

# PAISAJES CULTURALES: TÉCNICAS CONTEMPORÁNEAS DE DOCUMENTACIÓN, INTERPRETACIÓN E INTERVENCIÓN

## TECNOLOGÍAS GEOESPACIALES APLICADAS A LA DOCUMENTACIÓN DE PAISAJES CULTURALES.



### CASO PRÁCTICO: DOCUMENTACIÓN DEL JARDÍN DE LA ISLA

#### EMPLEANDO TECNOLOGÍA GEOESPACIAL

## GUÍA DE CAMPO

12 DE JUNIO DE 2019



- 1. TÉCNICAS GNSS: PLANIFICACIÓN, OBSERVACIÓN Y CÁLCULO DE PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE**
- 2. TÉCNICAS TLS: PLANIFICACIÓN, TOMA DE DATOS Y MODELO DE NUBE DE PUNTOS**
- 3. USO DE RPAS: SENSORES RGB Y LIDAR**
- 4. USO DE RPAS: SENSOR MULTIESPECTRAL**
- 5. MODELO TRIDIMENSIONAL Y GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN**

# 1. TÉCNICAS GNSS: PLANIFICACIÓN, OBSERVACIÓN Y CÁLCULO DE PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE

## SISTEMA GNSS: TOPCON HIPERPRO RTK DE DOBLE FRECUENCIA

### 1. Necesidad del uso de técnicas GNSS en los procesos de documentación gráfica e intervención.

En un moderno sistema de captura de datos en un proceso de documentación patrimonial se trabajan tres ámbitos principales de actuación: el ámbito regional, el ámbito urbano y el ámbito arquitectónico. En todos estos ámbitos, se emplean distintos sistemas de captura de la información gráfica (sensores) con muy alta precisión: UAV, láser terrestre, georadar, fotogrametría, imágenes de satélites... Para poder establecer las oportunas relaciones y análisis entre la documentación registrada por distintos sensores dentro de uno de estos ámbitos, e incluso, entre distintos ámbitos, se hace necesario que toda la documentación esté referida a un mismo sistema de referencia que además sea capaz de garantizar la alta precisión de los datos registrados.

Para ellos, la información registrada por los diferentes sensores debe estar referida a un sistema de referencia 3D de alta precisión. Hoy en día, la forma más rápida y económica de realizar esta labor es mediante el uso de técnicas GNSS que van a garantizar un posicionamiento 3D de muy alta precisión.

El RD 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España establece el uso del sistema ETRS89 Transversa de Mercator. También la directiva 2007/2/CE INSPIRE aconseja el uso de este tipo de sistemas al cual referir todas nuestras actuaciones cartográficas.

Con el uso de los sistemas GNSS y este tipo de sistemas de referencia 3D de alta precisión no sólo conseguimos integrar los datos registrados por los diferentes sensores que usamos en una actuación, sino que además tenemos garantizada la interoperabilidad con otro tipo de información proveniente de otras fuentes:

- Ortofotografías de alta precisión
- Modelos digitales del terreno
- Cartografía básica
- Datos procedentes de Map-servers
- Datos procedentes de otros SIG (agrícolas, catastrales, municipales, cartográficos, de conservación...)

Todo ello manteniendo una alta precisión centimétrica en toda nuestra información gráfica. No sólo facilitamos la captura y tratamiento de nuestra información, sino que también facilitamos la posterior explotación de nuestros datos por otros usuarios que los integrarán en sus respectivos sistemas sin perder precisión.

## 2. Planificación de la observación GNSS.

A la hora de poder transponer el sistema de referencia registrado con los equipos GNSS a la documentación registrada por los distintos sensores, se puede realizar registrando coordenadas GNSS en el propio sensor y/o registrando coordenadas en el producto gráfico que genera el sensor.

En nuestro caso hemos optado por calcular coordenadas mediante técnicas GNSS de diversos puntos del terreno, que luego serán registradas en las imágenes de los diferentes sensores utilizados. Identificados estos puntos en las propias imágenes y asignándoles las coordenadas GNSS, se obtendrán las coordenadas de todos los elementos registrados por los sensores en una posterior fase de tratamiento de datos.

Estos puntos del terreno a los cuales les dotaremos de coordenadas GNSS se denominan 'Puntos de Control Terrestre' (GCP) y, como es natural, hay que tener cierta precaución al elegirlos con vistas a garantizar una alta precisión final en el tratamiento de los datos por los diferentes sensores. En concreto hay que tener especial atención a las siguientes características:

- Los puntos de control terrestre tienen que tener una muy buena definición y un alto contraste.
- Tienen que tener un tamaño mínimo en la imagen: no menos de 4 o 5 píxeles
- Tienen que tener una distribución homogénea por toda la zona de actuación.
- No deben cambiar ni moverse durante el tiempo que dura la captura de datos.
- Deben estar registrados en varias imágenes.
- En ciertas aplicaciones, es conveniente que mantengan una altitud uniforme.

Para ello podríamos elegir puntos naturales del terreno, pero para optimizar las condiciones anteriores hemos usado puntos pre señalizados. Estos puntos se proyectan sobre la zona de actuación siguiendo las premisas anteriores y de forma que sean luego registrados por los diferentes sensores, como se ve en la imagen 1:



**Imagen 1.-** a) marca de pre señalización a la espera de registrar su imagen mediante los diferentes sensores y a la espera de registrar sus coordenadas mediante técnicas GNSS; b) registro de imagen con laser escáner terrestre conjuntamente con las marcas de pre señalización. Desde estas últimas se le transferirá el sistema de referencia a los datos registrados en el escáner terrestre.

### 3. Registro de observaciones GNSS.

Para registrar los datos de satélites GNSS que después procesaremos para obtener las coordenadas de los puntos de control terrestre en el sistema de referencia ETRS89, hemos realizado varias fases.

En una primera fase hemos dispuesto un receptor GNSS de doble frecuencia en una base principal del Jardín de la Isla (BASE-AR3). En este receptor registraremos datos de código y fase de las dos constelaciones de satélites GPS y GLONASS, que después procesaremos apoyándonos en la Red de Estaciones permanentes GNSS del Instituto Geográfico Nacional (<https://www.ign.es/web/ign/portal/gds-gnss-datos-rinex>). Este receptor permanecerá inmóvil sobre un trípode registrando datos durante todo el tiempo que dura el levantamiento (ver imagen 2) siguiendo un método GNSS estático relativo de fase.



*Imagen 2.- Receptor GNSS de doble frecuencia estacionado en la base principal (BASE-AR3) del levantamiento de datos de los puntos de control terrestre, registrando datos de código y fase de las constelaciones GPS y GLONASS.*

De forma paralela, los datos de satélites GNSS de esta base principal se emiten por un sistema de comunicaciones. Un segundo receptor GNSS operando de forma autónoma registra los datos GNSS desde su antena y también recibe los datos que la base principal ha registrado a través del sistema de comunicaciones que los interconecta. Este segundo receptor es capaz de calcular unas primeras coordenadas, para nuestros puntos de control terrestre, usando los datos recibidos por ambos receptores. Este método es el que denominamos Cinemático en Tiempo Real, también conocido por sus siglas en inglés 'RTK' (ver imagen 3a). La precisión que se obtiene en cada punto es de algunos centímetros posicionando el receptor sobre la marca de pre señalización durante unos segundos (ver

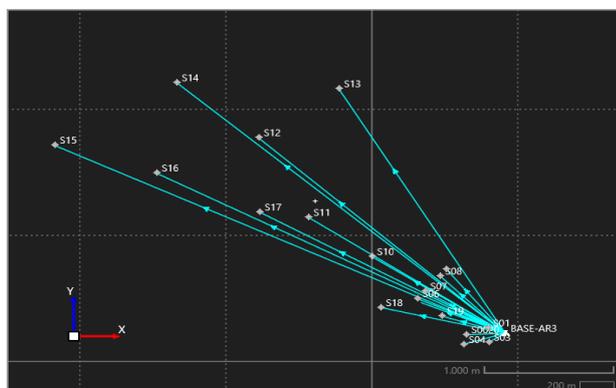
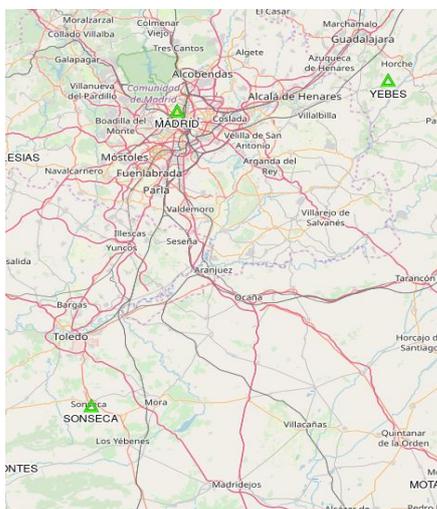
imagen 3b). De esta fase se obtiene para cada punto un vector tridimensional que une espacialmente este punto con la base principal BASE-AR3.



**Imagen 3.-** a) toma de datos con receptor GNSS autónomo de los puntos de control terrestre mediante el método 'RTK'; b) registro de coordenadas horizontales (este y norte) y vertical (elevación) mediante el método 'RTK'.

#### 4. Proceso de datos GNSS.

Para la referencia final de las coordenadas, registradas en campo por este método RTK, al sistema de referencia ETRS89 seguiremos un proceso en dos etapas. En una primera etapa usaremos los datos GNSS que el IGN nos ofrece de su red de estaciones GNSS para calcular unas coordenadas definitivas de nuestra base principal. Para este caso hemos elegido dos estaciones que el IGN tiene en Madrid y en Sonseca (ver imagen 4a). Desde ellas calcularemos dos vectores tridimensionales con los que transferiremos el sistema oficial ETRS89 a nuestra base principal en el Jardín de la Isla en Aranjuez.



**Imagen 4.-** a) referencia de la base principal BASE-AR3 a la red de estaciones permanentes del IGN de Madrid y Sonseca; b) vectores con posiciones RTK desde la base principal BASE-AR3 hasta cada uno de los puntos de control terrestre (S01-S19).

En una segunda fase, nos apoyaremos en las coordenadas ETRS89 de la base principal anteriormente determinadas, para referir a ella todos los vectores tridimensionales RTK que unen la base con cada uno de los puntos de control terrestre. El resultado final son las coordenadas tridimensionales de cada uno de los puntos de control, con precisión centimétrica, que ahora podemos integrar en los programas de proceso de datos del resto de los sensores. Como el sistema de coordenadas que hemos transferido con GNSS es el oficial para España, podremos integrar nuestros puntos con otras plataformas y otros productos cartográficos pues tenemos garantizada la interoperabilidad de los datos. En la imagen 5 se muestran los puntos de control integrados en Google-Earth.



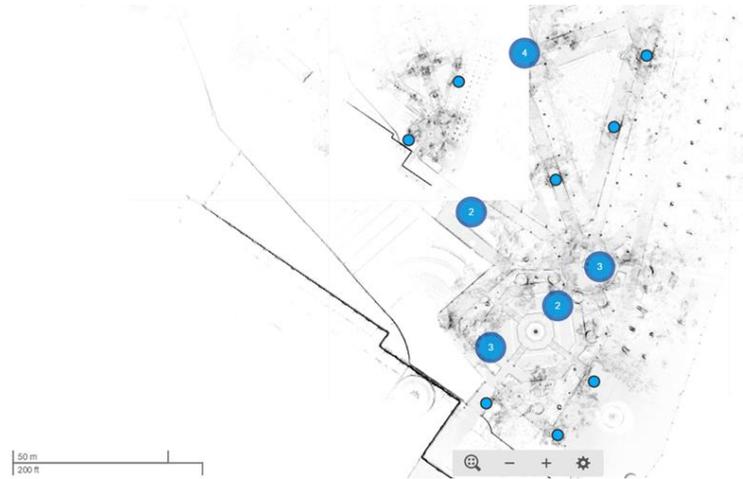
**Imagen 5.-** Distribución final de los puntos de control terrestre GNSS sobre Google-Earth..

## 2. TÉCNICAS TLS: PLANIFICACIÓN, TOMA DE DATOS Y MODELO DE NUBE DE PUNTOS

### SENSOR: FARO FOCUS S350

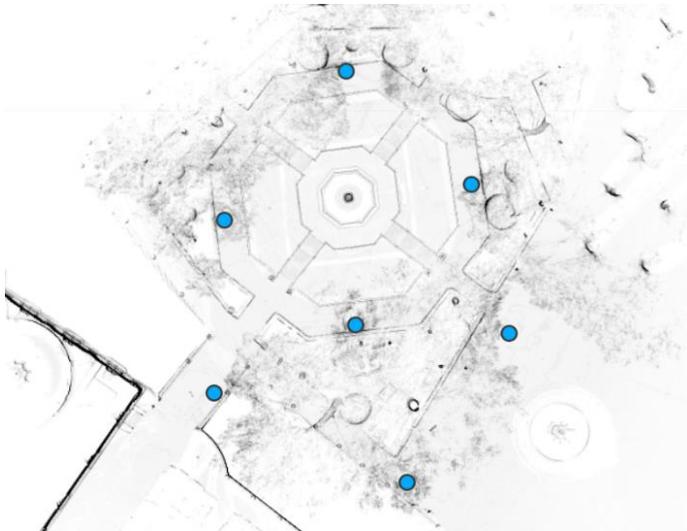
1. **Planificación TLS.** Se realizaron un total de 23 escaneados. Los requisitos fueron los de no tener más de 20 metros de distancia entre bases y minimizar los ocultamientos.

Cada una de las posiciones o bases de escaneado capturó datos con una cobertura de 360° en horizontal y 270° en vertical. Los datos son fotografías color y nubes de puntos con una resolución de 6mm a 10 metros y un total de 44 millones de puntos por escaneo.



*Detalle de la distribución de escaneos. Zona Capturada por TLS*

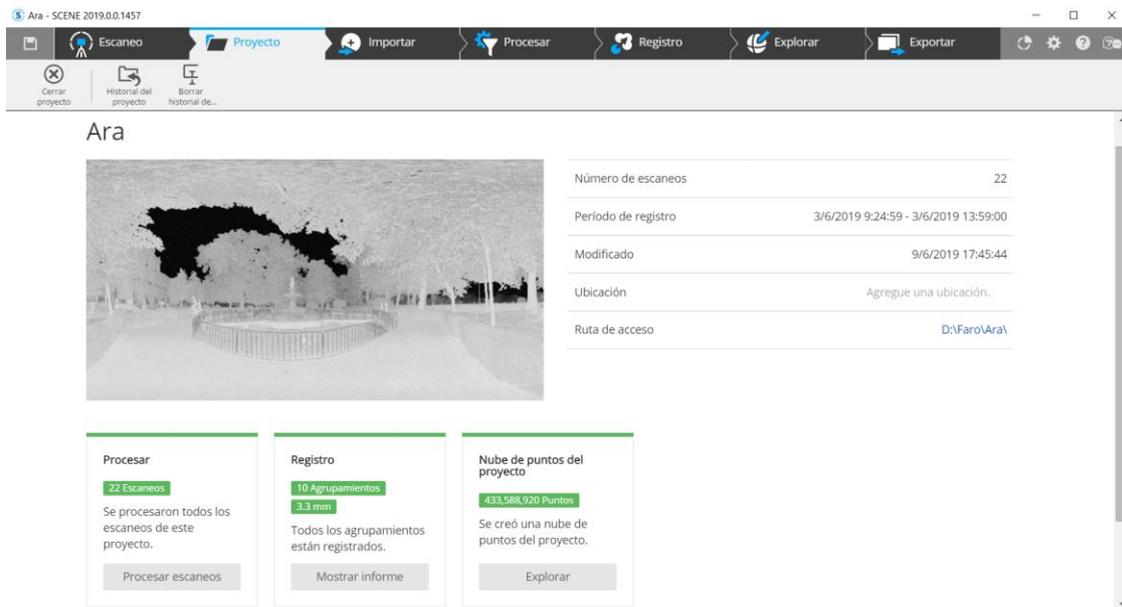
2. **Toma de datos.** La toma de datos se realizó con el escáner Faro Focus S350, esferas y dianas



*Detalle de la distribución de escaneos. Fuente Hércules*

Para poder referenciar los escaneos se utilizaron esferas que se situaban a una distancia aproximada de 10 metros y que permitían enlazar las distintas bases de replanteo en el avance. Además de las esferas, se capturaron también varias dianas repartidas por el extremo de la zona de trabajo para integrar los datos LTS y UAVs

### 3. Registro TLS. El registro a unión de los distintos escaneados se realizó con SCENE.



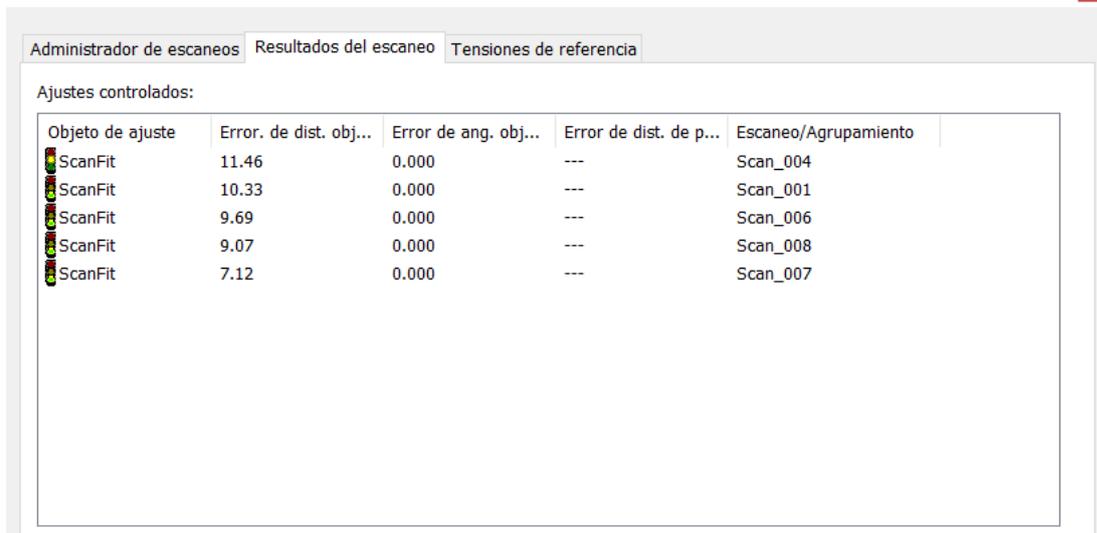
Esta herramienta de software permite seguir el proceso necesario para la importación, procesado, registro y final exportación de las nubes de puntos y sus resultados. Los pasos son los siguientes:

- 1.- CREACIÓN DEL PROYECTO.
- 2.- IMPORTACIÓN DE BASES DE ESCANEO.
  - 2.1.- PREPROCESADO: FILTRADO, COLO-RACIÓN Y ALGORITMOS DE MEJORA DE LAS NUBES DE PUNTOS.
  - 2.2.- IDENTIFICACIÓN DE ESFERAS
  - 2.3.- MEDICIÓN DE DIANAS
- 3.- CREACIÓN Y AJUSTE DE ZONAS
- 4.- INTEGRACIÓN DEL REGISTRO EN UNA ÚNICA ZONA DE UNIÓN DE LAS ANTERIORES.
- 5.- CREACIÓN DE UNA ÚNICA NUBE DE PUNTOS
- 6.- EXPORTACIÓN DE RESULTADOS

Como información cabe destacar:

- En el preprocesado de la información, a las nubes de puntos se les realiza un proceso de filtrado por distancia, reflectancia máxima y otros dirigidos a eliminar posibles ruidos de escaneo. A la nube de puntos se les asigna el color de las fotografías tomadas inmediatamente después del barrido del escáner.
- En el ajuste, se realizan distintos agrupamientos de estaciones de escaneo con el fin de homogeneizar zonas comunes y eliminar la influencia de bases de escaneo que por posición o por barrer elementos distantes o diferentes puedan dar lugar a ruidos o ajustes de menor calidad.
- Las tolerancias impuestas a este ajuste fueron: No superan los 12mm en agrupamientos y 25mm entre agrupamientos. Con estos valores se buscaba limitar ruidos y aumentar los detalles de elementos aislados como estatuas o fuentes y permitir capturar los parterres y elementos ornamentales del Jardín.

/Scans/R1/R1B/H2/H1/ScanManager



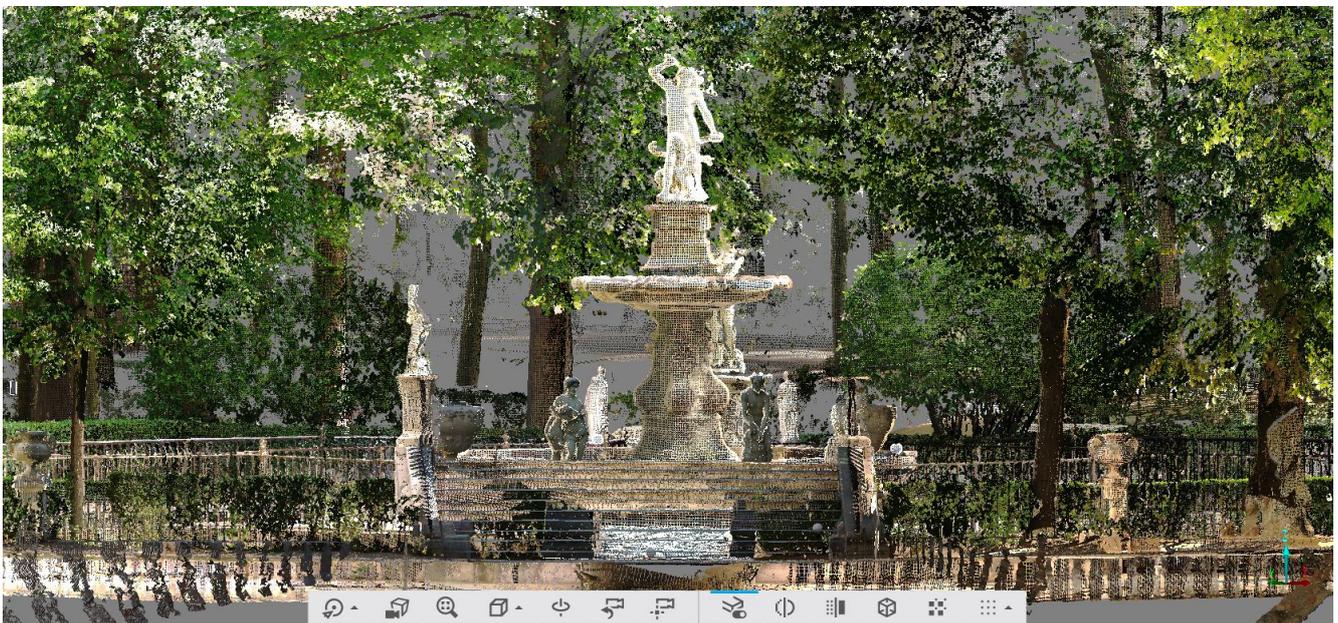
The screenshot shows the 'Resultados del escaneo' (Scan Results) tab in the ScanManager software. It displays a table of 'Ajustes controlados' (Controlled Adjustments) for five different scan groups. Each row includes a 'ScanFit' icon, the object name, and three error metrics: distance, angle, and point distance. The 'Escaneo/Agrupamiento' (Scan/Grouping) column lists the corresponding scan IDs.

Objeto de ajuste	Error. de dist. obj...	Error de ang. obj...	Error de dist. de p...	Escaneo/Agrupamiento
ScanFit	11.46	0.000	---	Scan_004
ScanFit	10.33	0.000	---	Scan_001
ScanFit	9.69	0.000	---	Scan_006
ScanFit	9.07	0.000	---	Scan_008
ScanFit	7.12	0.000	---	Scan_007

*Detalle de la solución de una agrupación de escaneos.*

#### 4. Resultados obtenidos por TLS.

Los resultados obtenidos son nubes de puntos y modelos 3D del Jardín en conjunto y de las fuentes en particular.

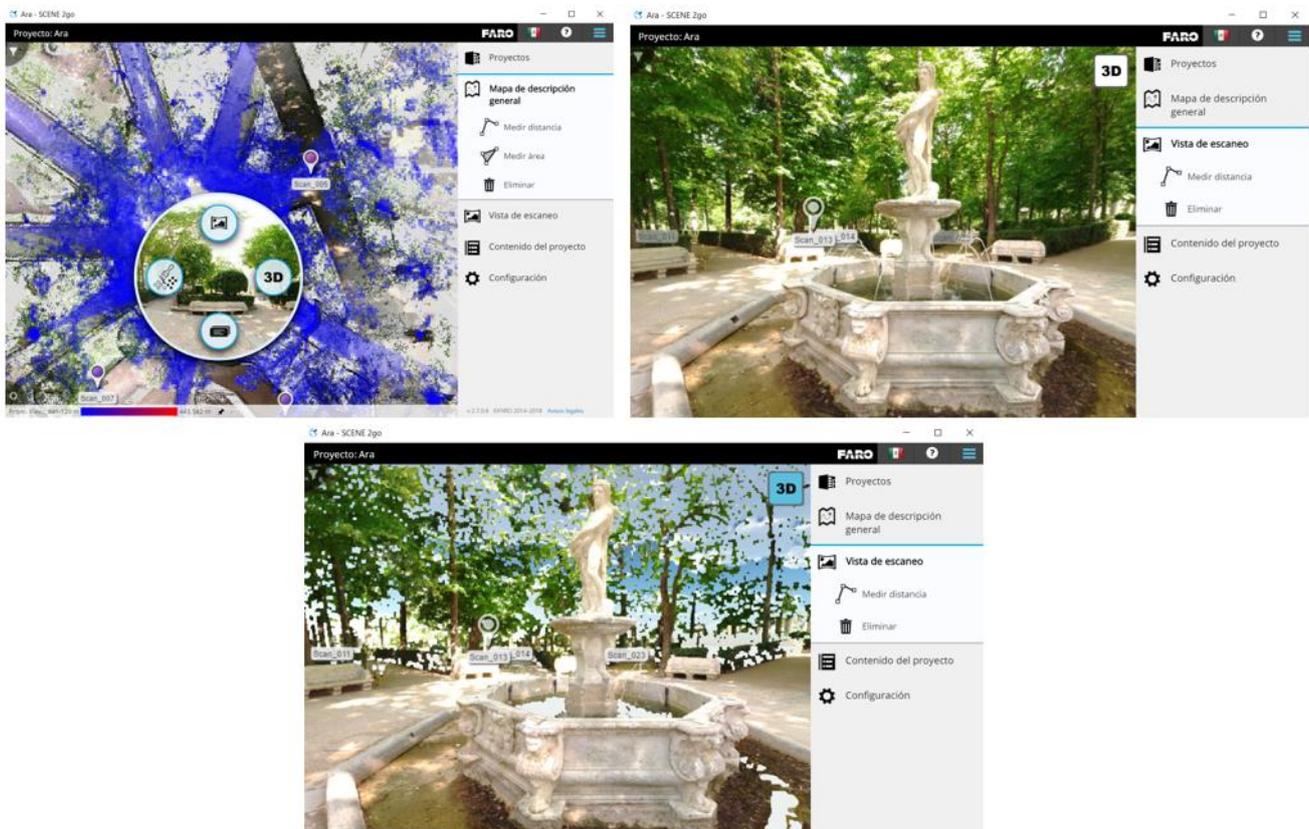


*Detalle de fuente de Hércules*

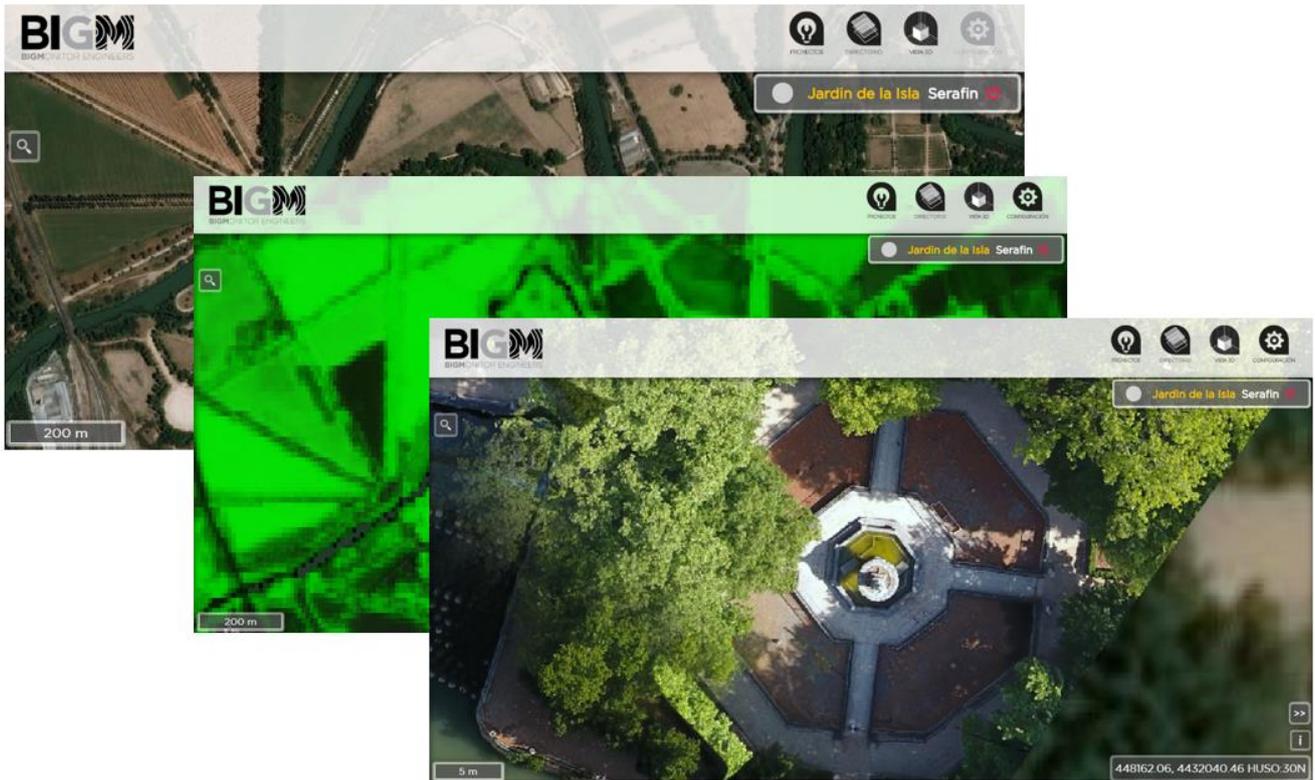


*Detalle de fuente de Apolo y de su entorno*

Además de los datos, existe la posibilidad de trabajar con herramientas de explotación, tanto visual, como de extracción de perfiles o zonas como son: FaroWebCloud o BigMonitor



*Detalle de pantallas y herramientas de FaroWebCloud*



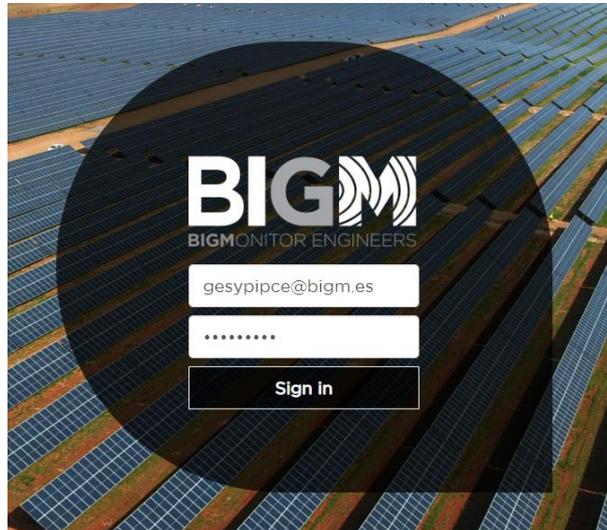
Detalle del GeoPortal BigMonitor

### ACCESO AL GEOPORTAL BIGMONITOR

URL: [bigmonitor.bigm.es](http://bigmonitor.bigm.es)

Usuario: gesypipce@bigm.es

Contraseña: gesypipce



### 3. USO DE RPAS: SENSORES RGB Y LIDAR

#### SENSOR: RGB

#### 5. Equipo: [DJI Phantom 4](#)



#### 6. Planificación de un vuelo con UAV

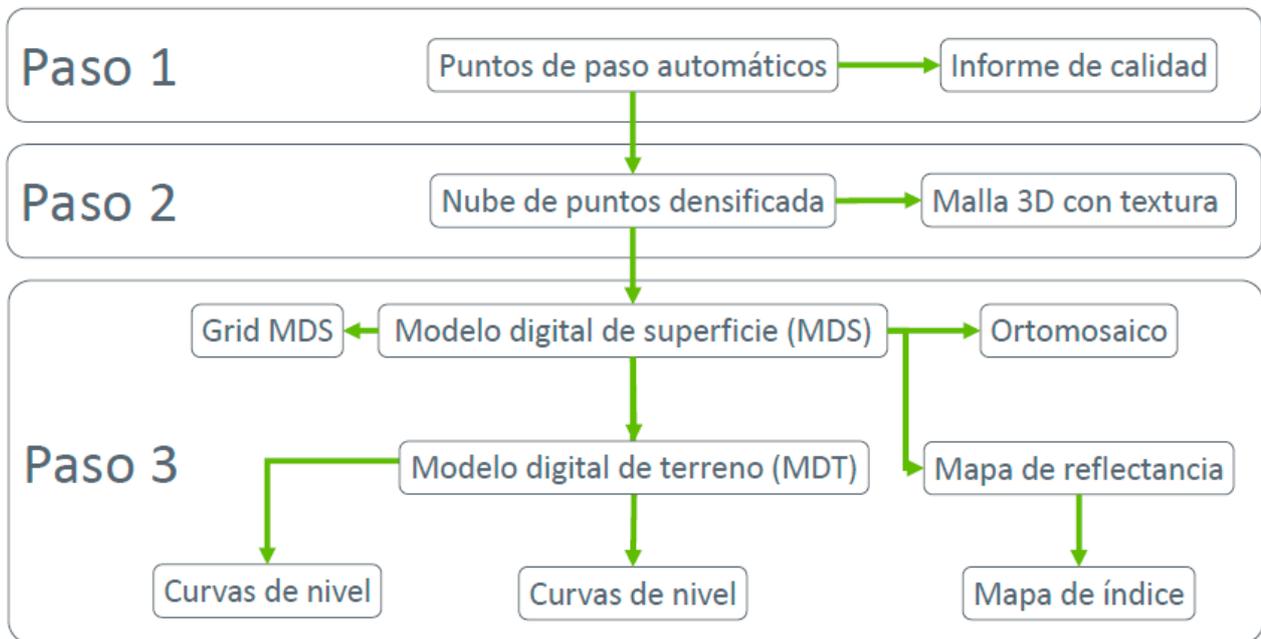
- Utilización del software [MAPS mode easy](#) .



304 Images  
 16 Passes  
 11.97 Minutes  
 2.7 cm/pixel  
 2.1 sec/image  
 3.65 Gigapixels  
 8.6 km flight  
**730 Points**  
 High Ground on Path:  
 493.3 m  
 Flight Altitude:  
 588.9 m  
[Download KML for APM](#)  
[Download AWM for DJI](#)  
[Datalink \(Not P3/11\)](#)

Click here for extra metrics

7. Flujo de trabajo mediante sensor RGB Phantom 4:



Producto cartográfico resultante: Ortomosaico

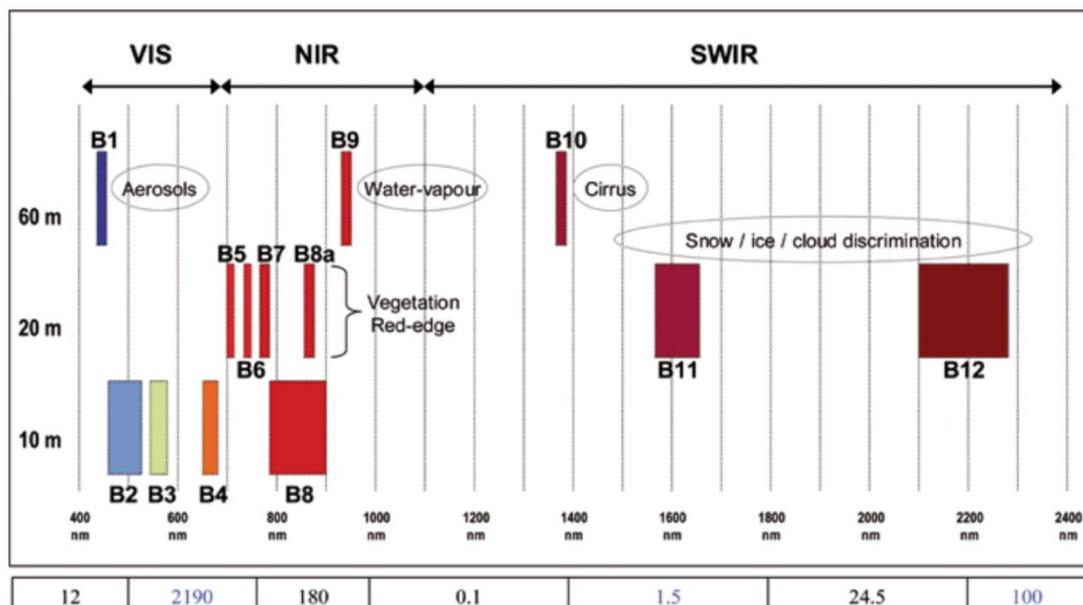


## 4. USO DE RPAS: SENSOR MULTIESPECTRAL

### SENSOR: SENTINEL 2

#### 1. Acceso a plataforma Copernicus

- [Copernicus Open Access Hub](#). Las imágenes de los satélites Sentinel son de libre acceso y gratuitas para todos los usuarios.
- Registrarse
- Seleccionar la zona de estudio (*Switch to Area Mode*) 
- Seleccionar el satélite (Sentinel-2) del que queremos imágenes, plataforma del sensor (S2A\_\*), el [nivel de procesado](#) de la imagen (Level-2A – S2MSI2A) y el periodo de adquisición.
- Se cargarán todas las imágenes que cumplan los requisitos seleccionados y podremos tanto visualizarlas con un *quicklook*, como descargarlas.
- Descargar el producto o guardar el fichero compartido en la carpeta de trabajo.
- Descomprimir fichero descargado y ver las bandas que lo componen en el siguiente directorio: ...\\S2A\_MSIL2A\_20190502T110621\_N0211\_R137\_T30TVK\_20190502T140506\\S2A\_MSIL2A\_20190502T110621\_N0211\_R137\_T30TVK\_20190502T140506.SAFE\\GRANULE\\L2A\_T30TVK\_AO20154\_20190502T111339\\IMG\_DATA (10, 20 y 60 metros de resolución espacial).
- SENTINEL-1 y SENTINEL-2 llevan a bordo un sensor óptico multiespectral (MSI) con 13 bandas espectrales, 4 de ellas con 10 metros de resolución geométrica.



Resolución espacial y espectral de Sentinel-2. ESA

- Estructura del nombre de fichero: T30TVK\_20190502T110621\_B02\_10m.jp2
  - o T30TVK → Cuadrícula UTM
  - o 20190502T110621 → fecha y hora de adquisición de la imagen.
  - o B02 → Número de banda
  - o 10m → Resolución espacial de la banda

## 2. Combinaciones de bandas SENTINEL-2.

- Añadir en software SIG las imágenes de las bandas correspondientes para realizar una combinación. Combinaciones destacadas:
  - Combinación color natural: 4, 3, 2.
  - Infrarrojo (para vegetación): 8, 4, 3.
  - Falso color (para zonas urbanas): 12, 11, 4.
  - Agricultura: 11, 8A, 2.



Banda 4 (Red)



Banda 3 (Green)



Banda 2 (Blue)



RGB Composite (432)

## 3. Índices de vegetación.

- Preparación de bandas.

- Añadir las bandas que correspondan para calcular el índice de vegetación NDVI

- En el sensor de SENTINEL-2 corresponden a las bandas:

NIR = valores de reflectancia en la banda infrarroja (Banda 8)

Red = valores de reflectancia en la banda roja (Banda 4)

- Cálculo de índice

- Incorporar la formula correspondiente:

$$\text{Float}(\text{"Banda\_8"} - \text{"Banda4"}) / (\text{"Banda\_8"} + \text{"Banda\_4"})$$

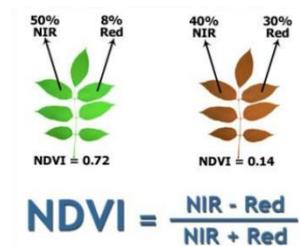
El resultado es una imagen ráster que contiene valores que van desde -1 a 1.

Valores < 0 zonas artificiales.

0 – 0.3 suelo sin cubierta

> 0.3 vegetación

Realizar una visualización del índice de vegetación NDVI con la siguiente clasificación:





*Índice NDVI. Día 01/06/2019*

## SENSOR: REEDGE

### 1. Equipo: [RedEdge](#)



	Band Name	Center	Bandwidth (nm)	Average	Center	Min	Max
1	Blue (B)	475	20	0.62	0.62	0.6207	0.6253
2	Green (G)	560	20	0.63	0.63	0.6250	0.6274
3	Red (R)	668	10	0.62	0.62	0.6210	0.6272
4	Near IR (NIR)	840	40	0.59	0.59	0.5679	0.5935
5	Red Edge	717	10	0.62	0.62	0.6167	0.6191

### 2. Buenas Prácticas

- Plan de vuelo apropiado
- Solape
- Orientación de la cámara
- Velocidad de vuelo y altitud
- Panel de calibración
- Condiciones de luz apropiadas
- Sensores de luz incidente
- Confirmación de captura de datos



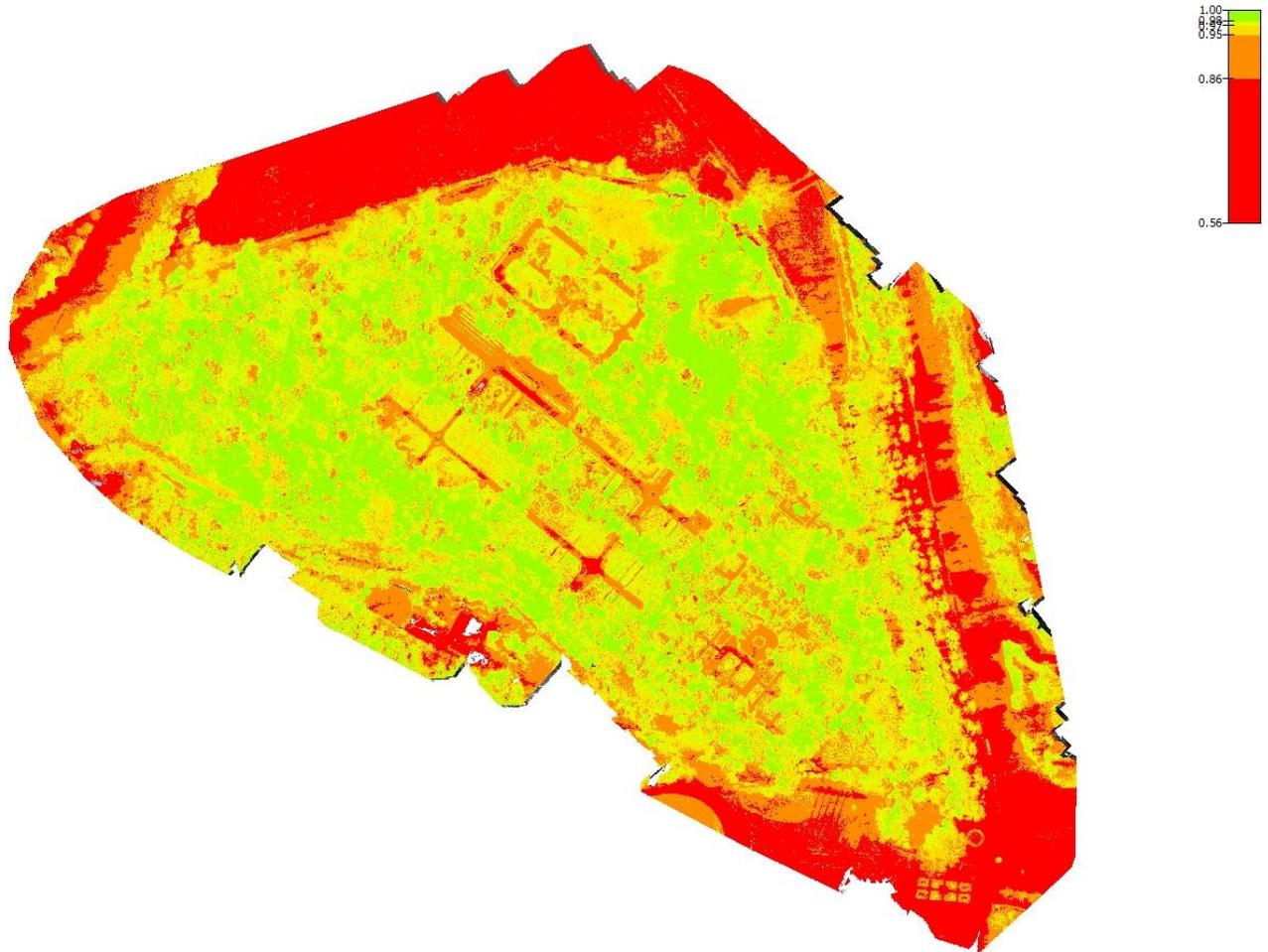
### 3. Calibración

Objetivo: Calibrar y corregir la reflectancia de las imágenes, teniendo en cuenta la iluminación y algunas características del sensor. Realizar las fotos de calibración antes y después del vuelo.

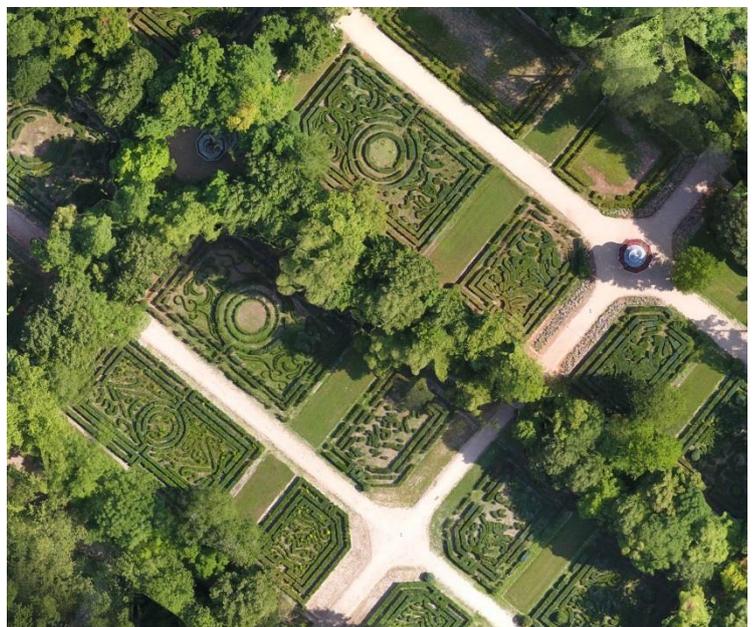
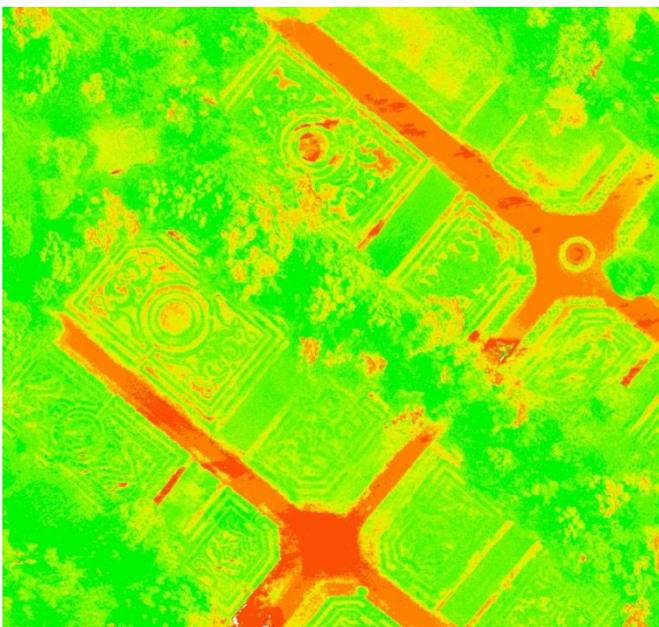


#### 4. Configuración de parámetros y procesado

#### 5. Productos resultantes:

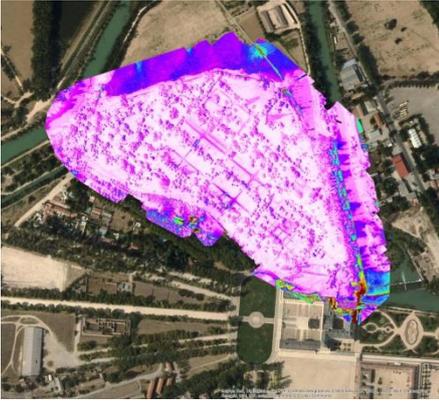


*NDVI. Fecha: 10/06/19*

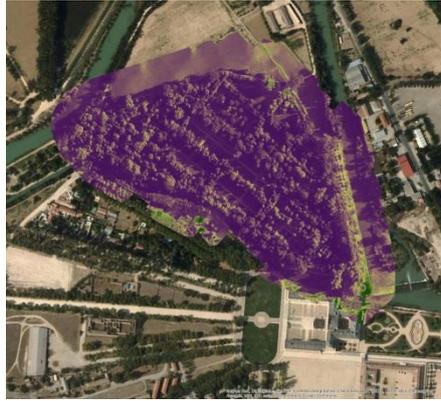


Imágenes de las bandas:

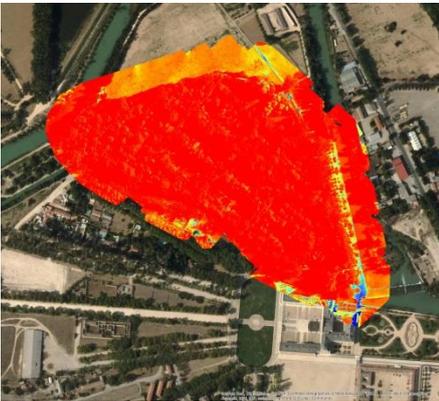
Azul



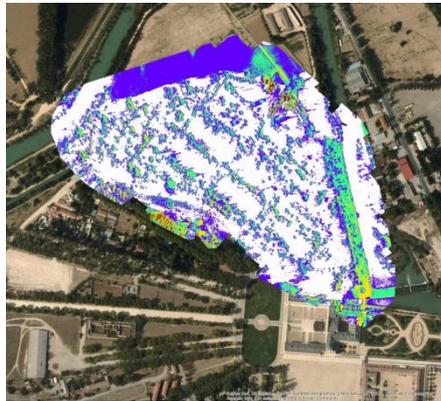
Verde



Roja



Rojo cercano



NIR



[Vuelo RPAS Jardín de la Isla \(Aranjuez\)](#)

