

## Apéndice 1. Levantamiento batimétrico.

Un levantamiento batimétrico sistemático no es más que el recubrimiento de una zona de determinada de la que se conocerá con mayor o menor precisión el dato de profundidad en una posición dada.

Para ello es necesario disponer de los siguientes datos:

- Valores de la profundidad que se obtiene mediante un ecosonda o sondador.
- Valor de la velocidad del sonido en la columna de agua.
- Valor de la posición geográfica del valor de la profundidad.
- Valor de la marea instantánea en el momento de la toma del dato de profundidad.

Los sondadores pueden ser de dos tipos, monohaz o multihaz, siendo la principal diferencia la zona barrida por cada uno de ellos. Hoy día, casi todos los levantamientos se realizan con sondadores multihaz.

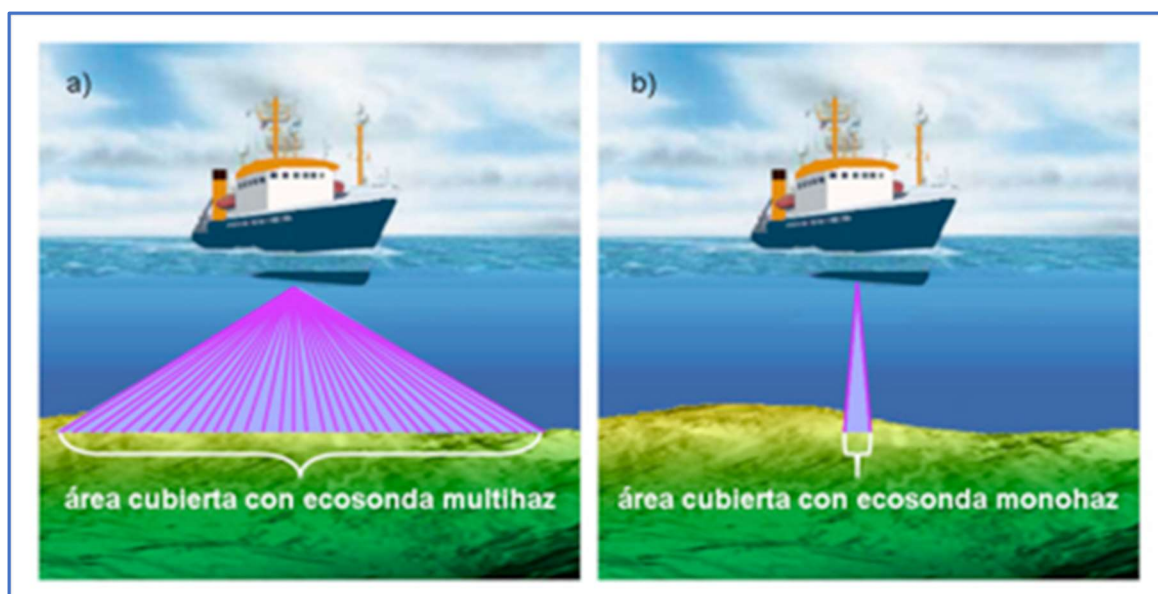


Figura A1\_01. Diferencias entre y multihaz (izquierda) y monohaz (derecha).

Se planificará un proyecto de líneas, por donde pasará la embarcación y tomará los datos que posteriormente serán procesados. Dependiendo del tipo de sondador empleado, las líneas se proyectarán en dirección perpendicular (monohaz) o paralela (multihaz) a los veriles<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Lugar geométrico de los puntos que unen puntos de igual profundidad (curvas de nivel).

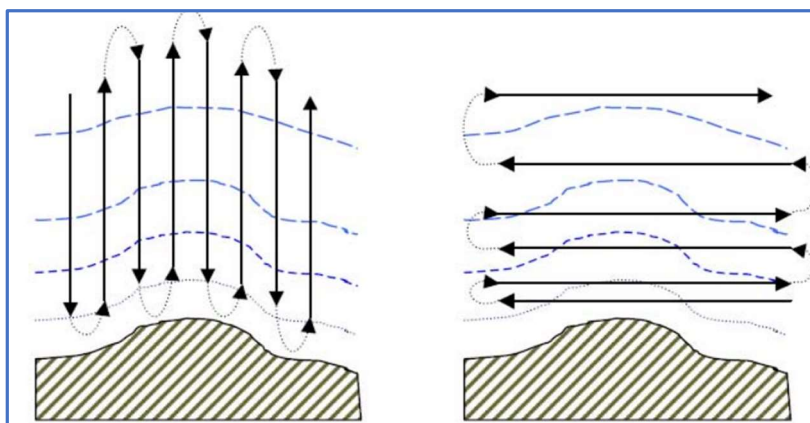


Figura A1\_02. Proyectos de líneas monohaz (izquierda) y multihaz (derecha).

Un sondador multihaz es un equipo capaz de transmitir simultáneamente un abanico de ondas acústicas, las cuales llegarán al fondo marino y el eco reflejado será detectado por un receptor. Los levantamientos batimétricos con estos equipos se realizan en dirección perpendicular a la dirección de la embarcación, barriendo una franja aproximada de 3 a 5 veces la profundidad. Dependiendo del tipo de levantamiento hidrográfico que se realice, habrá que realizar un solape entre las distintas líneas. Cuanto mayor precisión, mayor solape entre las líneas adyacentes.

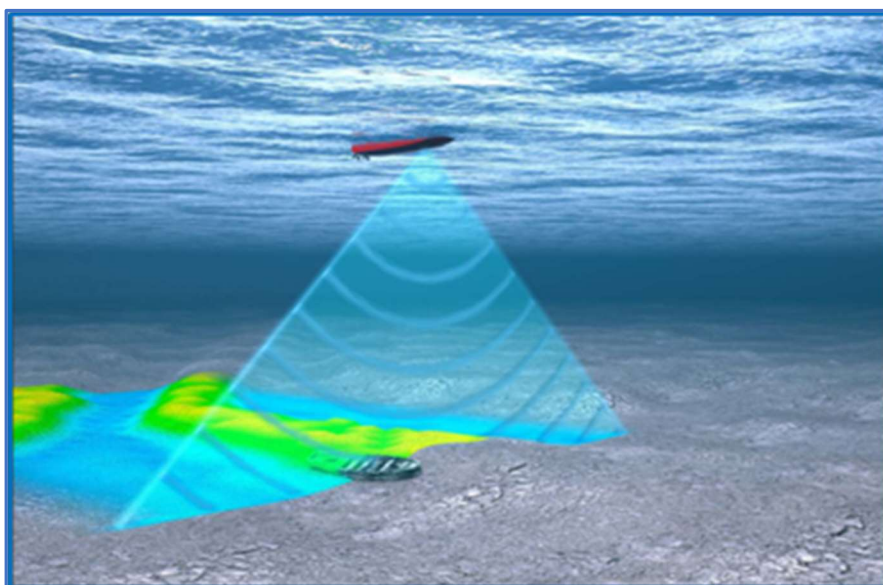


Figura A1\_03. Detalle adquisición datos con sondador multihaz.

Como el sondador emite una onda acústica, es fundamental conocer el valor de la velocidad del sonido en la columna de agua, Así, midiendo el tiempo que tarde el pulso en ir y volver y aplicando la velocidad del sonido, se obtendrá el dato de la profundidad instantánea.

Para georreferenciar las profundidades se emplea un sistema de posicionamiento robusto que integra datos redundantes GNSS y de la unidad de medida inercial (roll, pitch y yaw).

Por último, y no menos importante habrá que reducir los valores de profundidad al nivel de referencia vertical, conocido como cero hidrográfico (CH).

El valor del CH es definido y publicado en el IHM y representa la referencia altimétrica para la cartografía náutica básica. Es la marea astronómica más baja (Lowest Astronomical Tide, LAT) de una predicción de mareas a 19 años. El motivo principal por el que se usa la bajamar más baja en un largo periodo de tiempo es para que el navegante, al situarse en la carta náutica tenga el caso más desfavorable.

Este valor se calcula mediante el estudio de la marea en una zona determinada, con datos de un año. Al realizar el análisis de los datos se obtiene cuál será el valor de la mínima bajamar.

Si se conoce el valor de la altura elipsoidal del cero hidrográfico y se aplica al valor de la altura medida por la antena GNSS de la embarcación y al valor que de la profundidad medida por el sondador, podremos obtener lo que se conoce como marea GPS (GPS Tide). Para que este proceso sea válido la altura elipsoidal medida con las antenas GNSS de la embarcación debe ser de gran exactitud, en otras palabras, es necesario trabajar con posicionamiento RTK. Con este método nos ahorraremos la instalación y empleo de un mareógrafo que mida las mareas.

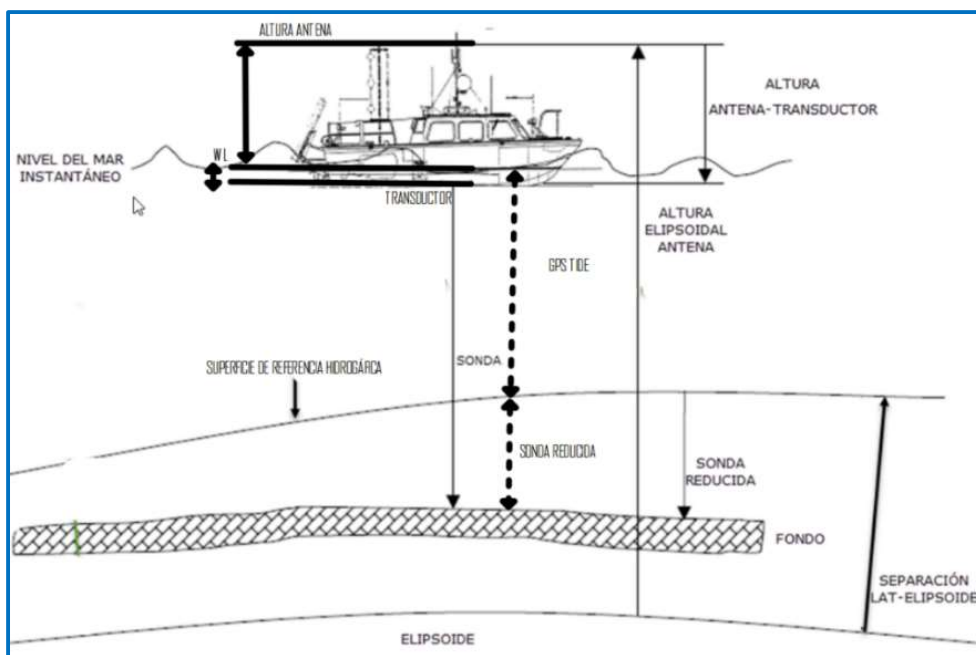


Figura A1\_04. Esquema levantamientos con SRVH.

El IHM se encuentra inmerso en la creación de una superficie de referencia vertical hidrográfica (SRVH) que no es más que es un modelo digital que representa en cada punto del terreno, la separación entre el elipsoide (u otra superficie de referencia como el geoide) y el cero hidrográfico.

La cota del cero hidrográfico puede ser local, elipsoidal u ortométrica. En este último caso, si se utiliza el modelo EGM2008-REDNAP de ondulación del geoide para su cálculo, las alturas de los ceros hidrográficos estarán referidas al NMM en Alicante, enlazando así la referencia altimétrica terrestre con la náutica en cada punto.

Entre las ventajas de estas SRVH se encuentran el poder utilizar una referencia común para las profundidades y las alturas terrestres y otra muy importante adelantada anteriormente que sería mejorar la precisión de los levantamientos hidrográficos al poder extraer las mareas mediante técnicas GNSS, evitando el uso de mareógrafos.

Está previsto que en pocos meses el IHM publique de manera oficial la SRVH de las costas españolas una vez que se haya comprobado que el modelo generado da buenos resultados [o]. No obstante, y con objeto de mejorar la superficie generada se ha desarrollado junto a otras instituciones y empresas un equipamiento específico que permitirá ajustar mejor el modelo.



Figura A1\_05. Equipo de monitorización DeepMotion.

El “DeepMotion” consiste en un sistema de monitorización autónomo que permite la adquisición simultánea de parámetros de aceleración en 3 ejes, ángulos de giro (roll, pitch y yaw) y un posicionamiento GPS-RTK con una resolución centimétrica, permitiendo obtener con mucha precisión el comportamiento inercial del elemento donde se instale; este sistema se

instalará en una boya para la toma de datos. Este equipo tiene la posibilidad de recibir correcciones diferenciales RTK o bien almacenar los datos y procesarlos posteriormente en PPK.

La Organización Hidrográfica Internacional (OHI) es el organismo a nivel internacional encargado de establecer los estándares mínimos a la hora de realizar levantamientos batimétricos, así como de su representación en las cartas náuticas, ya sean en formato papel o bien cartas electrónicas.

La publicación S-44, Normas para los levantamientos hidrográficos, edición 6.0.02, establece los diferentes tipos de levantamientos hidrográficos en función a la proximidad a costa, profundidad de la zona, así como al nivel del tráfico marítimo. Cada tipo de levantamiento lleva asociado un error máximo permitido en el posicionamiento y en las medidas de la profundidad.

A continuación, se muestran las tolerancias permitidas por tipo de levantamiento:

Orden	Exclusivo	Especial	1a	1b	2
Descripción del área	Áreas donde la separación quilla-fondo es estricto	Áreas donde la separación quilla-fondo es crítica	Áreas de profundidades menores de 100 metros	Áreas de profundidades menores de 100 metros	Áreas generalmente más profundas a 100 metros
Detección de rasgos	Objeto > 0,5m	Objeto > 1m	Objeto > 2m (d<40m); 10%d (d>40m)	No necesario	No necesario
THU	1m	2m	5 m + 5%d	5 m + 5%d	20m + 10%d
TVU	a = 0.15; b = 0.0075	a = 0.25; b = 0.0075	a = 0.5; b = 0.033	a = 0.5; b = 0.033	a = 1; b = 0.023
Cobertura	200%	100%	>100%	5%	5%

Tabla A1\_01. Características órdenes de levantamiento OHI.

donde:

THU: componente de la incertidumbre total propagada calculada en el plano horizontal.

TVU: componente de la incertidumbre total propagada calculada en la dimensión vertical (máximo error permitido en el valor de la profundidad)

a y b, parámetros para cada orden de levantamiento y d = profundidad

$$TVU = \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (1)$$

El USV VERIL 01 está ideado para realizar trabajos en zonas portuarias u otras próximas a costa, por lo que normalmente realizará levantamientos de orden exclusivo o especial, es decir los más exigentes en cuanto a precisión. Los sensores instalados (sondador, sistema de posicionamiento, etc..) cumplen con creces los criterios establecidos por la OHI para la realización de levantamientos batimétricos.

Las instrucciones técnicas para realizar un trabajo hidrográfico son trasladadas por parte del Comandante - Director del IHM al Comandante de un buque o jefe de comisión hidrográfica mediante el documento denominado Instrucción Normativa de Hidrografía (INH).

## Apéndice 2. Normativas de seguridad para el empleo de vehículos autónomos en las Fuerzas Armadas.

### a) RPAS.

La Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA), es el organismo que vela por que se cumplan las normas de aviación civil en el conjunto de la actividad aeronáutica de España. Así mismo, establece los requisitos necesarios para realizar operaciones con drones.

Se puede decir que existen dos tipos de actividades con RPAS o UAS, actividades AESA y actividades NO AESA. Para las primeras habrá que seguir todas las directrices que establece la AESA, y en el caso de las segundas son aquellas excluidas del ámbito de aplicación del Reglamento (UE) 2018/ 1139 del Parlamento Europeo y del Consejo, artículo 2.3, letra a), entre las que se encuentran las actividades o por servicios militares, de aduanas, policía, búsqueda y salvamento, lucha contra incendios, control fronterizo, vigilancia costera o similares, bajo el control y la responsabilidad de un Estado miembro, emprendidas en el interés general por un organismo investido de autoridad pública o en nombre de este.

La normativa que regula las «actividades o servicios no EASA» civiles realizados con RPAS en España es el Real Decreto 1036/2017.

Por otra parte, y conforme a lo establecido en el Reglamento de Circulación Aérea Operativa, el Jefe del Estado Mayor del Ejército del Aire (JEMA) es el responsable de la autorización de las operaciones de los sistemas aéreos no tripulados en el ámbito del Ministerio de Defensa.

Las normas establecidas por el JEMA se aplican a aquellos RPAS militares españoles o aquellos declarados de interés para la defensa en el espacio aéreo de soberanía y en aquellos espacios de responsabilidad asignados a España en virtud de convenios internacionales.

Los RPAS (ó UAS) se clasifican en base a su peso máximo en el despegue (“Maximum Take-Off Weight, MTOW) en tres clases:

- I: MTOW < 150Kg.
- II: MTOW entre 150 y 600 Kg.
- III: MTOW mayor de 600 Kg.

El RPAS del IHM es clase I, ya que su MTOW es de 9 Kg.

Para que una unidad pueda hacer uso de su RPAS es necesario que previamente realice un estudio de viabilidad y seguridad que posteriormente deberá ser aprobado por la sección de espacio aéreo del ejército del Aire (SESPA). En este estudio se incluyen conceptos como, la descripción que se va a realizar con el RPAS, características técnicas del equipo, procedimientos de emergencia y un punto de contacto.

En la actualidad el IHM ya ha efectuado el citado estudio y elevado a través de la cadena orgánica al SESPA para su aprobación.

Existen dos zonas de operaciones donde se puede trabajar con los RPAS, una de ellas consiste en un espacio segregado (exclusivo) de dimensiones definidas que engloba tanto la zona de trabajos como los corredores aéreos necesarios para todas las fases del vuelo.

La segunda zona de operaciones son las no segregadas, es decir, aquellas que no se encuentran definidas para el vuelo de RPAS pero que pueden ser utilizadas siempre que se cumplan los siguientes requisitos:

- RPAS con un MTOW inferior a 15 Kg.
- Vuelo debe realizarse a la vista del piloto que maneje el RPAS y con una altura de vuelo inferior a 120m.
- Volar en zonas alejadas de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados de personas al aire libre.
- Operaciones a una distancia de 8 km (4,32 millas náuticas) de una base aérea, aeropuerto o aeródromo y a una distancia mínima de 6 Km (3,24 millas náuticas) en la prolongación del eje de pista en ambas cabeceras.
- El vuelo debe ser diurno.
- El vuelo del RPAS se realizará fuera del espacio aéreo controlados y de las zonas de información de vuelo, salvo que se haya realizado una coordinación previa.
- El piloto/operador del RPAS debe ser capaz de intervenir en la operación de la aeronave en todo momento. No se encuentran permitidas operaciones autónomas en zonas no segregadas.
- El piloto/operador sólo puede manipular una aeronave.

Normalmente, los vuelos que realice el IHM para la actualización de la línea de costa serán en espacio aéreo no segregado



Para poder trabajar con el RPAS Matrice 300, es necesario que el operador disponga de la certificación exigida para ello. En el caso de las FAS es necesario que el operador disponga del «Curso de operador de sistemas aéreos no tripulados (UAS) tipo I clase I categoría MINI» que imparte el Ejército del Aire en el Grupo de Escuelas de Maticán (GRUEMA).

Este curso consta de dos fases, una fase a distancia de dos semanas y otra presencial con una duración de tres semanas donde se realiza la fase práctica.

A la vista de las nuevas adquisiciones, se ha desarrollado un plan de formación para que se consiga disponer de un pool de operadores.

El operador que manipule el RPAS será el responsable de todas las operaciones que realice el RPAS, despegue, navegación a la zona de trabajos y cumplimiento de la misión.

En cuanto a las autorizaciones pertinentes para poder operar los vuelos en los puertos españoles habrá que contactar con la autoridad competente de la zona para comprobar que no hay reparos en realizar los vuelos en aquellas instalaciones de nueva construcción.

b) USV.

No existe en la actualidad normativa alguna por parte de la Dirección de la Marina Mercante relativa al empleo de vehículos autónomos de superficie.

Se actuará de la misma manera a la que se lleva a cabo con el resto de las embarcaciones tripuladas. El jefe de la comisión hidrográfica será el responsable del uso del VERIL 01.

### Apéndice 3. Procedimiento operativo estándar sobre el uso de vehículos autónomos por parte del IHM.

Un procedimiento operativo estándar (POS) no es más que un listado de instrucciones y tareas donde se establece qué hay que hacer y quién tiene que hacerlo. Es decir, en un documento en el que se explica paso a paso lo que hay que hacer para obtener un resultado buscado.

Disponer de un POS ayudará a mejorar la eficiencia y calidad del trabajo, permitirá ahorrar tiempo y agilizará la formación de personal de nuevo embarque.

Este POS consta de cuatro ramas y se desarrollan a continuación:

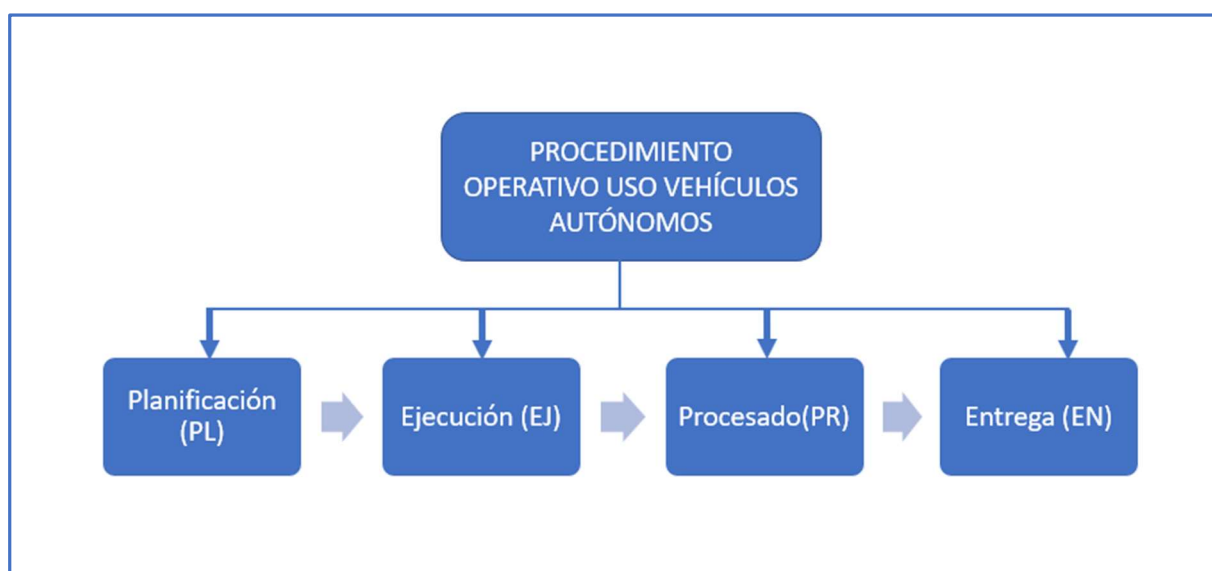


Figura A3\_01. Esquema Procedimiento Operativo vehículos autónomos.

- Planificación (PL).
  - Una vez recibida las órdenes oportunas, se efectuará un estudio de la zona de trabajos asignada (1 y 2)<sup>1</sup>.
  - Contactar con la autoridad portuaria o responsable competente para informar y solicitar autorización (1 y 2).
  - Efectuar estudio de las condiciones meteorológicas (1 y 2).

<sup>1</sup> 1: Vuelo con RPAS; 2: USV VERIL 01.

- Comprobación de estaciones de referencia que transmitan correcciones diferenciales en tiempo real (RTK). En caso contrario, estudiar la viabilidad de establecer una estación base propia que transmita las correcciones (1 y 2).
  - Estudio sobre la distribución de puntos de control y verificación (1).
  - Definir los posibles proyectos de vuelo y sus parámetros (1).
  - Definir los posibles proyectos de líneas (batimetría) y sus parámetros (2).
  - Valoración del tiempo necesario para realizar los trabajos.
  - Estudio de las necesidades logísticas necesarias para el despliegue de los vehículos autónomos (solicitud de vehículo para desplazamiento, pasaportes para el personal implicado, disponibilidad de carrito para USV, carga de baterías y ordenadores, etc.) (1 y 2).
- Ejecución (EJ).
- Una vez obtenidas las autorizaciones necesarias y en la zona de trabajos:
- Realizar comprobación visual de ausencia de obstáculos (1 y 2).
  - Comprobar in situ que se reciben las correcciones diferenciales (1 y 2).
  - Materializar los puntos de control y verificación y realizar las mediciones topográficas necesarias (1).
  - El software empleado para la adquisición de datos será:
    - RPAS: DJI PILOT2.
    - VERIL 01: SIS versión 5.
  - Realización del levantamiento ya sea topográfico o batimétrico conforme al manual de los diferentes equipos.
  - Para los trabajos con USV se mantendrá alistada una embarcación en las proximidades en caso de emergencia.
  - Observación del plan de emergencia del vehículo autónomo empleado.
  - Durante la realización de los trabajos, primará la seguridad sobre el personal.
- Procesado (PR).
- El software empleado para el procesado de los datos obtenidos mediante los vehículos autónomos será:

- RPAS: DJI TERRA, PIX4D, ARCGI PRO y QGIS (ver apéndice 4).
- VERIL 01. CARIS HIPS&SIPS 11.4.

El objetivo de los datos LIDAR, así como de las imágenes obtenidas con la cámara fotogramétrica será el de actualizar la línea de costa representada en las cartas náuticas. Se comprobarán las diferencias entre los resultados obtenidos con los datos existentes en las bases de datos del IHM.

Para las imágenes multiespectrales el fin es el de obtener batimetría derivada de aquellas zonas en las que no exista.

Los requisitos de procesado para el VERIL 01 serán los mismos que se apliquen a datos que se obtengan con otras plataformas que realicen levantamientos batimétricos similares.

El apéndice 4 de este trabajo es una guía detallada para el procesado de los datos obtenidos con el RPAS y menciona los pasos a seguir para el procesado de los datos batimétricos....

A modo de lista de comprobación, el fichero «[Fases POS RPAS USV.xlsx](#)» contiene los pasos a seguir en cada una de las etapas del POS. También recoge los parámetros a introducir en fase de procesado.

- Entrega (EN).

Una vez procesados los datos obtenidos, se cumplimentarán las instrucciones existentes para la entrega de datos por parte de las comisiones hidrográficas en tiempo y forma. Se entregarán los datos brutos y procesados, así como una memoria explicativa de los pasos seguidos.

VUELO MATRICE 300 RTK: NÚMERO \_\_\_\_\_

ZONA GEOGRÁFICA: \_\_\_\_\_

**PLANIFICACIÓN**

TAREA	HECHO	OBSERVACIONES/COMENTARIOS
Estudio Zona	SI	
Autorización	NO	
Meteo	SI	
Corr. Diferenciales	SI	Estación Transmisora: _____ (ALT. _____)
GCP	NO	Nº Puntos: _____
Proyecto	SI	
Desbloqueo DJI	SI	
Tiempo Estimado	10m	
Comprobación Firmware	SI	
Carga baterías	NO	
Carga Ordenadores	SI	
Memoria libre dispositivos	SI	Libres xx MB
Sistema Coord.	--	ETRS89 UTM 29N (EPSG:25829)
Vehículo desplaz.	NO	
Número personas	2	

**Parámetros Proyecto**

Parámetro/Sensor	P1	L1	MICASENSE
Altura (m)	80	--	60
GSD	1.5	--	5.69
RL		--	
Rt		--	
Velocidad			
Rumbo/Azimut (°)			
Nº de líneas			
Nº Retornos	--	Doble	--
Máx. Frecuencia	--	240	--
Modo Exploración	--	No Repetitivo	--

EJECUCIÓN		
P1		
Antes	Puntos de Control	Materializar y medir
	Correcciones RTK	Comprobación
Durante	Warnings	Comprobar avisos de seguridad
	Vuelo	Comprobar parámetros e iniciar
	Seguridad	Mantener RPAS en visual durante todo el vuelo
		Observar modificaciones condiciones meteo.
		Informar autoridad competente del inicio del vuelo
	Observación del estado de las baterías	
Finalización	Arranchado de material	Apagado del RPAS
		Desconexión sensores
		Recogida de dianas (si se instalaron).
L1		
Antes	Correcciones RTK	Comprobación
Durante	Warnings	Comprobar avisos de seguridad
	Vuelo	Comprobar parámetros e iniciar
	Seguridad	Mantener RPAS en visual durante todo el vuelo
		Observar modificaciones condiciones meteo.
		Informar autoridad competente del inicio del vuelo
	Observación del estado de las baterías	
Finalización	Arranchado de material	Apagado del RPAS
		Desconexión sensores
MULTIESPECTRAL		
Antes	Cámara	Calibración
	Correcciones RTK	Comprobación
Durante	Warnings	Comprobar avisos de seguridad
	Vuelo	Comprobar parámetros e iniciar
	Seguridad	Mantener RPAS en visual durante todo el vuelo
		Observar modificaciones condiciones meteo.
		Informar autoridad competente del inicio del vuelo
		Observación del estado de las baterías
	Cámara	Calibración si cambian condiciones de luminosidad
		Comprobación espacio libre en tarjeta SD
Finalización	Arranchado de material	Apagado del RPAS
		Desconexión sensores

DJI TERRA		Pix4D MAPPER
<b>DATOS P1</b>		<b>DATOS P1</b>
CREAR CARPETA DE TRABAJO Y CARGAR CARPETA DATOS GENERADA		CREAR CARPETA DE TRABAJO
<b>AEROTRIANGULACIÓN</b>		<b>IMÁGENES</b>
Parámetro	Valor a introducir en software:	Añadir imágenes (3) o Directorio
Escena	<b>NORMAL</b>	Comprobar sistema de coordenadas
Modo de Cálculo	<b>AUTÓNOMO</b>	Indicar sistema de coordenadas de los productos que se generen
AVANZADOS		<b>LIBERAR ESPACIO RECURSOS PC</b>
Gestión GCP		Opciones de Procesamiento/Pestaña Recursos y Notificaciones
Densidad	ALTO	
Sistema de Coordenadas	ETRS89 UTM 29N (EPSG:25829)	<b>FASES PROCESAMIENTO</b>
Carga de GCP	Seleccionar Fichero	<b>FASE 1. Inicial</b>
	Establecer formato de archivo	Iniciar/Valores por defecto
	Establecer sistema de coordenadas: EL QUE CORRESPONDA	<b>PUNTOS DE CONTROL</b>
	Ajuste de altitud: DEFECTO	Comprobar sistema de coordenadas
	Precisión de GCP: USAR PRECISIÓN PERSONALIZADA	Importar puntos de control
	Definir COLUMNAS (NOMBRES)	Ajuste posición GCP en fotografías
	IMPORTAR	Reoptimizar proceso
	AJUSTE COORDENADAS PUNTOS DE CONTROL AEROTRIANGULAR Y OPTIMIZAR	<b>FASE 2. Nube de puntos y malla</b>
Informe Aerotriang.	Descargar	Nube de puntos
<b>MAPA 2D</b>		Densidad nube de puntos: ÓPTIMA
Resolución	ALTO	Clasificar nube de puntos (para mejora MDT)
Escena	<b>URBANO</b>	Formato nube de puntos (LAS/PLY/XYZ)
Modo de cálculo	<b>AUTÓNOMO</b>	Malla 3D con Textura
AVANZADOS		Resolución: MEDIA
Región de interés	<b>REGIÓN MÁXIMA</b>	Formato: PLY/OBJ
Sistema de Coordenadas	<b>ETRS89 UTM 29N (EPSG:25829)</b>	<b>FASE 3. MDS, ortomosaico e índices</b>
<b>MAPA 3D</b>		MDS y ortomosaico
Copiar RdI a Reconstrucción 3D (mismos parámetros que 2D)		Valores por defecto

Formato de salida	<b>B3DM y nube de puntos (LAS)</b>	Resultados Adicionales
Reconstruir	<b>Primero hace la reconstrucción 2D y después la 3D. Tardará en función del volumen de datos.</b>	Formato GRID: LAS
<b>DATOS L1</b>		Raster MDT: marcar GEOTIFF
CREAR CARPETA DE TRABAJO Y CARGAR CARPETA DATOS GENERADA		Curvas de nivel: Formato (SHP-PDF)/intervalo/curva base
<b>NUBES DE PUNTOS LIDAR</b>		
Densidad nube de puntos	<b>ALTO/MEDIO/BAJO</b>	
Escenarios	<b>PROCESAMIENTO NUBE DE PUNTOS AVANZADOS</b>	<b>CÁMARA MULTIESPECTRAL</b>
		Mismos pasos que para P1
Distancia Efectiva de la nube de puntos.	<b>250</b>	Calculadora de índices
Sistema de Coordenadas	<b>ETRS89 UTM 29N (EPSG:25829)</b>	Calibración cámara multiespectral (cada banda)
Ajuste de altitud	<b>DEFAULT (Altura elipsoidal)</b>	Generación de índices con la calculadora
Compensación de altura	<b>0</b>	Introducir fórmula, aceptar y generar
Formato de salida	<b>PNTS (por defecto) y LAS</b>	Exportar mapas
Procesado	<b>Iniciar procesamiento</b>	



**USV\_PLANIFICACIÓN**

PLANIFICACIÓN		
TAREA	HECHO	OBSERVACIONES/COMENTARIOS
Estudio Zona	SI	
Autorización	NO	
Meteo	SI	
Correcciones Diferenciales	SI	Estación Transmisora: _____(ALT. _____)
Mareas	NO	
Proyecto	SI	
Tiempo Estimado	01 h	(Importante para definir el aviso a los navegantes)
Aviso Navegantes	SI	
Carga baterías	NO	
Carga Ordenadores	SI	
Sistema Coordenadas	--	ETRS89 UTM 29N (EPSG:25829)
Prueba general	SI	¿Funciona todo?
Vehículo	NO	
Embarcación	NO	Alistada caso zona sea comprometida
Comunicaciones auxiliares	NO	VHF
Teléfono móvil	SI	Por si se utiliza comms via 4G
Número personas	2	Según el tipo de despliegue (2-4 personas) y necesidad de embarcacion auxiliar

Parámetros	
EM 2040P	
Frecuencia	300-400 Khz
Apertura haces	60º-70º
Modo trabajo	Equidistancia
RTK	
Puerto	Dependerá de la red a la que pertenezca la ETRGNSS y del usuario
Estación	
Mount Point	
URL	
usuario	
contraseña	
USV	
Velocidad	
Curva evolución	

USV\_PLANIFICACIÓN

EJECUCIÓN			
VERIL 01			
Antes	Montaje Equipo	Incluye arranque baterías y puesta en el agua	
	Correcciones RTK	Comprobación	
	Alistamiento Embarcación	Incluye puesta en el agua y Arranque motor	
	Instalación Antena Direccional	Proximidades zona levantamiento con visual completa del mismo (120° apertura max)	
	Seguridad	Informar autoridad competente del inicio del trabajo batimetrico Comprobar comunicaciones VHF con autoridades competentes	
	Estacionamiento USV	Mantener en modo "STATION"	
	Conexión con USV	Mediante VCS, preferentemente vía radio	
	Conexión SEAPATH-EM2040P-PVS	Mediante REMINNA	
	Proyectos de líneas	Comprobación de parámetros e iniciar	
Durante	Levantamiento	Modo "WAYPOINT" Grabar datos brutos IMU y RTCM durante todo el levantamiento (caso necesario PPK o PPP)	
	Seguridad	Mantener USV en visual durante todo el levantamiento Observar modificaciones condiciones meteo. Observación del estado de las baterías	
	Datos Batimétricos	Comprobación contactos y obstaculos visual y AIS Operador deberá iniciar y terminar de grabar datos por cada línea Adquisicion traza PVS según condiciones puerto (minimo cada 1 hora) Descarga de datos (preferentemente vía radio)	
	Finalización	Arranchado de material	Recogida y Apagado del USV Desmontaje del equipo (endulzar previamente) Carga de baterias y PVS AML3

USV\_PROCESADO

PROCESADO	
VERIL 01	
Creación Proyecto Caris	Establecer Sistema de Coordenadas pertinente.
	Carta electrónica (ENC) de la zona levantamiento.
	Fichero barco (hvf) VERIL 01 con parámetros TPU EM2040P- SEAPATH 130.
	Carpeta líneas brutas extraídas veril (formato KMALL).
	Carpeta datos brutos posicionamiento.
	Carpeta datos procesados posicionamiento (caso PPK).
	Datos históricos para comprobación coherencia.
	Carpeta mareas con archivo mareas correspondiente al periodo levantamiento.
	Carpeta SRVH de la zona levantamiento para caso procesado marea GPS (recomendado)
	Parámetros para creación superficie CUBE (cubeparams EM2040P).
Procesado de Datos	Utilización marea GPS para reducción cero hidrográfico.
	Caso RTK presente fallos, utilizar archivos SBET para realizar PPK).
	Realizar superficie base referencia resolución adecuada a zona y parámetros adquisición.
	Comprobación de datos mediante SGP (superficie geográfica de procesado).
	Designación de sondas.
	Comprobación coherencia interna.
	Comprobación coherencia externa con datos históricos.
	Realizar mosaico de reflectividad (backscatter).
Realizar HOB para comprobación contornos, veriles y designación de sondas.	
Finalización/Entrega	Documentación pertinente entrega de datos según IPH.

## Apéndice 4. Guía de procesamiento de datos obtenidos con vehículos autónomos.

Para el procesamiento de los datos obtenidos con el RPAS se ha empleado:

- DJI TERRA para los vuelos fotogramétricos y LIDAR.
- PIX4D MAPPER, para los vuelos fotogramétricos y multiespectral.
- ARCGIS PRO para el análisis de la nube de puntos obtenidas con el sensor LIDAR y generación de productos derivados.
- QGIS para visualización y análisis de los datos geográficos.



### A.4.1. DJI TERRA.

Una vez descargados los datos, lo primero que hay que hacer es crear una misión de reconstrucción. Hay tres posibilidades, en función de los datos que se vayan a emplear:

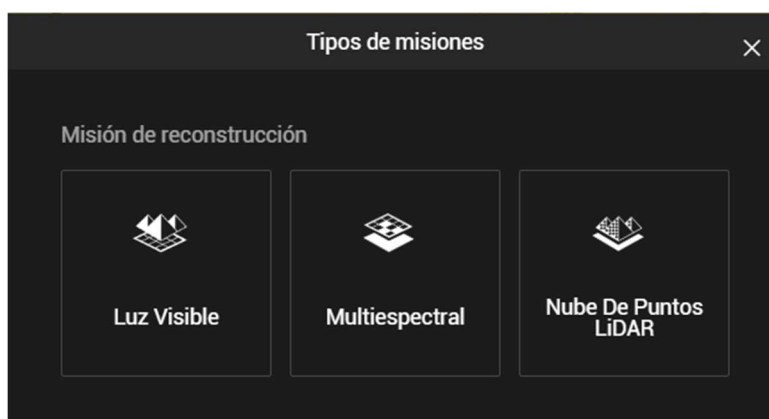


Figura A4\_01. DJI TERRA Misiones de Reconstrucción.

«Luz visible» se empleará para vuelos con la cámara P1, y «Nube De Puntos LIDAR» para el sensor L1.

#### A.4.1.1. Datos LIDAR.

Una vez asignado el nombre a la misión<sup>1</sup>, hay que seleccionar la carpeta donde se encuentran los datos que se van a procesar y que han sido descargados del RPAS.

<sup>1</sup> Nombre misión: ZonaGeográfica\_fecha\_sensor.

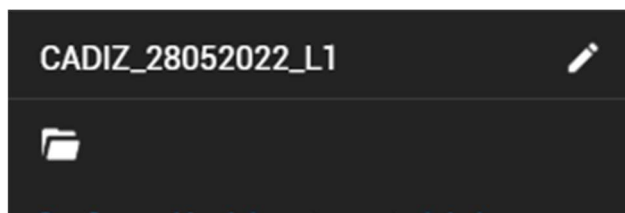


Figura A4-02. Nombre misión y selección de archivos.

Haciendo clic en el símbolo de la carpeta se abrirá un cuadro diálogo para poder seleccionar la ruta donde se encuentre la carpeta.

A continuación, habrá que seleccionar una de las opciones en cuanto a la «Densidad de nube de puntos»:

- Alto: opción de mayor calidad y también de mayor tiempo a la hora de procesar.
- Medio: el resultado generado a partir del 25% de los puntos, presenta una calidad media y requiere una cantidad de tiempo inferior a la opción anterior.
- Bajo: el resultado generado a partir del 6,25% de los puntos, presenta una calidad más baja y es el que menos tiempo requiere.

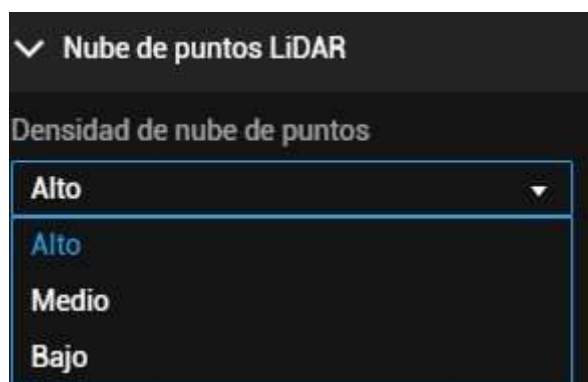


Figura A4\_03. Opciones de densidad nube de puntos.

A no ser que se especifique lo contrario, se fijará en MEDIO.

En cuanto a «Escenarios», se establecerá Procesamiento de nube de puntos:

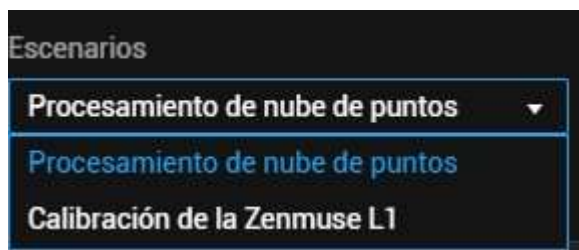


Figura A4-04. Tipos de Escenarios.

Para el procesamiento sólo se emplearán los puntos que se encuentren dentro de la distancia efectiva, los puntos LIDAR que se encuentren más allá de la distancia efectiva serán filtrados.

Al cargar la carpeta con los datos, el software detecta el sistema de coordenadas, que en nuestro caso será WGS-84 y proyección UTM (el huso dependerá de la zona de trabajos).

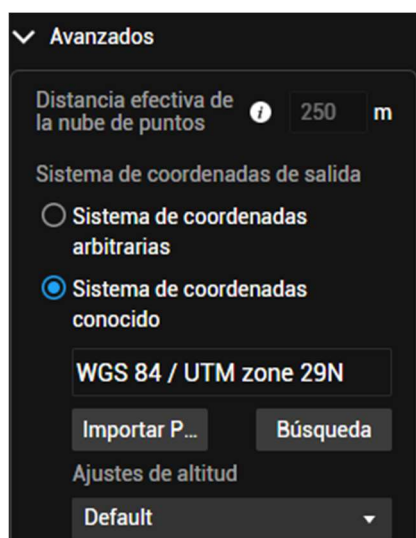
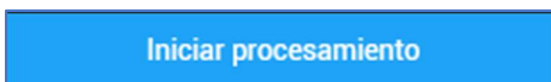


Figura A4\_05. Parámetros avanzados.

Para «Ajustes de altitud» se mantendrá la opción “Default”, de esta manera las alturas obtenidas serán alturas elipsoidales. El programa no tiene la opción cargar el modelo de geoide para la península ibérica (EGM08\_RED NAP).

El software permite obtener los datos en cinco formatos diferentes. Se seleccionará formato LAS.

Sólo queda:



Dependiendo del volumen de la nube de puntos y de los parámetros seleccionados (densidad de puntos), el proceso tardará más o menos.

Una vez finalizado el proceso, se podrán visualizar los datos obtenidos de cuatro formas diferentes: RGB, Reflectividad, Altura y Retorno:

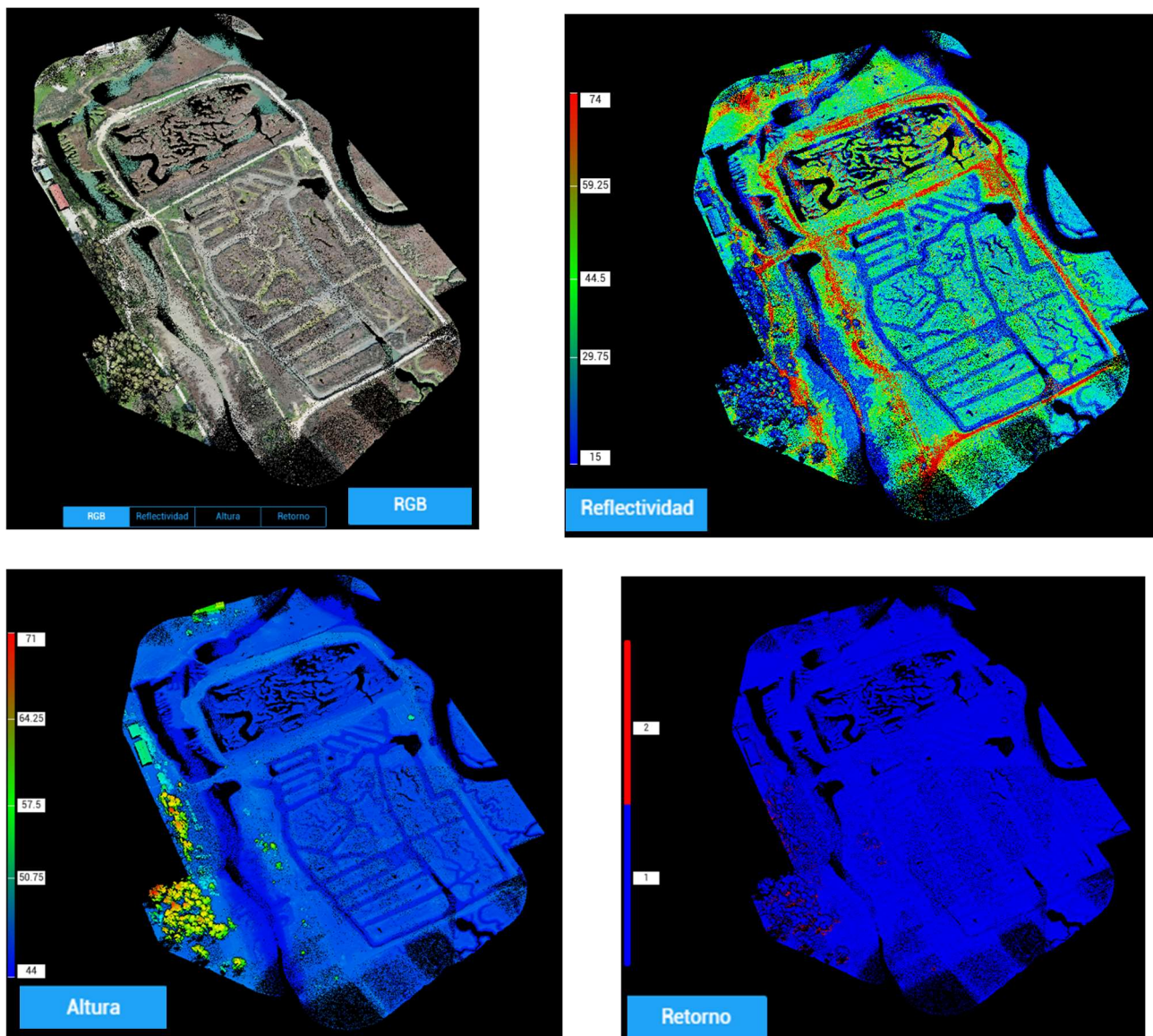


Figura A4\_06. Visualización datos procesados. a) RGB; b) Reflectividad; c) Altura; d) Retorno.

Para trabajar con otros programas hay que exportar los datos procesados. Para ello, simplemente hay que hacer clic en el icono correspondiente del menú principal y seleccionar qué datos se quieren exportar:



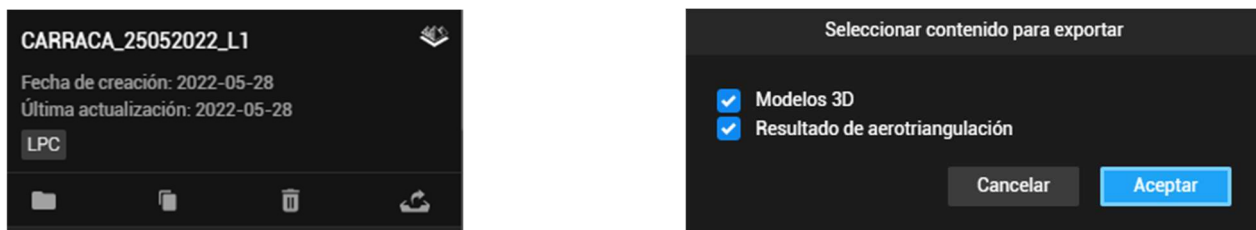


Figura A4\_07. Exportar datos procesados.

Al exportar los datos procesados se dispondrá de un fichero «LAS» con el que se podrá trabajar en cualquier GIS. A continuación, se muestran los pasos a seguir con el programa “ArcGIS Pro”, para obtener un modelo digital de elevaciones y posteriormente las curvas de nivel.

Otra opción para obtener la nube de puntos es entrar directamente en la carpeta generada con el proyecto y copiar el fichero LAS creado.



Una vez creado el proyecto y establecido el sistema de coordenadas, desde la vista catálogo hay que añadir una conexión a la carpeta donde se encuentra la nube de puntos (fichero LAS). A continuación, hay que agregar la nube de puntos al mapa actual:



Figura A4\_08. Carga de datos LAS en ARCGIS PRO (I).

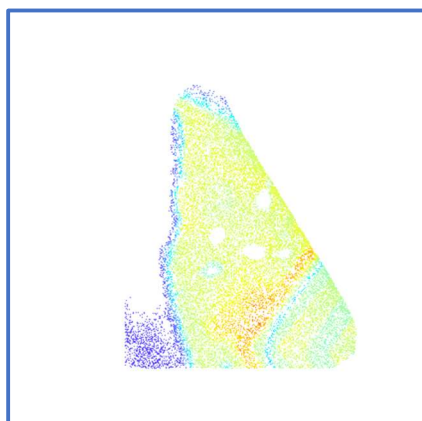


Figura A4\_09. Carga de datos LAS en ARCGIS PRO (II).



El siguiente paso será un fichero ráster a partir de la nube de puntos, bastará con buscar en la caja de herramientas la opción «De dataset LAS a ráster», a continuación, habrá que rellenar una serie de parámetros: fichero LAS de entrada, nombre del fichero de salida, tipo de interpolación, tras varias pruebas se ha optado por el método de agrupamiento (relleno vacío: lineal).

Con el número que introduzcamos en «Valor de la muestra» estaremos asignando la resolución del modelo, cuánto más bajo, más detalle tendrá, pero tardará y pesará más.

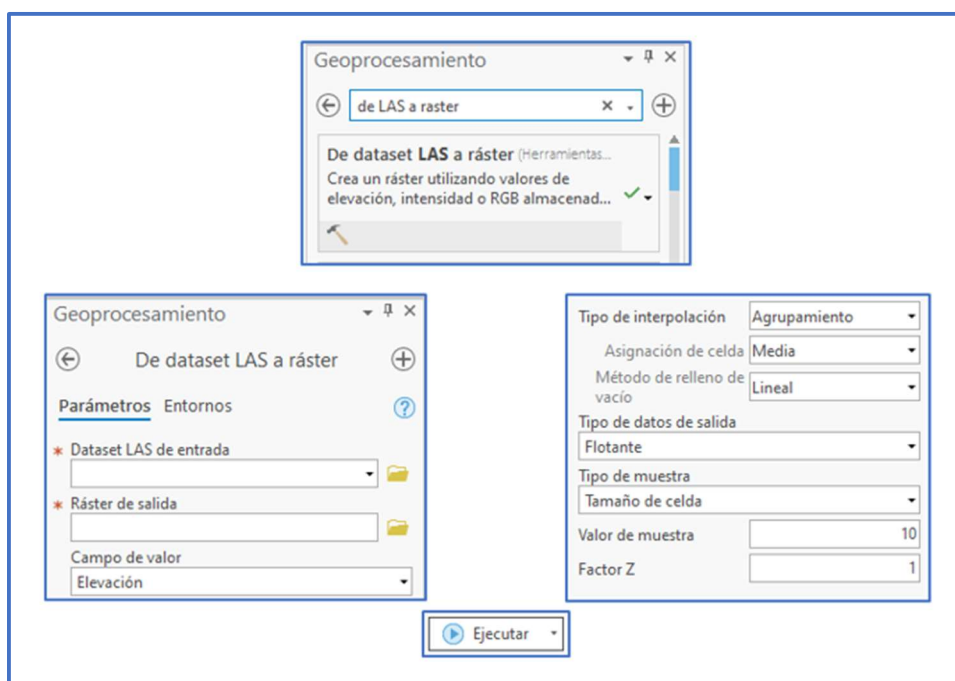


Figura A4\_10. Creación de un MDE a partir datos LAS en ARCGIS PRO (I).

Inicialmente el MDE aparecerá en una escala de grises, la cual puede cambiarse desde el menú de simbología:

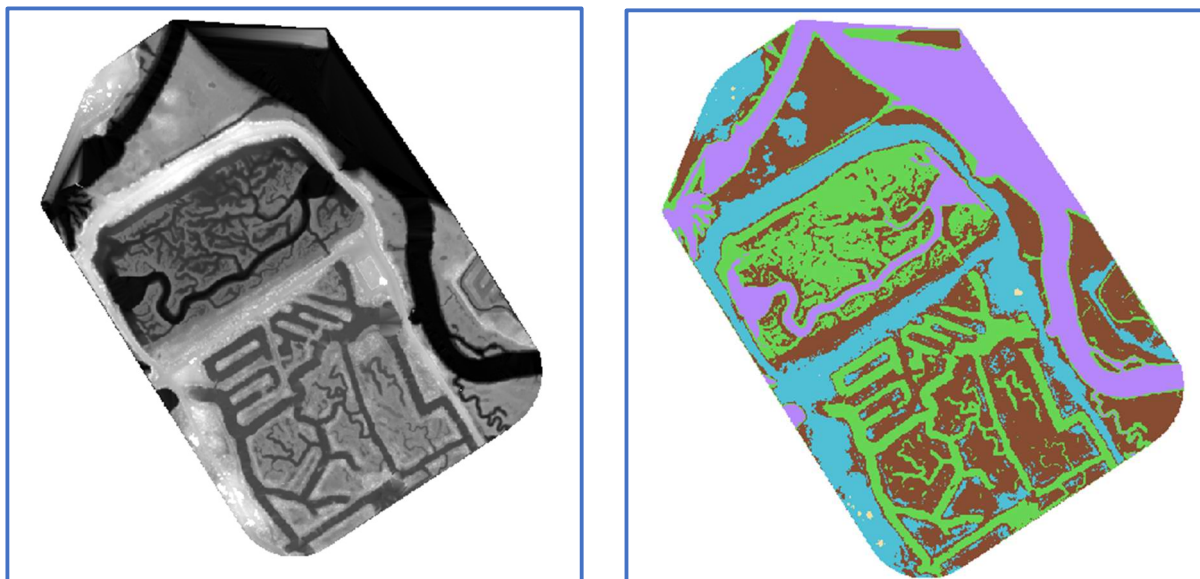


Figura A4\_11. Creación de un MDE a partir datos LAS en ARCGIS PRO (II).

Una opción, que permite una mejor visualización es la creación de un modelo de sombras (Hillshade). Esto se realiza utilizando de nuevo la caja de herramientas, en este caso con escribir sombreado en el buscador aparecerá:

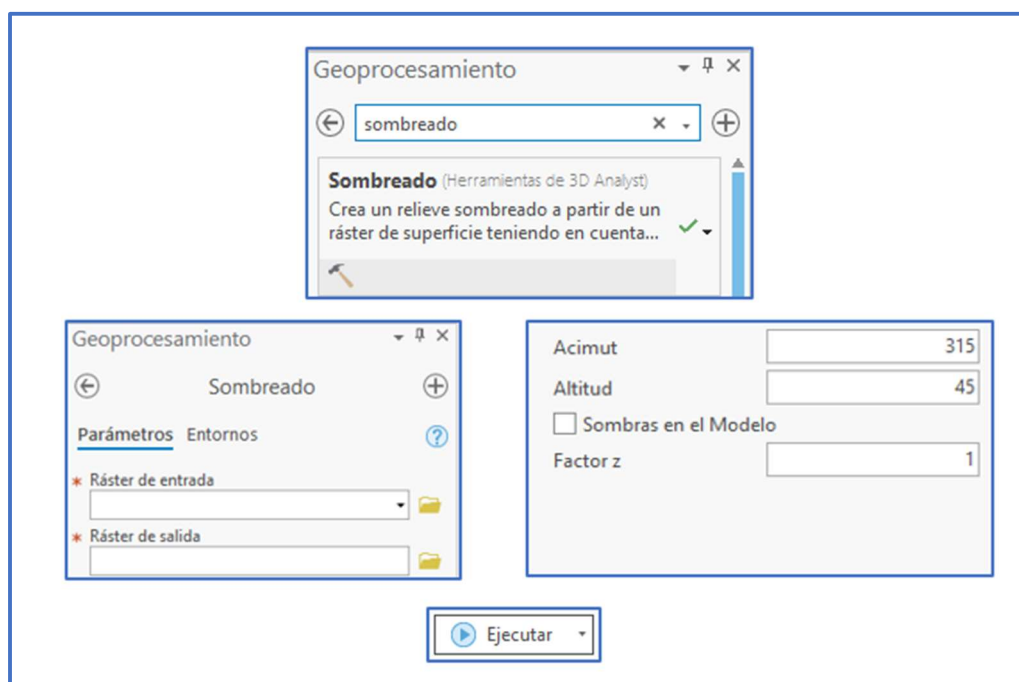


Figura A4\_12. Creación de un modelo de sombras.

Una vez rellenos los campos de fichero de entrada, salida y Factor z, el cual exagerará el relieve se obtiene:

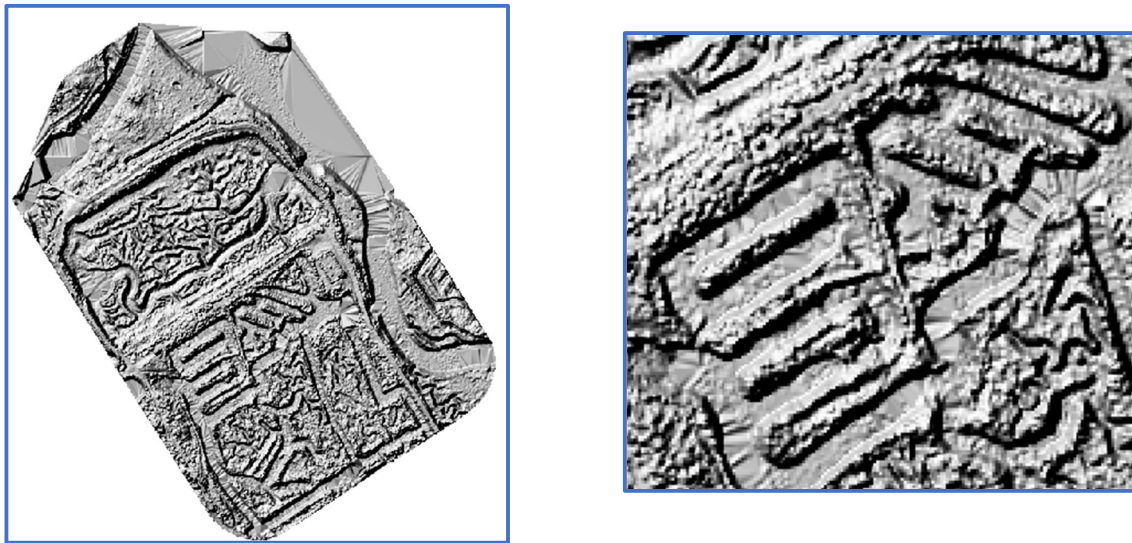


Figura A4\_13. Modelo de sombras, vista general (izquierda) y detalle (derecha).

Para la creación de las curvas de nivel, en la caja de herramientas escribimos «curvas de nivel»:

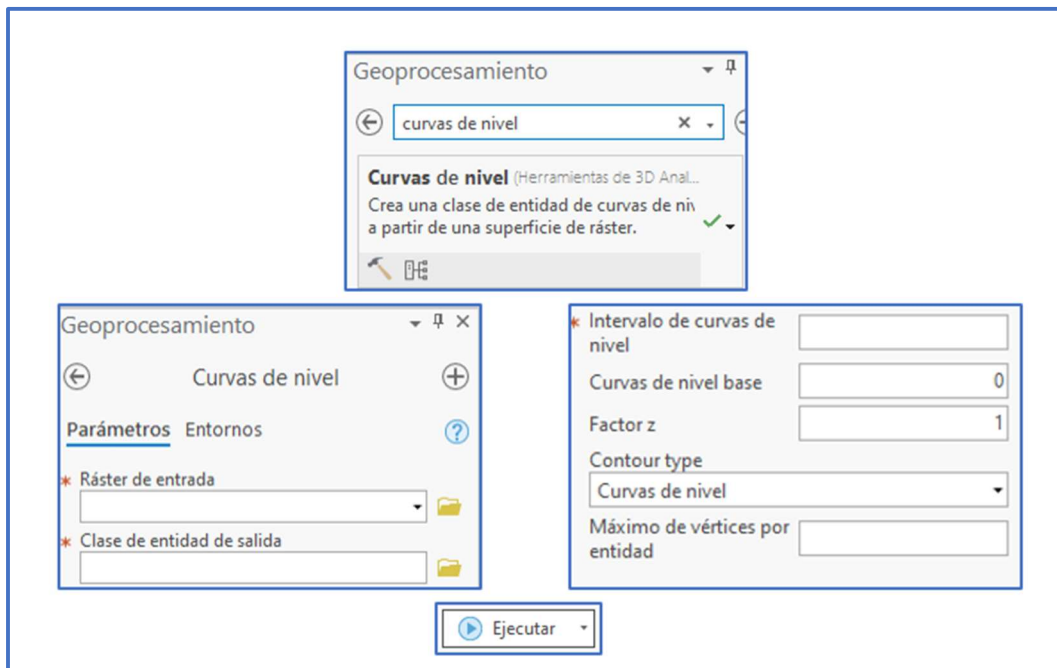


Figura A4\_14. Creaciones curvas de nivel.

Una vez relleno los parámetros que pide el proceso se obtiene:

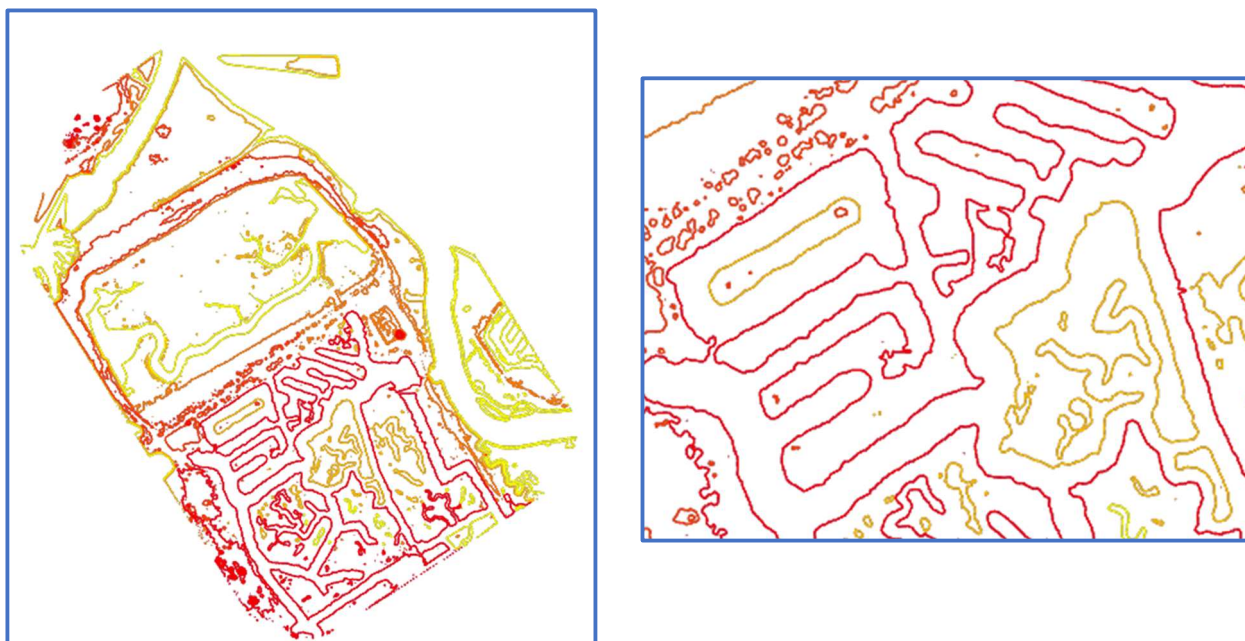


Figura A4\_15. Curvas de nivel creadas, vista general (izquierda) y detalle (derecha).

#### A.4.1.2. Datos cámara fotogramétrica P1.

Los pasos para seguir para el procesado de los vuelos fotogramétricos obtenidos con la cámara P1 son similares a los realizados para el LIDAR con el programa DJI TERRA.

Una vez descargados los datos de la cámara, en el programa DJI TERRA se crea una nueva misión de reconstrucción, en este caso de «Luz visible» y a continuación una carpeta donde se genera el proyecto:

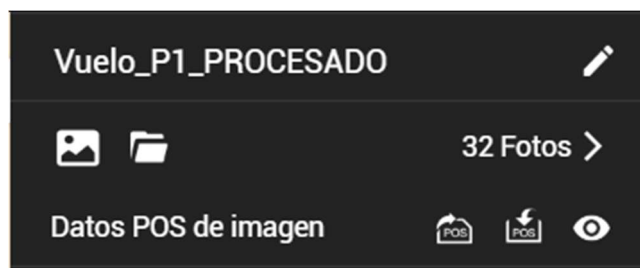


Figura A4\_16. Nuevo proyecto y carga de fotos.

El procesado tiene tres partes: aerotriangulación, Mapa 2D y Mapa 3D.

Tras cargar las fotografías se configurarán los siguientes parámetros correspondientes a la aerotriangulación:

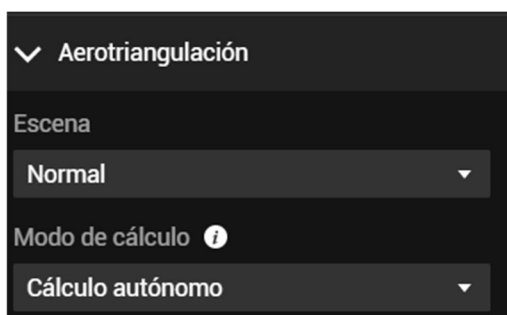


Figura A4\_17. Parámetros de aerotriangulación.

Se seleccionarán «Normal» para el parámetro «Escena» y «Cálculo autónomo» para el «Modo de cálculo».

El siguiente paso será cargar en el sistema los puntos de control que se hayan obtenido en ellos trabajos de campo.

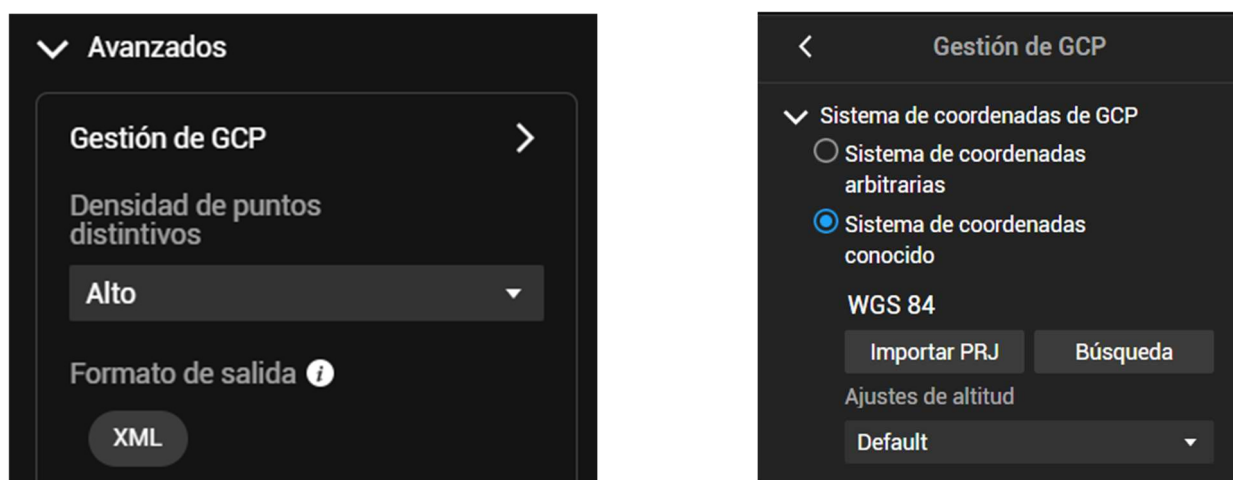


Figura A4\_18. Puntos de control (I).

Habrà que importar el fichero en el que se encuentran los puntos,

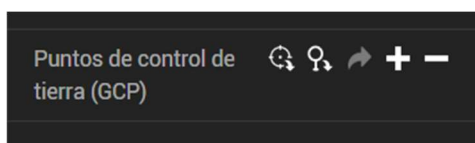


Figura A4\_19. Puntos de control (III).

Dependiendo de la opción que se seleccione para la densidad de puntos, se obtendrá mayor o menor resolución.

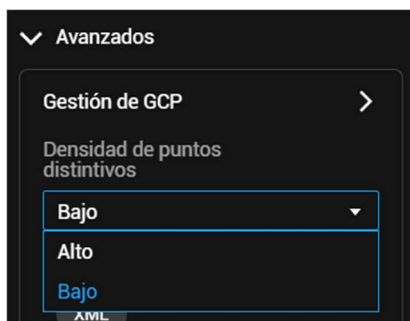


Figura A4\_20. Puntos de control (IV).

Una vez importado los puntos hay que revisar sus metadatos, es decir, comprobar el sistema de coordenadas en el que se encuentran, si se trata de altura elipsoidal (Modo Default), ver cómo se encuentran separados los distintos campos (coma, tabulador, etc.) y el símbolo de decimal. Además, habrá que dar formato a las columnas del fichero, marcando datos como Nombre, X/E, Y/N, etc.:

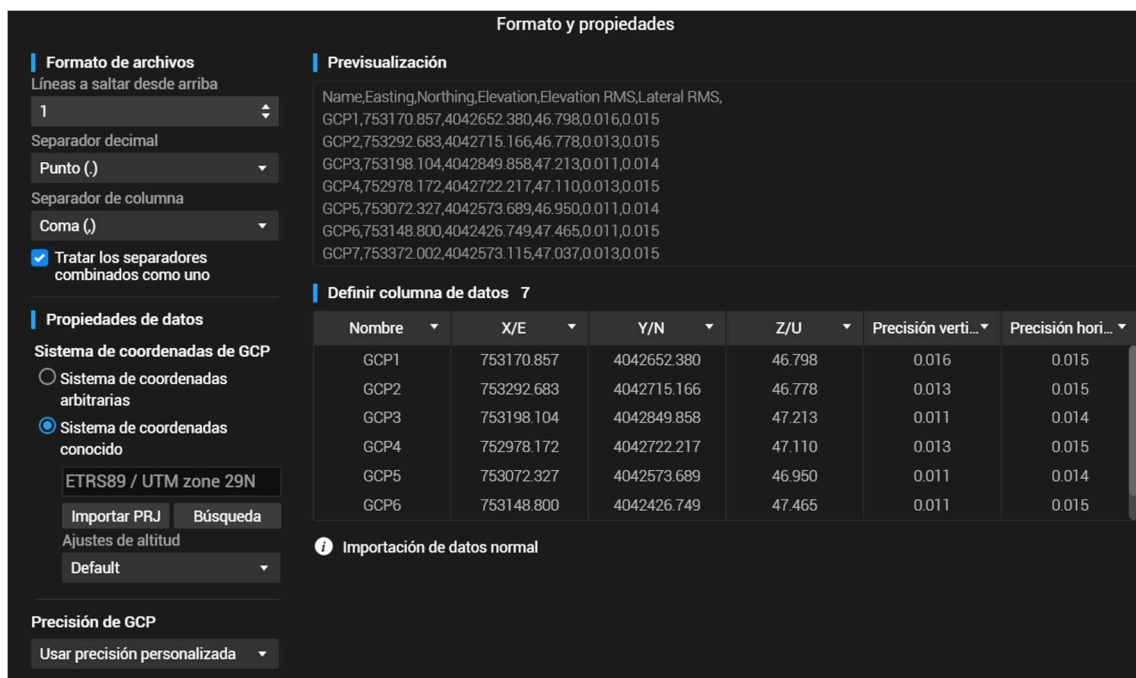


Figura A4\_21. Formato fichero puntos de control.

Una vez todo comprobado, se importan y aparecerá una ventana con los puntos y aquellas fotografías en la que aparecen:



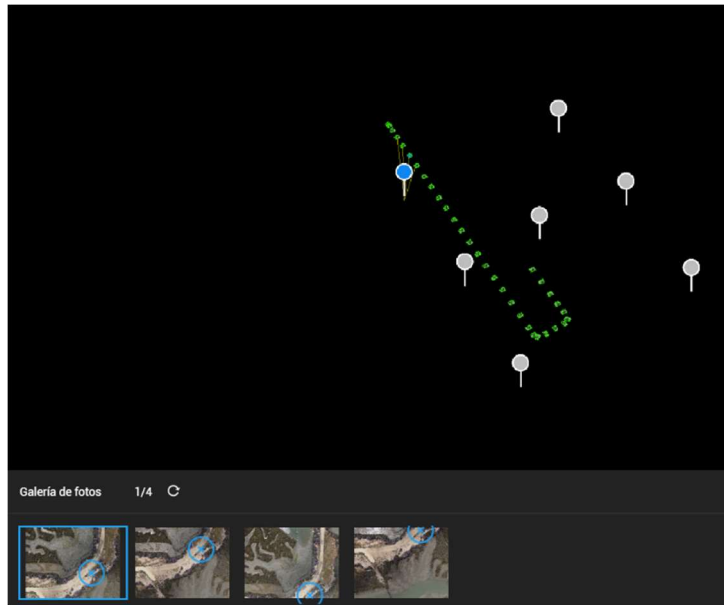


Figura A4\_22. Ajuste puntos de control (I).

En la parte derecha del programa aparecerán los puntos listados. Cada vez que se seleccione uno de los puntos en la parte inferior de la imagen se podrán ver todas las fotografías en la que aparece ese punto de control.

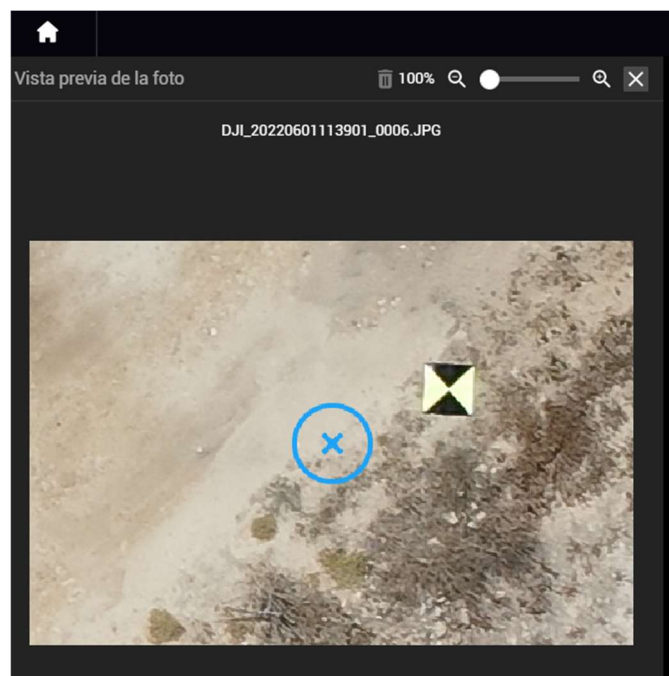


Figura A4\_23. Ajuste puntos de control (II).

Ahora hay que ir fotografía a fotografía y marcar la posición correcta del punto de control, en este caso los centros de las dianas.

Una vez hecho este proceso con cada uno de los puntos de control se iniciará la «Aerotriangulación» y una vez finalizada se optimizará el modelo:

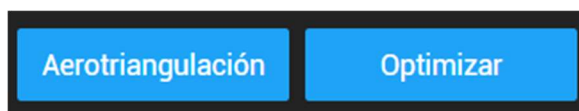


Figura A4\_24. Inicio proceso aerotriangulación.

Los siguientes pasos son las reconstrucciones 2D y 3D, las cuales son muy parecidas en cuanto a los parámetros a configurar:

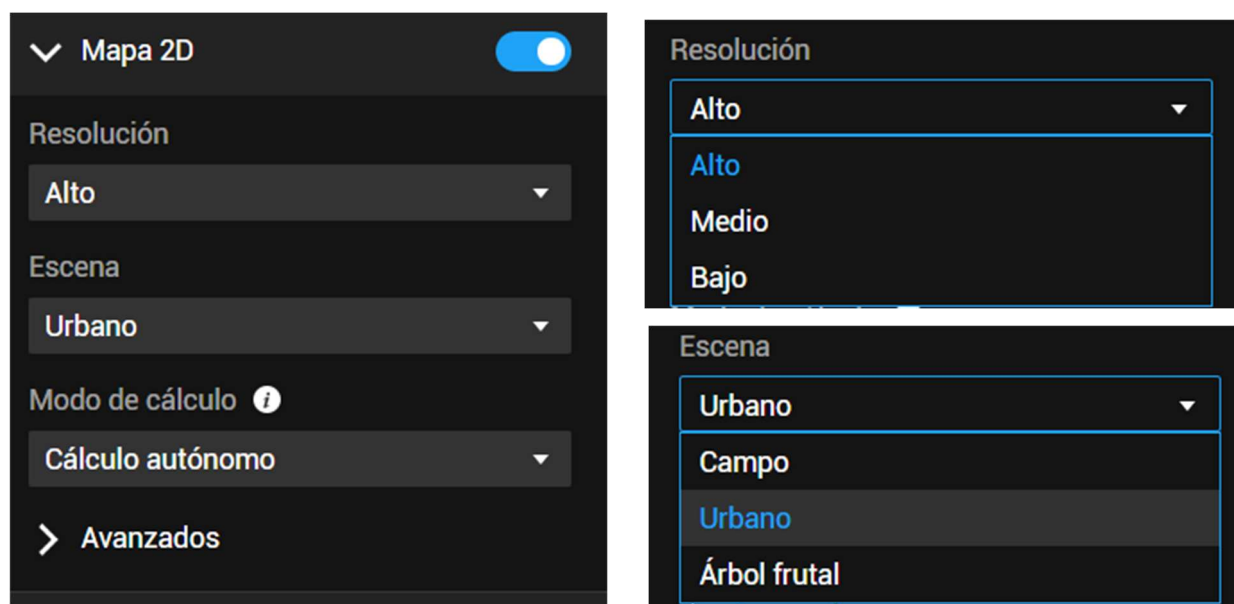


Figura A4\_25. Reconstrucción 2D (I).

Es importante seleccionar en «Escena» la opción «Urbano», ya que en caso contrario el programa no permitirá seleccionar el sistema de coordenadas que más nos convenga. Si se selecciona Campo, se establecerán por defecto coordenadas WGS-84.



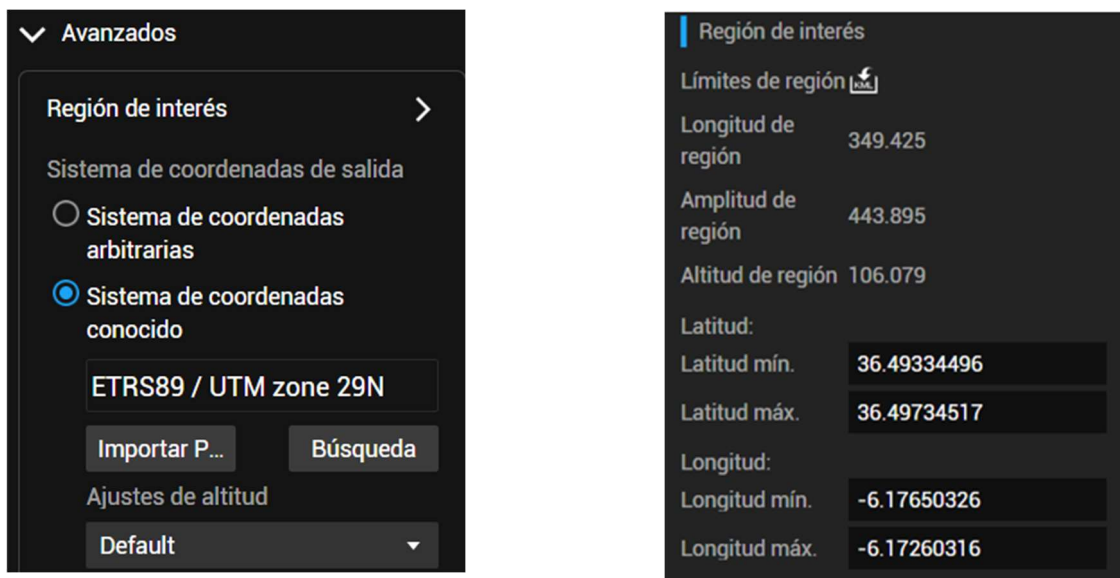


Figura A4\_26. Reconstrucción 2D (II).

En cuanto al parámetro «Región de Interés», marcar la opción «Región máxima»:

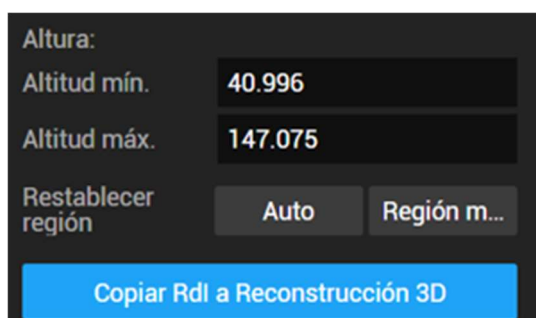


Figura A4\_27. Reconstrucción 2D (III).

Para 3D

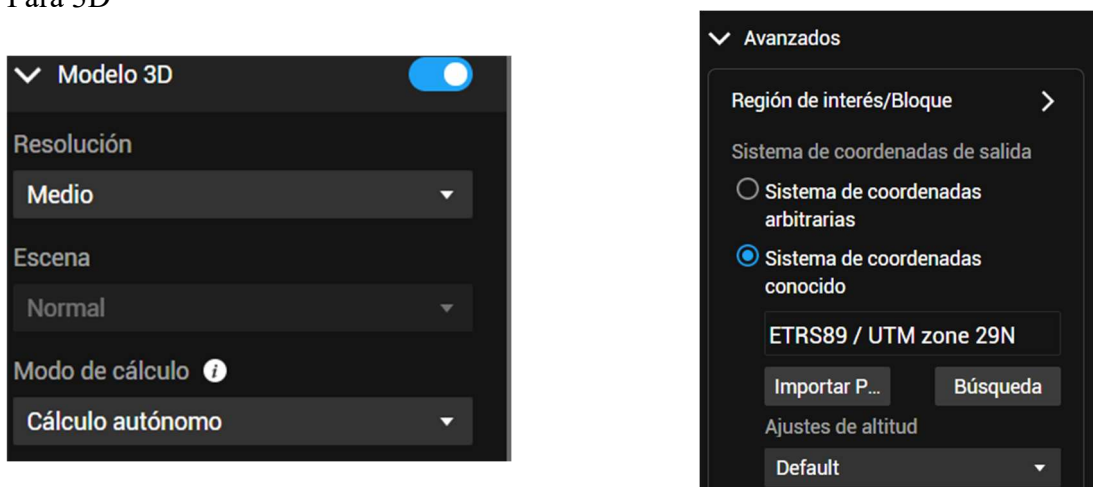


Figura A4\_28. Reconstrucción 3D (I).

Tan sólo queda definir los productos de salida que será nube de puntos (PNTS, LAS y PLY) y para el modelo (PLY y OBJ). ¡¡¡¡Finalmente «Iniciar Reconstrucción» y a esperar!!!!

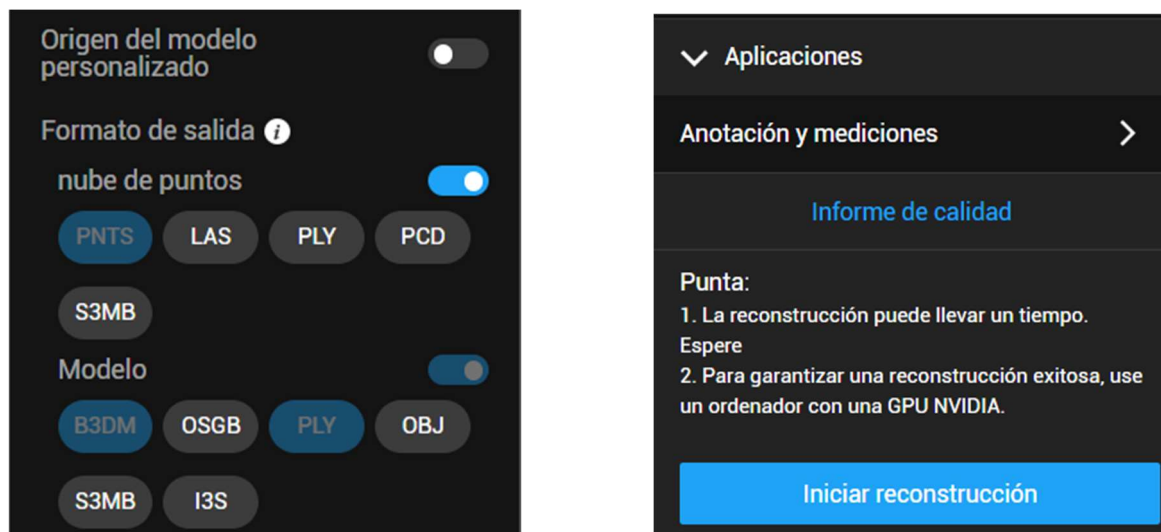


Figura A4\_29. Reconstrucción 3D (II).

Dentro de la estructura de carpetas creadas al instalar el programa y crear el proyecto se podrán encontrar los productos generados:

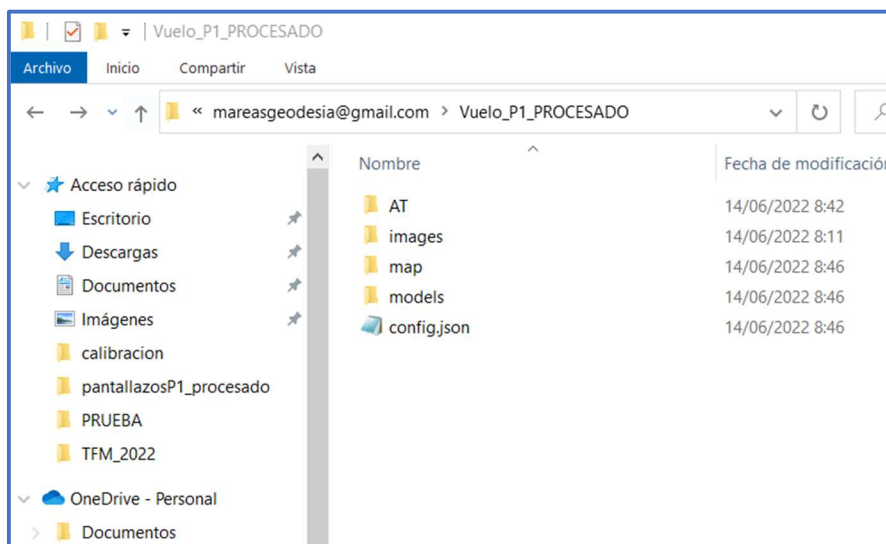


Figura A4\_30. Estructura de carpetas en el proyecto creado (I).

El fichero “result.tif” es la ortofoto y el “dsm.tif” el modelo digital de superficie. Ambos se encuentran dentro de la carpeta “map”:

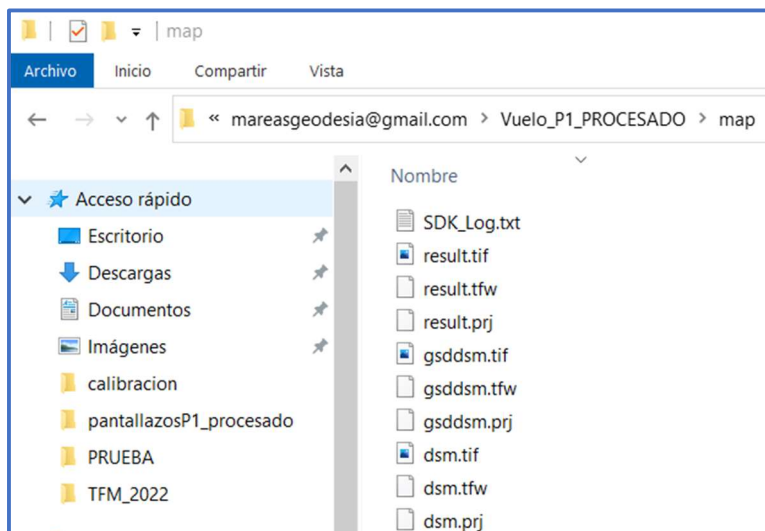


Figura A4\_31. Estructura de carpetas en el proyecto creado (II).

Los modelos 3D generados se encuentran en:

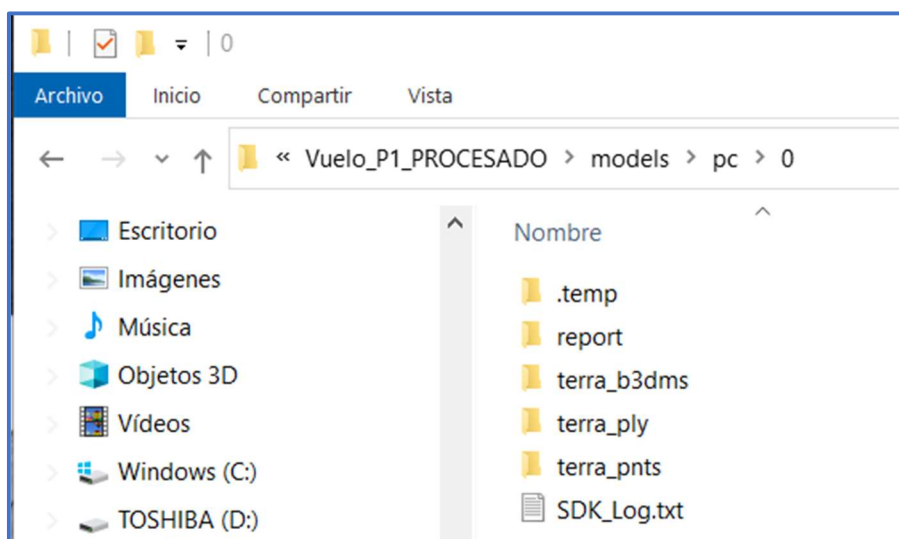


Figura A4\_32. Estructura de carpetas en el proyecto creado (III).

Todos los parámetros necesarios para el procesamiento de un vuelo fotogramétrico se encuentran resumidos en el fichero “[Fases\\_POS\\_RPAS\\_USV.xlsx](#)”.

Una vez obtenidas la ortoimagen y el modelo digital se pasarán al departamento de fotogrametría para la obtención de aquellos nuevos elementos que permitan actualizar la línea de costa.

Si es necesario, para la obtención de curvas de nivel se pueden seguir los pasos descritos en apartados anteriores para el software “ARCGIS PRO”.

#### A.4.2. PIX4D MAPPER.

Con este programa se pueden procesar datos obtenidos tanto con la cámara fotogramétrica Zenmuse P1 como los obtenidos con la multiespectral Micasense MX-RedEdge.

La mayor parte del procesado es similar para ambos sensores. No obstante, hay algunas diferencias en cuanto a los productos obtenidos y calibración de la cámara multiespectral que se tratarán más adelante.

Una vez abierto el programa, el primer paso consiste en crear un nuevo proyecto. La nomenclatura para seguir será: «Vuelo\_nº\_sensor (P1 o MS) \_alturaVuelo(m)\_solapeLongitudinal\_solapeTransversal» Por ejemplo:

**«Vuelo\_1 P1\_80m\_80\_70»**

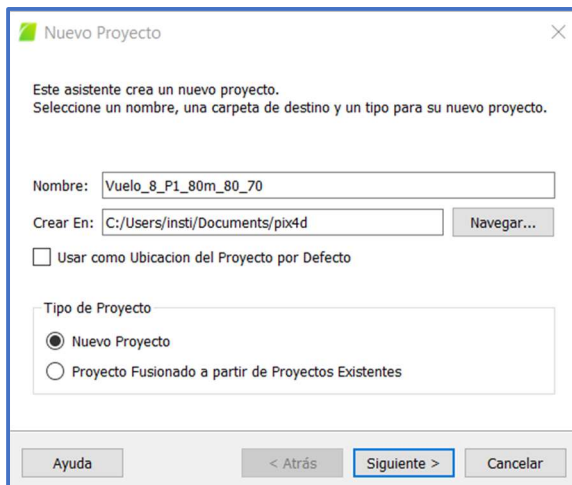


Figura A4\_33. Creación proyecto Pix4D.

A continuación, hay que indicar donde se encuentran las imágenes con las que se va a trabajar. Para ello previamente se habrán descargado desde el dispositivo. También se puede trabajar con imágenes individuales, es decir, no hace falta seleccionar una carpeta, eso sí, el mínimo de imágenes tiene que ser 3.

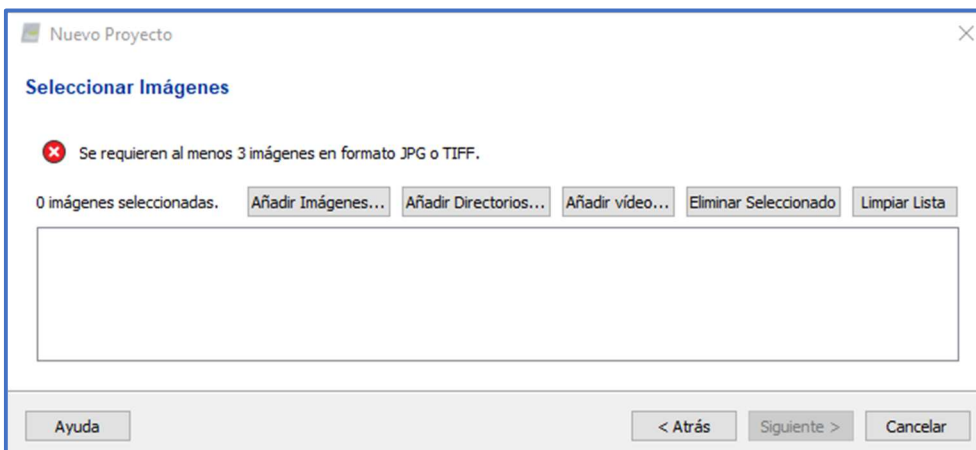


Figura A4\_34. Importación de imágenes Pix4D.

Una vez seleccionado el directorio aparecerán todas las imágenes importadas con sus metadatos:

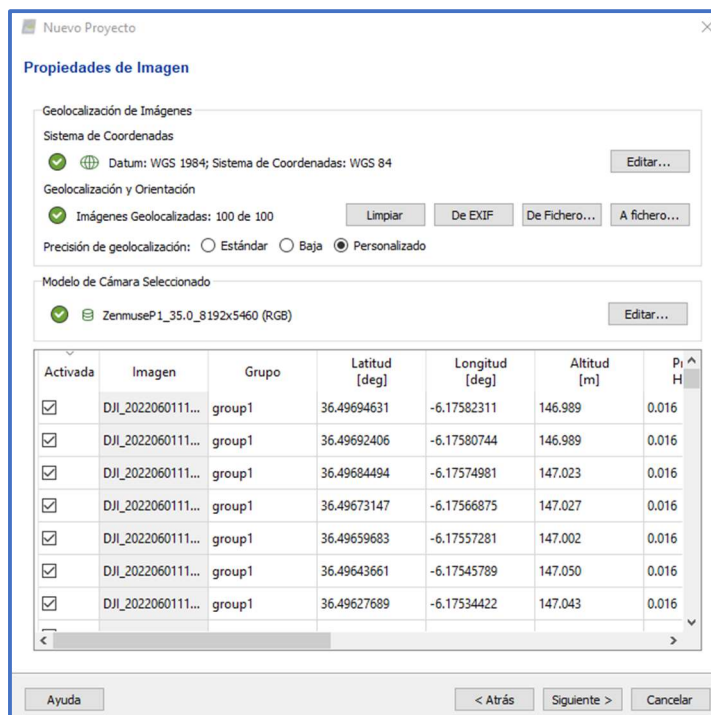


Figura A4\_35. Imágenes cargadas en Pix4D.

En la ventana «Propiedades de Imagen» se puede consultar el sistema de coordenadas de las imágenes, así como los parámetros de la cámara.

Al clicar en «Siguiete» el programa preguntará qué sistema de coordenadas se quieren utilizar para todos los productos que posteriormente se generen:

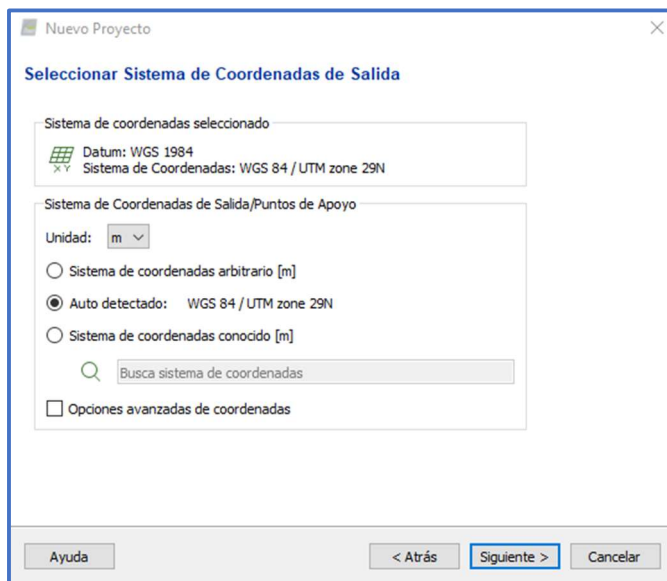


Figura A4\_36. Sistema coordenadas productos generados en Pix4D.

Tanto el sistema de coordenadas de las imágenes como el de los productos que se generan se puedan editar, estableciendo el más conveniente para el trabajo.

Antes de procesar hay que seleccionar una plantilla; para la P1 será “3D Maps” y para la multiespectral “Ag Multiespectral”. Utilizar otras plantillas tendrá sus ventajas e inconvenientes, habrá que valorar calidad vs tiempo de procesado.

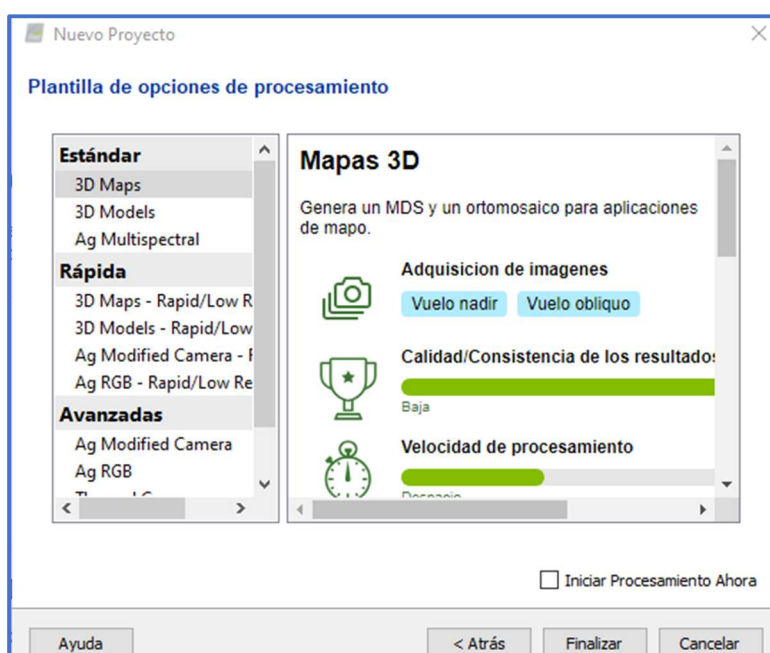


Figura A4\_37. Selección de plantillas para procesado de datos en Pix4D.



Al finalizar este proceso se podrán visualizar las imágenes:

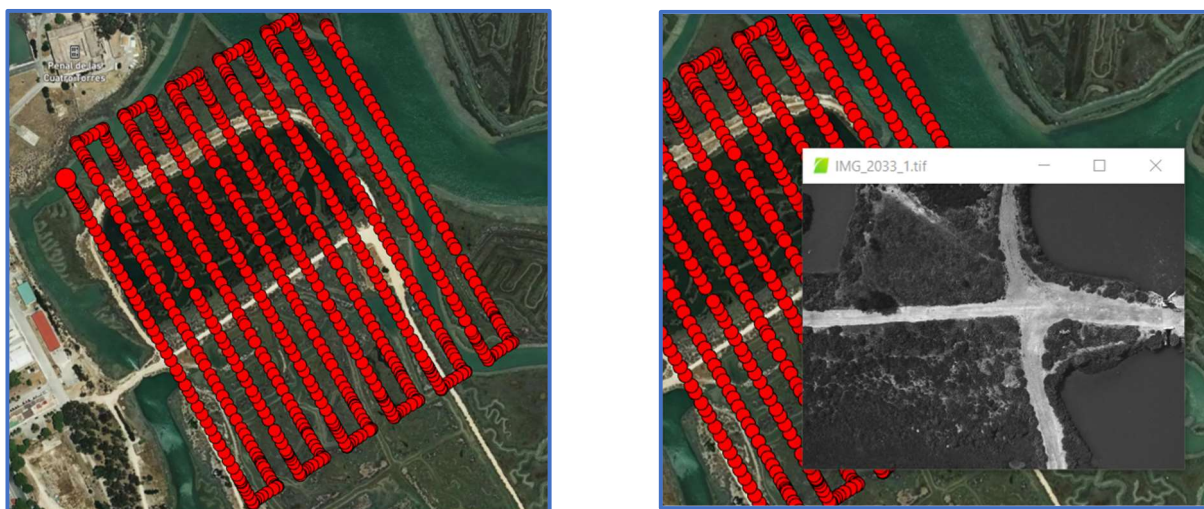


Figura A4\_38. Visualización de imágenes en Pix4D (I).

Hay dos formas de visualizar el proceso seguido, Vista mapa (figura 06) o en modo “Raycloud”:

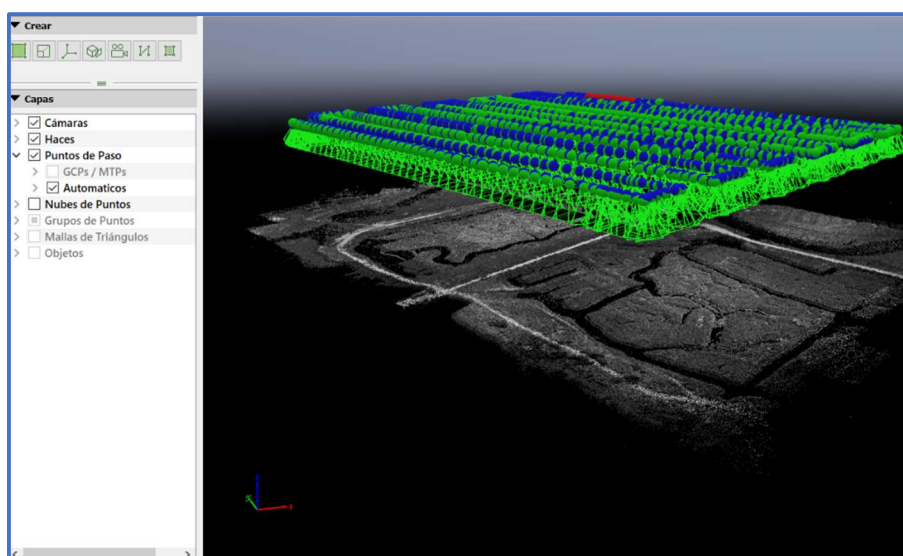


Figura A4\_39. Visualización de imágenes en Pix4D (II).

En este momento, comienza el procesamiento propiamente dicho, el cual consta de tres fases: «1. Procesamiento Inicial, 2. Nube de puntos y mallas y 3. MDS, ortomosaico e índices». Por defecto el programa tiene seleccionada las tres opciones, por lo que si se da a «Inicio» comenzará el procesado de las tres fases simultáneamente, lo cual no es recomendable. La mejor opción es ir fase a fase.

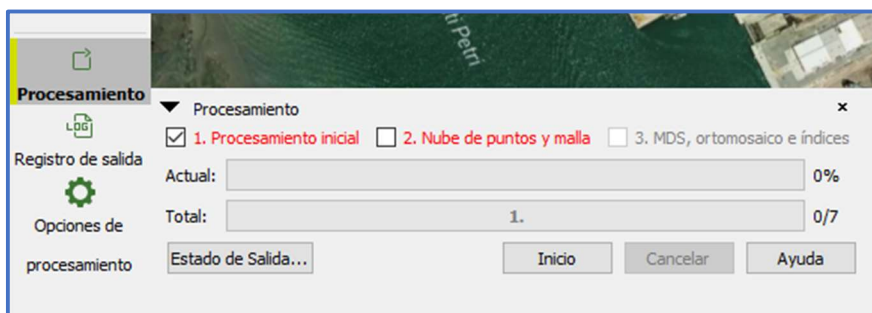


Figura A4\_40. Fases de procesado en Pix4D.

Antes de iniciar cada una de las fases hay que revisar en «Opciones de procesamiento» una serie de parámetros. Los más importantes se encuentran en las fases 2 y 3.

Para cada una de las fases se puede generar un informe de calidad en formato pdf.

Es muy importante que antes de empezar a procesar, dentro de «Opciones de procesamiento», en «Recursos y Notificaciones» se baje la capacidad de RAM y CPU. Si no es así, no se podrán efectuar otros procesos de manera simultánea a Pix4D.

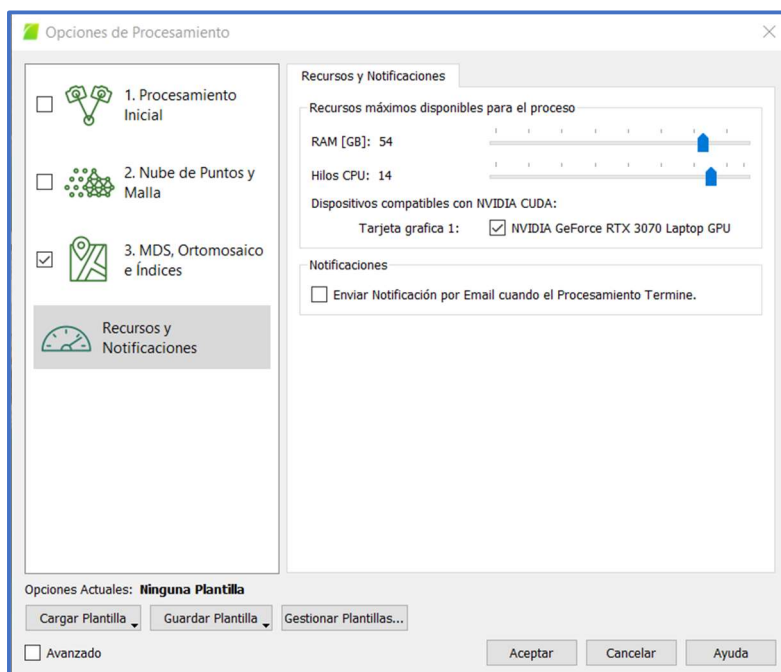


Figura A4\_41. Ajuste de recursos para el proceso.



FASES DE PROCESAMIENTO.

**FASE 1.**

Consiste en la orientación del vuelo; para ello se extraen los puntos clave de las imágenes que calcularán los parámetros internos y externos de la cámara tras realizar la aerotriangulación. En esta fase se genera una ortoimagen y un DSM de baja resolución

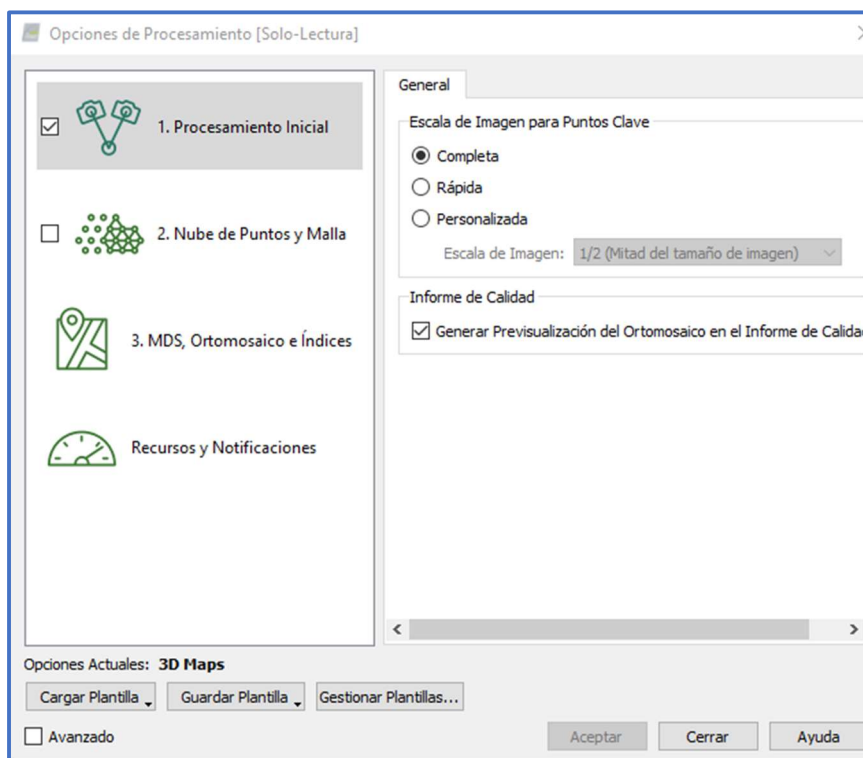


Figura A4\_42. Fase 1 procesado en Pix4D (I).

Antes de clicar en «Inicio» hay que asegurarse de que sólo se encuentra marcada la fase de procesamiento inicial.

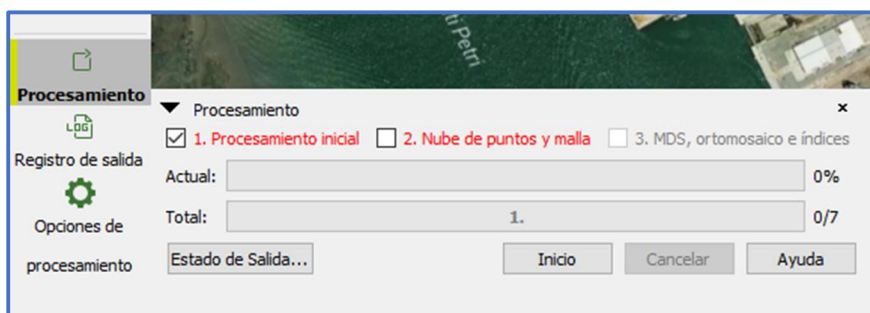


Figura A4\_43. Fase 1 procesado en Pix4D (II).

Una vez finalizada la fase 1 y en el caso de emplear puntos de apoyo (P1), antes de pasar a la fase 2 hay que importarlos. El procedimiento para seguir es el siguiente:



Hacer clic en el símbolo correspondiente que se encuentra en la barra de herramientas. Ahora hay que definir en qué sistema de coordenadas se encuentran los puntos y a continuación, habrá que importar el fichero donde se encuentran.

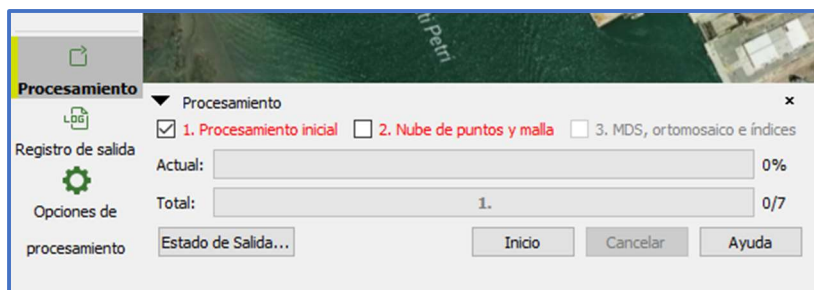


Figura A4\_44. Gestión Puntos de control (I).

Al clicar en «Editar» podremos cambiar el sistema de coordenadas:

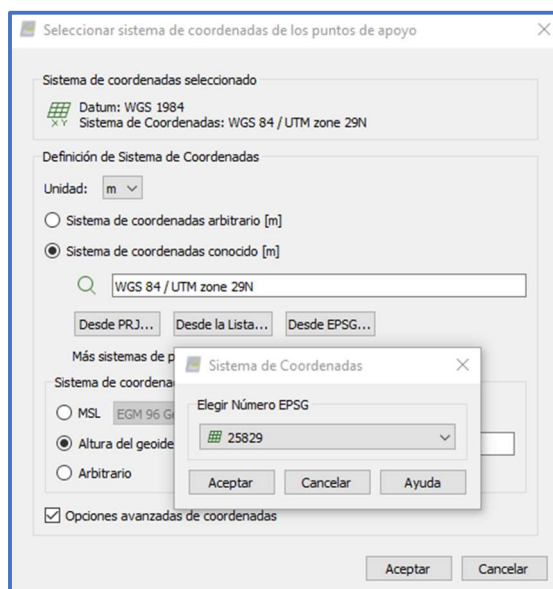


Figura A4\_45. Gestión Puntos de control (II).

Para importar el fichero habrá que seleccionar «Importar puntos de apoyo...»

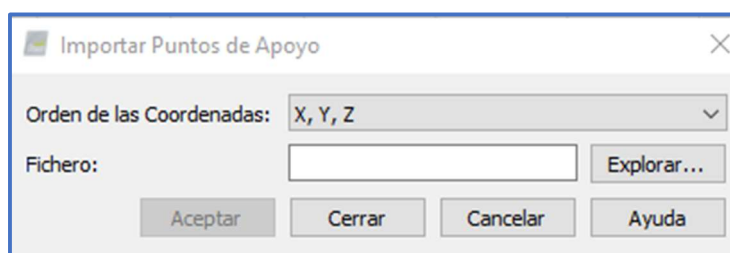


Figura A4\_46. Gestión Puntos de control (III).

Al cargar el archivo aparecerá:

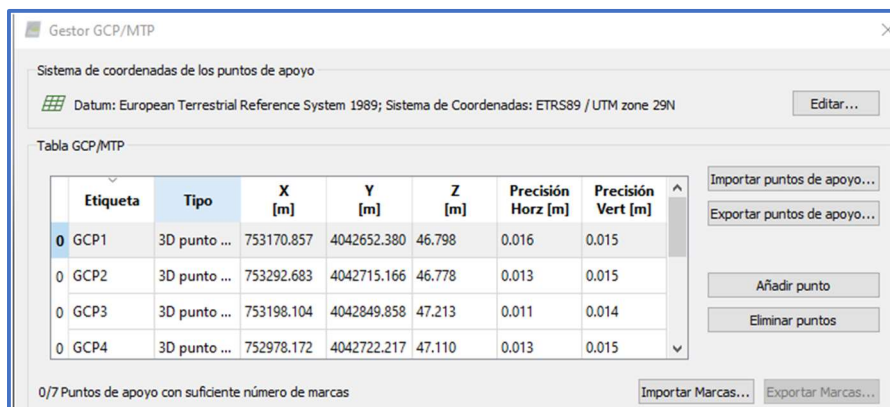


Figura A4\_47. Gestión Puntos de control (IV).

Una vez que se acepten los datos, podrán visualizarse en el mapa.

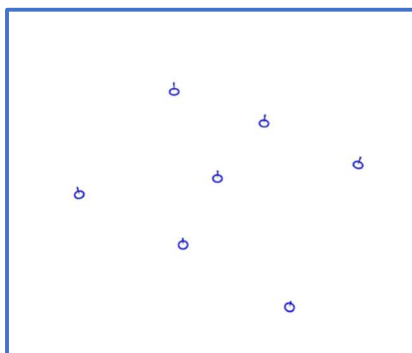


Figura A4\_48. Gestión Puntos de control (V).

Ahora hay que ajustar la posición de los puntos de control que aparecen en las fotografías con respecto a sus coordenadas obtenidas geodésicamente. Para ello desde «Capas», se seleccionarán uno a uno los puntos de control.

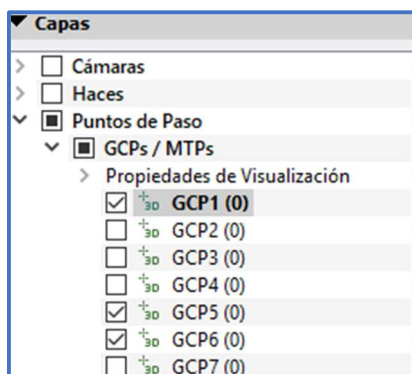


Figura A4\_49. Gestión Puntos de control (VI).

Automáticamente aparecerán en el margen derecho de la pantalla las fotografías en las que aparece el punto de control seleccionado. Con el ratón se marcará sobre la fotografía en el punto exacto (centro de la diana instalada u otro punto característico del terreno que se haya medido previamente) y a continuación se pulsará en «Aplicar».

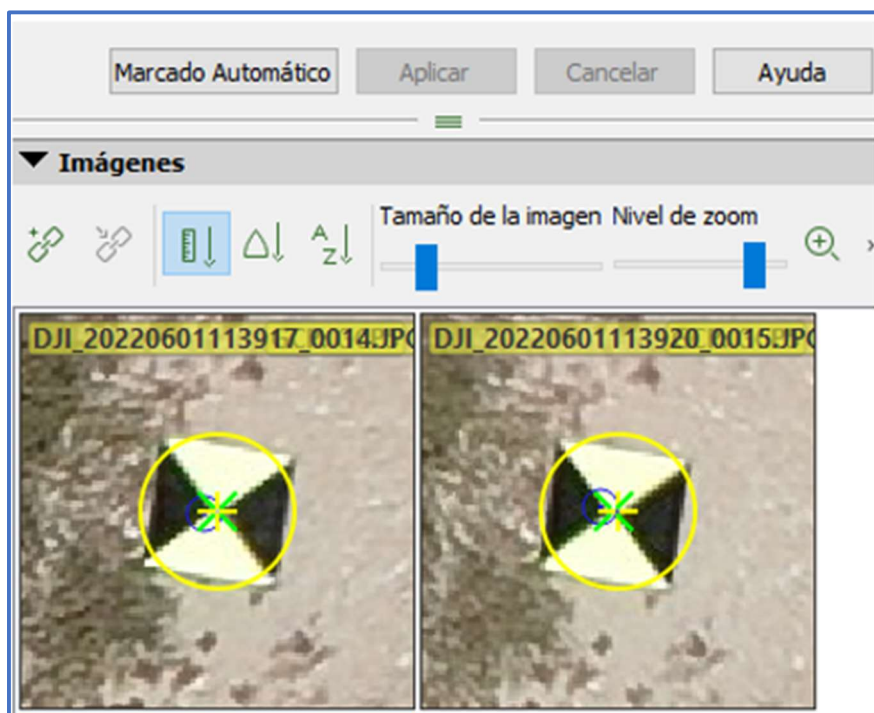


Figura A4\_50. Gestión Puntos de control (VII).

Una vez finalizado este paso el programa solicitará «Reoptimizar» el proceso.

## FASE 2.

En esta fase se generan una nube de puntos 3D densa y una malla texturizada 3D. Es importante seleccionar el formato de los datos a exportar tanto de la nube como de la malla (LAS, PLY, XYZ para la nube y PLY, OBJ para la malla).

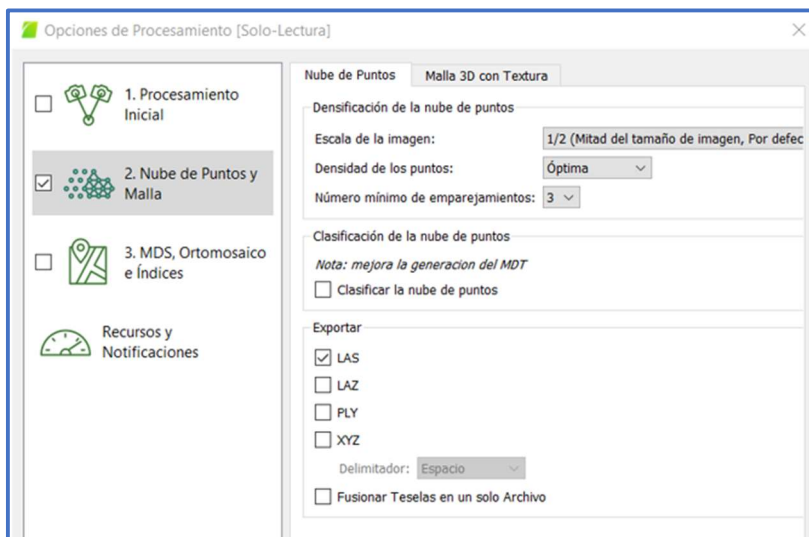


Figura A4\_51. Parámetros procesado Fase 2 (I).

Se seleccionará resolución media para la malla.

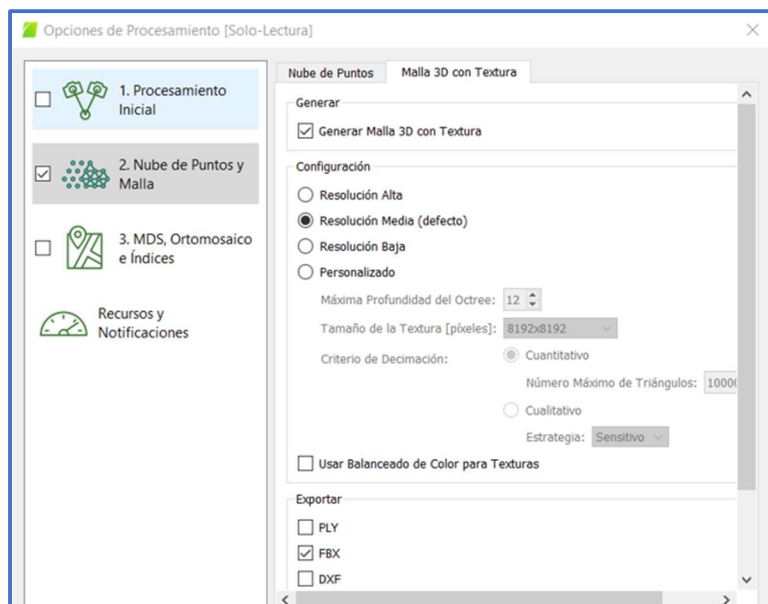


Figura A4\_52. Parámetros procesado Fase 2 (II).

Tras finalizar esta fase, hay que clasificar la nube de puntos generada. Para ello desde el menú Procesar, hay que seleccionar la opción «Ejecutar la Clasificación de Puntos». Esto es importante para genera posteriormente el MDT (empleará los niveles “Ground” y “Road”) y las curvas de nivel.

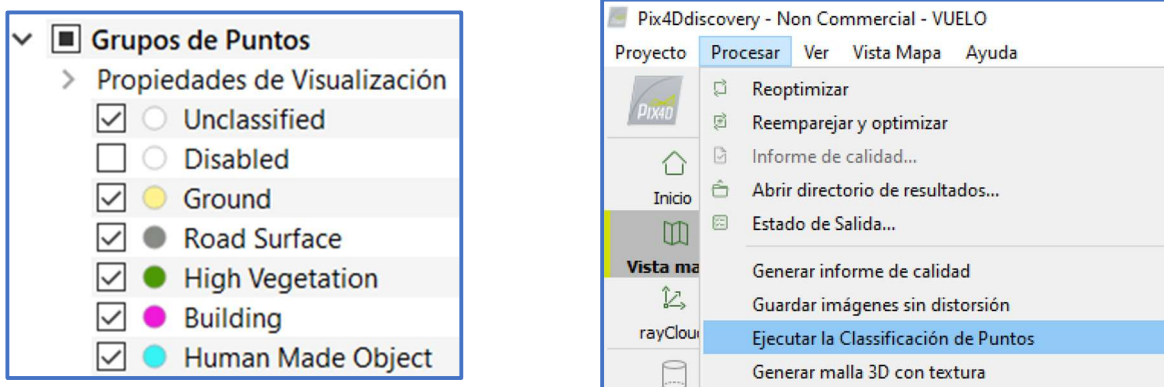


Figura A4\_53. Clasificación por defecto Pix4D (I).

Tras realizar la clasificación de la nube de puntos:

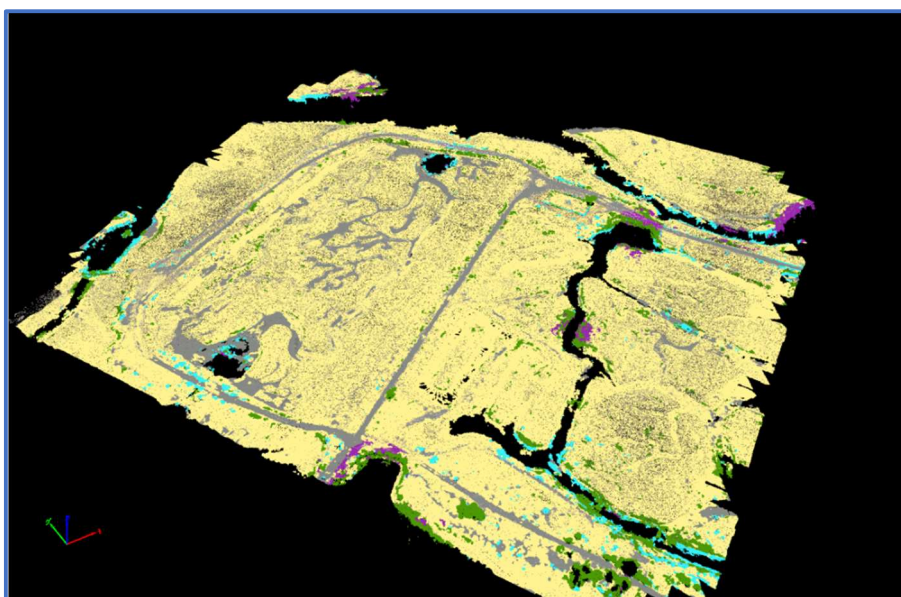


Figura A4\_54. Clasificación por defecto Pix4D (II).

Ya nos encontramos en disposición de pasar a la fase 3.

### FASE 3.

En esta fase se podrán generar MDS y MDT en diferentes formatos y curvas de nivel con las características que más nos interese (intervalo entre curvas, curva de inicio, formato, etc). En opciones de procesamiento nos encontraremos con tres pestañas: MDS y Ortomosaico, Resultados adicionales y Calculadora de índices.

Dependiendo de los productos que se necesiten se seleccionaran unas u otras opciones, así como la resolución y formatos de estas.

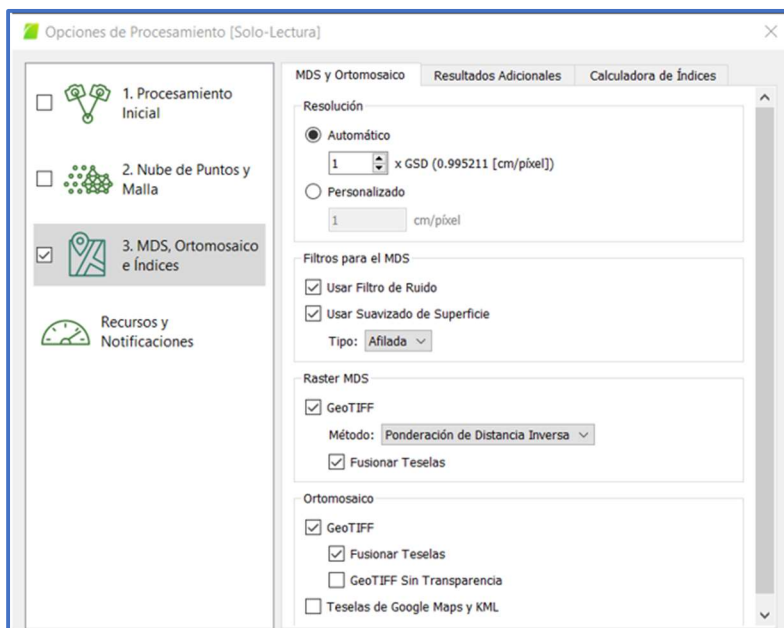


Figura A4\_55. Parámetros procesado Fase 3 (I).

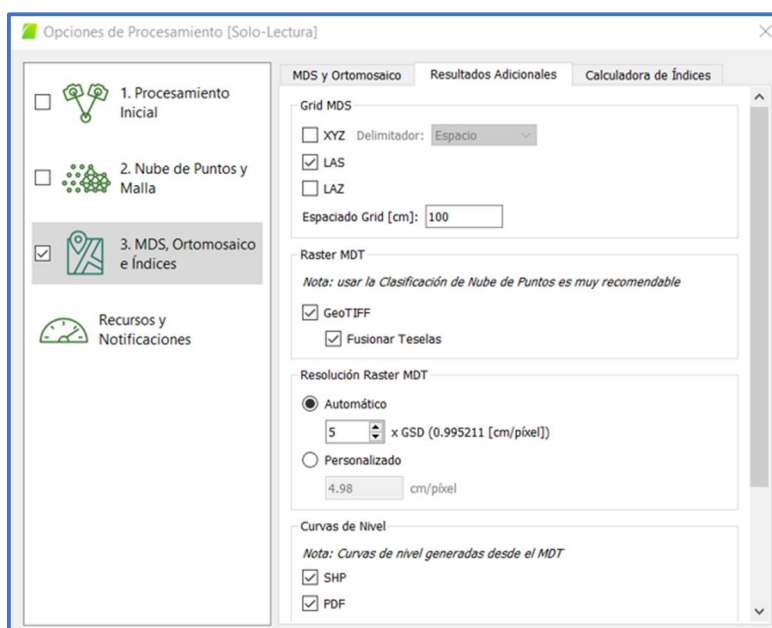


Figura A4\_56. Parámetros procesado Fase 3 (II).

La última pestaña sólo se utilizará para la calibración de la cámara multispectral.



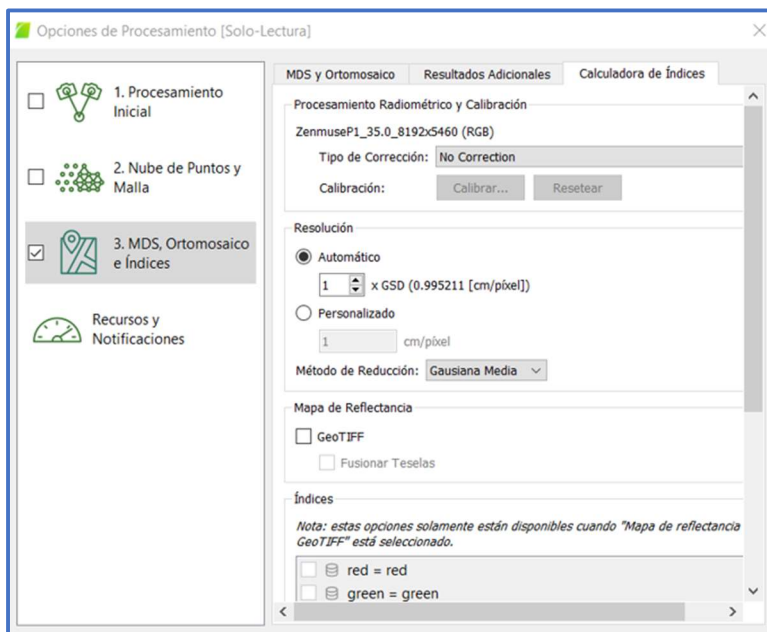


Figura A4\_57. Parámetros procesado Fase 3 (III).

Dependiendo de los productos que se necesiten se marcarán unas u otras opciones. En el fichero “[Fases POS RPAS USV.xlsx](#)” se detallan los parámetros a marcar en función de las necesidades del trabajo.

Si se trabaja con imágenes multiespectrales, es en esta fase cuando hay que calibrarlas. Para ello, entrando en la pestaña «Calculadora de índices»

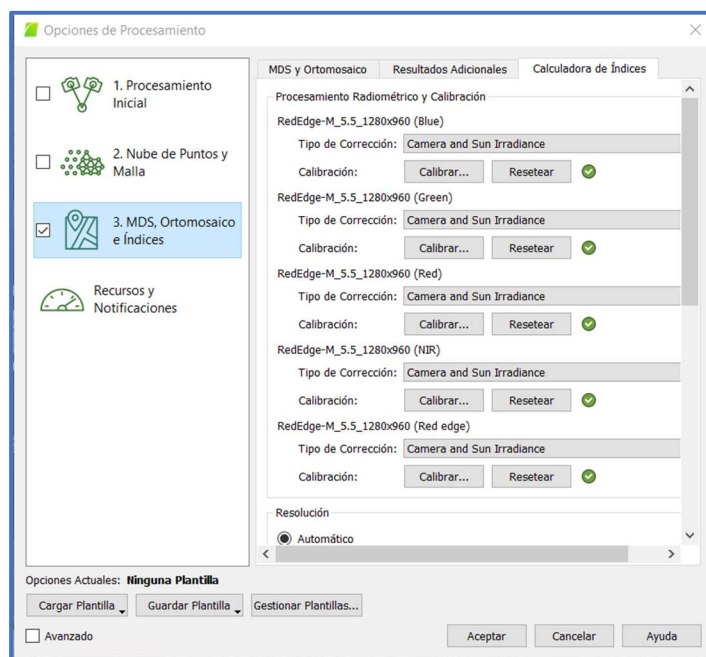


Figura A4\_58. Calibración multiespectral (I).



Hay que calibrar banda a banda, haciendo clic en calibrar y seleccionando las fotos que se han tomado durante el vuelo.



Figura A4\_59. Calibración multispectral (II).

Si al pasar de una fase a otra se mantiene seleccionada la fase anterior, el programa llamará nuestra atención, informando de que la fase anterior ya ha sido realizada y que si seguimos adelante volverá a procesarse, por lo tanto, hay que seleccionar sólo la nueva fase de procesado.

Una vez finalizadas las tres fases, los productos generados se pueden consultar en el directorio de carpetas generado por cada proyecto.

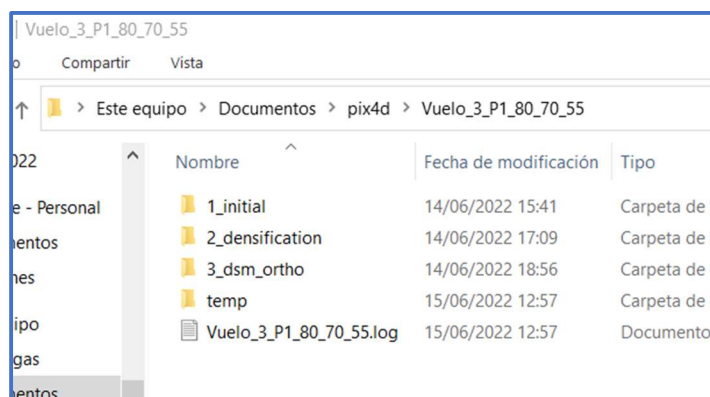


Figura A4\_60. Directorio de carpetas (I).

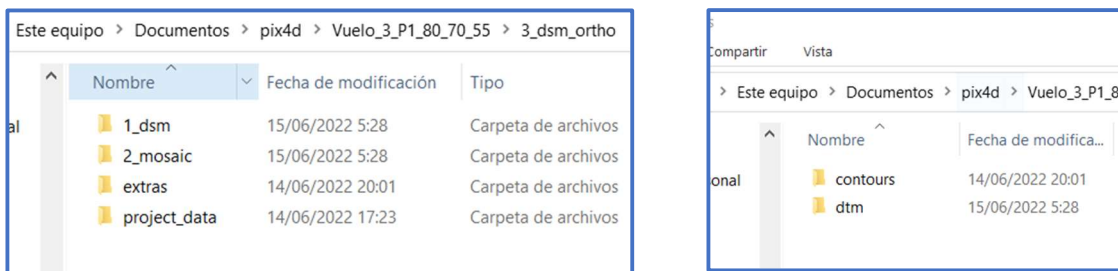
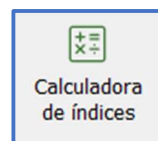


Figura A4\_61. Directorio de carpetas (II).

Datos de la cámara multispectral.

Además de la ortoimagen y del DSM generados, al procesar los datos de la cámara multispectral también se generan un mapa de reflectancia y una serie de índices. Para verlos hay que entrar en «Calculadora de índices».



Una vez en este menú:

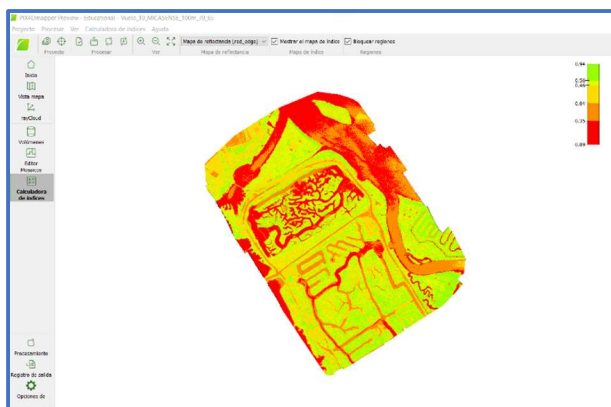


Figura A4\_62. Mapa de reflectancia.

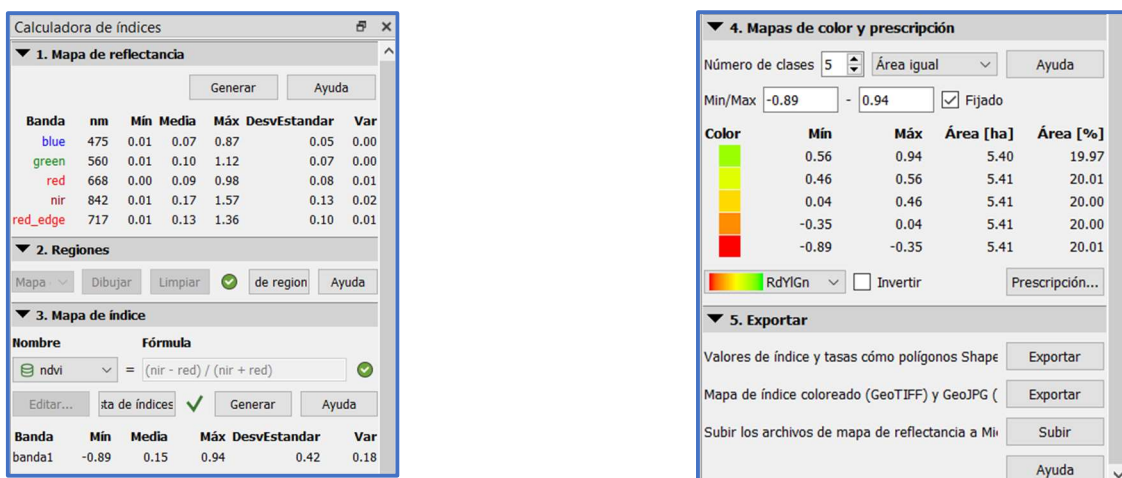


Figura A4\_63. Calculadora de índices.

El programa genera cinco índices por defecto: «blue, red, green, nir, red\_edge y ndvi». Para añadir un nuevo índice, bastará con utilizar la calculadora para generarlo. En el apartado 3 (mapa de índice), hay que seleccionar la opción «Lista de índices» y después se cliquea en «Añadir»:

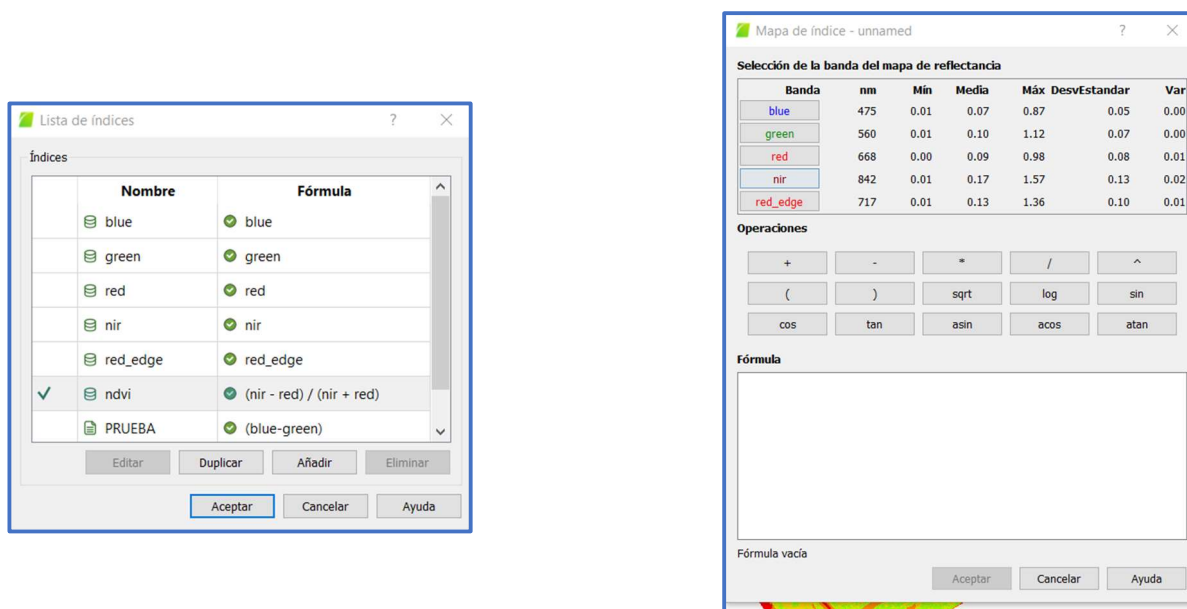


Figura A4\_64. Índices por defecto y creación nuevo.

Una vez definida la fórmula y tras asignar un nombre hay que «Generar» el índice. Cabe la posibilidad de exportar estos datos en formato GeoTIFF y GeoJPG. (Figura A4\_63).

Para la obtención de batimetría derivada a partir de las imágenes de la cámara multispectral se seguirá el procedimiento desarrolla por Richard P. Stumpf.

El primer paso que seguir es efectuar la discriminación del agua y tierra aplicando el índice normalizado de separación del agua (NDWI):

$$NDWI = \frac{R_g - R_{NIR}}{R_g + R_{NIR}} \quad (2)$$

Donde  $R_g$  es la reflectancia en la banda verde y  $R_{NIR}$  la reflectancia en la banda del infrarrojo cercano. El resultado obtenido es:

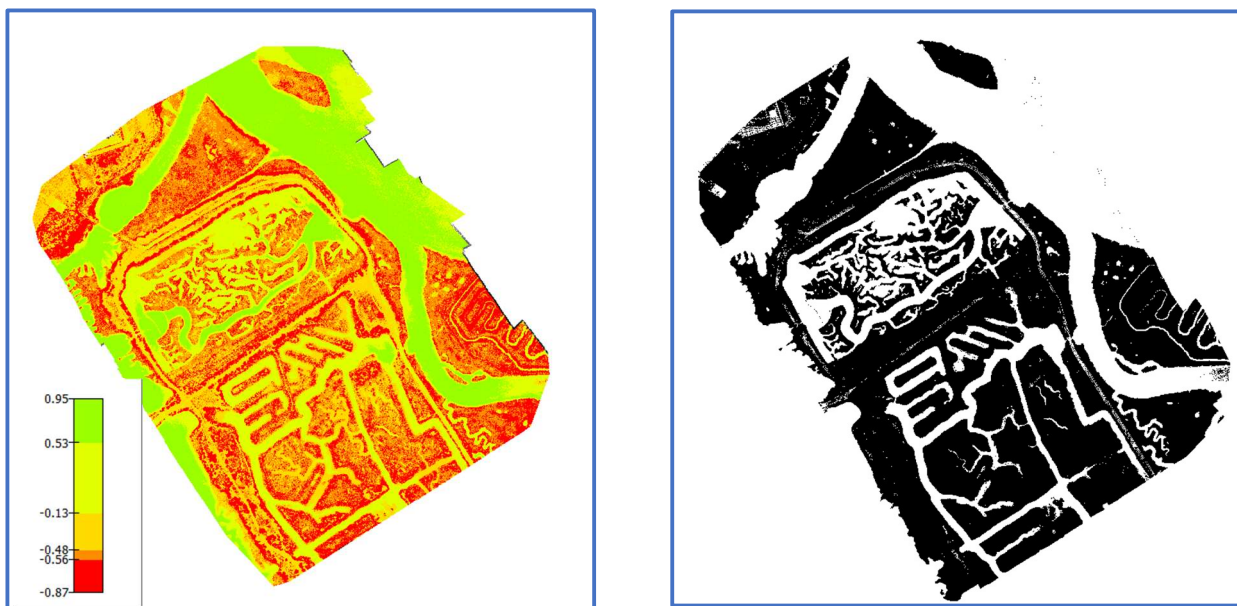


Figura A4\_65. a) Mapa generado NDWI (izquierda). B) Máscara con QGIS (derecha).

A modo de ejemplo, se pueden ver en la figura anterior los resultados obtenidos de aplicar el índice NDWI a los datos obtenidos en uno de los vuelos con la cámara multispectral, resultando un  $NDWI > -0.13$  para la superficie del agua (colores amarillos y verdes). Mediante un filtro aplicado en QGIS, se obtiene la máscara (figura b), que habrá que aplicar a las imágenes de banda azul y verde.

El proceso para obtener la batimetría derivada ha sido tratado por muchos autores, destacando el desarrollado por el Richard P. Stumpf, según el cual el espesor de la columna de agua ( $H$ ) en aguas poco profundas se relaciona con la reflectancia en el espectro visible de acuerdo con la expresión:

$$H = m_1 * \frac{\ln(n * R_b)}{\ln(n * R_g)} - m_0 \quad (3)$$

Siendo  $R_b$  y  $R_g$  son las reflectancias en las bandas del azul y el verde, respectivamente;  $m_0$  y  $m_1$  el sesgo y la ganancia del ajuste por regresión lineal (cociente logarítmico y valores medidos o puntos de control), respectivamente; y  $n$  es un factor empleado para que los logaritmos sean siempre positivos.  $m_1$

$$y = (m_1)x + (m_0) \quad (4)$$

Con el valor de H, y tras un filtrado espacial, hay que correlacionarlo con datos batimétricos obtenidos por otros medios como por ejemplo puede ser un levantamiento batimétrico in situ en la zona de trabajos o datos de alguna base de datos.

Una vez estudiados los datos mediante una recta de regresión podrá determinarse si los datos de batimetría derivados son o no correctos.

#### A.4.2. VERIL 01.

Para el procesado de los datos batimétricos obtenidos con el sondador EM2040P instalado en el VERIL 01, se seguirán las Instrucciones Permanentes de Hidrografía (IPH) que el IHM dispone donde se regula tanto del procesado como la validación (control de calidad) de los datos.

Estas IPH, normas de carácter interno, marcan las pautas a seguir durante todo el procesado y que emanan de los requisitos que la Organización Hidrográfica Internacional (OHI) indican en la publicación S44. (Normas para los Levantamientos Hidrográficos de la OHI).

Una vez superados todos los procesos, los datos batimétricos se incluirán en la base de datos batimétrica para su empleo en la cartografía náutica.

Es importante recordar que una buena planificación, adquisición y comprobación in situ permitirá un buen procesado de los datos a posteriori.

A continuación, se resumen los pasos que hay que seguir para el procesado de los datos obtenido con el VERIL 01:

Creación Proyecto Caris	Establecer Sistema de Coordenadas pertinente.
	Carta electrónica (ENC) de la zona levantamiento.
	Fichero barco (hvf) VERIL 01 con parámetros TPU EM2040P- SEAPATH 130.
	Carpeta líneas brutas extraídas veril (formato KMALL).
	Carpeta datos brutos posicionamiento.
	Carpeta datos procesados posicionamiento (caso PPK).
	Datos históricos para comprobación coherencia.
	Carpeta mareas con archivo mareas correspondiente al periodo levantamiento.
	Carpeta SRVH de la zona levantamiento para caso procesado marea GPS (recomendado)
	Parámetros para creación superficie CUBE (cubeparams EM2040P).
	Utilización marea GPS para reducción cero hidrográfico.

Procesado de Datos	Caso RTK presente fallos, utilizar archivos SBET para realizar PPK).
	Realizar superficie base referencia resolución adecuada a zona y parámetros adquisición.
	Comprobación de datos mediante SGP (superficie geográfica de procesado).
	Designación de sondas.
	Comprobación coherencia interna.
	Comprobación coherencia externa con datos históricos.
	Realizar mosaico de reflectividad (backscatter).
	Realizar HOB para comprobación contornos, veriles y designación de sondas.
Finalización/ Entrega	Documentación pertinente entrega de datos según IPH.

*Tabla A4\_01. Procesado datos batimétricos.*