

# 2019

## Procesamiento de imágenes a partir de vehículos aéreos no tripulados utilizando software libre



**Andrea Tapia Arenas  
Mario Guevara Bonilla  
Edwin Esquivel Segura**

**TEC** | Tecnológico  
de Costa Rica



# Contenido

Índice de Figuras .....	4
INTRODUCCIÓN.....	11
1. Primera Parte: Generalidades.....	12
1.1 Tipos de VANTs.....	12
1.1.1 Ala Fija .....	13
1.1.2 Rotatorios .....	13
1.1.3 Mixtos o híbridos.....	14
1.2 Sensores disponibles en el mercado .....	15
1.3 Aplicaciones de los VANTs .....	15
1.4 Selección del VANT adecuado.....	16
2.Segunda Parte: Captura de información.....	17
2.1 Generalidades.....	17
2.2 Calibración .....	17
2.2.1 Preparación inicial.....	17
2.2.2 Calibración Gimbal.....	19
2.2.3 Configuración IMU y Compass .....	21
2.2.4 Calibración de sensores de obstáculos.....	24
2.3 Consideraciones antes de volar .....	29
2.3.1 Legislación vigente.....	29
2.3.2 Objetivo del vuelo.....	33
2.3.3 Condiciones del tiempo atmosférico.....	33
2.3.4 Configuración de cámara .....	35
2.4 Vuelos con VANTs.....	41
2.4.1 Vuelos planificados .....	41
2.4.2 Vuelos no planificados .....	54
3.Tercera Parte: Descarga y Pre-procesamiento de imágenes .....	56
3.1 Descarga de datos.....	56
3.2 Pre-procesamiento de imágenes .....	56
4.Cuarta Parte: Procesamiento de imágenes.....	58
4.1 Web Open Drone Map.....	58
4.1.1 Descarga e instalación.....	58
4.1.2 Inicio del Programa .....	59
4.1.4 Construcción de orto-mosaico .....	67
4.1.5 Desarrollo de un Modelo de Elevación Digital.....	70
4.2 Drone Mapper Rapid .....	71
4.2.1 Construcción de orto-mosaico y MED .....	72

4.3 Pix4D Mapper .....	77
4.3.1 Ingreso de puntos de control .....	86
4.3.2 Procesamiento de imágenes .....	87
4.4 Agisoft photoscan .....	90
4.4.1 Puntos de control .....	96
4.4.2 Construcción de nube de puntos densificada .....	101
4.4.3 Construcción de Modelo de Elevación Digital .....	102
4.4.4. Construcción de orto-mosaico .....	103
4.4.5 Exportar resultados .....	104
4.5 Comparación de resultados en diferentes software .....	105
4.6 Resumen del flujo de trabajo .....	109
5. Quinta Parte: Generación de productos avanzados en QGIS .....	110
5.1. Clasificación de imágenes .....	110
5.2. Digitalización de información .....	118
5.3 Álgebra de mapas .....	120
5.3.1 Ubicación de árboles de una plantación forestal .....	121
5.3.2 Mejorar la precisión de los modelos de elevación .....	149
5.3.3 Estimación de alturas de árboles de la plantación .....	163
5.3.4 Estimación de índices de vegetación .....	166
Bibliografía .....	169
Anexos .....	171
Anexo 1. Pasos para crear un archivo .kml en Google Earth Pro. ....	171

## Índice de Figuras

Figura 1. Ejemplo de un VANT multirrotor cuadricóptero Phantom 4 Pro .....	13
Figura 2. Ejemplo de un VANT multirrotor hexacóptero.....	14
Figura 3. Ejemplos de multirrotores con diferentes tipos de configuración de brazos. ....	14
Figura 4. Opción “Start Flight” de la aplicación DJI 4 Go .....	18
Figura 5. Ingresar a la configuración general en DJI Go 4.....	18
Figura 6. Opciones de configuración general. ....	19
Figura 7. Selección de opción para calibrar el gimbal y aviso importante a considerar....	19
Figura 8. Barra del estado de la calibración del gimbal.....	20
Figura 9. Aviso que se ha completado la calibración del Gimbal.....	20
Figura 10. Configuración General del VANT. ....	21
Figura 11. Configuración avanzada del VANT. ....	21
Figura 12. Opción para calibrar IMU.....	22
Figura 13. Pasos para calibrar IMU .....	23
Figura 14. Pestaña Compass y opción para calibrar el compass.....	24
Figura 15. Pasos para calibrar el compass. ....	24
Figura 16. Selección del software DJI Assistant 2. ....	25
Figura 17. Conectar el VANT a la computadora con un cable suficientemente largo. ....	25
Figura 18. Listado de los VANTs que se han detectado conectados a la computadora. ...	26
Figura 19. Actualización de firmware.....	26
Figura 20. Direccionar las cámaras a calibrar hacia la pantalla de la computadora. ....	27
Figura 21. Posicionar la cámara de manera que apunte al objetivo que se despliega en pantalla. ....	27
Figura 22. Vista del patrón de calibración para las cámaras. ....	28
Figura 23. Aviso de finalización de calibración e inicio de la calibración de otras cámaras. ....	28
Figura 24. Aviso del avance del proceso de calibración. ....	29
Figura 25. Dirección desde donde se carga la información de las condiciones del tiempo atmosférico. ....	34
Figura 26. Condiciones atmosféricas desplegadas en la aplicación UAV Forecast.....	35
Figura 27. Predicción de condiciones atmosféricas desplegadas en la aplicación UAV Forecast.....	35
Figura 28. Pantalla principal de la aplicación DJI Go 4. ....	37
Figura 29. Opción de ajustes de cámara manual. ....	37
Figura 30. Ejemplo del resultado visual de diferentes valores ISO.....	38
Figura 31. Activar la visualización del histograma.....	38
Figura 32. Ejemplo del resultado visual de diferentes valores de velocidad de obturación. ....	39
Figura 33. Despliegue de opciones de imagen. ....	39
Figura 34. Opción personalizada para asignar valores al balance de blancos. ....	40
Figura 35. Ejemplos de visualización de imagen con diferentes valores de balance de blancos.....	40
Figura 36. Botón para crear una nueva misión de vuelo programado. ....	43
Figura 37. Elegir opción PhotoMap.....	43

Figura 38. Opción Tap que permite dibujar en pantalla el área a sobrevolar. ....	44
Figura 39. Mensaje que indica cómo dibujar en pantalla el área a sobrevolar. ....	44
Figura 40. Ejemplo de cómo dibujar en pantalla el área a sobrevolar. ....	45
Figura 41. Ubicación de opciones básicas y avanzadas. ....	45
Figura 42. Tipos de vuelos habilitados en PIX4D. ....	46
Figura 43. Tutorial en pantalla para agregar el polígono sobre el área a sobrevolar. ....	47
Figura 44. Tutorial en pantalla para agregar el polígono en el área a sobrevolar. ....	47
Figura 45. Opciones de configuración de vuelo. ....	48
Figura 46. Opciones de configuración avanzada de vuelo: balance de blancos de la cámara. ....	48
Figura 47. Cambio del recorrido en una misma área de sobrevuelo. ....	49
Figura 48. Cambio al sistema métrico. ....	49
Figura 49. Ícono de DroneDeploy. ....	50
Figura 50. Ícono AppMarket para buscar complementos. ....	50
Figura 51. Complemento “KML and SHP Import”. ....	51
Figura 52. Botón para regresar al Dashboard. ....	51
Figura 53. Botón para agregar. ....	52
Figura 54. Opción para agregar un nuevo plan de vuelo. ....	52
Figura 55. Ubicación del complemento “Import KML or SHP” localizado abajo. ....	53
Figura 56. Botón para agregar el archivo KML o SHP. ....	53
Figura 57. Interfaz de usuario básica en DJI Go 4. ....	54
Figura 58. Propiedades de GPS de las imágenes capturadas por VANT. ....	56
Figura 59. Página web donde se puede descargar el programa WebODM. ....	58
Figura 60. Opciones “Standard” y “Business” para obtener licencias del programa WebODM. ....	59
Figura 61. Inicio de programa Web ODM. ....	60
Figura 62. Ventana para inicializar el programa WebODM. ....	60
Figura 63. Ventana para inicializar el programa WebODM donde se observa el estado. ....	61
Figura 64. Botón para comenzar un nuevo proyecto. ....	61
Figura 65. Digitación de nombre de nuevo proyecto y botón para crearlo. ....	62
Figura 66. Opción para abrir las herramientas que permiten ingresar puntos de control. ....	62
Figura 67. Opción para agregar imágenes para ingresar los puntos de control. ....	63
Figura 68. Botón para agregar un punto de control en la imagen. ....	63
Figura 69. Primer paso para vincular un punto de control. ....	64
Figura 70. Segundo paso para vincular un punto de control. ....	64
Figura 71. Visualizar puntos de control vinculados entre el mapa y la imagen. ....	65
Figura 72. Botón para regresar al listado de imágenes a procesar. ....	65
Figura 73. Botón para exportar el archivo con la información de los puntos de control. ....	66
Figura 74. Archivo que se genera al exportar la información de los puntos de control. ....	66
Figura 75. Archivo modificado al sistema CRTM05/CR05 con información de los puntos de control. ....	67
Figura 76. Archivo modificado al sistema CRTM05/CR05 con información de los puntos de control. ....	67
Figura 77. Selección de imágenes a procesar en el nuevo proyecto. ....	68

Figura 78. Opciones de procesamiento de imágenes.....	68
Figura 79. Avance del proceso de imágenes.....	69
Figura 80. Botón para observar el orto-mosaico.....	69
Figura 81. Orto-mosaico.....	70
Figura 82. Botón para retornar al Dashboard y para editar la información del proyecto....	70
Figura 83. Opción para crear Modelo de Superficie y de Terreno.....	71
Figura 84. Opción para reiniciar el proceso y crear los modelos digitales de terreno y superficie. ....	71
Figura 85. Opción para agregar imágenes al programa DroneMapper Rapid. ....	72
Figura 86. Imágenes cargadas en el programa.....	73
Figura 87. Agregar información de imágenes de satélite de BingMaps al programa.....	73
Figura 88. Pestaña DroneMapper Processing para iniciar el proceso de orto-mosaico. ....	74
Figura 89. Detalle de procesos para completar el orto-mosaico.....	74
Figura 90. Procesos completados.....	75
Figura 91. Previsualización de ortoimagen en Drone Mapper Rapid.....	75
Figura 92. Finalización del proceso de creación del modelo digital de elevación. ....	76
Figura 93. Modelo de Elevación Digital y Hillshade creados con el programa Drone Mapper Rapid. ....	76
Figura 94. Botón para generar el orto-mosaico.....	77
Figura 95. Visualización del orto-mosaico. ....	77
Figura 96. Creación de un nuevo proyecto en Pix4D.....	78
Figura 97. Ventana donde se especifican los elementos básicos del nuevo proyecto. ....	78
Figura 98. Pantalla para seleccionar las imágenes con las que se va a trabajar.....	79
Figura 99. Listado de imágenes que se han agregado al proyecto. ....	79
Figura 100. Características generales de la cámara y el sistema de coordenadas de las imágenes. ....	80
Figura 101. Sistema de coordenadas de salida por default. ....	80
Figura 102. Selección del sistema de coordenadas oficial de Costa Rica CR05/CRTM0581	
Figura 103. Diferentes plantillas que el programa Pix4D pone a disposición de sus usuarias(os).....	82
Figura 104. Ejemplo de la plantilla Ag Multiespectral.....	82
Figura 105. Plantilla 3D Maps. ....	83
Figura 106. Abrir las opciones de procesamiento con el botón Processing Options. ....	83
Figura 107. Opción para mantener la escala inicial de las imágenes.....	84
Figura 108. Opción para habilitar una densidad de puntos óptima.....	84
Figura 109. Habilitar opción de Generate 3D Texture Mesh.....	85
Figura 110. Habilitar las opciones de Geo Tiff con Merge Tiles de DSM y el orto-mosaico. ....	85
Figura 111. Finalización del proceso de configuración. ....	86
Figura 112. Botón para habilitar el ingreso de puntos de control.....	86
Figura 113. Inicio del procesamiento de imágenes. ....	87
Figura 114. Opción para visualizar el progreso del procesamiento de imágenes. ....	87
Figura 115. Reporte de calidad del primer proceso. ....	88
Figura 116. Pre-visualización de orto-mosaico y DSM.....	88

Figura 117. Triangle Meshes cargado. ....	89
Figura 118. Visualización en 3D del orto-mosaico. ....	89
Figura 119. Carpetas creadas de manera automática en el procesamiento de imágenes. ....	90
Figura 120. Opciones para el uso del programa Agisoft Metashape Professional. ....	90
Figura 121. Consola principal del programa Agisoft Metashape Professional. ....	91
Figura 122. Opciones para agregar las imágenes del vuelo programado. ....	91
Figura 123. Visualización de la ubicación de las imágenes agregadas al proyecto. ....	92
Figura 124. Comando para alinear las fotografías. ....	92
Figura 125. Opciones para llevar a cabo la alineación de las fotografías. ....	93
Figura 126. Ventana en la cual se despliega el avance del procesamiento de la alineación de las fotografías. ....	94
Figura 127. Imágenes alineadas. ....	94
Figura 128. Imágenes alineadas en 3D. ....	95
Figura 129. Opción para generar un reporte del procesamiento de alineación de fotografías. ....	95
Figura 130. Generación de reporte respecto al procesamiento de fotografías. ....	96
Figura 131. Ejemplo de información que contiene el reporte de calidad del proceso de alineación de fotografías. ....	96
Figura 132. Pestaña “Reference” para iniciar el proceso de ingreso de puntos de control. ....	97
Figura 133. Información del sistema de coordenadas actual. ....	97
Figura 134. Conversión del sistema de coordenadas de las imágenes. ....	98
Figura 135. Búsqueda del sistema de coordenadas utilizando la opción de Filtro. ....	98
Figura 136. Ejemplo de archivo de texto de puntos de control a utilizar. ....	99
Figura 137. Botón “Import” para utilizar los puntos de control guardados como archivo de texto. ....	99
Figura 138. Establecer las opciones necesarias para que el programa pueda utilizar los datos del archivo de texto de los puntos de control. ....	100
Figura 139. Botón “Optimize Cameras” para iniciar el proceso de optimización. ....	100
Figura 140. Herramienta para construir la nube de puntos. ....	101
Figura 141. Opciones para la creación de la nube de puntos. ....	101
Figura 142. Lista del estado de los procesos. ....	102
Figura 143. Construcción del Modelo de Elevación Digital desde el menú Workflow. ....	102
Figura 144. Ventana para la creación del Modelo de Elevación Digital. ....	103
Figura 145. Parámetros para construir el orto-mosaico. ....	103
Figura 146. Opciones disponibles para exportar diferentes productos. ....	104
Figura 147. Tipos de archivos que se pueden seleccionar para exportar el orto-mosaico. ....	105
Figura 148. Opciones para exportar el orto-mosaico como archivo TIFF. ....	105
Figura 149. Escala 1:30 obtenido con WebODM. ....	107
Figura 150. Flujo de trabajo con VANTs. ....	109
Figura 151. Herramienta y código a agregar para separar la banda R de una imagen multibanda. ....	110
Figura 152. Edición del código para separar la banda G. ....	111

Figura 153. Edición del código para separar la banda B.....	111
Figura 154. Selección de bandas a utilizar para la clasificación.....	112
Figura 155. Bandas agregadas para hacer la clasificación.....	112
Figura 156. Orden de las bandas RGB.....	113
Figura 157. Opciones para crear el archivo con las bandas necesarias para hacer la clasificación.....	114
Figura 158. Progreso del procesamiento de las bandas.....	114
Figura 159. Habilitar SCP Dock para la clasificación del arreglo de bandas creado anteriormente.....	115
Figura 160. Panel SCP habilitado.....	115
Figura 161. Mostrar las opciones de “Classification Dock”.....	116
Figura 162. Pasos para la creación del área de entrenamiento de una clase.....	117
Figura 163. Selección y unificación de firmas de la misma clase.....	117
Figura 164. Selección de opciones y botón para ejecutar la clasificación.....	118
Figura 165. Herramienta para la creación de un nuevo shapefile .....	119
Figura 166. Creación de una capa vectorial desde QGIS.....	119
Figura 167. Habilitar las herramientas para la digitalización en pantalla.....	120
Figura 168. Esquema general de los métodos que se pueden utilizar para crear un archivo de puntos en el cual se observe la ubicación de los árboles.....	121
Figura 169. Ubicación de árboles digitalizados como puntos sobre el orto-mosaico.....	122
Figura 170. Comparación de orto-mosaico y DSM.....	123
Figura 171. Digitalización en pantalla del área productiva a analizar.....	123
Figura 172. Herramienta para recortar el DSM con base en el polígono de áreas de plantación.....	124
Figura 173. DSM recortado.....	124
Figura 174. Herramienta para convertir el archivo DSM recortado en un vector poligonal.....	125
Figura 175. Resultado de la conversión del archivo raster a polígono.....	125
Figura 176. Herramienta para estimar los centroides de los polígonos del archivo de entrada.....	126
Figura 177. Centroides estimados del archivo de polígono.....	126
Figura 178. Cargar orto-mosaico en SAGA.....	127
Figura 179. Selección de las bandas del orto-mosaico para cargar en SAGA.....	127
Figura 180. Herramienta para clasificación no supervisada de orto-mosaico.....	128
Figura 181. Clasificación no supervisada de orto-mosaico utilizando 50 clusters.....	128
Figura 182. Guardar el resultado de la clasificación en SAGA.....	129
Figura 183. Búsqueda de herramienta Reclassify values de SAGA.....	129
Figura 184. Selección del método 2 para la reclasificación en SAGA.....	130
Figura 185. Opción para crear la tabla de reclasificación.....	130
Figura 186. Especificación de valores para reclasificar.....	131
Figura 187. Herramienta para la creación de puntos sistemáticos.....	131
Figura 188. Herramienta para crear un archivo de puntos sistemático.....	132
Figura 189. Herramienta para asignar valores de un archivo raster a una capa vectorial.....	132

Figura 190. Herramienta para seleccionar elementos de una capa basado en una expresión lógica.....	133
Figura 191. Elementos seleccionados que cumplen con la expresión. ....	134
Figura 192. Herramienta para guardar la selección hecha sobre una capa.....	134
Figura 193. Puntos que representan suelo desnudo en el orto-mosaico. ....	135
Figura 194. Herramienta para crear un Modelo de Elevación Digital utilizando un archivo de puntos con información de altitud. ....	136
Figura 195. Calculadora ráster para estimar “alturas” .....	136
Figura 196. Resultado de la resta entre las alturas del DSM y DEM. ....	137
Figura 197. Calculadora ráster para estimar las áreas que son probablemente copas de árboles. ....	137
Figura 198. Resultado de la estimación de áreas con una altura mayor o igual a 0.9 metros.....	138
Figura 199. Comparación de la estimación de ubicación de árboles con la calculadora ráster vs digitalización de información. ....	138
Figura 200. Ubicación de herramienta para convertir el archivo ráster a un archivo poligonal.....	139
Figura 201. Herramienta de conversión de raster a polígono.....	139
Figura 202. Herramienta para estimar los centroides de los polígonos.....	140
Figura 203. Ejemplo de pérdida y ubicación incorrecta de árboles. ....	140
Figura 204. Expresión para estimar un identificador en una columna en la herramienta “Field calculator”.....	141
Figura 205. Herramienta para estimar la distancia entre puntos de una misma capa. ....	141
Figura 206. Herramienta para estimar distancias entre los puntos de un archivo.....	142
Figura 207. Resultado de la herramienta Distance matrix. ....	142
Figura 208. Expresión para seleccionar los registros de interés. ....	143
Figura 209. Guardar la selección en un archivo .csv .....	143
Figura 210. “Join” entre la tabla de distancias y los centroides. ....	144
Figura 211. Expresión para seleccionar los registros que tienen una distancia menor a 2 metros.....	144
Figura 212. Digitalización de las líneas de siembra sobre el orto-mosaico. ....	145
Figura 213. Instalación de herramienta QChainage para crear un archivo de puntos a lo largo de líneas. ....	146
Figura 214. Ubicación de herramienta QChainage. ....	146
Figura 215. Especificaciones para la creación del archivo de puntos a lo largo de las líneas de siembra. ....	147
Figura 216. Resultado de la creación de un archivo de puntos a lo largo de las líneas digitalizadas. ....	147
Figura 217. Problemas detectados en la creación del archivo de puntos a lo largo de las líneas digitalizadas. ....	148
Figura 218. Problemas asociados a la creación del archivo de puntos a lo largo de las líneas digitalizadas. ....	148
Figura 219. Estimación de ubicación de los árboles con el método 3. ....	149
Figura 220. Opción para activar diferentes herramientas. ....	150

Figura 221. Ubicación de opción para agregar las herramientas de LiDAR.....	151
Figura 222. Activación de herramientas .....	151
Figura 223. Manejo de error de parámetros de GRASS.....	152
Figura 224. Ubicación de las herramientas “Tools for LiDAR data” cargadas en el programa. ....	152
Figura 225. Herramienta para convertir el archivo .las en un ráster de elevaciones.....	153
Figura 226. Archivo de elevaciones generado con las herramienta las2dem. ....	153
Figura 227. Visión principal de programa para convertir los archivos .laz en .las ó .txt...154	154
Figura 228. Selección de variables y configuración del archivo de texto a crear. ....	155
Figura 229. Herramienta para agregar información de una tabla con datos de coordenadas en un SIG.....	155
Figura 230. Creación de archivo shapefile con la información de los puntos.....	156
Figura 231. Ubicación de herramienta Manage and Install Plugins.....	157
Figura 232. Búsqueda de plugin Interpolation en QGis.....	157
Figura 233. Ubicación de herramienta Interpolation.....	158
Figura 234. Especificación de parámetros para llevar a cabo la interpolación de datos..	158
Figura 235. Resultado de la interpolación de datos. ....	159
Figura 236. Procedimiento para buscar herramientas Processing Tools. ....	160
Figura 237. Uso de la herramienta para agregar valores raster al archivo de puntos. ....	160
Figura 238. Guardar nueva capa shapefile, con base en una selección. ....	161
Figura 239. Uso de herramienta para interpolar datos.....	162
Figura 240. Especificaciones para la creación del DTM. ....	162
Figura 241. Estimación del área de amortiguamiento para la capa de árboles.....	163
Figura 242. Área de amortiguamiento de los árboles.....	164
Figura 243. Ubicación de herramienta zonal statistics. ....	164
Figura 244. Herramienta para estimar datos estadísticos básicos .....	165
Figura 245. Expresión para seleccionar elementos que tengan una altura máxima menor a cero. ....	165
Figura 246. Sobre-estimación de alturas de los árboles de la plantación. ....	166
Figura 247. Resultados de índices estimados.....	167
Figura 248. Estimación de índice NDVI Visual. ....	167

## INTRODUCCIÓN

Existe gran cantidad de información en internet referente a vehículos aéreos no tripulados (VANTs) o drones, como se les conoce popularmente, desde planificación de vuelos hasta crear un modelo de elevación digital. Sin embargo, esta información suele presentarse de manera fragmentada y dispersa. Por tanto, este documento pretende resumir los aspectos que se consideran más importantes sobre los vuelos planificados y no planificados de VANTs, los programas disponibles y cómo se procesa la información de los vuelos planificados para obtener productos orientados al manejo de los recursos naturales.

Este trabajo contempla prácticas y algunos conceptos teóricos, entre los cuales destacan especificaciones técnicas del VANT, generalidades de las condiciones de vuelo y la legislación costarricense para la operación de las aeronaves pilotadas a distancia (RPAS o VANT). En la primera parte se encontrará la información referente a las generalidades de los vehículos aéreos no tripulados, sus diferentes clasificaciones, sensores disponibles en el mercado y características generales que se deben considerar dependiendo del tipo de trabajo a realizar. La segunda parte se concentra en explicar cómo se captura información de un VANT, se hace alusión al modelo Phantom 4 Pro y se detalla cómo se debe calibrar, consideraciones generales que se deben atender antes de realizar un vuelo, cómo se debe volar y cómo planificar un vuelo. En la tercera parte, se explica cómo se hace el pre-procesamiento de la información de las imágenes obtenidas a través de un vuelo planificado, mientras que en la cuarta parte se detallan algunos programas que se pueden utilizar para el procesamiento de las imágenes, contemplando cómo se desarrolla un orto-mosaico de imágenes aéreas y un modelo de elevación digital. Finalmente, en la quinta parte se explica cómo se pueden desarrollar productos más avanzados a partir de orto-mosaicos generados y análisis SIG a través del programa QGIS y SAGA.

Se espera que la persona, al finalizar todas las prácticas del manual, desarrolle habilidades en el manejo de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs), sea capaz de construir orto-mosaicos y Modelos de Elevación Digital con imágenes obtenidas a través de VANTs, y desarrolle capacidades analíticas con la información que se puede generar en software especializado.

## 1. Primera Parte: Generalidades

Los drones, RPAS, UAVs o VANTs son términos o siglas que se utilizan sin ninguna distinción, sin embargo, hay algunas apreciaciones que son interesantes retomar. Las siglas RPAS significa Remotely Piloted Aircraft System; en Costa Rica éste se ha traducido como Aeronave Piloteada a Distancia en la legislación sobre su control de uso. Por su parte, UAV se refiere a Unmanned Aerial Vehicle, el cual podría ser traducido como Vehículo Aéreo no Tripulado (VANT). Finalmente, dron proviene de la palabra en inglés drone, el cual a su vez hace referencia a la abeja macho (Ducoy, 2015).

Ducoy (2015) indica que UAV y drone son denominaciones que se utilizan en la esfera militar, mientras que RPAS se refiere al ámbito civil. Sin embargo, actualmente se usan de manera indistinta.

Por otra parte, Esenziale (c2018) menciona los cinco sensores esenciales de un Vehículo Aéreo No Tripulado: sistema de posicionamiento global (GPS por sus siglas en inglés), acelerómetro, altímetro, giroscopio y brújula. A continuación se brinda un detalle de los mismos:

1. GPS: se refiere al navegador del Sistema de Posicionamiento Global. Es relevante para agregar datos de ubicación y se puede utilizar para hacer vuelos programados (si es que el VANT cuenta con esa capacidad).
2. Acelerómetro: permite medir la aceleración estática y dinámica. Es decir, en el eje vertical y horizontal, respectivamente. Se usan para determinar la posición y orientación del Vehículo Aéreo No Tripulado durante el vuelo.
3. Altímetro: usado para regular la altura de vuelo permitiendo llevar a cabo grabaciones con una altura estable.
4. Giroscopio: encargado de calcular el ángulo en el que se encuentra el VANT.
5. Brújula: en conjunto con el GPS se puede saber dónde se ubica el norte en todo momento.

Existen otros sensores que se pueden encontrar en muchos VANTs y son aquellos de proximidad, los cuales indican la existencia de obstáculos alrededor del VANT.

### 1.1 Tipos de VANTs

Existen diferentes tipos de clasificaciones de VANTs, para el Departamento de Defensa de los Estados Unidos la clasificación se basa en el tamaño de los equipos, el cual se relaciona con el peso, la altitud normal de operación y la velocidad (Abdullah, c2018). Según el mismo autor, ellos establecen cinco grandes grupos: pequeño (small), mediano

(medium), grande (large), muy grande (larger) y colosal (largest). Uno de los más grandes lo constituye el VANT Ikhana de la NASA, el cual tiene una envergadura de alas de 20 metros y mide cerca de 11 metros de largo (NASA, s.f.).

Sin embargo, también se habla respecto a VANTs muy pequeños, de 30 a 50 cm de longitud (Abdullah, c2018). Éstos son utilizados para espionaje y para ataques biológicos; pueden utilizar alas rotatorias e incluso estructuras que permiten un aleteo como el de los insectos (Abdullah, c2018).

Existen otras clasificaciones que hacen referencia al tipo de ala que utiliza el VANT para volar, a saber:

#### 1.1.1 Ala Fija

Se refiere a aquellos vehículos aéreos que cuentan con alas filas. Cuenta con algunas ventajas comparativas importantes, por ejemplo, vuelos a mayores altitudes, mayor facilidad de pilotaje, mayor capacidad de acarrear equipo pesado y a través de grandes distancias (BAA Training, 2015). Sin embargo, presentan una desventaja importante a considerar y es su incapacidad de quedarse suspendido en un mismo lugar (BAA Training, 2015). Los de ala alta son aquellos que presentan el ala en la parte superior del fuselaje, mientras que los de ala baja la tienen en la parte inferior del fuselaje y los de ala media lo ubican en la parte media del fuselaje (Santana, c2018).

#### 1.1.2 Rotatorios

Pueden ser helicópteros o multirrotos. Éstos últimos pueden tener cuatro (cudricópteros), seis (hexacópteros) u ocho (octocópteros) hélices. A diferencia de los VANTs de ala fija, los multirrotos pueden quedarse suspendidos en el aire. En las Figuras 1 y 2 se pueden apreciar ejemplos de VANTs multirrotos.



Figura 1. Ejemplo de un VANT multirrotor cuadricóptero Phantom 4 Pro.



Figura 2. Ejemplo de un VANT multirroto hexacóptero.

Guillén (2018) explica que existe otra clasificación referente a los multirrotores que tiene que ver con la configuración de los brazos, son “Y”, “Y invertida”, “X” o “+” (ver Figura 3).

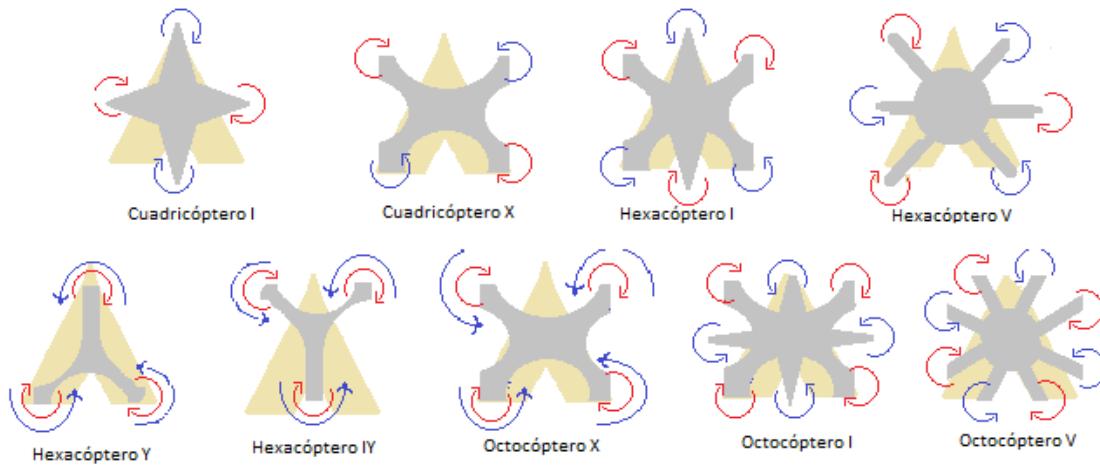


Figura 3. Ejemplos de multirrotores con diferentes tipos de configuración de brazos.

Los multirrotores coaxiales son aquellos que cuentan con dos motores por brazo (Guillén, 2018). El mismo autor explica que esto implica un ahorro en el peso del VANT, pero a costa de “eficiencia aerodinámica”. En términos generales Guillén (2018) menciona que entre más brazos tenga el VANT se gana más estabilidad, así como seguridad; mientras que una mayor cantidad de motores otorga más propulsión y consumo.

### 1.1.3 Mixtos o híbridos

Santana (c2018) explica que este tipo de VANTs tienen la capacidad de despegar y aterrizar de manera vertical, ventajas que adquieren por la capacidad de las alas rotatorias; por su parte, el ala fija le otorga alta velocidad. Como es de esperar, este tipo de VANTs presenta una mayor complejidad en su sistema.

## 1.2 Sensores disponibles en el mercado

Existen diferentes sensores, Naveen (2016) menciona que hay seis tipos: imagen, luz, sonido, magnético, químico y de calor o termal. Para aplicaciones en el manejo de los recursos naturales se pueden destacar:

- Sensores multi-espectrales. Existen sensores que permiten captar información del espectro electromagnético más allá del espectro visible. Por ejemplo, rojo extremo (red edge) e infrarrojo. Este tipo de sensores son de gran utilidad para el diagnóstico y monitoreo de la nutrición, así como de la presencia de plagas y enfermedades.
- Sensor termal. Permite captar información térmica importante para determinar los estados hídricos de cultivos o plantaciones forestales.
- Sensores químicos. Permite conocer la existencia de componentes químicos peligrosos en el aire.
- Sensor LiDAR. Utiliza la luz en forma de láser para medir los rangos o distancias variables desde el sensor hasta algún objeto. Esto permite generar información en 3D.
- Sensor hiperespectral. Contiene cuantiosas bandas que son sensibles y capaces de captar un gran rango del espectro electromagnético.
- Sensor Radar. Con este tipo de tecnología se puede captar información de obstáculos, por ejemplo. Tienen aplicación en ejercicios de búsqueda y salvamento.

## 1.3 Aplicaciones de los VANTs

Las aplicaciones de los VANTs en la actualidad pueden investigarse desde todos los ámbitos de la vida humana, porque es una tecnología que cada vez es más accesible. En esta sección se mencionan las aplicaciones que tiene una relación directa con los recursos naturales.

Según Hogan & Kelly (2017) se tienen las siguientes aplicaciones:

- Detectar estrés en cultivos: se observan cambios en las hojas que se puede apreciar en el espectro visible. Según Hogan & Kelly (2017) dependiendo del estrés que esté sufriendo la planta se genera una firma espectral determinada. Con esta información se puede tomar decisiones informadas para un adecuado manejo.

- Mapeo en áreas de difícil acceso.
- Monitoreo en 3D térmico en cuerpos de agua.
- Mapeo de la arquitectura de árboles. Permite estudiar la biomasa.
- Monitoreo en pasturas: para tomar decisiones respecto al manejo de los pastos, ubicar los lugares donde se puede pastar, por ejemplo.

Otras aplicaciones son:

- Creación de Modelos de Elevación Digital.
- Monitoreo de crecimiento en plantaciones forestales y cultivos.
- Monitoreo en niveles de agua y flujo.
- Monitoreo de erosión.
- Operaciones de fumigación.
- Búsqueda y salvamento.

#### 1.4 Selección del VANT adecuado

La selección del VANT va a depender de muchos factores, principalmente de dos: presupuesto disponible y productos esperados. Por ejemplo, una persona que se dedique a la fotografía y producción audiovisual estará más preocupada por la calidad de la imagen que por la generación de un orto-mosaico para estimar áreas de bosque. Sin embargo, hay ciertas consideraciones que se tienen que tener cuando se va a seleccionar el tipo de VANT: marca confiable que cuente con mantenimiento de software constante, una red de usuarios/as activos/as que puedan hacer una retroalimentación continua y disponibilidad de distribuidores autorizados en el país (ya que, por lo general, pueden ofrecer servicio de mantenimiento en caso de ser necesario).

Si como producto se necesita un orto-mosaico de una finca de 5 hectáreas y trabajos similares, posiblemente un VANT tipo Mavic sea más que suficiente. Sin embargo, si se necesita sobrevuelos de áreas grandes, que requieran un set de 10 baterías para un Mavic, lo ideal sería contemplar la adquisición de un VANT de ala fija, ya que ellos, como tienen capacidad de planear, pueden sobrevolar por más tiempo.

## 2. Segunda Parte: Captura de información

### 2.1 Generalidades

Es importante informarse respecto a los detalles del VANT que va a utilizar. En internet se puede encontrar información detallada y video-tutoriales para un manejo adecuado del mismo. Los VANTs consisten en un sistema que consta de dos partes: el equipo en sí y un sistema de control (Corrigan, 2018). En el VANT se pueden encontrar todas las partes y sensores que tienen que ver con el sistema de navegación (Corrigan, 2018). El mismo autor menciona que muchos de los VANTs más actuales tienen un sistema satelital de navegación dual, GPS y GLONASS. Por ejemplo, en el caso de los VANTs DJI, éstos pueden volar en modo P (GPS & GLONASS) o ATTI (el cual no utiliza ningún sistema satelital de navegación).

Cuando se enciende el VANT se guarda un punto que se llama “Hogar” o “Home”. Éste será guardado para que el VANT pueda retornar a él cuando: el/la piloto acciona el botón “return to home”, cuando el nivel de batería es bajo o, exista pérdida de la señal de transmisión entre el VANT y el control remoto (Corrigan, 2018).

Ahora bien, para poder controlar el VANT de manera remota se necesita una comunicación fluida entre el VANT y el sistema de control, esta comunicación ocurre a través de ondas de radio, tanto el emisor como el receptor tienen que trabajar en la misma frecuencia. Es importante resaltar que cada VANT cuenta con un identificador único, esto impide que otros puedan controlarlo.

### 2.2 Calibración

¿Cuándo se debe calibrar?

- Cuando la aplicación le indique que es necesario.
- Cuando observe problemas de rendimiento en el VANT.

#### 2.2.1 Preparación inicial

- a) Asegúrese que el VANT **no** tenga las hélices puestas. En caso de que el VANT tenga las hélices fijas, asegúrese que éstas no se encuentren desplegadas.
- b) Escoja una superficie plana.
- c) Cerciórese que las baterías del VANT, control y de la Tablet o Smart Phone estén completamente cargadas.
- d) Abra la aplicación DJI 4 Go (previamente instalada en su teléfono inteligente, tablet o iPad).
- e) Encienda el control remoto.
- f) Conecte la Tablet o su SmartPhone con el control remoto

- g) Encienda el VANT
- h) En la aplicación DJI 4 Go seleccione la opción “Start Flight” (Figura 4).

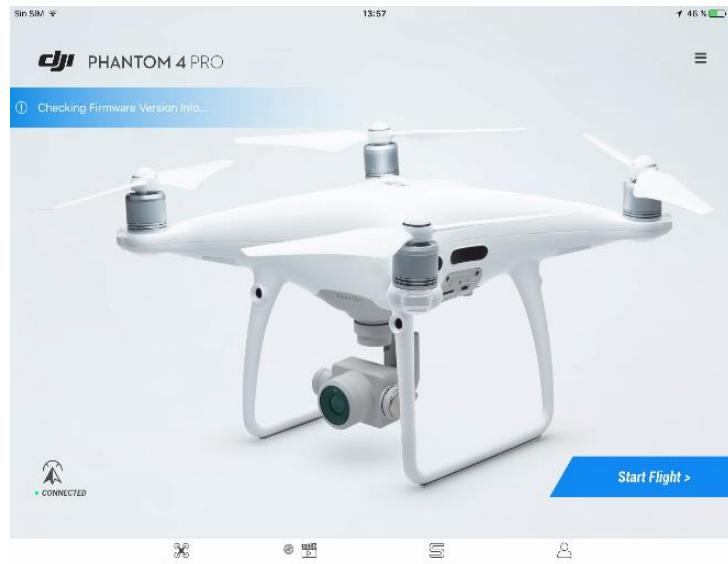


Figura 4. Opción “Start Flight” de la aplicación DJI 4 Go.

- i) En la esquina superior derecha encontrará tres puntos horizontales selecciónelos para ingresar a la configuración general, tal como se observa en la Figura 5.

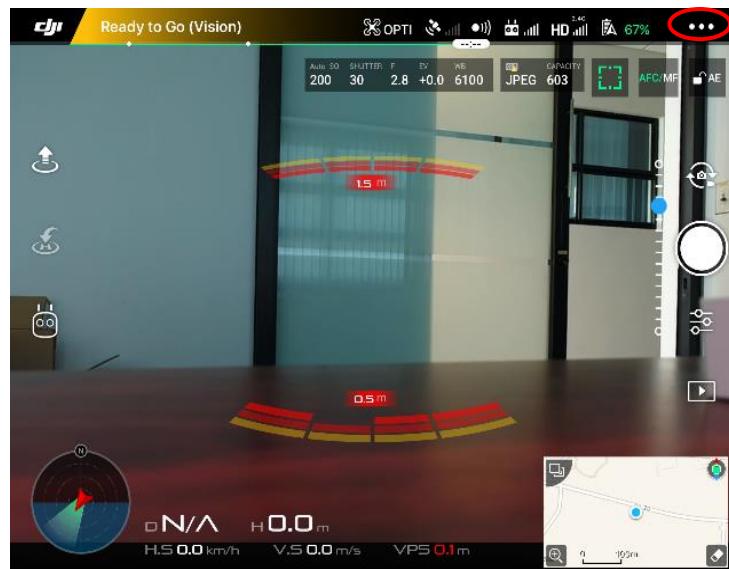


Figura 5. Ingresar a la configuración general en DJI Go 4.

- j) En este punto se puede ingresar a las opciones de configuración de “Gimbal” o de “IMU” y “compass”.

## 2.2.2 Calibración Gimbal

- a) Seleccione el ícono de la cámara, como se muestra en la siguiente figura.

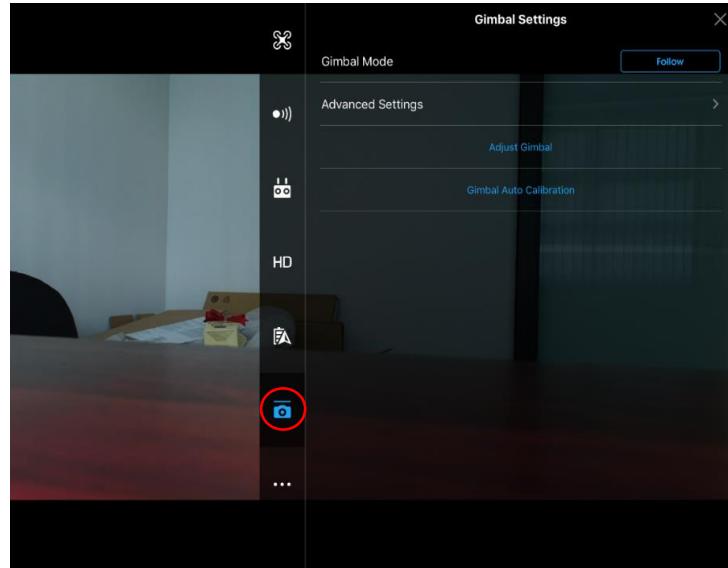


Figura 6. Opciones de configuración general.

- b) Presione el botón “Gimbal Auto Calibration” para iniciar el proceso de calibración. Al hacerlo se desplegará un aviso como el que se muestra a continuación indicando que debe asegurarse que el VANT se encuentra a nivel y no hay obstáculos que impidan el libre movimiento del gimbal. Cuando se haya asegurado de lo anterior presione OK, (Figura 7)

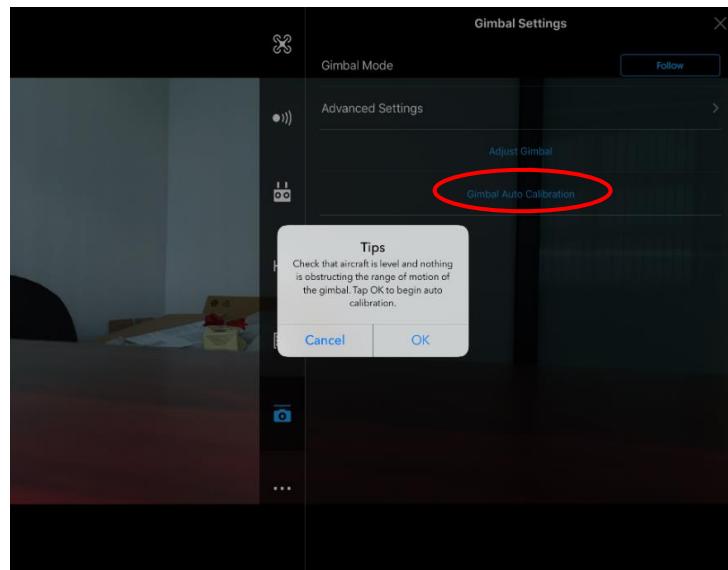


Figura 7. Selección de opción para calibrar el gimbal y aviso importante a considerar.

- c) Se desplegará en pantalla una barra que indicará el avance de la calibración. Al mismo tiempo podrá observar cómo la cámara instalada en el VANT se mueve. (Figura 8)

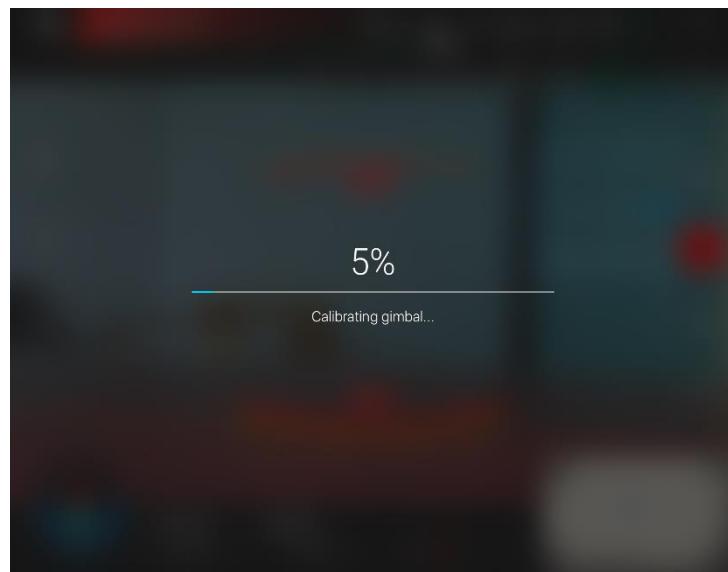


Figura 8. Barra del estado de la calibración del gimbal.

- d) Cuando haya finalizado podrá observar un aviso en la pantalla principal de la aplicación donde se indica que el proceso ha finalizado correctamente (Figura 9)

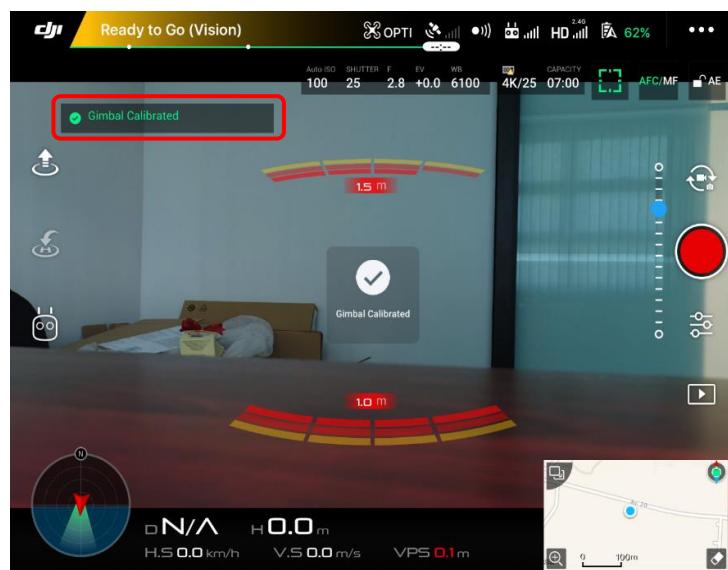


Figura 9. Aviso que se ha completado la calibración del Gimbal.

### 2.2.3 Configuración IMU y Compass

- a) En la pantalla de configuración general o “General Settings” podrá observar un ícono con forma de VANT, presiónelo (Figura 10).

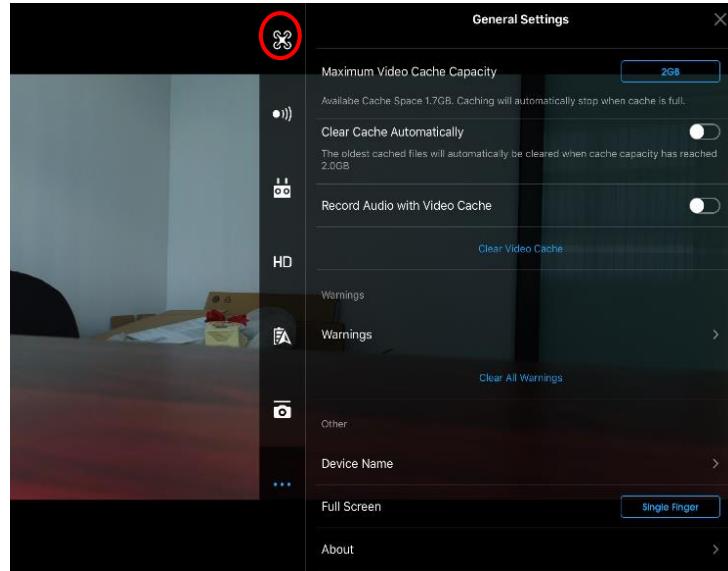


Figura 10. Configuración General del VANT.

- b) Desplace hacia abajo la pantalla, hasta encontrar la opción “Advanced Settings” (Figura 11).

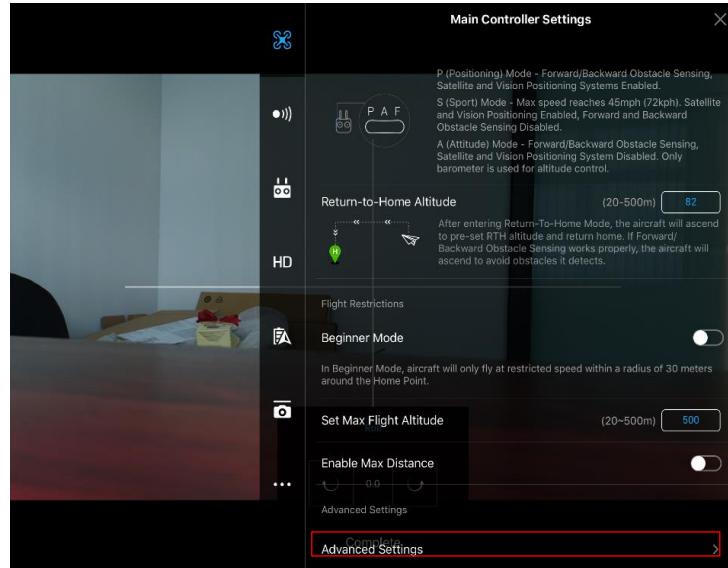


Figura 11. Configuración avanzada del VANT.

- c) Se desplegará en pantalla el estado de la calibración de “IMU”, también podrá observar el estado de “Compass” al presionar esa pestaña en la parte superior de

la pantalla. En la pestaña “IMU” seleccione la opción “Calibrate IMU”, como se muestra en la siguiente figura.

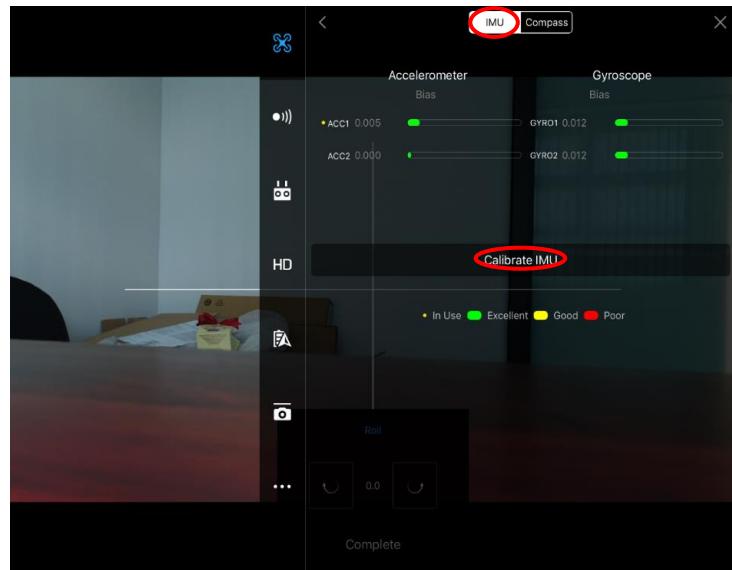
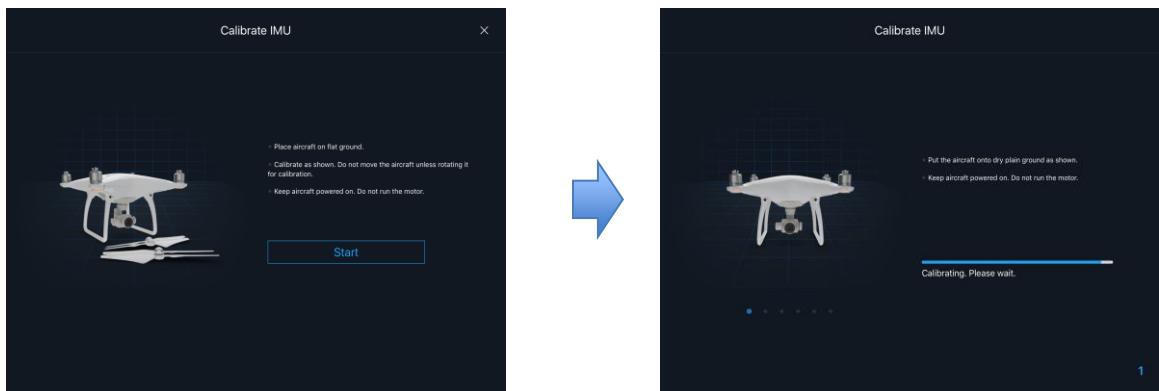


Figura 12. Opción para calibrar IMU.

Al hacerlo se despliega una pantalla para iniciar la calibración. Asegúrese que el VANT se encuentra sobre una superficie plana, en pantalla irán apareciendo imágenes e instrucciones de cómo calibrarlo, únicamente cuando dichas instrucciones se desplieguen mueva el VANT como se indica.

En la siguiente figura se muestra los pasos que se desplegarán en pantalla, recuerde que dichos pasos deberá ejecutarlos según vayan apareciendo en la pantalla.



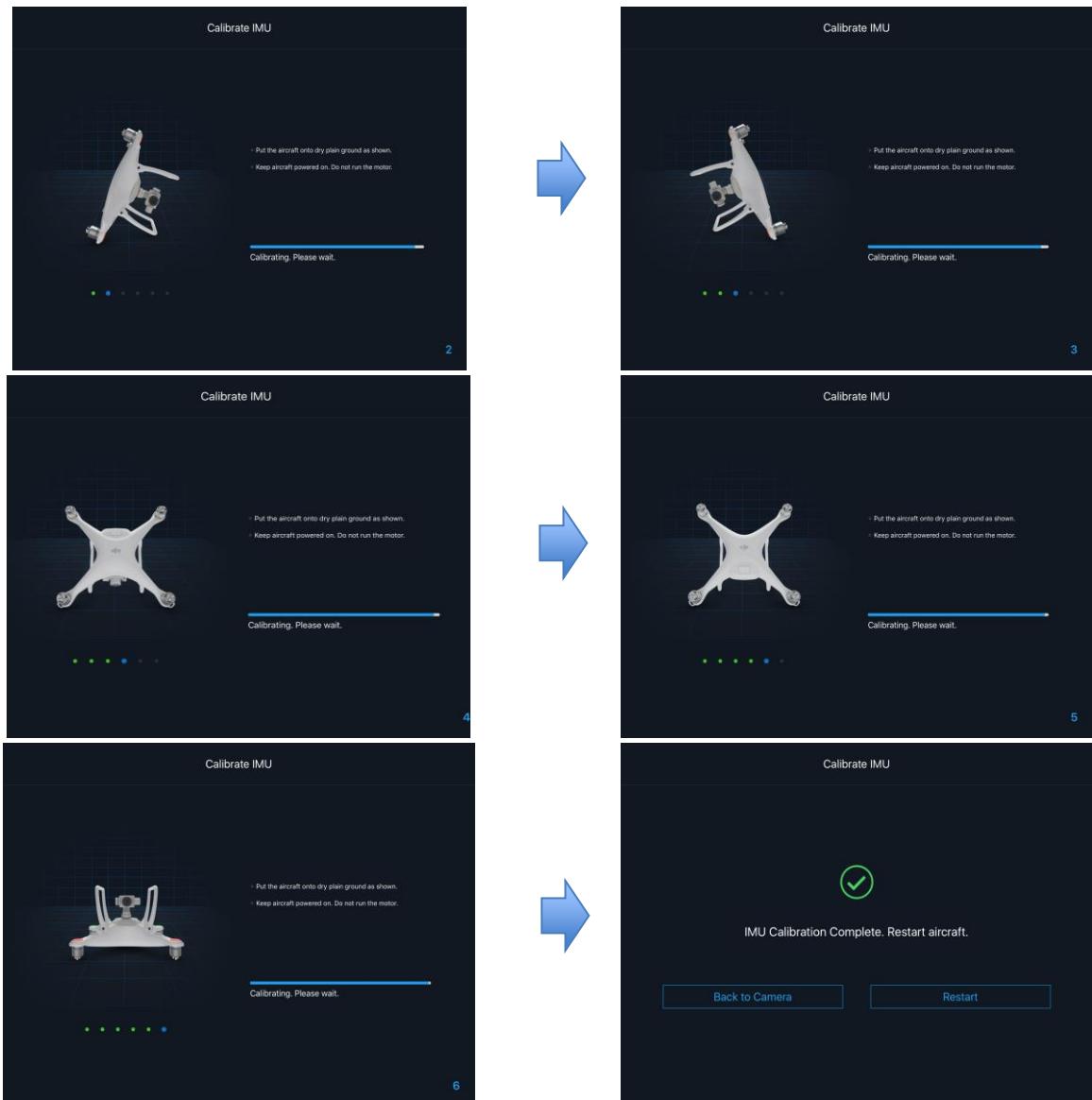


Figura 13. Pasos para calibrar IMU

Para calibrar la brújula deberá seleccionar la pestaña “Compass” (Figura 14), iniciar la calibración y seguir los pasos que se despliegan en pantalla (Figura 15).

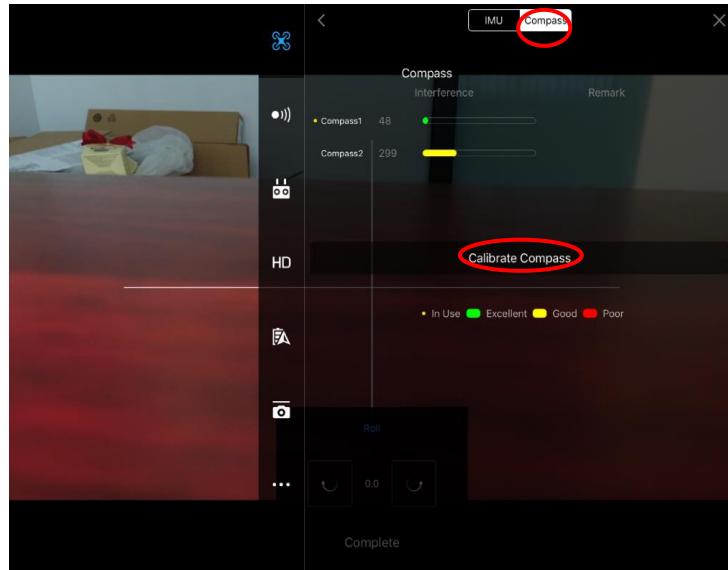


Figura 14. Pestaña Compass y opción para calibrar el compass.

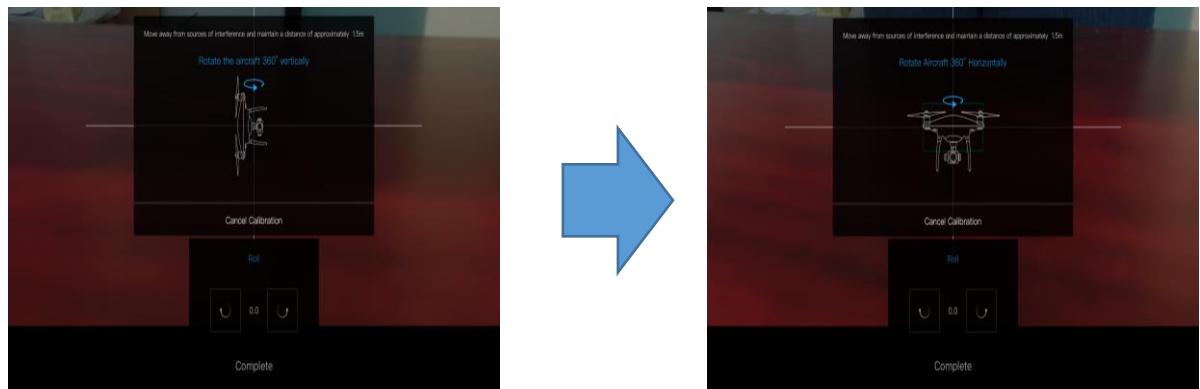


Figura 15. Pasos para calibrar el compass.

#### 2.2.4 Calibración de sensores de obstáculos.

No todos los VANTs cuentan con sensores de obstáculos, pero si cuentan con ellos es necesario que conozca la manera cómo se calibran. En el caso de los VANTs de la familia DJI debe descargar el software DJI Assistant 2 (ver Figura 16). Es recomendable, antes de iniciar el proceso de calibración, que limpie las cámaras con un paño suave.

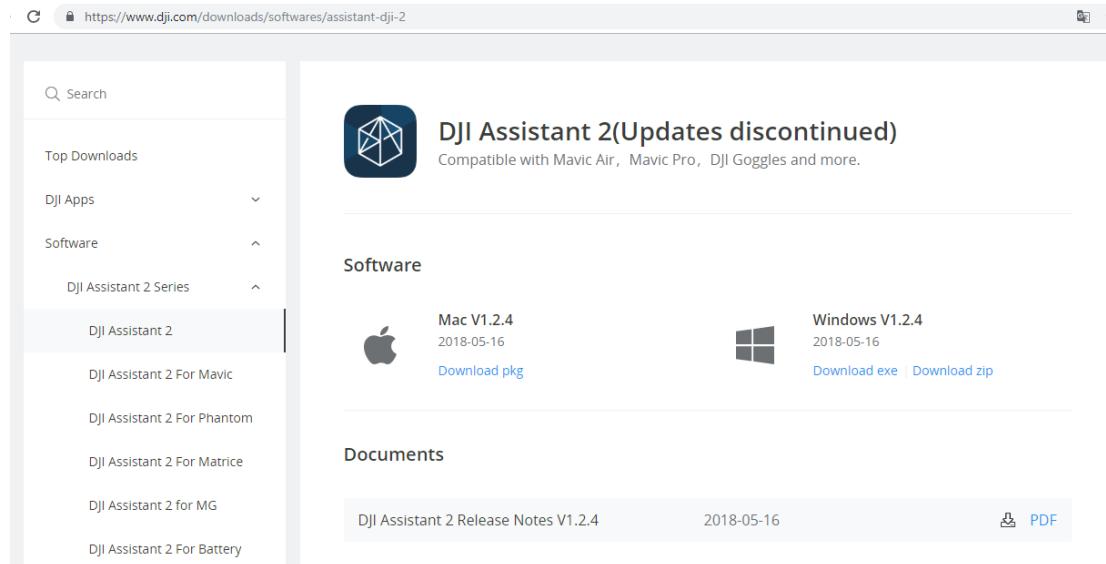


Figura 16. Selección del software DJI Assistant 2.

Descargue el instalador que se adapte al sistema operativo de su computadora. Cuando se haya descargado siga los pasos que el programa le indica para realizar la instalación. Una vez instalado el software, podrá iniciar el proceso de calibración siguiendo los siguientes pasos:

1. Abra el programa DJI Assistant 2, lo puede hacer a través del ícono 
2. Conecte el VANT a su computadora. Es importante que utilice un cable que no sea muy corto, de lo contrario no podrá finalizar con éxito el proceso de calibración (Figura 17).

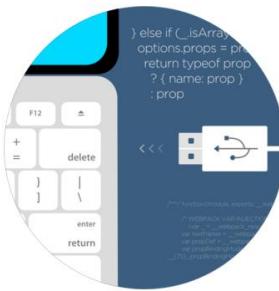


Figura 17. Conectar el VANT a la computadora con un cable suficientemente largo.

3. Se desplegará en pantalla un ícono que corresponde al VANT que ha conectado a la computadora. Deberá hacer doble clic sobre éste (Figura 18).

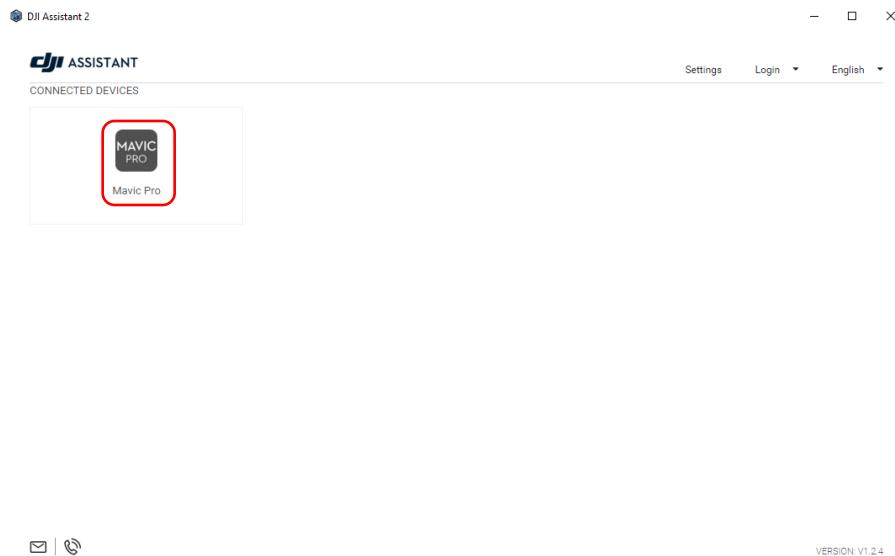


Figura 18. Listado de los VANTs que se han detectado conectados a la computadora.

4. Se desplegará en pantalla todas las opciones del programa. Podrá observar que este software permite, entre otras cosas, calibrar “las cámaras”. El programa le hará saber si es necesario llevar a cabo una actualización del firmware, es importante que se encuentre actualizado (Figura 19).

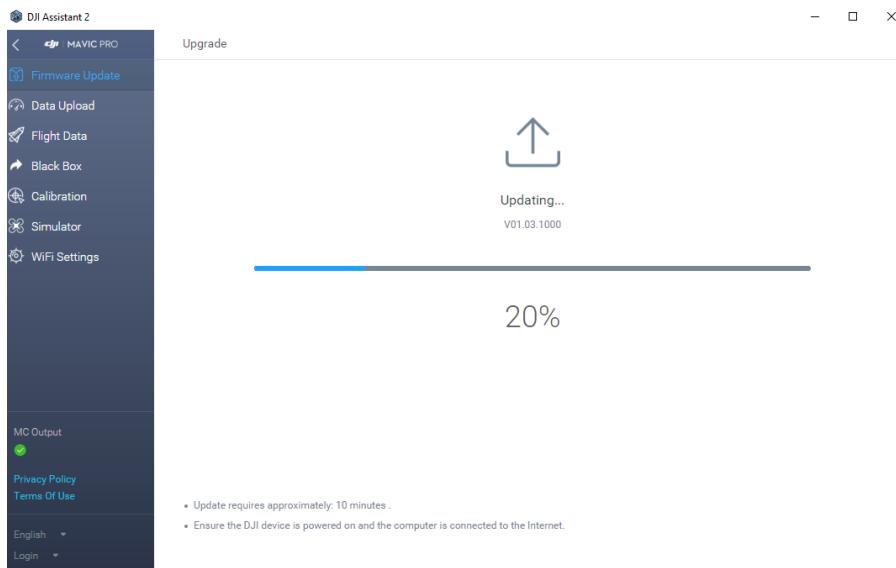


Figura 19. Actualización de firmware.

5. Una vez que haya finalizado de comprobar las actualizaciones necesarias y las haya realizado, podrá seleccionar la opción de “Calibration”. Al hacerlo podrá observar un tutorial corto donde se muestran los tres pasos que deberá seguir para llevar a cabo la calibración de las cámaras. Básicamente lo que se explica es que deberá “apuntar” las cámaras que va a calibrar en la pantalla de la computadora (Figura 20).

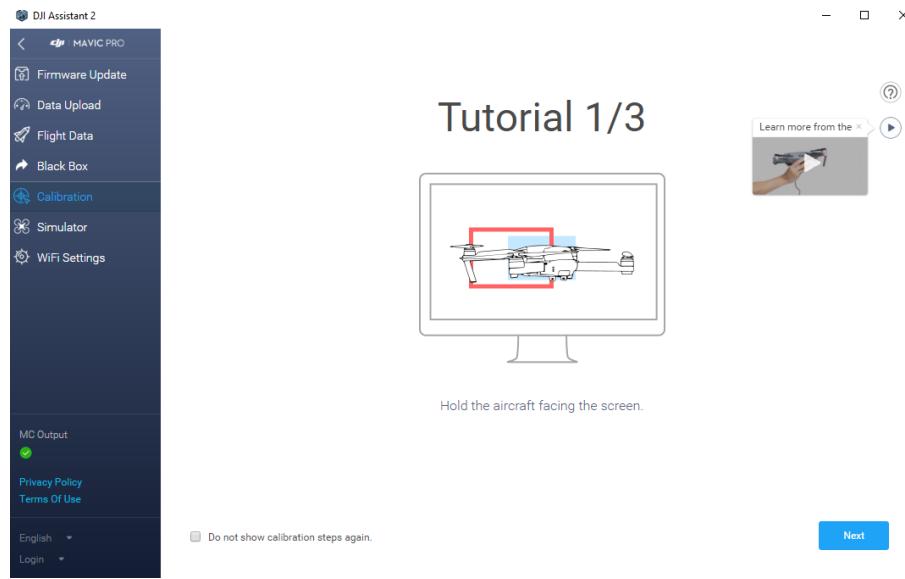


Figura 20. Direccionar las cámaras a calibrar hacia la pantalla de la computadora.

Luego, deberá colocar las cámaras de manera tal que apunte directamente a un objetivo (Figura 21).

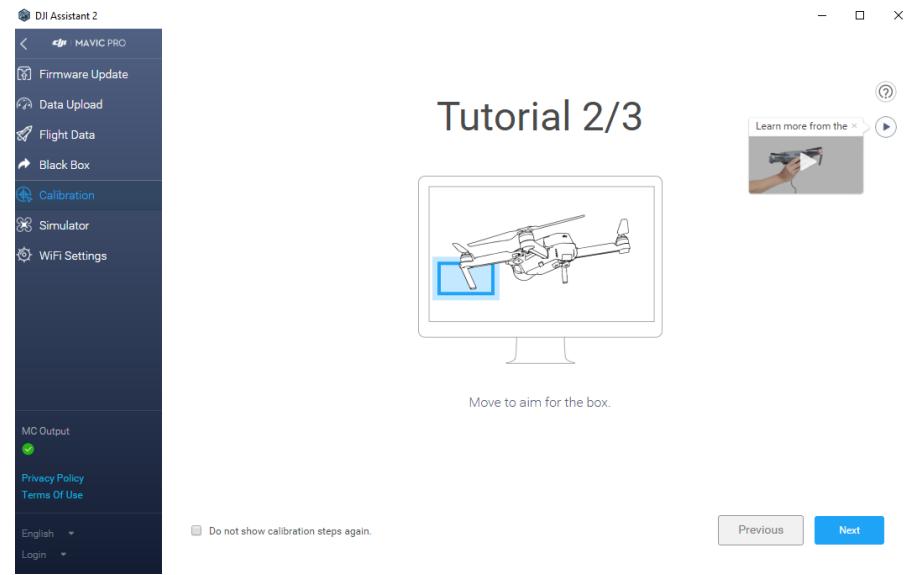


Figura 21. Posicionar la cámara de manera que apunte al objetivo que se despliega en pantalla.

Finalmente, deberá mover el VANT con las cámaras apuntando hacia la pantalla de manera que apunte a una serie de objetivos que se despliegan en pantalla.

Una vez que haya visto el tutorial, podrá empezar el proceso de calibración.

6. Al principio de la calibración observará un patrón de puntos y las instrucciones de lo que deberá completar al lado izquierdo de la pantalla (Figura 22).

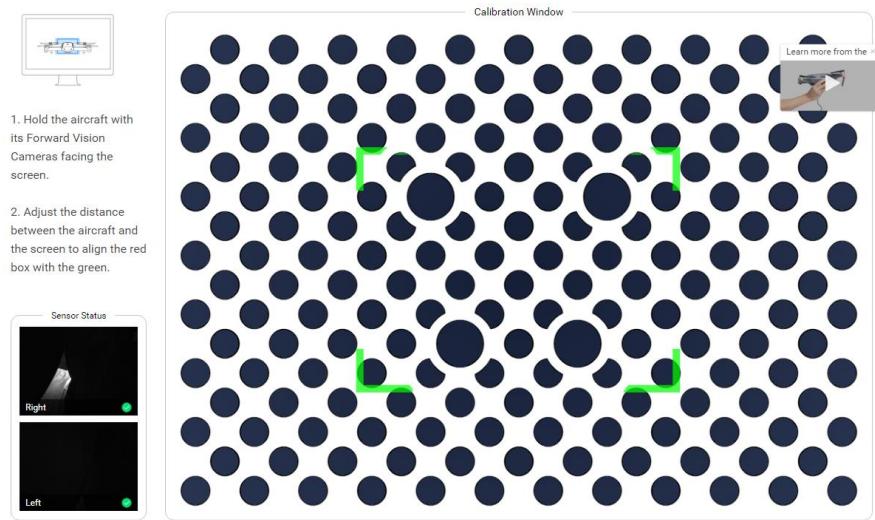


Figura 22. Vista del patrón de calibración para las cámaras.

7. Dependiendo del VANT que esté calibrando, primero deberá calibrar las cámaras frontales y luego las otras. El mismo programa le hará saber cuáles (Figura 23).

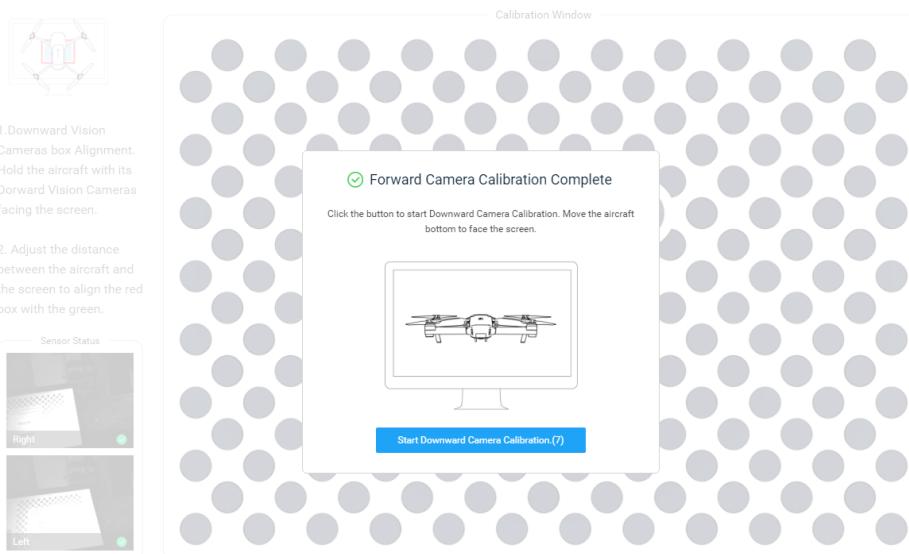


Figura 23. Aviso de finalización de calibración e inicio de la calibración de otras cámaras.

8. Siga las mismas instrucciones para calibrar las otras cámaras. Al finalizar, se desplegará en pantalla una notificación del proceso de calibración en sí (Figura 24).

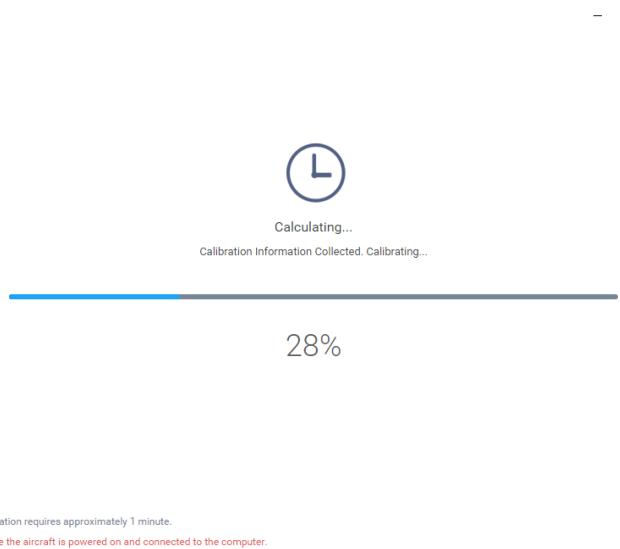


Figura 24. Aviso del avance del proceso de calibración.

Algunos autores recomiendan llevar a cabo este proceso de calibración cada 10 horas de vuelo o cada 30 cambios de batería.

### 2.3 Consideraciones antes de volar

Es importante tener ciertas consideraciones antes de realizar un vuelo. Lo primero es tener claridad sobre la legislación vigente, el objetivo del vuelo, condiciones del tiempo atmosférico y la configuración de la cámara.

#### 2.3.1 Legislación vigente

Existe una normativa elaborada por la Dirección General de Aviación Civil respecto al uso de los VANTs en Costa Rica, se refiere al documento “Normas básicas para la operación con sistemas de aeronaves piloteadas a distancia (RPAS)”. Dicho documento puede ser consultado en la página web del Sistema Costarricense de Información Jurídica. Esta normativa aplica para aquellos VANTs o Aeronaves Piloteadas a Distancia con un máximo de 150 Kg.

En la normativa costarricense se consideran VANT micro, aquellas que tienen un peso igual o inferior a 100 gramos, pequeños entre 101 gramos y 2 Kg, livianos entre 2.1 y 25 Kg y grandes entre 25.1 y 150 Kg.

Entre los puntos importantes de la normativa que debe considerar respecto a los VANTs que tienen un peso inferior a los 25 Kg y sin fines comerciales:

- Deben tener una placa de identificación legible a simple vista con información del número de serie, nombre de la empresa o propietario y datos de contacto.

- Los VANTs que operen en las bandas de uso libre deben cumplir con el “Procedimiento de homologación de dispositivos que operan en las bandas de uso libre”, dicha homologación se debe hacer ante la Superintendencia de Telecomunicaciones y el certificado de homologación se debe presentar a la Dirección General de Aviación Civil.
- Visibilidad directa: Se pueden operar en zonas fuera de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o de reuniones de personas al aire libre, en espacio aéreo no controlado, dentro del alcance visual del piloto, a una distancia de éste no mayor a 500 metros y a una altura sobre el terreno no mayor a 120 metros (400 pies).
- Se puede volar más allá de la línea de vista siempre y cuando se cuenten con medios para conocer la posición de la aeronave. Cuando el vuelo sea más allá de la línea de vista el vuelo estará condicionado a la emisión de un NOTAM (áreas autorizada para la operación de aeronaves no tripulados) por la Dirección General de Aviación Civil a solicitud del operador para informar respecto de la operación al resto de usuarios del espacio aéreo de la zona.
- Es necesario que el operador disponga de documentación respecto a las características técnicas del Sistema de Aeronave Piloteada a Distancia que vaya a utilizar. En la cual se debe incluir la definición de su configuración, características y prestaciones.
- El operador debe disponer de un Manual de operaciones donde se establezcan los procedimientos de operación.
- Debe haber un análisis de riesgo aeronáutico de seguridad de la operación en la cual se constate que se puede hacer con seguridad.
- Se hayan hecho satisfactoriamente vuelos de prueba para demostrar que la operación pretendida se pueda hacer con seguridad.
- Debe existir un programa de mantenimiento del Sistema de Aeronave Piloteada a Distancia, acorde con las recomendaciones del fabricante.
- Los operadores deben contar con una póliza de seguro que cubra la responsabilidad civil frente a terceros por daños que puedan suscitarse.
- Adoptar medidas para proteger a los Sistemas de Aeronave Piloteadas a Distancia de actos de interferencia ilícita.
- Adoptar medidas adicionales necesarias para garantizar la seguridad de la operación y protección de las personas y bienes subyacentes.

- La operación debe realizarse a una distancia mínima de 8 Km respecto a cualquier aeropuerto o aeródromo. Los vuelos a una distancia menor de 8 Km estarán condicionada a la aprobación de los procedimientos de la Dirección General de Aviación civil e incluirá la emisión del respectivo NOTAM.
- Las actividades aéreas se podrán llevar a cabo únicamente durante el día y en condiciones meteorológicas que permitan buena visibilidad. Los vuelos nocturnos están sujetos a aprobación por parte de la DGAC.
- Establecer un sistema de registro con el historial de la operación del VANT, incluyendo números de vuelos, horas de vuelos, piloto al mando, cualquier falla de los sistemas, emergencias, incidente o accidentes y modificaciones correctivas que se hayan tomado.
- El operador debe demostrar que el VANT tiene datos de telemetría (altura, satélites, velocidad, etc), contar con un escáner de frecuencias aeronáuticas y homologar el equipo de comunicación del VANT en SUTEL.
- Debe presentar a la DGAC una solicitud formal, el cumplimiento de los requisitos de la normativa y establecer una zona de seguridad en relación con la zona de realización del vuelo. Debe completar el formulario que se encuentra en la normativa y presentarlo ante la DGAC. Dicha solicitud formal debe incluir: las credenciales del operador y los pilotos, las condiciones en que cada uno de ellos acredita los requisitos de la normativa, descripción de características técnicas de las aeronaves, tipo de trabajos aéreos que se van a desarrollar y características de la operación, condiciones o limitaciones a aplicar para garantizar la seguridad. Adicionalmente debe presentar una declaración jurada en la que manifieste que cumple con los requisitos de la normativa, que dispone de la documentación que así lo acredita y que debe mantener el cumplimiento de dichos requisitos en el periodo de tiempo inherente a la realización de la actividad.
- Una vez presentada toda la documentación la DGAC debe revisar la documentación y si se cumple con los requisitos debe emitir una autorización en un lapso no mayor a 30 días hábiles, en donde se establece la fecha, hora y lugar así como el tipo de operación entre otras obligaciones.
- Cualquier modificación de la solicitud formal se debe comunicar ante la DGAC con una antelación mínima de 15 días hábiles en el formato establecido en la normativa.
- El operador de una aeronave no tripulada debe establecer y mantener un registro de mantenimiento o bitácora en el cual se lleve toda la información referente a servicios de mantenimiento, cambio de partes y actualizaciones de software.

- Se debe permitir la inspección de la aeronave y sus manuales y/o documentos por parte de la DGAC o sus designados.
- Todos los accidentes e incidentes graves deberán ser informados a la DGAC, mediante un informe. Debe informar dentro de las 72 horas después de ocurrido el accidente.

Los formularios que debe presentar ante la Dirección General de Aviación Civil se encuentran disponibles en la página web <http://www.dgac.go.cr/servicio/aeronaves-no-tripuladas/>

Puede hacer lectura de toda la normativa en la página web: [http://www.pgrweb.go.cr/scii/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?para\\_m1=NRTC&nValor1=1&nValor2=84194&nValor3=108597&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scii/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?para_m1=NRTC&nValor1=1&nValor2=84194&nValor3=108597&strTipM=TC)

Adicionalmente en la siguiente página web puede encontrar la información del procedimiento que se debe seguir para solicitar ante la SUTEL la homologación de dispositivos que operan en las bandas de uso libre: [https://sutel.go.cr/sites/default/files/rcc-431-2010procedimiento\\_para\\_solicitar\\_ante\\_la\\_sutel\\_la\\_homologacion\\_d.pdf](https://sutel.go.cr/sites/default/files/rcc-431-2010procedimiento_para_solicitar_ante_la_sutel_la_homologacion_d.pdf)

Para obtener el permiso correspondiente ante Aviación Civil se deben cumplir con lo que ellos denominan 5 Fases.

La primera Fase consiste en un contacto formal a través de correo electrónico al encargado de Aviación Civil de “Aeronaves No Tripuladas”. Así comienza el trámite que conducen a una reunión de información donde se explican cuáles son los requisitos que se deben cumplir y todo el proceso según las características de operación de las “Aeronaves No Tripuladas”.

Luego de dicha reunión se inicia la Fase dos que consiste en cumplir con una serie de requisitos que se le explican durante la fase 1, los cuales dependen de la naturaleza de la actividad con los VANTs. Dentro de las cosas que le pueden solicitar se puede resaltar: copia de la póliza de seguro vigente (a la fecha únicamente el INS lo otorga), certificado de homologación de SUTEL, cumplimiento con apéndice B.2., curriculum vitae de los gerentes responsables, un cronograma de eventos y copia del certificado de idoneidad VANT de los pilotos propuestos.

Es importante mencionar que el proceso de homologación ante la SUTEL se hace directamente desde su página web. Consiste en subir una serie de documentación respecto al VANT que se desea homologar. Este proceso puede tardar hasta un mes, dependiendo si necesita presentar aclaraciones.

En el caso de la póliza de seguro es necesario solicitar una cotización formal ante cualquier sucursal del INS. Al ser un seguro “especial” se requiere de un estudio para que la institución pueda elaborar una cotización. Se debe completar una solicitud de aseguramiento, indicar el perfil del asegurado, detalle del VANT, indicar el uso que se le dará al equipo, detallar el número de veces que el equipo vuela, indicar nombre de pilotos y su experiencia, indicar si la actividad requiere de un permiso, presentar la factura de compra.

La fase 3 se refiere a una fase de evaluación de diversos documentos: análisis de riesgo, programa de mantenimiento, entre otros.

En la fase 4 se debe hacer un vuelo de demostración y la fase 5 se refiere a la emisión del certificado operativo.

### 2.3.2 Objetivo del vuelo

Debe tener claro el objetivo del vuelo para que sepa qué aspectos importantes debe configurar. Si se requiere una ortoimagen de alta resolución para trabajos de investigación o monitoreo, deberá considerar entonces un traslape entre imágenes elevado. Mientras que si lo que desea es hacer un video promocional el traslape de imágenes es irrelevante, pero la configuración de la cámara y el modo de vuelo podrá tener mayor relevancia.

### 2.3.3 Condiciones del tiempo atmosférico

Existen aplicaciones que permiten conocer las condiciones del tiempo atmosférico y determinar de esta manera, si hay condiciones idóneas para hacer un vuelo. La aplicación gratuita “UAV Forecast” se puede utilizar para conocer si las condiciones son favorables o no, despliega información respecto a: dirección de viento, temperatura, precipitación, cobertura de nubes, visibilidad, número de satélites disponible, índice Kp (mide la afectación causada por actividad solar, valores menores a 4-3 indica que estas condiciones son favorables), estimación de disponibilidad satelital (es un modelo que simula la disponibilidad de satélites), y por último indica si las condiciones para volar son apropiadas o no. Esta información se despliega en pantalla para la ubicación actual, pero también puede buscar una localidad en específico para ver cuáles son las condiciones de estas variables. Además, permite conocer un pronóstico por hora, y día. Siga los siguientes pasos para utilizar esta aplicación:

#### 3.3.1 Busque y descargue la aplicación “UAV Forecast”.

- 3.3.2 Abra la aplicación y observe las condiciones del tiempo atmosférico. Se desplegará dichas información correspondiente a la dirección que se muestra en la parte superior, ver Figura 25. Por tanto, si desea conocer las condiciones en otra parte del país, lo podrá hacer modificando la información que se despliega allí.

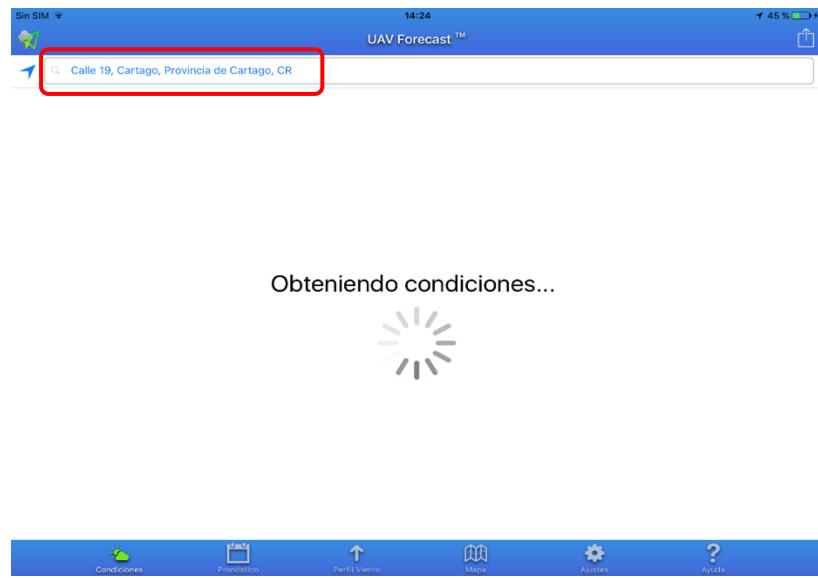


Figura 25. Dirección desde donde se carga la información de las condiciones del tiempo atmosférico.

- 3.3.3 Cuando se haya cargado podrá observar los valores de cada variable, anteriormente mencionadas, así como un sistema de semáforo para una interpretación visual sencilla de dichos valores. De esta manera, las variables que presenten valores aceptables se podrán apreciar de color verde y aquellas que tienen valores que pueden representar un peligro se observan de color rojo. En amarillo se pueden ver aquellas variables que tienen valores que deben ser cuidadosamente considerados. (Ver figura 26).



Figura 26. Condiciones atmosféricas desplegadas en la aplicación UAV Forecast.

- 3.3.4 En la parte inferior podrá acceder a la sección de pronósticos. En ella podrá observar pronósticos de cada una de las variables por hora y día. (ver Figura 27).

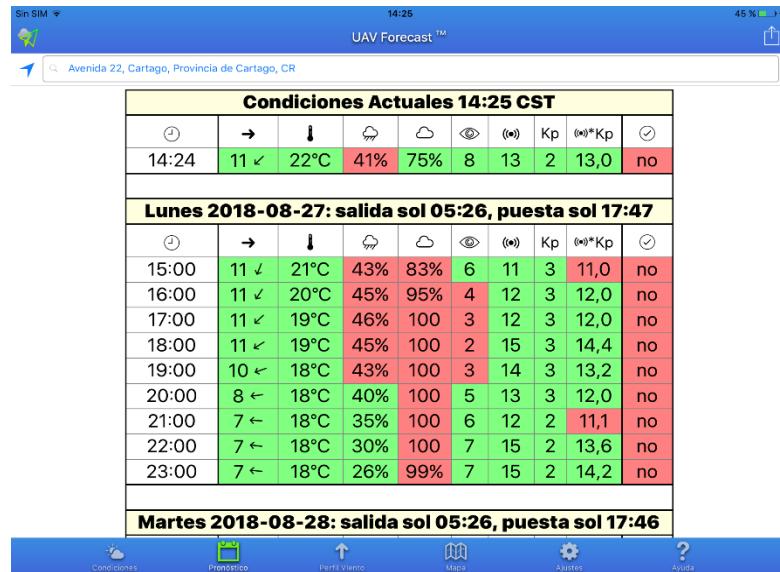


Figura 27. Predicción de condiciones atmosféricas desplegadas en la aplicación UAV Forecast.

- 3.3.5 Adicionalmente, el/la piloto deberá utilizar su criterio para saber si el vuelo puede o no realizarse. Puede ser que la aplicación muestre condiciones favorables pero que haya una condición especial local que la aplicación no esté considerando.

### 2.3.4 Configuración de cámara

Un aspecto muy importante a considerar en cualquier vuelo que se vaya a hacer es la configuración de la cámara. El principal objetivo es tener imágenes nítidas y de buena calidad, para ello se debe volar en condiciones atmosféricas óptimas, contar con una

buenas cámaras, llevar a cabo una configuración adecuada de la cámara y contar con un pre-procesamiento de imágenes en el software que se vaya a utilizar para crear los ortomosaicos o la edición de videos.

Básicamente Moore (2017) recomienda usar el histograma para ajustar la velocidad de obturación, el ISO para obtener imágenes nítidas y personalizar el balance de blancos con el fin de obtener un mapa consistente. A continuación se detalla un poco más respecto a las recomendaciones de Moore (2017):

Se recomienda mantener activo el histograma para poder ajustar la velocidad de obturación “shutter speed”, esto es la porción de tiempo que el obturador está abierto cuando toma una foto (Moore, 2017). Una velocidad alta permite “congelar” una acción (por ejemplo, en deportes), mientras que una más lenta puede resultar en una imagen borrosa (Moore, 2017).

Una vez que el VANT haya despegado y la cámara esté viendo directamente hacia abajo, podrá observar el terreno y podrá ajustar la velocidad de obturación ajustando el histograma hasta que los valores extremos se concentren en la mitad del gráfico (Moore, 2017).

Se recomienda ajustar el ISO manualmente para evitar que las imágenes tengan un aspecto granulado (Moore, 2017). Un valor de 100 es lo que se recomienda para obtener imágenes nítidas (Moore, 2017). Sin embargo, se recomienda que el/la usuario/a determine el valor en el momento que va a llevar a cabo el vuelo.

Por último, se recomienda ajustar el balance de blancos para obtener imágenes consistentes (Moore, 2017). A esto también se le conoce como temperatura de la imagen. Si lo deja en automático, la cámara hará el ajuste cada vez que tome una fotografía (Moore, 2017). Para obtener una consistencia en todas las imágenes es importante entonces ajustar el balance (Moore, 2017). Para ello, cuando el VANT esté desplegado la imagen, se recomienda que la/el usuaria/o pruebe cuál es la mejor opción en ese momento.

Tomando en consideración lo anterior se presenta los pasos para calibrar correctamente la cámara utilizando la aplicación DJI go 4.



1. Abra la aplicación y presione el ícono tal como se muestra en la siguiente figura.

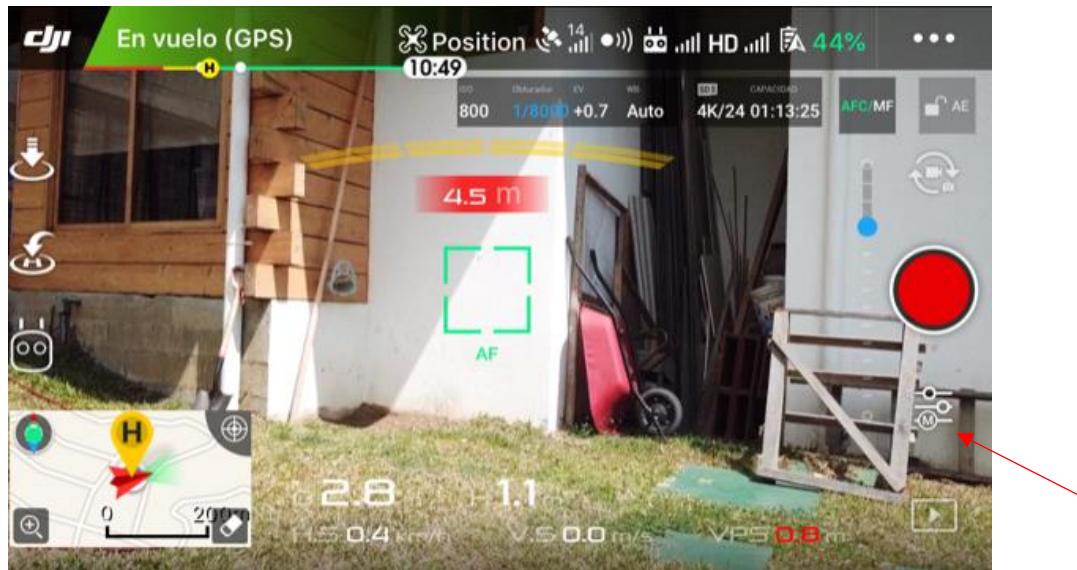


Figura 28. Pantalla principal de la aplicación DJI Go 4.

2. Se abrirá entonces las opciones para ajustar la cámara. Para poder modificar estos ajustes deberá seleccionar la opción de configuración Manual, como se muestra en la Figura 29.

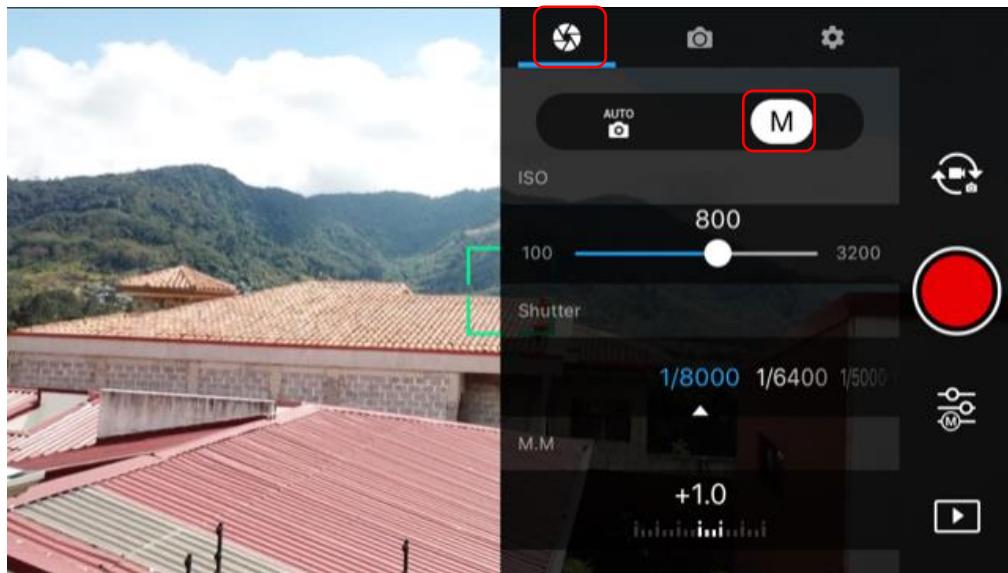
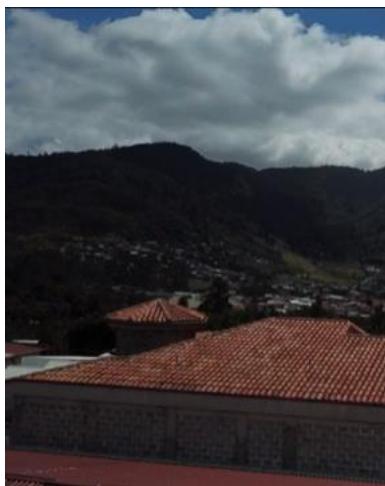


Figura 29. Opción de ajustes de cámara manual.

3. En la misma pantalla podrá determinar la mejor opción para el ISO y Shutter. Modifique los valores hasta que en la vista obtenga la mejor imagen. En la siguiente figura puede observar los cambios que se observan en la imagen con los valores extremos de ISO, a manera de ejemplo.



ISO = 100



ISO = 3200

Figura 30. Ejemplo del resultado visual de diferentes valores ISO.

4. Para seleccionar los valores de Shutter utilice el histograma. Deberá activar la visualización del histograma desde las opciones de configuración, tal como se muestra en la Figura 31.

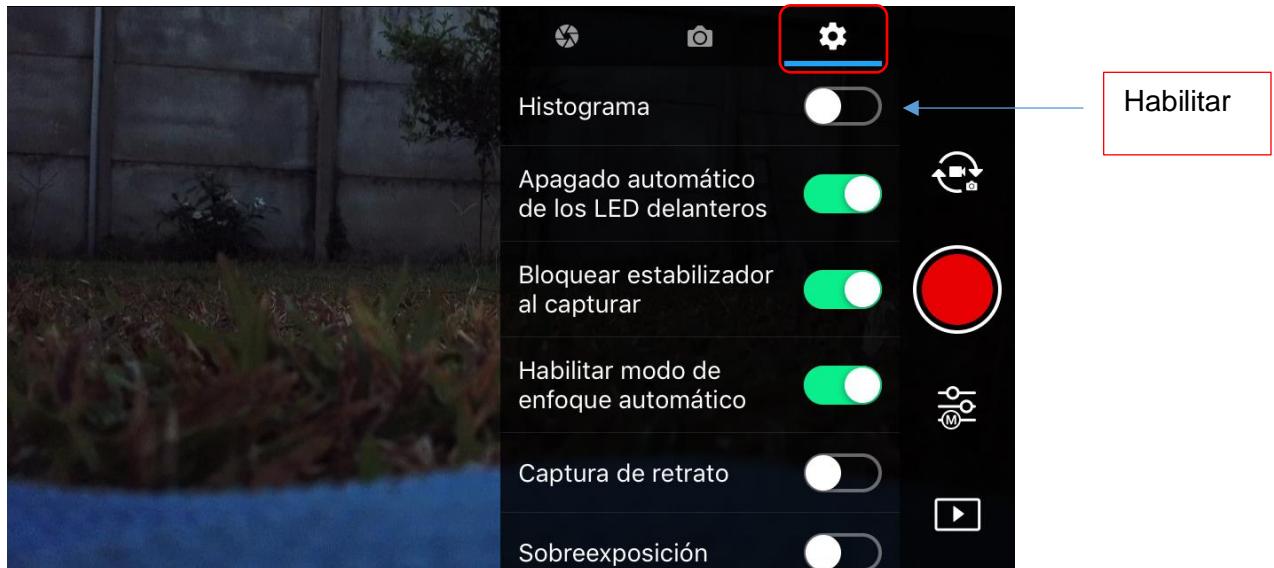


Figura 31. Activar la visualización del histograma.

Se desplegará en la pantalla el histograma, éste podrá desplazarlo hacia donde desee. Modifique los valores de velocidad de obturación o Shutter, observe cómo cambia la imagen que se despliega en pantalla así como el histograma. En la Figura 32 se muestra un ejemplo de valores diferentes de velocidad de obturación.

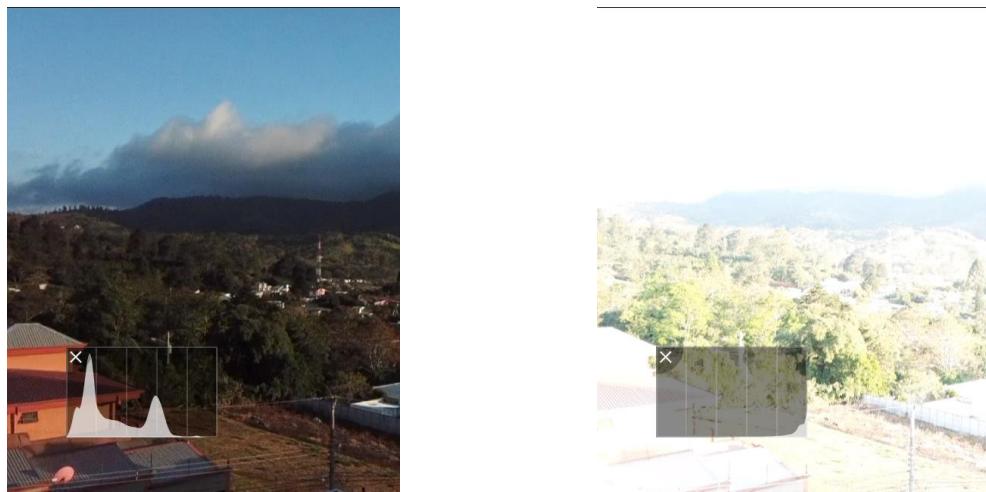


Figura 32. Ejemplo del resultado visual de diferentes valores de velocidad de obturación.

5. Una vez que haya establecido los mejores valores de ISO y Shutter, proceda a seleccionar el ícono de la cámara para poder acceder a las opciones de balance de blancos y color. Posteriormente seleccione la opción de Balance de blancos (Figura 33).

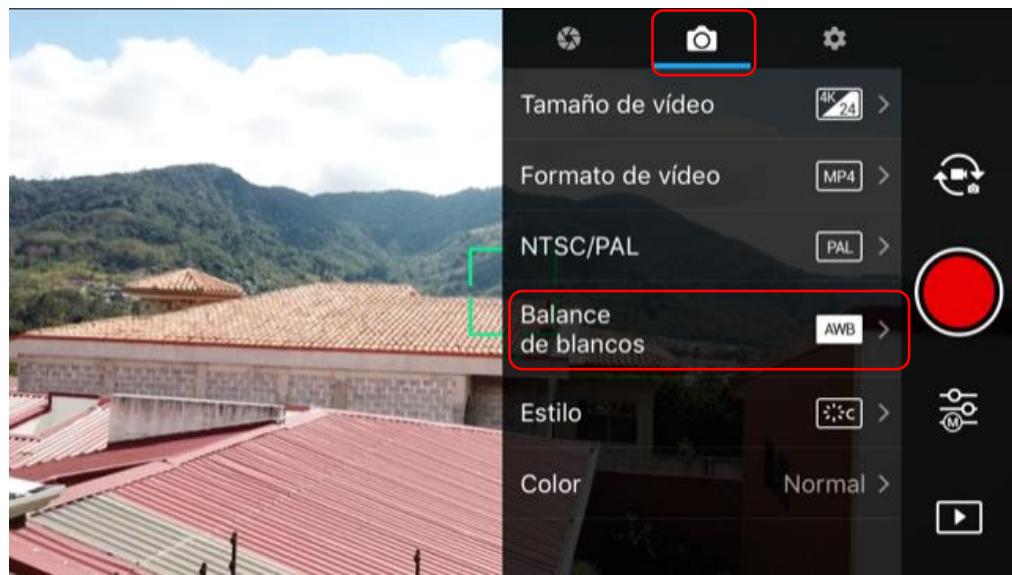


Figura 33. Despliegue de opciones de imagen.

6. Se despliegan en pantalla diferentes opciones para balance de blancos. Se recomienda utilizar la opción personalizada y asignar un valor que permita observar bien la imagen. Esto permite uniformar las imágenes que se vayan a tomar durante el vuelo (Figura 34).

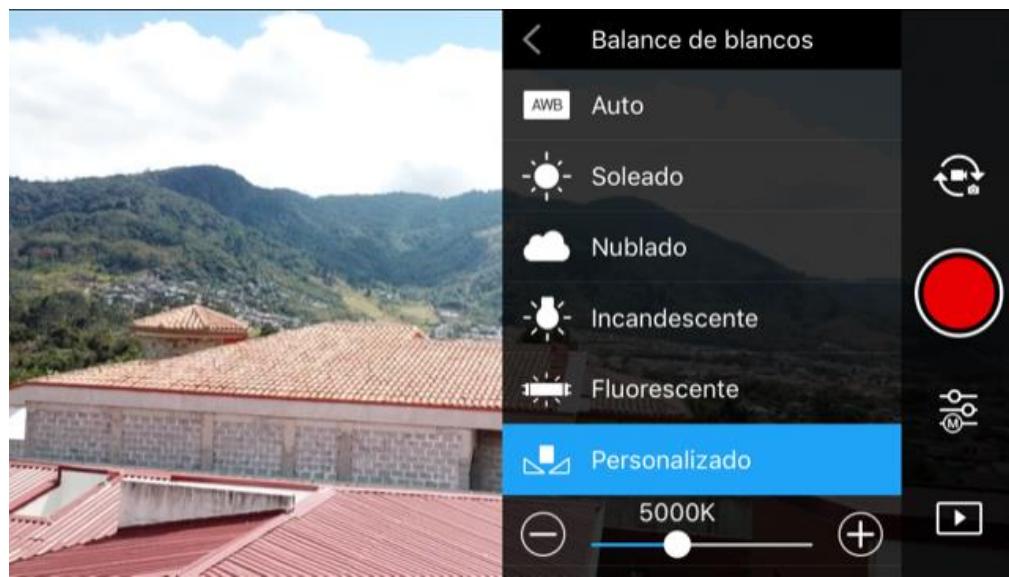


Figura 34. Opción personalizada para asignar valores al balance de blancos.

En la siguiente figura se muestra los cambios que se observan en la imagen con los valores extremos de balance de blancos, a manera de ejemplo



Balance de Blancos = 2 000 K



Balance de Blancos = 10 000 K

Figura 35. Ejemplos de visualización de imagen con diferentes valores de balance de blancos.

## 2.4 Vuelos con VANTs

Es importante revisar los modos de vuelo que permiten su VANT, en la familia DJI se habla de 3 modos principales: P, S y A, éstos corresponden a Positioning Mode, Sports Mode, ATTI Mode. Los dos primeros utilizan la tecnología GPS y GLONASS, mientras que ATTI las inhabilita (Tom's Tech Time, 2016). En términos simples, el modo ATTI puede ser útil cuando el VANT está volando en áreas muy estrechas porque al inhabilitar el GPS no tratará de “corregir” su posicionamiento, es útil también en versiones antiguas de Phantom cuando no existía el modo Sports, requiere menos recursos y por lo tanto se puede incrementar el tiempo de vuelo y, si por alguna razón el comando de “return to home” falla y el VANT en lugar de retornar al punto de partida se desplaza hacia otro lugar se puede cambiar al modo ATTI y el/la piloto puede dirigir el VANT donde realmente se necesita (Tom's Tech Time, 2016).

### 2.4.1 Vuelos planificados

La planificación de vuelos debe considerar algunos aspectos importantes: área que se requiere sobrevolar, objetivo del vuelo, traslape necesario entre imágenes, nivel de batería de todo el equipo, altura del vuelo y condiciones atmosféricas óptimas para hacer el vuelo.

#### a) Apps disponibles

Existen varias aplicaciones gratuitas disponibles para planificar vuelos, entre ellas se puede mencionar: DroneDeploy, DJI GS Pro, Pix4D, Litchi, PrecisionMapper. Sin embargo hay muchas otras.

Para poder seleccionar la mejor aplicación se debería de conocer primero el tipo de dispositivo con el que se cuenta y su sistema operativo, las limitaciones respecto al uso gratuito de las aplicaciones y el costo de ciertas funcionalidades. Evidentemente se pueden presentar cambios en los precios, así como en las funcionalidades que las aplicaciones ofrecen, sin embargo se ha construido el siguiente cuadro con información actualizada a Setiembre de 2018.

Cuadro 1. Principales características de aplicaciones gratuitas para planificación de vuelos.

App	Sistema operativo	Funcionalidades gratuitas	Limitaciones de funciones gratuitas	VANT
DroneDeploy (DroneDeploy, s.f.)	Android: Samsung Galaxy S8, S8 Plus, S7, S7 edge, Samsung Galaxy Note 5, Samsung Galaxy Tab S3, NVIDIA Shield Tablet (k1), Google Nexus 5X, Google pixel, pixel XL.  iOS: iPad Pro (2015, 2016 y 2017), iPad 2017, iPad Mini 4, iPhone X, 8, 7, 7 plus, 6s y 6s plus.			Phantom 4 Pro/ADV Pahtom 3 Pro/ADV Matrice 200, Matrice 210/RTK, Matrice 100, Matrice 600, Inspire 2 Pro, Inspire 1/Pro Mavick Pro/Platinum
DJI GS Pro (DJI, c2018)	iOS: iPad Air, Air 2, Mini 2, Mini 3, Mini 4, & Pro tablets  Android: No	Virtual Fence, 3D Map Area y Waypoint Route.	Los waypoints van de 2 hasta 99. Puede tomar más de 99 imágenes si se configura para que no permanezca suspendido (not Hover), si es así el límite de fotografías dependerá de la capacidad de la tarjeta SD.	Phantom 3 Standard/ Advanced/ Professional/ 4K, Phantom 4/Pro, Inspire 1/2, Matrice 100/600/600 Pro, A3/ A3 Pro, N3
Pix4D	iOS 10.3 o posterior.  Android: No	Vuelos planificados en grilla, polígono, mixto, circular o libre.		Más de 30 VANTs. DJI, Parrot y Yuneec. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Listado completo disponible en: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/203991609--Android-iOS-Which-drones-are-supported-by-Pix4Dcapture>

b) Planificación de vuelos con DJI GS Pro

La aplicación permite programar o planificar vuelos de una manera sencilla e intuitiva. Al abrir la aplicación en campo, con conexión a internet, podrá observar la ubicación del VANT en un mapa así como las misiones anteriormente programadas. Para programar una nueva misión deberá presionar el botón “New” (Figura 36).

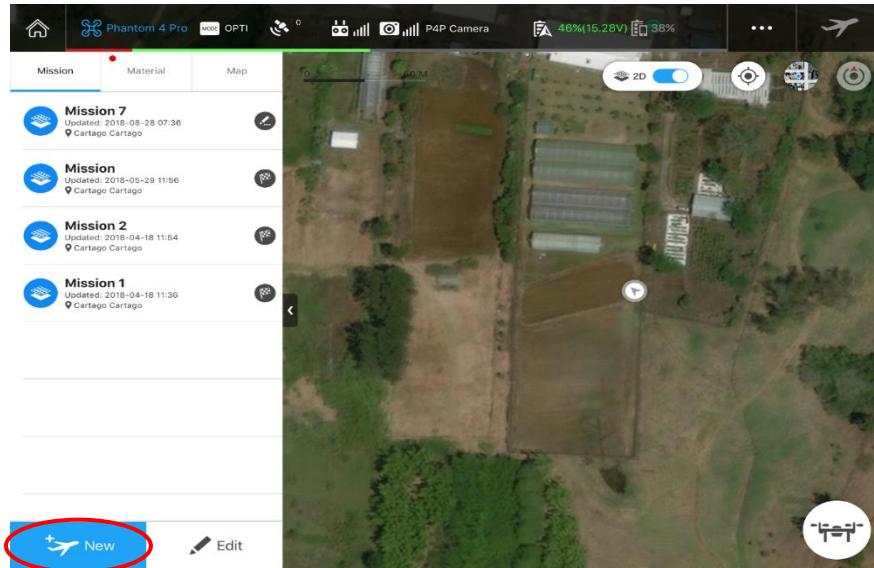


Figura 36. Botón para crear una nueva misión de vuelo programado.

Posteriormente se despliegan las opciones básicas de la misión, seleccione “PhotoMap” (Figura 37).

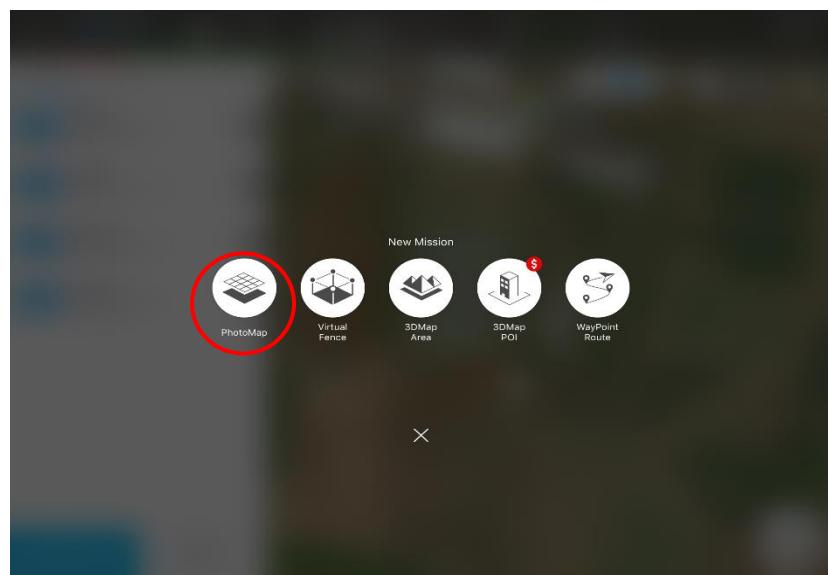


Figura 37. Elegir opción PhotoMap.

Enseguida presione la opción “Tap” (Figura 38).

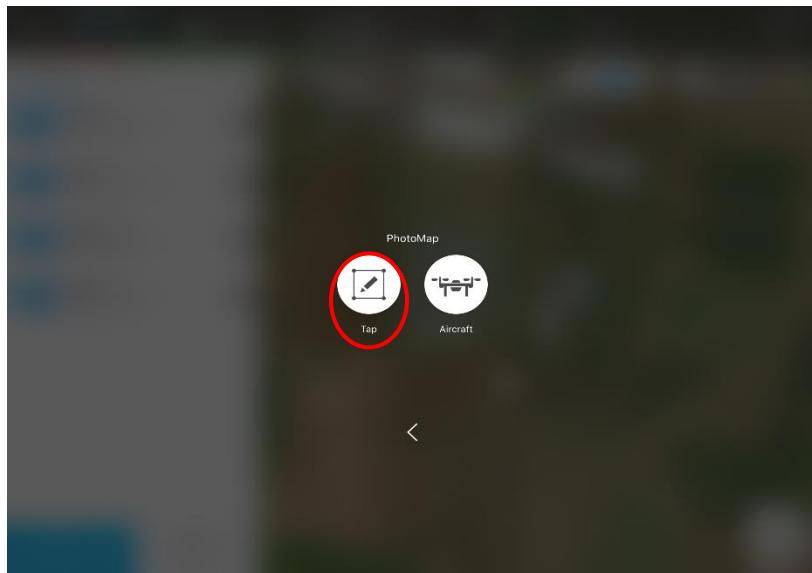


Figura 38. Opción Tap que permite dibujar en pantalla el área a sobrevolar.

Se desplegará un mensaje como el que muestra en la siguiente figura.

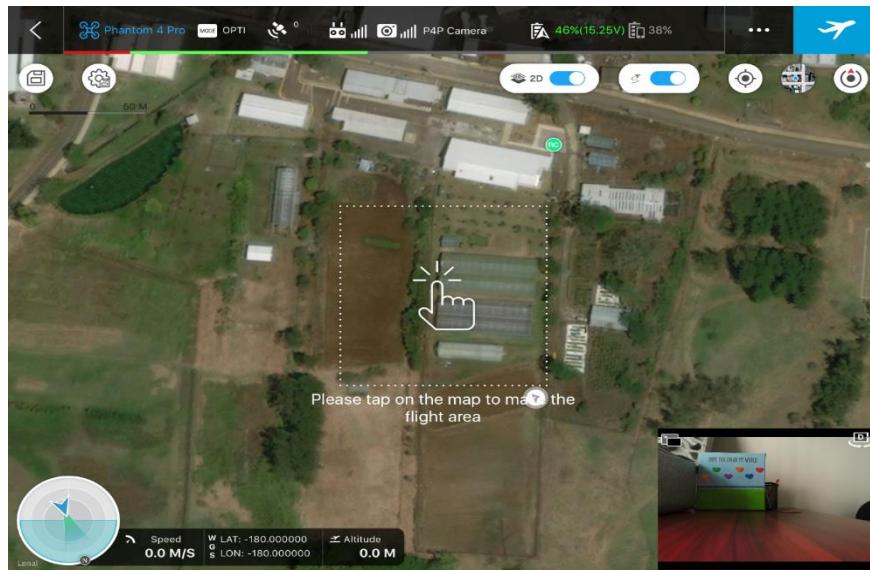


Figura 39. Mensaje que indica cómo dibujar en pantalla el área a sobrevolar.

Presione sobre algún punto de la pantalla para dibujar los vértices del lugar que va a sobre volar (Figura 40).

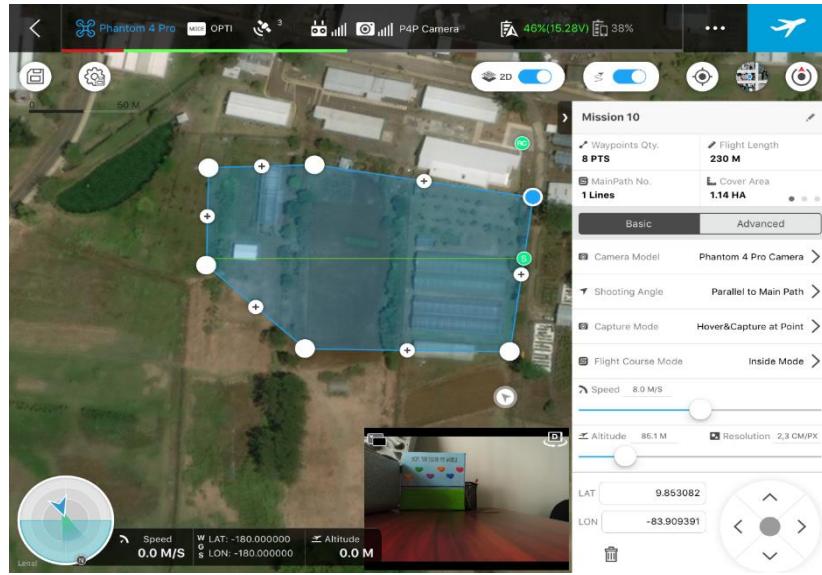


Figura 40. Ejemplo de cómo dibujar en pantalla el área a sobrevolar.

Los vértices blancos pueden moverse con el dedo, deslizándolos sobre la pantalla. Los círculos que tienen un signo “+” sirven para agregar un nuevo vértice. Dibuje el área de interés que va a sobrevolar, como se muestra a continuación

En el menú de la derecha podrá seleccionar diferentes opciones básicas y avanzadas del vuelo. En la primera sección puede desplazarse hacia la derecha para ver tres páginas diferentes, figura 41.

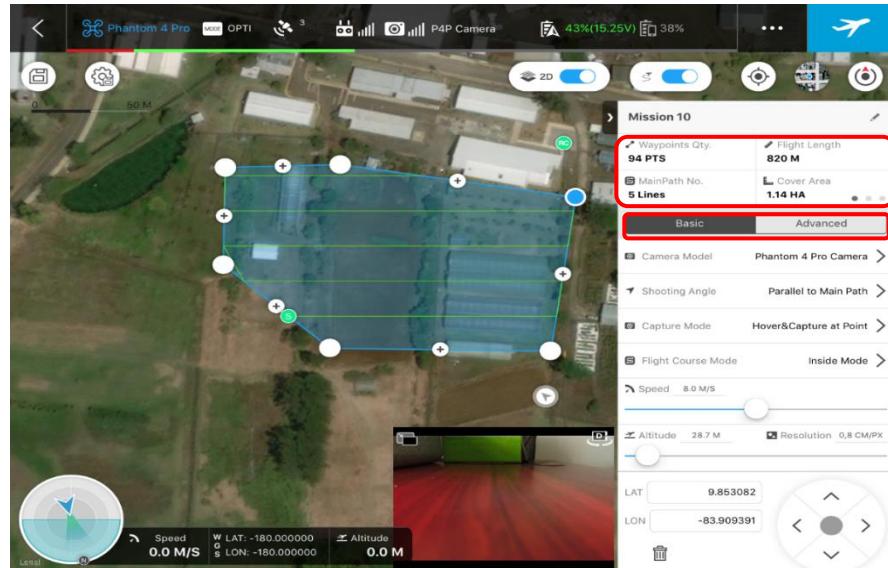


Figura 41. Ubicación de opciones básicas y avanzadas.

b) Planificación de vuelos con Pix4D

La planificación de vuelos con esta aplicación es bastante similar a DJI GS Pro:

1. Abra la aplicación y seleccione el tipo de vuelo que desee planificar: grilla, polígono o mixto. La grilla hace referencia a un vuelo planificado de forma rectangular, la de polígono cuando los límites de la misión se requieren sean más flexibles y el mixto cuando se desea construir productos en 3D. En este caso seleccione polígono (ver Figura 42).



Figura 42. Tipos de vuelos habilitados en PIX4D.

2. Se desplegará en pantalla un pequeño tutorial que indica cómo crear el polígono (Figura 43).

## Designing a polygon mission

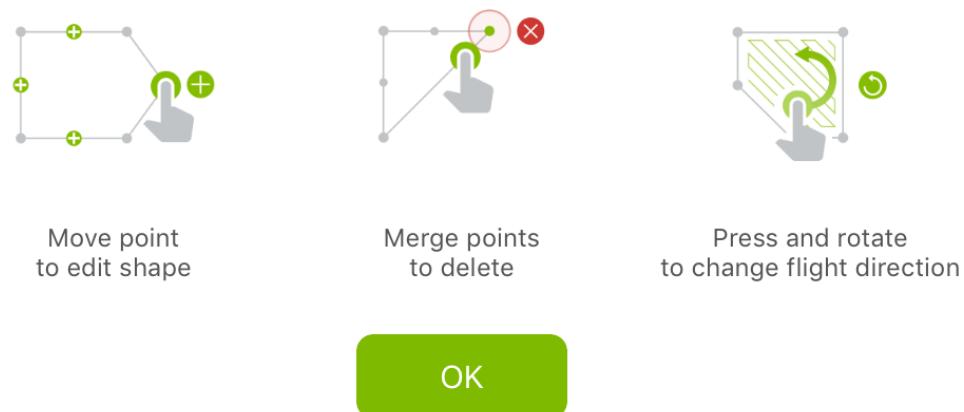


Figura 43. Tutorial en pantalla para agregar el polígono sobre el área a sobrevolar.

3. Digite en pantalla el polígono que abarca el área que desea sobrevolar, y podrá visualizar el tiempo estimado y el recorrido que hará el VANT (Figura 44).

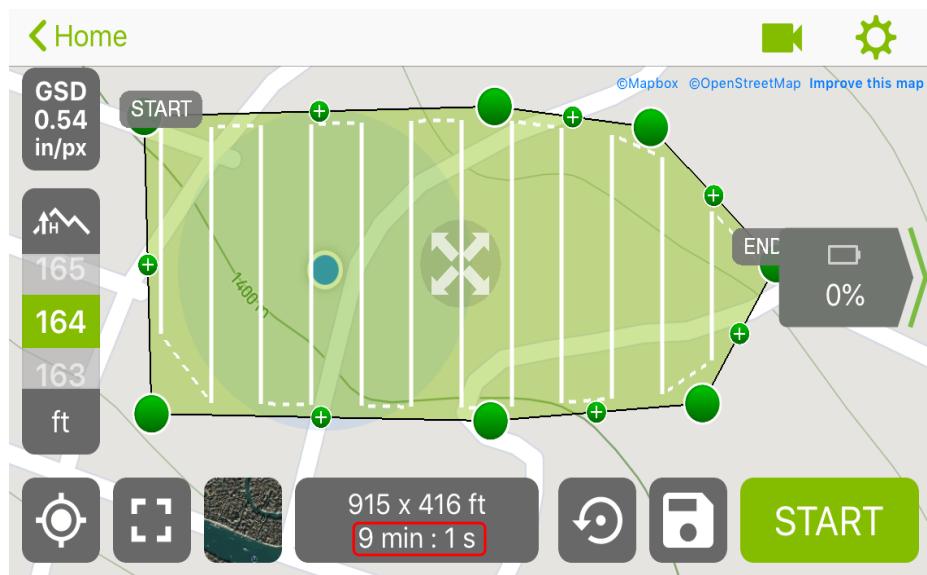


Figura 44. Tutorial en pantalla para agregar el polígono en el área a sobrevolar.

4. Asegúrese de definir una altura de vuelo no mayor a los 100 metros (lo máximo permitido por ley). También abra la configuración del vuelo para asignar valores óptimos de traslape entre imágenes al presionar sobre el botón que se encuentra en la parte superior derecha de la pantalla. Podrá elegir la configuración normal y avanzada (Figura 45).

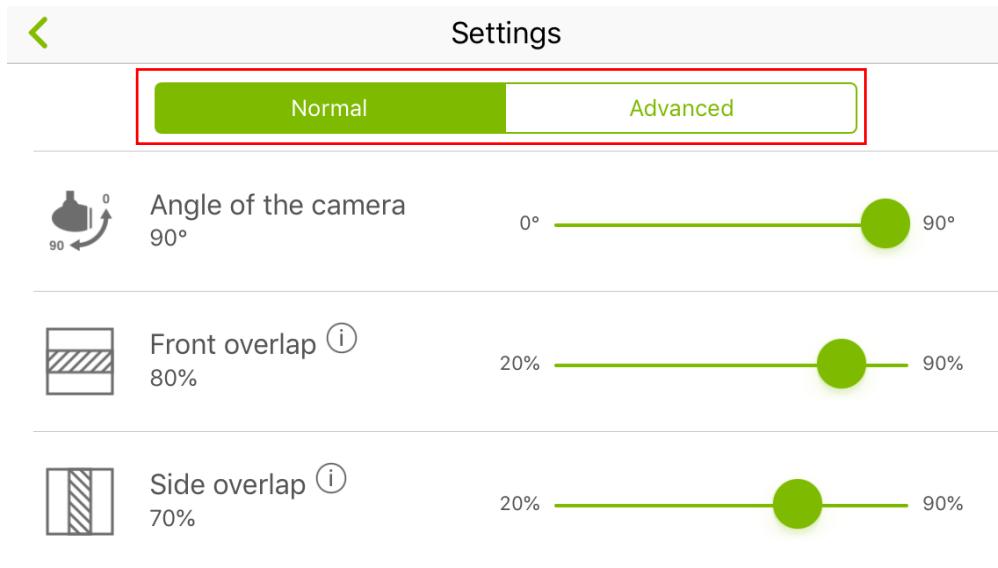


Figura 45. Opciones de configuración de vuelo.

5. En las opciones avanzadas podrá cambiar la configuración del balance de blancos, aunque con opciones muy limitadas: automático (no recomendable), soleado y nublado (Figura 46).

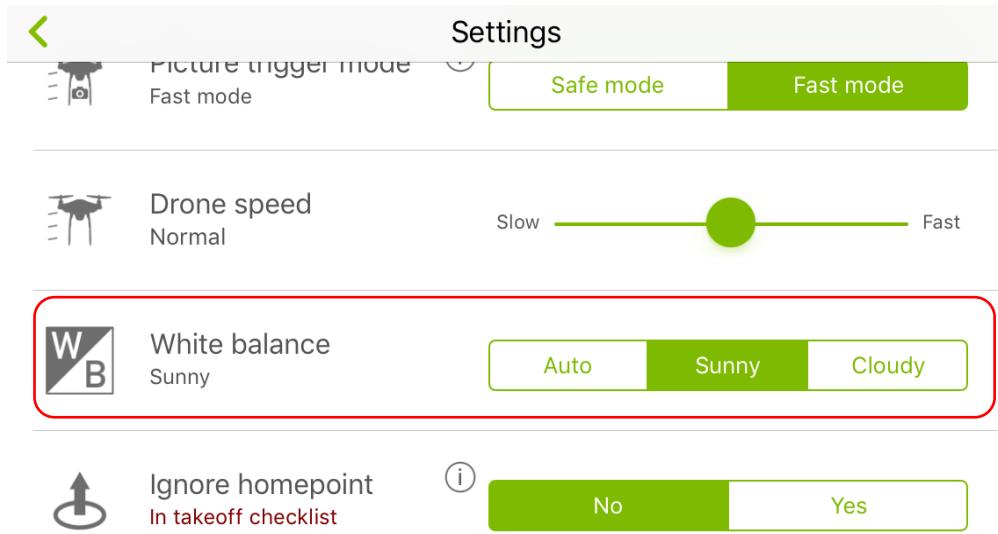


Figura 46. Opciones de configuración avanzada de vuelo: balance de blancos de la cámara.

6. Explore diferentes opciones de recorrido para invertir la menor cantidad de recursos, para ello presione un dedo sobre el polígono dibujado y muévalo como si fueran las manecillas de un reloj (Figura 47).

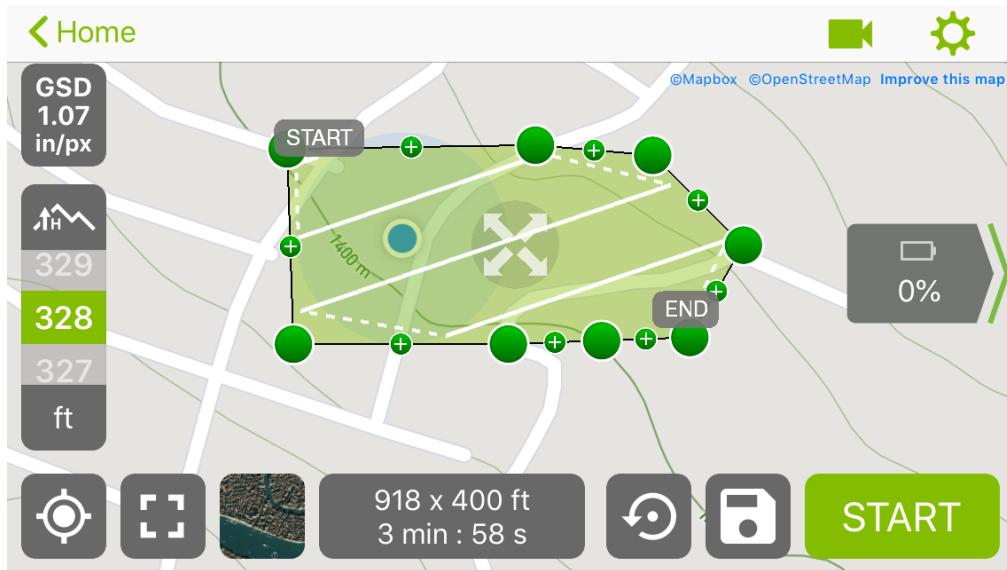


Figura 47. Cambio del recorrido en una misma área de sobrevuelo.

7. Si lo desea puede cambiar las unidades de medida al sistema métrico, para ello guarde el proyecto y luego presione el botón para regresar . Presione sobre el botón para acceder a la configuración y cambie al sistema métrico (Figura 48).

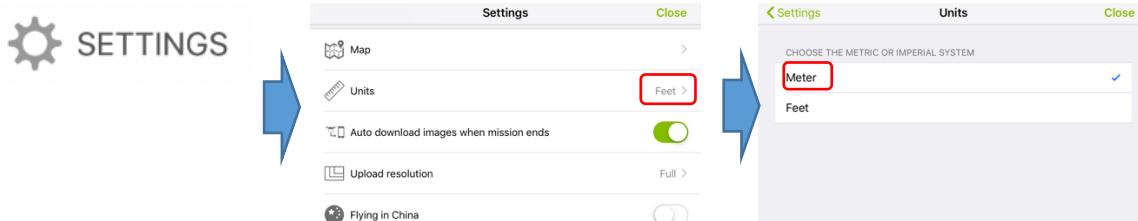


Figura 48. Cambio al sistema métrico.

8. Regresa al proyecto guardado, verifique que el vuelo no sea mayor a 100 metros e inicie el vuelo con el botón

#### c) Planificación de vuelos desde la computadora

Es posible planificar un vuelo desde la computadora creando un archivo con formato .kml o shapefile. En algunas ocasiones se sabrá de antemano el área a sobrevolar, por tanto se podrá planificar el vuelo desde una computadora. Es especialmente útil en caso de que se vaya a sobrevolar un área donde no haya señal de teléfono ni wi-fi y, por tanto, no podrá ver las imágenes satelitales o el mapa desde su tablet, smart phone o iPad.

La aplicación que puede utilizar para tener esta función puede ser DroneDeploy. A continuación se detallan los pasos que debe seguir para cargar un archivo .kml,

entendiendo que ya cuenta con dicho archivo. Si desconoce cómo crear un archivo .kml puede guiarse con las instrucciones que se brindan en el Anexo 1 de este documento.

1. Descargue e instale la aplicación en su tablet, smart phone o iPad
2. Abra la aplicación DroneDeploy, la cual tendrá un ícono como el que se muestra a continuación.



Figura 49. Ícono de DroneDeploy.

3. Deberá instalar la función que permite cargar un archivo .kml o shapefile al VANT, para ello, cuando se abra la aplicación, presione el ícono AppMarket. Este ícono se ubica en la parte superior, como se muestra en la Figura 50.

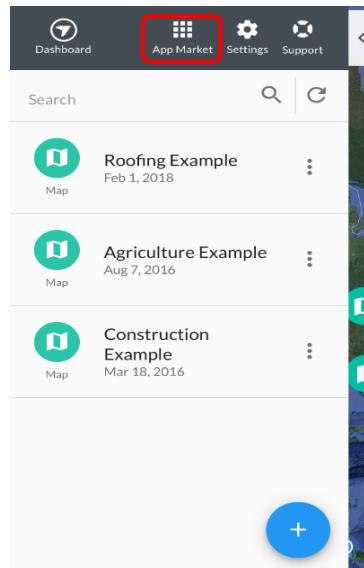


Figura 50. Ícono AppMarket para buscar complementos.

4. Busque el complemento “KML and SHP Import” y presione sobre él (Figura 51).

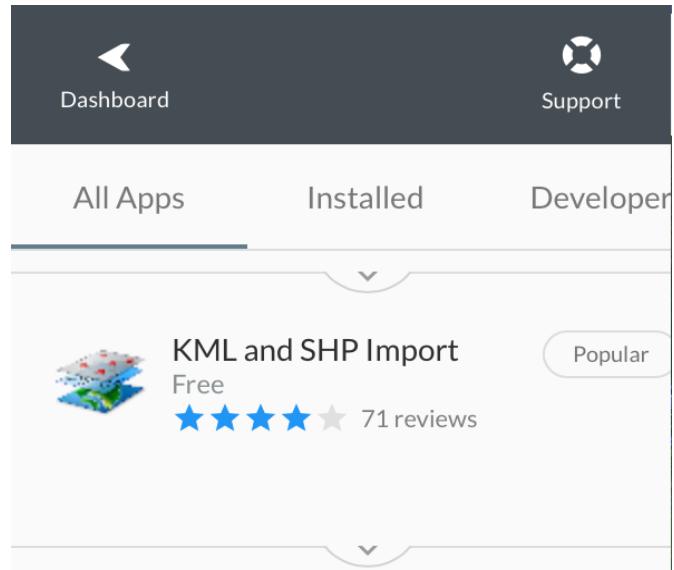


Figura 51. Complemento “KML and SHP Import”.

5. Diríjase al “Dashboard” presionando sobre ese ícono en la parte superior, Figura 52.

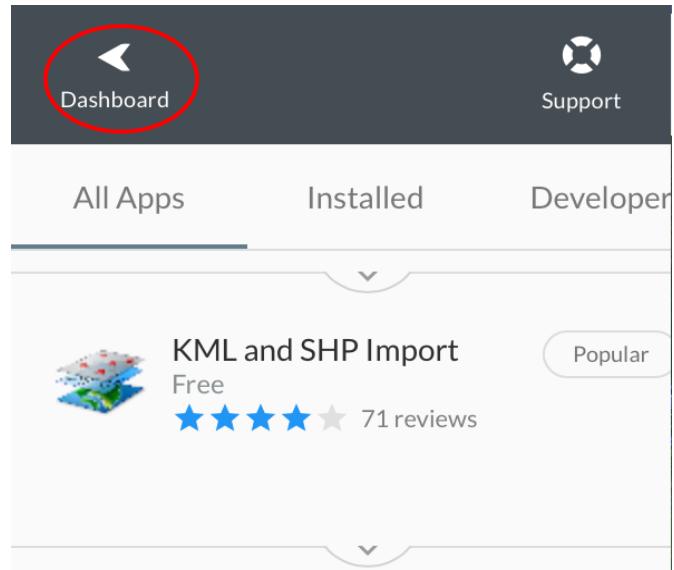


Figura 52. Botón para regresar al Dashboard

6. Presione sobre el botón “+” como se muestra en la siguiente figura

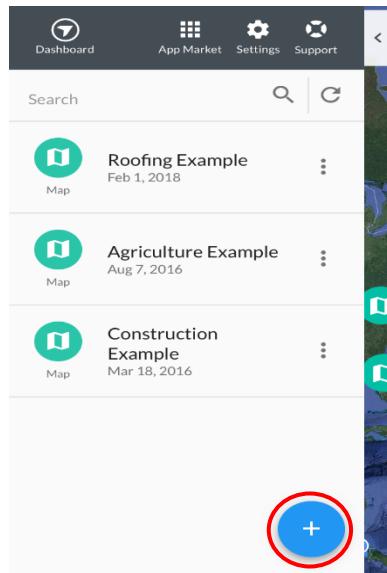


Figura 53. Botón para agregar.

7. Escoja la opción “Plan a map flight”, ver figura 54.

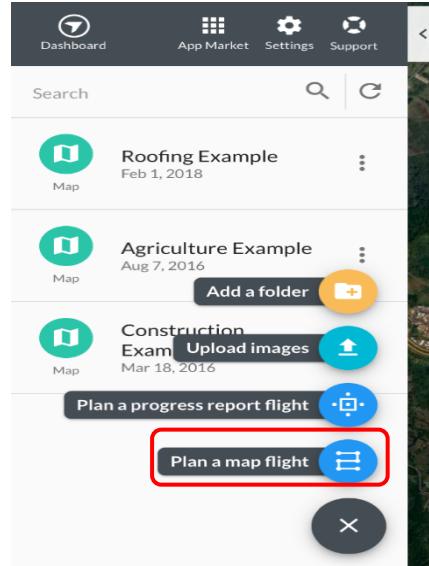


Figura 54. Opción para agregar un nuevo plan de vuelo.

8. Se abrirá una página en la que deberá buscar el complemento previamente instalado “Import KML or SHP”, deberá desplazarse hacia abajo hasta encontrarlo (Figura 55).

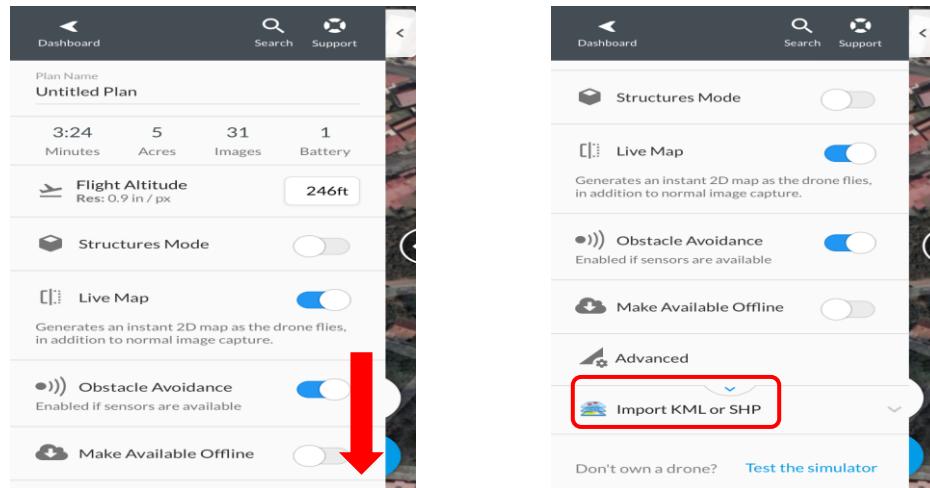


Figura 55. Ubicación del complemento “Import KML or SHP” localizado abajo.

9. Al presionar sobre la opción “Import KML or SHP” se desplegará el botón “File”, presione sobre él, Figura 56.

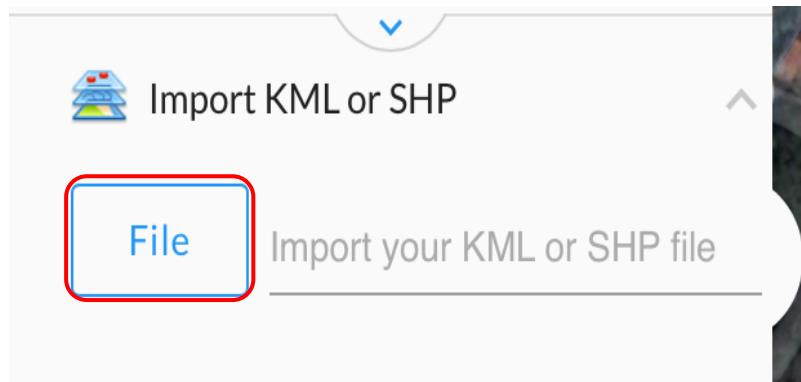


Figura 56. Botón para agregar el archivo KML o SHP.

10. Podrá observar algunas opciones para cargar el archivo, seleccione “explorar”. Es importante señalar que el archivo a utilizar deberá estar guardado en su nube.
11. Seleccione el archivo y espere a que sea descargado en la aplicación. Podrá observar el archivo y podrá modificarlo en la misma aplicación, de ser necesario. Puede proceder a configurar las demás variables como el porcentaje de traslape, la altura de vuelo, etc.

## 2.4.2 Vuelos no planificados

Es importante que este tipo de vuelos se haga con mayor precaución porque es más propenso a sufrir accidentes. Por lo general, cuando se lleva a cabo vuelos planificados es más fácil para la/el piloto mantener el VANT a la vista en todo momento. De esa manera puede reaccionar si se presentan problemas como aves sobrevolando cerca o pérdida de conexión entre el control y el VANT. En cambio, en los vuelos no planificados la/el piloto tiende a perder de vista el VANT porque se concentran más en las imágenes o video que estén grabando. Por tanto, si va a realizar vuelos no planificados considere tener a una persona que esté encargada de vigilar el VANT en todo momento. Si bien muchos VANTs cuentan con sensores de proximidad, éstos no se encuentran a lo largo de todo el VANT y pueden fallar; sin embargo si hay una persona encargada de observar el VANT en todo momento el riesgo disminuye considerablemente.

### a) Apps para vuelos no planificados

Al igual que las aplicaciones para vuelos planificados, existen numerosas opciones. Sin embargo, quizá la aplicación más llamativa sea DJI GO, por su fiabilidad y gran cantidad de usuarios/os activos.

### b) Vuelos con DJI GO

En la siguiente figura se presenta la interfaz de usuario de la aplicación Dji go 4.



Figura 57. Interfaz de usuario básica en DJI Go 4.

A continuación se detalla la información que se despliega en la interfaz de usuario presentado en la figura 57:

1. Estado del Sistema: Indica el estado del vuelo y se pueden desplegar mensajes de advertencia.
2. Detección de obstáculos: Se despliegan barras rojas para indicar que un obstáculo se encuentra cerca del VANT. Las barras son anaranjadas cuando los obstáculos se encuentran en el rango de detección.
3. Nivel de batería: Indicador de nivel de batería.
4. Tipo de vuelo: Se puede presionar sobre él para acceder a la configuración del controlador principal y modificar los límites referentes al vuelo.
5. Señal de GPS: Intensidad de la señal GPS, indica la cantidad de satélites de tecnología GPS que se encuentran conectados.
6. Detección 3D: Al presionarlo se puede habilitar o deshabilitar funciones que otorga el sistema de detección 3D.
7. Batería: Nivel de batería, muestra el estado actual de la batería. Al presionarlo se puede acceder al menú de información de la batería, asignar los rangos de advertencia de la batería y ver el historial de advertencias referentes a la batería.
8. Configuración general: Al presionarlo se despliega el menú para configuración, métricas, habilitar la transmisión en vivo, desplegar las rutas de vuelo, etc.
9. Alternar foto/video: Al presionarlo se puede cambiar el modo de grabación entre video y fotografía.
10. Botón disparo: Botón para tomar video o fotografía.
11. Configuración cámara: Se presiona para ingresar al menú de configuración de la cámara.
12. Playback: Se presiona para ingresar a la página de reproducción y pre-visualizar las fotos y videos en cuanto han sido captados.
13. Telemetría de vuelo: Se despliega información respecto al vuelo, por ejemplo la velocidad de vuelo.
14. Modo inteligente de vuelo: Se presiona para seleccionar este modo.
15. Retorno a casa: Se presiona para que el VANT regresa a casa, al punto de inicio.
16. Despegue/Aterrizaje automático: Se presiona para iniciar de manera automática el despegue o aterrizaje.

Difícilmente las imágenes que se capturen a través de vuelos no planificados sirvan para crear orto-mosaicos, sin embargo este tipo de vuelos pueden ser muy útiles cuando el objetivo del vuelo sea otro. Por ejemplo, para sobrevolar el área, conocerla y determinar los límites para llevar a cabo un vuelo planificado.

### 3.Tercera Parte: Descarga y Pre-procesamiento de imágenes

#### 3.1 Descarga de datos

En apariencia las imágenes DJI parecen fotografías comunes, están en formato .jpg y se abren fácilmente en cualquier visor de fotografías. Sin embargo, al acceder a las propiedades de dichas imágenes, en la pestaña “Detalles” puede observar una característica especial: en la sección GPS puede observar las coordenadas de latitud y longitud, así como un dato de altitud (Figura 58).

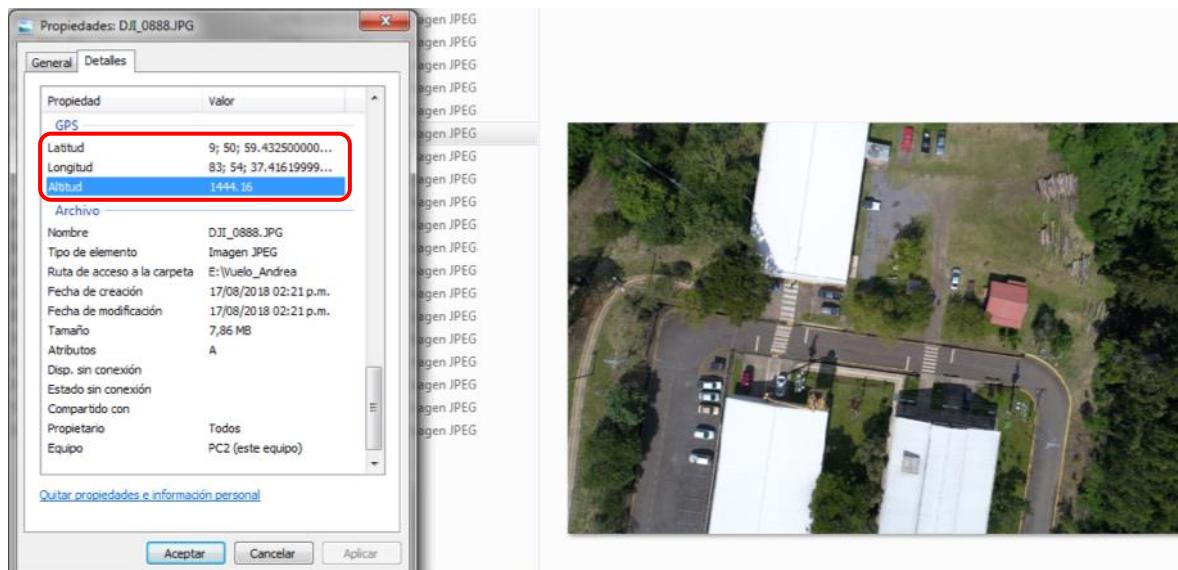


Figura 58. Propiedades de GPS de las imágenes capturadas por VANT.

Las imágenes que se han tomado con un VANT pueden ser descargadas a través de la micro SD que se encuentra en el VANT. Se conecta a una computadora y se copian desde la carpeta donde se han guardado. Existe la opción de cargarlas a la nube a través de una aplicación, sin embargo esto puede requerir mayor tiempo y muchas de las aplicaciones que permiten este tipo de servicios son de pago.

#### 3.2 Pre-procesamiento de imágenes

Para efectos de este manual se entenderá el pre-procesamiento de imágenes como la toma de datos para los puntos de control (GCP: Ground Control Points), ya que el pre-procesamiento de imágenes, de acuerdo a cada programa, se establece como un paso más dentro del procesamiento.

Los puntos de control serán aquellos que se hayan levantado en campo a través de técnicas avanzadas de posicionamiento. Por ejemplo, con GPS de alta precisión. Para hacer el levantamiento de estos puntos contemple que los programas, por lo general requieren de un mínimo de puntos de control por imagen, por lo general al menos 5. Éstos

puntos deberán ser fácilmente identificables en las imágenes para que no haya errores de posicionamiento.

El procedimiento para agregar los puntos de control a las imágenes difiere según el programa que vaya a utilizar, pero el principio es siempre el mismo. También es importante que sepa que no todas las versiones gratuitas de programas permiten el ingreso de estos puntos de control. Muchas veces para poder acceder a esta función se debe hacer el pago correspondiente a una licencia, sin embargo hay algunos programas que son gratuitos (o accesibles) y sí permiten el ingreso de puntos de control, tales como WebODM y Precision Mapper.

## 4.Cuarta Parte: Procesamiento de imágenes

### 4.1 Web Open Drone Map

Con el programa Web Open Drone Map se puede construir fácilmente orto-mosaicos y Modelos de Elevación Digital. El programa también permite hacer otro tipo de análisis, por ejemplo construir el perfil de altitud entre dos puntos que se seleccionen en pantalla.

#### 4.1.1 Descarga e instalación

En la página web <https://www.opendronemap.org/webodm/> puede encontrar un link para descargar el programa tal como se muestra en la Figura 59.

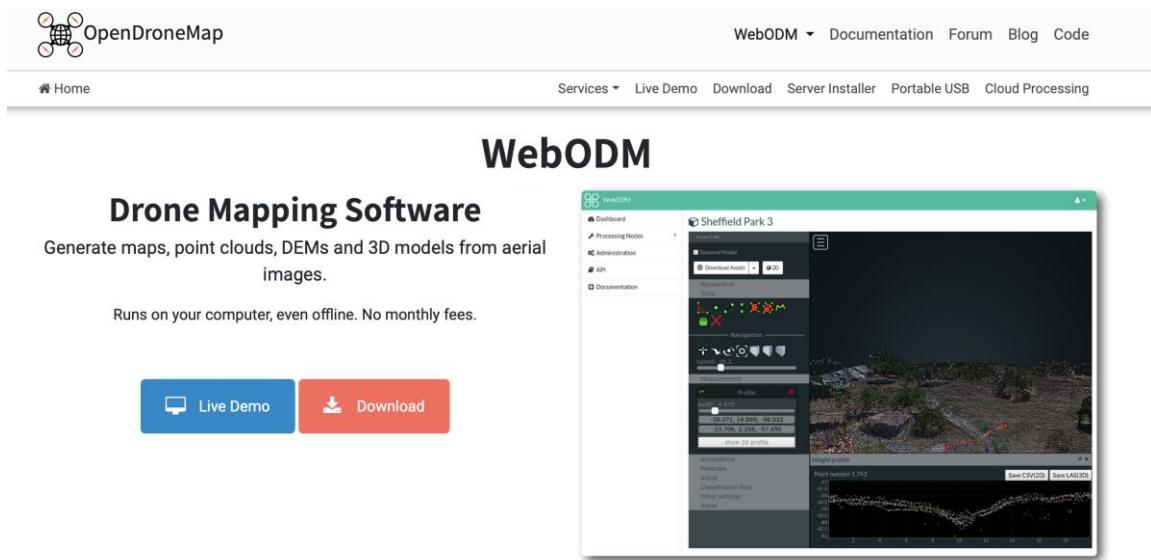


Figura 59. Página web donde se puede descargar el programa WebODM.

La descarga se puede hacer de dos maneras: para hacer una instalación manual o una instalación automatizada. Seleccione la opción que mejor se ajuste a sus habilidades como programador/a. Si selecciona la opción de instalación automatizada podrá elegir dos tipos de licencia: Standard y Business. Las características de cada cual y las plataformas se muestran en la Figura 60.

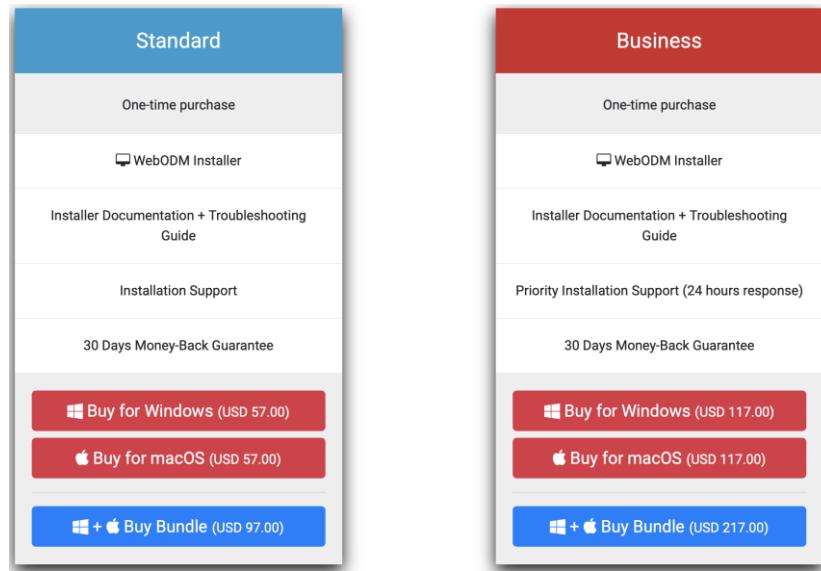


Figura 60. Opciones “Standard” y “Business” para obtener licencias del programa WebODM.

La licencia es considerablemente más económica que otros programas similares, considerando que WebODM es un programa con opciones avanzadas de procesamiento. Además, este programa cuenta con una red de usuarios considerable y programadores que lo actualizan con el fin de mejorar su rendimiento. Sin embargo, el espacio y los recursos que requiere para trabajar pueden ser muy demandantes, dependiendo del tipo de procesamiento y la cantidad de imágenes. El instalador que descargue le guiará sobre los pasos que debe completar para la instalación del programa.

#### 4.1.2 Inicio del Programa

Web ODM es un programa que tiene una interfaz de usuario mucho más amigable que ODM. Una vez instalado deberá abrir el programa y esperar a que se carguen todos los complementos del mismo (Figura 61).

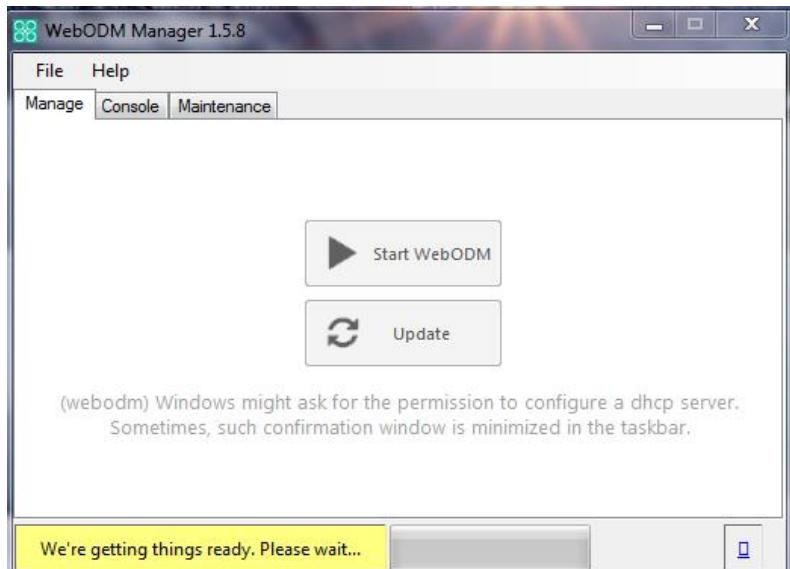


Figura 61. Inicio de programa Web ODM.

Cuando esté listo podrá observar una dirección IP (1) y entonces podrá presionar el botón “Start WebODM” (2) (Figura 62).

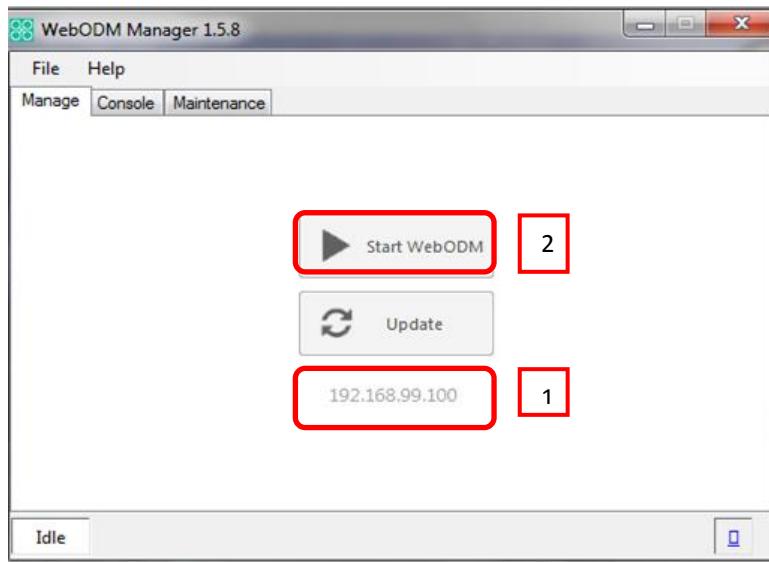


Figura 62. Ventana para inicializar el programa WebODM.

Al hacerlo podrá observar cómo se inicia el programa. Este proceso puede tardar un par de minutos. En la figura 63 puede observar un mensaje de inicio del programa (1) y cuando ya está listo (2). Sin embargo, deberá esperar a que se abra FireFox de manera automática, esto puede tardar un par de minutos.

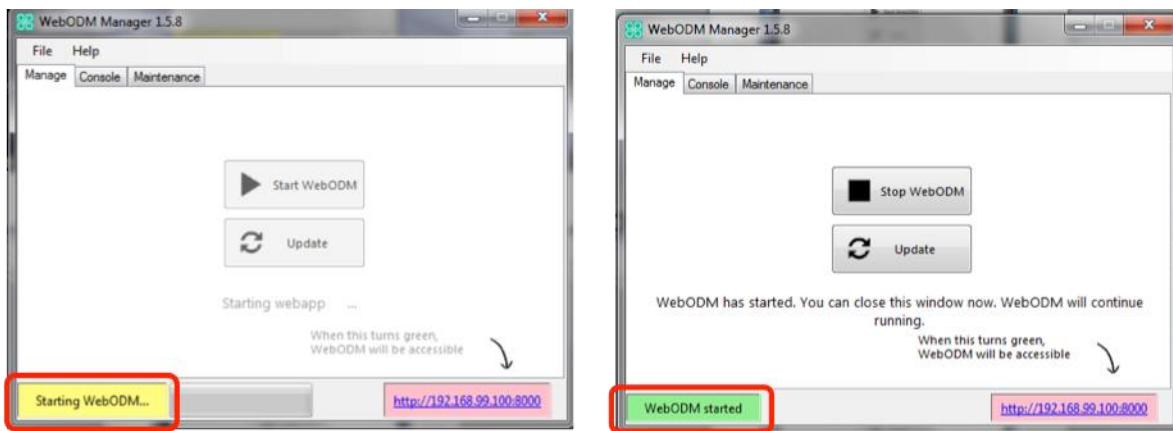


Figura 63. Ventana para inicializar el programa WebODM donde se observa el estado.

Cuando se abra FireFox (no necesita tener conexión a internet) por primera vez podrá crear un usuario y contraseña. Luego se desplegará la interfaz del programa como tal en FireFox, y se cargarán los proyectos que se hayan creado anteriormente. Deberá crear un nuevo proyecto con el botón “Add Project” (Figura 64).

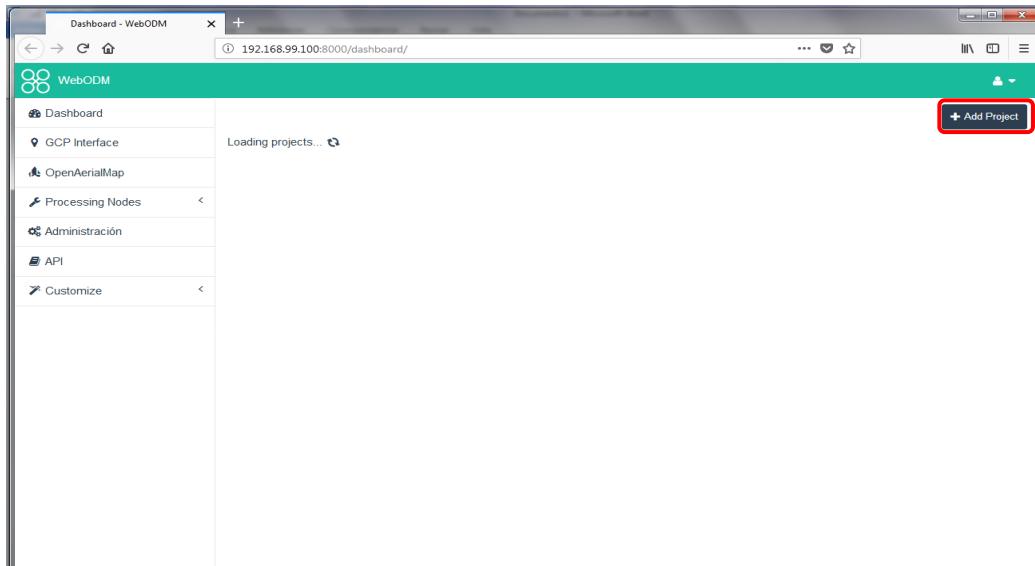


Figura 64. Botón para comenzar un nuevo proyecto.

Posteriormente deberá digitar un nombre para el nuevo proyecto y presionar el botón “+ Create Project” (Figura 65). Puede también colocar una descripción del proyecto.

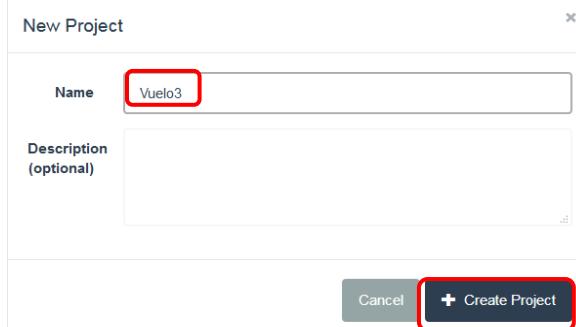


Figura 65. Digitación de nombre de nuevo proyecto y botón para crearlo.

#### 4.1.3 *Ground Control Point (GCP)*

En el programa WebODM se puede agregar puntos de control (GCP). Es necesario seguir dos reglas básicas:

- Al menos 5 puntos de control en cada imagen.
- Al menos 3 puntos de control deben ser compartidos por diferentes imágenes.

Para agregar los puntos de control al programa se debe presionar sobre la pestaña “GCP Interface” (Figura 66).

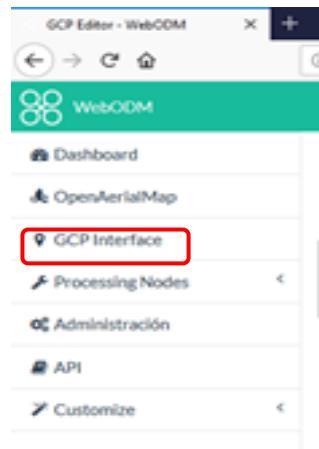


Figura 66. Opción para abrir las herramientas que permiten ingresar puntos de control.

Al hacerlo se abrirá la interface, lo primero que se debe hacer es agregar las imágenes con las que va a trabajar con el botón “Choose Images” (Figura 67). Localizar la imagen o imágenes y cargarlas.

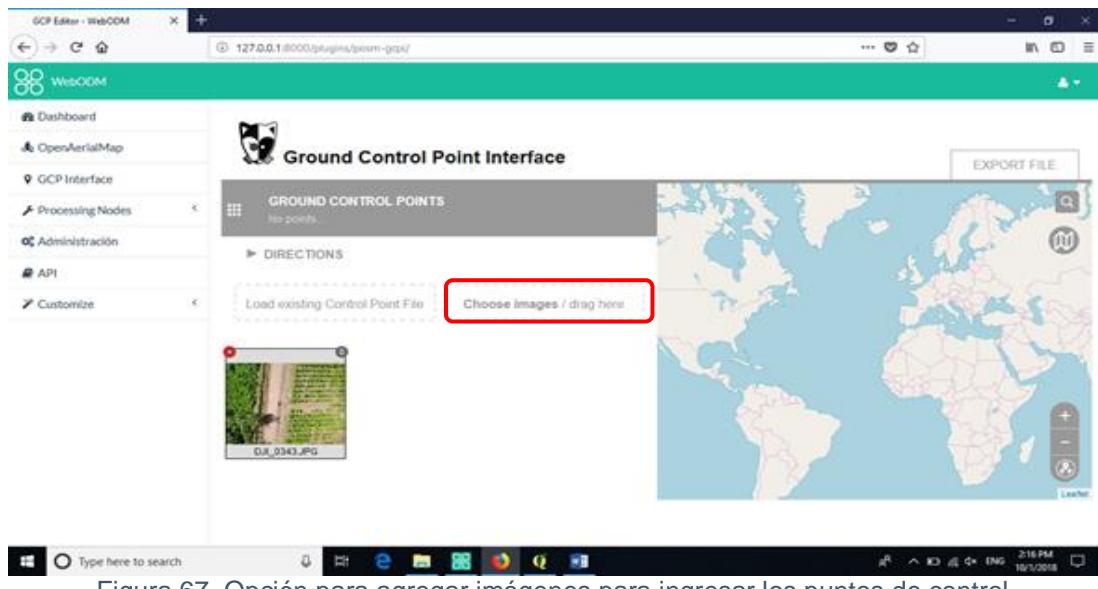


Figura 67. Opción para agregar imágenes para ingresar los puntos de control.

Una vez que tenga las imágenes en la vista seleccione una y haga doble clic sobre ella para abrirla. Podrá entonces agregar un punto de control con el botón (+) y colocar el punto en la imagen (Figura 68). Luego vuelve a presionar el botón + y coloca el punto en el mapa. Repita el proceso hasta haber ingresado al menos 3 puntos de control (ver Figura 68).

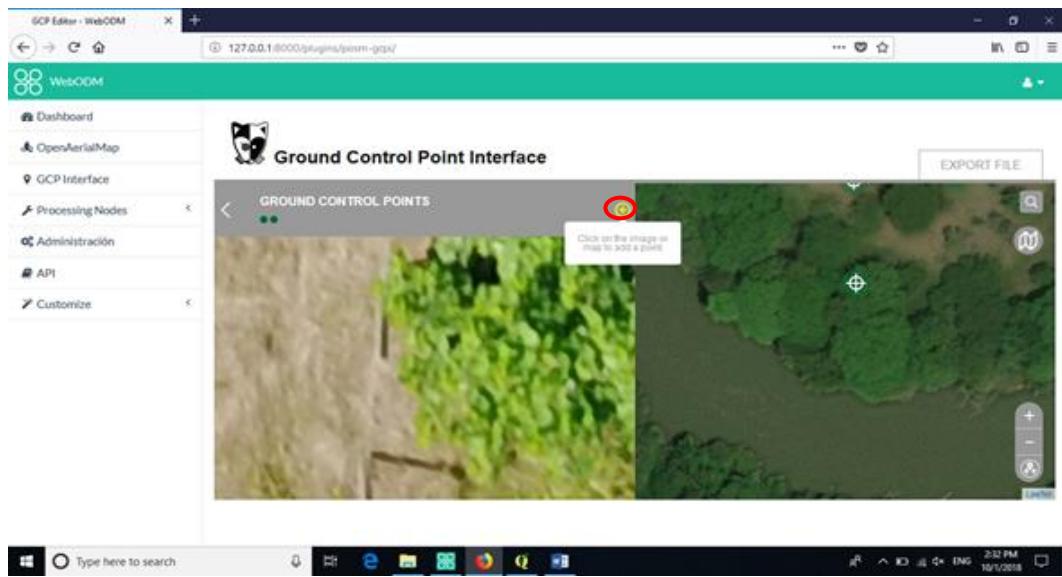


Figura 68. Botón para agregar un punto de control en la imagen.

Luego deberá vincular los puntos de control de la imagen y el mapa. Haciendo clic sobre el punto en la imagen y luego su respectivo punto en el mapa (Figuras 69 y 70).

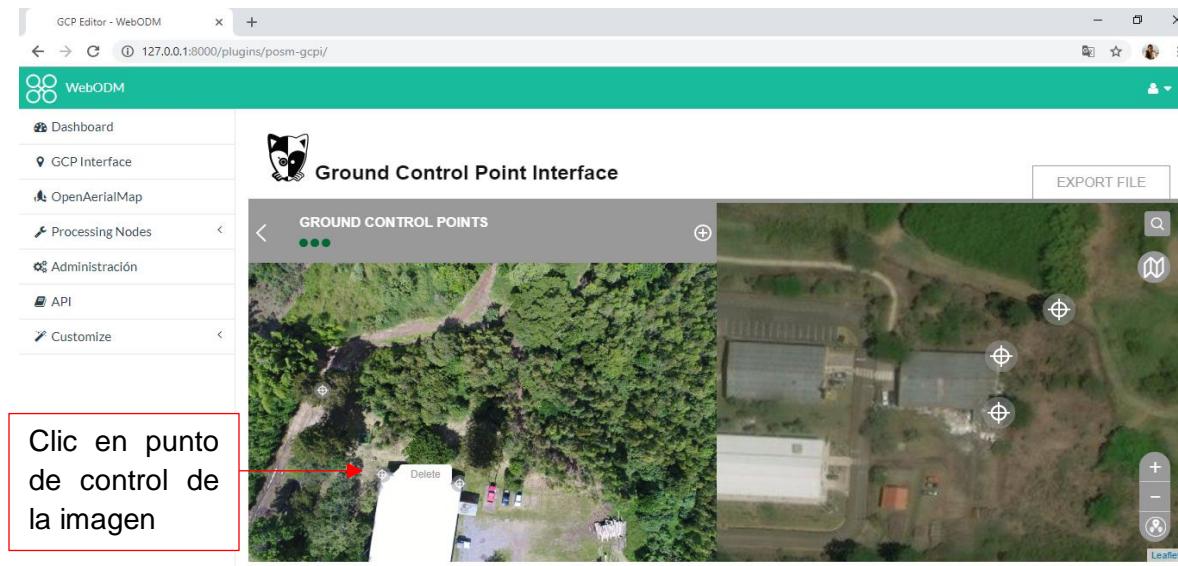


Figura 69. Primer paso para vincular un punto de control.

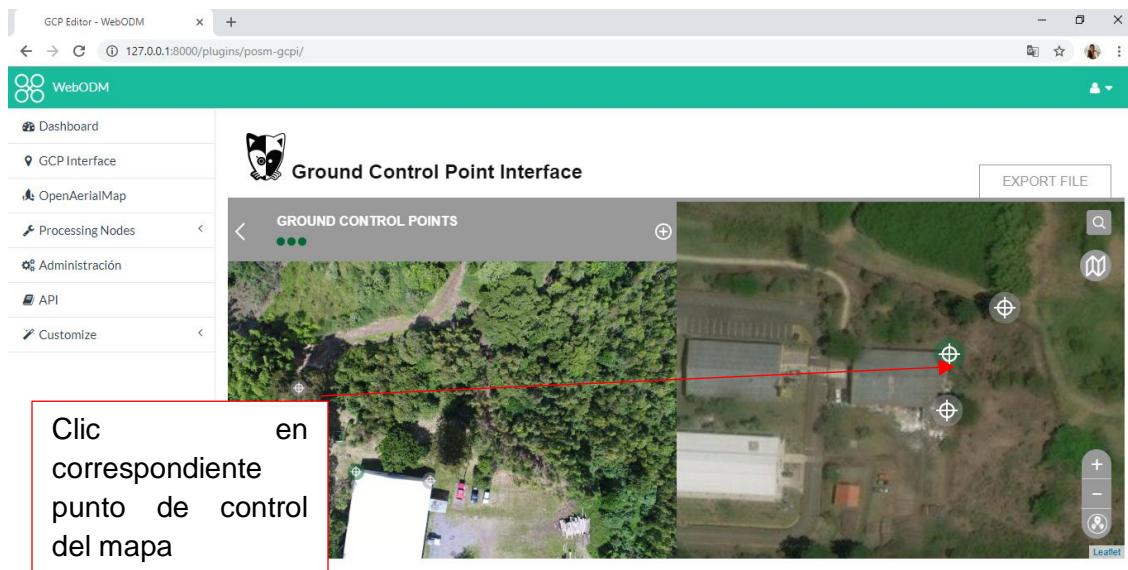


Figura 70. Segundo paso para vincular un punto de control.

Al principio este proceso puede ser confuso, sobre todo cuando se esté vinculando puntos de control entre la imagen y el mapa. Para saber cuáles puntos entre la imagen y el mapa se encuentran vinculados, podrá posicionar el cursor sobre un punto y notará que éste se hace más grande tanto en la imagen como en el mapa (Figura 71).

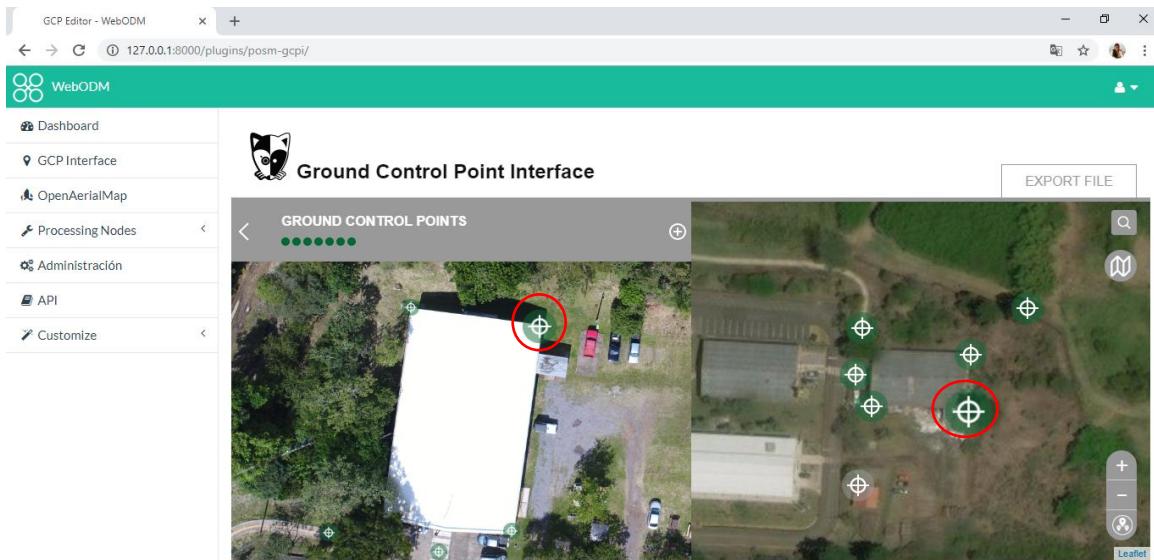


Figura 71. Visualizar puntos de control vinculados entre el mapa y la imagen.

Si necesita borrar un punto, simplemente selecciónelo haciendo clic sobre él y luego presiona la opción “Delete”. Cuando haya finalizado la vinculación de puntos de control de la primera imagen, continúe con el procesamiento de la segunda imagen, para ello deberá presionar el botón < (Figura 72).

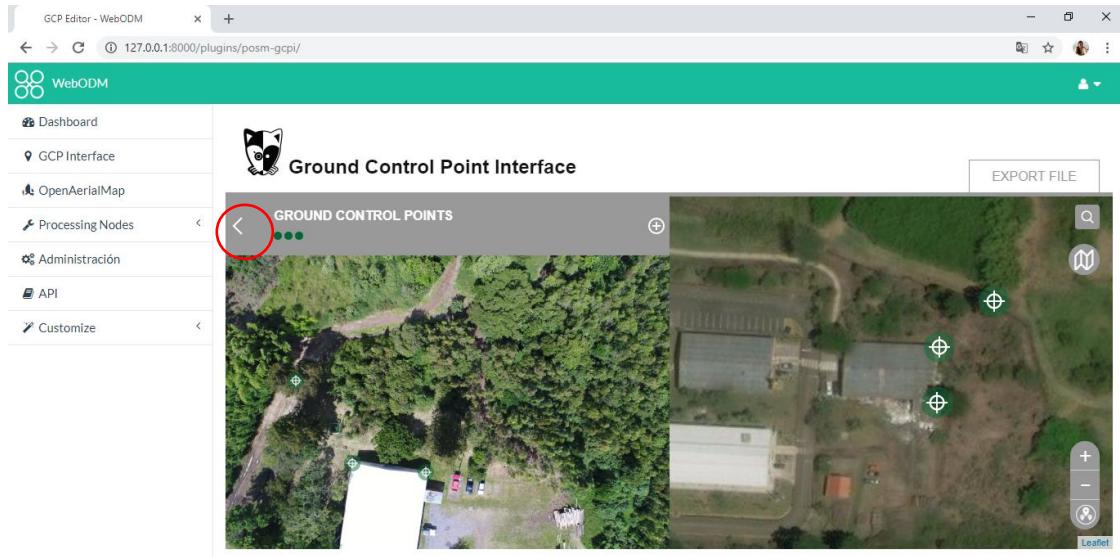


Figura 72. Botón para regresar al listado de imágenes a procesar.

Cuando seleccione la segunda imagen para procesar con doble clic, notará que los puntos del mapa permanecen allí, esperando a que sean vinculados en todas las imágenes donde ellos se encuentren. Cree nuevos puntos de control en la imagen donde

se encuentran los puntos de control existentes en el mapa y vincúlelos según corresponda. Posteriormente cree nuevos puntos de control entre la imagen 2 y el mapa, vincúlelos. Repita el proceso para todas las demás imágenes. Cuando haya terminado de colocar todos los puntos de control y vincularlos podrá exportar un archivo con los datos correspondientes, al presionar el botón “Export File” (Figura 73).

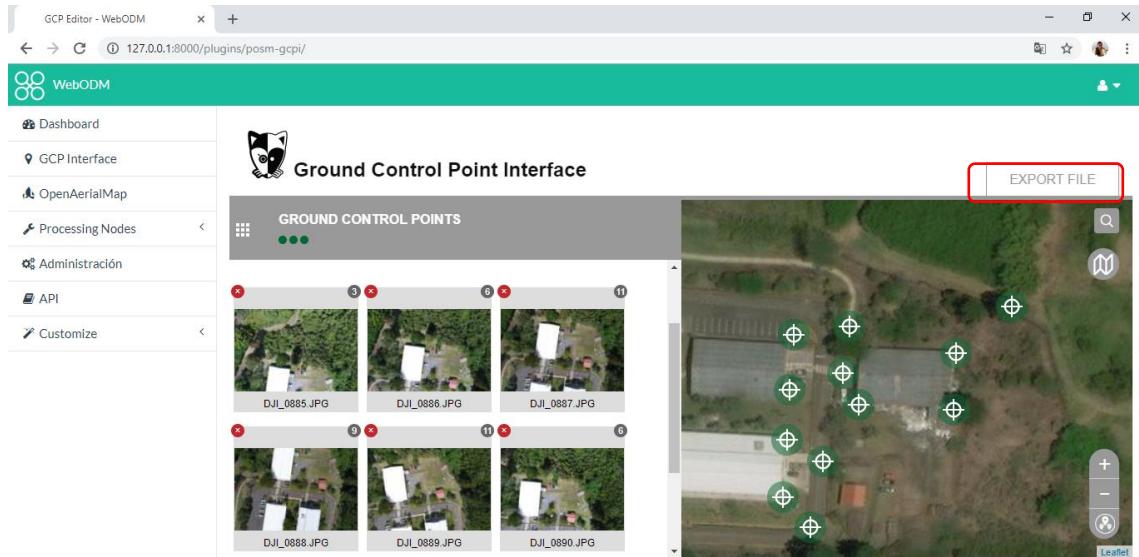


Figura 73. Botón para exportar el archivo con la información de los puntos de control.

El archivo deberá guardarlo en el mismo directorio donde se encuentran las imágenes que desea procesar. Un aspecto importante a considerar, es que, por defecto el programa asigna las coordenadas en el sistema UTM 17 (Figura 74).

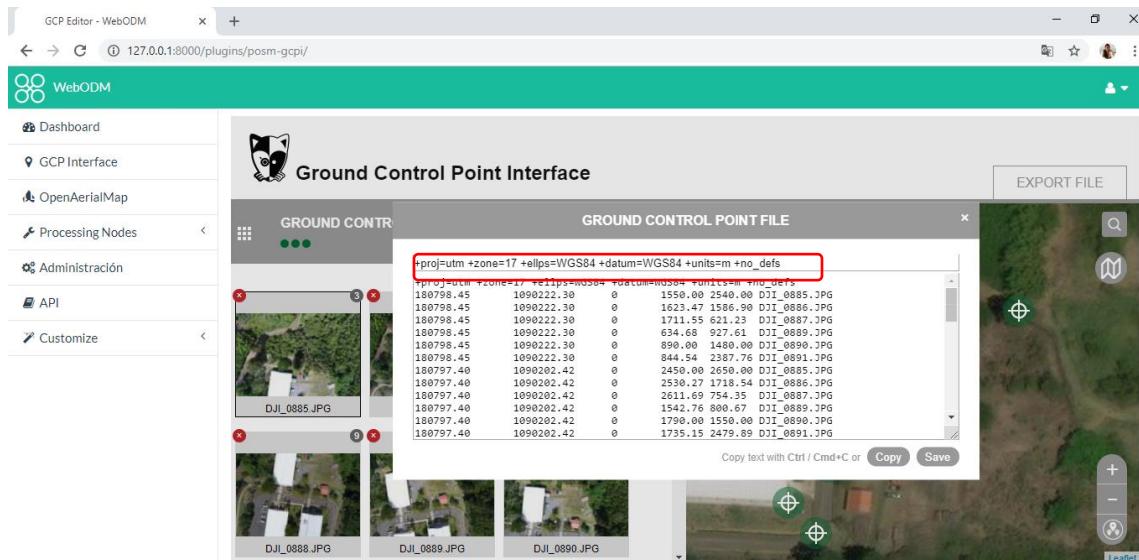


Figura 74. Archivo que se genera al exportar la información de los puntos de control.

Sin embargo, usted como usuaria/o puede modificar esto: cuando presione sobre el botón “Export File” aparecerá los datos que se van a exportar, si, por ejemplo, quisiera guardar los datos de los puntos en CRTM05/CR05 podrá hacerlo al colocar los parámetros de esta proyección en el formato proj4: `+proj=tmerc +lat_0=0 +lon_0=-84 +k=0.9999 +x_0=500000 +y_0=0 +ellps=WGS84 +units=m +no_defs`

En la Figura 75 se muestra la asignación del sistema de coordenadas CRTM05/CR05 en el archivo a exportar.

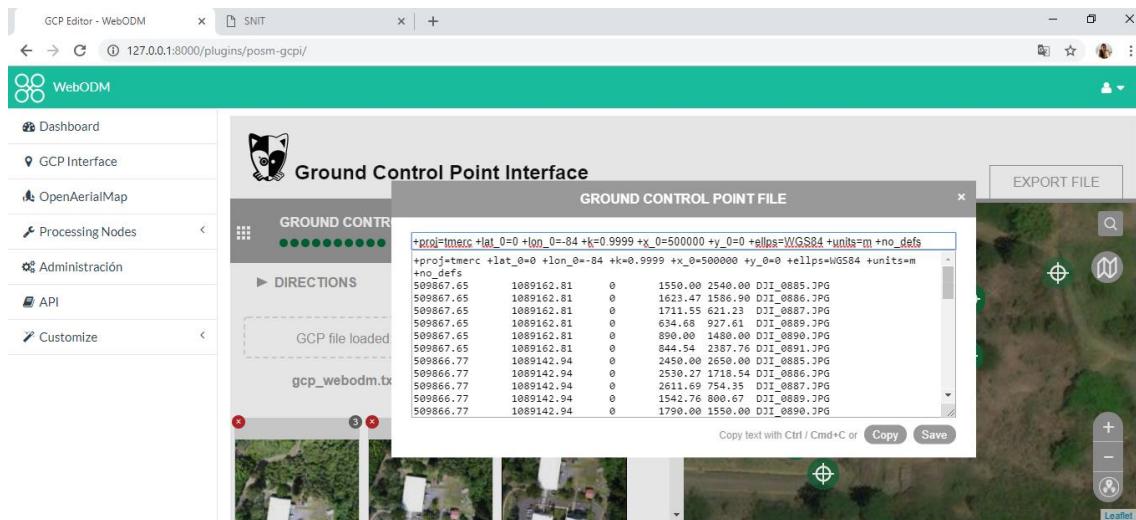


Figura 75. Archivo modificado al sistema CRTM05/CR05 con información de los puntos de control.

La tercera columna del archivo corresponde a datos de elevación. Éstos pueden ser ingresados de manera manual al abrir el archivo en Excel, por ejemplo. De igual manera, si cuenta con la información de los puntos tomados con GPS entonces dicha información podrá ser editada. Lo único que necesita hacer es respetar el sistema de coordenadas que indica el archivo. Si bien el programa acepta las coordenadas en CRTM05/CR05 no se recomienda utilizarlo porque se ha encontrado que el programa tiene problemas para el procesamiento.

#### 4.1.4 Construcción de orto-mosaico

Luego agregue las imágenes y los puntos de control (si tienen el archivo) correspondientes con el botón “Select images and GCP” (Figura 76).

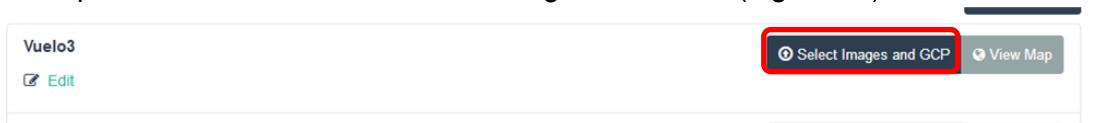


Figura 76. Archivo modificado al sistema CRTM05/CR05 con información de los puntos de control

Al hacerlo deberá seleccionar las imágenes que desea procesar y presionar el botón “Abrir” (Figura 77). Igualmente deberá seleccionar el archivo que contiene la información de los puntos de control, si lo tiene. La cantidad de imágenes que se pueden procesar dependerá de la memoria RAM de la computadora.

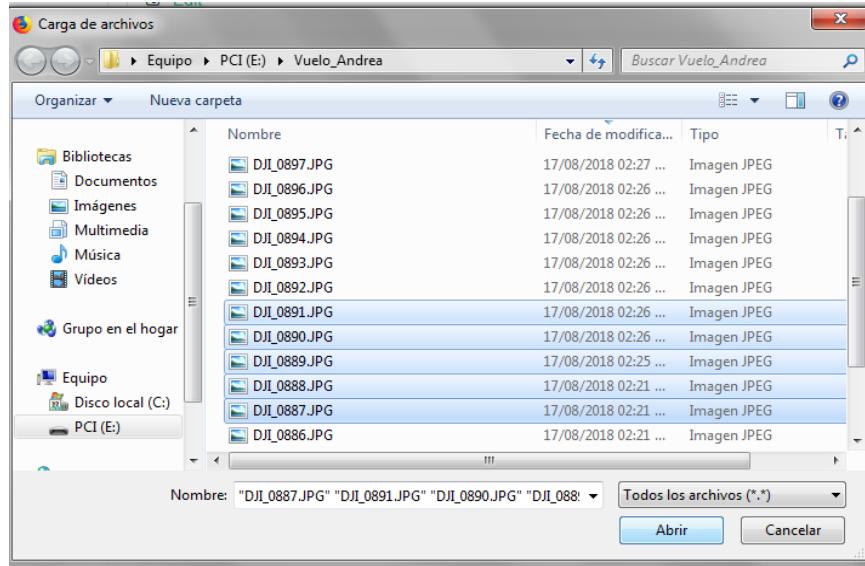


Figura 77. Selección de imágenes a procesar en el nuevo proyecto.

Después deberá digitar un nombre para el conjunto de imágenes que va a procesar (1), el nodo de procesamiento en automático (2), en opciones seleccione “Fast Orthophoto”(3), y la opción de no cambiar el tamaño de las imágenes (4). La opción de “Fast Orthophoto” resultará con pocos vacíos. Cuando haya finalizado presione el botón “Start Processing” (Figura 78).

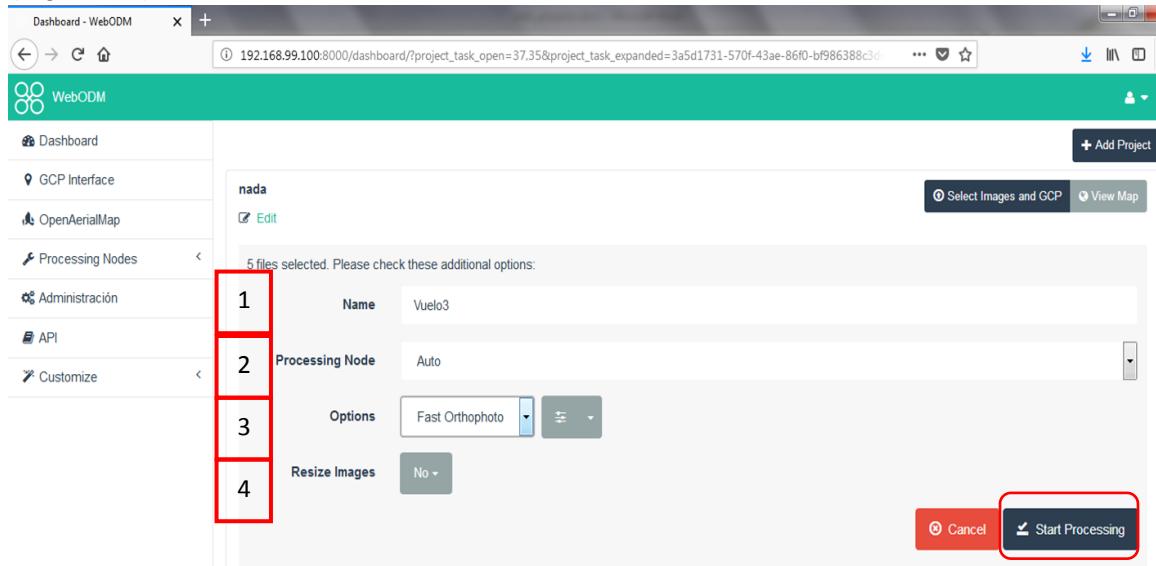


Figura 78. Opciones de procesamiento de imágenes.

Al hacerlo comenzará el procesamiento de imágenes con los parámetros seleccionados.

Cuando haya finalizado podrá observar un mensaje en verde “Completed” tal como se muestra en la Figura 79. El tiempo requerido dependerá de la cantidad de imágenes a procesar y las características de la computadora.

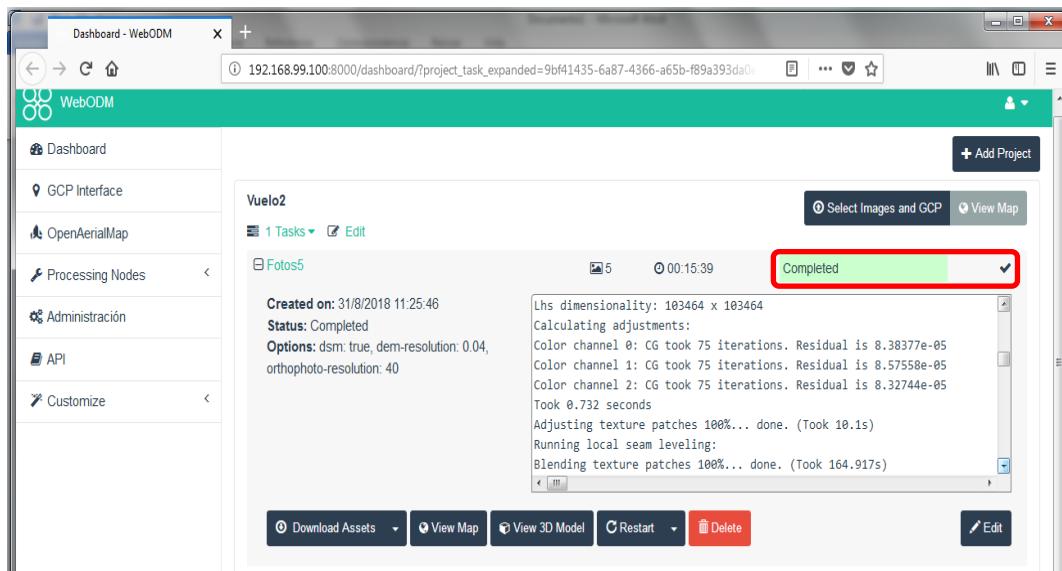


Figura 79. Avance del proceso de imágenes.

Podrá presionar el botón “View Map” para ver la ortofoto creada (Figura 80).

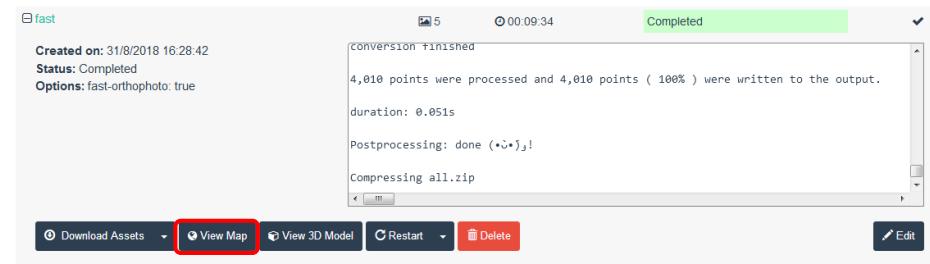


Figura 80. Botón para observar el orto-mosaico.

Se abrirá entonces la vista de la imagen tal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 81. Orto-mosaico.

#### 4.1.5 Desarrollo de un Modelo de Elevación Digital

Posteriormente puede regresar al proyecto presionando el botón “Dashboard” y editarlo para crear los modelos de superficie y terreno con el botón “Edit” (Figura 82).

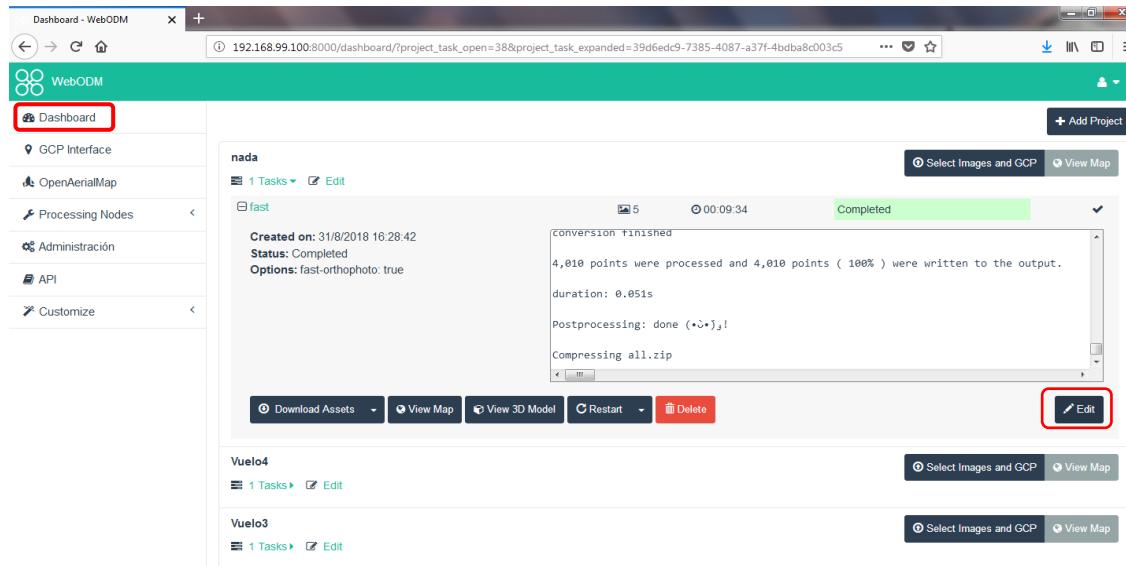


Figura 82. Botón para retornar al Dashboard y para editar la información del proyecto.

Seleccione la opción “DSM+DTM” y luego el botón “Save” (Figura 83).

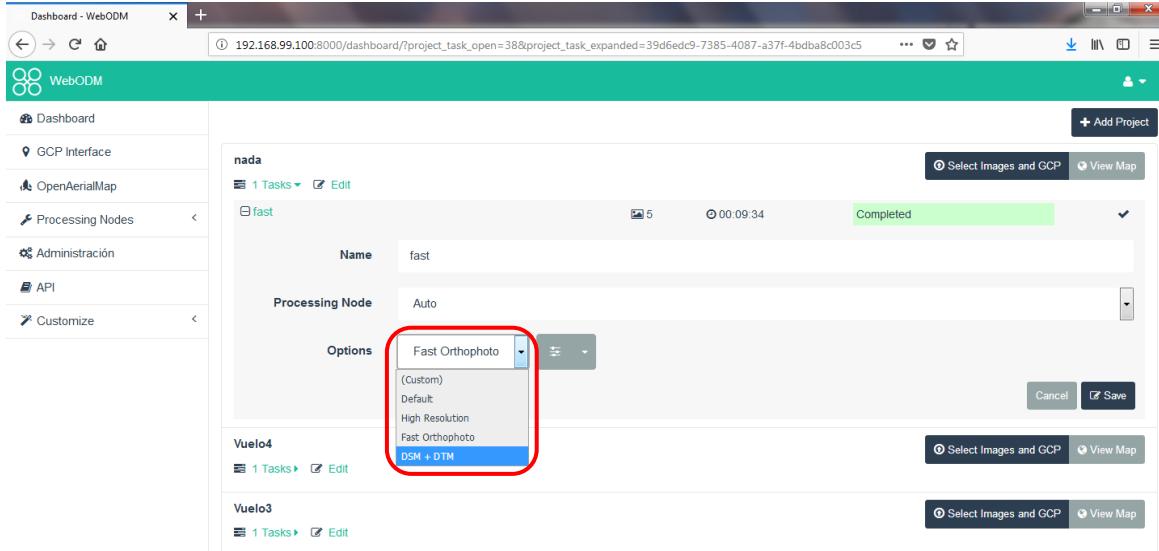


Figura 83. Opción para crear Modelo de Superficie y de Terreno.

Luego deberá presionar el botón “Restart” y especificar “From meshing” (Figura 84).

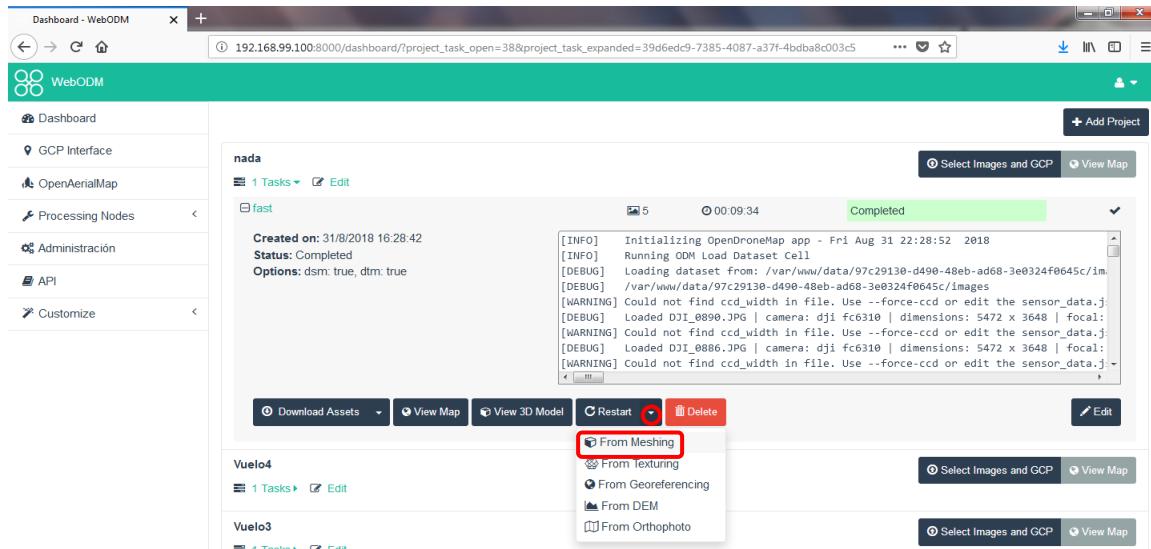


Figura 84. Opción para reiniciar el proceso y crear los modelos digitales de terreno y superficie.

El programa permite crear ambos al mismo tiempo. Para ello simplemente seleccione la opción de alta calidad o la opción Default.

## 4.2 Drone Mapper Rapid

Es un software que fue de uso libre, sin embargo recientemente la política de uso exige un pago de licencia (aproximadamente 60\$ al año). Permite crear ortoimágenes y

Modelos de Elevación Digital. Existen versiones más sofisticadas de este software, sin embargo para poder acceder a ellas se debe comprar la licencia respectiva (puede ascender a 1000 \$). Este programa tiene la opción de generar archivos .kmz, los cuales se pueden cargar en Google Earth.

En términos de interfaz, Drone Mapper cuenta con una interfaz más amigable que Web Open Drone Map. Aunque se ha detectado algunos problemas de estabilidad del programa que se pueden solucionar tomando en cuenta algunos consejos sencillos de aplicar, por ejemplo que las imágenes tengan una sobre-posición elevada (cerca de 80%), las mismas se deben ubicar en una carpeta, dicha carpeta debe tener un nombre sencillo, sin espacios y empezar con mayúscula, por ejemplo “PrimerVuelo”.

#### 4.2.1 Construcción de orto-mosaico y MED

El primer paso consiste en agregar las imágenes con las que se va a trabajar, para ello deberá presionar en el menú File/Open JPGs, ver figura 85.

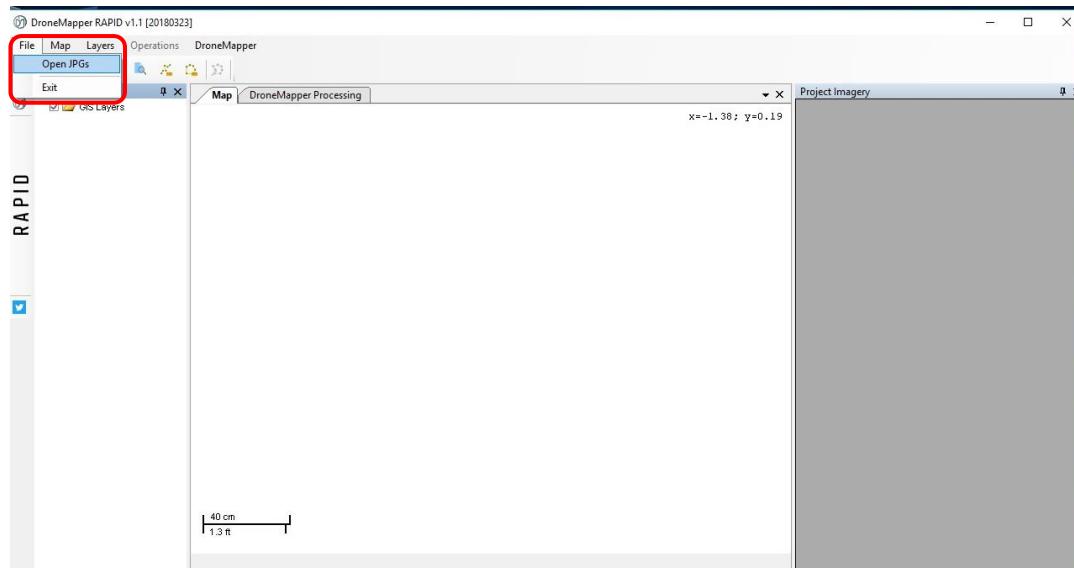


Figura 85. Opción para agregar imágenes al programa DroneMapper Rapid.

Se abrirá una ventana donde podrá navegar hasta encontrar la carpeta donde se ubican las imágenes y seleccionarla como tal.

Las imágenes se cargarán en el programa (Figura 86) y en la carpeta donde se ubican las fotografías podrá observar que se han creado dos carpetas.

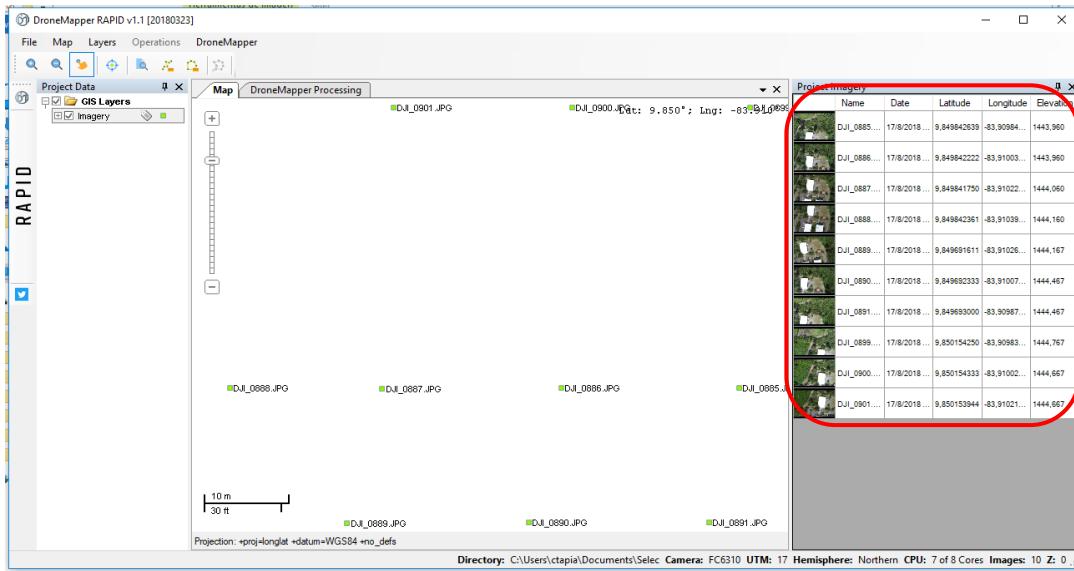


Figura 86. Imágenes cargadas en el programa.

Si tiene acceso a internet puede activar la visualización de una imagen satelital u otras capas de BingMaps. Esto lo puede hacer desde el menú Layers/BingSatellite (Figura 87).

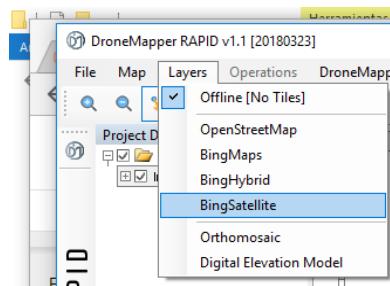


Figura 87. Agregar información de imágenes de satélite de BingMaps al programa.

Para iniciar el proceso de creación de la ortoimagen debe presionar sobre el ícono "DroneMapper Processing" o bien presionar sobre la pestaña del mismo nombre (Figura 88).

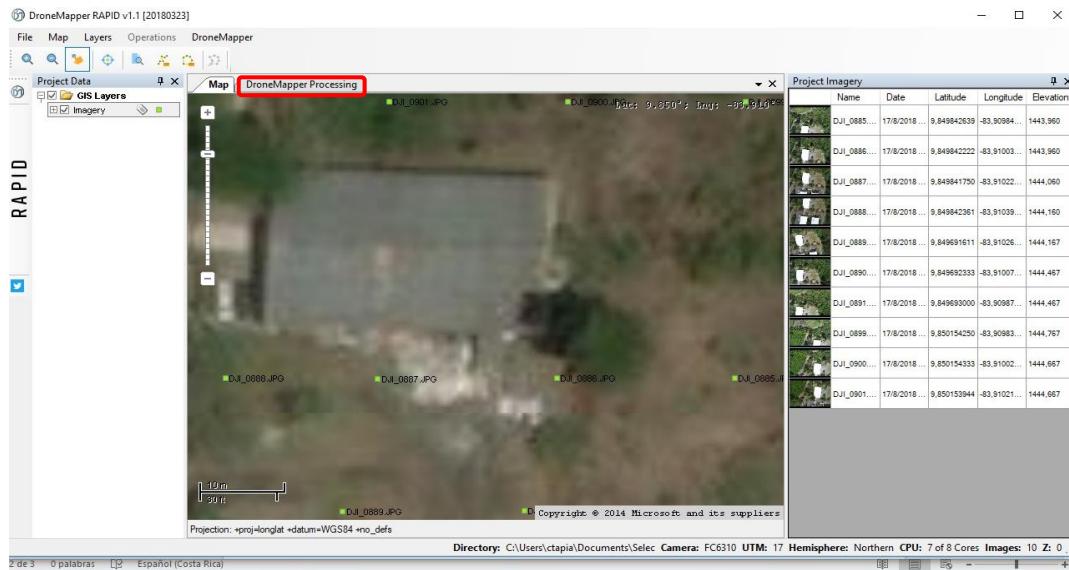


Figura 88. Pestaña DroneMapper Processing para iniciar el proceso de orto-mosaico.

Podrá observar un detalle de todos los procesos que se deben ejecutar, figura 89.

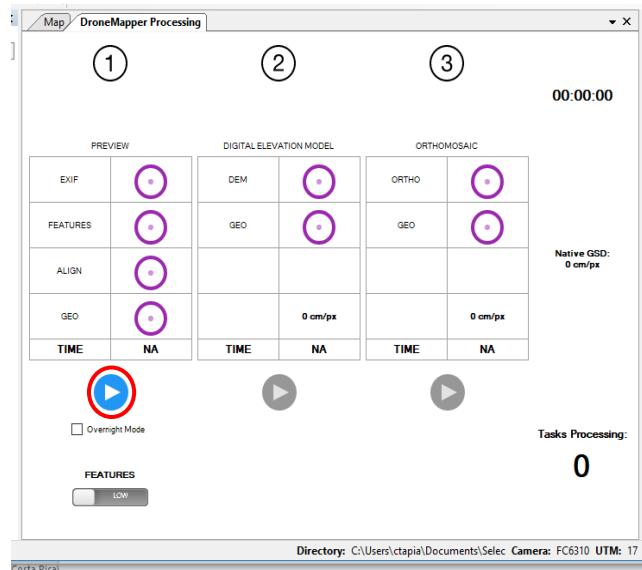


Figura 89. Detalle de procesos para completar el orto-mosaico.

Presione el botón de “Play” para que se pueda generar primeramente la pre-visualización de la ortoimagen. Podrá observar cuáles procesos se van completando, ver figura 90.

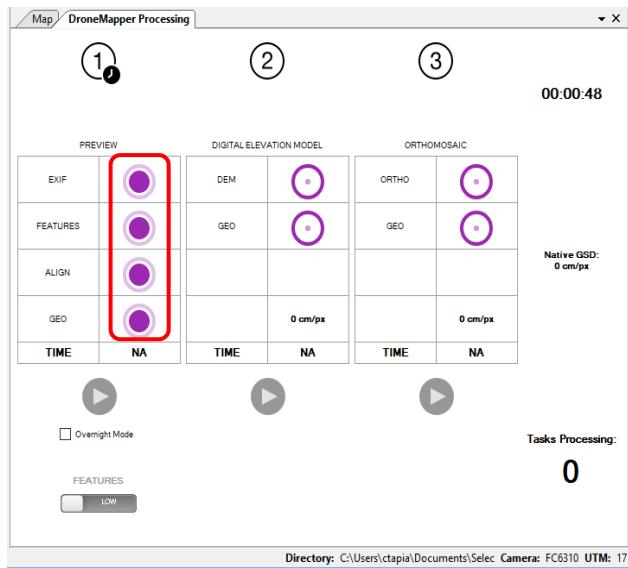


Figura 90. Procesos completados.

En la pestaña “Map” podrá observar los resultados (Figura 91). La pre-visualización de la ortoimagen se despliega en blanco y negro.



Figura 91. Previsualización de ortoimagen en Drone Mapper Rapid

Presione play para llevar a cabo los procesos de creación del Modelo de Elevación Digital. Podrá observar la culminación de ambos procesos en la pestaña “DroneMapper Processing” (Figura 92)

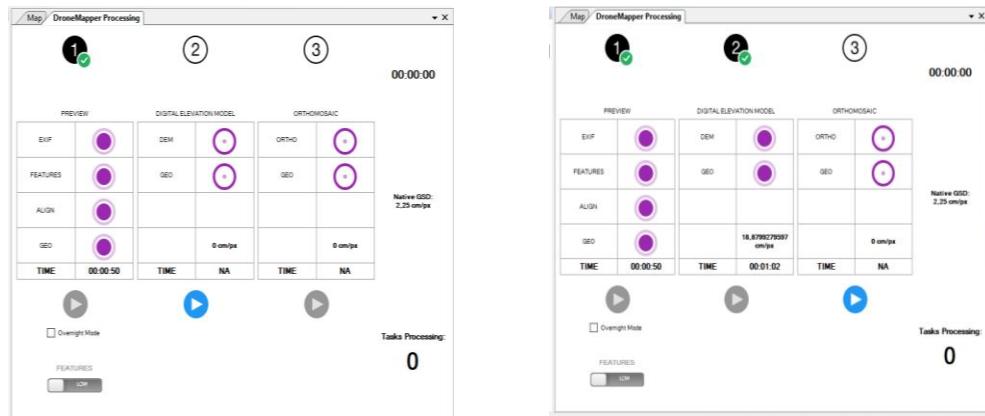


Figura 92. Finalización del proceso de creación del modelo digital de elevación.

Por su parte en la pestaña “Map” podrá ver dos archivos, uno de ellos corresponde al Modelo de Elevación Digital como tal y el otro corresponde a un hillshade (Figura 93).



Figura 93. Modelo de Elevación Digital y Hillshade creados con el programa Drone Mapper Rapid.

Finalmente podrá ejecutar los procesos de elaboración del orto-mosaico, al presionar sobre el botón de “play” correspondiente en la pestaña “DroneMapper Processing”, ver figura 94.

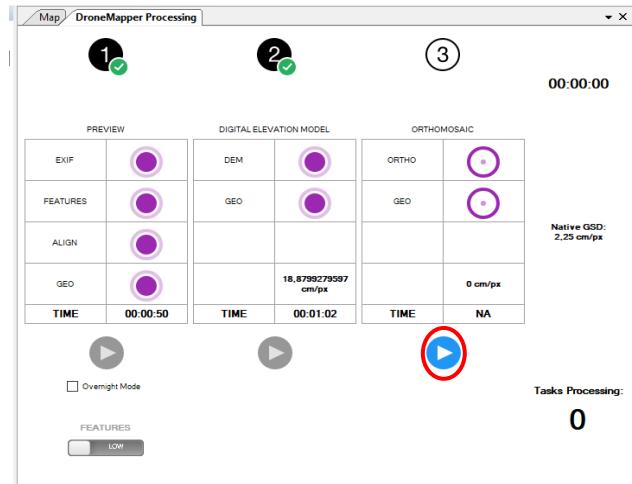


Figura 94. Botón para generar el orto-mosaico.

Al igual que los procesos anteriores, en la pestaña “Map” podrá ver el resultado de los procesos, en este caso el orto-mosaico (Figura 95).



Figura 95. Visualización del orto-mosaico.

Los resultados de los procesos son almacenados en una carpeta denominada “DrnMppr3D” como archivos .tif y .kmz. Es importante mencionar que el programa tiene la opción “Overnight mode” la cual es útil para que el proceso se haga de forma automatizada sin necesidad de que sea supervisado.

#### 4.3 Pix4D Mapper

Con una licencia de prueba por 15 días se puede utilizar este programa. Su costo se podría considerar elevado, sin embargo los productos son de buena calidad y el tiempo de procesamiento es rápido.

## Creación de un nuevo proyecto

Se crea un nuevo proyecto desde la vista principal del programa al darle clic en “New Project...” como se muestra en la siguiente figura.

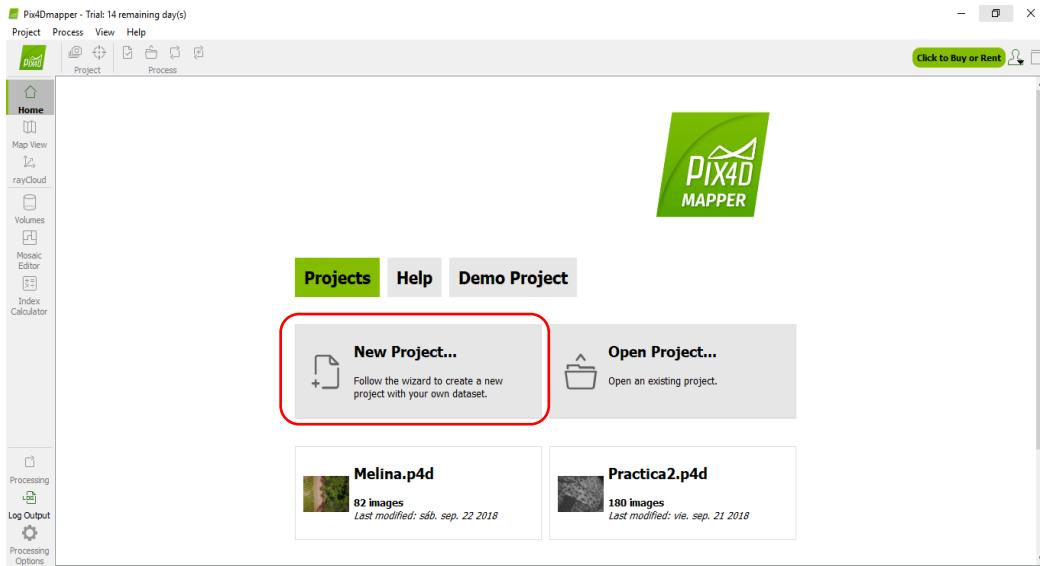


Figura 96. Creación de un nuevo proyecto en Pix4D.

Se abrirá una nueva ventana en la cual se deberá digitar un nombre al proyecto y la ubicación donde se guardará la información. Una vez hecho lo anterior se presiona el botón “Next” (Figura 97).

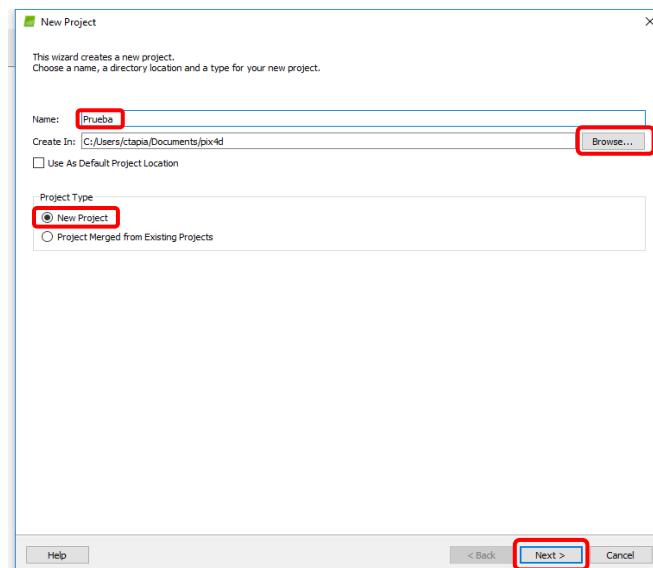


Figura 97. Ventana donde se especifican los elementos básicos del nuevo proyecto.

En la siguiente pantalla deberá seleccionar las imágenes adquiridas mediante el dron. Note que puede seleccionar las imágenes o incluso indicar uno o varios directorios. (Figura 98)

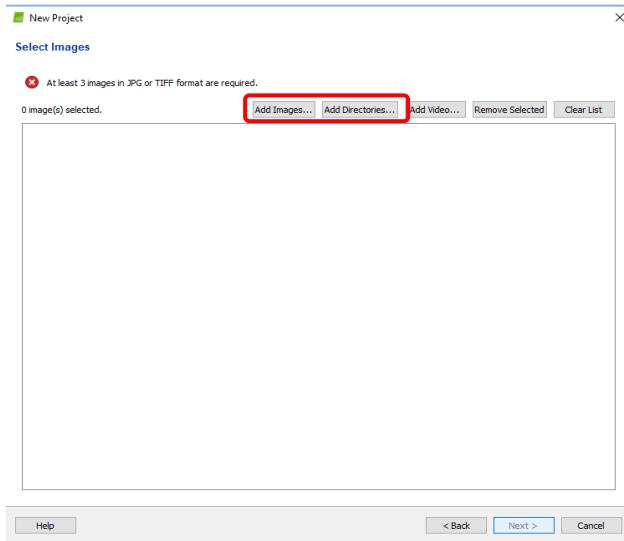


Figura 98. Pantalla para seleccionar las imágenes con las que se va a trabajar.

Con el botón “Add Images...” proceda a agregar las imágenes de su VANT. Cuando haya finalizado obtendrá un listado como el que se muestra a continuación. Debe presionar el botón “Next” para continuar con los siguientes pasos (Figura 99).

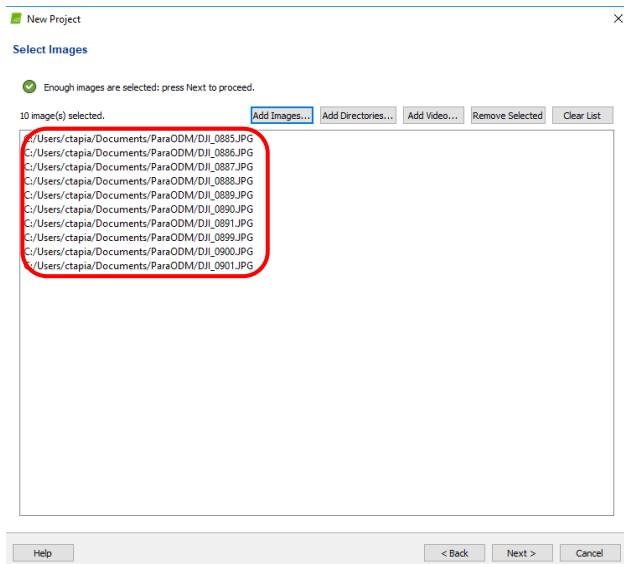


Figura 99. Listado de imágenes que se han agregado al proyecto.

Luego observará en pantalla un resumen de las características generales de las imágenes referentes al sistema de coordenadas (debe verificar que sea correcto: WGS84) y una cuestión importante es la cámara. Por lo general se cuenta en la base de datos con un set bastante completo de las cámaras disponibles de los VANTs más utilizados, sin embargo

debe tener cuidado con aquellos VANTs que tienen versiones muy recientes porque puede ocurrir que la configuración de la cámara como tal no se encuentre disponible y, en su lugar, tenga que crear usted un archivo con dicha configuración. No es un proceso complicado, pero requiere que el usuario conozca al detalle las características de la cámara. En la siguiente figura se puede observar las características generales de las imágenes que se han utilizado como prueba, luego se presiona sobre el botón “Next”.

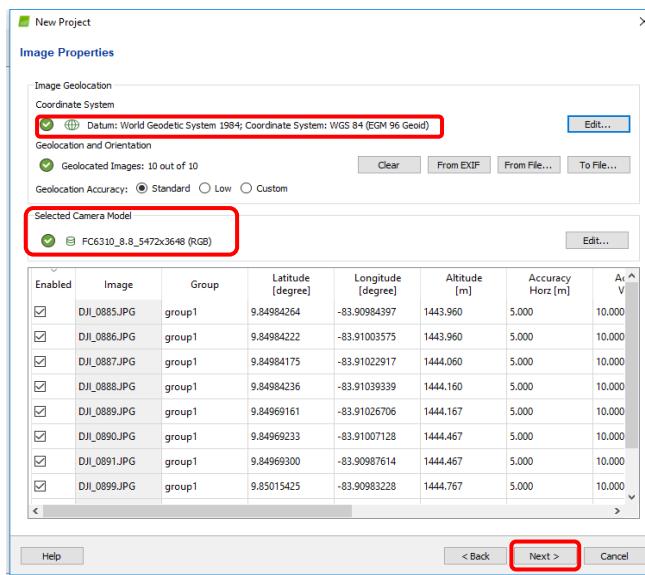


Figura 100. Características generales de la cámara y el sistema de coordenadas de las imágenes.

Por defecto el programa está configurado para detectar un sistema de coordenadas de salida, basándose en la ubicación aproximada de las imágenes y utilizando el sistema de coordenadas WGS84/UTM (Figura 101).

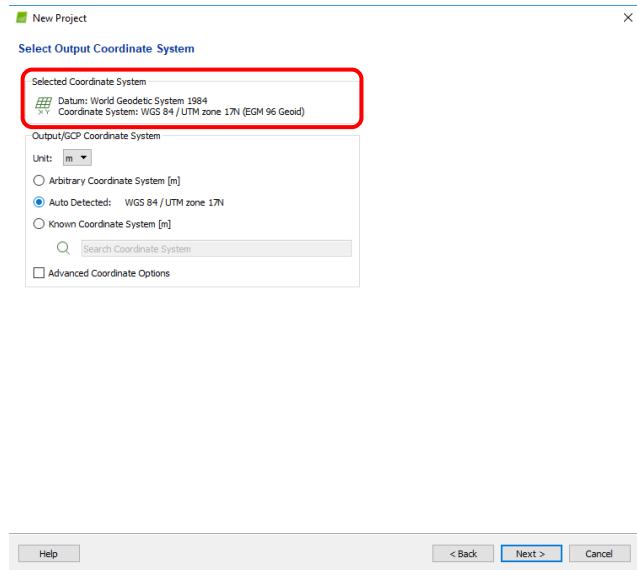


Figura 101. Sistema de coordenadas de salida por default.

Sin embargo, el usuario puede indicar otro sistema de coordenadas de salida. Para ello debe seleccionar la opción “Known coordinate system (m)”, y enseguida digitar CR05, el programa mostrará dicho sistema de coordenadas y deberá seleccionarlo (Figura 102). Despues presione el botón “Next” para continuar con el siguiente paso.

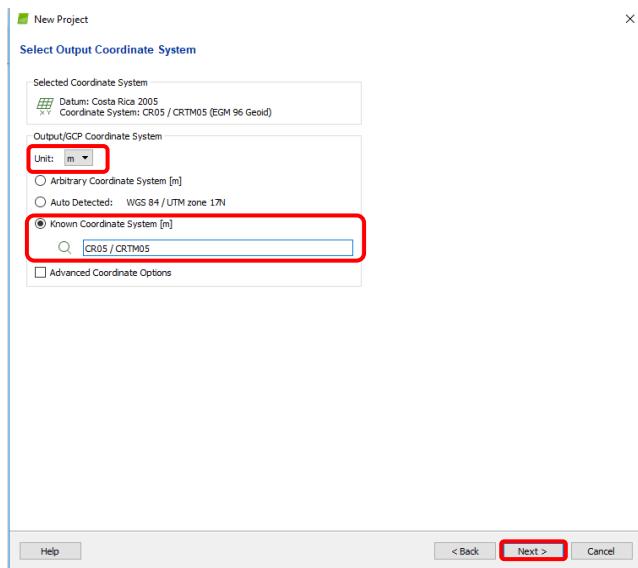


Figura 102. Selección del sistema de coordenadas oficial de Costa Rica CR05/CRTM05

Posteriormente deberá seleccionar una plantilla basándose en los datos que tiene disponible y en la información que desea obtener (Figura 103).

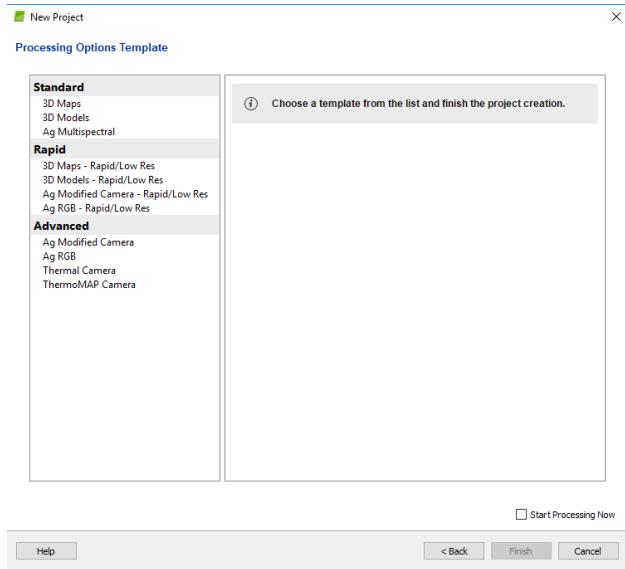


Figura 103. Diferentes plantillas que el programa Pix4D pone a disposición de sus usuarias(os).

Si presiona sobre cualquiera de las plantillas podrá observar un pequeño resumen de la información de entrada que se requiere, la calidad de la salida y los tipos de salida (Figura 104).

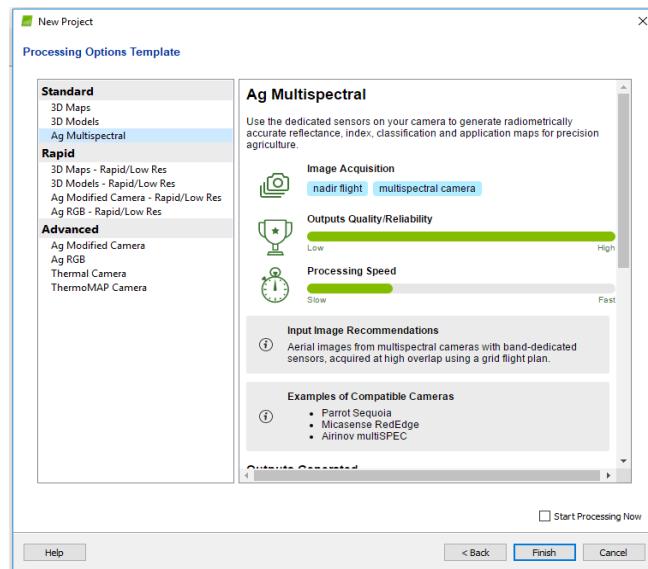


Figura 104. Ejemplo de la plantilla Ag Multispectral

Se utilizará la plantilla 3D Maps para obtener un orto-mosaico, DTM y DSM (Figura 105) y finalmente se presiona sobre el botón “Finish”.

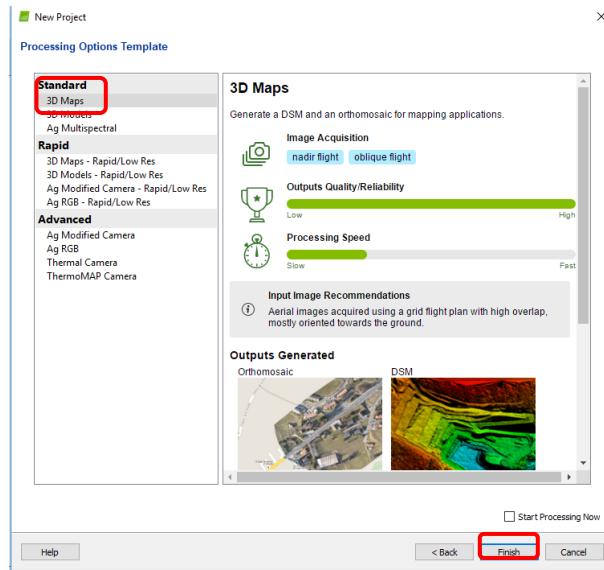


Figura 105. Plantilla 3D Maps.

Se desplegará la pantalla donde podrá seleccionar los procesos que desea ejecutar, así como las opciones que desea configurar con el botón “Processing Options” (Figura 106).

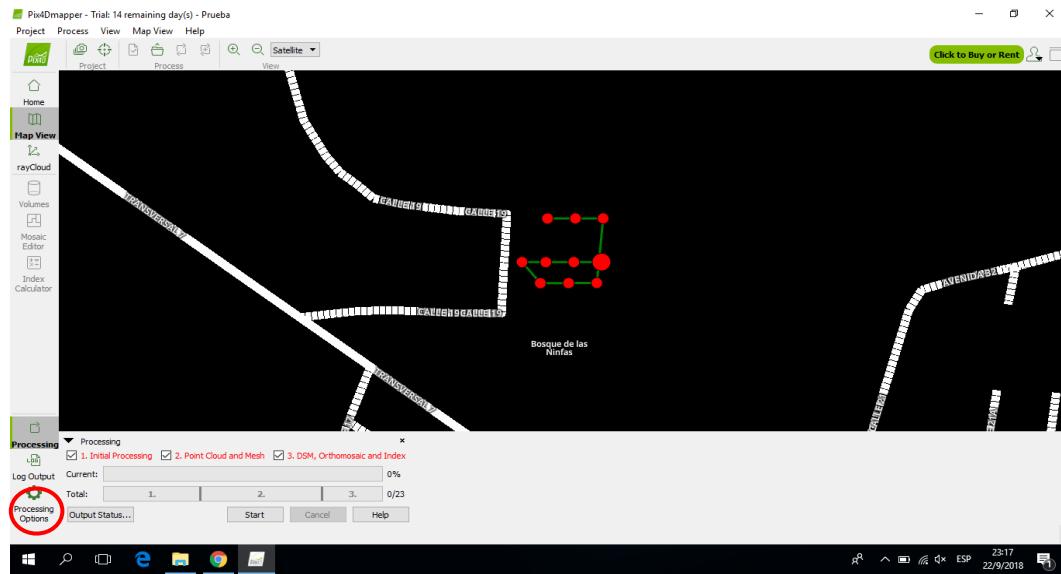


Figura 106. Abrir las opciones de procesamiento con el botón Processing Options.

Se podrá seleccionar múltiples opciones:

- ✓ En la sección “Initial Processing” habilite la opción “Full” (Figura 107).

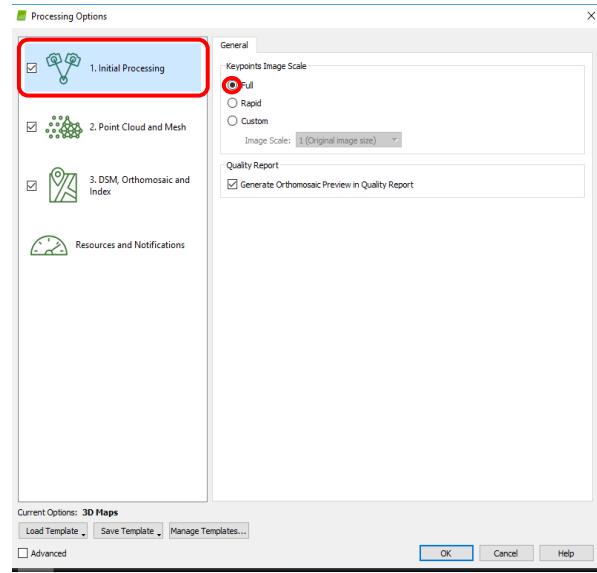


Figura 107. Opción para mantener la escala inicial de las imágenes.

En la sección “Point Cloud and Mesh” seleccione una densidad de puntos óptima (Figura 108).

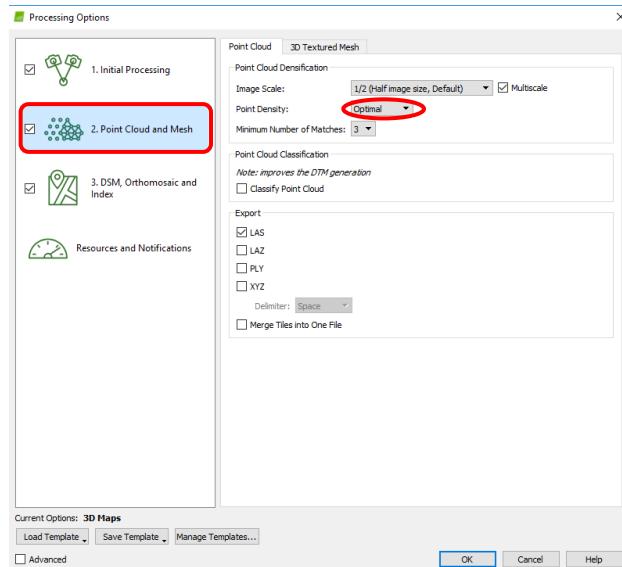


Figura 108. Opción para habilitar una densidad de puntos óptima.

Y en la pestaña “3D Textured Mesh” asegúrese de habilitar la opción “Generate 3D Textured Mesh” (Figura 109).

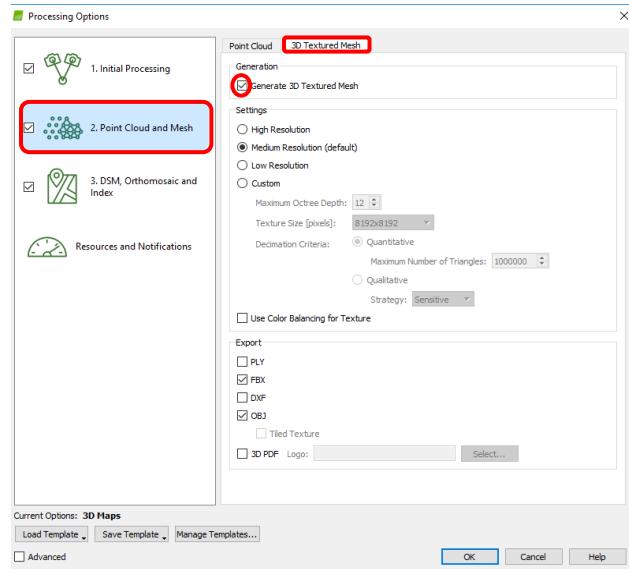


Figura 109. Habilitar opción de Generate 3D Texture Mesh.

En la sección “DSM, Orthomosaic and Index”, la pestaña “DSM and Orthomosaic” seleccione las opciones “Geo Tiff” y “Merge Tiles” de Raster DSM y “Orthomosaic” (Figura 110).

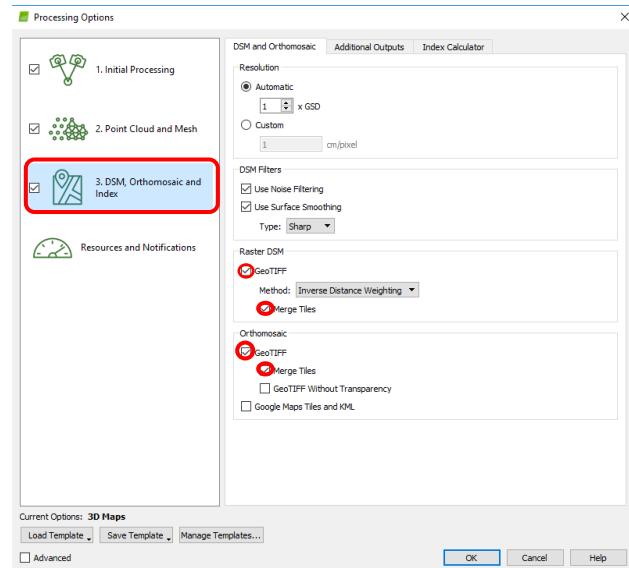


Figura 110. Habilitar las opciones de Geo Tiff con Merge Tiles de DSM y el orto-mosaico.

En la pestaña “Additional Outputs” habilite “Geo Tif” y “Merge Tiles” de Raster DTM.

Finalmente presione OK (Figura 111).

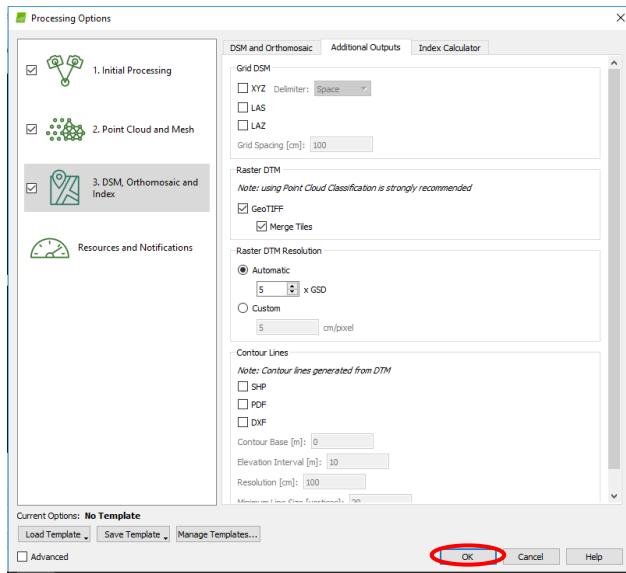


Figura 111. Finalización del proceso de configuración.

#### 4.3.1 Ingreso de puntos de control

Lo ideal es contar con puntos de GPS para poder montarlos con el botón “GCP/MTP Manager” (Figura 112).

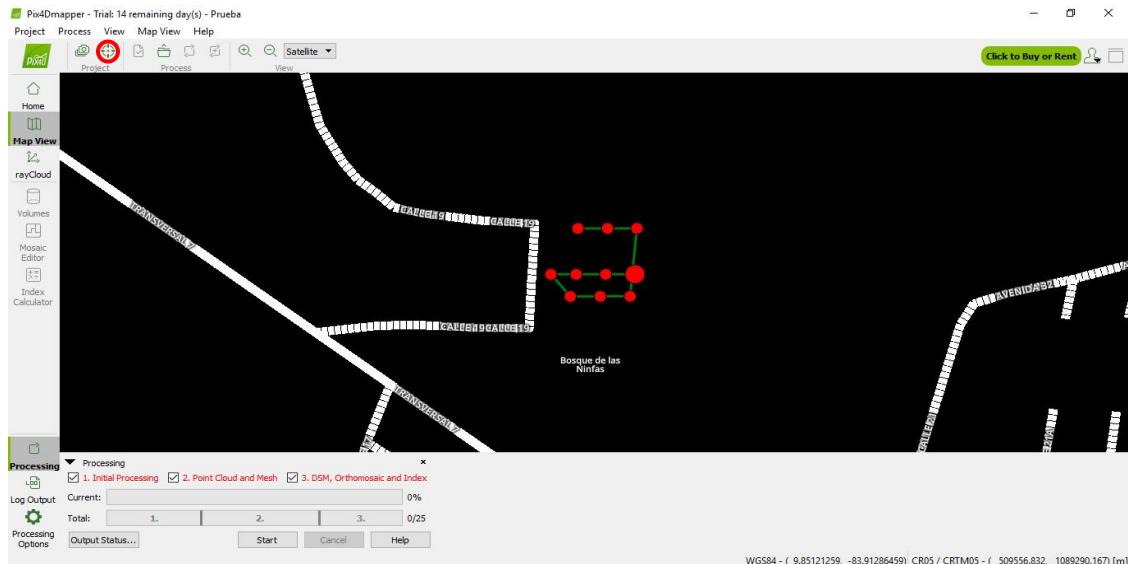


Figura 112. Botón para habilitar el ingreso de puntos de control.

Se abre la ventana para agregar puntos de control.

#### 4.3.2 Procesamiento de imágenes

Para iniciar el procesamiento de las imágenes debe presionar el botón “Start”. Podrá ir observando el avance del procesamiento como se muestra en la siguiente Figura.

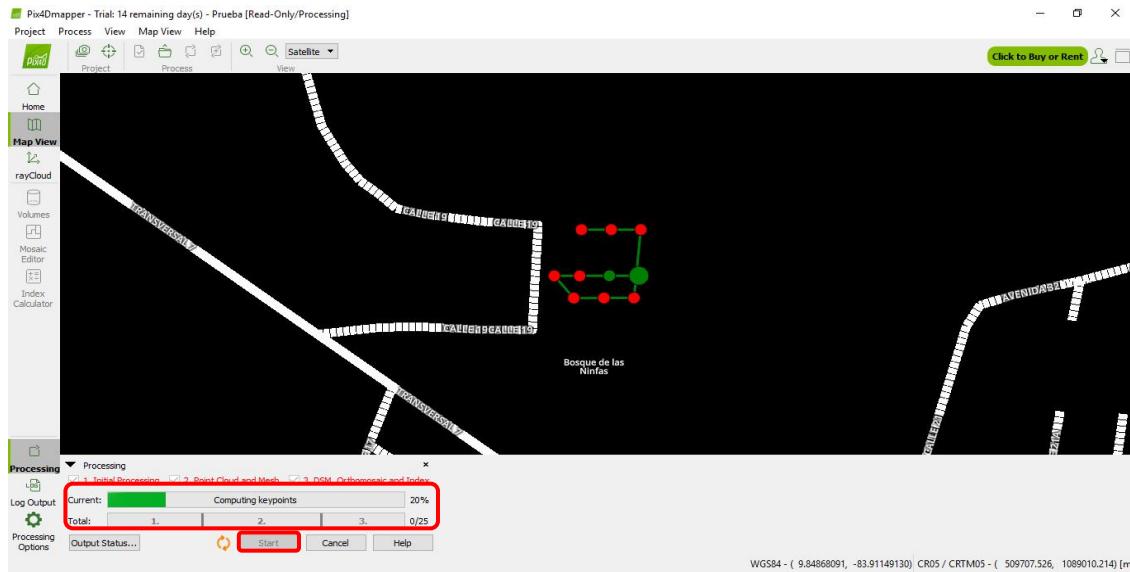


Figura 113. Inicio del procesamiento de imágenes.

O bien, presionando sobre el botón “Output Status...” obtendrá otro tipo de vista del procesamiento de los datos (Figura 114).

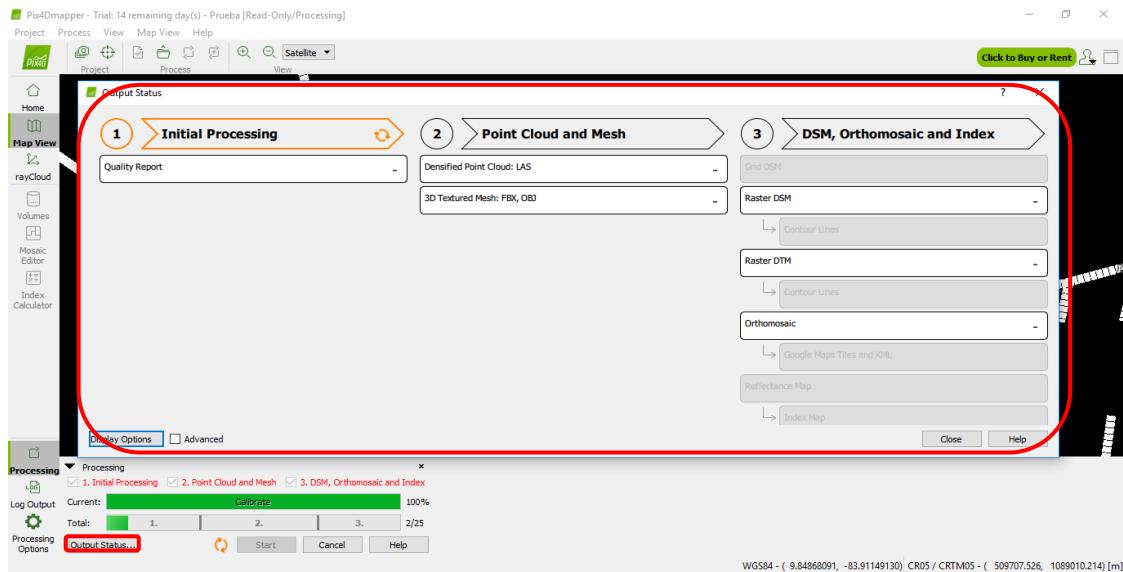


Figura 114. Opción para visualizar el progreso del procesamiento de imágenes.

Cuando finalice el primer proceso “Initial Processing” desplegará un reporte de calidad como el que se muestra a continuación.



Figura 115. Reporte de calidad del primer proceso.

Puede revisar exhaustivamente dicho reporte, donde podrá incluso observar una pre-visualización del orto-mosaico y el DSM (ver Figura 116).

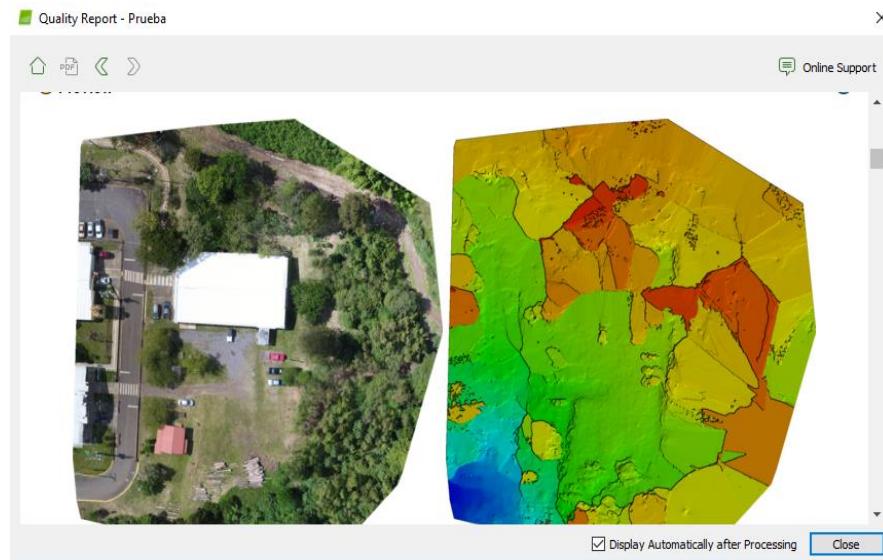


Figura 116. Pre-visualización de orto-mosaico y DSM.

Cuando haya finalizado, en la pantalla principal del programa podrá observar algunos resultados. Cargue la capa “Triangle Meshes” para que pueda visualizar los resultados mejor (Figura 117).

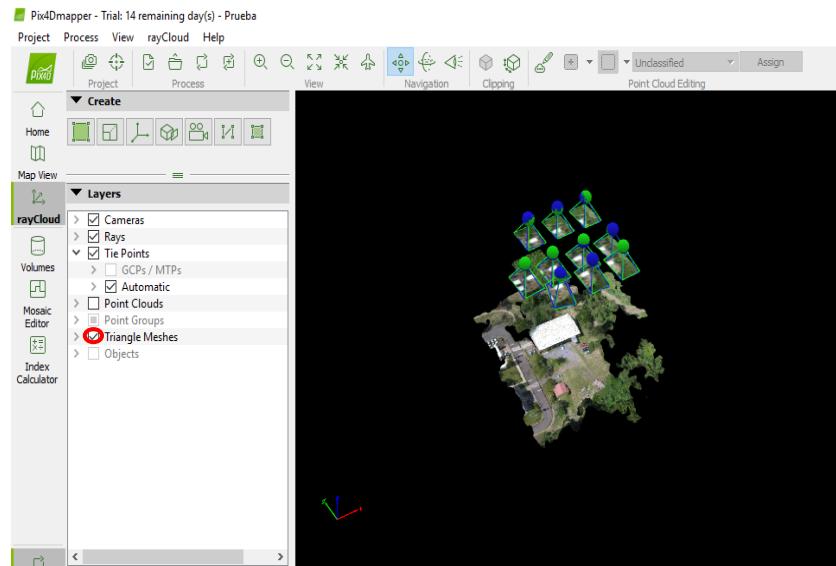


Figura 117. Triangle Meshes cargado.

Con el botón “Shift” y el mouse (Scroll y con el botón izquierdo del mouse) podrá observar la imagen desde distintos ángulos (Figura 118).

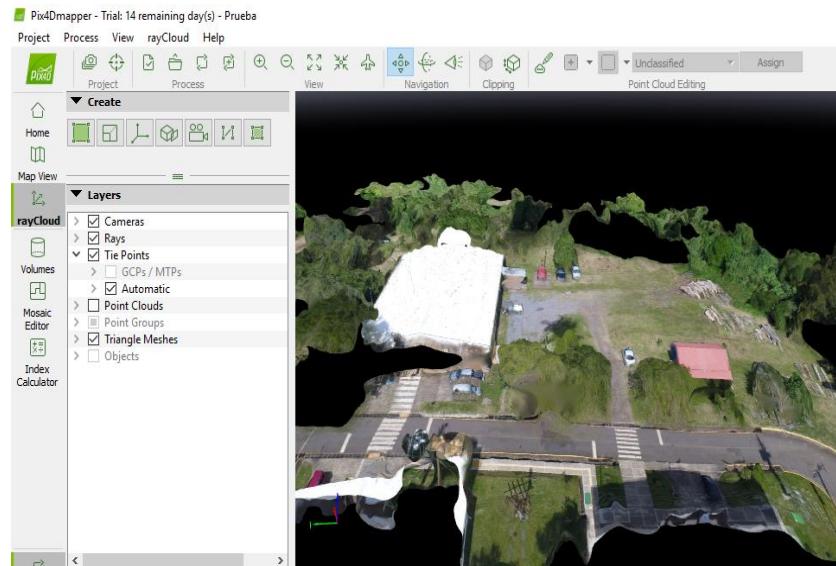


Figura 118. Visualización en 3D del orto-mosaico.

La información generada se habrá guardado en diferentes carpetas que se deben haber creado de manera automática en su directorio de trabajo (Figura 119).

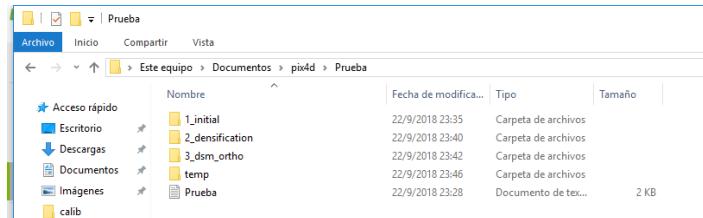


Figura 119. Carpetas creadas de manera automática en el procesamiento de imágenes.

Podrá cerrar el programa para proseguir a analizar la información en QGIS.

Los reportes de calidad deben ser analizados para ver si se puede mejorar con la incorporación de puntos de control.

#### 4.4 Agisoft photoscan

Existen dos versiones, en esta sección se presenta la versión Professional del programa, ya que esta permite la creación de mayor variedad de productos que la Standard. Este software no es gratuito, pero posee un periodo de prueba, tal como se muestra en la siguiente figura.

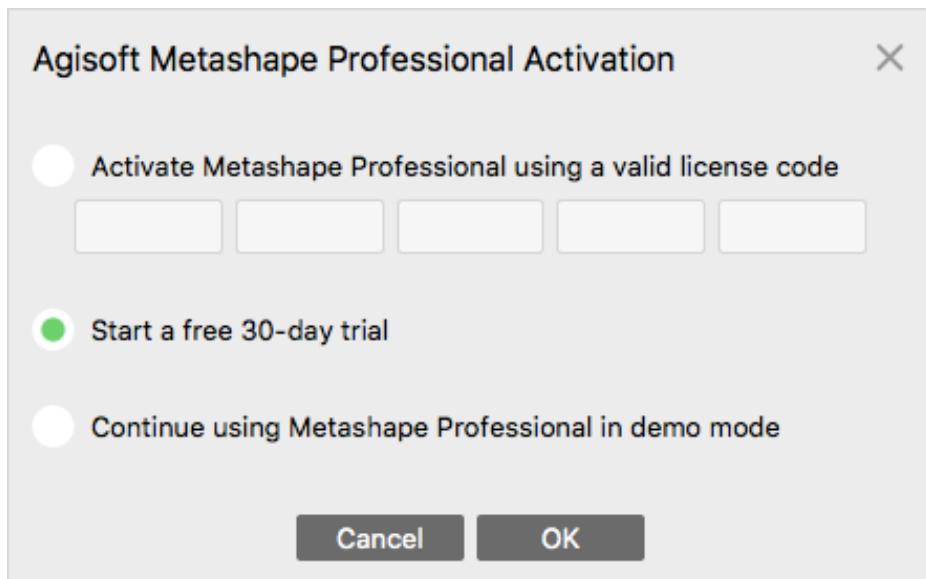


Figura 120. Opciones para el uso del programa Agisoft Metashape Professional.

El primer paso consiste en descargar el programa, de acuerdo a las especificaciones de su sistema operativo y luego proceder con la instalación. Podrá abrir el programa y se desplegará una ventana como la que se muestra a continuación

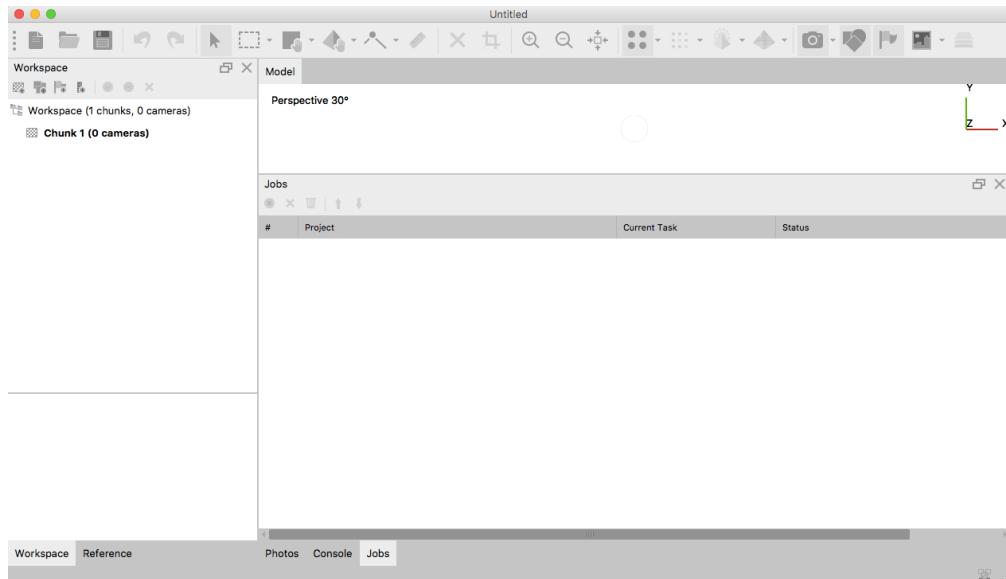


Figura 121. Consola principal del programa Agisoft Metashape Professional.

Desde el menú Workflow se puede agregar una carpeta donde se ubiquen todas las fotos que componen el proyecto del vuelo, o bien la opción de imágenes (Figura 122). Es preferible contar con una carpeta donde se haya guardado todas las imágenes.

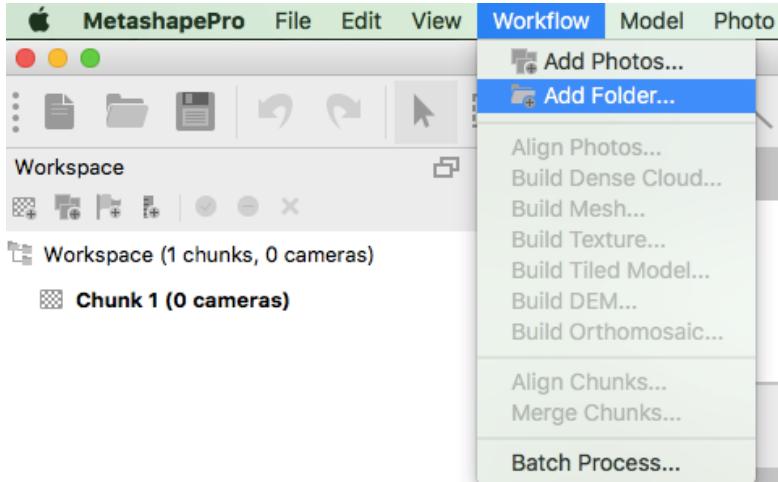


Figura 122. Opciones para agregar las imágenes del vuelo programado.

Seleccione la carpeta donde se ubican las imágenes y luego cárguelas al programa. Cuando se hayan procesado se podrá visualizar la posición de las imágenes como se muestra en la figura 123.

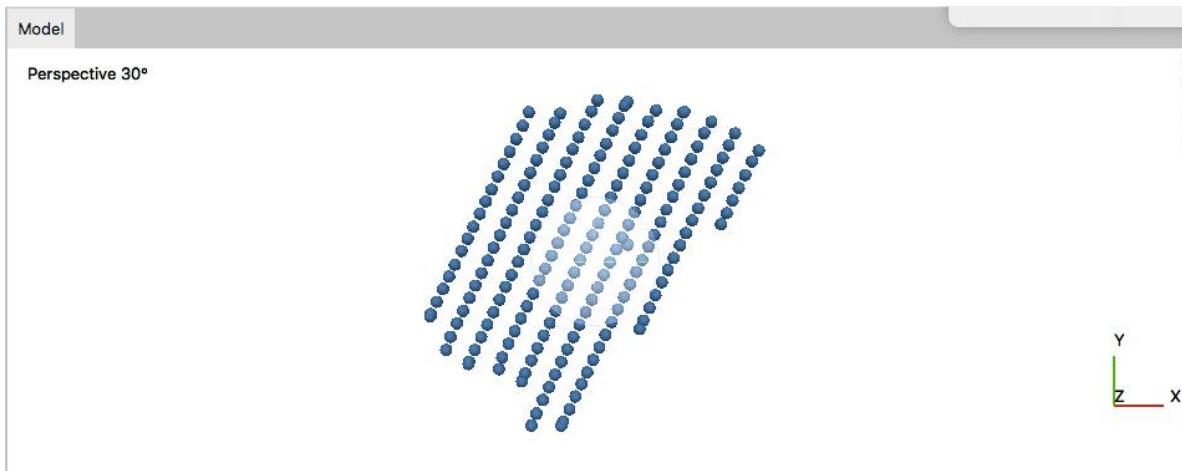


Figura 123. Visualización de la ubicación de las imágenes agregadas al proyecto.

Posteriormente deberá alinear las fotos desde el menú Workflow/Align Photos (Figura 124).

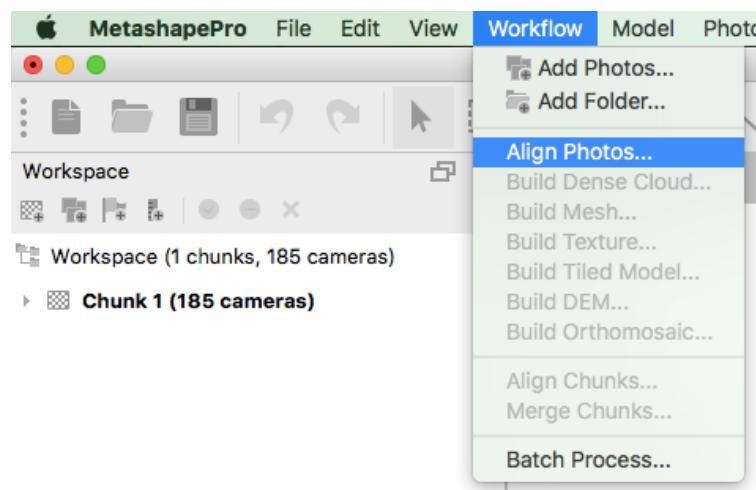


Figura 124. Comando para alinear las fotografías.

Se desplegará una ventana en la cual se muestran diferentes opciones, ver Figura 125.

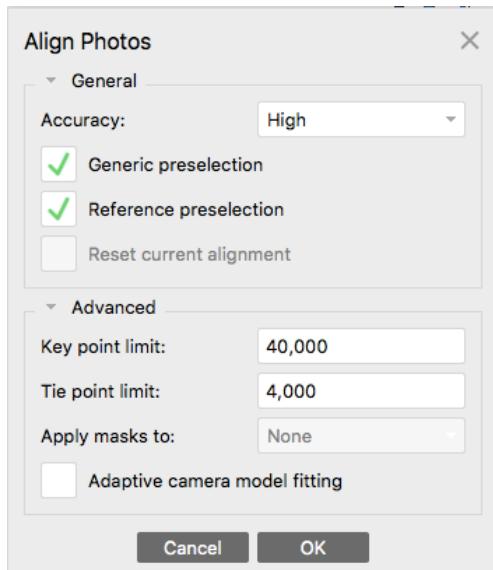


Figura 125. Opciones para llevar a cabo la alineación de las fotografías.

En “Accuracy” se puede seleccionar las opciones de: Highest, High, Medium, Low, Lowest. Seleccione la que mejor se adecúe a sus necesidades y capacidades de equipo, es decir si ocupa un producto de alta calidad y cuenta con un equipo de alta calidad seleccione Highest, mientras que si va a hacer una prueba rápida, puede seleccionar Low o Medium.

“Generic Preselection” se utiliza para que el programa ubique “Tie points”, esto es puntos que tengan en común las fotos. “Reference Preselection”, lleva a cabo la misma tarea con la condición que busca solo en fotos vecinas próximas, con lo cual el proceso es más rápido pero menos preciso.

En las opciones avanzadas se puede editar la cantidad de “Key Points” y “Tie Points”, los primeros hacen referencia a la cantidad de puntos que utiliza para hacer la alineación en cada foto, mientras que los segundos, se refiere a la cantidad de puntos en común que puede encontrar entre fotografías y que utiliza para mejorar la alineación.

Finalmente, la opción “Adaptive camera model fitting” permite ajustar los parámetros del modelo de la cámara a la geometría de las imágenes. Si se activa y durante el proceso de alineación se presenta algún problema se recomienda desactivar esta opción.

Al seleccionar las opciones y presionar el botón OK se iniciará el proceso de alineación de fotografías, tal como se muestra en la siguiente figura.

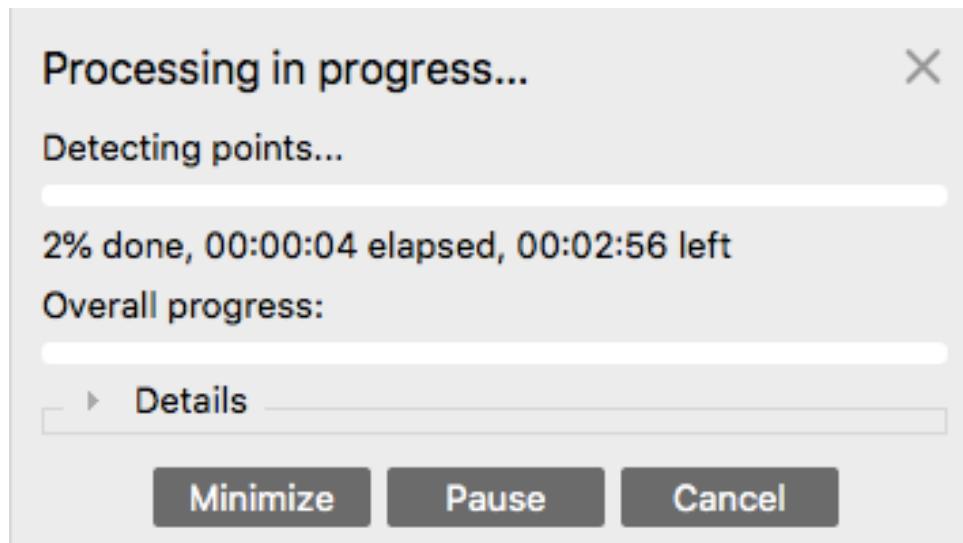


Figura 126. Ventana en la cual se despliega el avance del procesamiento de la alineación de las fotografías.

Podrá observar las imágenes alineadas en la pestaña "Model", como se observa en la figura 127.



Figura 127. Imágenes alineadas.

Puede visualizar las imágenes en un modelo 3D, arrastrando el mouse con un clic presionado sobre las mismas (Figura 128).

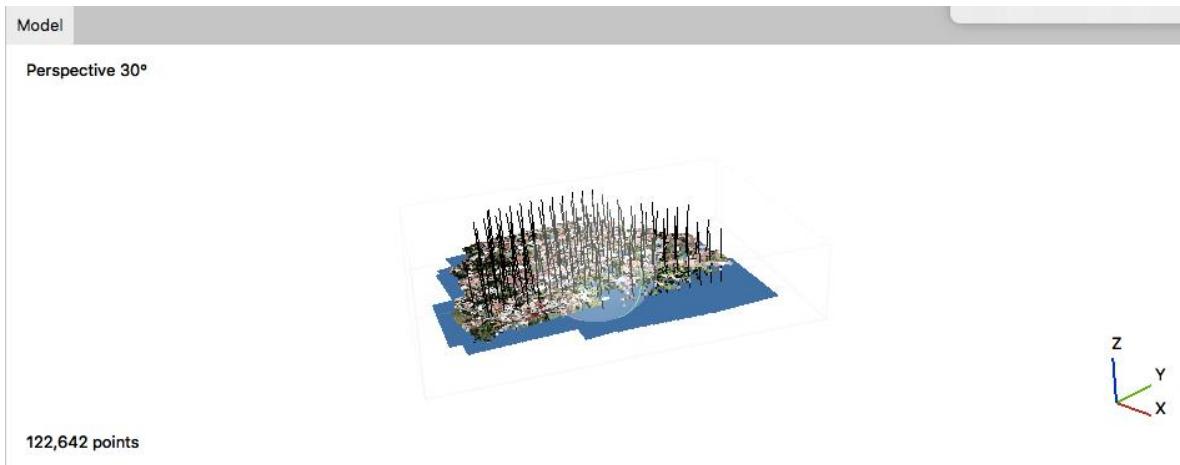


Figura 128. Imágenes alineadas en 3D.

Desde el menú File/Export/Generate Report... puede generar un reporte (Figura 129) que le ayudará a decidir si es necesario volver a realizar la alineación de fotografías cambiando parámetros o si continua con otros procesos.

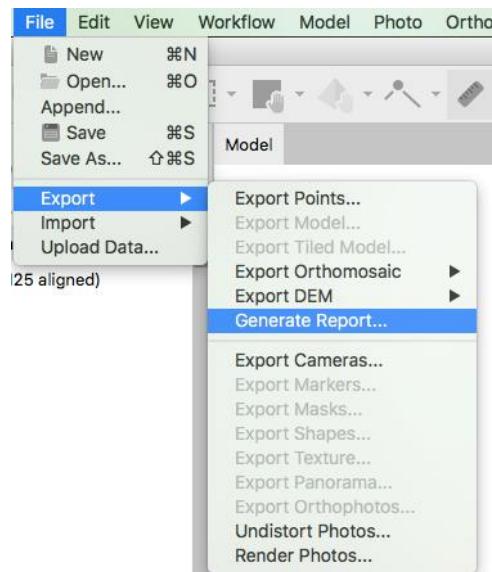


Figura 129. Opción para generar un reporte del procesamiento de alineación de fotografías.

Se abrirá una ventana donde podrá colocar el nombre del reporte y luego presionar sobre el botón “Save”, al hacerlo se desplegará una ventana como la que se muestra en la Figura 130.

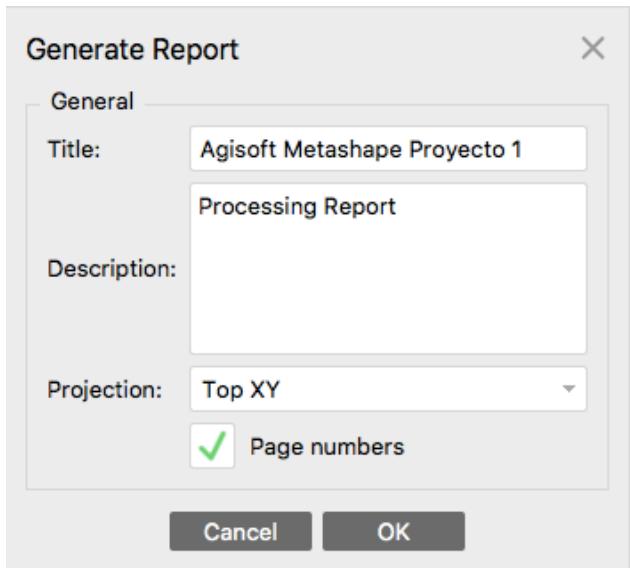


Figura 130. Generación de reporte respecto al procesamiento de fotografías.

Deberá indicar dónde quiere guardar el reporte y se generará un documento en pdf de varias páginas. El reporte incluye un análisis completo, en la figura 131 se muestra una parte del reporte

Number of images:	125	Camera stations:	125
Flying altitude:	122 m	Tie points:	122,642
Ground resolution:	4.06 cm/pix	Projections:	348,118
Coverage area:	0.0889 km <sup>2</sup>	Reprojection error:	1.39 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC220 (4.73mm)	4000 x 3000	4.73 mm	1.57 x 1.57 $\mu$ m	No

Figura 131. Ejemplo de información que contiene el reporte de calidad del proceso de alineación de fotografías.

El error puede aumentar o disminuir dependiendo del nivel de “Accuracy” que haya colocado. Esto implica que si quiere o necesita mejorar el error, proceda a volver a alinear las fotografías con un nivel de “Accuracy” mayor. Una vez que tenga la mejor alineación posible o que necesite proceda a colocar los puntos de control (si los tiene).

#### 4.4.1 Puntos de control

Si los puntos de control los tiene en un sistema de coordenadas proyectado, deberá proyectar primero las imágenes. Desde la pestaña “Reference” se selecciona el botón “Convert” como se muestra en la figura 132.

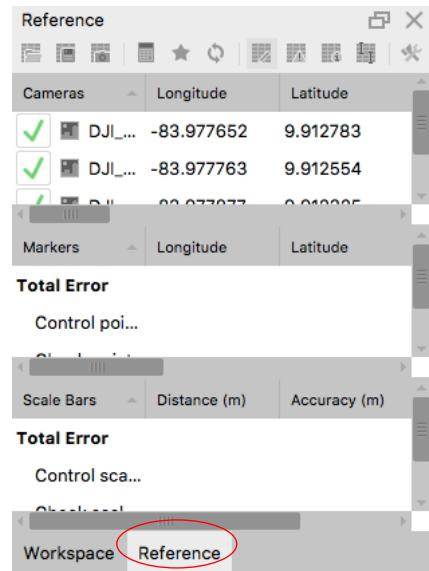


Figura 132. Pestaña “Reference” para iniciar el proceso de ingreso de puntos de control.

Se abrirá una ventana con la información del sistema de coordenadas actual, ver figura 133.

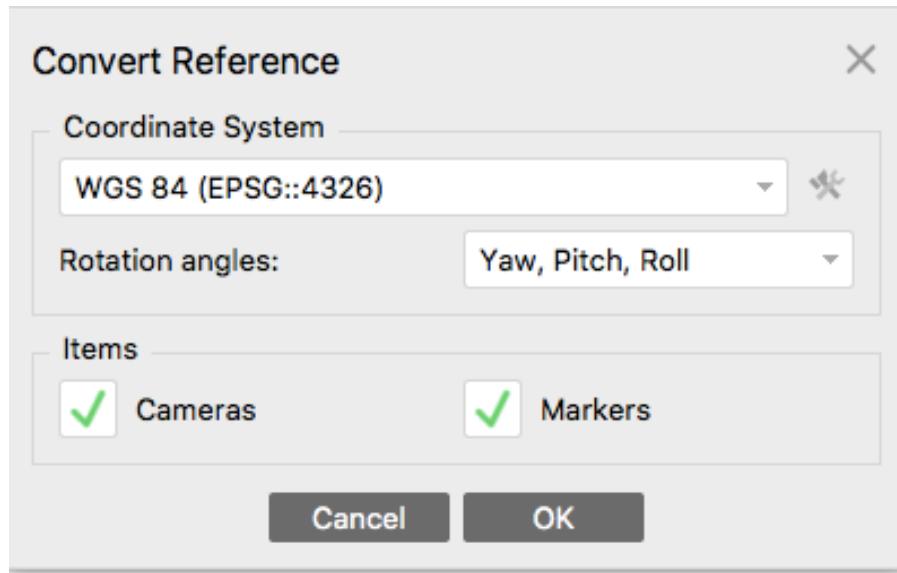


Figura 133. Información del sistema de coordenadas actual.

En dicha ventana se selecciona el sistema de coordenadas que necesitamos. Recuerde que esto está en función del sistema de coordenadas que tienen los puntos de control que se van a utilizar, así por ejemplo si los puntos de control se encuentran en CRTM05/CR05 puede seleccionarlo como se muestra en las figuras 134 y 135.

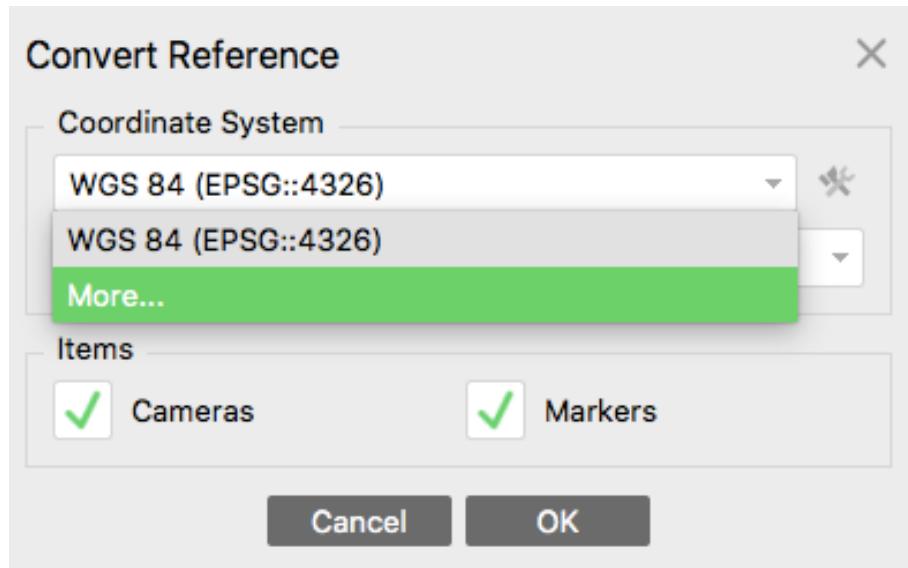


Figura 134. Conversión del sistema de coordenadas de las imágenes.

Utilice la opción de “Filter” y el número de EPSG 5367, que es el código del sistema de coordenadas actual de Costa Rica, CR05/CR05 (Figura 135).

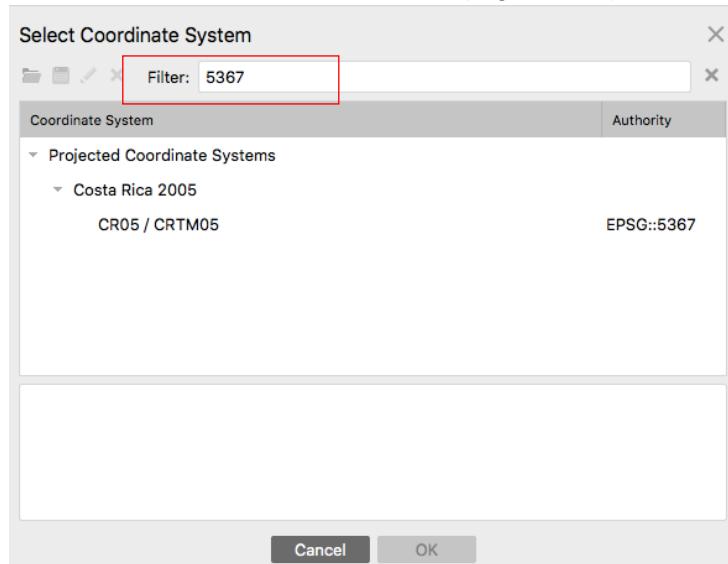


Figura 135. Búsqueda del sistema de coordenadas utilizando la opción de Filtro.

Si los puntos de control los tiene en WGS84 sin proyectar, puede proceder a agregarlos sin hacer la re-proyección anteriormente señalada. De cualquier manera, los puntos de control deberán ser un archivo de texto que tenga, al menos información de número identificador, coordenada x, coordenada y, altitud en metros, tal como se muestra en la figura 136.

```

id;x;y;altitud
1;431612.27;1210929.72;1446.75
2;431612.27;1210929.72;2179.5
3;431612.27;1210929.72;2898.47
4;431616.93;1210943.66;2026.03
5;431616.93;1210943.66;2748.99
6;431635.19;1210952.94;2975.34
7;431590.91;1210966.26;74.5
8;431590.91;1210966.26;810.25
9;431590.91;1210966.26;1530
10;431590.91;1210966.26;2253.5
11;431590.91;1210966.26;2961.69
12;431578.97;1210954.65;1707.5
13;431578.97;1210954.65;2403
14;431583.53;1210920.15;948.03
15;431583.53;1210920.15;1647.8
16;431583.53;1210920.15;2326.68
17;431605.33;1210972.59;355.04
18;431605.33;1210972.59;1055.09
19;431605.33;1210972.59;1758.21
20;431605.33;1210972.59;2448.25

```

Figura 136. Ejemplo de archivo de texto de puntos de control a utilizar.

En la figura anterior se puede observar unos puntos de control que han sido guardados con un separador de “;”, contiene un número identificador, coordenada “x”, coordenada “y” y valores de altitud. Este es un ejemplo de cómo podría construirse un archivo de texto con la información necesaria de puntos de control. Para agregar esta información al programa se presiona sobre el botón “Import”, ver figura 137.

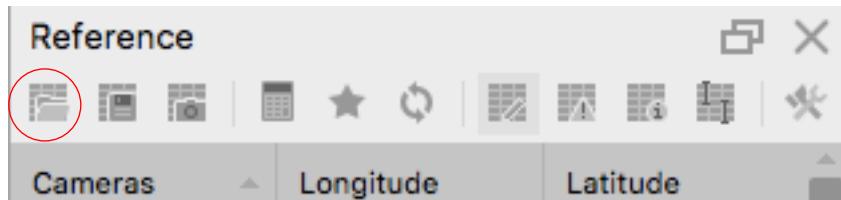


Figura 137. Botón “Import” para utilizar los puntos de control guardados como archivo de texto.

Se navega hasta la ubicación del archivo y se presiona sobre el botón “Open”, se abrirá entonces una ventana en la cual deberá especificar el sistema de coordenadas de los puntos de control, el separador y la información de coordenadas x,y así como la altitud tal como se muestra en la figura 138.

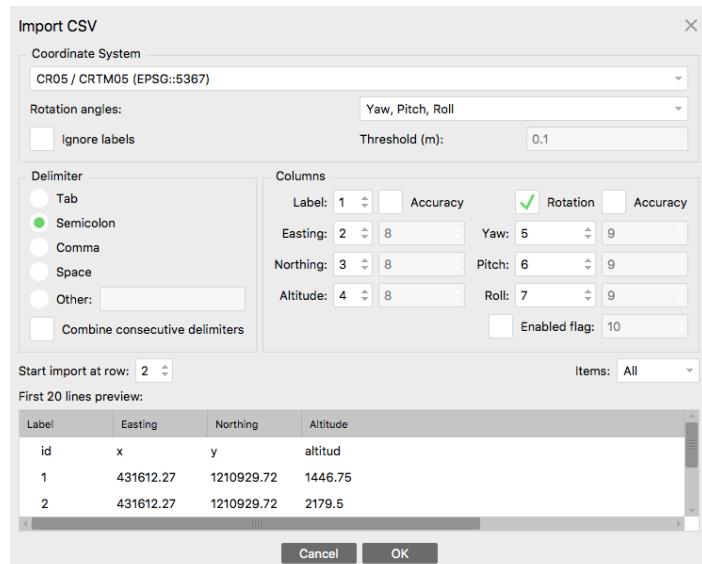


Figura 138. Establecer las opciones necesarias para que el programa pueda utilizar los datos del archivo de texto de los puntos de control.

Observe que en la figura anterior se especificó el separador es “Semicolon”, es decir punto y coma, el sistema de coordenadas 5367 (es necesario que verifique siempre que el sistema de coordenadas de la fotografías coincida con el de los puntos de control), se especifica que la columna 1 tiene información de “label” o identificador, la columna 2 de “Easting” o de coordenada x, la columna 3 de “Northing” o coordenada y, y finalmente la columna 4 de “Altitude” o altitud. También observe que se ha especificado que inicie la importación de datos desde la fila 2, esto por cuanto el archivo de texto que se está utilizando tiene encabezados de texto “id, x, y, altitud” que no constituyen datos que el programa pueda interpretar. Cuando presione el botón OK podrá observar los puntos de control en su proyecto y podrá iniciar el proceso de ubicación de los mismos en las fotografías que correspondan, tal como se ha mostrado en otros programas.

Una vez que haya ingresado satisfactoriamente los puntos de control a cada una de las fotografías podrá observar el resumen de su trabajo desde el botón “Settings” y cuando esté listo podrá iniciar el proceso de optimización de cámara con el botón “Optimize Cameras”, el cual asemeja una estrella (Figura 139).

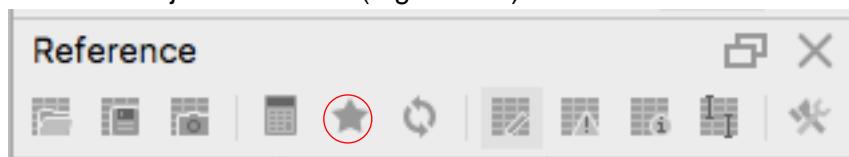


Figura 139. Botón “Optimize Cameras” para iniciar el proceso de optimización.

Cuando finalice la optimización puede generar un reporte y revisarlo, tal como se hizo anteriormente. Con base en el reporte, por ejemplo puede optar por eliminar puntos de control o bien, colocar más puntos de control en terreno.

#### 4.4.2 Construcción de nube de puntos densificada

Posteriormente podrá llevar a cabo el proceso de densificación de la nube de puntos, desde el menú Workflow/Build Dense Cloud... tal como se muestra en la figura 140.

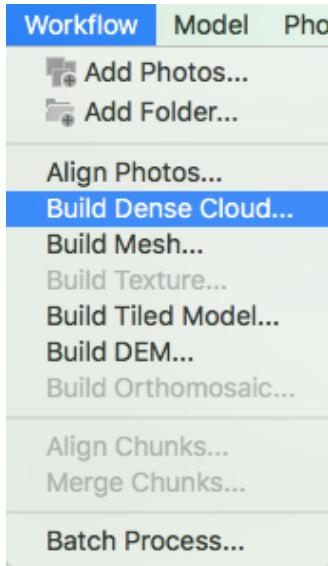


Figura 140. Herramienta para construir la nube de puntos.

Al igual que en el proceso de alineación de fotografías hay diferentes opciones para la construcción densificada de nube de puntos. En términos de la calidad se encuentra: Ultra High, High, Medium, Low y Lowest, éstos son similares a los del proceso de alineación. Mientras que en Depth filtering se observa: Disable, Mild, Moderate y Aggressive, nótese que puede optar por deshabilitar este proceso con "Disable", sin embargo no es recomendable porque este proceso trata de disminuir el ruido de información de las fotografías para crear la nube de puntos.

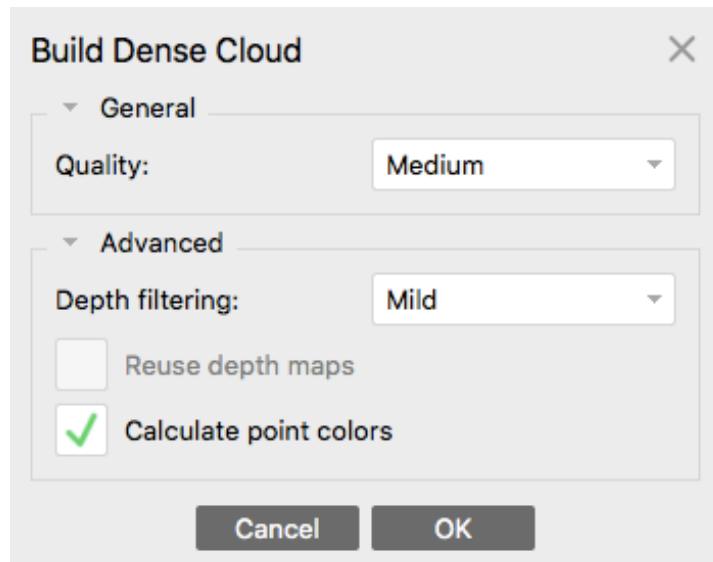
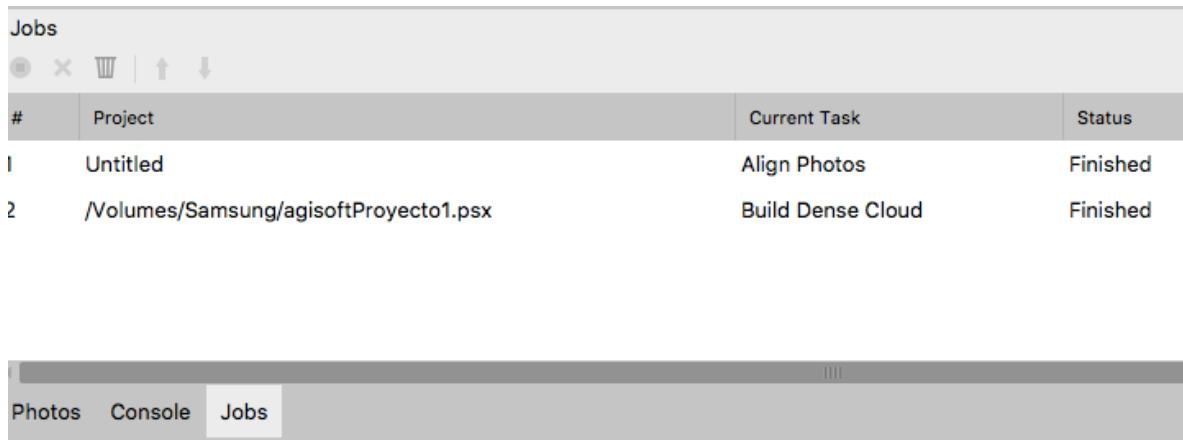


Figura 141. Opciones para la creación de la nube de puntos.

Cuando haya finalizado podrá observar la finalización del proceso en la pestaña “Jobs”, tal como se muestra en la Figura 142.



Jobs			
#	Project	Current Task	Status
1	Untitled	Align Photos	Finished
2	/Volumes/Samsung/agisoftProyecto1.psx	Build Dense Cloud	Finished

Figura 142. Lista del estado de los procesos.

#### 4.4.3 Construcción de Modelo de Elevación Digital

Una vez finalizada la creación de la nube de puntos, podrá crear el DEM desde el menú Workflow/Build DEM... (Figura 143)

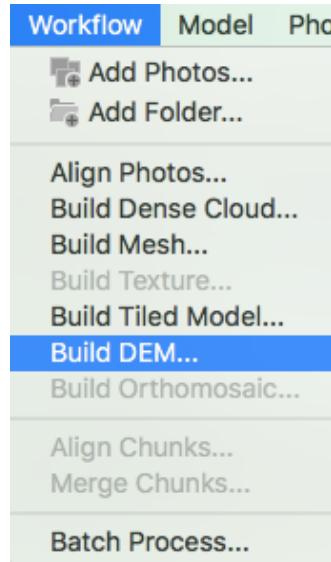


Figura 143. Construcción del Modelo de Elevación Digital desde el menú Workflow.

Se abrirá una ventana donde deberá indicar los parámetros para la creación del Modelo de Elevación Digital (Figura 144). Los parámetros que debe establecer son: el sistema de coordenadas (recuerde tener siempre orden respecto al sistema de coordenadas de las fotografías y de los puntos de control, si los tiene), la fuente de la información para la creación del MED (en este caso la nube de puntos) y habilitar la interpolación. Adicionalmente puede optar por seleccionar cuáles puntos utilizar (esto es importante, el programa permite hacer una clasificación de la nube de puntos para así diferenciar

aquellos que son “ground” o suelo y que el MED creado sea realmente un Modelo de Elevación Digital y no un modelo de superficie, por ejemplo), y parámetros de la región (por ejemplo, si quiere crear el MED para una porción de la zona de estudio), así como determinar la resolución y el tamaño de pixel, en caso de que tenga limitante de espacio de almacenamiento, por ejemplo.

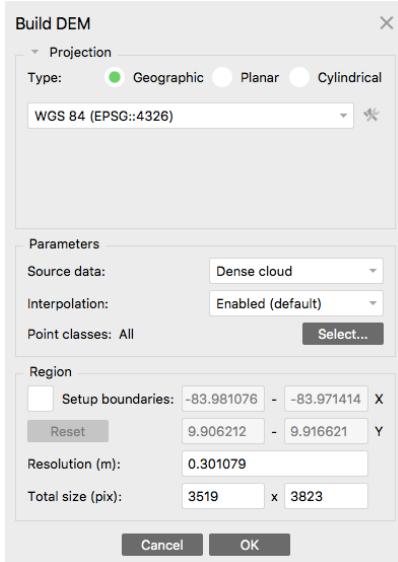


Figura 144. Ventana para la creación del Modelo de Elevación Digital

Cuando presiona el botón OK, se desplegará una ventana que indica el avance del procesamiento y en la pestaña Jobs podrá observar el estado del proceso.

#### 4.4.4. Construcción de orto-mosaico

Una vez creado el MED, podrá construir el orto-mosaico, desde el menú Workflow/Build Orthomosaic.

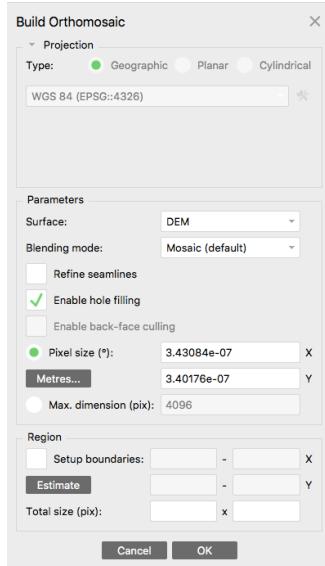


Figura 145. Parámetros para construir el orto-mosaico.

En la figura anterior se observa el uso del MED como modelo de superficie, “blending mode” tiene que ver con la manera cómo se va a combinar los pixeles de los diferentes pixeles de las fotografías y la opción “enable hole filling” sirve para solventar el ruido salpicante que pueda resultar.

#### 4.4.5 Exportar resultados

Una vez que inicie el proceso podrá observar su avance en una ventana y cuando haya finalizado podrá observarlo desde la pestaña “Jobs”.

En el menú File/Export podrá observar varias opciones para exportar diversos productos (Figura 146).

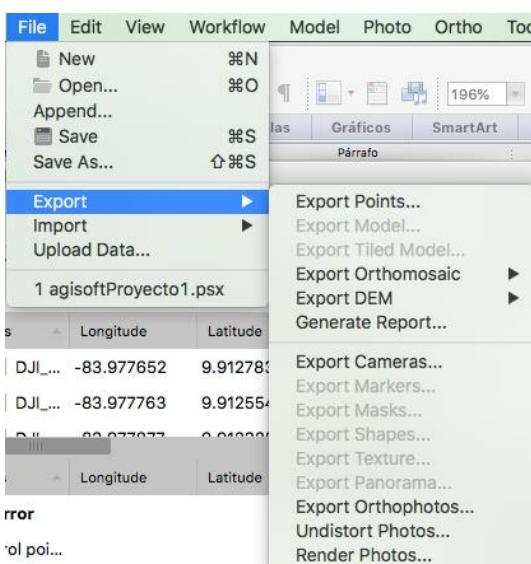


Figura 146. Opciones disponibles para exportar diferentes productos.

En la Figura 147 se observa el tipo de archivos que se puede generar para exportar el orto-mosaico. Nótese que puede exportar el orto-mosaico como “KMZ”, esto implica que puede ser abierto en Google Earth.

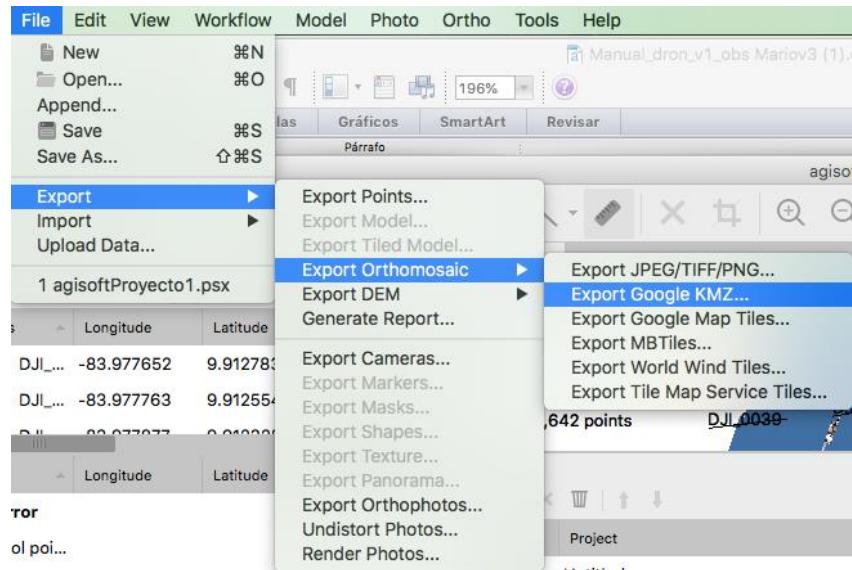


Figura 147. Tipos de archivos que se pueden seleccionar para exportar el orto-mosaico.

En la Figura 148 se observa las opciones para exportar el orto-mosaico como archivo de imagen TIFF.

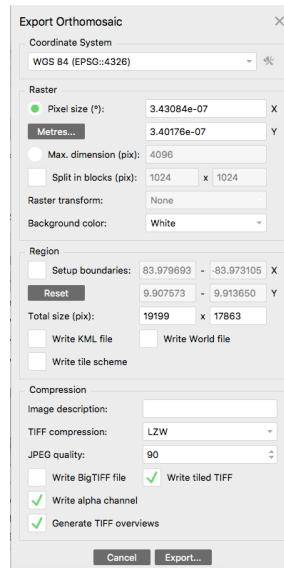


Figura 148. Opciones para exportar el orto-mosaico como archivo TIFF.

#### 4.5 Comparación de resultados en diferentes software

Es difícil determinar cuál es el mejor software para obtener orto-mosaicos y/o modelos de elevación. Existen muchas variables que se pueden tomar en consideración, por ejemplo precio, requerimientos del sistema, acceso y velocidad de internet, entre otras.

A continuación se muestra información respecto a diferentes precios de los software más utilizados para la creación de orto-mosaicos y modelos de elevación digital. En el cuadro 2 se muestra la comparación respecto a precios.

Cuadro 2. Comparación de diferentes programas para procesar las imágenes.

Software	Precio en dólares	Observaciones
WebODM	Gratis, \$47, \$97, \$79, \$159	La versión gratuita lo es para usuarios que sepan hacer instalaciones a través del uso de cmd. Los otros precios varían dependiendo del sistema operativo que se utilice o si corresponde para una empresa o un usuario.
DroneMapper	\$60/año, \$999, \$1 499	En la versión más económica se tienen ciertas restricciones.
Pix4D	291 - 350 \$/mes	El precio depende si se contrata el año entero o si se va pagando mes a mes según las necesidades del usuario. Tiene una opción para empresas, sin embargo el precio se da a conocer previo contacto.
Agisoft photoscan	\$179 - \$3 499 Licencia educativa: \$59 - 549	Hay dos versiones: Standard y Professional. La primera es más barata pero tiene muchas limitaciones, por ejemplo no genera un dms/dmt.

De los programas anteriormente considerados el más barato es WebODM. Sin embargo este programa consume muchos recursos de la computadora. Por ejemplo, en una computadora con 8 GB de RAM se puede configurar de manera que pueda procesar entre 26 y 30 imágenes con buenos resultados, es decir un orto-mosaico de alta calidad. Sin embargo, para proyectos con más imágenes se debe configurar el programa para reducir el tamaño de las imágenes perdiendo calidad. Empero, esa “calidad” es subjetiva, ya que depende de lo que el usuario necesita.

Un aspecto muy importante a considerar, es la toma de puntos de control en campo, ya que, si se comparan los resultados de los diferentes programas se detectan desplazamientos importantes entre los productos. Para disminuir ese sesgo es necesario, por tanto utilizar puntos de control.

En un vuelo donde se tomaron 82 imágenes con un traslape de 65%, se obtuvo los resultados que se muestran en el siguiente cuadro comparativo.

Cuadro 3. Comparación de resultados en tres diferentes softwares.

Aspecto	Pix4D	Web ODM	PrecisionMapper
Orto-mosaico vista general			
Orto-mosaico zoom 1			
Orto-mosaico zoom 2 (escala 1:30)			
DMS (msnm)	9.7 - 24.3	15.81 - 41.93	2.3 - 36.9
DTM (msnm)	9.7 - 21.6	15.65 - 41.93	No lo genera

A escala 1:30 se ven muchas diferencias sobre todo en el WebODM. Precisamente por lo comentado anteriormente, sin embargo, en ese software se puede obtener un mejor resultado como el que se muestra en la figura 149.



Figura 149. Escala 1:30 obtenido con WebODM.

La diferencia entre los productos de WebODM se debe a la cantidad de imágenes y las opciones de procesamiento. La imagen presentada en el cuadro a escala 1:30 corresponde al procesamiento de 82 imágenes con una reducción en la calidad de las imágenes para poder procesarlas todas a la vez, mientras que la presentada en la figura anterior corresponde a la misma escala, pero con una alta calidad y un procesamiento total de 24 imágenes.

Las diferencias entre los productos DMS y DMT se pueden ver atenuados con puntos de control que contemplen el dato de altitud.

En la Figura 150 se observa un resumen esquemático del proceso descrito anteriormente.

#### 4.6 Resumen del flujo de trabajo



Figura 150. Flujo de trabajo con VANTs.

## 5. Quinta Parte: Generación de productos avanzados en QGIS

### 5.1. Clasificación de imágenes

Se puede llevar a cabo una clasificación supervisada o no supervisada. Para efectos de este manual se presentará la clasificación supervisada utilizando la herramienta “Semi Automatic Classification Plugin” desarrollada por Congedo (s.f.).

El primer paso es descargar e instalar el complemento o plugin desde el menú Plugins/Manage and Install Plugins. Una vez abierto se debe buscar el complemento por su nombre y cuando se haya encontrado, presionar sobre él y luego presionar el botón correspondiente para instalarlo. Cuando se haya instalado se podrá observar un menú nuevo denominado “SCP”.

Para poder utilizar esta herramienta se debe, primero, dividir las bandas que componen la imagen que se va a utilizar. Por lo general se van a obtener imágenes .jpg RGB. Esto quiere decir que las imágenes tendrán información específica para la banda roja, verde y azul del espectro electromagnético. Dicha información se requiere por aparte, es decir un archivo ráster con la información de la banda roja, otro ráster con la de la banda verde y otra con la de la banda azul. Para poder hacer la separación de las bandas se va a utilizar la herramienta “Translate” disponible en el menú Raster/Conversion. Una vez abierta la herramienta se podrá indicar la capa ráster de entrada, es decir el orto-mosaico, y el archivo de salida (su ubicación y nombre). Primero se va a hacer el proceso para separar la banda roja, es decir la primera banda, por tanto, el nombre del archivo de salida será “red\_band”. Luego se debe presionar el botón que asemeja un lápiz y digitar “-b 1” entre el nombre del archivo de entrada y el de salida, como se muestra en la Figura 151.

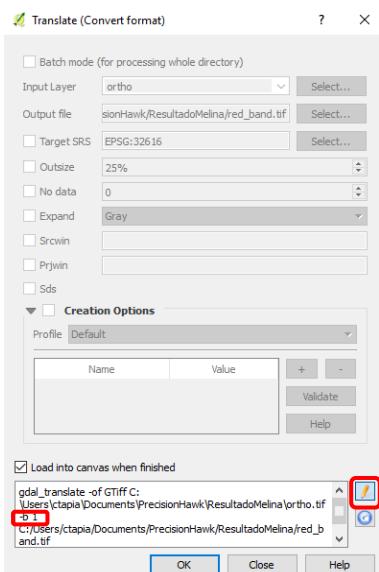


Figura 151. Herramienta y código a agregar para separar la banda R de una imagen multibanda.

Se debe hacer el mismo proceso para la banda verde, o sea, la número dos. Teniendo el cuidado de colocar un nombre adecuado a los archivos de salida (ver Figura 152)

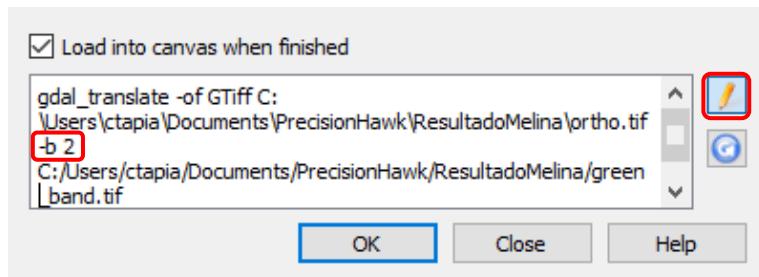


Figura 152. Edición del código para separar la banda G.

También para la banda azul, es decir la 3. Teniendo el cuidado de colocar un nombre adecuado a los archivos de salida, ver Figura 153.

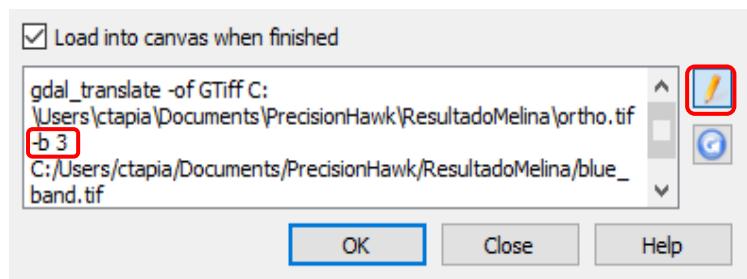


Figura 153. Edición del código para separar la banda B.

De esa manera se tendrán tres archivos ráster nuevos que corresponderán a las bandas R, G y B del orto-mosaico. Éstas podrán ser cargadas a la vista principal de los datos.

Desde el menú SCP seleccione la opción “Band set”. Se abrirá entonces una ventana en la cual podrá especificar las bandas que va a utilizar para hacer la clasificación. En este caso las bandas creadas anteriormente. Se seleccionan las bandas como se muestra en la Figura 154.

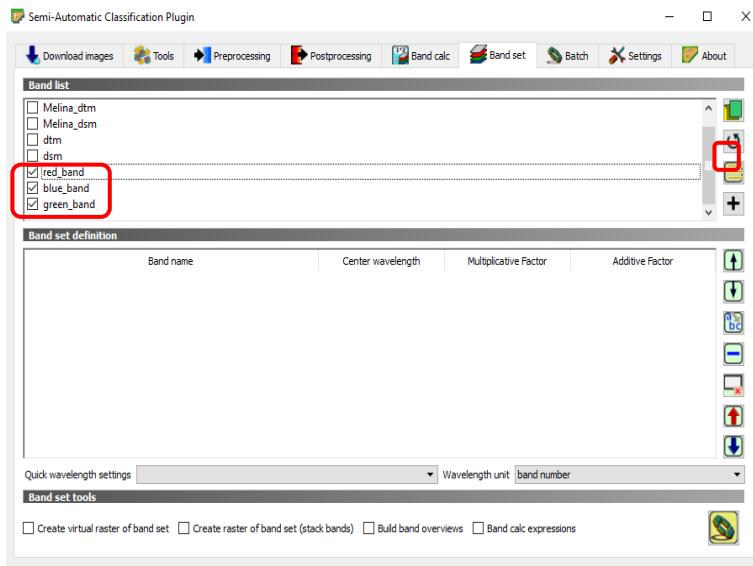


Figura 154. Selección de bandas a utilizar para la clasificación.

Luego se presiona el botón “+” y se podrá visualizar en el espacio “Band Set Definition” las bandas agregadas (Figura 155).

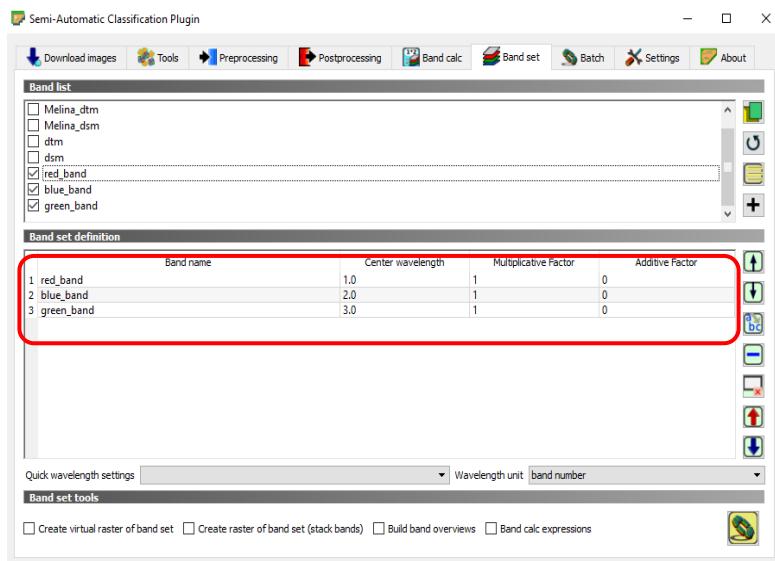


Figura 155. Bandas agregadas para hacer la clasificación.

Como puede observar en la figura anterior se tiene un orden de bandas rojo, azul y verde, sin embargo, éstas tienen que ser rojo, verde y azul. Por lo tanto, se debe seleccionar la banda azul y enseguida el botón con la flecha con dirección hacia abajo para moverla en ese sentido. Así se tendrá la imagen en RGB como debe ser (ver Figura 156).

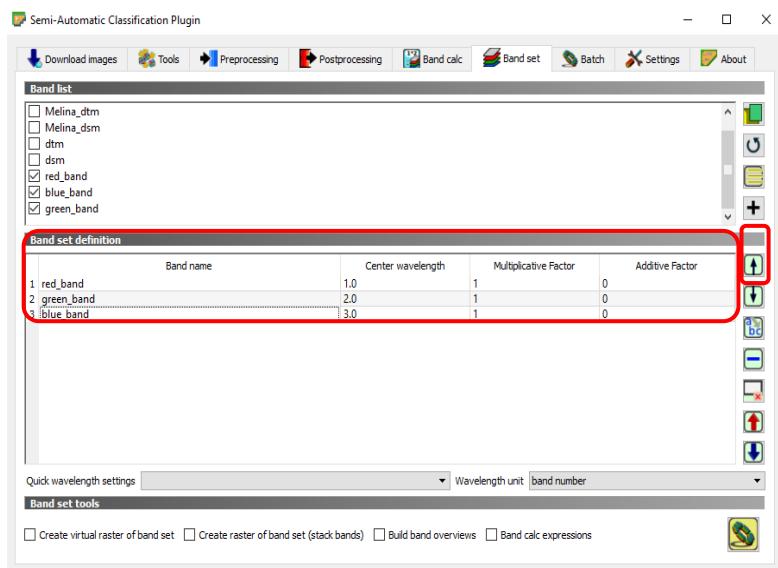


Figura 156. Orden de las bandas RGB.

Se habilita la opción “Create raster of band set (stack bands) y luego el botón para ejecutar el proceso (ver Figura 157).

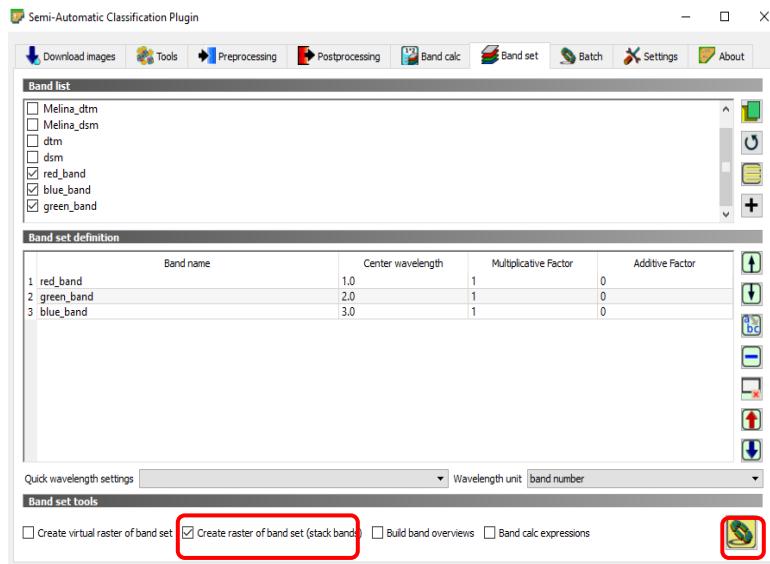


Figura 157. Opciones para crear el archivo con las bandas necesarias para hacer la clasificación.

Es importante recalcar que, si se estuviera trabajando en un proyecto más grande se debe indicar el valor central electromagnético de cada banda. Esta información se puede buscar por internet o en el manual del VANT que se haya utilizado.

Cuando se presiona el botón de ejecutar deberá indicar la carpeta donde se va a guardar el ráster virtual. Se inicia el proceso y se debe esperar a que se genere el ráster virtual.

En la vista principal del programa podrá observar el progreso (ver Figura 158).

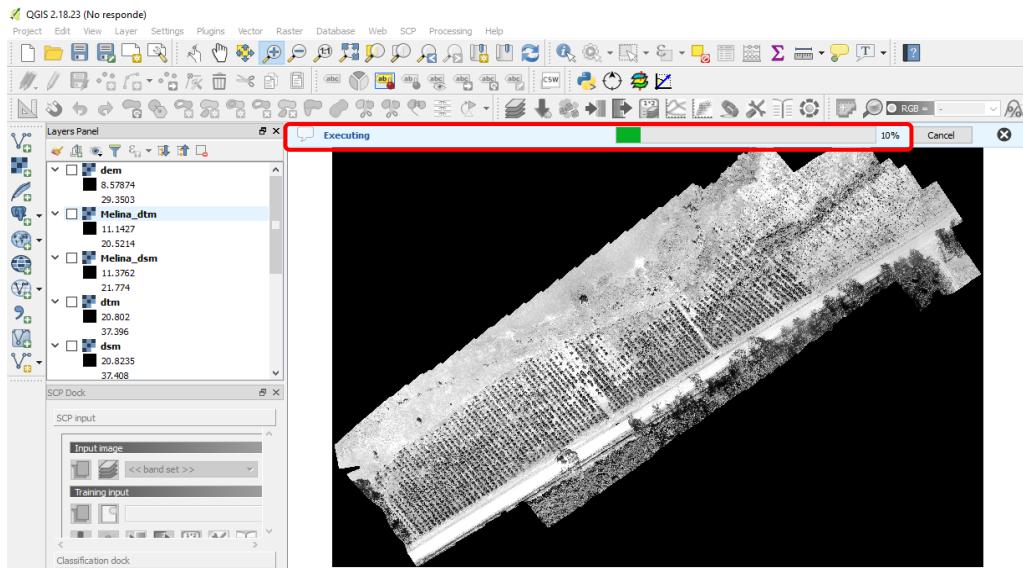


Figura 158. Progreso del procesamiento de las bandas.

Cuando haya finalizado observará la imagen en color verdadero. Si no es así es porque: 1) está visualizando otra capa ó 2) especificó un orden de bandas incorrecto en el paso anterior.

Se deberá crear el archivo que contendrá las áreas de entrenamiento. Esto lo puede hacer desde el panel SCP. Si no lo visualiza lo puede habilitar presionando el botón derecho del mouse sobre la barra de tareas y habilitando “SCP Dock” (Figura 159).

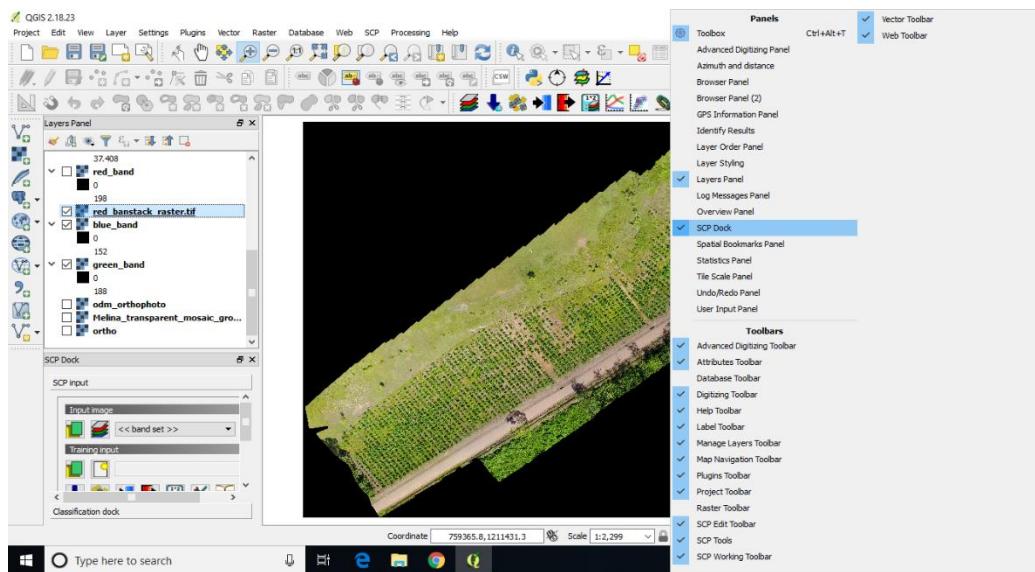


Figura 159. Habilitar SCP Dock para la clasificación del arreglo de bandas creado anteriormente.

Al hacerlo podrá observar el panel SCP (ver Figura 160).

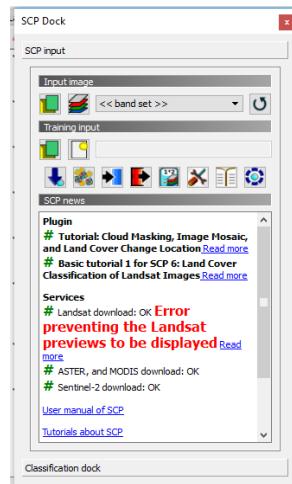


Figura 160. Panel SCP habilitado.

Observe en la figura anterior, que el campo “Input image” especifica “<< Band set >>”. Si presiona sobre el menú desplegable y en la vista de los datos tiene el orto-mosaico como tal, podrá observar que puede seleccionar directamente el orto-mosaico, sin necesidad de separar las bandas. El proceso de separación de bandas se realizó para que usted conociera la herramienta. Es útil cuando quiere hacer clasificaciones utilizando, por

ejemplo algunas bandas y no todas las que se pueden encontrar en una imagen multi-espectral.

En el campo “Training input” seleccione el botón “Create new training input” . Especifique una ubicación y coloque el nombre del nuevo archivo como “AreasEntrenamiento”. Luego presione sobre el campo “Classification Dock” (Figura 161).

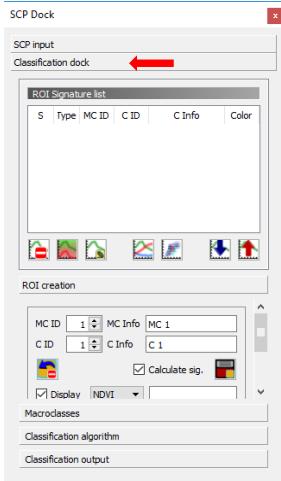


Figura 161. Mostrar las opciones de “Classification Dock”.

Se desplegará todas las herramientas para crear las regiones de interés (ROI: Region of Interest). En el campo “ROI creation” podrá especificar macro-clases y clases. Tanto las Macro-clases como las clases cuentan con un número y un nombre. Las macro-clases que se van a usar son Vegetación (1) y Sin Vegetación (2). En el cuadro 4 se muestra las clases que se consideran para la clasificación.

Cuadro 4. Clases a utilizar para la clasificación

MC ID	MC Info	C ID	C Info
1	Vegetación	1	Pasto
1	Vegetación	2	Copas
2	Sin vegetación	1	Carretera
2	Sin vegetación	2	Suelo desnudo
3	Sombras	1	Sombras

Para crear las regiones de interés debe indicar la (1) información de la macro-clase y la clase, luego presionar sobre el botón (2) “Create ROI polygon”, (3) digitalizar el polígono de la clase y (4) cuando haya finalizado presionar sobre el botón “Save temporary ROI to training input”. En la Figura 162 se muestra el proceso.

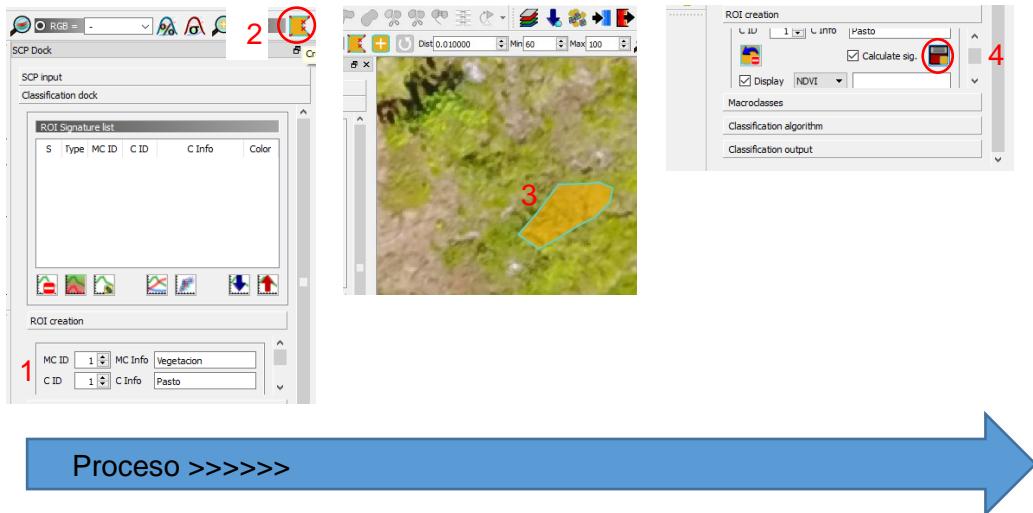


Figura 162. Pasos para la creación del área de entrenamiento de una clase.

Se digitalizan las áreas de entrenamiento para la misma clase, posteriormente se seleccionan, y se unen en una sola firma. Cuando se haya creado, deberá eliminarlas y dejar únicamente la firma unificada. En la Figura 163 se observa las firmas espectrales de las áreas de entrenamiento para la clase de pastos y el botón que se utiliza para unificarlas.

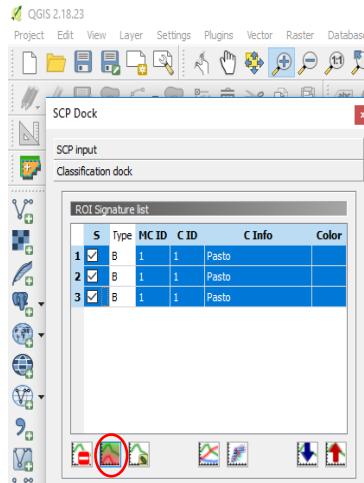


Figura 163. Selección y unificación de firmas de la misma clase.

En la Figura 164 se muestra las firmas finalizadas, llegado a este punto se debe seleccionar el algoritmo a utilizar y puede optar por las opciones de creación de vector y un reporte. Finalmente se presiona el botón para ejecutar la herramienta.

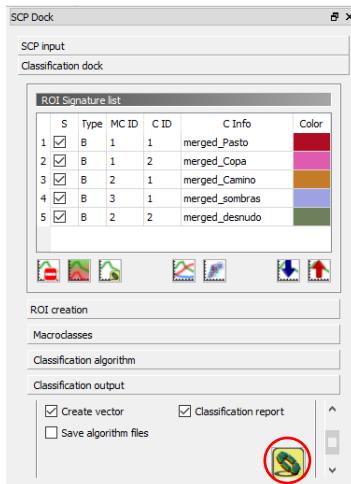


Figura 164. Selección de opciones y botón para ejecutar la clasificación.

Se abrirá una ventana donde deberá indicar la ubicación y el nombre del archivo de clasificación. El proceso puede tardar mucho tiempo, depende de las capacidades de la computadora, así como del archivo que está clasificando. Es importante resaltar que este tipo de clasificación no es recomendable para imágenes RGB, porque la información de firma espectral es muy limitada y es más propenso a que se confundan diferentes clases.

Otra opción es hacer una clasificación no supervisada de imágenes, sin embargo es probable que se encuentren problemas de clasificación si se utiliza un orto-mosaico RGB por la razón expuesta anteriormente. El proceso de clasificación no supervisada se explica en la sección 5.3.1

## 5.2. Digitalización de información

La información de los orto-mosaicos se puede digitalizar de una manera sencilla utilizando QGIS. Dicha información se puede almacenar como capas vectoriales shapefile de puntos, líneas o polígonos.

Debe cargar el orto-mosaico que haya generado con algún programa previamente y luego crear las capas que requiera desde el menú Layer/Create Layer/New Shapefile Layer tal como se muestra en la Figura 165.

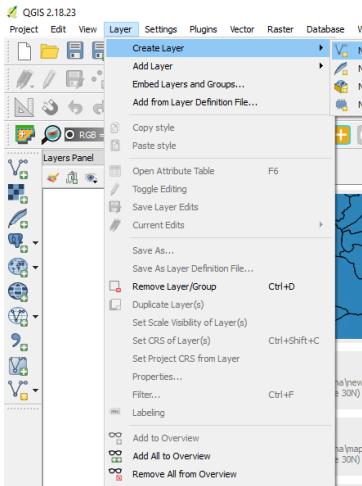


Figura 165. Herramienta para la creación de un nuevo shapefile

Se abrirá una ventana en la cual deberá indicar si desea crear un shapefile de punto, línea o polígono. Adicionalmente puede crear las columnas que desea tenga la capa vectorial, debe asegurarse de cambiar el sistema de coordenadas por aquel que tenga el ortomosaico (Figura 166).

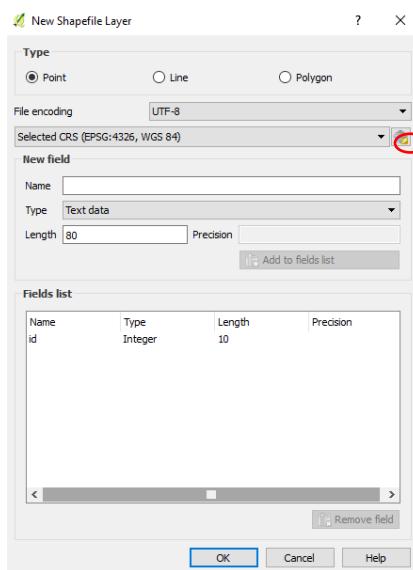


Figura 166. Creación de una capa vectorial desde QGIS.

Posteriormente deberá indicar un nombre y una ubicación para el nuevo archivo. Se agregará al proyecto la nueva capa, y para iniciar la digitalización deberá indicar que desea hacer la capa editable. Para ello seleccione la nueva capa y presione el botón secundario del mouse, posteriormente elija la opción “Toggle Editing”. Podrá tener a su disposición las herramientas de digitalización, si no las observa puede activarlas desde el menú View/Toolbars. Allí podrá seleccionar la opción de “Digitizing Toolbar” e incluso “Advanced Digitizing Toolbar” (ver figura 167).

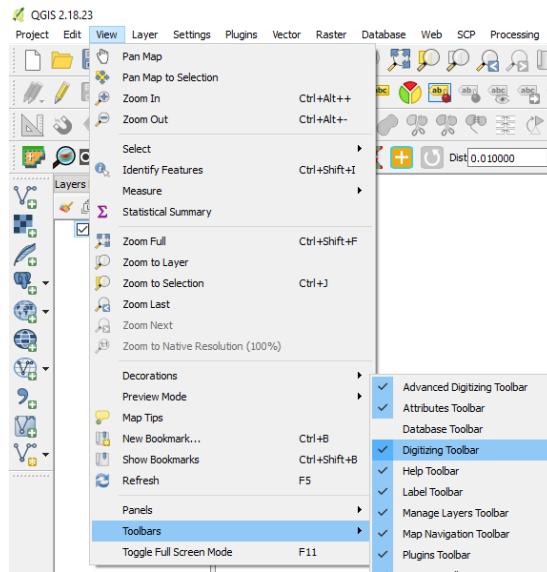


Figura 167. Habilitar las herramientas para la digitalización en pantalla.

Con dichas herramientas podrá crear nuevos elementos.

### 5.3 Álgebra de mapas

El álgebra de mapas en este contexto se puede utilizar para mejorar la precisión de los modelos de elevación, ubicar los árboles de la plantación, estimar alturas de árboles, y estimar índices de vegetación.

### 5.3.1 Ubicación de árboles de una plantación forestal.

En esta sección se presentan tres métodos para obtener un archivo de puntos que represente la ubicación de los árboles a partir de un orto-mosaico y/o un Modelo Digital de Superficie (en la sección 5.3.2 se detalla sobre estos). En la Figura 168 se muestra el esquema general de los tres métodos que se explican posteriormente.

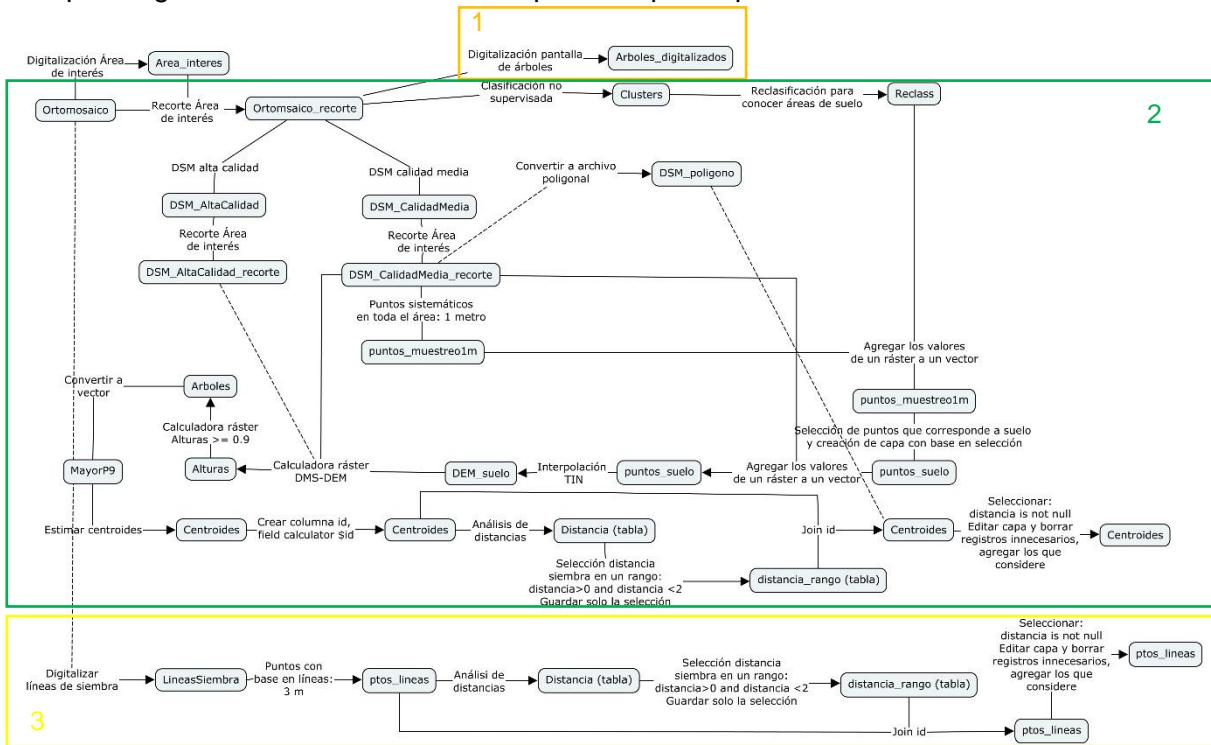


Figura 168. Esquema general de los métodos que se pueden utilizar para crear un archivo de puntos en el cual se observe la ubicación de los árboles.

En la Figura anterior se muestra en casillas rectangulares redondeadas celestes los nombres de las capas, los procesos se encuentran descritos entre las figuras que representan las capas de información y las líneas punteadas corresponden a procesos que pueden ser opcionales.

El método 1 consiste en la digitalización en pantalla de los árboles como un archivo vectorial de puntos. Desde el menú Layer/Create Layer/ New shapefile Layer se hace la creación del archivo de puntos como tal, y se utilizan las herramientas de edición para la digitalización en pantalla, en la Figura 169 se muestra el resultado.



Figura 169. Ubicación de árboles digitalizados como puntos sobre el orto-mosaico.

La digitalización puede hacerse sobre el orto-mosaico generado, o bien, con un recorte del área de interés. Este método es confiable, dependiendo de las habilidades de fotointerpretación, así como la calidad del orto-mosaico. Sin embargo, puede llegar a ser un proceso muy lento y tedioso, si el área es extensa.

El método 2, es el más extenso en términos de los procesos que se deben llevar a cabo y requiere una mayor habilidad en el manejo de datos en un SIG para obtener el resultado final deseado. Sin embargo, este método ofrece información que puede ser utilizada posteriormente, por ejemplo para estimar alturas de árboles. En este método se encuentra un procedimiento opcional, esto es cuando se cuenta con un Modelo Digital de Superficie (DSM) de alta calidad. Se entiende como de alta calidad al DSM que proviene de un vuelo cuando se estaba preparando el terreno para la siembra. En este caso, el DSM del área de interés será el Modelo de Elevación Digital del terreno, al no existir ninguna vegetación se considera que es de alta calidad. Si no se tiene un DSM de alta calidad que pueda ser utilizado como DEM se deberá estimar un DEM con base en una clasificación de la imagen e interpolación de alturas de aquellos puntos que se consideren suelo desnudo. Este proceso se muestra a continuación. En la siguiente figura se observa el orto-mosaico y el Modelo Digital de Superficie (DSM).

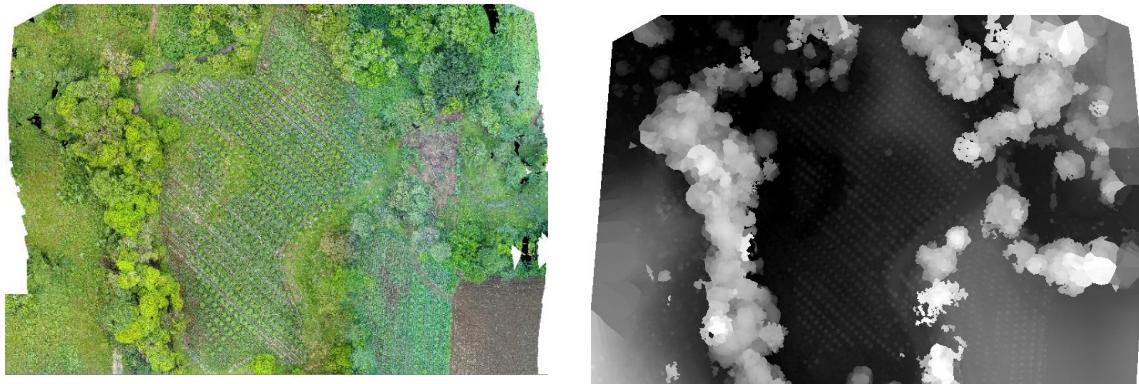


Figura 170. Comparación de orto-mosaico y DSM.

Con el fin de poder agilizar el proceso de estimación de alturas, es ideal cortar el DSM. Para ello se puede digitalizar en pantalla el área de producción, en este caso de la plantación forestal (Figura 171).



Figura 171. Digitalización en pantalla del área productiva a analizar.

Abra la herramienta Clipper del menú Raster/Extraction. Se abrirá una nueva ventana como la que se muestra en la figura 172, en ella deberá indicar el archivo de entrada (el archivo DSM), la ubicación y nombre del archivo de salida, el modo de recorte (en este caso, Mask Layer porque se va a utilizar la digitalización del área de plantación) y la opción “Crop the extent of the target dataset to the extent of the cutline” para que se respete el contorno de la máscara. Adicionalmente puede mantener la resolución espacial del archivo de entrada con la opción “Keep resolution of input raster” y presionar el botón OK (Figura 172).

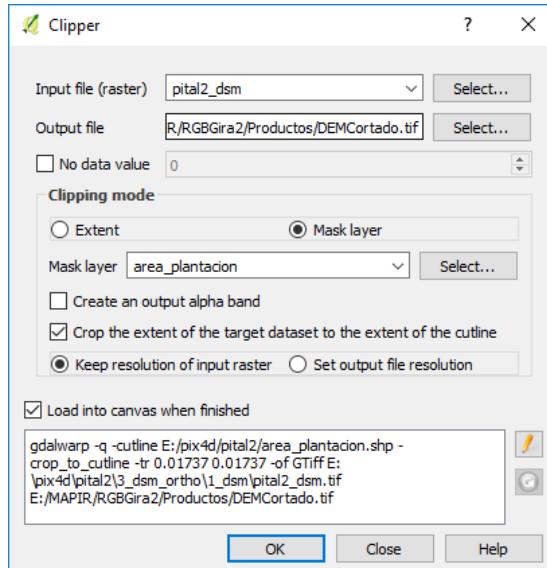


Figura 172. Herramienta para recortar el DSM con base en el polígono de áreas de plantación.

En la figura 173 se muestra el resultado del recorte.



Figura 173. DSM recortado.

Si en la plantación aún se distinguen claramente las copas de los árboles, es decir si el dosel no se ha cerrado, puede usar la herramienta para convertir el DSM recortado en un archivo de polígonos, desde el menú Raster/Conversion/Polygonize. Se abrirá una ventana en la cual deberá indicar la capa de entrada (el DSM recortado), el archivo de salida y podrá habilitar la opción “Field name” y colocar el nombre de la columna que guardará la información del DSM recortado, luego presione sobre el botón OK (ver Figura 174).

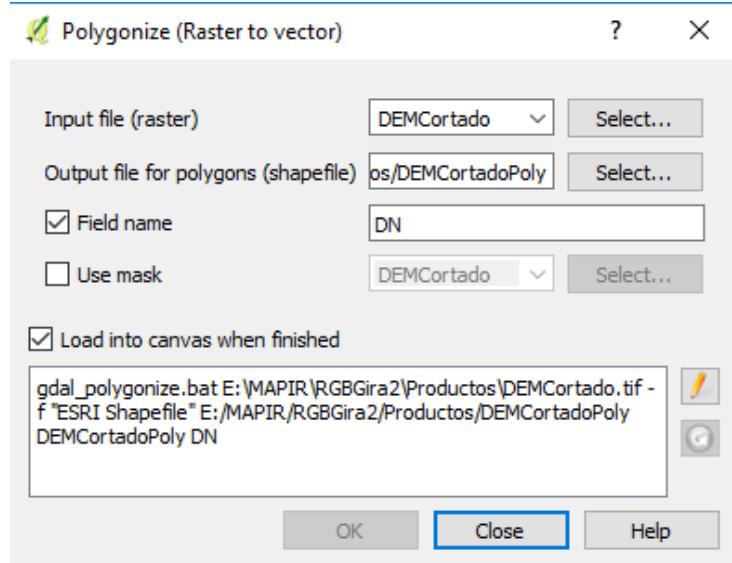


Figura 174. Herramienta para convertir el archivo DSM recortado en un vector poligonal.

En la figura 175 se observa el resultado.

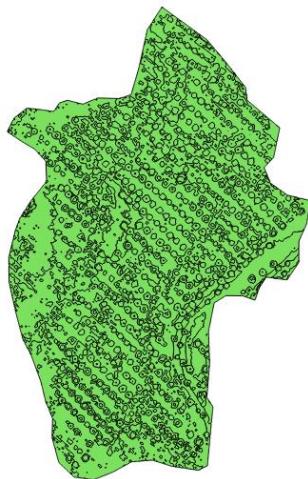


Figura 175. Resultado de la conversión del archivo raster a polígono.

Posteriormente puede estimar el centroide de los polígonos con la herramienta Polygon centroids desde el menú Vector/Geometry Tools. Se abrirá una ventana en la cual deberá indicar el archivo de polígono y el archivo de salida (Figura 176).

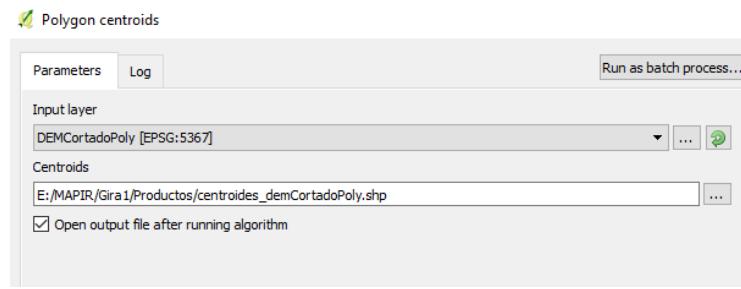


Figura 176. Herramienta para estimar los centroides de los polígonos del archivo de entrada.

Se obtendrá un archivo de salida como el que se muestra en la siguiente figura.



Figura 177. Centroides estimados del archivo de polígono.

Llegado a este punto puede, opcionalmente ir a la “limpieza de centroides”, esto se explica en detalle más adelante.

Abra el programa SAGA y desde el menú File/Grid/Load cargue el orto-mosaico (Figura 178).

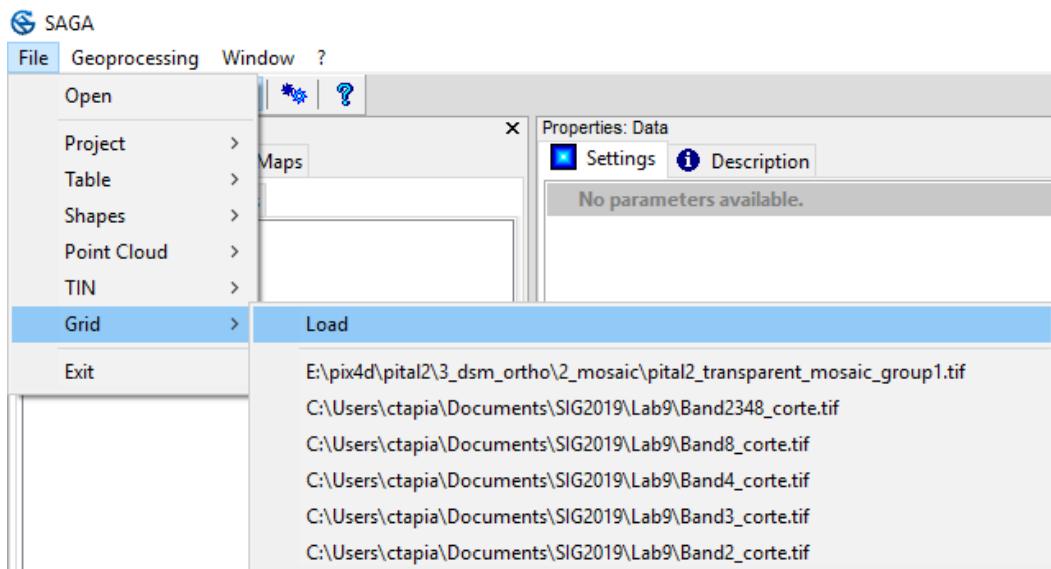


Figura 178. Cargar orto-mosaico en SAGA.

Deberá agregar las tres bandas del orto-mosaico y presionar sobre el botón “Okay” (Figura 179).

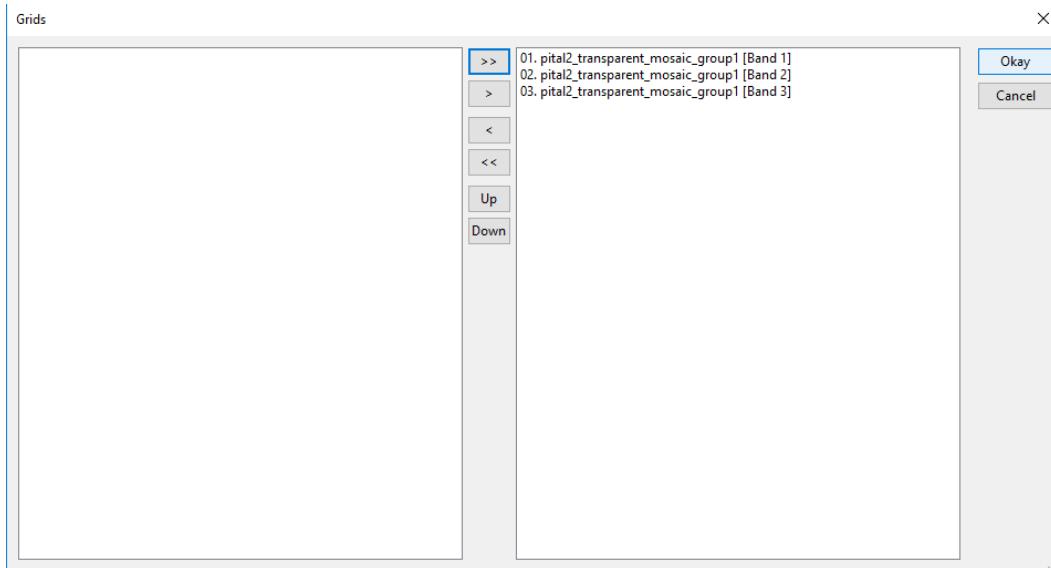


Figura 179. Selección de las bandas del orto-mosaico para cargar en SAGA.

Desde la pestaña Tools/Imagery/Classification ejecute la herramienta K-means Clustering for Grids (Figura 180).

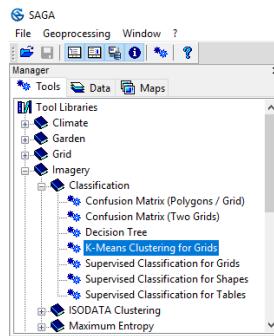


Figura 180. Herramienta para clasificación no supervisada de orto-mosaico.

Se abrirá una nueva ventana en la cual se deberá especificar dónde está la información de entrada, las bandas que se van a utilizar, la cantidad de clusters o grupos que desea el algoritmo identifique y luego el botón “Okay” (Figura 181).

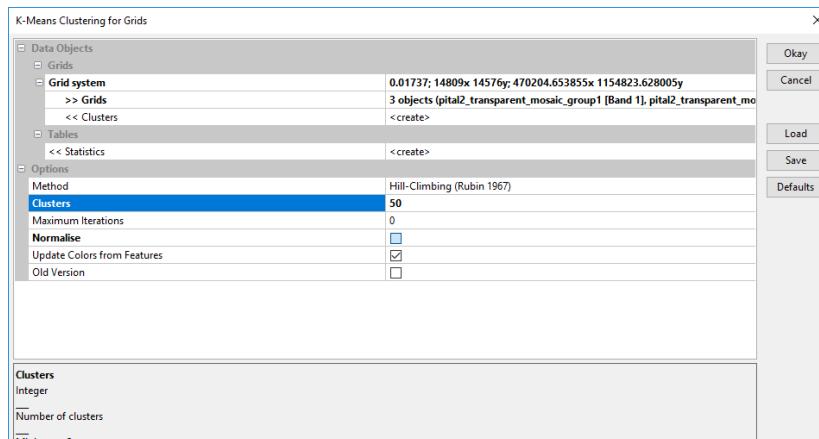


Figura 181. Clasificación no supervisada de orto-mosaico utilizando 50 clusters.

Cuando el algoritmo haya finalizado podrá observar un mensaje en “Messages”, parte inferior del programa. Cuando haya terminado, desde la pestaña “Data” podrá seleccionar la capa resultado y guardarla (Figura 182).

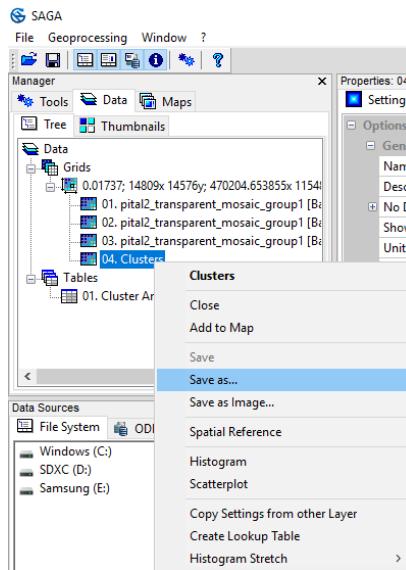


Figura 182. Guardar el resultado de la clasificación en SAGA.

Una vez que la haya guardado, cierre el programa SAGA. En QGIS abra el resultado y compare los resultados con la imagen del orto-mosaico. El objetivo es identificar cuáles “clusters” corresponden a suelo desnudo con el fin de poder generar un Modelo de Elevación Digital para el área de interés. Para identificar los “clusters” puede usar la herramienta “Identify”. Una vez que haya identificado los “clusters” que corresponden a suelo, proceda a reclasificar el archivo de “clusters” generado anteriormente. Desde el menú Processing/Toolbox busque la herramienta “Reclassify values” (ver Figura 183).

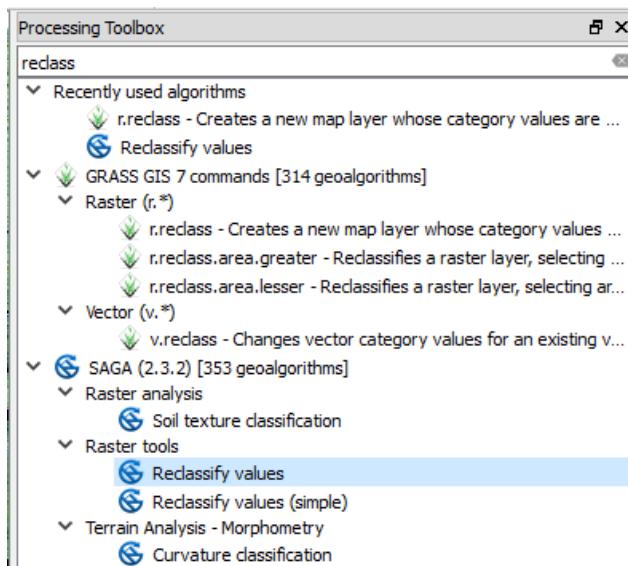


Figura 183. Búsqueda de herramienta Reclassify values de SAGA.

Se abrirá una ventana en la cual podrá indicar el método a utilizar para hacer la reclasificación, se recomienda utilizar el método 2, el cual corresponde a utilizar una tabla (“simple table”) como se muestra en la siguiente Figura.



Figura 184. Selección del método 2 para la reclasificación en SAGA.

Desde la opción “Lookup Table” seleccione los tres puntos suspensivos para habilitar la creación de una tabla que permita ingresar los valores que se van a reclasificar (Figura 185).



Figura 185. Opción para crear la tabla de reclasificación.

Complete la información de la tabla de acuerdo a la información que haya recopilado. Los valores que se muestran en la siguiente figura corresponden a aquellos que representan suelo (valores desde 1 hasta 8), los cuales tomarán el valor de 1, mientras que el valor 2 representará valores de “clusters” de otras coberturas.

Fixed table

	minimum	maximum	new	
1	1	8	1	
2	9	40	2	

Add row  
Remove row(s)  
Remove all  
OK  
Cancel

Figura 186. Especificación de valores para reclasificar.

Finalmente debe indicar la ubicación y un nombre para el archivo de la reclasificación. Desde el menú Vector/Research Tools seleccione la herramienta “Regular points” (Figura 187).

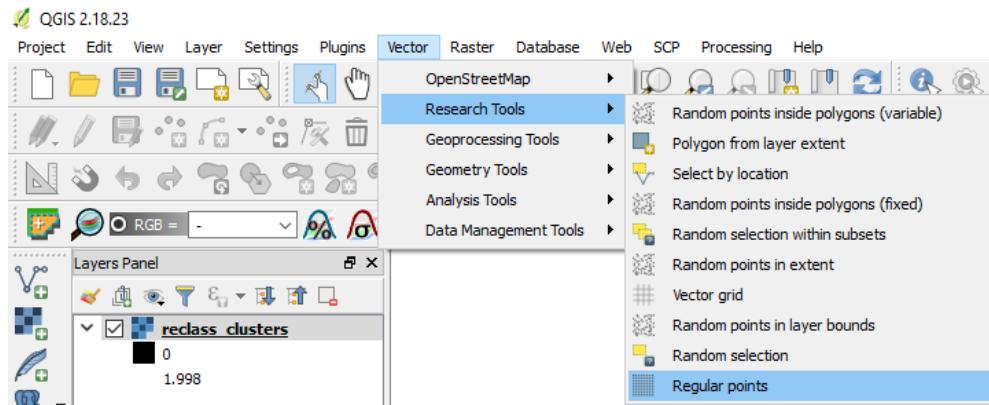


Figura 187. Herramienta para la creación de puntos sistemáticos.

Se abrirá una nueva ventana en la cual deberá indicar la extensión que tendrá la nueva capa (misma extensión del archivo de reclasificación), un distanciamiento de 1 metro, la ubicación del archivo nuevo a crear y el botón “Run” (Figura 188)

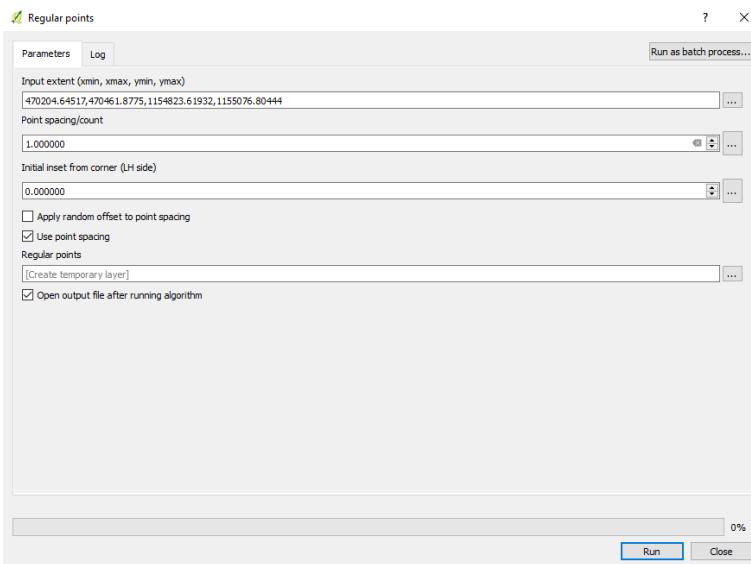


Figura 188. Herramienta para crear un archivo de puntos sistemático.

Una vez que se obtenga la capa resultante puede buscar la herramienta “Add raster values to features”, disponible desde el menú Processing/Toolbox. Al ejecutarlo, se abrirá una ventana como la que se muestra en la siguiente figura. En ella deberá indicar el shape de los puntos creados anteriormente como capa de entrada vectorial, la capa ráster reclasificada en “Grids”, la ubicación y nombre de la capa a crear y presionar sobre el botón “Run”.

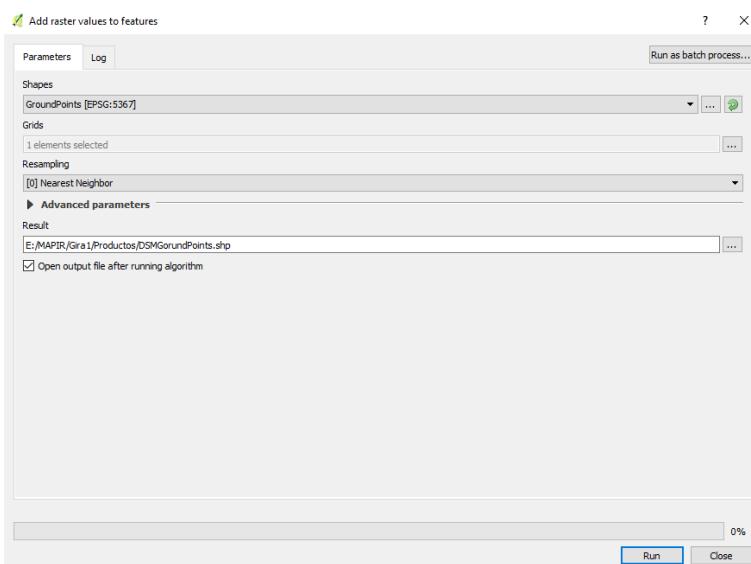


Figura 189. Herramienta para asignar valores de un archivo raster a una capa vectorial.

Cuando haya finalizado, proceda a abrir la tabla de atributos y ejecute la herramienta “Select features using an expression” para crear una expresión que seleccione aquellos puntos que tengan un valor de 1 en la columna que contiene la información de la reclasificación (Figura 190).

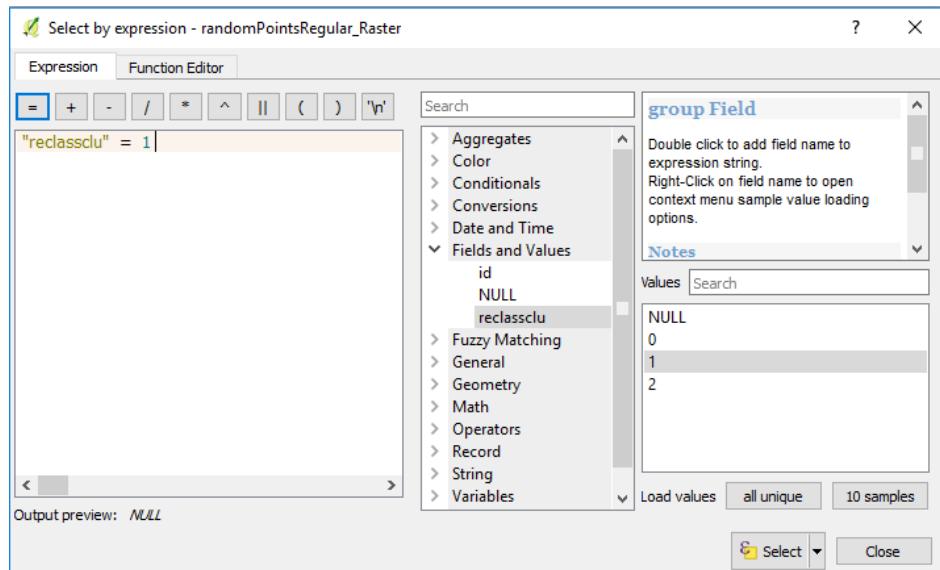


Figura 190. Herramienta para seleccionar elementos de una capa basado en una expresión lógica.

El resultado se muestra en la siguiente figura.

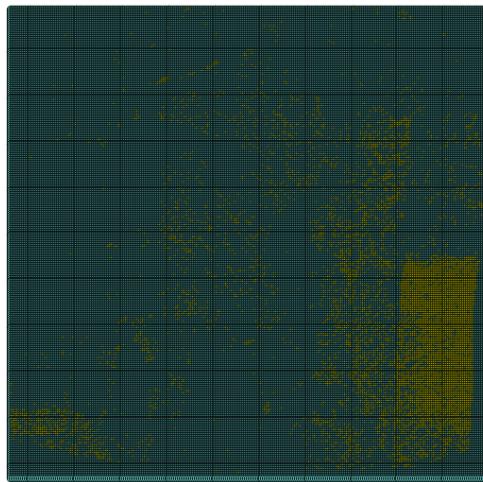


Figura 191. Elementos seleccionados que cumplen con la expresión.

Una vez que se hayan seleccionado los elementos proceda a crear una nueva capa con la selección, haciendo clic secundario sobre el nombre de la capa y seleccionando la opción “Save as...”. Se abrirá una ventana como la que se muestra en la Figura 192, en ella deberá especificar el tipo de archivo de salida, la ubicación y nombre del nuevo archivo, el sistema de coordenadas, la opción “Save only selected features” para asegurarse que se va a guardar únicamente los elementos seleccionados y el botón “OK”.

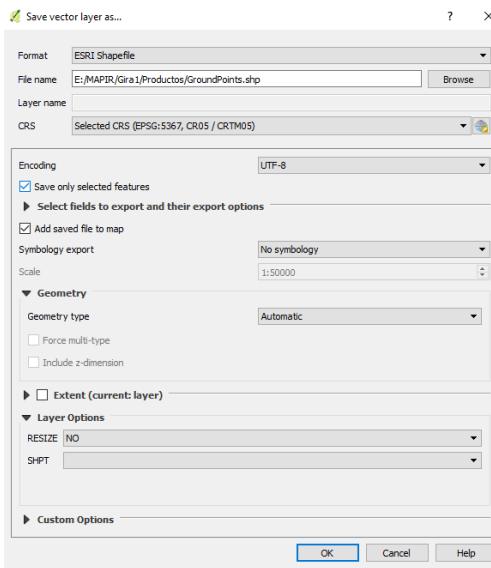


Figura 192. Herramienta para guardar la selección hecha sobre una capa.

En la siguiente figura puede observar el resultado obtenido del procedimiento anterior.

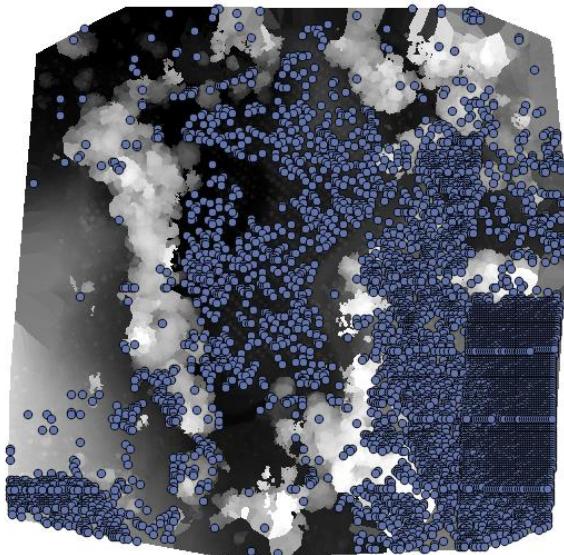


Figura 193. Puntos que representan suelo desnudo en el orto-mosaico.

Los puntos creados anteriormente serán utilizados para crear un DEM, para ello deberá registrar la altura en cada uno de ellos utilizando la herramienta “Add raster values to features” como lo hizo anteriormente. Entonces, al archivo de puntos “GroundPoints” deberá registrar los valores del ráster DSM. Dicha información se utilizará para estimar un Modelo de Elevación Digital (DEM), a través de la herramienta “Interpolation”. Para habilitarla deberá ingresar al menú Plugins/Manage and Install Plugins, buscar y activar el plugin “Interpolation”. Cuando se haya habilitado cierre la ventana y abra la herramienta desde el menú Raster/Interpolation. Indique la capa de entrada, deberá ser los puntos de suelo con la información de alturas, indicar la columna que contiene la dicha información, seleccionar el método de interpolación TIN y el archivo de salida del DEM estimado (Figura 194).

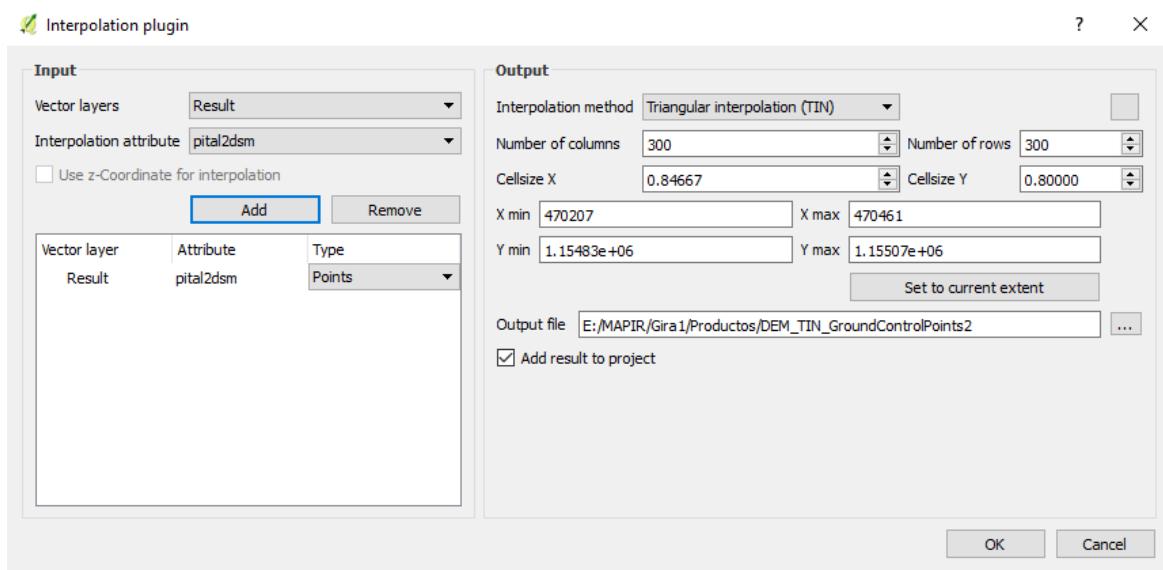


Figura 194. Herramienta para crear un Modelo de Elevación Digital utilizando un archivo de puntos con información de altitud.

Una vez que se obtiene el DEM, puede estimar las “alturas” al restar el DSM – DEM con la calculadora ráster disponible desde el menú Raster/Raster Calculator. Recuerde que si tiene un Modelo de Superficie Digital cuando se preparó el terreno para la siembra, debe utilizar éste en lugar del Modelo de Elevación Digital estimado con el proceso anterior. La capa de salida será un ráster, tal como se muestra en la Figura 195.

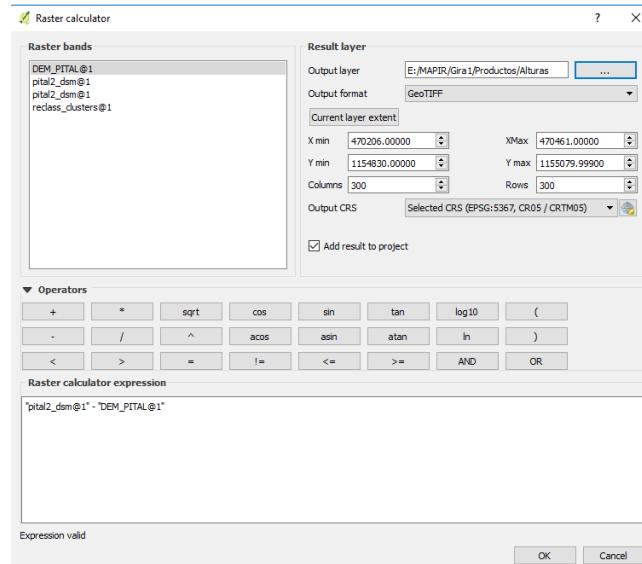


Figura 195. Calculadora ráster para estimar “alturas”.

La capa ráster resultado se observa en la siguiente figura.

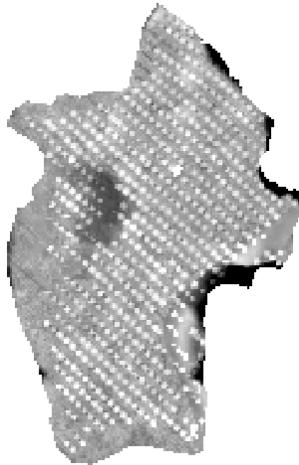


Figura 196. Resultado de la resta entre las alturas del DSM y DEM.

En la figura anterior se puede observar las copas de los árboles con una coloración más blanca, lo que indica una altura mayor. Se utilizará esta información para extraer la ubicación de los árboles, al seleccionar las áreas que tienen una altura mayor o igual a 0.9 metros con la calculadora ráster (Figura 197).

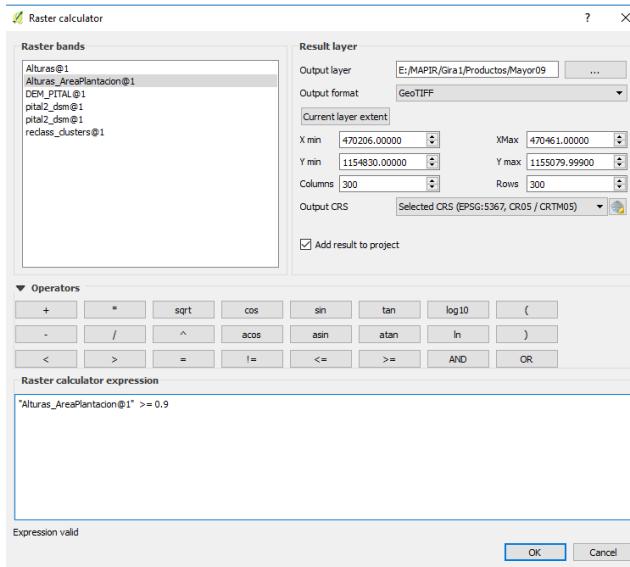


Figura 197. Calculadora ráster para estimar las áreas que son probablemente copas de árboles.

El resultado de la operación será una capa ráster binaria, donde los valores 1 corresponderán a aquellos píxeles que cumplen la condición. En la Figura 198 se muestra el resultado, en él las áreas blancas corresponden a píxeles, o grupos de píxeles con valor de 1.



Figura 198. Resultado de la estimación de áreas con una altura mayor o igual a 0.9 metros.

La estimación de la ubicación de los árboles es evidente. Dependiendo de la especie y las condiciones del terreno, se puede tomar la decisión de disminuir la altura de estimación, por ejemplo, mayor o igual a 0.5 metros. En la Figura 199 se muestra la comparación de las áreas estimadas anteriormente y los árboles digitalizados.

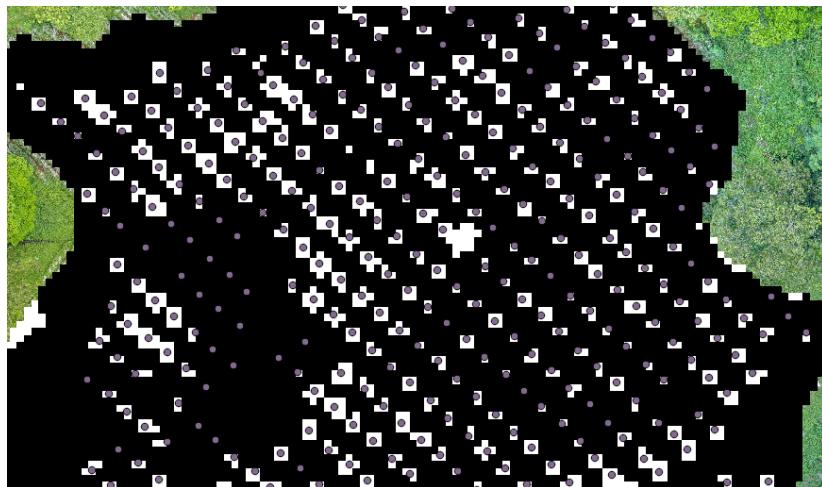


Figura 199. Comparación de la estimación de ubicación de árboles con la calculadora ráster vs digitalización de información.

En la Figura anterior se puede observar algunos árboles que fueron digitalizados y que no se observan en la estimación a través de la calculadora ráster, se podría disminuir la altura de la estimación para tratar de incorporar algunos. El ráster obtenido se puede convertir a un archivo vectorial con la herramienta Raster/Conversion/Polygonize como se muestra en la Figura 200.

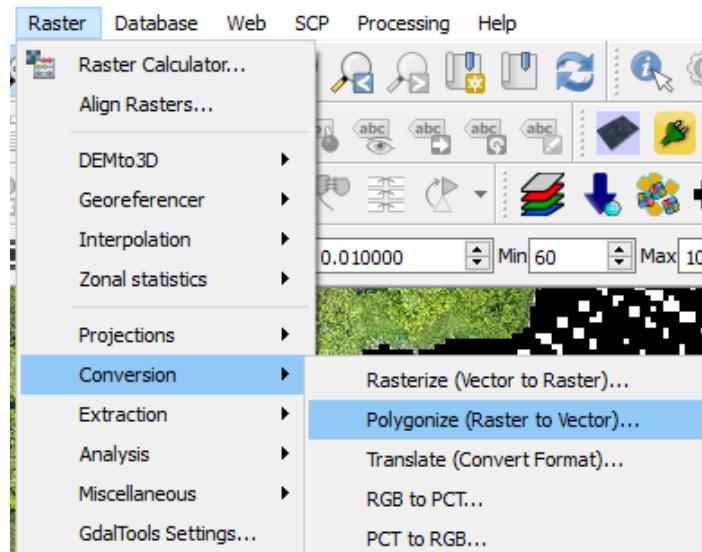


Figura 200. Ubicación de herramienta para convertir el archivo ráster a un archivo poligonal.

En ésta herramienta deberá indicar como archivo de entrada la capa ráster que desea convertir, la ubicación y nombre del archivo de salida y el nombre de la columna que se creará. Finalmente debe presionar sobre el botón OK (Figura 201).

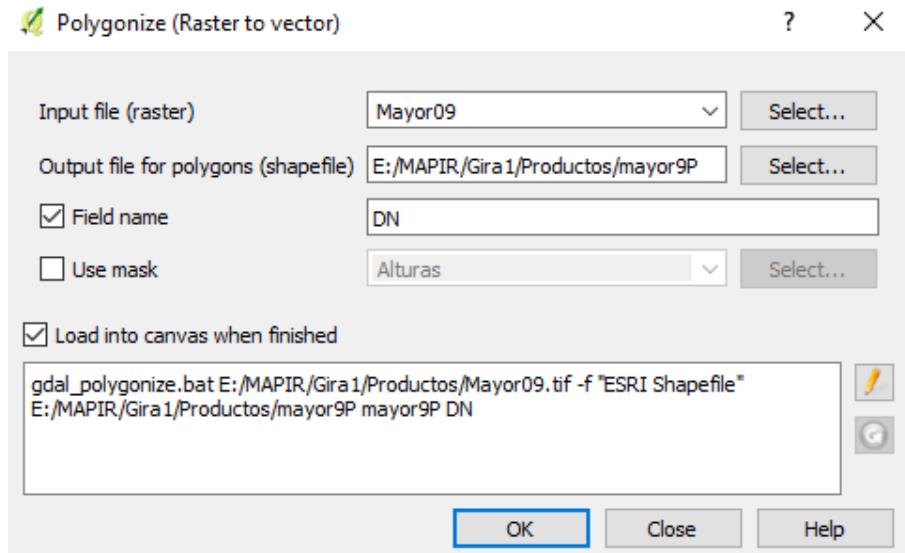


Figura 201. Herramienta de conversión de raster a polígono.

Una vez que se obtiene el archivo poligonal se puede estimar los centroides con la herramienta Vector/Geometry Tools/Polygon centroids. En ella deberá indicar el archivo de entrada de polígono, y el de salida. Finalmente, el botón “Run” para que el proceso se lleve a cabo (Figura 202).

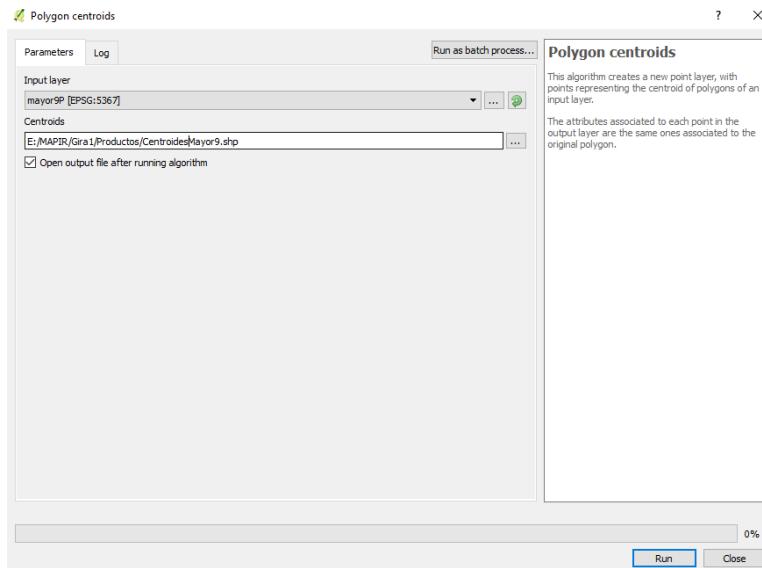


Figura 202. Herramienta para estimar los centroides de los polígonos.

Es importante saber que la estimación de los centroides puede resultar en pérdida de árboles y una posición incorrecta, esto por cuanto puede existir un polígono que contemple dos árboles y el centroide se estimará entre ellos, en la Figura 203 se muestra tres ejemplos de esto.



Figura 203. Ejemplo de pérdida y ubicación incorrecta de árboles.

También puede suceder que se haya estimado la ubicación de un árbol que no sea del área de plantación, sino de árboles remanentes cuya copa se extienda hacia el área de plantación. Se puede hacer una limpieza de éstos árboles al hacer un análisis de las distancias, si los árboles se encuentran muy cerca unos de otros, posiblemente se deba borrar uno de ellos. Se puede editar la capa y compararla con el orto-mosaico para saber cuál de esos puntos debería borrar. A continuación se muestra el proceso para estimar las

distancias de los puntos, primero se debe crear una nueva columna, la cual contendrá información de identificación para cada punto. La nueva columna, será numérica, utilizando “Field Calculator” podrá indicar un número único para cada punto con \$id (Figura 204).

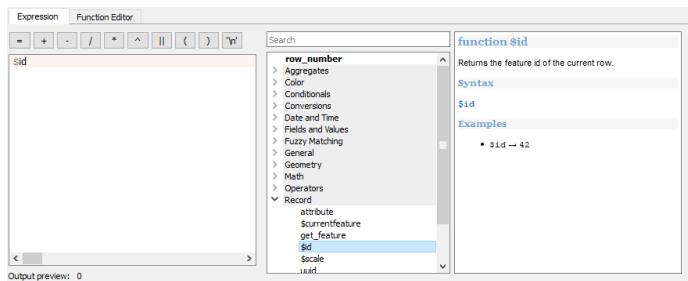


Figura 204. Expresión para estimar un identificador en una columna en la herramienta “Field calculator”.

Posteriormente se debe calcular las distancias entre los puntos con la herramienta desde el menú Vector/Analysis Tools/Distance Matrix (Figura 205).

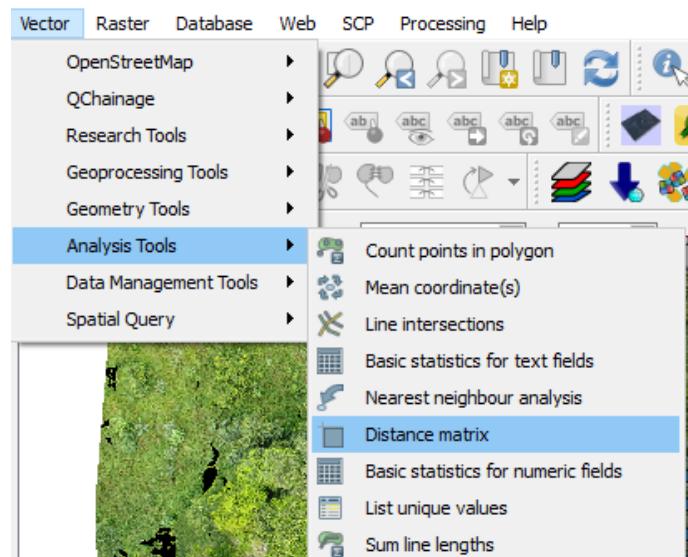


Figura 205. Herramienta para estimar la distancia entre puntos de una misma capa.

Se abrirá una nueva ventana en la cual deberá indicar el archivo de puntos de entrada, la columna que contiene el número identificador de cada punto, la capa con la que se va a comparar (la misma de entrada) y el identificador. La salida podrá guardarla en su carpeta de trabajo, cabe resaltar que la salida es un archivo de texto. Finalmente deberá presionar sobre el botón “Run”, Figura 206.

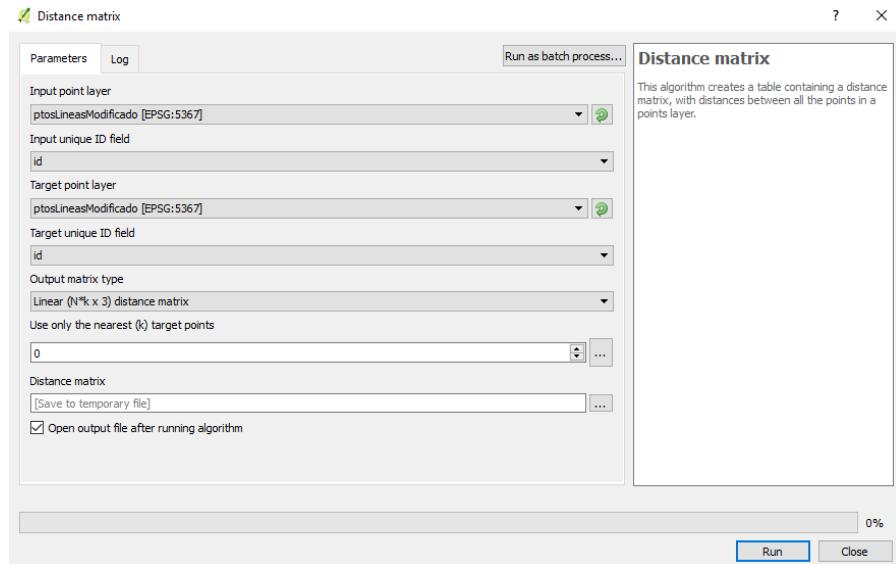


Figura 206. Herramienta para estimar distancias entre los puntos de un archivo.

El resultado será una tabla como la que se muestra en la Figura 207.

	InputID	TargetID	Distance
1	0	0	0.0
2	0	1	3.0000000004
3	0	6	4.74226920466
4	0	2	6.0000000007
5	0	7	6.77274879585
6	0	3	8.99999999997
7	0	19	9.1610292171
8	0	8	9.33859925031
9	0	20	10.9872064282
10	0	4	12.0
11	0	9	12.1057319341
12	0	5	12.1634972339
13	0	21	13.2481302029
14	0	58	13.6694686498
15	0	57	13.6998563543
16	0	10	14.962889272
17	0	56	15.3642461394

Figura 207. Resultado de la herramienta Distance matrix.

En la figura anterior se puede observar el resultado, en la columna “Distance” se observa la distancia desde el punto InputID hasta TargetID. Como se mencionó anteriormente, el resultado es un archivo de texto que se visualiza como una tabla. Los registros que interesan son aquellos que tienen una distancia menor a 2 y mayor que 0, esto es los “árboles” que están muy cerca y por tanto que se tendrán que verificar. Para ello se abre la herramienta de selección y se construye la expresión como la que se muestra en la Figura 208.

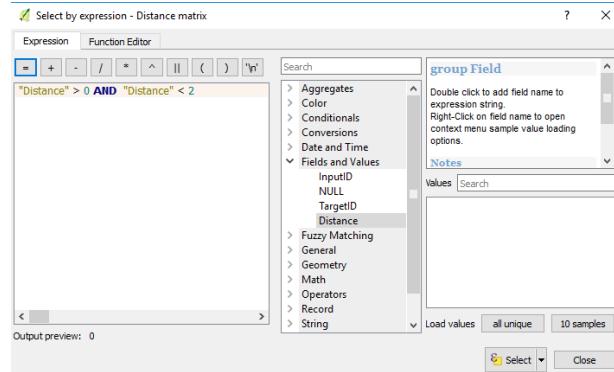


Figura 208. Expresión para seleccionar los registros de interés.

Una vez que se hayan seleccionado se podrá guardar la selección, debe tener cuidado de guardarla como un archivo de texto, tal como se muestra en la Figura 209.

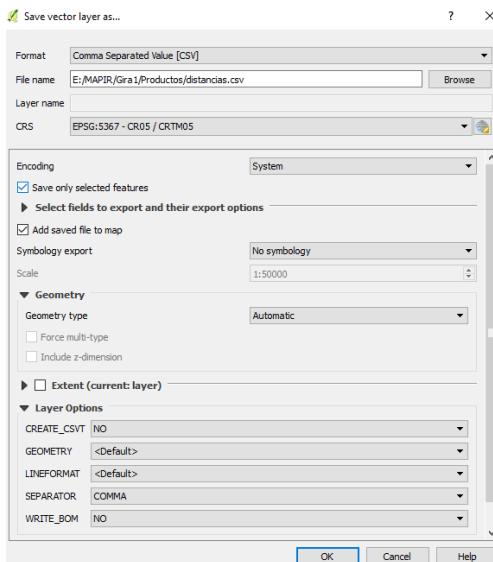


Figura 209. Guardar la selección en un archivo .csv

Los datos guardados anteriormente son los que interesan para poder identificar los “árboles” que están muy cerca, y que por tanto deben verificarse con el orto-mosaico. Para poder observar los datos espacialmente se puede hacer un “join” entre los centroides y esta tabla. Se accesa al “join” desde las propiedades de los centroides. En la Figura 210 se puede observar las especificaciones del “Join”.

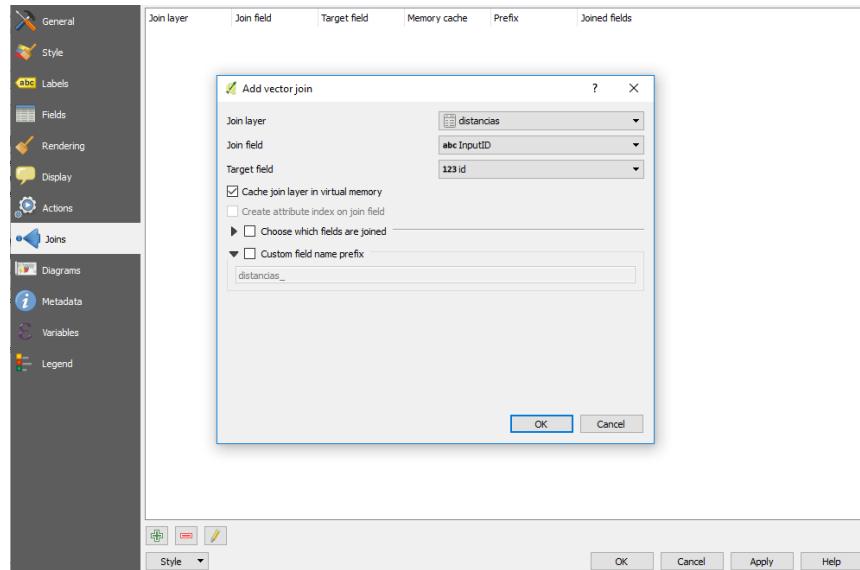


Figura 210. “Join” entre la tabla de distancias y los centroides.

Una vez que el “Join” se haya ejecutado podrá seleccionar los registros que tienen una distancia entre 0 y 2 tal como se muestra en Figura 211.

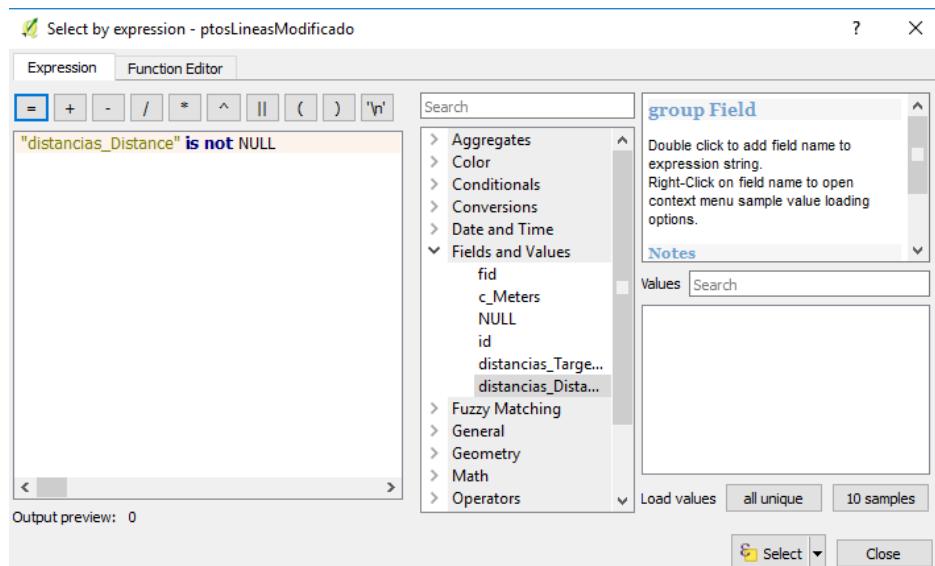


Figura 211. Expresión para seleccionar los registros que tienen una distancia menor a 2 metros.

Cuando se hayan seleccionado podrá editar la capa para borrar los registros que considere necesarios, según lo que observa en el orto-mosaico. De igual manera, puede hacer una revisión general de la capa creada para editar los centroides según lo que considere mejor.

La tercera opción se refiere a la utilización de una herramienta que puede crear un archivo de puntos a lo largo de un archivo de líneas con base en un distanciamiento. Por lo tanto, para esta opción se debe conocer el distanciamiento de siembra (si no se sabe se puede calcular haciendo varias mediciones sobre el orto-mosaico), y un archivo de líneas que represente las líneas de siembra. Éstas pueden digitalizarse sobre el orto-mosaico desde Layer/Create Layer/New Shapefile Layer..., esta vez será de líneas. Una vez creado el archivo vectorial, podrá dibujar las líneas como se muestra en la Figura 212.



Figura 212. Digitalización de las líneas de siembra sobre el orto-mosaico.

La herramienta que crea puntos a lo largo de las líneas digitalizadas con base en un distanciamiento se debe instalar. Para ello debe ir al menú Plugins/Manage and Install Plugins, buscar e instalar la herramienta QChainage (Figura 213).

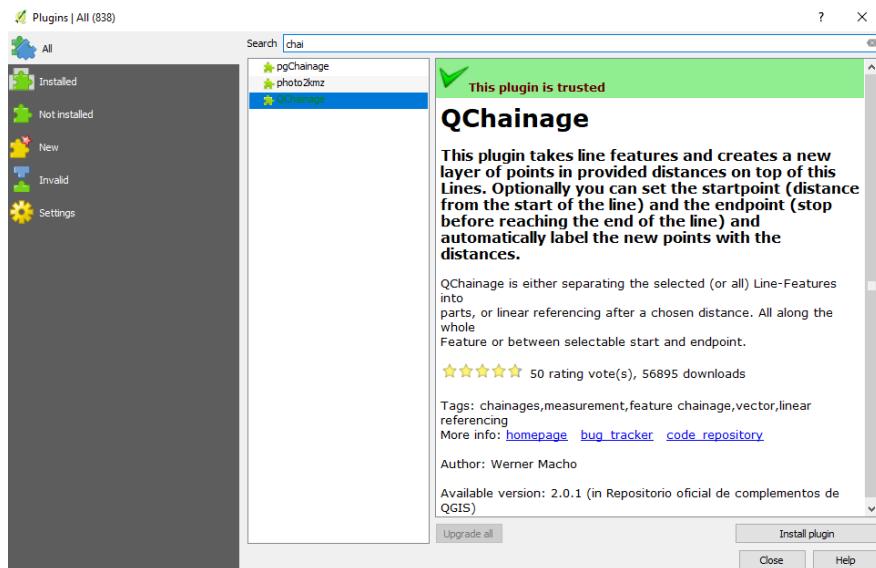


Figura 213. Instalación de herramienta QChainage para crear un archivo de puntos a lo largo de líneas.

Una vez instalado el plugin podrá accesarlo desde el menú Vector/QChainage/QChainage (Figura 214).

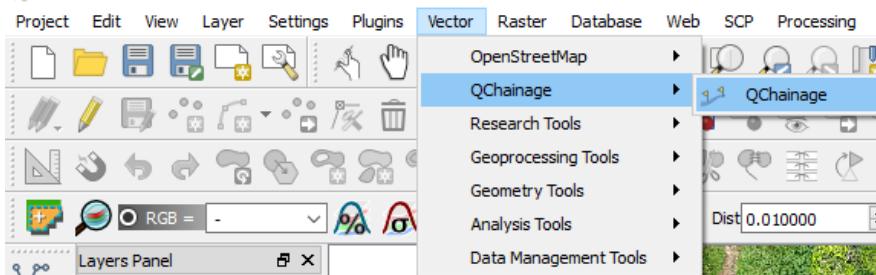


Figura 214. Ubicación de herramienta QChainage.

Al abrir esta herramienta deberá indicar como capa de entrada las líneas digitalizadas y la distancia a la cual desea crear los puntos. Adicionalmente, podrá habilitar la opción “Force last point” y un nombre para la capa de salida (Figura 215).

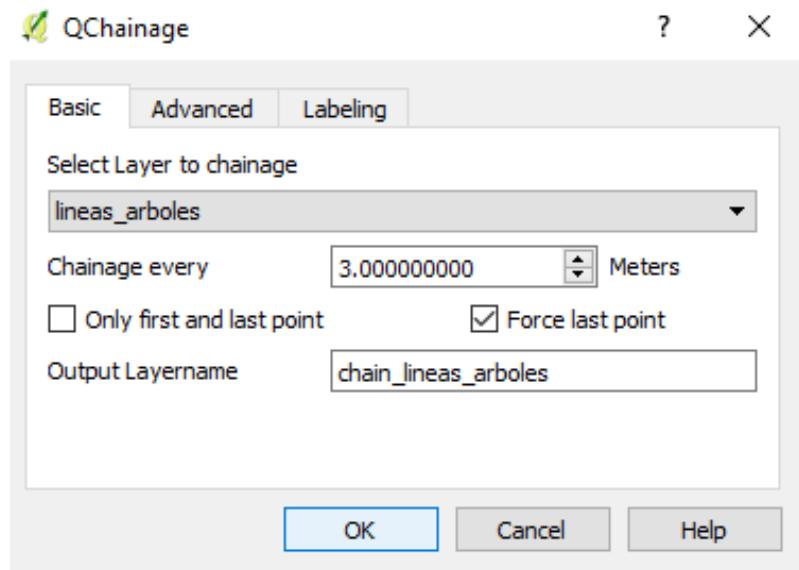


Figura 215. Especificaciones para la creación del archivo de puntos a lo largo de las líneas de siembra.

Con la opción “Force last point” se asegura que al final de cada una de las líneas se cree un punto, independiente de la distancia. Al finalizar podrá obtener un resultado como el que se muestra en la Figura 216.

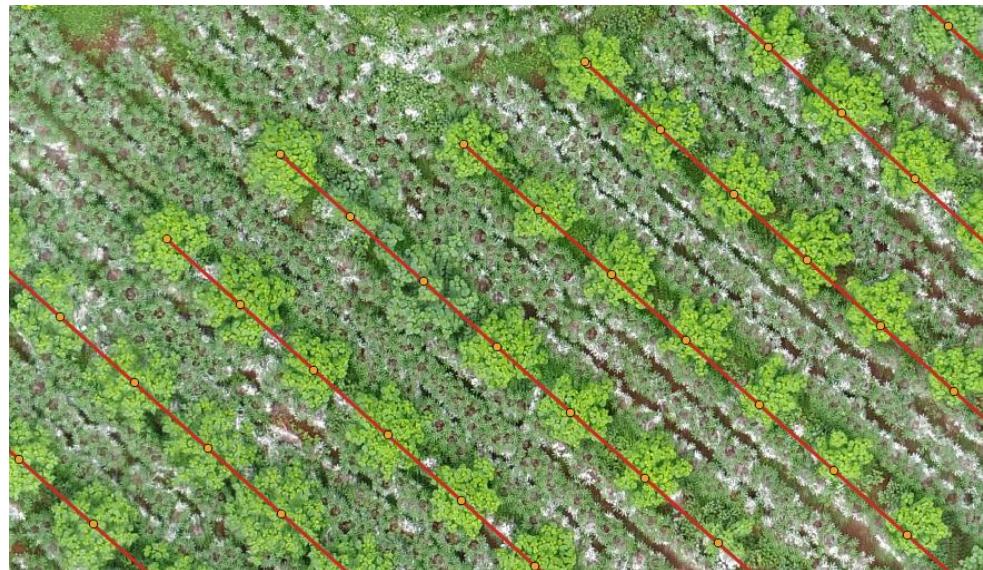


Figura 216. Resultado de la creación de un archivo de puntos a lo largo de las líneas digitalizadas.

Los resultados observados en la figura anterior son prometedores, sin embargo las líneas de siembra no siempre siguen un rumbo fijo, y en campo pueden ocurrir diferentes imprevistos que resultan en una siembra con un distanciamiento no-homogéneo, como se muestra en la Figura 217.

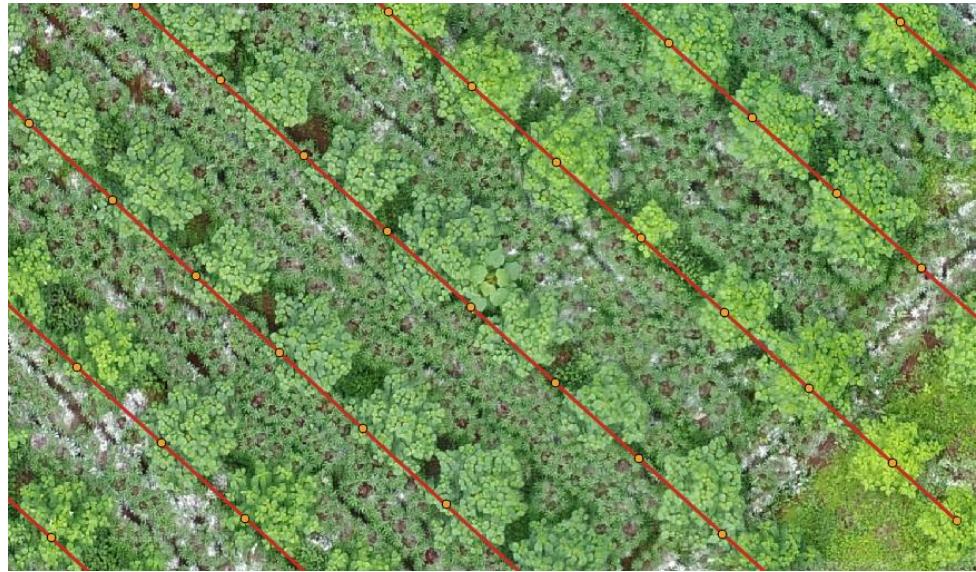


Figura 217. Problemas detectados en la creación del archivo de puntos a lo largo de las líneas digitalizadas.

Para solucionar lo anterior, puede crear líneas discontinuas que sigan rumbos diferentes y que se adecúen mejor. Esto también puede servir para ayudar a crear puntos de estimación más precisos y evitar problemas como los que se muestran en la Figura 218.



Figura 218. Problemas asociados a la creación del archivo de puntos a lo largo de las líneas digitalizadas.

Para tratar los problemas de ubicación de puntos próximos, como los observados en la Figura anterior se puede llevar a cabo un análisis de distancias como el que se presentó anteriormente, con la herramienta Vector/Analysis Tools/Distance matrix.

Al finalizar todo el proceso podrá obtener un resultado como el que se muestra a continuación.



Figura 219. Estimación de ubicación de los árboles con el método 3.

La figura anterior muestra la plantación idónea, desde el punto de vista que no hay mortalidad. Sin embargo, este no es siempre el caso. Puede editar la capa resultado para borrar los puntos de árboles que no existen, comprándolo con el orto-mosaico. Alternativamente, se puede buscar los árboles inexistentes con la ayuda del Modelo Digital de Superficie (DSM). Este proceso se detalla en la sección 5.3.3.

### 5.3.2 Mejorar la precisión de los modelos de elevación

Es necesario establecer las diferencias que existen entre el Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés), Modelo Digital de Superficie (DSM, por sus siglas en inglés) y Modelo Digital del Terreno (DTM, por sus siglas en inglés). La diferencia más grande es entre DSM y DTM ó DSM y DEM. El Modelo Digital de Superficie es un modelo ráster de tres dimensiones, en él se captura toda la información. Por ejemplo, en un vuelo con VANT, si existe un automóvil parqueado en el área sobrevolada, en el Modelo Digital de Superficie se notará su presencia. No así en un Modelo de Elevación Digital ni en un Modelo Digital del Terreno, éstos muestran información en 3D pero únicamente de la tierra desnuda. En estos Modelos no se debería de observar la vegetación ni infraestructura creada por el ser humano. Los programas de procesamiento de imágenes capturadas por VANT ofrecen muchas veces la generación de DSM y DTM. Si ambos son generados de manera correcta, entonces será sencillo calcular, por ejemplo la altura de los árboles presentes en un determinado lugar, bastará con restar las alturas de DSM – DTM. Los programas tienen diferentes algoritmos para poder “diferenciar” los puntos XYZ que se encuentran sobre el terreno desnudo para poder utilizar únicamente estos puntos para la generación del DTM. Sin embargo, estos algoritmos no son infalibles y pueden presentar errores, es decir clasificar un punto como terreno desnudo para ser considerado

en la interpolación de datos que no lo sea. Por ello, una buena práctica es que sea la/el usuaria/o quien determine cuáles puntos son utilizados para el DTM.

En la sección anterior se creó un Modelo de Elevación Digital con base en puntos sistemáticos creados a lo largo del área, seleccionando aquellos que se encontraron en suelo desnudo e interpolando la información de altitud de dichos puntos. En esta sección se trabajará con la nube de puntos que se crea en los programas de procesamiento de imágenes provenientes del VANT.

Los archivos con extensión .LAZ corresponden a archivos comprimidos de tipo .LAS. En QGIS se utiliza un set de herramientas denominadas LAStools para poder manejar este tipo de archivos.

Estas herramientas se pueden descargar de manera gratuita desde la página web: <http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/download/>

Algunas de sus herramientas son de pago, sin embargo, muchas son gratuitas. El archivo a descargar es LAStools.zip, éste se descomprime en C. Posteriormente, en el programa QGIS, en el menú Processing/Options se puede activar estas herramientas (Figura 220).

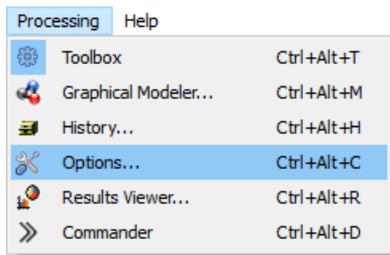


Figura 220. Opción para activar diferentes herramientas.

En la ventana que se despliega seleccione “Providers” y enseguida “Tools for LiDAR data” como se muestra en la figura 221.

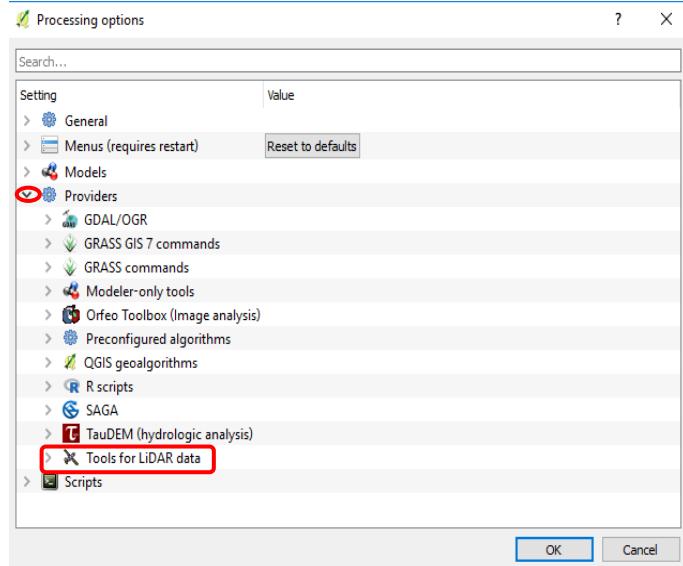


Figura 221. Ubicación de opción para agregar las herramientas de LiDAR.

Cuando seleccione “Tools for LiDAR data” se desplegará la información donde deberá activar las herramientas e indicar la ubicación de las mismas (Figura 222).

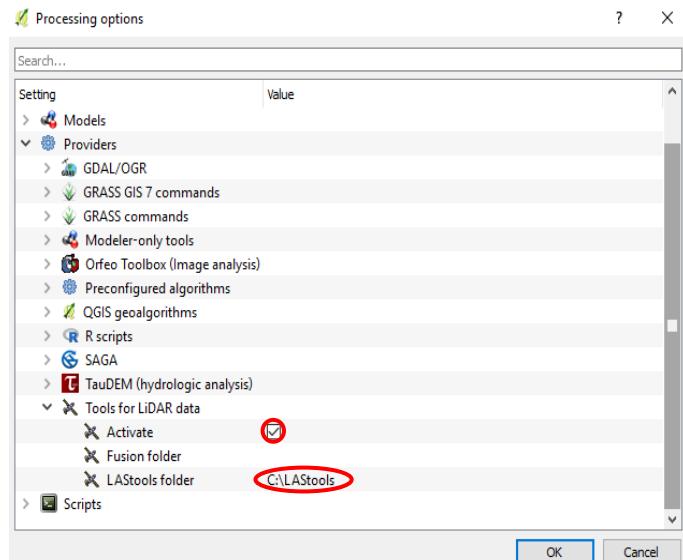


Figura 222. Activación de herramientas

Cuando tenga las especificaciones listas podrá “Aceptar” los cambios. Puede ocurrir que el sistema le indique un error en algún valor de parámetro. Esto, por lo general se debe a la ubicación de archivos de GRASS. Si ocurre así, deberá dirigirse a “GRASS commands” y desactivarlo. Esto no tiene repercusiones en el uso de herramientas GRASS, ya que se tiene habilitado GRASS GIS 7 (ver Figura 223).

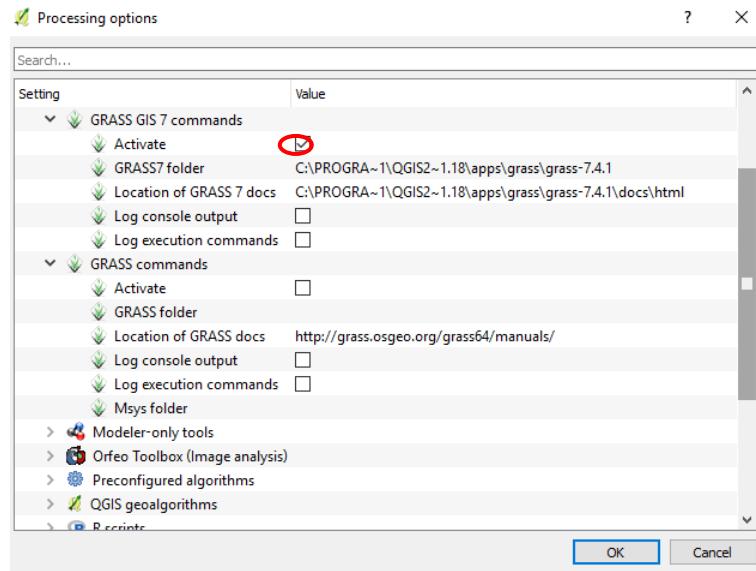


Figura 223. Manejo de error de parámetros de GRASS.

Una vez cargadas las herramientas a QGIS, éstas estarán disponibles a través de la caja de herramientas del programa: "Processing Toolbox". Para visualizarlas puede hacerlo desde el menú "Processing/Toolbox". Se le desplegarán las diferentes herramientas de procesamiento que tiene cargadas en el programa, entre ellas las de LiDAR (Figura 224).

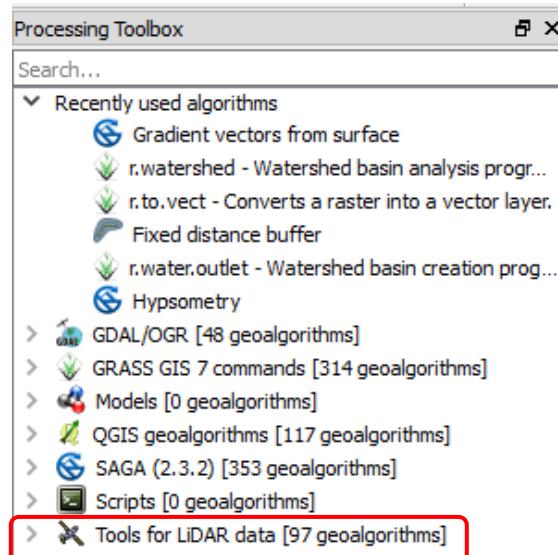


Figura 224. Ubicación de las herramientas "Tools for LiDAR data" cargadas en el programa.

Puede ocurrir que, si está trabajando en un sistema operativo diferente a Windows tenga menos algoritmos disponibles. Con la herramienta "las2dem" se puede generar un archivo ráster que contendrá las alturas de los árboles u otros objetos que hayan sido captados. Como capa de entrada especifique el archivo .LAZ en "Filter" se selecciona "Keep first"

(esto es lo que le asegura que se seleccionará aquellos valores más altos), en atributo se selecciona “Elevation” y en “product” se deja los valores reales “Actual values”. Como salida se debe indicar la opción de guardar en archivo y especificar el lugar y el nombre del nuevo archivo a generar (Figura 225).

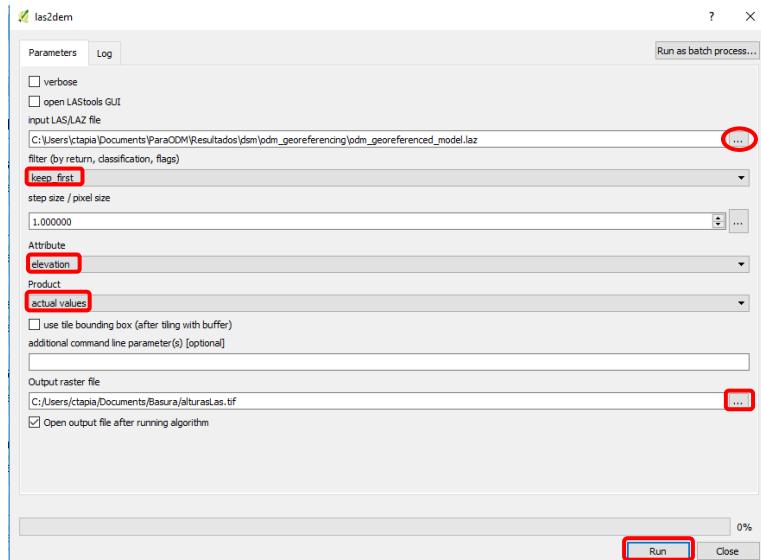


Figura 225. Herramienta para convertir el archivo .las en un ráster de elevaciones.

Cuando haya finalizado habrá obtenido un archivo raster que contiene la información de alturas de árboles y de cualquier otro elemento que se encuentre en el orto-mosaico (Figura 226).



Figura 226. Archivo de elevaciones generado con la herramienta las2dem.

Como puede observar en la figura anterior, existe una franja negra. Ésta corresponde a datos “corruptos” a propósito por la herramienta. La franja negra se genera cuando los datos a procesar son cuantiosos, en la versión gratuita.

Para generar un DSM con todos los datos y evitar la franja negra se puede utilizar una herramienta gratuita que no genera distorsiones para crear un archivo en formato de texto con la información de interés. Dicho archivo de texto se puede utilizar en QGIS para generar un archivo shapefile de puntos y, posteriormente el DSM. A continuación, se detalla el procedimiento para poder hacerlo:

En la página web: <https://laszip.org/> buscar y descargar el archivo laszip.exe. Una vez descargado se puede abrir directamente desde Windows, al hacerlo se desplegará una ventana en la cual deberá buscar el archivo .laz que va a utilizar (Figura 227).

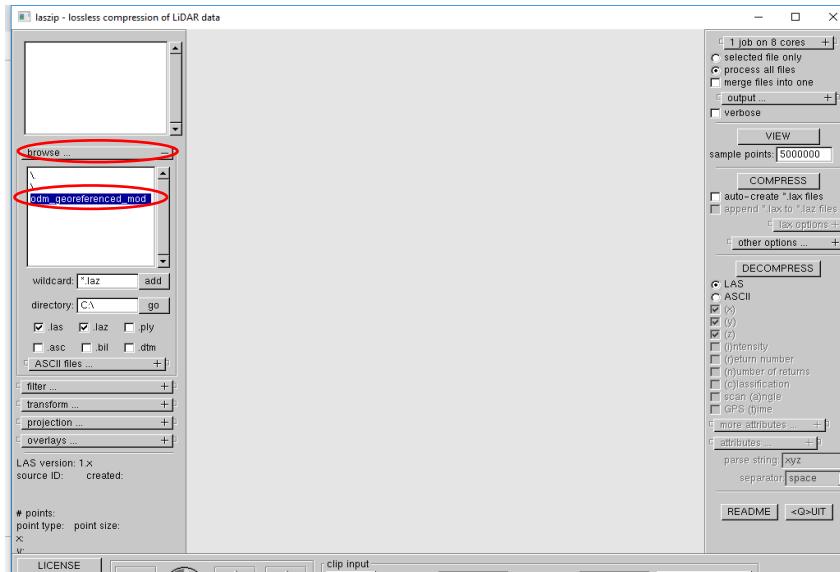


Figura 227. Visión principal de programa para convertir los archivos .laz en .las ó .txt.

Una vez seleccionado el archivo .laz presione el botón “Add” y podrá observar el archivo cargado en el panel superior izquierdo (Figura 228). Seleccione la información que desea obtener del archivo, en este caso interesa la información x,y,z así como el formato, en este caso ASCII (generará un archivo de texto .txt) y como delimitador puede dejar el valor por default “space” (Figura 228). La información de clasificación la puede agregar de manera opcional, ésta corresponde a una clasificación interna que ha hecho el programa cuando generó el archivo .laz y se usa principalmente para poder generar DSM y DTM, por ejemplo la herramienta “lasground” lo usa para poder discernir aquellas clasificaciones 2, que entiende son puntos sobre el suelo desnudo.

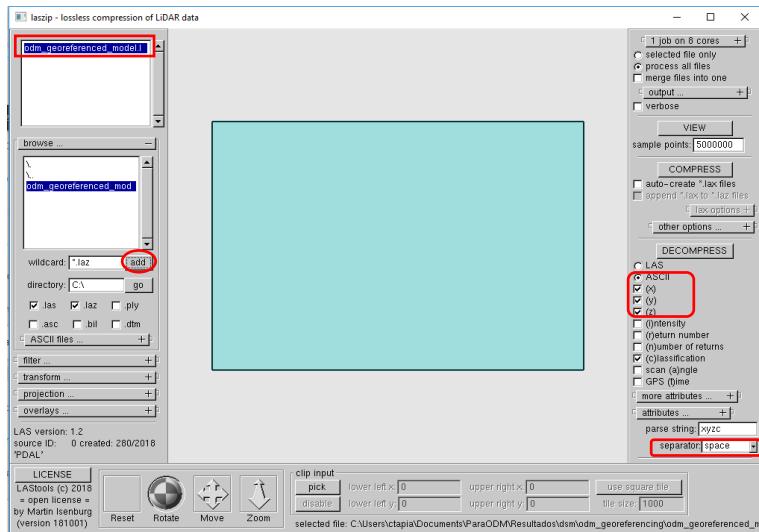


Figura 228. Selección de variables y configuración del archivo de texto a crear.

Cuando todos los parámetros estén correctos, podrá presionar el botón “DECOMPRESS”. Se generará un archivo de texto de acuerdo a las especificaciones del/a usuario/a en la misma ubicación del archivo .laz indicado anteriormente.

Desde el programa QGIS se puede agregar esta información a través del botón “Add delimited text layer” . Se despliega una ventana en la cual deberá colocar la ubicación del archivo de texto, indicar que la separación corresponde a espacios, deshabilitar la casilla “first record has field names” (porque el archivo que creó la herramienta utilizada anteriormente no tiene encabezados), indicar cuál es la columna que contiene los datos de las coordenadas “X” y “Y”. Finalmente se presiona el botón “OK” (Figura 229). Es necesario que sepa con seguridad cuál columna tiene la coordenada “X” y cuál la “Y”, así como el sistema de coordenadas que representan.

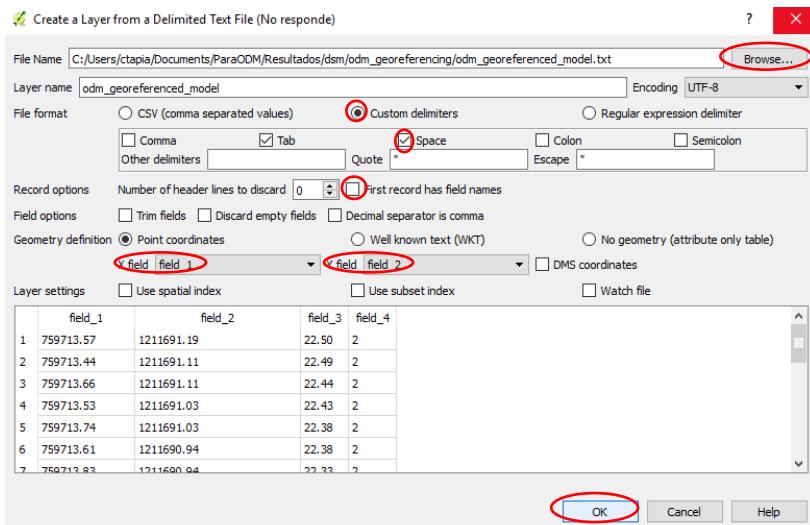


Figura 229. Herramienta para agregar información de una tabla con datos de coordenadas en un SIG.

Dependiendo de la configuración de QGIS, a continuación se desplegará una ventana que le preguntará el sistema de coordenadas. Deberá indicarlo correctamente para que se pueda desplegar bien los puntos sobre la pantalla. Si esta ventana no se le despliega deberá indicar el sistema de coordenadas correcto desde las propiedades del archivo que se ha cargado en su proyecto (clic secundario/Properties/General/Coordinate Reference System). Finalmente, para crear el archivo shapefile deberá presionar el botón secundario del mouse sobre el nombre del archivo generado en QGIS y presionar sobre la opción “Save as...”. Se abrirá una ventana en la cual deberá especificar el formato del archivo de salida, en este caso ESRI Shapefile, el nombre y ubicación del nuevo archivo, el sistema de coordenadas del archivo a generar (utilice el mismo que los datos originales). Finalmente se presiona el botón “OK” (Figura 230).

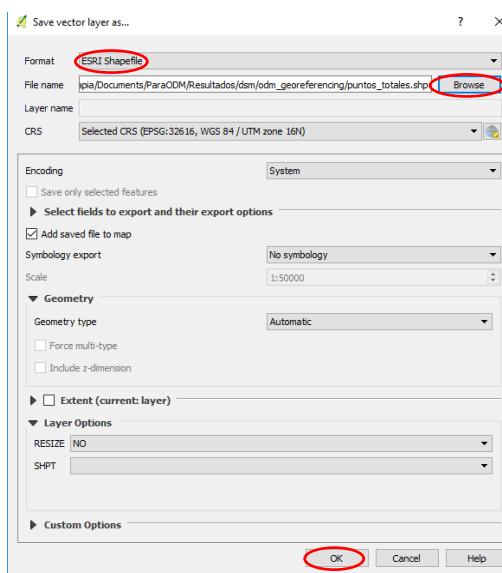


Figura 230. Creación de archivo shapefile con la información de los puntos.

Si el archivo es muy pesado puede tardar mucho tiempo y requerir muchos recursos de su computadora generar el archivo shapefile así como abrir la tabla de atributos. Pero puede generar el archivo DSM:

Asegúrese que tenga activa la herramienta “Interpolation”. Para ello, desde el menú Plugins seleccione “Manage and Install Plugins” (Figura 231).

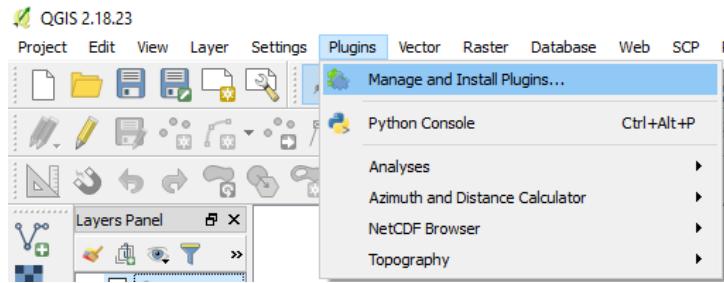


Figura 231. Ubicación de herramienta Manage and Install Plugins.

Luego busque la herramienta “Interpolation” y asegúrese que esté habilitada, si no lo está marque la casilla que está al lado (Figura 232). Una vez hecho esto puede cerrar la ventana.

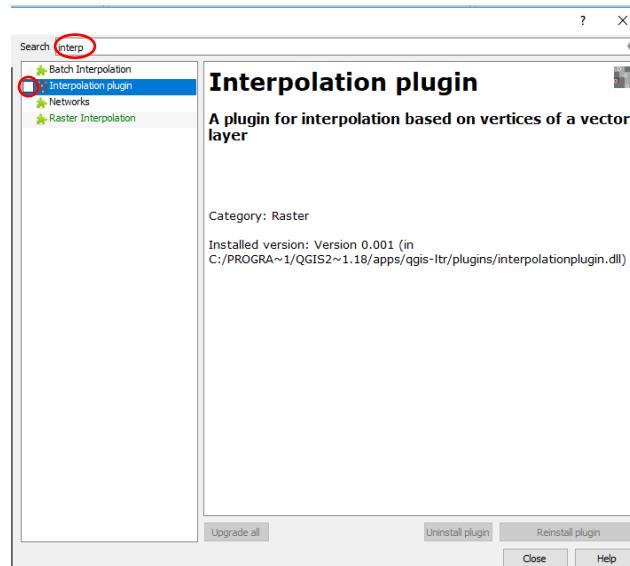


Figura 232. Búsqueda de plugin Interpolation en QGis.

Desde el menú “Raster” seleccione Interpolation/Interpolation (Figura 233).

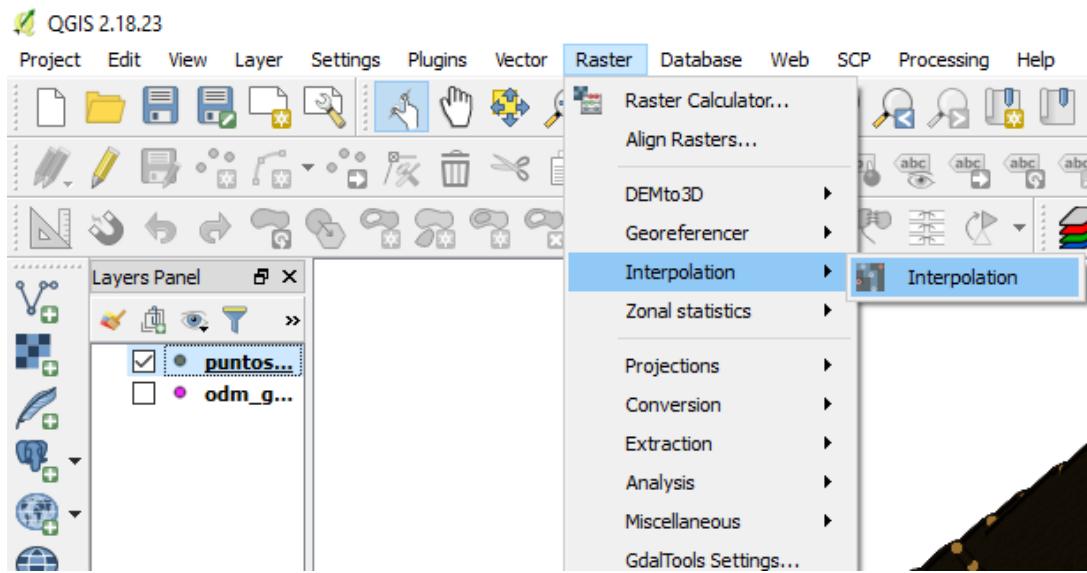


Figura 233. Ubicación de herramienta Interpolation.

Al abrir la herramienta se despliega una ventana en la cual se debe especificar el archivo de entrada, el atributo que se va a utilizar para hacer la interpolación, el método a utilizar para hacer la interpolación, nombre y ubicación del archivo de salida, datos generales del tamaño de pixel y extensión (Figura 234).

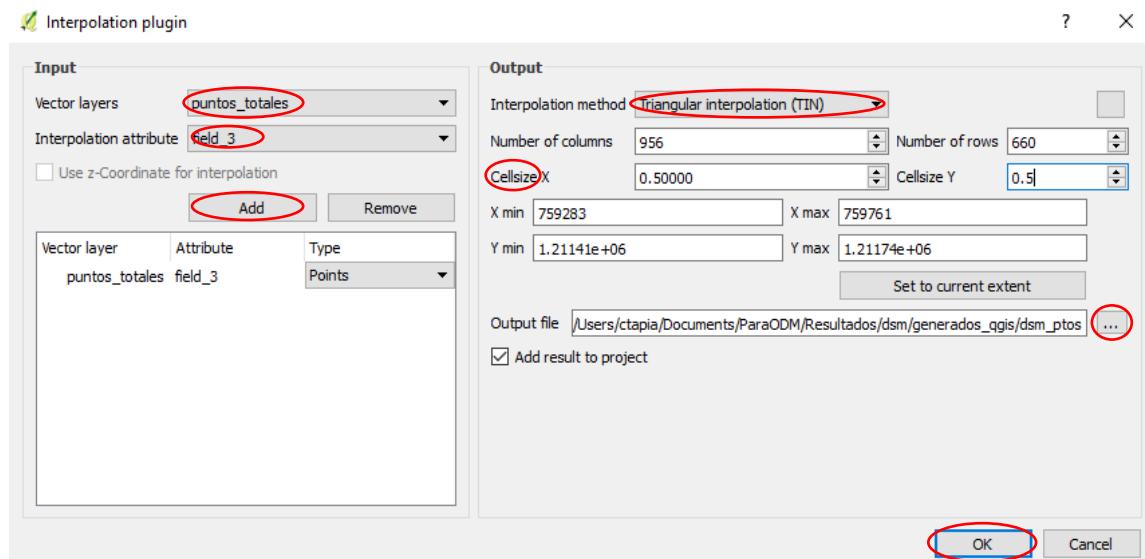


Figura 234. Especificación de parámetros para llevar a cabo la interpolación de datos.

Al finalizar podrá observar el archivo ráster como el que se muestra en la figura 235.



Figura 235. Resultado de la interpolación de datos.

Para crear el archivo DTM tiene dos opciones:

1. Clasificación semi-automatizada de puntos sobre el terreno

Esta opción es más costosa, en términos de tiempo. Pero podría ser también la más precisa. Consiste en utilizar el archivo de puntos generado anteriormente y agregarle información de cobertura o uso con el fin de generar un nuevo archivo de puntos que contemple únicamente aquellos que puedan ser considerados como “suelo” o “ground”. A continuación se detalla el proceso:

Agregar información de la clasificación al archivo de puntos existente

1. Agregue el archivo raster que contiene la información de la clasificación de cobertura/uso en QGIS.
2. Busque la herramienta “Add raster values to points” desde Processing Tools (Figura 236).

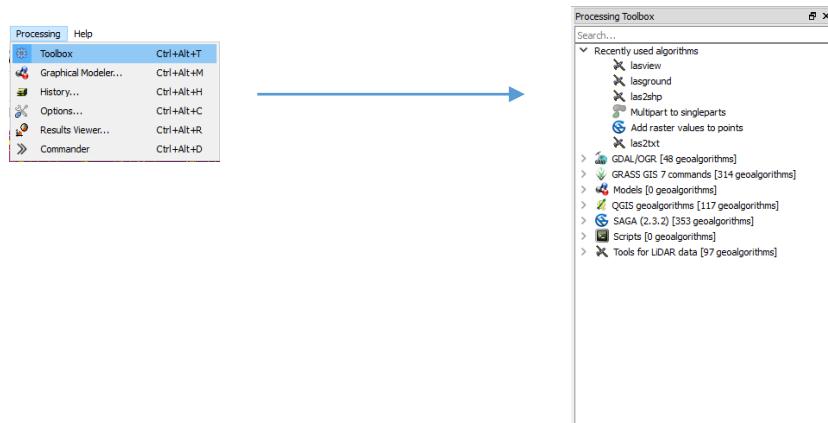


Figura 236. Procedimiento para buscar herramientas Processing Tools.

3. Al abrirla deberá indicar el archivo de puntos a utilizar y el archivo ráster del cual se obtendrá los datos, y el archivo de salida (Figura 237). Finalmente se presiona el botón “Run”. Una consideración importante es que ambos archivos de entrada, es decir el de puntos y el ráster deben tener el mismo sistema de coordenadas.

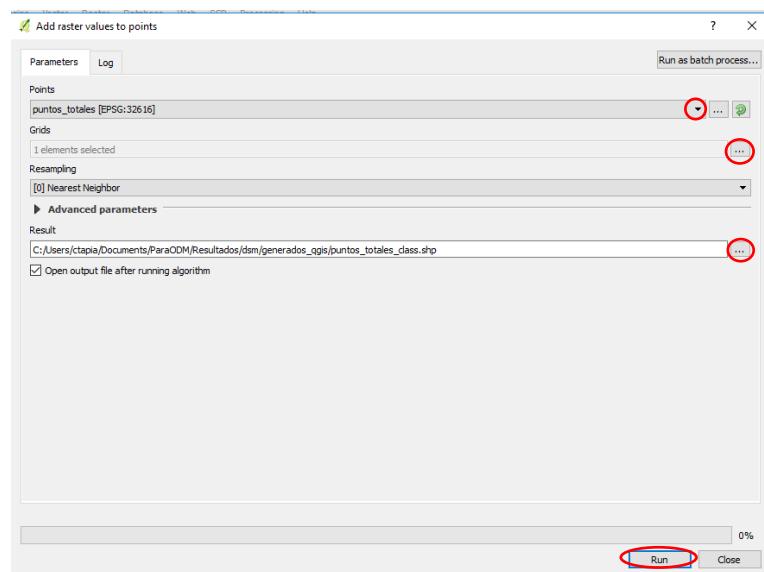


Figura 237. Uso de la herramienta para agregar valores raster al archivo de puntos.

4. Cuando haya finalizado se habrá agregado la información de clasificación del ráster al archivo de puntos. Dependiendo de la cantidad de puntos y la capacidad de procesamiento de la computadora este proceso puede tardar varios minutos.

#### Creación de nuevo archivo de puntos únicamente del terreno

1. Con la herramienta de selección  proceda a crear una expresión que le permita seleccionar aquellos datos que pertenecen únicamente puntos que tienen una clasificación que se podría considerar como suelo o “ground”. Por ejemplo, carreteras, pastos, cultivos, etc.
2. Una vez seleccionados aquellos puntos “ground” proceda a guardarlos como un archivo aparte. Presione el botón secundario del mouse sobre el nombre del archivo de puntos que tiene la selección hecha y elija “Save as...”
3. Se abrirá una ventana en la cual deberá seleccionar el tipo de formato (ESRI Shapefile), el nombre y ubicación del archivo de salida y Muy IMPORTANTE que se guarden solo aquellos registros que se encuentren seleccionados (Figura 238).

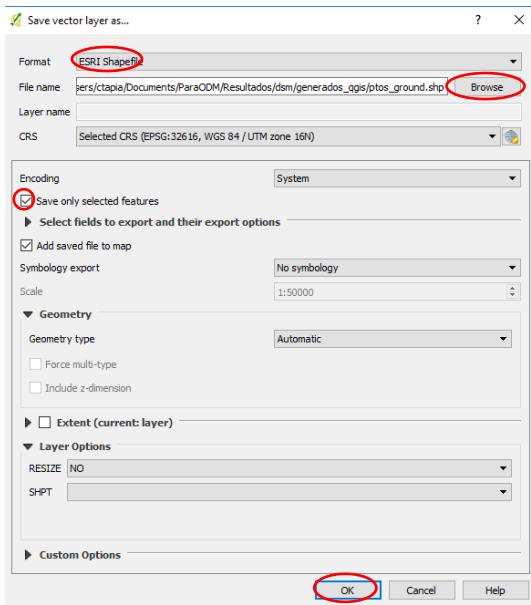


Figura 238. Guardar nueva capa shapefile, con base en una selección.

4. Una vez cargado el nuevo archivo de puntos “ground”, utilícelo para crear un nuevo modelo de elevación con la misma herramienta utilizada para tal fin anteriormente. El único cambio que debe hacer es en el archivo de entrada (Figura 239).

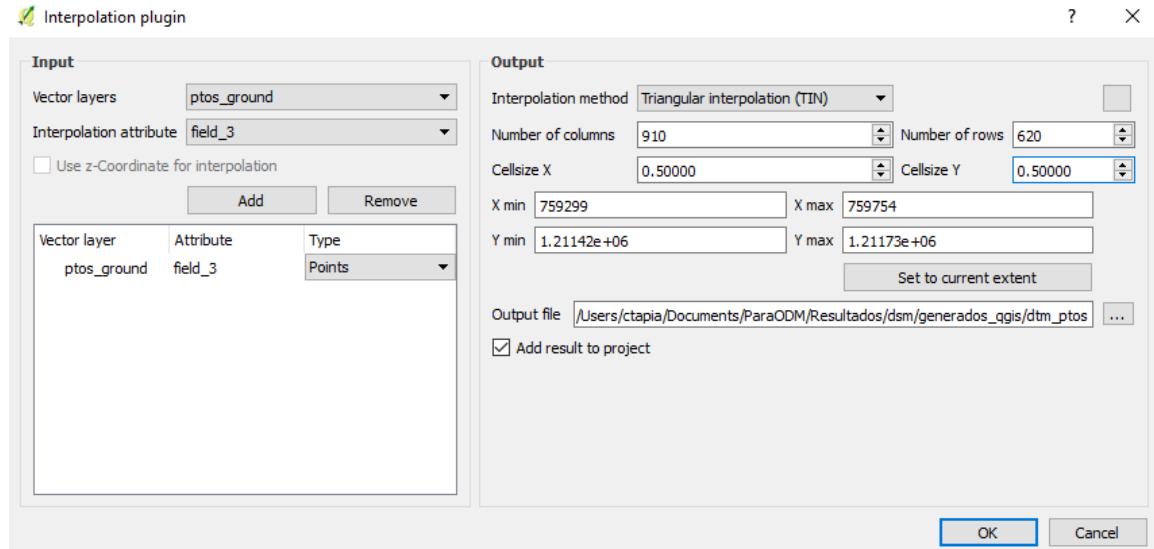


Figura 239. Uso de herramienta para interpolar datos.

5. Cuando haya finalizado el proceso podrá observar el archivo DTM.

2. Clasificación automatizada de puntos sobre el terreno

Vuelva a utilizar la herramienta las2dem, sólo que deberá hacer dos cambios, en la parte de “Filter” seleccione “keep\_last” y guárdela con el nombre “DTM\_las” (Figura 240).

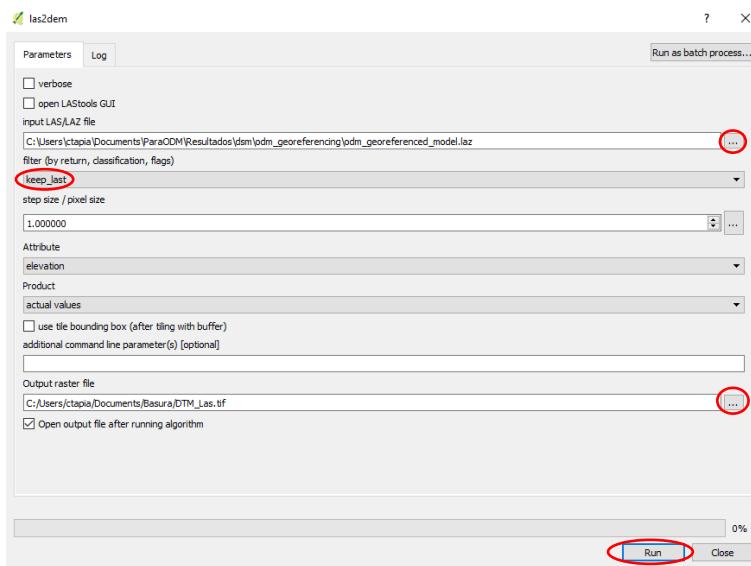


Figura 240. Especificaciones para la creación del DTM.

Cuando hay finalizado observará las alturas del terreno. Este proceso es mucho más rápido y sencillo, pero puede inducir a errores fácilmente: El algoritmo utiliza la información que otorga el archivo .laz en “classification”. Por default utiliza solo aquellas

clases 2, porque considera que son “ground”, es decir suelo desnudo. Sin embargo, esto no siempre se corresponde con la realidad, sobre todo cuando las diferencias de alturas son pocas (en caso de una plantación relativamente nueva) o bien cuando se analiza un edificio porque ambas situaciones hacen que se clasifiquen como 2 áreas que en realidad no lo son. En consecuencia se obtiene un archivo DTM de mala calidad.

### 5.3.3 Estimación de alturas de árboles de la plantación

Una vez que se tenga la ubicación de los árboles (por cualquiera de los métodos explicados en la sección anterior), se puede estimar las alturas de los árboles. Es importante resaltar que las alturas que se estiman con este método deben ser correlacionados con datos de campo, de lo contrario las estimaciones serán erróneas.

Debido a que la ubicación de los árboles corresponde a puntos, los cuales podrían o no localizarse en el punto más alto de la copa de los árboles, la idea es identificar el punto más alto de cada uno de los árboles. Para ello se creará un buffer o área de amortiguamiento alrededor de los árboles de un metro, o 1.5 metros (depende de las características propias de la plantación y su crecimiento) y se estimará la altura máxima en esa área. Se tomará dicho dato como el verdadero para cada árbol.

El área de amortiguamiento se estima desde el menú Vector/Geoprocessing Tools/Fixed distance buffer. Se abrirá una ventana en la cual deberá indicar la capa de entrada, es decir los árboles, la distancia, la ubicación y el nombre del nuevo archivo, finalmente deberá presionar el botón Run (Figura 241).

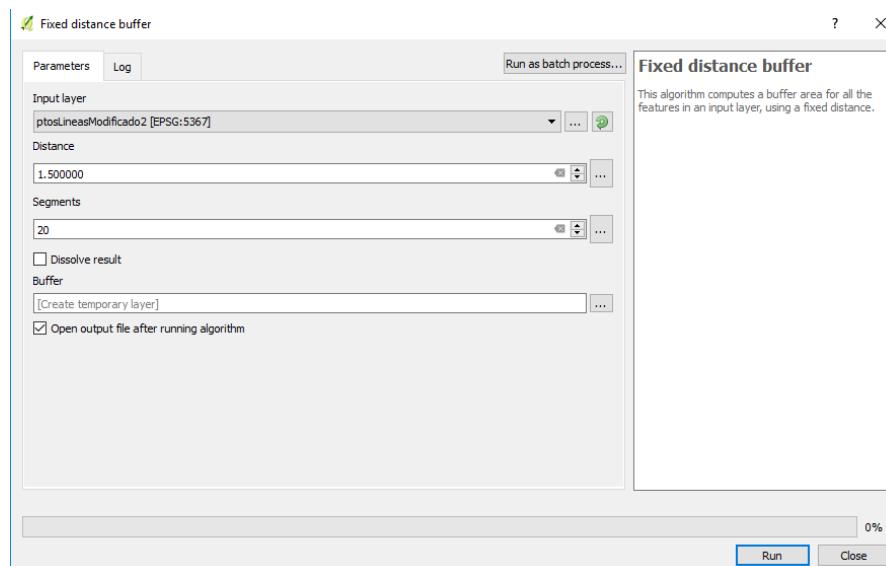


Figura 241. Estimación del área de amortiguamiento para la capa de árboles.

Al finalizar obtendrá una capa como la que se muestra en la Figura 242.

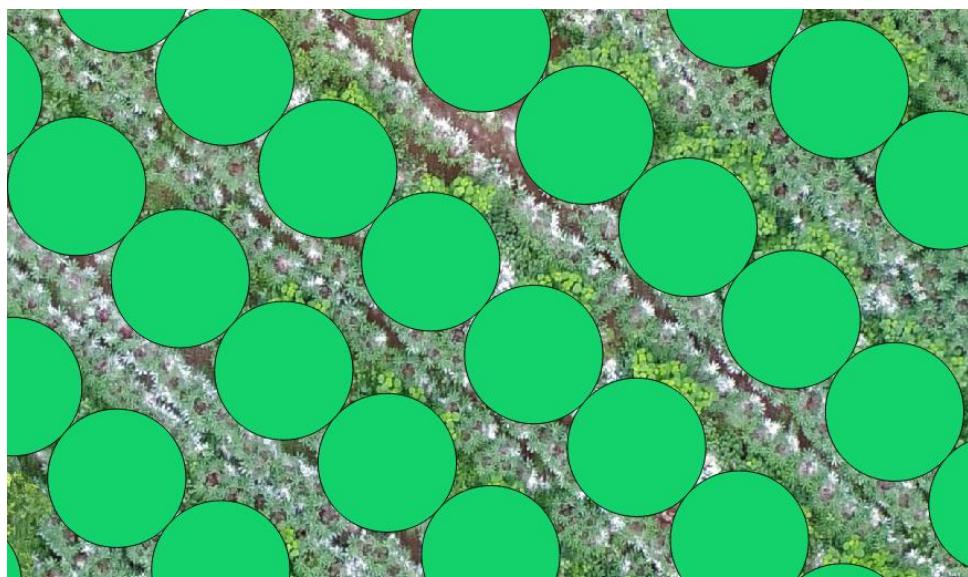


Figura 242. Área de amortiguamiento de los árboles.

Posteriormente podrá estimar estadísticos básicos del archivo ráster de alturas en las áreas de amortiguamiento con la herramienta Raster/Zonal statistics/Zonal statistics (Figura 243). Si no está disponible deberá habilitarlo desde el menú Plugins/Manage and Install Plugins.

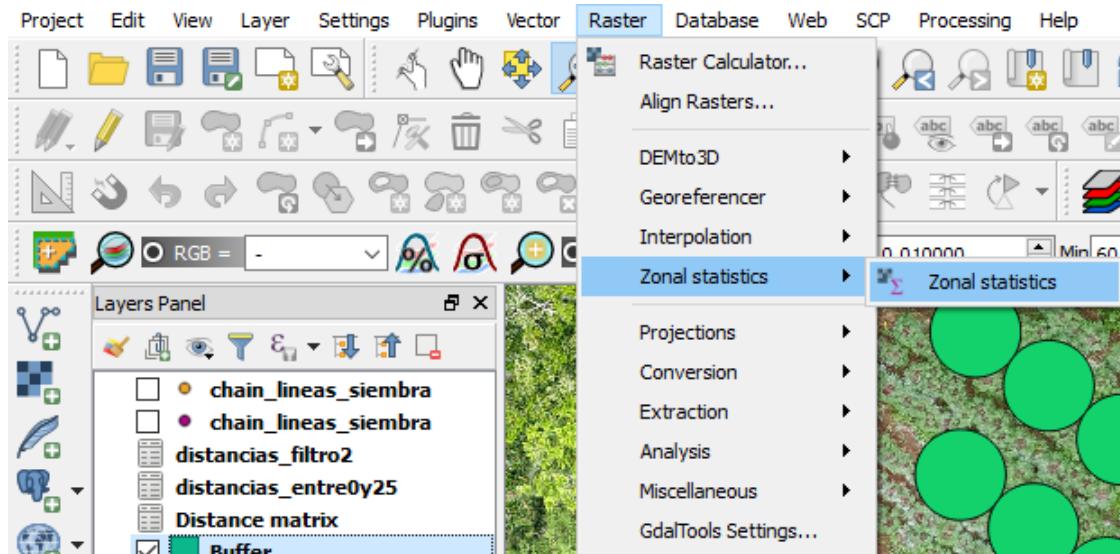


Figura 243. Ubicación de herramienta zonal statistics.

Se abrirá una ventana en la cual deberá indicar el archivo de entrada, es decir el archivo ráster del cual desea obtener la información (en este caso las alturas), la banda donde se encuentra dichos datos (en este caso tiene solo una banda), el archivo vectorial al cual desea estimar los datos, un prefijo que se puede utilizar cuando se creen las columnas, indicar cuáles estadísticos desea estimar y luego el botón “OK” (Figura 244).

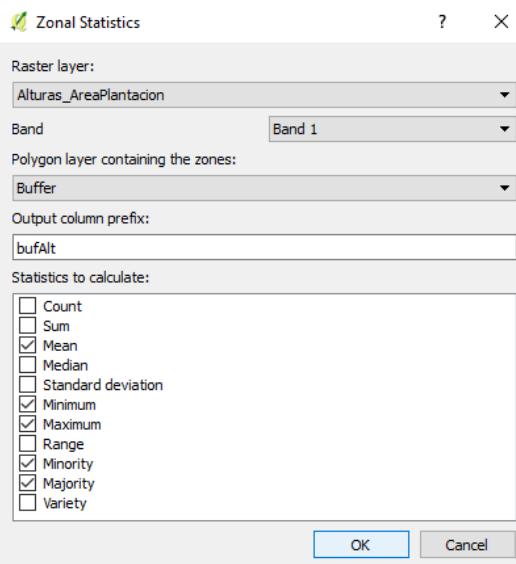


Figura 244. Herramienta para estimar datos estadísticos básicos

Si ha utilizado el tercer método para estimar la ubicación de los árboles con este método podrá seleccionar aquellos registros cuya altura máxima sea cero, o 0.5 para editar la información de ubicación de los árboles y borrar dichos registros (previa verificación con el orto-mosaico). En la Figura 245 se muestra la expresión utilizada para seleccionar dichos registros.

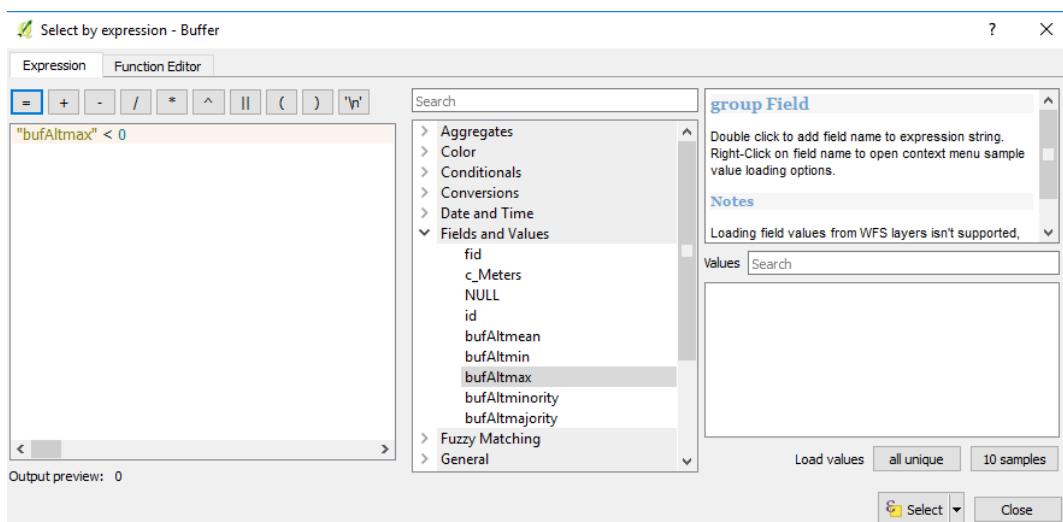


Figura 245. Expresión para seleccionar elementos que tengan una altura máxima menor a cero.

Las zonas de amortiguamiento cercanas a los bordes pueden ocasionar errores de estimación importantes, como se muestra en la siguiente figura. Esto porque la altura máxima será estimada con base en la altura de esos árboles.



Figura 246. Sobre-estimación de alturas de los árboles de la plantación.

#### 5.3.4 Estimación de índices de vegetación

Existen diferentes índices de vegetación que podrían indicar si existe un posible problema en un cultivo. Éstos índices, por lo general, utilizan información amplia del espectro electromagnético y no se limitan al espectro visible. Aunque no se utilizan con mucha frecuencia, se puede estimar índices de vegetación utilizando información del espectro visible. No se usan frecuentemente porque la información que ellos brindan es muy limitada en comparación con índices que utilizan datos del infrarrojo, sin embargo pueden ofrecer algunos indicios importantes sobre el estado de un cultivo, por ejemplo.

Para estimar estos índices se recomienda, primero tener la información de las bandas separadas en archivos diferentes. Esto para evitar errores. En la sección 5.1 se explica cómo se puede separar las bandas de un archivo ráster compuesto RGB.

Los índices que puede calcular son:

- NDVI visual. Según Tucker (1979) se estima como:  $(\text{Green} - \text{Red}) / (\text{Green} + \text{Red})$ .
- Green Leaf Index. De acuerdo con Louhaichi, Borman & Johnson (2001) se calcula de la siguiente manera.  $\text{GLI} = (2 * \text{Green} - \text{Red} - \text{Blue}) / (2 * \text{Green} + \text{Red} + \text{Blue})$ .
- VARI: Visual Atmospheric Resistance index. Según Gitelson, Kaufman, Stark & Rundquist. (2002) se estima como:  $\text{VARI} = (\text{Green} - \text{Red}) / (\text{Green} + \text{Red} - \text{Blue})$ .

Cada uno de estos índices se puede estimar con la calculadora ráster disponible desde el menú Raster/Raster calculator. En la figura 247 se muestra resultados de los índices.

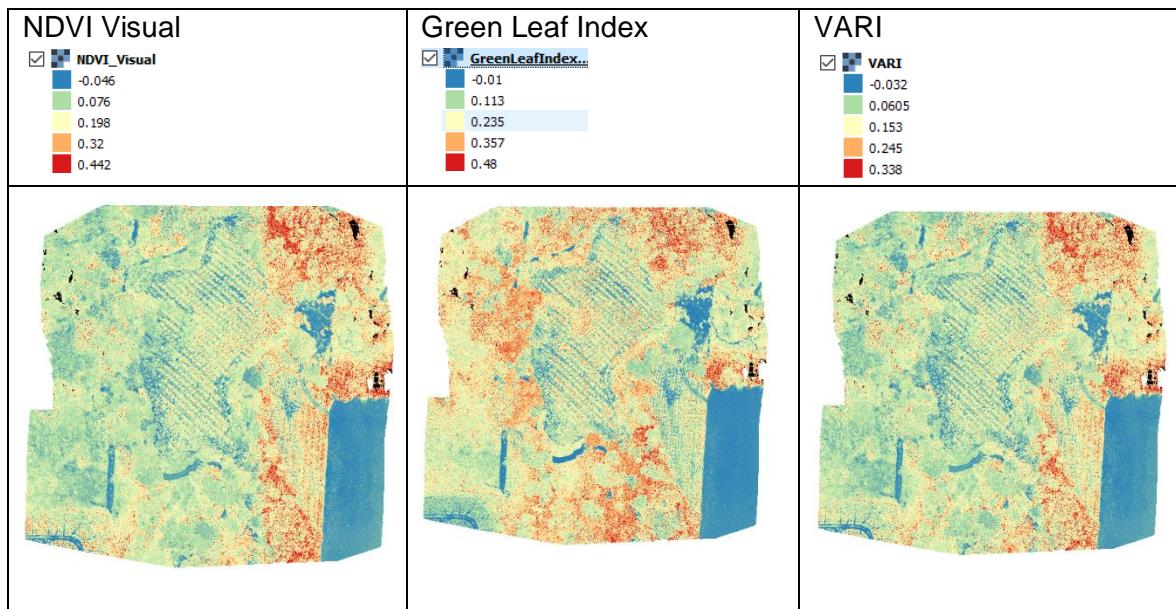


Figura 247. Resultados de índices estimados.

Los tres índices parecen distinguir bien el suelo desnudo y el agua. Esto implica que pueden usarse para identificar estas áreas y utilizarlas para estimar un Modelo de Elevación Digital. En la Figura 248 se muestra un ejemplo de estimación del índice NDVI visual con la calculadora ráster.

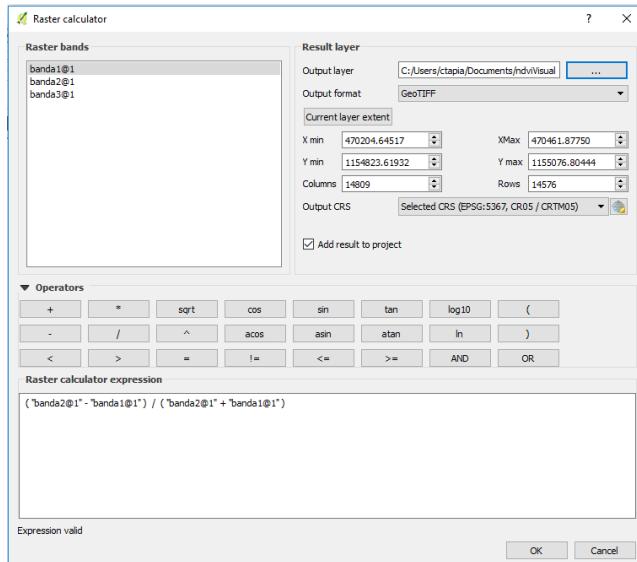


Figura 248. Estimación de índice NDVI Visual.

En la Figura anterior se estima el índice NDVI visual, la banda 2 corresponde a la verde mientras que la 1 es la roja. Es importante mantener un orden en el número de las bandas

cuando se separen para tener certeza de cuáles de ellas utilizar para estimar los índices de manera correcta.

Puede buscar la información asociada a los índices presentados anteriormente en internet para que conozca sobre la interpretación de resultados y sus implicaciones en términos de manejo de plantaciones forestales, en este caso.

## Bibliografía

Abdullah, Q.A. (c2018). Classification on the Unmanned Aerial Systems. The Pennsylvania State University. Recuperado de: <https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/5>

BAA Trainig. (2015). UAV Types: How to Choose Yours? Recuperado de: <https://www.baatraining.com/uav-types-how-to-choose-yours/>

Congedo, L. (s.f.). Semi-Automatic Classification Plugin. Recuperado de: <https://fromgistors.blogspot.com>

Corrigan, F. (29 de Agosto de 2018). How do drones work and what is drone technology. [Blog]. Recuperado de: <https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/what-is-drone-technology-or-how-does-drone-technology-work/>

Ducoy, D. (11 de Agosto de 2015). Dron, drone, UAV, UAS, RPA, RPAS: ¿Qué son? ¿Cómo llamarlos correctamente? [Blog]. Recuperado de: <https://www.masscience.com/2015/08/11/2051/>

Esenziale. (c2018). Todas las partes de los drones explicadas al detalle. TendenZias Media S.L. Recuperado de: <https://esenziale.com/tecnologia/partes-drone/>

Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R., Rundquist, D., 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment* 80, 76–87.

Guillén, M (9 de Mayo de 2018). Tipos de drones aéreos. [Blog]. España. Recuperado de: <https://dronespain.pro/tipos-de-drones-aereos/>

Hogan, S. & Kelly, M. (2017). Unmanned aerial systems for agricultura and natural resources. En: California Agriculture. 71,1. Recuperado de: <http://calag.ucanr.edu/Archive/?article=ca.2017a0002>

Louhaichi, M., Borman, M.M., Johnson, D.E., 2001. *Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat*. *Geocarto International* 16, 65–70.

Moore, J. (10 de Marzo de 2017). Improving the image qulity of your drone maps. [Blog]. Recuperado de: <https://blog.dronedeploy.com/improving-the-image-quality-of-your-drone-maps-499b26e62494>

NASA (National Aeronautics and Space Administration). (s.f.). Ikhana: Unmanned science and research aircraft system. Recuperado de: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/FS-097-DFRC.pdf>

Naveen, J. (5 de setiembre de 2016). 4 sensors that are being used in drones. [Blog]. Recuperado de: <https://www.allerin.com/blog/4-sensors-that-are-being-used-in-drones-technology>

Santana, E. (c2018). Tipos de drones: conoce todos los tipos de drones que existen. [Blog]. Recuperado de: <http://www.xdrones.es/tipos-de-drones-clasificacion-de-drones-categorias-de-drones/>

Tom's Tech Time. (21 de Mayo de 2016). Learn how to fly in ATTI Mode: Dji Phantom, Mavic, Inspire. [Video]. YouTube. Recuperado de: <http://www.youtube.com/watch?v=fF5qGOySsbc>

Tucker, C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8, 127–150.

## Anexos

### Anexo 1. Pasos para crear un archivo .kml en Google Earth Pro.

1. Descargue el programa gratuito Google Earth Pro en su computadora.
2. Abra el programa y utilice las herramientas de “zoom” y “pan” para desplazarse hasta el área de interés.
3. Con el botón “Add Polygon” digite en pantalla el área de interés (figura 1).



Fig. 1. Botón “Add polygon” disponible en el menú de Google Earth Pro.

4. Cuando presione el botón “Add Polygon” se desplegará una ventana en la cual deberá colocar un nombre adecuado para el archivo y luego ir dibujando en pantalla el área de interés (ver figura 2)

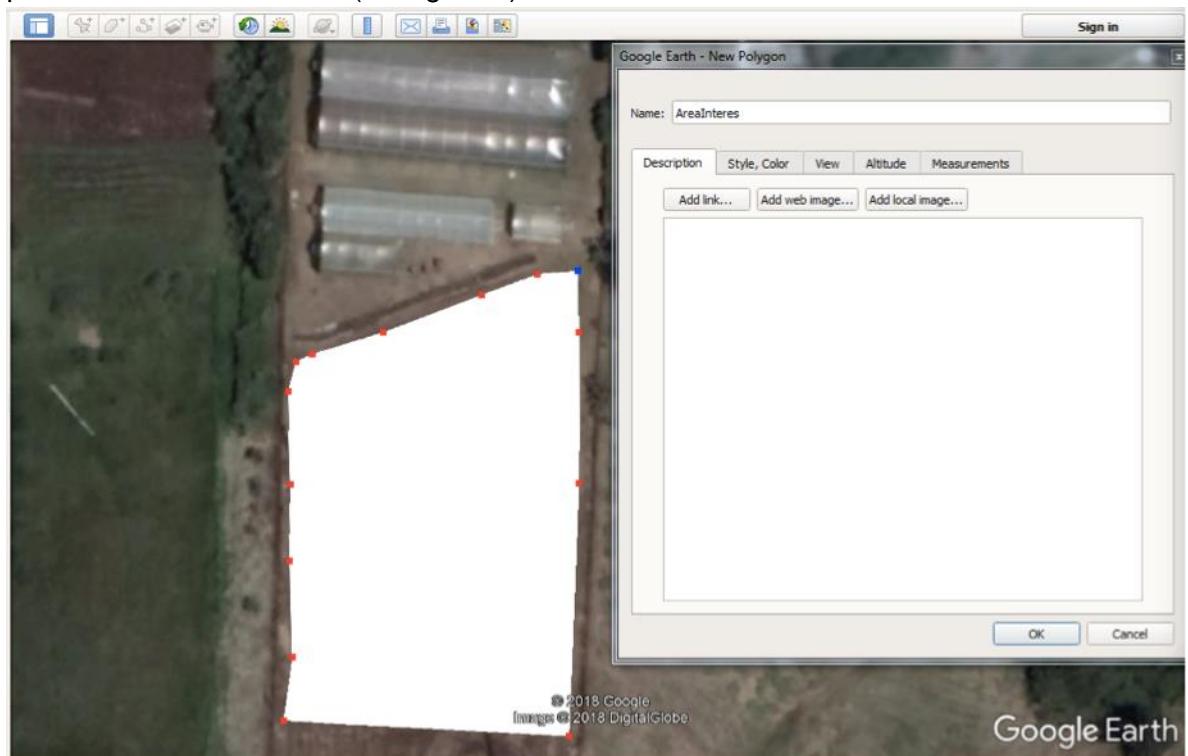


Fig. 2. Ventana para especificar características básicas del nuevo polígono.

5. Cuando haya terminado de digitar el área, presione el botón “OK”
6. Sobre el nombre del archivo presione el botón secundario del mouse y seleccione la opción “Save Place As...”, ver figura 3.

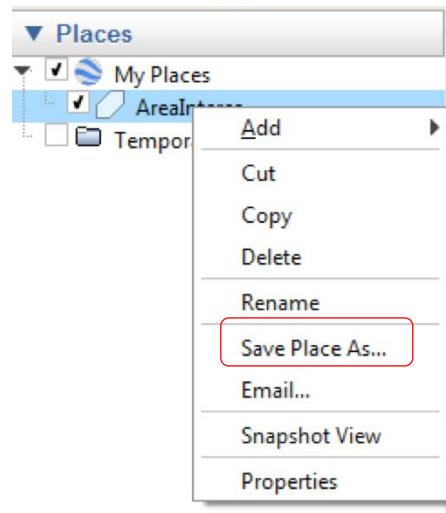


Fig. 3. Opción para guardar el polígono de interés creado anteriormente.

7. Asegúrese de guardar el archivo con el formato .kml como se muestra a continuación.

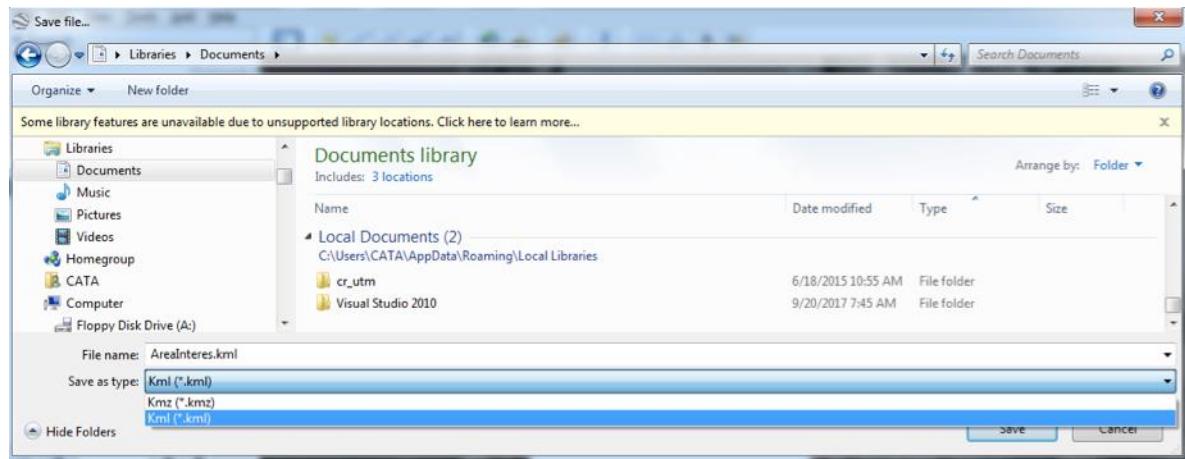


Fig. 4. Especificaciones para guardar el archivo en formato .kml.

8. Guarde su archivo en la nube.