coordenadas del centro de la observación de las aerofotos. Para puntos de densidad, se usan puntos naturales del terreno o puntos con mejor señalización, o como en el presente caso dispersos elegidos puntos (**Δερμάνης A., 1991, Soubry I., 2016**).

La aplicación del método de aerotriangulación se hizo a partir de Pix4D Mapper Pro y del Pix4D Mapper Pro Trial Version. En la siguiente etapa quiero comentar que utilicetambién el Agisoft Photo Scanner Pro pero tuve unos problemas y lo he dejado de usar.

##### 4.5.1 *Procesamiento utilizando el AgisoftPhotoScanner Pro*

Como expliqué anteriormente, utilice este tipo de Software para procesar mis datos de vuelo de Algemésí. El Sr Lerma me ha dado el permiso de estar trabajando en la aula llamada "Seminario de la Geodesia". Ahí, mientras estaba buscando informaciones sobre el proyecto, he decidido de empezar utilizando el Agisoft. Durante la carga de los datos estaba todo el proceso en buenas condiciones, pero cuando quería seguir mi proyecto se estaba tardando demasiado, debido a la cantidad de las fotos que tenía. Así que, he decidido dejarlo y trabajar con un otro Software parecido. En este caso, encontré la forma de trabajar con el Pix4D.

#### 4.5.2 Procesamiento utilizando el Pix4D

Como se ha mencionado anteriormente, realicé mi proyecto con el Pix4D y esto se debe a los buenos resultados que nos proporciona. Es un programa similar al Agisoft, pero más rápido durante el proceso de los datos. En la aula que estaba trabajando no había este programa, por eso he descargado el Pix4D Mapper Pro Trial Version para 15 días. Cuando se expiró, he creado una otra cuenta para poder trabajar con manera gratuita y precisa. Mientras, tenía unos problemas he recorrido al despacho de Sr Quintanilla y me dijo que tengo que procesar los datos en un otro ordenador más potente que el mío (RAM de 60 GB). Así que, utilice también un Software llamado Pix4D Mapper Pro que no era comercial y tenía una licencia del orden de 600 euros anuales.

A la continuación se muestra con el mapa conceptual los pasos básicos que realice.

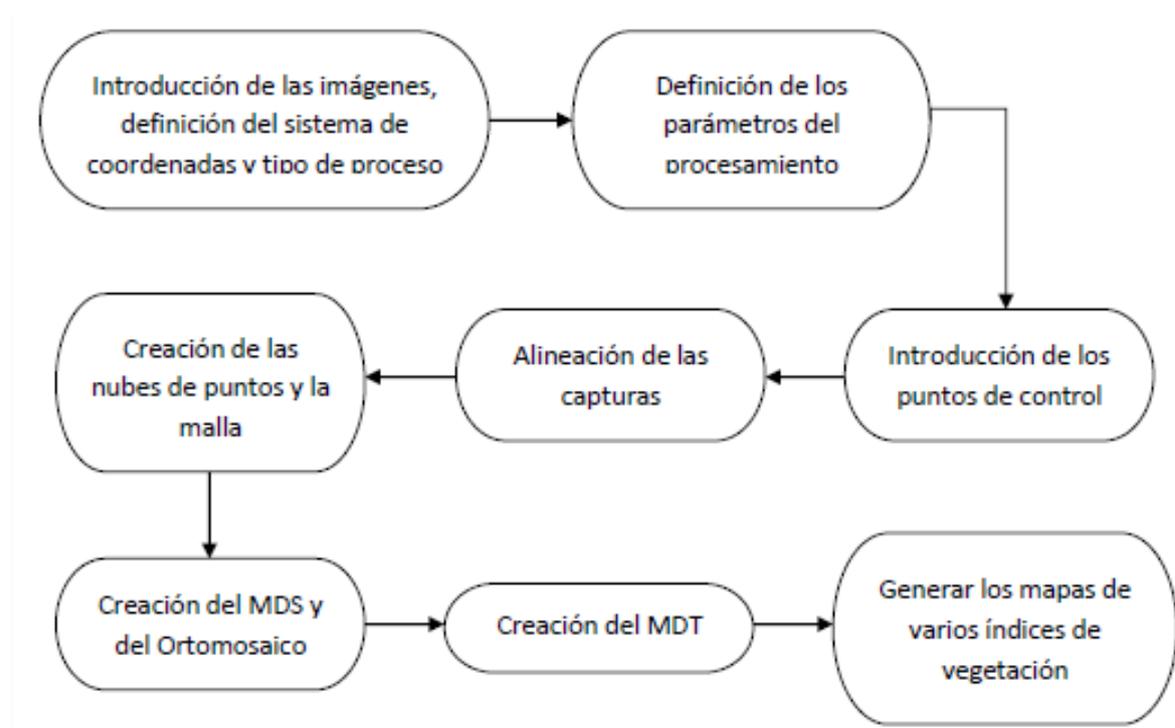


Tabla 12: Mapa conceptual de los pasos en Pix4D

El primer paso que hacemos mientras iniciamos el programa de Pix4D es crear un nuevo proyecto. Ahí he creado uno llamado "Algemesi".



Figura 1: Creando un nuevo proyecto

Después, cuando creamos el nuevo trabajo, tenemos que cargar las imágenes obtenidas del campo por el UAV.

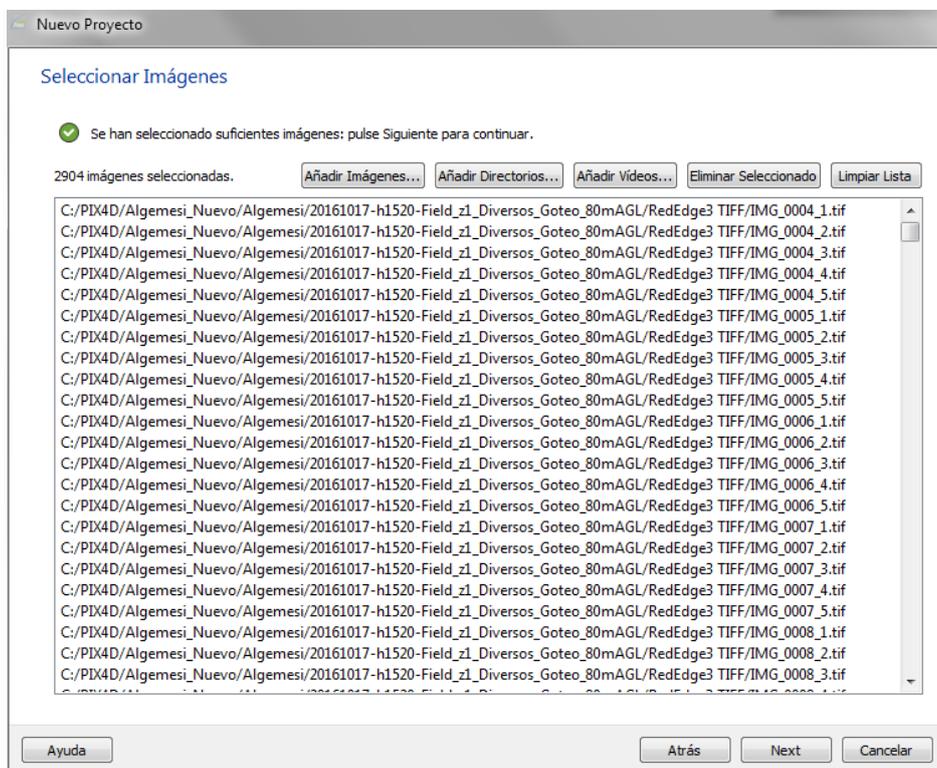


Figura 2: Cargando las imágenes

Cuando se cargan las imágenes, nos aparece en la pantalla un informe general del proyecto, donde se ve el sistema de coordenadas, las imágenes geolocalizadas modelo de cámara con sus características para cada banda (Blue, Green, Red, Nir, RedEdge) y abajo de todo aparecen las imágenes con sus características.

Para el proceso, utilicé para el datum el "World Geodetic System 1984" y para el sistema de coordenadas el WGS 84 (egm96) y a la continuación se ve el modelo de la cámara de MicraSense con sus 5 bandas.

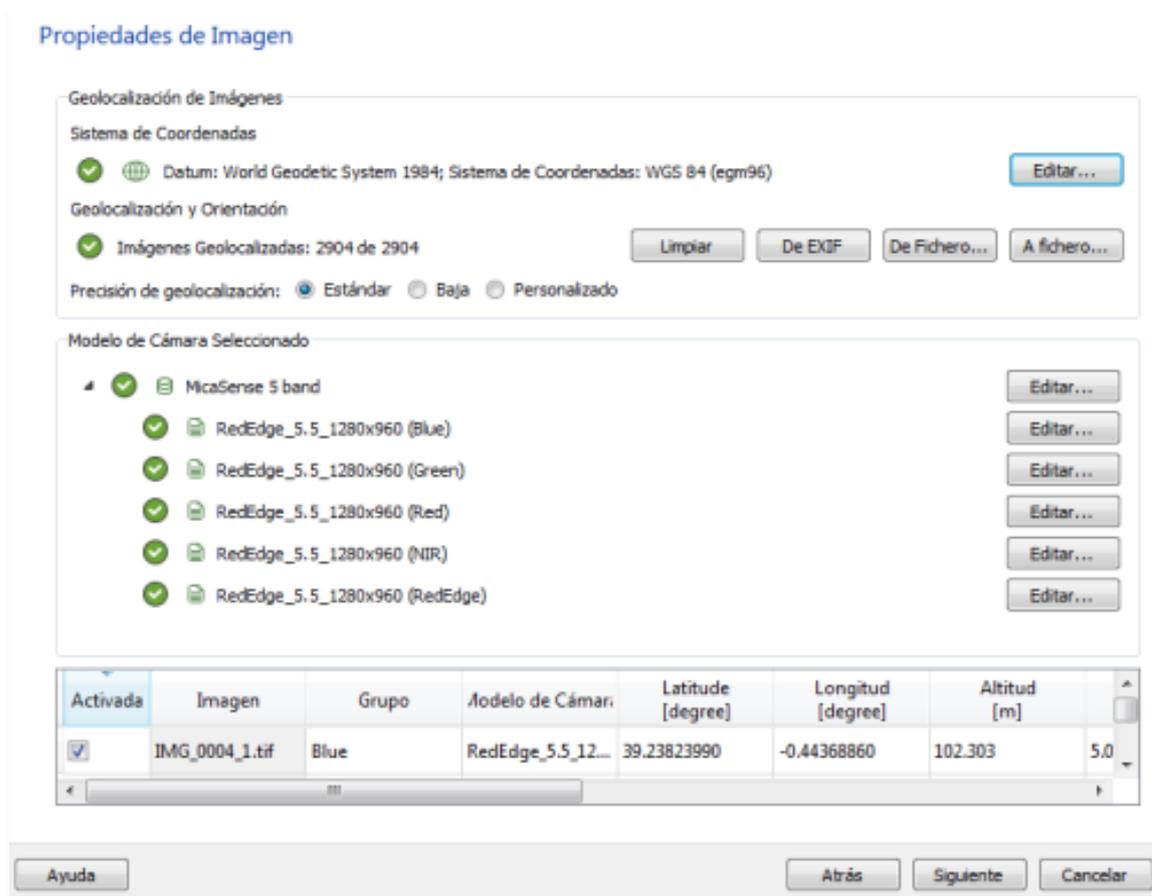


Figura 3: Propiedades de la imagen

Clicamos al botón "siguiente" y nos aparece una pestaña donde nos dice que tenemos que seleccionar un sistema de coordenadas de salida. Aquí, he puesto la forma auto-detectada donde es el WGS84 con UTM 30.

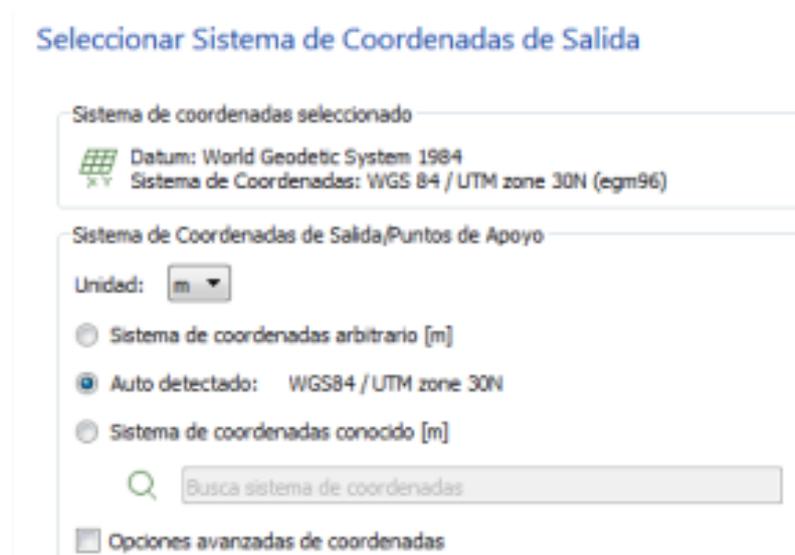


Figura 4: Seleccionar el sistema de coordenadas de salida

En la siguiente imagen de procesamiento nos aparece el formato que queremos dar a nuestro informe final. Elegimos el de Mapas 3D, pero hay que estar atento de quitar la opción de "iniciar el proceso ahora", porque si no se va a empezar procesando los datos sin cambiar los parámetros necesarios.

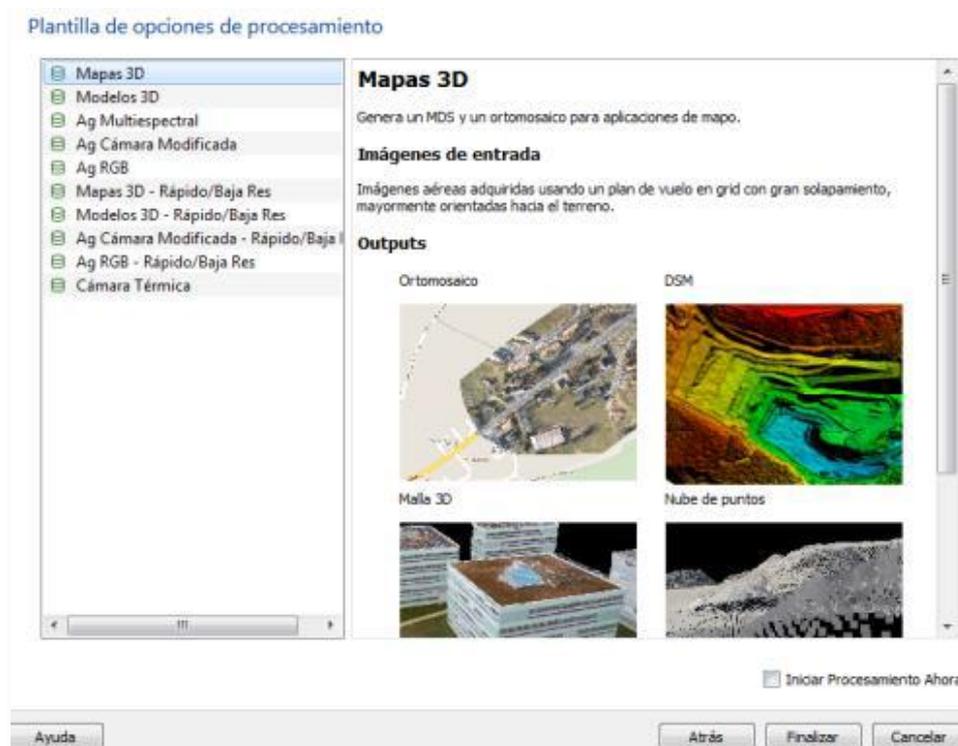


Figura 5: Plantilla de opciones de procesamiento

Mientras ya hemos seguido todo este procedimiento, nos aparecerá la zona de trabajo junto con las imágenes tomadas. Ellas están apareciendo con un forma circular y con un color rojo y se puede detectar el inicio y el fin de vuelo, ahí donde los círculos son más grandes que los demás. Es donde, se encuentra el aeroclub de Algemés que nos han permitido volar los encargados desde aquella zona.



Figura 6: Plan de vuelo

Ahora, pasamos a la fase del procesar los datos. En esta etapa, tenemos que buscar la mejor forma para poder tener unos resultados óptimos. Como vais a ver, hay tres tipos de proceso que se deben cumplir todos.

El primero es el "Procesamiento inicial", donde elegimos el de la forma "Completa" y clicamos para que nos genere una previsualización del Ortomosaico en el informe de esta etapa. Además, hay dos otras opciones como el de "Emparejamiento" y el de "Calibración". En el primero, elegimos para el emparejamiento de pares imágenes, la forma de la "Rejilla" o "Pasillo Aéreo". En la parte de "Calibración" usamos de forma "Automática" para el número objetivo de puntos claves y a re emparejamiento. Antes, elegimos el método de calibración, donde es la "Estándar" y lo demás lo dejamos sin modificar.

Cuando ya hemos modificado los parámetros para la primera fase de proceso clicamos al "Ok" y nos sale la barra de procesamiento para la primera fase. Sobre ello, aparecerá también el número de los pasos que se van hacer. Para la primera etapa necesito 7 pasos, como vais a ver en la siguiente figura.

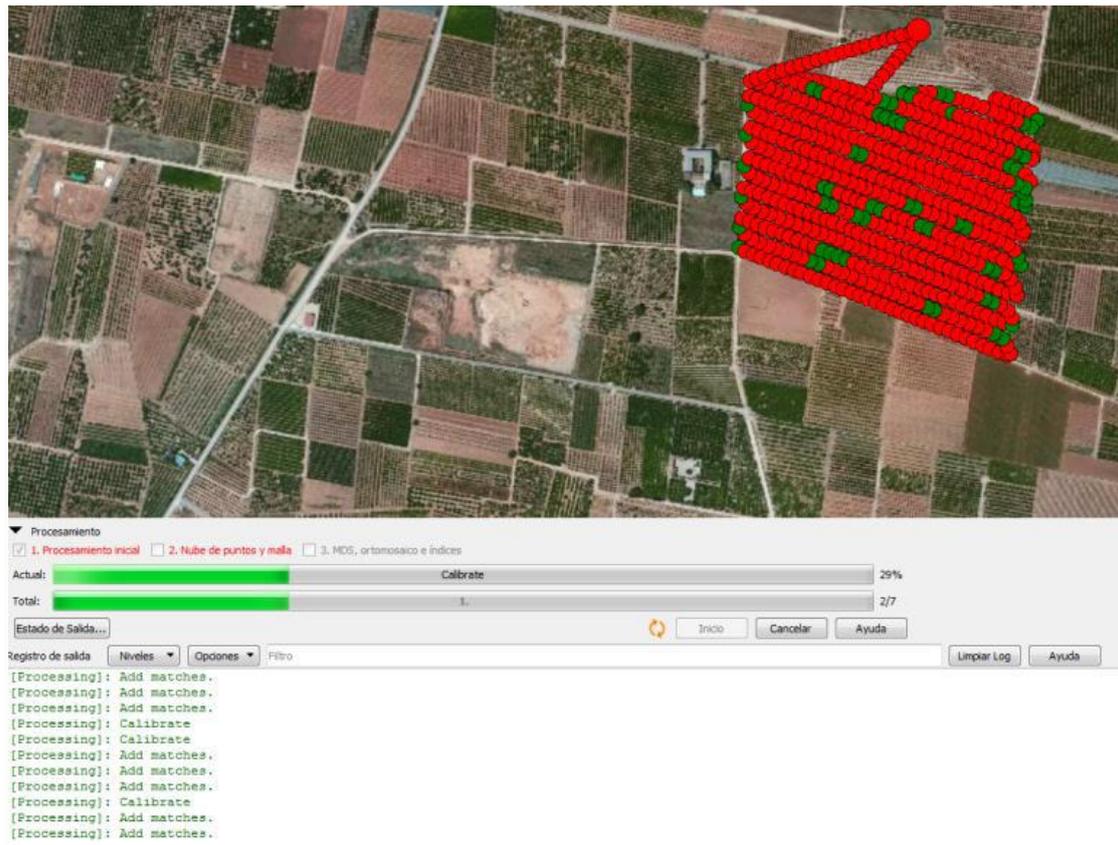


Figura 7: Procesamiento inicial

En la anterior figura, se muestra también un texto que es muy importante seguir leyéndolo durante todo el proceso del trabajo, porque si tenemos algún problema, ahí es donde aparecerá.

Los primeros mensajes que me han salido, fueron los siguientes.

- Cargando el Proyecto (Project Loading)
- Proyecto Cargado (Project Loaded)
- Primer paso en marcha(Step1 Running)
- Subpaso de extraer los Puntos clave en marcha(Substep Keypoin ttraction started)
- Recopilar información de la imagen (Gather Image Information)
- Generar imágenes normalizadas/miniaturas (Generate Normalized / Thumb nail images)
- Computación de los puntos clave (Computing Keypoints)
- Escribir los puntos clave (Write Key Points)
- Subpaso de extraer los Puntos clave finalizado (Substep Keypoint extraction finished)
- Coincidencia de los puntos clave en marcha(Substep Keypoints Matching started)
- Generando pares (Generating Pairs)
- Computación de las coincidencias (Computing Matches)

- Inicializar puntos de unión automáticos (Initialize Automatic tie points)
- Construir puntos de unión automáticos (Building Automatic tie points)
- Coincidencia de los puntos clave finalizada (Substep Keypoints Matching finished)
- Calibración de la cámara en marcha (Substep Camara calibration started)
- Analizar los puntos de unión automáticos (Analyse Automatic points tie)
- Inicio calibración (Initialize Calibrate)
- Agregar coincidencias (Add Matches)
- Optimizar (Optimize)
- Transformar unidad (Transform Unit)
- Optimizar con geoinformación (Optimize with Geoinformation)
- Añadir cámaras ( Add cámaras)
- Calibración de la cámara finalizada (Substep Camara Calibration finished)
- Analizando la geoinformación (Analyzing Geoinformation)
- Comprobar la consistencia (Check Consistency)
- Leer los puntos claves(Read Keypoints)
- Cargando el nube de puntos (Load pointcloud)
- Generar el informe de calidad (Generate Quality Report)

En este paso finalizamos, obteniendo el informe de la calidad. Este informe, contiene toda la información necesaria para conocer los detalles y los parámetros del vuelo. A la siguiente imagen se muestra el proceso general junto con unos parámetros.

#### Summary



Project	Algemesi_1
Processed	2017-07-01 02:23:54
Camera Model Name(s)	RedEdge_5.5_1280x960 (Blue), RedEdge_5.5_1280x960 (Green), RedEdge_5.5_1280x960 (Red), RedEdge_5.5_1280x960 (NIR), RedEdge_5.5_1280x960 (Red edge)
Rig name(s)	«McaSense 5 band»
Average Ground Sampling Distance (GSD)	5.59 cm / 2.2 in
Area Covered	0.1542 km <sup>2</sup> / 15.4217 ha / 0.0596 sq. mi. / 38.1276 acres
Time for Initial Processing (without report)	02h:49m:34s

Tabla 13: Resumen del proyecto

Si lo visualizamos vamos a ver los resultados básicos que tienes que conocer para el proyecto. Como es el, nombre de proyecto, fecha de procesamiento, modelo de la cámara, distancia media de muestreo al suelo, volumen del área y tiempo de ejecución.

En la siguiente imagen aparece la calidad de la información, donde se comprueba con una flecha verde por si lo tienes bien mal. Mal estaría, si la flecha era roja y normal sería con color amarillo.

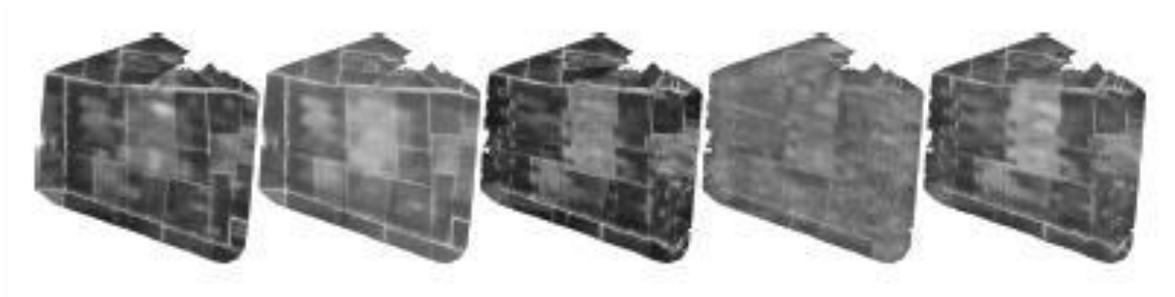
**Quality Check** f

Images	median of 16173 keypoints per image	✓
Dataset	2899 out of 2914 images calibrated (99%), all images enabled	✓
Camera Optimization	0.22% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 1189.89 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠

**Tabla 14: Revisión del proyecto**

Observando la **Tabla 14** vemos que todas las condiciones menos la de georreferenciación están en perfectas condiciones. La media de las fotos tiene una media de 16173 clave puntos por imagen, 2899 de las 2914 imágenes están calibradas al 99 %, pero todas son habilitadas. La optimización de la cámara es de 0,22 % y la media de los puntos de coincidencia es del orden de 1189,89 por calibrar la imagen, pero en el último paso aparece el mensaje que esta georreferenciada pero sin los puntos de control. Este paso, lo vamos a cumplir en seguida cuando ya introduciremos al programa los puntos de control con los que queremos trabajar.

En la **Figura 8** aparece el Ortomosaico previsto y en la **Figura 9** el modelo superficial del terreno MDS.



**Figura 8: Ortomosaico previsto**

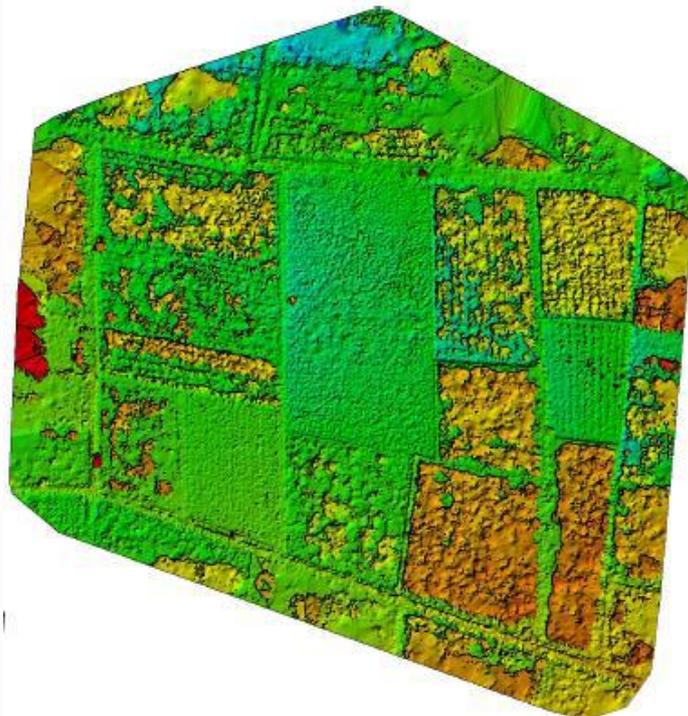


Figura 9: MDS previsto

El siguiente parámetro del informe de calidad son los detalles de la calibración. Sobre ello la **Figura 10** enseñara la inicial posición de las imágenes.

🔍 Initial Image Positions

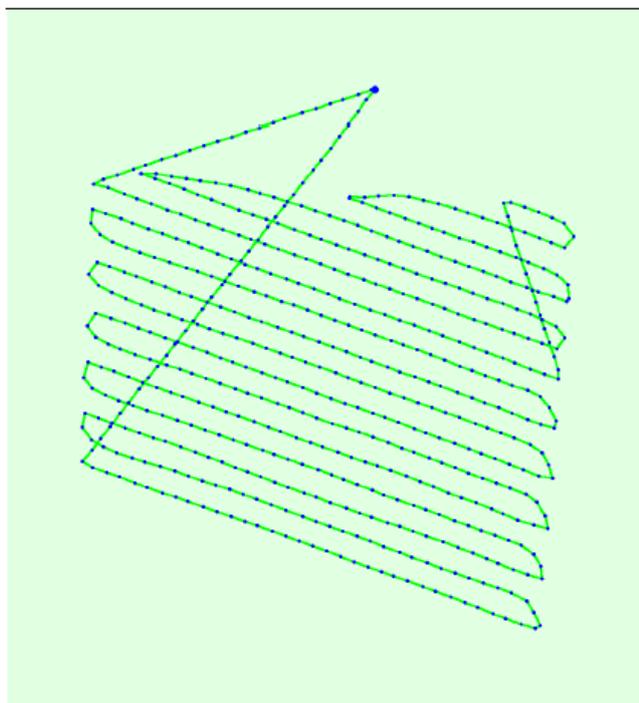
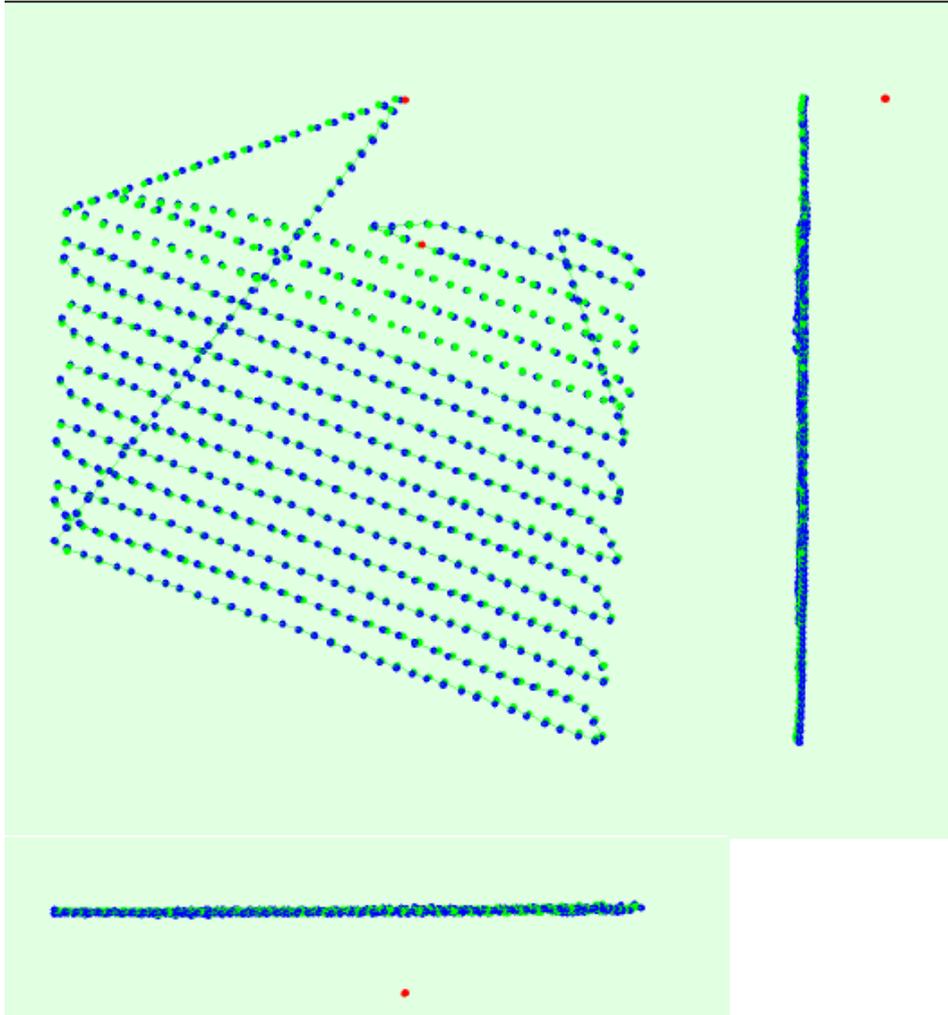


Figura 10: Imagen inicial de las posiciones de los puntos

La línea verde sigue la posición de las imágenes en el tiempo a partir del punto azul grande y está en buenas condiciones porque sigue una línea consecutiva. En la **Figura 11** se muestra la imagen calculada.



**Figura 11:** Imagen calculada

Observamos que hay un desplazamiento entre los puntos de imagen iniciales (puntos azules) y calculados (puntos verdes). Hay desplazamiento entre las posiciones iniciales de los GCP (cruces azules) y sus posiciones calculadas (cruces verdes) en la vista superior (plano XY), vista frontal (plano XZ) y vista lateral (plano YZ), mientras los puntos rojos indican inhabilitadas o no calibradas imágenes. En nuestro caso, desactive estos puntos porque afectaban los resultados y lo vamos a ver en los siguientes pasos después de terminar el informe de calidad.

En la **Figura 12** aparece el solape que hubo entre los números de las imágenes y se distingue con una escala de color.

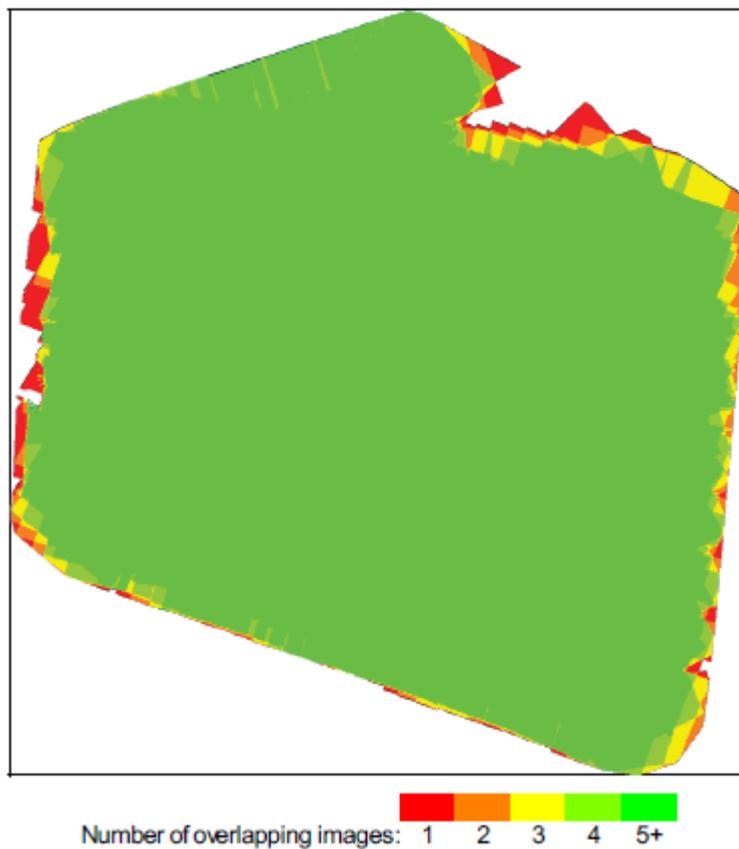


Figura 12: Solape entre el numero de las imagenes

Como estamos viendo, había en la mayoría de la zona que hemos trabajado solape del orden de 5 veces y más y obviamente es un resultado óptimo.

## Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	1067219
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	352909
Mean Reprojection Error [pixels]	0.185

Tabla 15: Detalles de los ajustes

Después aparecen los parámetros de la cámara para todas las bandas respectivamente.

**Internal Camera Parameters**

**RedEdge\_5.5\_1280x960 (Blue). Sensor Dimensions: 4.800 [mm] x 3.600 [mm]**

EXIF ID: RedEdge\_5.5\_1280x960

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	1466.667 [pixel] 5.500 [mm]	655.421 [pixel] 2.458 [mm]	478.069 [pixel] 1.793 [mm]	-0.098	0.164	-0.073	0.000	0.001
Optimized Values	1464.220 [pixel] 5.491 [mm]	649.903 [pixel] 2.437 [mm]	477.753 [pixel] 1.792 [mm]	-0.099	0.149	-0.029	-0.000	-0.001

**Internal Camera Parameters**

**RedEdge\_5.5\_1280x960 (Green). Sensor Dimensions: 4.800 [mm] x 3.600 [mm]**

EXIF ID: RedEdge\_5.5\_1280x960

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	1466.667 [pixel] 5.500 [mm]	659.162 [pixel] 2.472 [mm]	488.198 [pixel] 1.831 [mm]	-0.099	0.170	-0.095	0.000	0.000
Optimized Values	1470.351 [pixel] 5.514 [mm]	657.658 [pixel] 2.466 [mm]	491.267 [pixel] 1.842 [mm]	-0.101	0.165	-0.067	-0.000	-0.000

**Internal Camera Parameters**

**RedEdge\_5.5\_1280x960 (Red). Sensor Dimensions: 4.800 [mm] x 3.600 [mm]**

EXIF ID: RedEdge\_5.5\_1280x960

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	1466.667 [pixel] 5.500 [mm]	646.947 [pixel] 2.426 [mm]	471.440 [pixel] 1.768 [mm]	-0.106	0.180	-0.101	-0.000	0.001
Optimized Values	1468.591 [pixel] 5.507 [mm]	642.756 [pixel] 2.410 [mm]	472.589 [pixel] 1.772 [mm]	-0.101	0.164	-0.088	-0.000	0.000

**Internal Camera Parameters**

**RedEdge\_5.5\_1280x960 (NIR). Sensor Dimensions: 4.800 [mm] x 3.600 [mm]**

EXIF ID: RedEdge\_5.5\_1280x960

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	1466.667 [pixel] 5.500 [mm]	670.072 [pixel] 2.513 [mm]	481.558 [pixel] 1.806 [mm]	-0.106	0.180	-0.117	-0.000	0.001
Optimized Values	1472.679 [pixel] 5.523 [mm]	668.809 [pixel] 2.508 [mm]	480.898 [pixel] 1.803 [mm]	-0.106	0.120	0.072	-0.001	0.001

**Internal Camera Parameters**

**RedEdge\_5.5\_1280x960 (Red edge). Sensor Dimensions: 4.800 [mm] x 3.600 [mm]**

EXIF ID: RedEdge\_5.5\_1280x960

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	1466.667 [pixel] 5.500 [mm]	638.967 [pixel] 2.396 [mm]	472.927 [pixel] 1.773 [mm]	-0.108	0.173	-0.066	-0.000	0.000
Optimized Values	1469.434 [pixel] 5.510 [mm]	631.337 [pixel] 2.368 [mm]	474.462 [pixel] 1.779 [mm]	-0.119	0.222	-0.170	-0.000	-0.001

Tabla 16: Parámetros de la cámara

El equipo de cámara como dijimos anteriormente es la MicraSense con sus 5 bandas. A la continuación se describen las características de ella.

**Camera Rig «MicaSense 5 band» Relatives. Images: 2865**

	Transl X[m]	Transl Y[m]	Transl Z[m]	Rot X[degree]	Rot Y[degree]	Rot Z[degree]
RedEdge_5.5_1280x960 (Green)	Reference Camera					
RedEdge_5.5_1280x960 (Blue)						
Initial Values	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Optimized values	0.030	0.000	0.000	0.070	-0.089	0.047
RedEdge_5.5_1280x960 (Red)						
Initial Values	0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000
Optimized values	0.000	0.022	0.000	-0.170	0.140	-0.026
RedEdge_5.5_1280x960 (NIR)						
Initial Values	0.030	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000
Optimized values	0.030	0.022	0.000	-0.157	0.399	0.189
RedEdge_5.5_1280x960 (Red edge)						
Initial Values	0.015	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
Optimized values	0.015	0.011	0.000	0.079	-0.287	-0.223

Tabla 17: Características de la cámara MicraSense 5 band

Los puntos claves para cada banda en dos dimensiones.

**2D Keypoints Table**

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	16173	1190
Mn	9006	0
Max	36852	7716
Mean	16560	1260

**2D Keypoints Table for Camera RedEdge\_5.5\_1280x960 (Blue)**

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	12791	541
Mn	9006	17
Max	17355	2751
Mean	13063	789

**2D Keypoints Table for Camera RedEdge\_5.5\_1280x960 (Green)**

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	16287	1386
Mn	12353	11
Max	27899	4236
Mean	16393	1488

**2D Keypoints Table for Camera RedEdge\_5.5\_1280x960 (Red)**

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	13956	254
Mn	10052	0
Max	28496	3994
Mean	14159	754

**2D Keypoints Table for Camera RedEdge\_5.5\_1280x960 (NIR)**

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	23912	140
Mn	14308	0
Max	36852	7716
Mean	23318	1117

**2D Keypoints Table for Camera RedEdge\_5.5\_1280x960 (Red edge)**

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	16354	375
Mn	11420	2
Max	27325	2253
Mean	17148	410

**Tabla 18: Puntos claves en 2D**

Mediana / 75 % / Máximo número de coincidencias entre los modelos de la cámara.

	RedEdge_5.5_12... (Blue)	RedEdge_5.5_1... (Green)	RedEdge_5.5_128... (Red)	RedEdge_5.5_128... (NIR)	RedEdge_5....(Red edge)
RedEdge_5.5_1280x960 (Blue)	24 / 119 / 1356	25 / 79 / 744	30 / 84 / 650	4 / 13 / 114	10 / 35 / 342
RedEdge_5.5_1280x960 (Green)		41 / 133 / 2479	14 / 59 / 749	6 / 19 / 183	12 / 52 / 650
RedEdge_5.5_1280x960 (Red)			74 / 425 / 2276	7 / 17 / 158	15 / 67 / 475
RedEdge_5.5_1280x960 (NIR)				89 / 879 / 5231	8 / 21 / 197
RedEdge_5.5_1280x960 (Red edge)					11 / 57 / 908

**Tabla 19: Numero de coincidencias**

En la siguiente imagen aparecen las coincidencias entre los puntos clave en las imágenes en 3D.

? 3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	230447
In 3 Images	56305
In 4 Images	23976
In 5 Images	12477
In 6 Images	7637
In 7 Images	5092
In 8 Images	3780
In 9 Images	2688
In 10 Images	2159
In 11 Images	1636
In 12 Images	1306
In 13 Images	1128
In 14 Images	938
In 15 Images	698
In 16 Images	578
In 17 Images	501
In 18 Images	407
In 19 Images	309
In 20 Images	284
In 21 Images	159
In 22 Images	117

In 23 Images	101
In 24 Images	53
In 25 Images	46
In 26 Images	33
In 27 Images	20
In 28 Images	14
In 29 Images	9
In 30 Images	4
In 31 Images	2
In 32 Images	2
In 33 Images	2
In 36 Images	1

Tabla 20: Numero de coincidencias de los puntos claves en las imágenes

Comprobamos en la **Tabla 20** que existe una buena dispersión de los puntos claves en las imágenes.

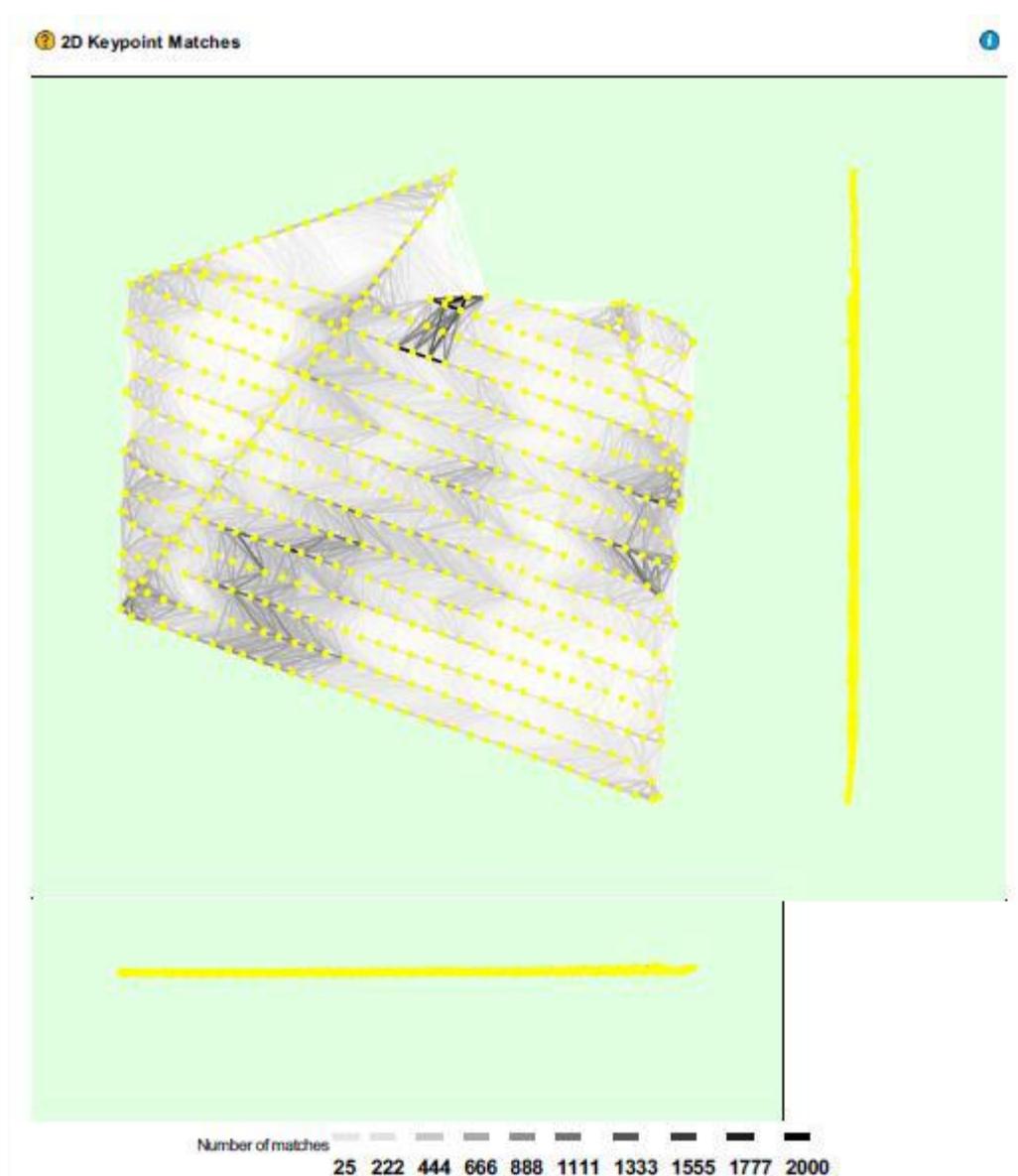


Figura 13: Coincidencias entre los puntos claves en 2D

Aquí cabe destacar, que las coincidencias salen bastante uniforme y sin errores. Si tuviera algún error aparecería a los bordes de la **Figura 13** unos puntos rojos.

En la **Tabla 21** aparecen los detalles de los puntos de densidad.

## Point Cloud Densification details

### Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample DensityDivider: 1
Advanced: Matching Window Size	7x7 pixels
Advanced: Image Groups	Blue, Green, Red, NIR, Red edge
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Advanced: Limit Camera Depth Automatically	no
Time for Point Cloud Densification	31m:10s
Time for 3D Textured Mesh Generation	40m:52s

Tabla 21: Detalles de los puntos de densidad

En la **Tabla 22** aparecen los detalles del modelo MDS y del Ortomosaico.

## DSM, Orthomosaic and Index Details

### Processing Options

DSMand Orthomosaic Resolution	1 x GSD (5,6 [cm/pixel])
DSMFilters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: yes Google Maps Tiles and KML: yes
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 100
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes
DTMResolution	5 x GSD (5,6 [cm/pixel])

Contour Lines Generation	Generated: yes Contour Base [m]: 0 Elevation Interval [m]: 10 Resolution [cm]: 100 Minimum Line Size [vertices]: 20
Index Calculator: Reflectance Map	Generated: yes Resolution: 1 x GSD (5.6 [cm/pxel]) Merge Tiles: yes
Time for DSM Generation	15m:08s
Time for Orthomosaic Generation	59m:
Time for DTM Generation	03m:42s
Time for Contour Lines Generation	03s
Time for Reflectance Map Generation	01h:37m:22s

#### Camera Radiometric Correction 1

Camera Name	Band	Radiometric Correction Type
RedEdge_5.5_1280x960	Blue	Camera Only
RedEdge_5.5_1280x960	Green	Camera Only
RedEdge_5.5_1280x960	Red	Camera Only
RedEdge_5.5_1280x960	NIR	Camera Only
RedEdge_5.5_1280x960	Red edge	Camera Only

Tabla 22: Detalles del MDS y del Ortomosaico

Acabando con el informe de la calidad, seguimos avanzando. Después de ejecutar la primera etapa aparece junto con el informe de la calidad una imagen de la nube de puntos y las capturas que se hizo para nuestra área.

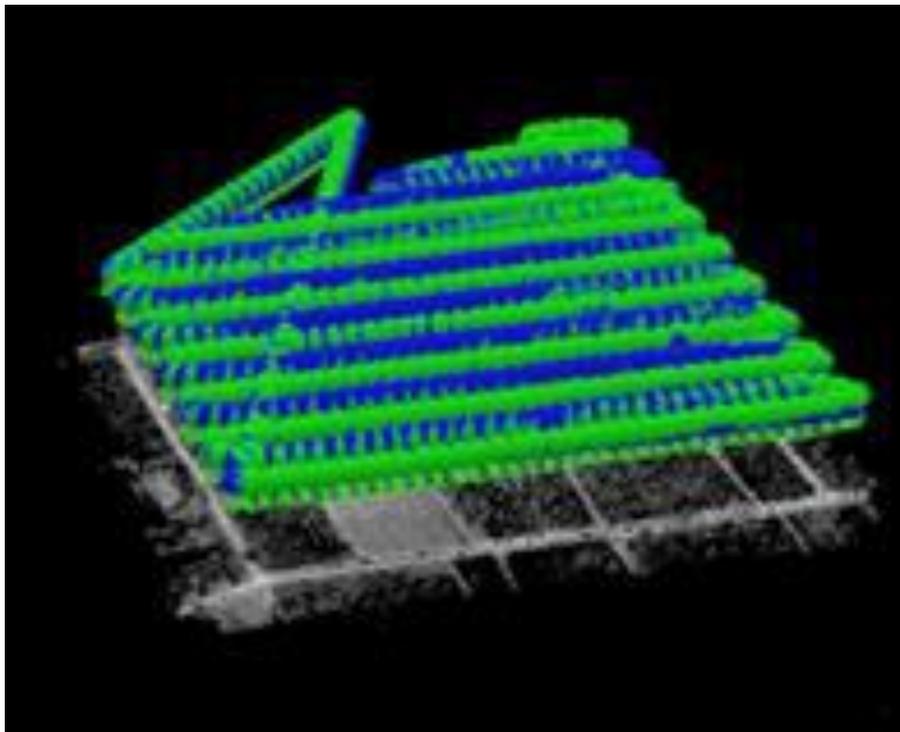


Figura 14: Nube de puntos con las capturas

Ahora, nos toca introducir los puntos de control por eso seguimos los pasos según las siguientes Figuras.

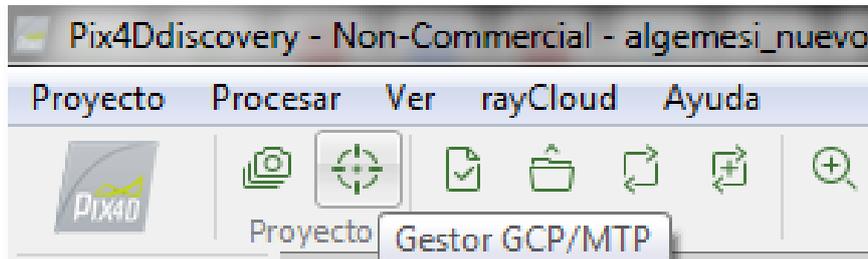


Figura 15: Botón para introducir los puntos de control

En la pantalla, nos acercamos con el ratón a este botón y lo clicamos. Es el botón del gestor de los puntos de control y nos aparecerá lo siguiente.

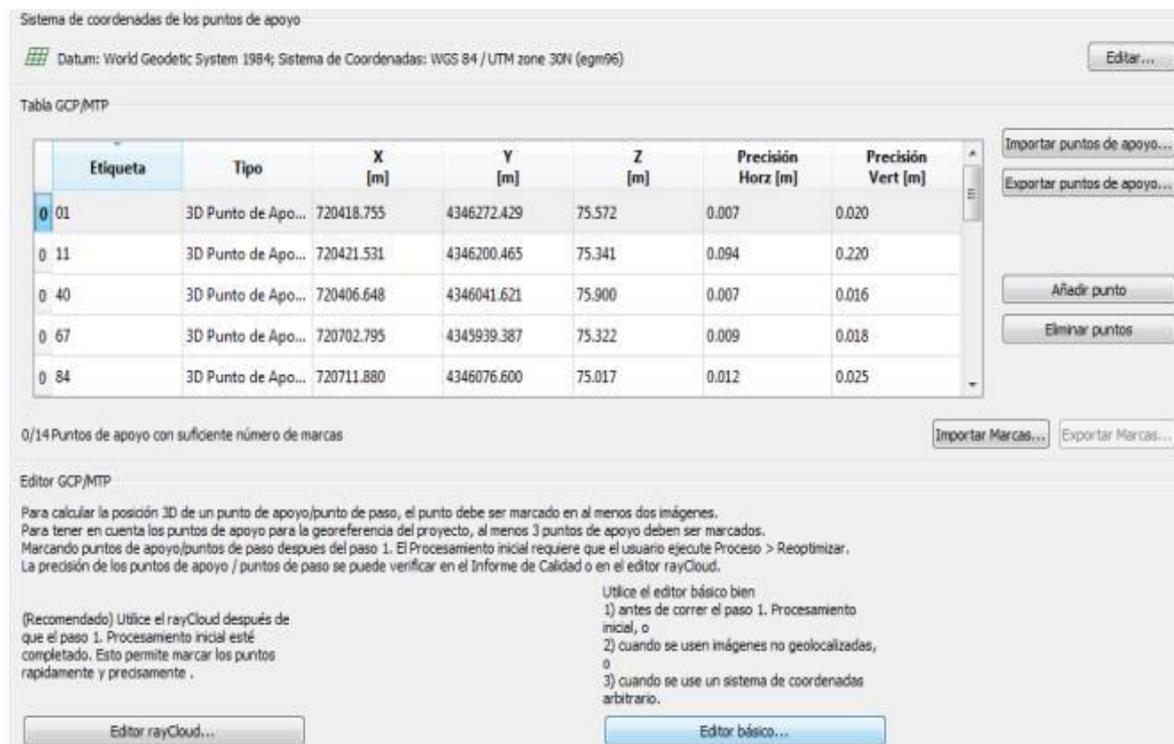


Figura 16: Cargar los puntos de control

En esta fase de proyecto, no tuve mucha experiencia y estaba haciendo pruebas para tener mejores resultados. En concreto, he puesto 14 puntos de control, pero eran demasiados para esta zona de trabajo en Algemesí, por eso al final elegí los 7 mejores puntos de control que consideraba como los más adecuados. Ellos son los puntos: 1, 40, 67, 84, 104, 121, 147 de los 203 puntos en total.

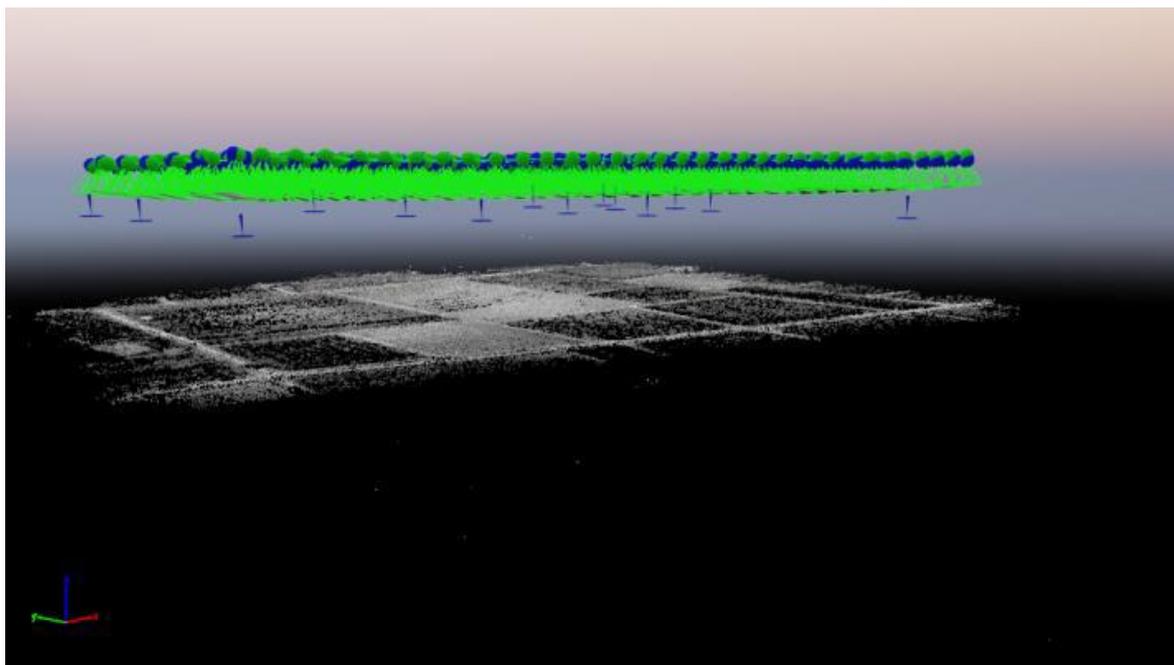


Figura 17: Puntos de control sin modificar

Se puede comprobar que son 14 los puntos de control y se marcan con un círculo azul. Estos puntos de control no han sufrido ninguna modificación y como sabemos tenemos que modificarles y ajustarles al terreno.

Antes de realizar este paso, antes hemos detectado que hay un punto erróneo con color rojo y se ha decidido desactivarlo. Así que en la **Figura 18** vais a ver el proceso de como desactivamos un punto no deseable.



Figura 18: Desactivar puntos erróneos

Cuando desactivamos el punto erróneo, nos fijamos en la columna de las capas, donde aparecen las cámaras y los puntos de paso con sus características respectivamente. También, podemos ver que las opciones de "Volúmenes" y el "Editor Mosaicos" están desactivadas porque aún estamos en la primera etapa. Además se puede ver con claridad los puntos de control que hemos georreferenciado y dentro del paréntesis se ve el número de las imágenes que hemos geoposicionado para ajustar el punto de control al terreno.

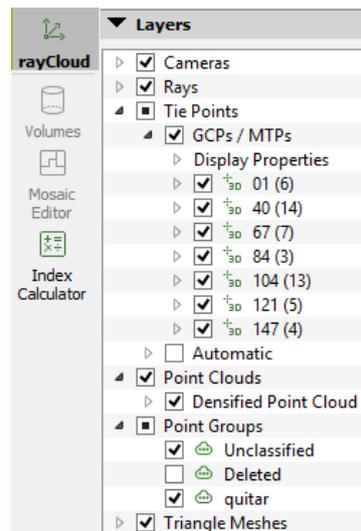


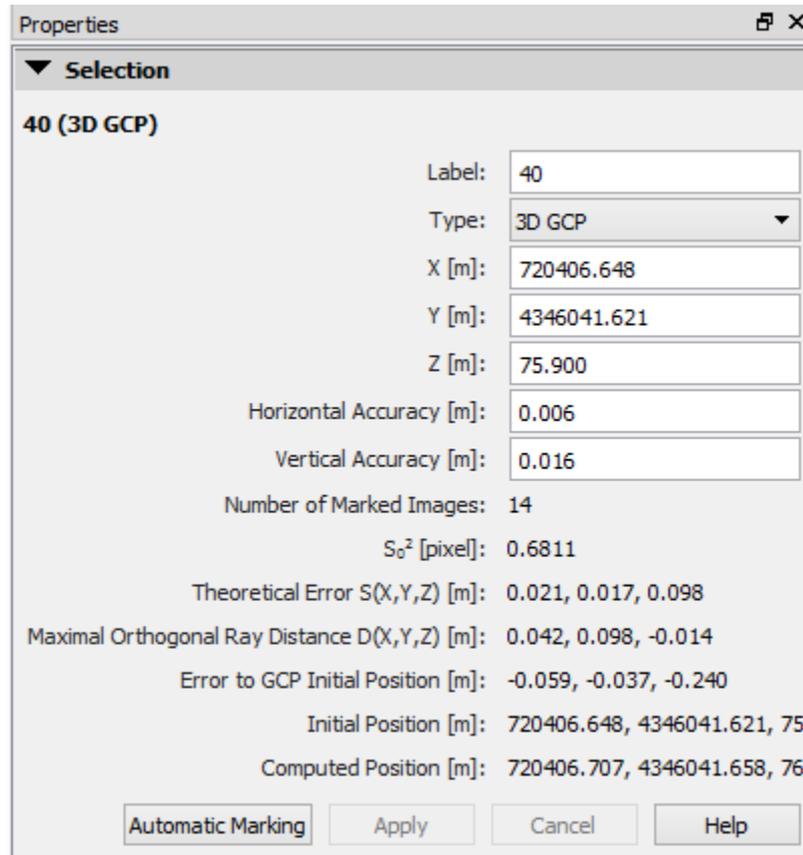
Figura 19: Capas del proyecto

Los puntos de control como dije anteriormente tienen que ajustarse al terreno, por eso la siguiente fase es geoposicionar los puntos en bastantes imágenes hasta que cuadra el punto al terreno.



Figura 20: Geoposicionamiento de los puntos de control al terreno

Antes de realizar este tipo de proceso, mientras había cargado los puntos de control me enfrentaba a una situación como se visualiza en la **Figura 17**. El siguiente paso, era el ajuste de estos puntos pero para poder comprobar que salían bien los resultados, para cada punto que modificábamos se veían las características del punto. Para tener una idea de que se trata, añado las propiedades del punto 40 durante la modificación que ha sufrido en la **Figura 21**.



**Figura 21: Propiedades de los puntos de control**

Cuando comprobamos en las propiedades de los puntos que tenemos una óptima precisión, utilizamos la herramienta "Reoptimize" y después el "Rematch and Optimize" para ajustar mejor al terreno los puntos de control. En la siguiente Figura se muestra los 7 puntos de control ya ajustados al terreno y el fin de este proceso estamos listos para poder seguir trabajando en procesar las otras dos etapas.

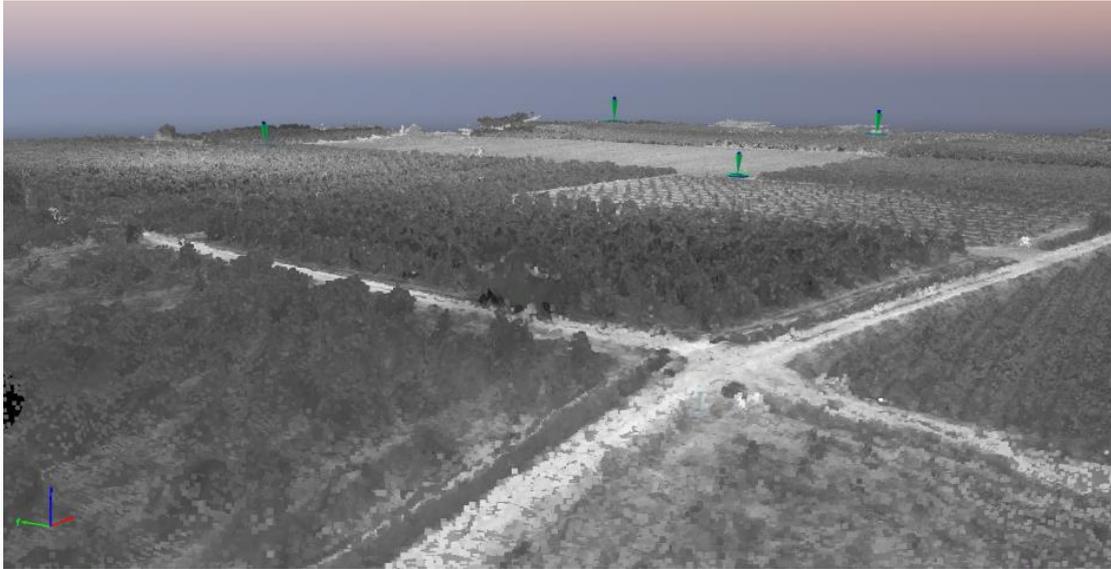


Figura 22: Ajuste de los puntos de control sobre el terreno

Después de este proceso, estamos listos para pasar a la siguientes dos etapas y ultimas para el procesamiento de los datos.

Entramos en las opciones del procesamiento y encontramos latres etapas:

- Inicial procesamiento
- Nube de puntos y malla
- MDS, Ortomosaico e Índice

La primera se explicó brevemente antes como son los pasos para ejecutarla. Ahora nos toca explicar las otras dos que quedan para definirse.

La segunda etapa que es el proceso para obtener la nube de puntos y la malla, consiste en el seguimiento de unas instrucciones básicas que tenemos que pasar al programa antes de ejecutar.

Para la definición de las características tenemos que entrar primero en la pestaña de "Nube de Puntos". Ahí, vamos a dejar la escala de la imagen a 0,5 que la tiene por defecto. Después, en los puntos de densidad ponemos el "Optimal" y el número mínimo de las coincidencias lo dejamos a 3. Finalmente, elegimos el formato de salida que queremos exportar. Yo elegí de exportarlo a archivo LAS, porque me interesa mostrar después como se encaja el Ortomosaico con la imagen de Google Maps en el programa de QGIS Desktop 2.18.9.

Ahora, nos toca modificar, la otra pestaña que es la "Malla de textura 3D". Aquí, clicamos para que nos genera la malla de textura en 3D y elegimos la "MediaResolution" que la tiene por defecto. Durante, la fase de preparación de trabajo, intente de poner la "High Resolution" pero era imposible de procesar según la cantidad de imagenes que tuve este proyecto, por eso lo he dejado. Usamos el color de balance de la textura y al final lo exportamos en "OBJ".

La tercera etapa es la que más tarda de ejecutarla, es el proceso de modelo MDS y del Ortomosaico. En este parte, segun la seriedad de trabajo elegimos todas las opciones y los exportamos a formato LAS.

Después de realizar estas modificaciones, estamos listos para procesar estas dos etapas a la vez juntas. Este proceso, tarda aproximadamente una 2 horas.

Los resultados que obtenemos son los siguientes:

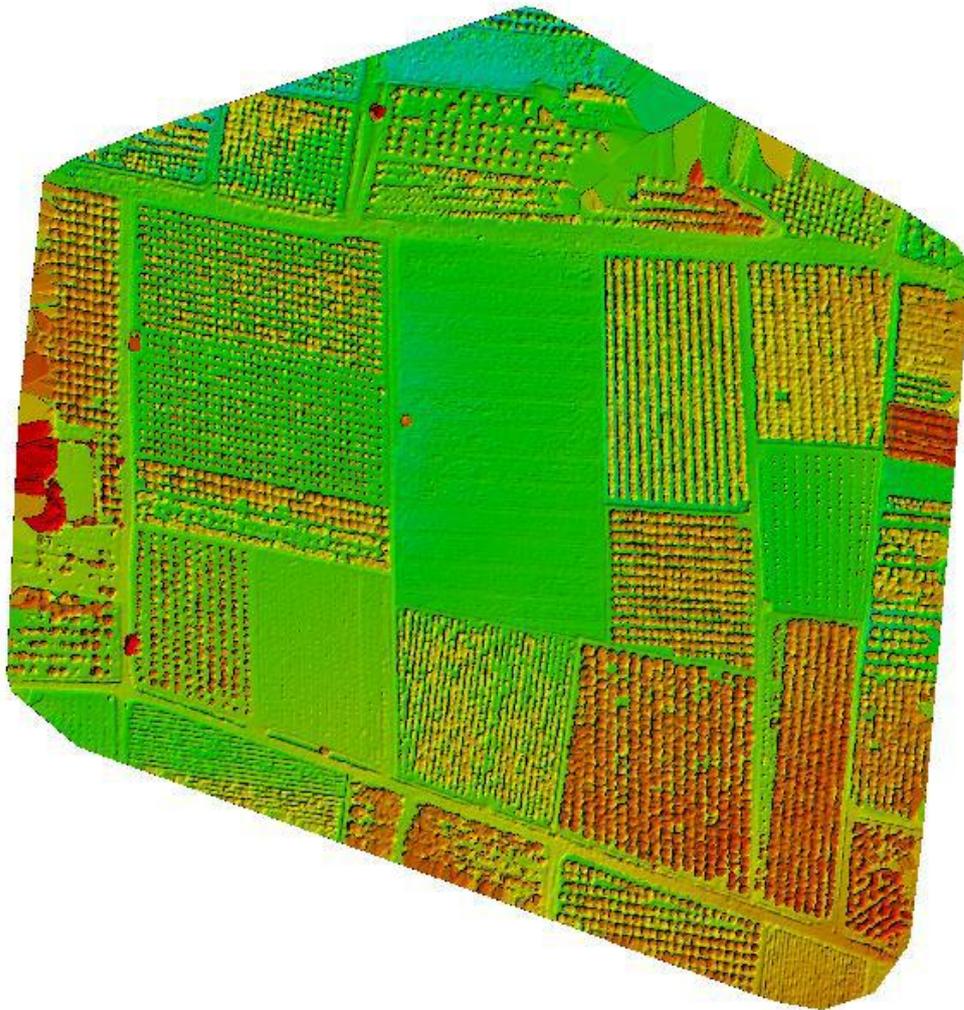


Figura 23: Modelo Digital de Superficie

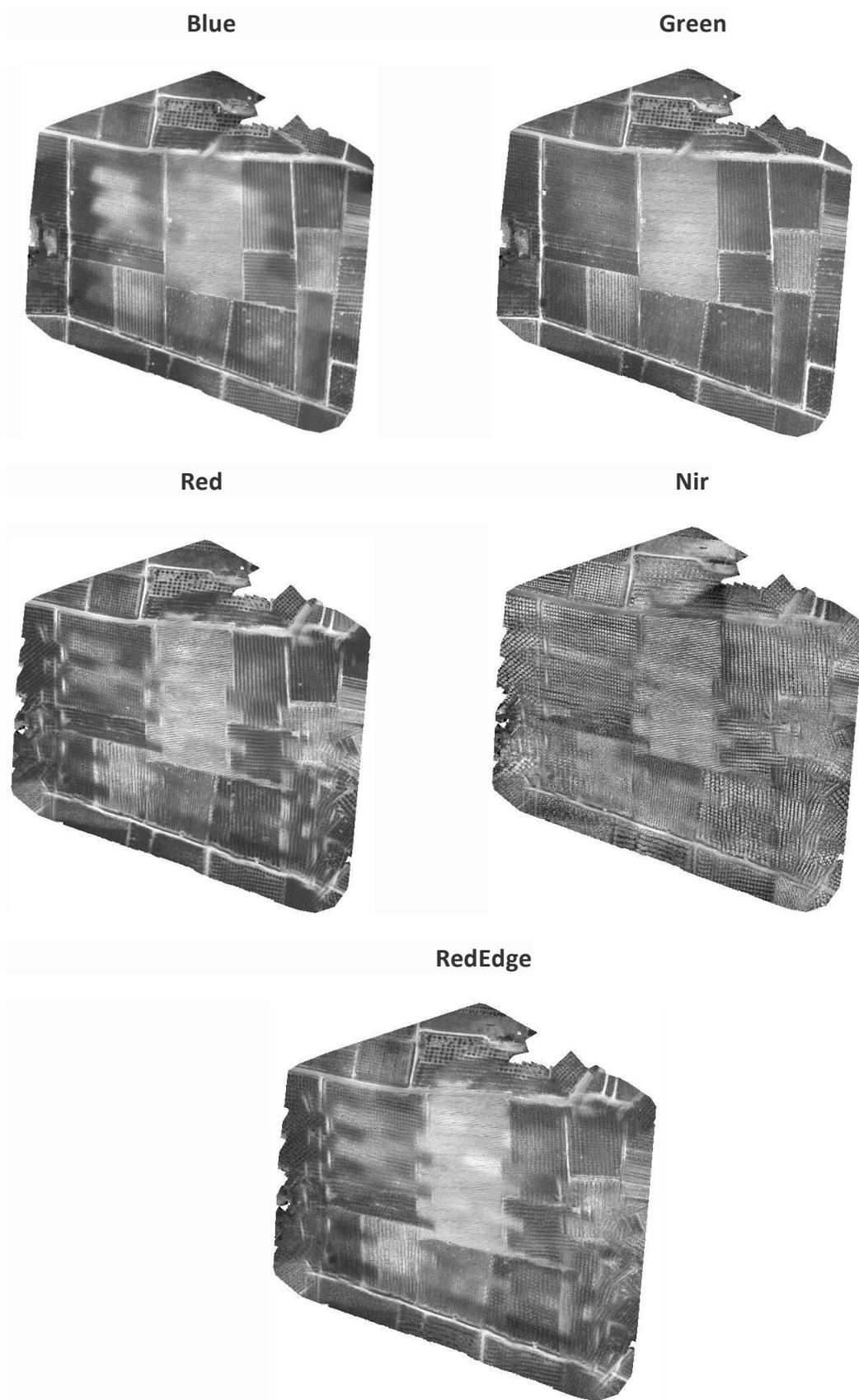


Figura 24: Ortomosaicos para las bandas Blue, Green, Red, Nir, RedEdge respectivamente

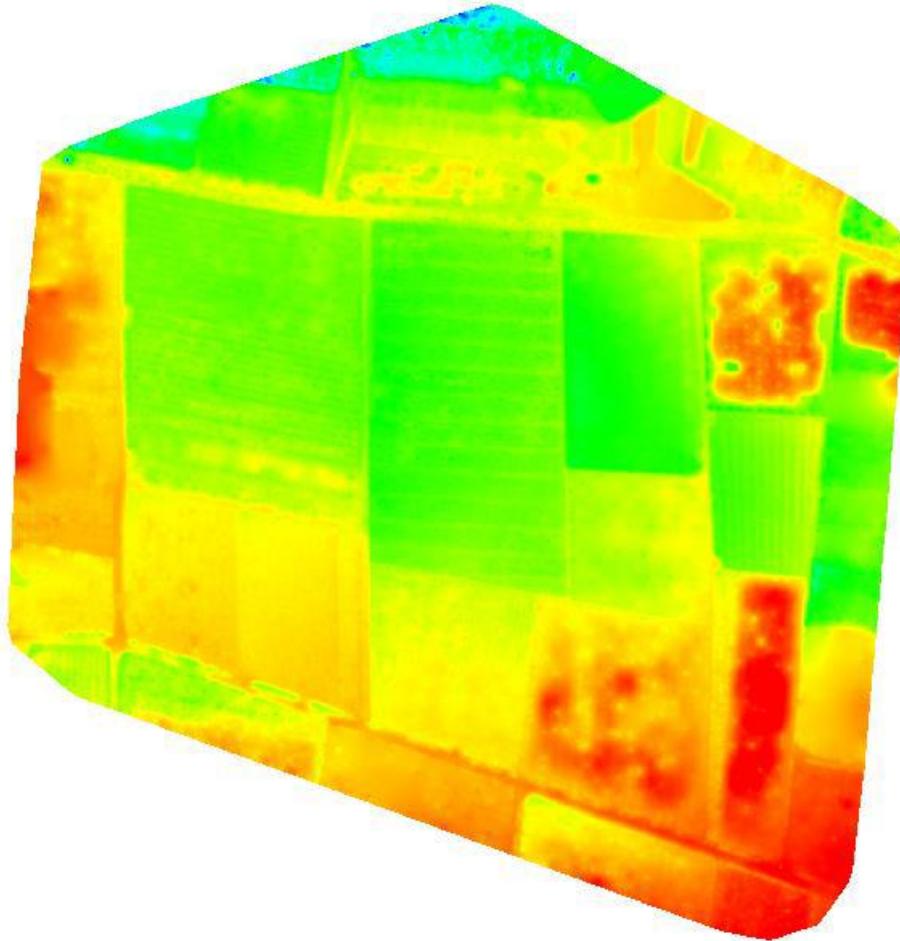


Figura 25: Modelo Digital de Terreno

Estos son los resultados que obtenemos despues de un largo proceso. Ahora, nos falta mostrar las figuras y como obtenemos los varios índices de vegetación para el trabajo final de grado.

#### 4.6. *Procesamiento de las Ortofotos a partir de Teledetección*

En este paso, viene el procesamiento de las ortofotos para todas las bandas a partir de Teledetección. Se van a analizar algunas variables que son importantes para la situación de las naranjas. Una de las importantisimas bioquímicas variables son las concentraciones en clorofila (Cab). La clorofila contiene el mecanismo para las reacciones fotosintéticas, porque esta asociada con la absorción de energía de la luz solar. Así que, esta absolutamente conectada con la capacidad de la planta para la fotosíntesis y la producción. En concreto, su cantidad que esta en la planta se relaciona estrechamente con el estrés y la edad de la planta. Las partes del espectro en las cuales se pueden detectar las concentraciones de clorofila, es la zona en la cual se encuentra un pico verde para la vegetación (Green Peak) y la zona del RedEdge

(Κανδυλάκης Z., 2013, Soubry I., 2016).

#### 4.6.1 Cálculo de los índices de vegetación con Teledetección

En esta parte, vamos a calcular varios índices de vegetación que se consideran importantes para los cultivos. Cada índice tiene una propia fórmula y durante el cálculo pusimos sus fórmulas en el "Index Calculator" y conseguimos calcularlos. A la continuación, se describen los índices que usamos para el proyecto junto con sus nombres, fórmulas y referencias bibliográficas.

Índice	Nombre	Fórmula	Referencia Bibliográfica
<i>DVI</i>	Difference Vegetation Index	$R_{NIR} - R_{RED}$	<a href="#">Κανδουλιάκης Ζ., 2013</a>
<i>NDVI</i>	Normalized Difference Vegetation Index	$(R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED})$	<a href="#">Zarco-Tejada P. J., González-Dugo V., Berni J.A.J., 2011</a>
<i>NDVire</i>	Normalized Difference Vegetation Index Red Edge	$(R_{NIR} - R_{RE}) / (R_{NIR} + R_{RE})$	<a href="#">Taskos D.G. et al., 2014</a>
<i>RDVI</i>	Renormalized Difference Vegetation Index	$(R_{NIR} - R_{RED}) / \sqrt{(R_{NIR} + R_{RED})}$	<a href="#">Zarco-Tejada P. J., González-Dugo V., Berni J.A.J., 2011</a>
<i>GNDVI</i>	Green Normalized Difference Vegetation Index	$(R_{NIR} - R_{GREEN}) / (R_{NIR} + R_{GREEN})$	<a href="#">Candiago S. et al., 2015</a>
<i>MSR</i>	Modified Simple Ratio	$(R_{NIR} / R_{RED} + 1) / [(R_{NIR} / R_{RED}) 0.5 + 1]$	<a href="#">Zarco-Tejada P. J., González-Dugo V., Berni J.A.J., 2011</a>
<i>OSAVI</i>	Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index	$(1 + 0.25) * (R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED} + 0.25)$	<a href="#">Candiago S. et al., 2015</a>
<i>MCARI</i>	Modified Cab Absorption in Reflectance Index	$[(R_{RE} - R_{RED}) - 0.2 * (R_{RE} - R_{GREEN})] * (R_{RE} / R_{RED})$	<a href="#">Melamed S., 2014</a>
<i>TCARI</i>	Transformed CARI	$3 * [(R_{RE} - R_{RED}) - 0.2 * (R_{RE} - R_{GREEN})] * (R_{RE} / R_{RED})$	<a href="#">Zarco-Tejada P. J., González-Dugo V., Berni J.A.J., 2011</a>
<i>MTVI1</i>	Modified Triangulation Vegetation Index 1	$1.2 * [1.2 * (R_{NIR} - R_{GREEN}) - 2.5 * (R_{RED} - R_{GREEN})]$	<a href="#">Zarco-Tejada P. J., González-Dugo V., Berni J.A.J., 2011</a>
<i>CI</i>	Cab Index	$(R_{NIR} / R_{RE}) - 1$	<a href="#">Taskos D.G. et al., 2014</a>

Tabla 23: Índices de Vegetación

Por lo general, un índice de vegetación se genera a partir de la espectral matemática combinación de una imagen multispectral con una manera adecuada, de modo que después de la aplicación a una imagen multispectral, que muestra una sola imagen en la que la vegetación sana se subraya. Los valores grandes en la nueva imagen corresponden a mosaicos de vegetación saludables (Τσακίρη-Στρατή Μ., 2014, Soubry I., 2016). Para que se evalúe si existen cambios en la estructura de las hojas debido al estrés de agua, se han calculado los siguientes índices de vegetación:

- El *DVI* (Índice de Vegetación de Diferencia) es la diferencia de la reflectividad en el infrarrojo cercano (NIR) de la reflectividad en rojo y se basa en principio de que la cubierta vegetal absorbe el área visible en azul y rojo para realizar la fotosíntesis y refleja mucho la región del infrarrojo cercano. (Τσακίρη-Στρατή Μ., 2014, Soubry I., 2016).

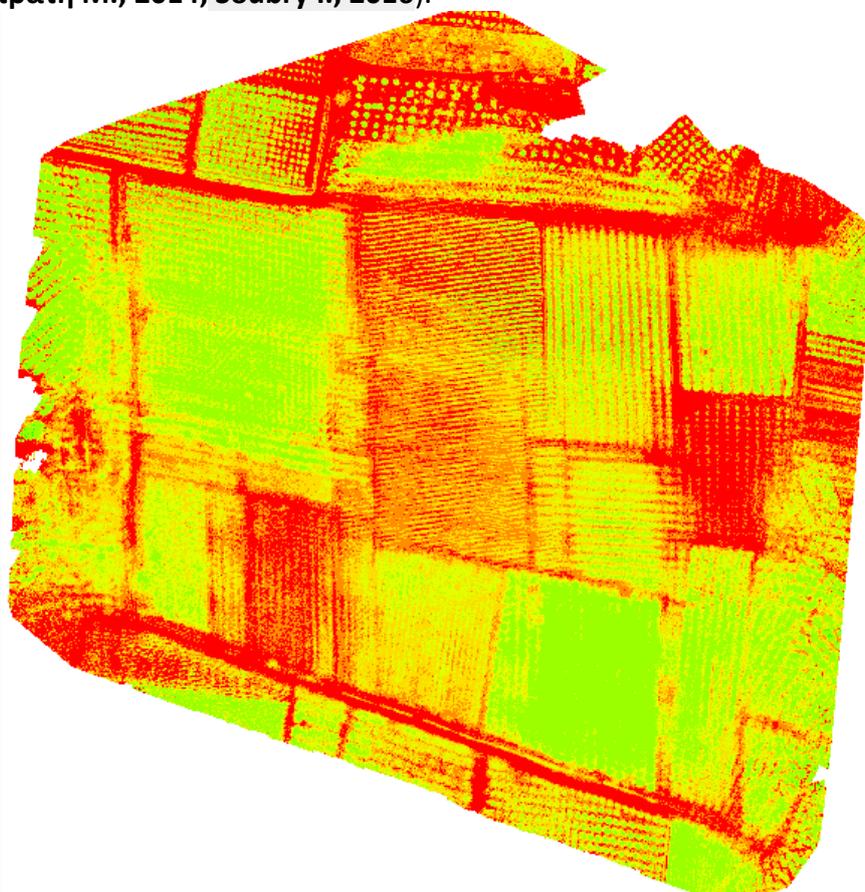


Figura 26: Índice de vegetación DVI

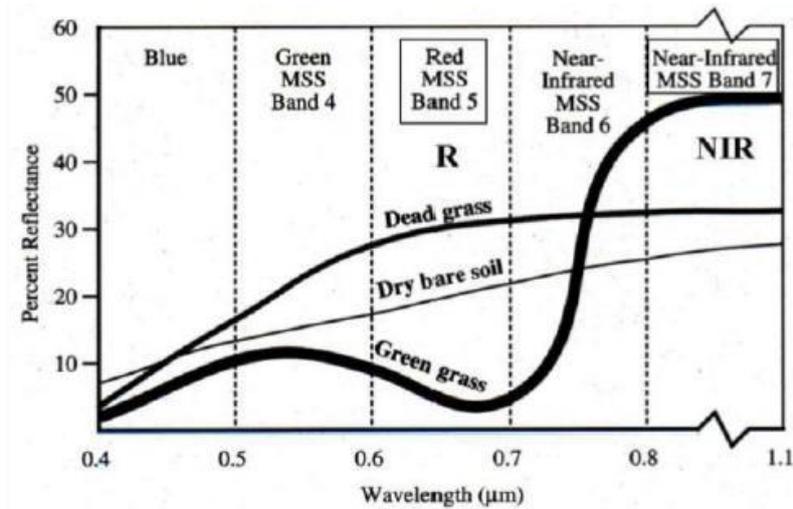


Figura 27: Firmas espectrales de la vegetación sana (Green grass), el suelo desnudo (Dry bare soil) y las hierbas secas (Dead grass).

- El NDVI (Índice de Vegetación Normalizado) es el índice de vegetación más conocido y el que más se usa. Se basa, en el contraste entre la máxima absorción al rojo debido a la clorofila y de la máxima reflectividad al infrarrojo que se genera a partir de la estructura celular de las hojas. Los valores se varían entre -1.0 y 1.0. Las superficies con estructura celular presentan valores positivos. También, el suelo desnudo presenta valores positivos cerca de 0 y las superficies de agua tienen valores negativos (Tabla 24). Además, la vegetación sana absorbe más roja reflectividad desde la vegetación no sana o estresada (Τσακίρη-Στρατή Μ., 2014, Soubry I., 2016). Así que un valor bajo, es un índice compulsivo, enfermedad de la planta o el estrés de ella debido a una escasez de agua (Παπαδογιαννάκης Ν. Λ., 2006, Soubry I., 2016).

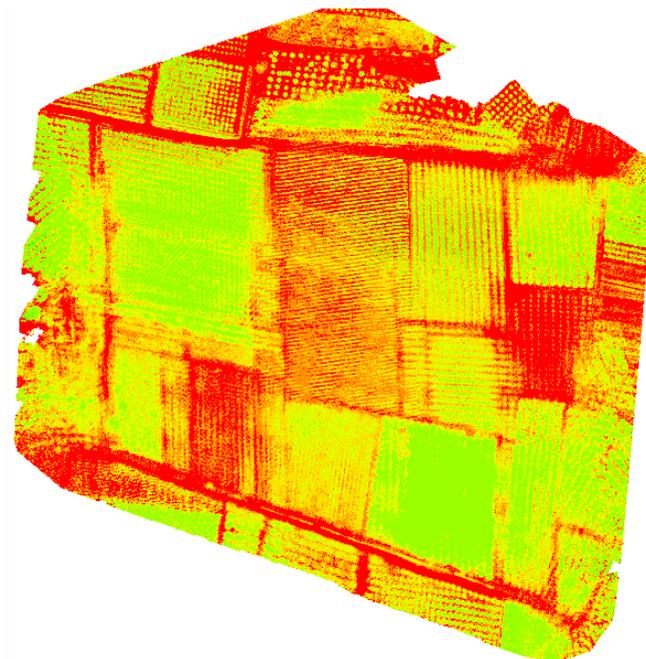


Figura 27: Índice de vegetación NDVI

Clasificación del índice NDVI	Tipo de cobertura	Cobertura mixta	Densidad de la cobertura vegetal
$NDVI < 0$	Nubes, Nieve		
$NDVI \leq 0$	Agua, Edificios, Calles		
$0 < NDVI \leq 0,1$	Tierra estéril, Edificios, Rocoso, Arenoso		
$0,1 < NDVI \leq 0,2$	Terreno al descubierto, Edificios, Calles		Baja
$0,2 < NDVI \leq 0,3$	Arbustos, Prado	Zonas mixtas con terreno al descubierto y con vegetación	Media
$0,3 < NDVI \leq 0,4$	Vegetación - Cultivos	Zonas mixtas con terreno al descubierto y con vegetación	Alta
$0,4 < NDVI \leq 0,5$	Vegetación - Cultivos	Zonas mixtas con terreno al descubierto y con vegetación	Muy Alta
$0,5 < NDVI$	Bosque, Cultivos	Cubierto solo con vegetación	Muy Alta

Tabla 24: Clasificación de NDVI

- El NDVI<sub>re</sub> (Diferencia Normalizada del Índice de Vegetación en el RedEdge) parecía ser el más eficaz para evaluar el contenido de clorofila para las naranjas según **Taskos D. G. et al., 2014 e Soubry I., 2016**. Este índice utiliza el espectro en RedEdge en lugar de Rojo.

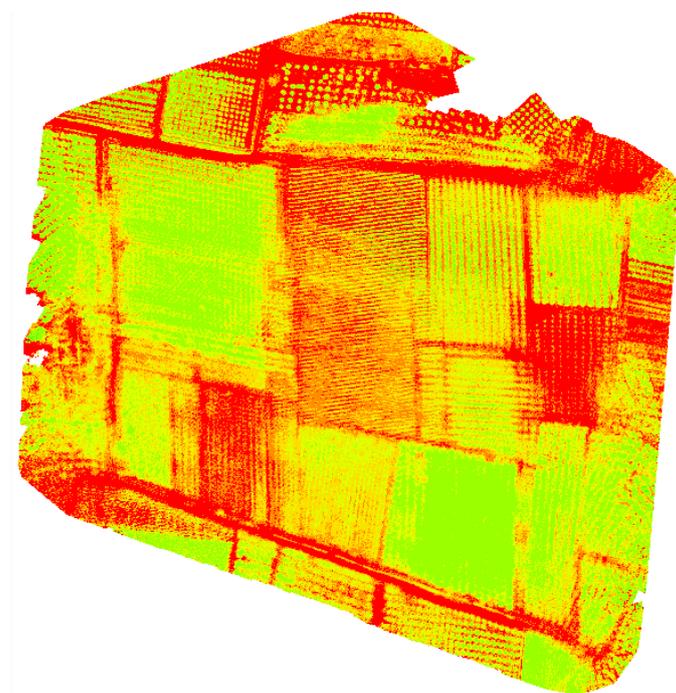


Figura 28: Índice de vegetación NDVIre

- El RDVI (Renormalizada diferencia del índice de vegetación), es el más sensible en comparación con el NDVI. Se usa en zonas donde la corona del follaje es densa y tiene múltiples capas. Este índice, combina las ventajas del índice DVI con el NDVI para los bajos y altos precios de LAI (Leaf Area Index) respectivamente (Κανδυλάκης Z., 2013, Soubry I., 2016).

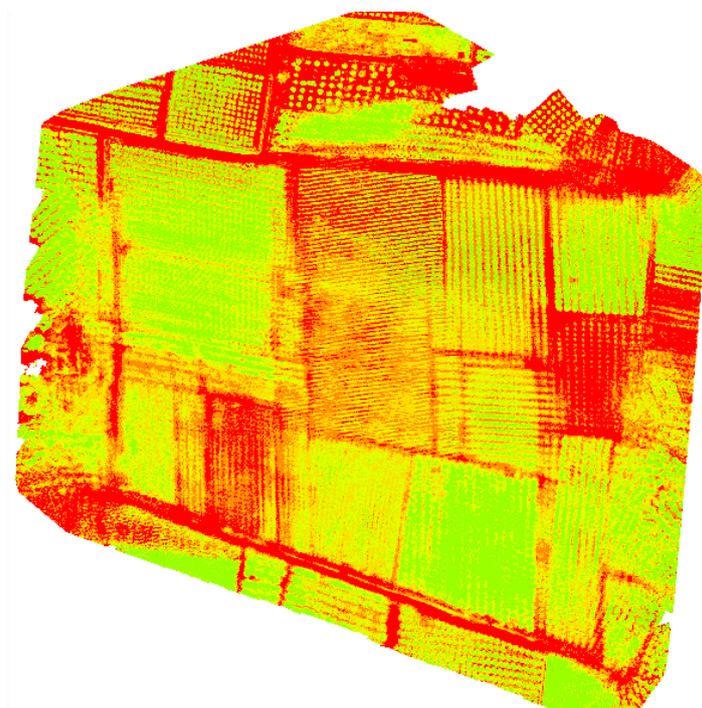


Figura 29: Índice de vegetación RDVI

- El GNDVI (Índice Verde Normalizado de la diferencia de la vegetación), se calcula con manera parecida que el NDVI, pero se utiliza la banda verde en vez del rojo. Se relaciona, con la radiación fotosintética cuantitativa absorbida y está linealmente correlacionada con el Índice de Área Foliar (LAI) y de la biomasa. Así que, el GNDVI es más sensible en la concentración de clorofila en relación con el NDVI y se varía entre 0 y 1.0 (Candiago S. et al., 2015, Soubry I., 2016).

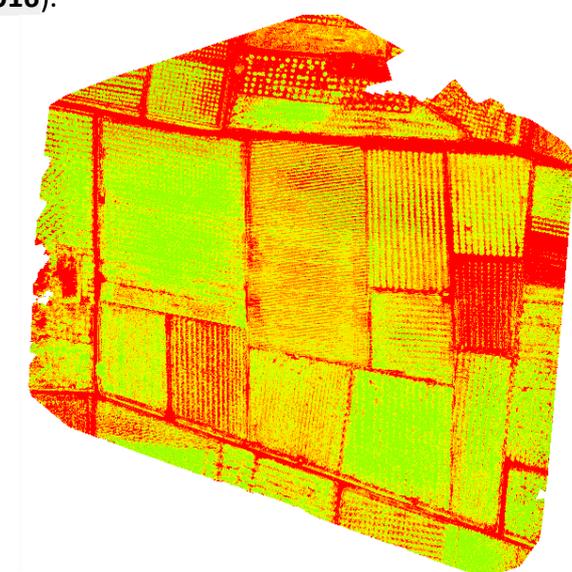


Figura 30: Índice de vegetación GNDVI

- El MSR (Modificada simple relación), se ha propuesto como una mejora del índice RDVI y presenta un aumento de sensibilidad en los parámetros de la biomasa de la vegetación (Κανδυλάκης Z., 2013, Soubry I., 2016).

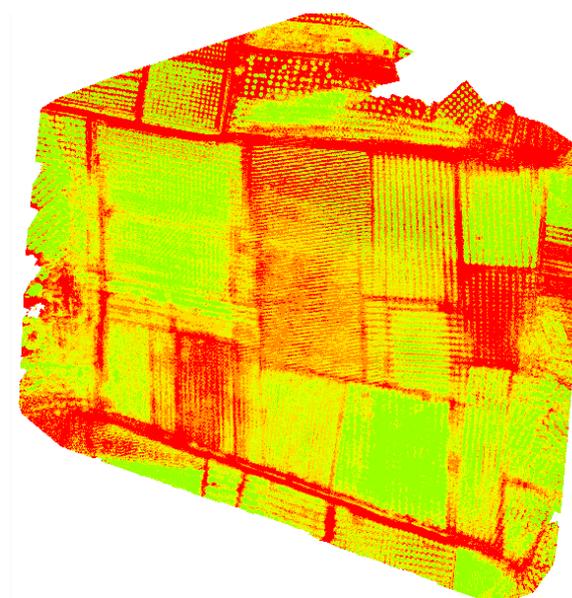


Figura 31: Índice de vegetación MSR

Pero como sabemos, los índices se calculan para toda la imagen y no distinguen muy bien el terreno con la vegetación. Por ese razón, se ha calculado un índice que reduce la influencia del terreno. Estos índices de vegetación con adaptación al terreno eran los siguientes:

- El índice OSAVI (Índice óptimo de vegetación con adaptación al terreno), reduce los efectos de fondo, es decir, el suelo. Este índice, incluye un factor de adaptación  $L$  para el fondo de la corona del follaje. Este factor, es una función de la densidad de vegetación y su cálculo que requiere un breve conocimiento del valor de la vegetación. Así que, el valor de la  $L$  es importante para minimizar los efectos de las propiedades ópticas del terreno en la reflectividad de la vegetación (Κανδυλάκης Z., 2013, Soubry I., 2016). Un valor alto de  $L$ , se usa en áreas con vegetación baja, mientras un valor bajo de  $L$  se usa para zonas de alta vegetación. En una investigación que realizaron los Candiago S. et al. 2015, se utilizó un índice bajo donde  $L=0.25$ , para una zona de naranjos y nos ha proporcionado buenos resultados.

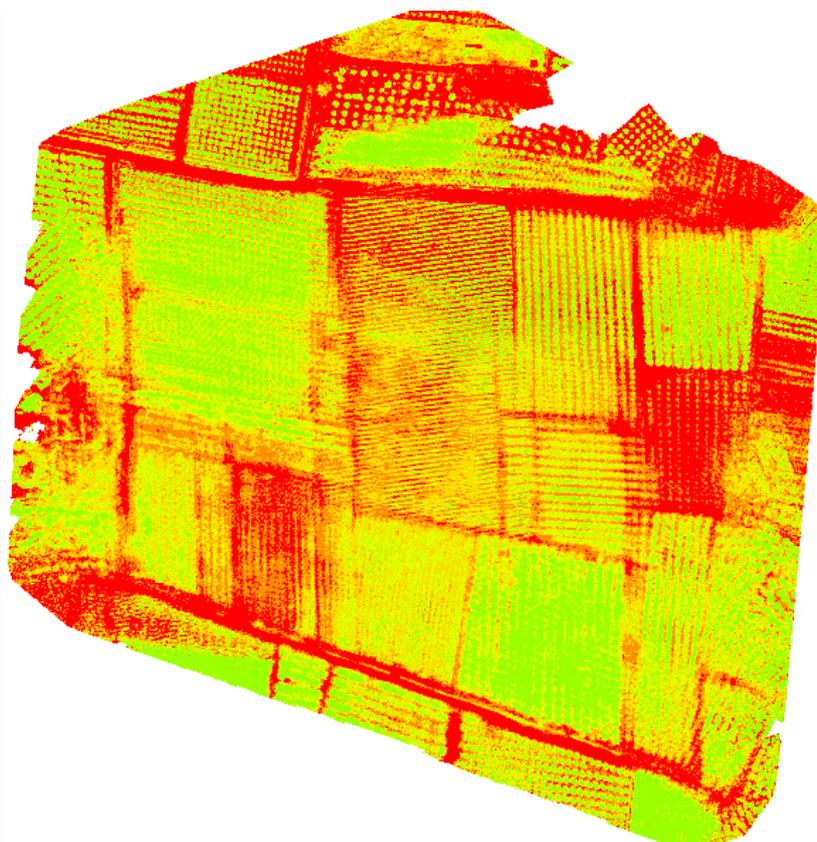


Figura 32: Índice de vegetación OSAVI

Con objetivo de estimar la concentración de clorofila en las hojas, se hizo el cálculo de unos índices de vegetación con influencia modificada de la clorofila. En concreto se calcularon los:

- El índice MCARI (Índice modificado debido a la absorción de la clorofila) que mide el tamaño de la absorción de la clorofila al rojo en relación con el máximo verde y la reflectividad en el rededge. Pero se debe subrayar que la baja concentración en clorofila puede interpretarse como una vegetación escasa. Así que, es imprescindible que el índice pueda combinarse con un índice sensible en la densidad de la vegetación y no a la absorción de la clorofila, como es algún índice triangular (**Melamed S., 2014, Soubry I., 2016**).

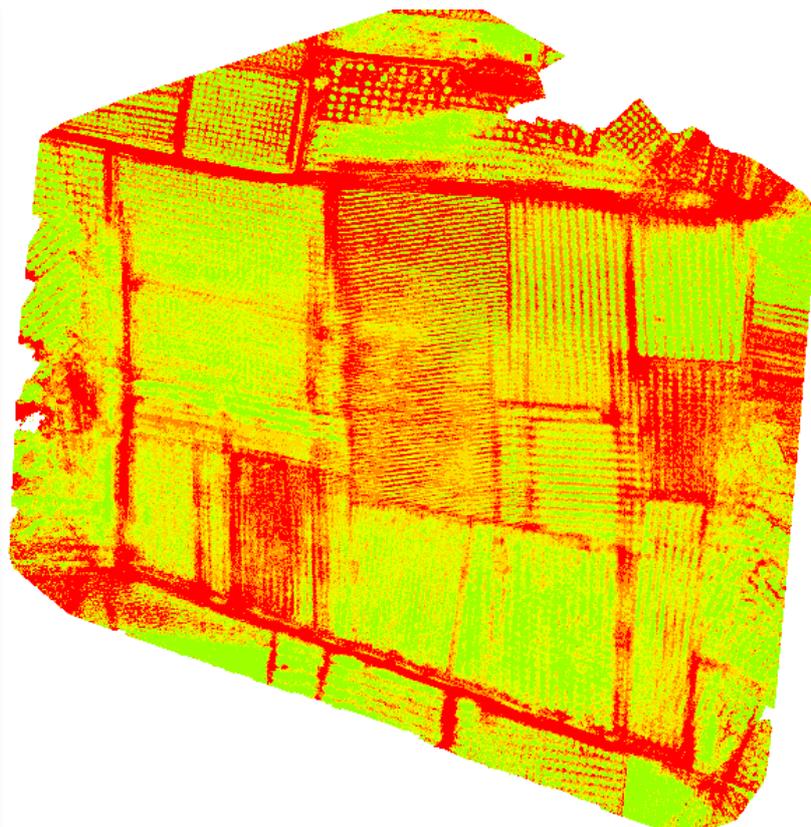


Figura 33: Índice de vegetación MCARI

- El índice TCARI (Índice modificado MCARI), se ha mostrado su importancia en estimar los niveles de la clorofila. En concreto, en la bibliografía internacional se está usando los TCARI/OSAVI (**Zarco-Tejada P. J., González-Dugo V., Berni J.A.J., 2011, Zarco-Tejada P.J. et al., 2013, Gago J. et al., 2015, Soubry I., 2016**), los cuales son sensibles en niveles de estrés e inafectados de la reflectividad del terreno.

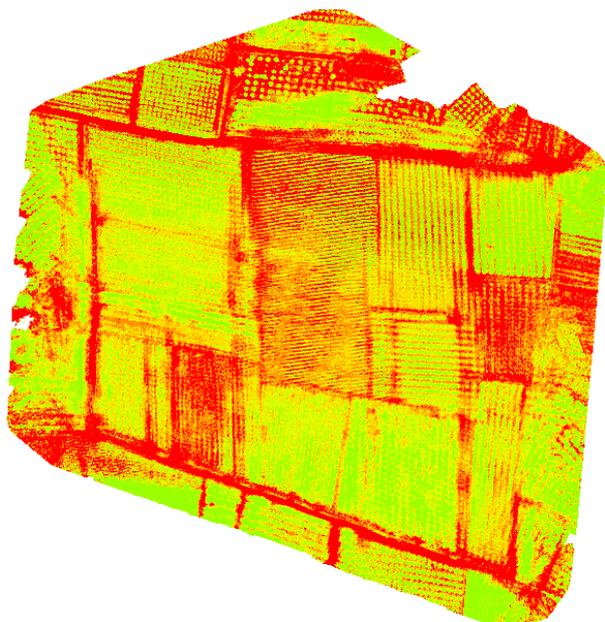


Figura 34: Índice de vegetación TCARI

Además, para las razones que se mencionaron anteriormente, fue importante el cálculo de un índice triangular de vegetación.

- El índice MTVI-1 (Índice de vegetación triangular modificado) tiene como objetivo de caracterizar la energía de la radiación que se absorbe de las crestas de las hojas. La diferencia relativa entre la roja y la rededge y en combinación con el tamaño de la reflectividad a la zona verde. Se determina como la triangular area que se define del pico de la verde radiación, del "hombro" del infrarrojo cercano y del mínimo de la reflexión en la zona de roja radiación. En general, la idea es que el area del triangulo (Verde, Rojo, Infrarrojo Cercano) se va a aumentar debido a la absorción de la clorofila (Reducción de la reflectividad roja) y de la abundancia de tejido de la planta (Aumento de la reflectividad en RedEdge) Pero también, el aumento de la concentración de la clorofila conduce hacia la reducción de la reflectividad del verde que conduce a una reducción relativa del area de triangulo.
- Los efectos indirectos de la clorofila en la reflectancia de la curva de la vegetación, pueden observarse alrededor de la brecha en el borde de la radiación roja y hasta 750 nm. De hecho, a medida que aumenta el contenido de clorofila, la absorción se expande y produce un desplazamiento hacia el rojo de las reflexiones en el borde de rojo. Por lo tanto, la reflectancia de la corona en 750 nm, todavía se ve afectada por el contenido de clorofila en las hojas. El índice MTVI-1 es menos sensible en los efectos de la clorofila y respondiendo más en variaciones de LAI verde y son más resistentes al efecto de suelo y a los efectos atmosféricos. (Κανδυλάκης Z., 2013, Soubry I., 2016)

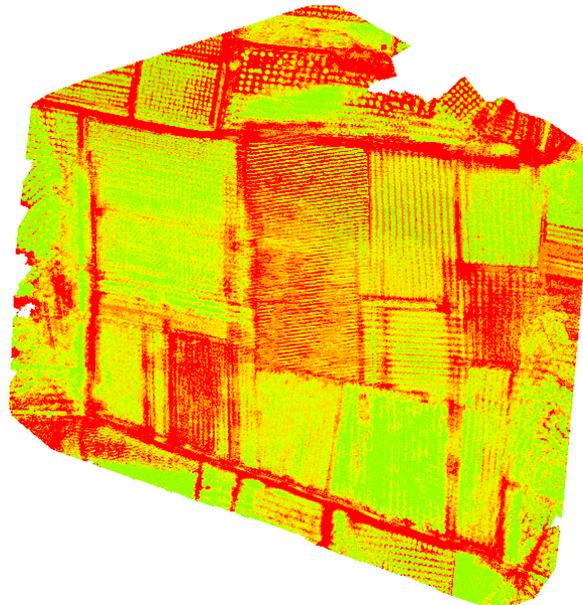


Figura 35: Índice de vegetación MTVI-1

- El índice CI (Índice de la Clorofila), según los resultados es el que más eficiencia tiene para la estimación de la concentración de clorofila en las hojas en comparación con el índice NDVI. (Taskos D.G. et al., 2014, Soubry I., 2016).

Finalmente, para los calculos de los anteriores índices se usaron las imagenes de la cámara "MicraSense 5 bands" en formato Tiff.

#### 4.6.2 Clasificación de los indicadores de las imágenes

A la continuación, después del calculo de los indices de la vegetación, se han creado unas estadísticas con los índices más importantes.

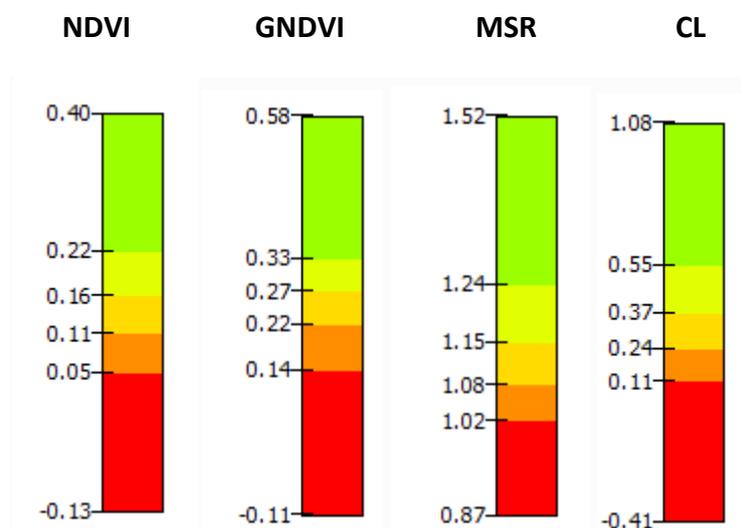


Figura 36: Estadísticas de los índices de vegetación

#### 4.7. Procesamiento de los datos con QGIS.

En este paso, he realizado una combinación del Ortomosaico que he sacado desde el procesamiento de Pix4D junto con imágenes de Google Maps y la Ortofoto de PNOA que descargué para el área de Algemésí. En concreto, a partir de la página de CNIG (Centro Nacional de Información Geografica) he recorrido para descargar la Ortofoto de Algemésí de máxima actualidad. El motivo era para comparar las diferencias si las hay para las zonas de los cultivos.

El proceso fue bastante simple, siguiendo unas instrucciones de un vídeo de Youtube llamado "**Pix4D, QGIS & GDAL Library for Manually Georeferencig Aerial Mosaics &Google Map Tiling**". En este video, se muestran con detalle los procedimientos que tenemos que seguir para llevar acabo este proceso.

Los pasos son los siguientes:

- Descargamos los Plugin "OpenLayers Plugin" en el QGIS.
- Descargamos los Plugin "Georeferencer".
- En el comando @Web vamos a OpenLayers plugin y elegimos en el Google Maps el Google Hybrid.
- En Raster clicamos el comando Georeferencer
- Georrefernciamos las imagenes
- Proceso finalizado

El resultado que nos proporciona este procesamiento es lo siguiente:



Figura 37: Ortomosaico con Google Hybrid

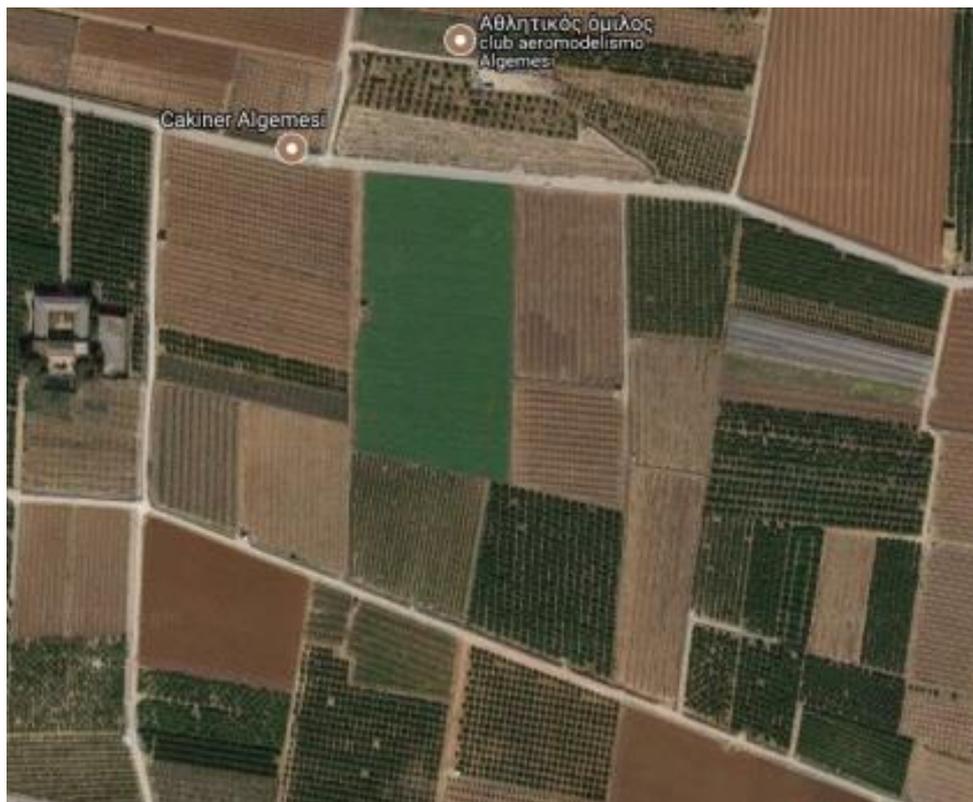


Figura 38: Google Hybrid sin Ortomosaico



Figura 39: PNOA Máxima Actualidad ETRS89 Huso 30 con Ortomosaico



Figura 40: PNOA Máxima Actualidad ETRS89 Huso 30 sin Ortomosaico

## 5. Análisis de los resultados

El análisis de los datos de teledetección se puede dividir en tres categorías generales: el análisis cuantitativo, el análisis cualitativo y la resolución óptica (la interpretación de las imágenes). En el primer caso se desea medir una variable, tal como el pH de la fruta. En el segundo caso se desea analizar un modelo, tal como el índice de vegetación (**Georgiadis C., 2010, Soubry I., 2016**). Y en el tercer caso es una cuestión de interpretación de la pintura o estructuras basadas en los resultados que aparecen en la imagen.

Basandonos en los resultados que he obtenido se puede destacar que ha sido un proyecto con éxito. Pero se pueden añadir unos parametros donde voy a explicar al siguiente capitulo, que mejorarían el proyecto.

Los índices que estudian el cambio de la estructura de las hojas debido al estrés hídrico son los DVI, NDVI, NDVIre, RDVI, GNDVI y el MSR. En mi caso, he realizado todos los procesos adecuados para tener una óptima solución al problema de los agricultores, pero no pude calcular el estrés hídrico debido a la falta de una cámara térmica. Así que, para un futuro proyecto sería ideal disponer de una cámara térmica para poder representar la zona con más detalles.

En mis resultados los índices DVI, NDVI, RDVI y el MSR eran muy similares entre ellos, pero el índice NDVIre ha mostrado grande diferencia en relación con los demás índices. La distribución de las clases parece ser un poco diferentes de NDVI, pero sin embargo se ha comentado que es el más eficaz en la evaluación del contenido de naranjos en la clorofila.

El índice GNDVI presenta parecidos valores que el NDVI. Como se ha comentado anteriormente durante el vuelo no tuvimos una cámara térmica para detectar con precisión el estrés hídrico, pero con las formulas de TCARI, OSAVI, MCARI, MTVI-1 obtenemos unos mapas del estrés hídrico y la vegetación sana que existe en los cultivos.

Sobre el índice de clorofila (CI), parece que muestra la presencia de clorofila en toda el área de estudio, especialmente niveles medios y algunas areas en las cuales es muy alta.

A base de los anteriores procesos y resultados parece que el calculo de los índices es una buena manera para interpretar la evolución y la optimización de las naranjas. Pero, las diferenciaciones en los valores de los índices de vegetación en la zona de los cultivos puede ser también provocada por las propiedades del suelo, como es la diferenciación topográfica, la estructura y las capas del suelo, la concentración de la materia orgánica del suelo, la humedad del suelo, la concentración de nutrientes del suelo y el pH del suelo (**Ευαγγέλου Λ., Τσαντίλας Χ., 2012, Soubry I., 2016**).

Finalmente todos los resultados deben comprobarse en el terreno, junto con los agrcultores y unos especialistas agrónomos para evaluar todo este proceso.

El error RMS (Root Mean Square) es del orden de 8 cm aproximadamente y con un error de pixel igual a 6 cm.

## 6. Conclusión

Finalmente, se presentan las conclusiones que se han extraído después de la evaluación de los resultados. También se presentan propuestas para futuras investigaciones, como ocurrieron con el desarrollo del tema.

Principalmente, es importante destacar que la precisión final geométrica del producto fue muy buena para los objetivos de dicha investigación. Este análisis, es aprobado por los agrónomos que ponen unos limitaciones para la calidad del producto. Así que, los mapas finales que se obtuvieron tenían una precisión decisiva para la fase de análisis de los datos.

Con una simple vista se puede aclarar, que el uso de un UAV para una monitorización y optimización del suelo para la vegetación de los cultivos, nos garantiza una precisión geométrica mejor que las imágenes de satélites y reduce significativamente el coste de la ejecución. La baja altitud del vuelo en relación con otras plataformas aéreas mejora la calidad de las imágenes porque tenemos un error menor. Lo importante es realizar más vuelos para capturar una grande zona porque estamos limitados con el tiempo de vuelo debido a las baterías y el espacio que es pequeño para capturarse por solo un vuelo. Finalmente, el tema de estabilidad y la resistencia es un factor muy semántico que depende mucho del viento aunque se mejoraron mucho las características los últimos años.

### 6.1 Discusión

La idea me ha surgido, después de ir a un congreso. En concreto, el mes de Octubre de 2016 fuí al INTERGEO en Hamburgo y ahí he visto como se mueve el mercado actual. Ahí he hablado con compañías y empresas y me convencieron que el uso de Fotogrametría con Drones es el presente y el futuro. Todo esto me ha motivado a realizar este tipo de trabajo final de grado.

Las dificultades siempre existen, pero tenemos la tecnología para facilitar nuestra vida. La teoría que aprendemos, es necesario aplicarla y practicarla, sino es inútil. Todos estos años de aprendizaje en la facultad de Topografía han sido desarrollados en este proyecto y por eso tengo la necesidad concluyendo este proyecto de agradecer a mis mentores y a mis profesores.

Finalmente, todo este proceso como dijimos en el principio, consiste en ayudar a los agricultores de mejorar sus cultivos y ampliar sus producciones. La investigación será comprobada por los agricultores y unos agrónomos específicos desde un portátil o móvil, donde les enseñara en la pantalla la zona de los cultivos sanos y estresados. La prueba debe tener un porcentaje superior al 70 % para podemos afinir que tuvo éxito.

### *6.2 Sugerencias para futuras investigaciones*

Durante el desarrollo del proyecto, se crearon unas dudas e ideas que se pudieron resolver para un futuro trabajo. En consecuencia, las recomendaciones principales para el estudio adicional del sujeto consisten en:

Realizar otro tipo de vuelo donde lo ideal sería de hacerlo con el drone eBee RTK de la compañía SenseFly que ahora actualmente en el mercado es el más potente, junto con la cámara de MicraSense. También, es necesario tener una cámara térmica para poder representar el estrés hídrico con buena precisión. Así vamos a tener una óptima investigación con resultados mejores de los actuales.

## 7. Bibliografía

- Aber, J. S., Aaviksoo, K., Karofeld, E., & Aber, S. W. (2002).** Patterns in Estonian bogs as depicted in color kite aerial photographs. *Suo*, 53, 1–15.
- Agati G., D’Onofrio C., Ducci E., Cuzzola A., Remorini D., Tuccio L., Lazzini F., Mattii G., 2013.** Potential of a Multiparametric Optical Sensor for Determining in Situ the Maturity Components, American Chemical Society, Journal of Agricultural and Food Chemistry
- Baluja J., Diago M. P., Balda P., Zorer R., Meggio F., Morales F., Tardaguila J., 2012.** Thermal and multispectral imagery using an unmanned aerial vehicle (UAV), Article in Irrigation Science, Vol .30, pp.511-522
- Berni, J., Zarco-Tejada, P., Suarez, L., & Fereres, E. (2009).** Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions*, 47(3), 722–738.
- Candiago S., Remondino F., De Giglio M., Dubbini M., Gattelli M., 2015.** Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images, *Remote Sensing*, Vol. 7, pp. 4026-4047
- Del Pozo S., Rodríguez-González P., Hernández-López D., Felipe-García B., 2014.** Vicarious Radiometric Calibration of a Multispectral Camera on Board an Unmanned Aerial System, *Remote Sensing*, Vol. 6, pp. 1918-1937
- Eisenbeis H., 2009.** UAV Photogrammetry, University of Technology Dresden, Zurich, pp. 36
- Everaerts J., 2008.** The Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVS) for Remote Sensing and Mapping, In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ISPRS Congress, Beijing, China, XXXVII. Part B1, pp. 1187-1192.
- Gago J., Douthe C., Coopman R.E., Gallego P.P., Ribas-Carbo M., Flexas J., Escalona J., Medrano H., 2015.** UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture, *Agricultural water management*, Elsevier, Vol. 153, pp. 9-19
- Garner D., Crisosto C. H., Wiley P., Crisosto G. M.** Measurement of Soluble Solids Content
- Haboudane D., Millera R. J., Tremblay N., Zarco-Tejada P. J., Dextraze L., 2002.** Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content

for application to precision agriculture, Elsevier, Remote Sensing of Environment, Vol.81, pp. 416-426

**He J., Li Y. & Zhang K., 2012.** Research of UAV Flight Planning Parameters, Scientific Research, Positioning, Vol. 3, pp. 43-45

**Huang Y., Lan Y., Hoffmann W.C., 2008.** Use of Airborne Multi-Spectral Imagery for Areawide Pest Management, Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal, Vol. 10, pp. 1-14

**Hunt E. R. Jr., Hively W. D., Fujikawa S.J., Linden D. S., Daughtry C. S. T., Mc Carty G. W., 2010.** Acquisition of NIR-Green-Blue Digital Photographs from Unmanned Aircraft for Crop Monitoring, Remote Sensing, Vol. 2, pp. 290-305

**Hunt E. R. Jr., Doraiswamy P. C., McMurtrey J. E., Daughtry C. S.T., Perry E. M., Akhmedov B., 2012.** A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Elsevier, Vol. 21, pp. 103-112

**Ihse M., 2007.** Colour infrared aerial photography as a tool for vegetation mapping and change detection in environmental studies of Nordic ecosystems: A review, Norsk Geografisk Tidsskrift\_Norwegian Journal of Geography Vol. 61, Oslo, pp. 170-191.

**Johnson L. F., Roczen D. E., Youkhana S. K., Nemani R. R., Bosch D. F., 2002.** Mapping leaf area with multispectral satellite imagery, Elsevier: Computers and electronics in Agriculture, Vol. 38, pp. 33-44

**Johnson L. F., Herwitz S., Dunagana S., Lobitz B., Sullivana D., Slyea R., 2003.** Collection of Ultra High Spatial and Spectral Resolution Image Data over California with a Small UAV, Remote Sensing of Environment, pp. 1

**Knoth C., Prinz T., Loef P., 2010.** Microcopter-Based Color Infrared (CIR) Close Range Remote Sensing as a Subsidiary Tool for Precision Farming, Germany, pp. 1-7

**Laliberte A. S., Goforth M. A., Steele C. M., Rango A., 2011.** Multispectral Remote Sensing from Unmanned Aircraft: Image Processing Workflows and Applications for Rangeland Environments, Remote Sensing, Vol. 3, pp. 2529-2551

**Laliberte A. S., Rango A., 2011.** Image Processing and Classification Procedures for Analysis of Sub-decimeter Imagery Acquired with an Unmanned Aircraft over Arid Rangelands, GIScience & Remote Sensing, Vol. 48, No. 1, pp. 4-23

- Lamb D. W., Weedon M. M., Bramley R. G. V., 2004.** Using remote sensing to predict phenolics and colour: Timing observations against vine phenology and optimising image resolution, *Australian Journal Research*, vol. 10, pp. 46–54
- Martinez-Casasnovas J. A., Agelet-Fernandez J., Arno J., Ramos M. C., 2012.** Analysis differential management zones and relation to development and quality, *Spanish Journal of Agricultural Research*, Vol 10, No 2, pp.1
- Melamed S., 2014. Get More From Imagery,** Using Remotely Sensed Data for Efficient Crop Monitoring, Case Study, *PCI Geomatics*
- Mulla D. J., 2012.** Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps, *Elsevier: Sensing in Agriculture, USA*, pp. 358-371
- Nebiker S., Annen A., Scherrer M., Oesch D., 2008.** A light-weight multispectral sensor for micro UAV – opportunities for very high resolution airborne remote sensing, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B1, Beijing, China, pp. 1-8
- Neumann J. K., 2004.** Digital Aerial Cameras, *Intergraph Z/I Deutschland GmbH, Germany*, pp. 1-5
- Rahman I. M., Hasewaga H. (Editors), 2012.** Water Stress, *InTech*, pp. 7-12
- Remondino F., Barazzetti L., Nex F., Scaioni M., Sarazzi D., 2011.** UAV Photogrammetry for mapping and 3d modeling- current status and future perspectives, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 38, No 1, *ISPRS Zurich 2011 Workshop*, 14-16 September 2011, Zurich, Switzerland, pp. 25-31
- Rossi,C, Stanley Best, Salomon Montesinos.** Pose estimation with multiple sources using algorithms.
- Salamí E., Barrado C., Pastor E., 2014.** UAV Flight Experiments Applied to the Remote Sensing of Vegetated Areas, *Remote Sensing*, Vol. 6, pp. 11051-11081
- Semmens K. A., Anderson M. C., Kustas W. P., Feng Gao, Alfieri J. G., Lynn McKee, Prueger J. H., Hain C. R., Cammalleri C., Yang Y., Xia T., Sanchez L., Alsina M. M., Vélez M., 2015.** Monitoring daily evapotranspiration over California using Landsat 8 in a multi-sensor data fusion approach, *Remote Sensing of Environment*, Elsevier, pp. 1-16
- Soubry I., 2016.** Monitoring vineyards with UAV and Multispectral/Infrared/RGB camera – Assessment of water stress and grape maturity, *Thesis dissertation*,

Aristotle University of Thessaloniki (AUTH), Department of Cadastre,  
Photogrammetry and Cartography (DCPC), Thessaloniki, Greece, pp. 1-117

**Taskos D.G., Koundouras S., Stamatiadis S., Zioziou E., Nikolaou N., Karakioulakis K., Theodorou N., 2014.** Using active canopy sensors and chlorophyll meters to estimate grapevine nitrogen status and productivity, Springer Science & Business Media New York, Precision Agriculture, Vol. 16, pp. 77-98

**Tenkorangl F., Lowenberg-DoBoer J., 2008.** On-Farm Profitability of Remote Sensing in Agriculture, In: The Journal of Terrestrial Observation, Vol. 1, No 1, pp.1

**Turner D., Lucieer A., Malenovský Z., King D. H., Robinson S. A., 2014.** Spatial Co-Registration of Ultra-High Resolution Visible, Multispectral and Thermal Images Acquired with a Micro-UAV over Antarctic Moss Beds, Remote Sensing, Vol. 6, pp.4003-4024

**van Blyenburgh P., 1999.** UAVs: and Overview, In: Air & Space Europe, Vol. 1, No 5/6, pp.43-47

**van Blyenburgh P., 2008.** Unmanned Aircraft Systems: The Current Situation, EASA UAS Workshop, Paris, pp. 4

**Xiang H. & Tian L., 2011.** Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV), Biosystems Engineering, Vol. 108, No 2, pp. 174-190

**Zarco-Tejada P. J., Berjon A., Lopez-Lozano R., Miller J. R., Martin P., Cachorro V., Gonzalez M. R., de Frutos A., 2005.** Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and Canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy, Remote Sensing of Environment, Elsevier, Vol 99, pp. 271-287

**Zarco-Tejada P. J., González-Dugo V., Berni J.A.J., 2011.** Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera, Remote Sensing of Environment, Elsevier, Vol. 117, pp. 322-337

**Zarco-Tejada P.J., González-Dugo V., Williams L.E., Suárez L., Berni J.A.J., Goldhamer D., Fereres E., 2013.** A PRI-based water stress index combining structural and chlorophyll effects: Assessment using diurnal narrow-band airborne imagery and the CWSI thermal index, Remote Sensing of Environment, Elsevier, Vol.138, pp.38-50

**Γεωργιάδης Γ., 2010.** Βιοπαρακολούθηση των Προστατευόμενων Περιοχών του Δικτύου Φύση 2000 με Σύγχρονες Μεθόδους Τηλεπισκόπησης και Τηλεμετρίας, Πανεπιστήμιο Πατρών: Τμήμα Φυσικής Δ.Π.Μ.Σ. στην Ηλεκτρονική και Επεξεργασία της Πληροφορίας, Πάτρα, σελ., 27-29

- Δερμάνης Α., 1991.** Αναλυτική Φωτογραμμετρία, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ.161-168
- Ευαγγέλου Λ., Τσαντίλας Χ., 2012.** Γεωργία Ακριβείας: Αποτελέσματα πειραματικών εφαρμογών σε καλλιέργεια βάμβακος στη Θεσσαλία, Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης εδαφών Λάρισας, Αθήνα, σελ. 9
- Σκιανής Γ., Νικολακόπουλος Κ., Βαϊόπουλος Δ., 2012.** Τηλεπισκόπηση: Αρχές, Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας, Εφαρμογές, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, σελ. 19-21
- Κανδυλάκης Ζ., 2013.** Διερεύνηση και Αξιολόγηση Τηλεπισκοπικών Δεδομένων Υψηλής Χωρικής Ανάλυσης. Διπλωματική Εργασία, Αθήνα
- Καρακίζη Χ., 2013.** Αμπελουργία Ακριβείας: Εντοπισμός και Διαχωρισμός ποικιλιών με Τηλεπισκοπικές μεθόδους, Εισήγηση Διπλωματικής εργασίας, Αθήνα, σελ. 1-11
- Καρτάλης Κ., Φείδας Χ., 2013.** Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα, σελ.115, 275-293
- Λιβιεράτος Ε., 1988.** Γενική Χαρτογραφία + εισαγωγή στη Θεματική Χαρτογραφία, Κεφάλαιο 8: Χαρτογραφικές Εφαρμογές, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 126
- Πατιάς Π., 1991.** Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 169-174
- Πατιάς Π., 2015.** Επεξεργασία Ψηφιακής Εικόνας-Τελεστές, Παραδόσεις μαθήματος Ψηφιακής Φωτογραμμετρίας, Θεσσαλονίκη, σελ. 17
- Τσακίρη-Στρατή Μ., 2014.** Τηλεπισκόπηση, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις για τους φοιτητές του 6ου εξαμήνου, Θεσσαλονίκη, σελ. 142-146
- Φλιούκα Π., 2013.** Τηλεκατευθυνόμενα μη επανδρωμένα συστήματα λήψης εικόνων για τη θεματική και μετρητική τεκμηρίωση του αστικού και περιαστικού χώρου, Διπλωματική εργασία, Θεσσαλονίκη, σελ. 1-53
- Φωτίου Ι., 2009.** Γεωμετρική Γεωδαισία, Θεωρία Και Πράξη, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 71-72
- Φωτίου Ι., Πικριδάς Κ., 2012.** GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές, Εκδόσεις Ζήτη, Δεύτερη Έκδοση, Θεσσαλονίκη, σελ.237
- Agisoft, 2017.** Agisoft PhotoScan User Manual, Professional Edition, Version 1.2, <http://www.agisoft.com/downloads/installer>
- Agrocert, 2016** <http://www.agrocert.gr/pages/content.asp?cntID=31&catID=16>

**Pix4D support site, 2017, Pix4D mapper Pro** <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557969-Pix4Dmapper-Software-Manual-Table-View#gsc.tab=0>

**MicraSense**, [www.micrasense.com](http://www.micrasense.com)

**Cnig**, [www.cnig.es](http://www.cnig.es)

<https://www.comenaranjas.com/es/>

[http://envira.es/sostenible/es/sector/smart-farms/?gclid=COP77O2p\\_tQCFcOfGwodtbYAjA](http://envira.es/sostenible/es/sector/smart-farms/?gclid=COP77O2p_tQCFcOfGwodtbYAjA)

<http://www.revistamercados.com/noticia/la-agricultura-precision-ya-una-pieza-clave-desarrollo-del-medio-rural/>

<https://www.naranjasdelcarmen.com/blog/el-exprimidor/2015/05/07/anatomia-de-una-naranja/>

<http://geajuridicas.com/traduccion-juridica-y-legal/NARANJAS-AGRICULTURA>

<http://www.agronegocios.es/la-agricultura-precision-una-revolucion-cobra-sentido-la-figura-del-asesor-tecnico/>

[http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM\\_Juan\\_Diaz\\_Cervignon.pdf](http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf)

<http://www.agroinformacion.com/la-igp-naranja-de-valencia-obtiene-el-premio-oro-por-la-asociacion-de-disenadores-de-la-comunitat-valenciana/>

[http://www.dsie.upct.es/proyectos/web\\_sicori/pdf/publicacion\\_11.pdf](http://www.dsie.upct.es/proyectos/web_sicori/pdf/publicacion_11.pdf)

<http://www.redalyc.org/html/849/84925149009/>

<http://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/130783-Cambios-transcriptoma-frutos-naranja-Navelate-respuesta-estres-hidrico-generado-cambios.html>

<http://search.proquest.com/openview/ad6f35b6a55ef43eaac4894ad05dbdd9/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1818083>

[http://oa.upm.es/2146/1/INVE\\_MEM\\_2008\\_52952.pdf](http://oa.upm.es/2146/1/INVE_MEM_2008_52952.pdf)

## 8. Presupuesto

DISEÑO EN EL GABINETE	100	€
REPLANTEO CON GPS	350	€
VUELO CON UAV	1000	€
RESULTADOS EN EL GABINETE CON SOFTWARE	500	€
IMPRIMIR LOS RESULTADOS	200	€
GASTOS EN TRANSPORTE Y GABINETE	250	€
TOTAL	2400	€

Tabla 25: Presupuesto del proyecto

## 9. ANEXO

## 9.1 Coordenadas de los puntos de control

MONITORIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE TIERRAS CON DRONES Y FOTOGRAMETRÍA AÉREA  
PARA APLICACIONES DE PRECISIÓN EN AGRICULTURA

Id de punto	X local	Y local	Alt. elipsoidal	Desv. Est. E	Desv. Est. N	Desv. Est. Alt
RTCM-Ref 0839	720420,554	4346274,981	75,986	0	0	0
1	720418,733	4346272,429	75,572	0,008	0,007	0,02
2	720419,809	4346278,642	75,483	0,008	0,007	0,02
3	720413,33	4346273,292	75,637	0,008	0,008	0,024
4	720414,468	4346280,127	75,467	0,011	0,01	0,026
5	720417,822	4346272,628	75,484	0,007	0,008	0,02
6	720416,605	4346231,774	75,716	0,011	0,01	0,024
7	720417,712	4346231,77	75,615	0,009	0,009	0,021
8	720412,412	4346231,387	75,743	0,008	0,008	0,02
9	720417,498	4346209,76	75,801	0,012	0,011	0,034
10	720421,506	4346209,673	75,103	0,009	0,009	0,021
11	720421,531	4346200,465	75,341	0,107	0,081	0,22
12	720417,146	4346200,863	76,286	0,227	0,168	0,41
13	720411,864	4346201,539	75,839	0,008	0,009	0,02
14	720416	4346167,76	76,023	0,022	0,017	0,041
15	720416,781	4346167,811	75,739	0,01	0,009	0,021
16	720412,108	4346167,403	76,112	0,025	0,016	0,034
17	720417,098	4346137,839	75,943	0,011	0,012	0,026
18	720417,645	4346137,963	75,742	0,014	0,017	0,032
19	720412,573	4346137,911	76,033	0,012	0,01	0,029
20	720417,201	4346123,335	76,041	0,009	0,01	0,022
21	720417,834	4346123,224	75,836	0,009	0,01	0,023
22	720412,871	4346120,612	76,186	0,01	0,011	0,025
23	720411,219	4346120,482	76,732	0,01	0,016	0,026
24	720414,975	4346099,007	76,024	0,007	0,008	0,019
25	720415,664	4346099,106	75,863	0,009	0,01	0,023
26	720411,03	4346099,126	76,189	0,007	0,007	0,016
27	720414,781	4346072,891	75,946	0,012	0,014	0,03
28	720415,362	4346073,16	75,841	0,007	0,007	0,017
29	720410,873	4346072,857	75,791	0,01	0,01	0,025
30	720416,221	4346045,526	76,071	0,007	0,007	0,017
31	720417,161	4346044,562	76,016	0,007	0,007	0,017
32	720415,986	4346044,135	75,951	0,007	0,007	0,018
33	720417,322	4346043,581	75,804	0,007	0,007	0,016
34	720416,848	4346042,605	75,863	0,008	0,008	0,019
35	720410,683	4346047,685	75,75	0,006	0,007	0,016
36	720415,536	4346039,113	75,711	0,007	0,008	0,018
37	720411,901	4346035,17	75,339	0,006	0,007	0,016
38	720409,286	4346036,336	75,409	0,006	0,006	0,014
39	720409,524	4346038,687	75,645	0,008	0,008	0,021
40	720406,648	4346041,621	75,9	0,006	0,007	0,016
41	720437,614	4346035,163	75,628	0,007	0,008	0,018
42	720437,132	4346031,946	75,502	0,009	0,01	0,023
43	720445,78	4346034,79	75,696	0,007	0,008	0,017
44	720469,263	4346025,644	75,506	0,007	0,008	0,017
45	720468,381	4346023,512	75,531	0,008	0,009	0,019

MONITORIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE TIERRAS CON DRONES Y FOTOGRAMETRÍA AÉREA  
PARA APLICACIONES DE PRECISIÓN EN AGRICULTURA

46	720467,024	4346020,93	75,551	0,008	0,011	0,022
47	720477,833	4346020,304	75,566	0,006	0,007	0,014
48	720477,301	4346023,068	75,615	0,008	0,01	0,02
49	720477,566	4346023,963	75,589	0,008	0,009	0,019
50	720479,01	4346023,528	75,512	0,006	0,008	0,016
51	720478,752	4346022,649	75,548	0,007	0,008	0,018
52	720478,445	4346022,429	75,48	0,007	0,008	0,017
53	720516,213	4346003,314	75,592	0,007	0,009	0,018
54	720516,182	4346006,542	75,44	0,007	0,008	0,017
55	720516,301	4346007,279	75,392	0,006	0,007	0,015
56	720517,113	4346006,209	75,385	0,013	0,017	0,033
57	720517,255	4346007,028	75,431	0,006	0,007	0,015
58	720535,337	4345999,444	75,487	0,006	0,007	0,014
59	720536,035	4345999,157	75,518	0,006	0,007	0,015
60	720534,41	4345996,356	75,415	0,007	0,008	0,017
RTCM-Ref 0850	720420,554	4346274,981	75,986	0	0	0
61	720609,219	4345973,029	75,425	0,007	0,008	0,016
62	720609,921	4345972,918	75,443	0,007	0,009	0,018
63	720608,997	4345969,271	75,436	0,007	0,008	0,017
64	720680,791	4345947,533	75,303	0,008	0,008	0,018
65	720679,472	4345942,64	75,353	0,007	0,008	0,017
RTCM-Ref 0838	720420,554	4346274,981	75,986	0	0	0
66	720702,136	4345939,62	75,365	0,007	0,008	0,016
67	720702,795	4345939,387	75,322	0,008	0,009	0,018
68	720701,146	4345934,794	75,364	0,007	0,008	0,017
69	720708,056	4345932,292	75,36	0,008	0,01	0,02
70	720708,337	4345933,244	75,224	0,007	0,009	0,019
71	720739,215	4345922,322	74,985	0,007	0,008	0,017
72	720738,909	4345926,983	75,015	0,007	0,009	0,017
73	720740,792	4345926,452	74,995	0,006	0,008	0,016
74	720716,099	4345936,81	74,832	0,007	0,01	0,018
75	720702,431	4345941,565	75,198	0,006	0,008	0,016
76	720702,851	4345941,462	74,95	0,007	0,009	0,017
77	720705,502	4346007,474	74,785	0,007	0,009	0,018
78	720704,882	4346007,434	75,011	0,008	0,01	0,02
79	720706,22	4346047,012	74,938	0,008	0,011	0,023
80	720706,51	4346046,962	74,767	0,008	0,01	0,021
81	720707,315	4346077,406	74,92	0,009	0,011	0,022
82	720707,93	4346076,459	74,838	0,009	0,011	0,024
83	720708,694	4346077,101	74,769	0,009	0,013	0,025
84	720711,88	4346076,6	75,017	0,01	0,014	0,025
85	720712,02	4346081,885	75,043	0,009	0,012	0,024
86	720709,705	4346081,814	75,039	0,008	0,013	0,022
87	720709,614	4346082,89	75,072	0,008	0,011	0,021
88	720708,437	4346082,885	75,083	0,009	0,012	0,025
89	720739,921	4345928,7	74,941	0,008	0,011	0,02
90	720740,856	4345928,457	74,889	0,008	0,013	0,02

MONITORIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE TIERRAS CON DRONES Y FOTOGRAMETRÍA AÉREA  
PARA APLICACIONES DE PRECISIÓN EN AGRICULTURA

91	720752,417	4346046,899	74,137	0,006	0,01	0,016
92	720751,678	4346046,923	74,556	0,007	0,011	0,017
93	720753,282	4346070,878	74,486	0,006	0,007	0,014
94	720753,385	4346071,401	74,312	0,005	0,008	0,015
95	720756,192	4346071,025	74,033	0,006	0,008	0,016
96	720760,936	4346116,687	74,139	0,007	0,009	0,019
97	720760,478	4346118,11	74,197	0,007	0,01	0,018
98	720761,639	4346116,744	73,73	0,007	0,009	0,017
99	720761,103	4346118,284	73,802	0,006	0,008	0,016
100	720763,957	4346151,422	74,187	0,007	0,01	0,021
101	720764,355	4346151,637	73,505	0,007	0,009	0,018
102	720770,516	4346224,234	73,741	0,005	0,008	0,013
103	720771,088	4346224,184	73,308	0,005	0,007	0,013
104	720771,48	4346234,941	73,719	0,005	0,008	0,014
105	720771,406	4346241,188	73,476	0,005	0,008	0,016
106	720769,277	4346243,808	73,504	0,005	0,007	0,015
107	720761,751	4346244,799	73,547	0,005	0,007	0,014
108	720764,727	4346236,883	73,527	0,005	0,009	0,015
109	720760,509	4346237,686	73,546	0,011	0,015	0,029
110	720754,442	4346238,414	73,565	0,006	0,009	0,018
111	720702,63	4346241,546	74,071	0,006	0,011	0,018
RTCM-Ref 0870	720420,554	4346274,981	73,986	0	0	0
112	720701,6	4346240,672	74,138	0,005	0,007	0,014
113	720698,778	4346240,239	74,141	0,006	0,008	0,015
114	720697,812	4346241,844	74,116	0,005	0,008	0,015
115	720698,619	4346250,588	74,355	0,006	0,008	0,015
116	720634,311	4346246,006	74,53	0,006	0,009	0,016
117	720634,833	4346252,975	74,532	0,006	0,009	0,016
118	720541,722	4346253,064	75	0,006	0,009	0,017
119	720540,099	4346249,908	74,881	0,006	0,009	0,017
120	720536,372	4346252,144	74,972	0,006	0,01	0,017
121	720535,073	4346253,442	75,045	0,006	0,01	0,017
122	720535,483	4346259,246	75,161	0,006	0,01	0,017
123	720522,329	4346260,592	75,185	0,011	0,014	0,028
124	720521,091	4346264,066	75,183	0,008	0,011	0,021
125	720518,17	4346263,44	75,251	0,006	0,012	0,018
126	720515,431	4346260,303	75,205	0,008	0,012	0,022
127	720470,118	4346261,369	75,204	0,007	0,011	0,02
128	720471,123	4346266,654	75,235	0,006	0,009	0,017
129	720417,795	4346120,394	75,835	0,007	0,01	0,02
130	720417,814	4346120,991	75,884	0,007	0,01	0,021
131	720480,674	4346107,647	75,771	0,008	0,011	0,02
132	720480,863	4346108,169	75,846	0,008	0,011	0,021
133	720536,337	4346095,963	75,593	0,008	0,012	0,024
134	720536,42	4346096,731	75,636	0,008	0,011	0,024
135	720536,731	4346004,579	75,313	0,006	0,009	0,018
136	720537,32	4346004,606	75,319	0,006	0,009	0,018
137	720536,425	4346001,364	75,321	0,007	0,009	0,018

MONITORIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE TIERRAS CON DRONES Y FOTOGRAMETRÍA AÉREA  
PARA APLICACIONES DE PRECISIÓN EN AGRICULTURA

138	720535,837	4346001,602	75,298	0,005	0,008	0,014
139	720536,983	4346120,336	75,2	0,006	0,009	0,017
140	720536,449	4346120,487	75,218	0,007	0,01	0,019
141	720542,091	4346164,715	74,835	0,01	0,015	0,026
142	720545,86	4346164,607	74,624	0,028	0,042	0,038
143	720546,822	4346168,977	75,631	0,283	0,305	0,487
144	720542,135	4346168,093	74,643	0,197	0,267	0,42
145	720536,908	4346200,483	75,042	0,006	0,009	0,018
146	720536,413	4346200,427	75,063	0,005	0,008	0,017
147	720537,272	4346081,466	75,249	0,014	0,019	0,041
148	720578,33	4346073,411	74,922	0,006	0,01	0,019
149	720622,519	4346065,278	75,236	0,006	0,008	0,016
150	720622,864	4346064,571	75,251	0,006	0,009	0,019
151	720636,043	4346061,667	75,138	0,004	0,007	0,014
152	720674,994	4346053,668	74,917	0,006	0,009	0,018
153	720706,355	4346047,131	74,984	0,004	0,006	0,013
154	720707,909	4346094,85	74,814	0,007	0,009	0,019
155	720706,868	4346122,212	74,799	0,005	0,008	0,017
156	720703,506	4346122,794	74,663	0,012	0,016	0,032
157	720703,447	4346125,025	74,58	0,007	0,009	0,02
158	720702,286	4346124,978	74,661	0,006	0,008	0,018
159	720702,364	4346122,752	74,714	0,006	0,008	0,018
160	720703,319	4346126,051	74,6	0,006	0,008	0,018
161	720703,156	4346127,615	74,572	0,006	0,008	0,018
162	720702,356	4346127,647	74,43	0,007	0,01	0,021
163	720702,397	4346125,959	74,439	0,006	0,008	0,017
164	720705,402	4346155,057	74,319	0,005	0,009	0,016
165	720705,35	4346155,896	74,288	0,01	0,016	0,031
166	720738,872	4346153,015	74,212	0,005	0,008	0,016
167	720738,87	4346153,684	73,883	0,009	0,013	0,025
168	720702,189	4346156,08	74,29	0,005	0,008	0,014
169	720703,25	4346206,669	74,122	0,004	0,006	0,014
170	720700,009	4346206,814	74,179	0,005	0,007	0,014
171	720663,113	4346125,122	74,853	0,004	0,006	0,013
172	720663,195	4346125,629	74,353	0,004	0,006	0,013
173	720636,068	4346126,908	74,884	0,005	0,007	0,016
174	720635,371	4346126,899	74,971	0,006	0,008	0,017
175	720635,514	4346127,671	74,543	0,005	0,007	0,014
176	720635,088	4346160,389	74,612	0,004	0,006	0,013
177	720634,604	4346215,096	74,577	0,005	0,007	0,014
178	720636,301	4346097,572	74,936	0,006	0,008	0,016
179	720635,698	4346097,638	74,931	0,006	0,008	0,016
180	720598,063	4345979,067	75,301	0,006	0,008	0,017
181	720557,016	4345993,713	75,306	0,005	0,007	0,015
182	720501,327	4346015,322	75,642	0,01	0,014	0,031
183	720471,105	4346072,008	75,487	0,005	0,007	0,015
184	720546,974	4346060,525	74,714	0,007	0,009	0,019
185	720564,179	4346088,84	74,506	0,013	0,017	0,039
186	720590,424	4346134,091	74,484	0,006	0,008	0,017

187	720596,516	4346188,224	74,413	0,006	0,008	0,019
188	720598,491	4346224,589	74,41	0,006	0,007	0,016
189	720640,638	4346203,287	74,007	0,006	0,008	0,017
190	720641,392	4346147,83	74,064	0,005	0,007	0,016
191	720660,957	4346114,304	74,617	0,006	0,008	0,018
192	720666,839	4346084,039	74,646	0,005	0,007	0,015
193	720667,916	4346046,105	74,762	0,005	0,007	0,014
194	720663,698	4345983,082	74,814	0,006	0,008	0,018
195	720711,903	4345988,677	74,438	0,006	0,008	0,016
196	720718,241	4346062,1	74,467	0,039	0,049	0,109
197	720722,101	4346114,717	73,989	0,007	0,008	0,018
198	720720,004	4346176,93	73,666	0,005	0,007	0,015
199	720719,008	4346220,605	73,659	0,006	0,008	0,016
200	720439,603	4346238,816	74,889	0,007	0,009	0,018
201	720439,034	4346189,661	75,027	0,006	0,007	0,016
202	720437,942	4346143,619	75,141	0,011	0,015	0,032

Tabla 26: Coordenadas del Levantamiento Topográfico en Algemesí

## **9.2 Levantamiento Topográfico de la zona de trabajo**