



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA GEÓGRAFA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**TEMA: “GENERACIÓN DE TRUE ORTHOS MEDIANTE IMÁGENES
OBTENIDAS POR AVIONES NO TRIPULADOS DE ALA FIJA EN EL
SECTOR DE LA MERCED”**

AUTORA: MANZANO TOLEDO, DAMARIZ ALEXANDRA

DIRECTOR: ING. KIRBY POWNEY, EDUARDO PATRICIO, MGS.

SANGOLQUÍ

2020



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“GENERACIÓN DE TRUE ORTHOS MEDIANTE IMÁGENES OBTENIDAS POR AVIONES NO TRIPULADOS DE ALA FIJA EN EL SECTOR DE LA MERCED”** fue realizado por la señorita **Manzano Toledo, Damariz Alexandra** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 16 de enero de 2020

Ing. Eduardo Patricio Kirby Powney Mgs.
C.C.: 0102611811



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Manzano Toledo, Damariz Alexandra*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***“GENERACIÓN DE TRUE ORTHOS MEDIANTE IMÁGENES OBTENIDAS POR AVIONES NO TRIPULADOS DE ALA FIJA EN EL SECTOR DE LA MERCED”***, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 16 de enero de 2020

Damariz Manzano

Damariz Alexandra Manzano Toledo
C.C.: 1727599142



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIZACIÓN

*Yo, **Manzano Toledo, Damariz Alexandra** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“GENERACIÓN DE TRUE ORTHOS MEDIANTE IMÁGENES OBTENIDAS POR AVIONES NO TRIPULADOS DE ALA FIJA EN EL SECTOR DE LA MERCED”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.*

Sangolquí, 16 de enero de 2020

Damariz Manzano T.

Damariz Alexandra Manzano Toledo
C.C.: 1727599142

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación lo dedico a Dios que ha guiado cada una de mis decisiones y me ha llevado por el buen camino.

A la Virgencita de El Cisne que siempre ha cuidado de mí y de toda mi familia.

Con todo mi amor a mis papitos por el esfuerzo que han realizado, su apoyo incondicional y por motivarme a seguir adelante. Todo lo que he logrado en mi vida, sin duda alguna ha sido gracias a ustedes.

A mi querida sobrina Sofí, por ser la luz al final del túnel y ser la motivación durante los momentos difíciles.

Por último, a mí obvio, por toda la paciencia adquirida durante este proceso.

AGRADECIMIENTOS

“El día que te sientas frustrado porque aún no has llegado a dónde quisieras estar, acuérdate del día que metiste tu vida en dos maletas y dejaste todo lo que conocías”

A los integrantes del laboratorio de Sensores Remotos y Fotogrametría de la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Al director de este trabajo de titulación, Ingeniero Eduardo Kirby por la confianza depositada en mí. Al director de carrera, Ingeniero Alexander Robayo y al Ingeniero Oswaldo Padilla, por su ayuda para la finalización de este proceso.

A la empresa privada Instrumental y Óptica por el apoyo técnico y logístico brindado.

Al Ingeniero Alberto Andrade por su colaboración durante el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a todos los miembros de mi familia que me han apoyado, en especial a mi tía Yoly.

A Sisa, la amiga con la que he recorrido este camino lleno de altibajos, juntas nos hemos caído, levantado, peleado, reído y juntas lo hemos logrado.

A Fito, Diego y José que siempre han estado dispuestos a ayudarme, me han escuchado y alentado a finalizar este proceso.

Al grupo de -Pasantés-: Juanito, Fernando, Puma, Suco, Gabriel y resto de personas que me apoyaron en las salidas de campo. Todos ustedes, aún sin conocerme me brindaron su ayuda en esas largas jornadas de trabajo.

A mi equipo dinamita: Darío, Santi, Esteban, Pablo, Dennys y Jere, amigos con los que compartí gratos momentos en distintas épocas y en este último periodo estuvieron presentes con palabras de motivación.

A todas las personas que durante este largo proceso me escucharon y apoyaron.

A mí mismo... otra vez.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DEL DIRECTOR.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Definición del problema.....	4
1.3 Justificación.....	4
1.4 Área de Estudio	5
1.5 Objetivos	6
1.5.1 Objetivo General	6
1.5.2 Objetivos Específicos.....	6
1.6 Metas	7
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1 Fotogrametría	8
2.1.1 Fotogrametría de corto alcance	8
2.2 Elementos fotogramétricos.....	8
2.2.1 Imagen digital.....	8
2.2.2 GSD.....	9
2.2.3 CCD y CMOS	10
2.2.4 Geometría de la cámara.....	11
2.3 Proyecto de vuelo	11

2.3.1 Condiciones de vuelo	12
2.3.2 Elementos del plan de vuelo.....	13
2.4 Puntos de apoyo fotogramétrico.....	15
2.4.1 Puntos de control en tierra.....	15
2.4.2 Métodos de posicionamiento.....	18
2.4.3 Documentación (Monografías).....	20
2.4.4 Puntos de enlace (Tie Points).....	20
2.5 Distorsión y afectaciones fotogramétricas	21
2.6 Ajuste fotogramétrico.....	23
2.6.1 Orientación Interior	24
2.6.2 Orientación Relativa.....	24
2.6.3 Orientación Absoluta.....	25
2.6.4 Aerotriangulación.....	26
2.7 Modelos Digitales del Terreno	26
2.7.1 Modelo Digital de Elevaciones	26
2.7.2 Modelo Digital de Superficie	27
2.8 Filtros Digitales	27
2.9 Métodos de correlación de imágenes	28
2.9.1 Correlación basada en características (FBM).....	28
2.9.2 Correlación de mínimos cuadrados (LSM)	28
2.9.3 Correlación basada en costos	29
2.9.4 Semi – Global Matching (SGM)	29
2.10 Imágenes Orto rectificadas.....	30
2.10.1 Ortofoto Clásica	30
2.10.2 Ortofoto Verdadera (True Ortho).....	31
2.11 Restitución.....	33
2.11.1 Marca Flotante.....	34
2.11.2 Paralaje Estereoscópico.....	35
2.11.3 Visión Estereoscópica	36
2.12 Vehículos Aéreos no tripulados	36
2.12.1 Vehículos aéreos no tripulados de ala fija.....	37
2.12.2 Vehículos aéreos no tripulados de ala rotatoria	42

	viii
2.12.3 Vehículos aéreos no tripulados VTOL.....	42
2.13 Software fotogramétrico.....	46
2.13.1 Trimble Access Aerial Imaging	46
2.13.2 WingtraPilot y WingtraHub	46
2.13.3 Trimble Business Center (Módulo de Fotogrametría)	46
2.13.4 Inpho UASMaster	47
2.13.5 PIX4D.....	47
2.13.6 PHOTOMOD UAS	47
2.13.7 Summit Evolution	48
2.14 Exactitud Posicional.....	48
2.14.1 Control Terrestre	49
2.15 Teoría estadística.....	49
2.16 Marco Legal	49
2.16.1 Norma ISO	49
2.16.2 Norma NSSDA.....	50
2.16.3 Norma Ecuatoriana.....	52
CAPÍTULO III	55
METODOLOGÍA	55
3.1 Prefactibilidad del proyecto de vuelo.....	56
3.2 Planificación del vuelo.....	57
3.2.1 Cálculos teóricos para el plan de vuelo	58
3.2.2 Configuración del plan de vuelo en el software.....	60
3.3 Planificación puntos de apoyo fotogramétrico.....	67
3.4 Toma de imágenes y control terrestre	67
3.4.1 Ejecución del vuelo	67
3.4.2 Toma de puntos de apoyo fotogramétrico.....	70
3.5 Post procesamiento de los GCP	71
3.6 Etiquetado geográfico de las imágenes	72
3.7 Configuración del sistema.....	73
3.8 Proceso realizado en Photomod UAS	74
3.8.1 Aerotriangulación.....	74
3.8.2 Generación de Productos en Photomod UAS.....	79

3.9 Proceso realizado en UASMaster.....	94
3.9.1 Georreferenciación.....	99
3.9.2 Optimización radiométrica.....	104
3.9.3 Generación de productos.....	104
3.10 Restitución.....	115
3.11 Control de calidad.....	122
3.11.1 Análisis visual y radiométrico.....	122
3.11.2 Exactitud Posicional.....	123
3.11.3 Control de calidad de los mosaicos de MDT.....	125
CAPÍTULO IV.....	128
RESULTADOS.....	128
4.1 Resultados del plan de Vuelo.....	128
4.1.1 Resultados de la Planificación – WingtraOne.....	128
4.1.2 Resultados de la Planificación – UX5.....	129
4.1.3 Resultados de la Planificación – UX5 HP.....	131
4.2 Resultados de la planificación de puntos de apoyo fotogramétrico.....	133
4.3 Resultados de la ejecución del vuelo.....	133
4.4 Resultados del procesamiento de los puntos de apoyo fotogramétrico.....	134
4.5 Resultados del etiquetado geográfico de las imágenes.....	135
4.6 Resultados del procesamiento en Photomod UAS.....	137
4.6.1 Orientación Relativa.....	137
4.6.2 Resultado del pinchado de GCP.....	138
4.6.3 Resultados del ajuste del bloque en Photomod UAS.....	139
4.6.4 Resultados de la generación de productos.....	140
4.7 Resultados del procesamiento en UASMaster.....	146
4.7.1 Resultado del pinchado de GCP.....	146
4.7.2 Resultados del ajuste del bloque en UASMaster.....	147
4.7.3 Resultados de la generación de Productos.....	149
4.8 Resultados de la restitución.....	152
4.9 Control de calidad.....	153
4.9.1 Evaluación visual y radiométrica.....	153
4.9.2 Exactitud posicional.....	157

	x
CAPÍTULO V	163
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	163
5.1 Conclusiones	163
5.2 Recomendaciones	165
REFERENCIAS	166
ANEXOS	172

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Plano focal, punto principal y distancia focal</i>	11
Tabla 2. <i>Elementos del proyecto de vuelo</i>	13
Tabla 3. <i>Recubrimiento longitudinal y transversal</i>	14
Tabla 4. <i>Elementos para la planificación del vuelo</i>	14
Tabla 5. <i>Definiciones de True Ortho</i>	32
Tabla 6. <i>Escala de restitución en función del GSD</i>	34
Tabla 7. <i>Especificaciones del Rover UX5 HP</i>	40
Tabla 8. <i>Condiciones ISA</i>	40
Tabla 9. <i>Especificaciones de la cámara y del lente del UX5 HP</i>	41
Tabla 10. <i>Especificaciones del lanzador</i>	41
Tabla 11. <i>Especificaciones del hardware del WingtraOne</i>	43
Tabla 12. <i>Especificaciones de la cámara del WingtraOne</i>	45
Tabla 13. <i>Especificaciones de la operación del WingtraOne</i>	45
Tabla 14. <i>Definiciones estadísticas</i>	49
Tabla 15. <i>Número recomendado de puntos de chequeo basados en el área</i>	50
Tabla 16. <i>Tolerancia horizontal y vertical de cartografía para grandes escalas</i>	53
Tabla 17. <i>Variaciones de traslapo</i>	56
Tabla 18. <i>Detalles de la zona de trabajo</i>	58
Tabla 19. <i>Distancias libres de obstáculos para el UAV UX5 y UX5 HP</i>	63
Tabla 20. <i>Coordenadas UTM de la zona de despegue</i>	65
Tabla 21. <i>Catálogo de objetos escala 1:1000 no oficializado</i>	116
Tabla 22. <i>Catálogo de objetos escala 1:5000</i>	118
Tabla 23. <i>Detalles del plan de vuelo WingtraPilot</i>	128
Tabla 24. <i>Resumen de la planificación de vuelo con la aeronave UX5</i>	129
Tabla 25. <i>Resumen de la planificación de vuelo con la aeronave UX5 HP</i>	131
Tabla 26. <i>Detalles del rendimiento del WingtraOne</i>	133
Tabla 27. <i>Elenco de coordenadas de los puntos de apoyo fotogramétrico</i>	134
Tabla 28. <i>Elementos de la plantilla creada</i>	153
Tabla 29. <i>Comparación visual y radiométrica de los ortomosaicos</i>	156
Tabla 30. <i>Aplicación del test NSSDA para el ortomosaico clásico de Photomod UAS</i>	157
Tabla 31. <i>Aplicación del test NSSDA para el ortomosaico verdadero de Photomod UAS</i>	158
Tabla 32. <i>Aplicación del test NSSDA para el ortomosaico clásico de UASMaster</i>	158
Tabla 33. <i>Aplicación del test NSSDA para el ortomosaico verdadero de UASMaster</i>	159
Tabla 34. <i>Aplicación del test NSSDA para el ortomosaico clásico de PIX4D</i>	159
Tabla 35. <i>Estadísticos generales de los ortomosaicos</i>	160
Tabla 36. <i>Aplicación del test NSSDA para la restitución</i>	161
Tabla 37. <i>Estadísticos generales de los mosaicos de MDT</i>	162

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica de la zona de estudio	6
Figura 2. Imagen digital monobanda y RGB	9
Figura 3. Representación del GSD	9
Figura 4. Características del CCD y CMOS	10
Figura 5. Condiciones de vuelo.....	12
Figura 6. Punto de control terrestre.....	16
Figura 7. Distribución de GCP en un bloque	17
Figura 8. Señalización de GCP	18
Figura 9. Métodos de levantamiento GPS.....	18
Figura 10. Ejemplo de monografía de GCP.....	20
Figura 11. Tie point: imagen individual y bloque.....	21
Figura 12. Distorsión radial y tangencial	22
Figura 13. Desplazamiento debido al relieve	23
Figura 14. Orientación interna de una imagen digital	24
Figura 15. Orientación relativa	25
Figura 16. Orientación absoluta	25
Figura 17. Clasificación de la aerotriangulación.....	26
Figura 18. Diferencia entre un MDE y MDS	27
Figura 19. Filtros suavizantes y de paso bajo; realzantes y de paso alto	28
Figura 20. Geometría epipolar a) Modelo normal b) Modelo epipolarizado	30
Figura 21. Comparación ortofoto clásica y true ortho	31
Figura 22. Zonas ocultas	32
Figura 23. Combinación imágenes.....	33
Figura 24. Restitución 2D y 3D	34
Figura 25. Principio de marca flotante	35
Figura 26. Paralaje Estereoscópico	35
Figura 27. UAV: a) Ala fija, b) Multirroto, c) VTOL	37
Figura 28. Contenido de la maleta de transporte del UX5 HP	38
Figura 29. UAV UX5 HP: a) Cuerpo b) gBox.....	38
Figura 30. Piezas del UAV UX5 HP (Vista superior).....	39
Figura 31. Compartimiento de carga del UAV UX5 HP	39
Figura 32. Piezas del UAV UX5 HP (Vista inferior).....	40
Figura 33. Partes del UAV WingtraOne (Vista superior)	43
Figura 34. Partes del UAV WingtraOne (Vista inferior)	44
Figura 35. Caja Piloto del UAV WingtraOne	44
Figura 36. Interfaz WingtraHub	46
Figura 37. Subelementos de la exactitud posicional	48
Figura 38. Error estándar ajuste fotogramétrico	52
Figura 39. Flujograma del proyecto	56
Figura 40. Área de vuelo – Parroquia La Merced	58

Figura 41. Perfil de elevación de la zona de estudio.....	58
Figura 42. Configuración del plan de vuelo – WingtraPilot	61
Figura 43. División de bloques y configuración de parámetros – Access Aerial Imaging	63
Figura 44. Zona de despegue UX5/UX5 HP	65
Figura 45. Dirección a) despegue b) aterrizaje UX5/UX5 HP – Access Aerial Imaging	65
Figura 46. Parámetros aterrizaje UX5- UX5 HP.....	66
Figura 47. División de bloques y configuración parámetros UX5 HP – Access Aerial Imaging.....	66
Figura 48. Ubicación de las marcas de referencia.....	68
Figura 49. Ubicación de la base en la zona de despegue	68
Figura 50. Preparación del equipo antes del vuelo a) UAV WingtraOne b) Partes y piezas.....	69
Figura 51. Lista de chequeo WingtraOne.....	69
Figura 52. Ejecución del vuelo.....	70
Figura 53. Toma de puntos de control: a) Punto 1 b) Punto 11 c) Punto 6.....	70
Figura 54. Contenido de la tarjeta SD posterior al vuelo	72
Figura 55. Insumos procesamiento PPK	73
Figura 56. Configuración tarjeta NVIDIA	73
Figura 57. Configuración proyecto Photomod.....	74
Figura 58. Adición de imágenes – Photomod UAS	75
Figura 59. Parámetros de la cámara visualizados en Photomod UAS	75
Figura 60. División en líneas de vuelo – Photomod UAS	76
Figura 61. Visualización de la división en líneas de vuelo – Photomod UAS.....	76
Figura 62. Pinchado de GCP en Photomod UAS.....	77
Figura 63. Parámetros del ajuste – Photomod UAS.....	78
Figura 64. Autocalibración cámara – Photomod UAS.....	79
Figura 65. Obtención de la nube de puntos – Photomod UAS	80
Figura 66. Filtro de edificaciones y vegetación – Photomod UAS.....	80
Figura 67. Filtrado de picos en la nube de puntos – Photomod UAS	81
Figura 68. Filtrado de puntos en edificaciones – Photomod UAS.....	82
Figura 69. Colocación de puntos manualmente – Photomod UAS.....	83
Figura 70. Creación del TIN – Photomod UAS.....	84
Figura 71. Parámetros creación MDE – Photomod UAS.....	85
Figura 72. Parámetros creación MDS con el algoritmo SGM – Photomod UAS.....	86
Figura 73. Generación ortofotos simples – Photomod UAS.....	87
Figura 74. Tiempo estimado creación ortofotos – Photomod UAS	87
Figura 75. Visualización preliminar del ortomosaico – Photomod UAS.....	88
Figura 76. Parámetros creación líneas de corte – Photomod UAS	88
Figura 77. Visualización de las líneas de corte – Photomod UAS.....	89
Figura 78. Visualización de las líneas de corte – Photomod UAS.....	90
Figura 79. Diferencias de brillo en el ortomosaico – Photomod UAS.....	91
Figura 80. Parámetros del mosaico – Photomod UAS.....	92
Figura 81. Parámetros creación True Ortho – Photomod UAS	93
Figura 82. a) Interfaz inicial b) Configuración del proyecto – UASMaster	94

Figura 83. Edición del proyecto – UASMaster	95
Figura 84. Importación de las imágenes – UASMaster	95
Figura 85. Configuración proyecto UASMaster	96
Figura 86. Generación de pasadas – UASMaster.....	96
Figura 87. Configuración proyecto UASMaster	97
Figura 88. Conversión de imágenes: a) formato JPG b) TIF – UASMaster	97
Figura 89. Generación imagen de fondo – UASMaster	98
Figura 90. a) Vista principal b) Vista 3D del proyecto – UASMaster	98
Figura 91. Ventana “Mediciones UAS” – UASMaster.....	99
Figura 92. Extracción puntos de enlace – UASMaster	100
Figura 93. Revisión de los puntos de enlace – UASMaster	100
Figura 94. Pinchado de GCP – UASMaster.....	101
Figura 95. Indicador GCP – UASMaster	101
Figura 96. Calibración de la cámara – UASMaster	102
Figura 97. Revisión de conexión de fotos – UASMaster.....	103
Figura 98. Calibración final de la cámara – UASMaster	103
Figura 99. Optimización radiométrica – UASMaster	104
Figura 100. Flujo seguido para la generación de ortomosaicos – UASMaster	104
Figura 101. Tipos de modelos – UASMaster.....	105
Figura 102. Generación modelo “Terrain” – UASMaster.....	106
Figura 103. Nivel de extracción nube de puntos – UASMaster.....	106
Figura 104. Generación modelo “Surface CBM” – UASMaster	107
Figura 105. Generación modelo “Surface SGM_2.5D” – UASMaster	109
Figura 106. Búsqueda de errores groseros – UASMaster	110
Figura 107. Opciones de filtrado – UASMaster.....	111
Figura 108. Filtro de edificación – UASMaster.....	111
Figura 109. Filtro “DtmDsm” – UASMaster	112
Figura 110. Errores groseros en las edificaciones – UASMaster.....	113
Figura 111. Ejemplo de reinterpolación – UASMaster.....	113
Figura 112. Creación ortomosaico clásico – UASMaster	114
Figura 113. Creación ortomosaico verdadero – UASMaster	115
Figura 114. Configuración del ratón estándar – UASMaster.....	116
Figura 115. Creación de la plantilla: a) Capas b) Elementos de la capa – Photomod UAS.....	121
Figura 116. Captura de elementos a través de restitución – Photomod UAS	122
Figura 117. Herramienta “Análisis de imagen”	123
Figura 118. Navegación a los puntos de evaluación	124
Figura 119. Puntos RTK de evaluación	124
Figura 120. Puntos de evaluación: a) Visualización sobre el MDE b) sobre el MDS	125
Figura 121. Extracción de valores del MDS y MDE respecto a los puntos de evaluación.....	126
Figura 122. Generación MDE a partir de curvas de nivel restituidas	127
Figura 123. MDE a partir de curvas de nivel restituidas.....	127
Figura 124. Plan de vuelo –WingtraPilot.....	128

Figura 125. Planificación UX5: a) División de bloques b) Líneas de vuelo c) Despegue, aterrizaje y zona de influencia.....	130
Figura 126. Planificación UX5 HP: a) División de bloques b) Líneas de vuelo c) Despegue, aterrizaje y zona de influencia.....	132
Figura 127. Distribución de los GCP y la base	133
Figura 128. Monografía de un GCP	135
Figura 129. Procesamiento WingtraHub: a) Sin PPK b) PPK	136
Figura 130. Archivos CSV del procesamiento a) Sin PPK b) PPK	136
Figura 131. Reporte orientación relativa – Photomod UAS	137
Figura 132. Visualización del bloque con orientación relativa – Photomod UAS	138
Figura 133. Número de mediciones realizadas para cada GCP – Photomod UAS.....	138
Figura 134. Reporte del ajuste – Photomod UAS	140
Figura 135. Nube de puntos depurada – Photomod UAS	140
Figura 136. TIN obtenido a partir de la nube de puntos – Photomod UAS	141
Figura 137. MDE obtenido – Photomod UAS	141
Figura 138. Obtención MDS a través de SGM – Photomod UAS.....	142
Figura 139. Control de exactitud previo a la generación de ortofotos – Photomod UAS.....	143
Figura 140. Ortofoto obtenida – Photomod UAS	144
Figura 141. Ortomosaico clásico – Photomod UAS	144
Figura 142. True Ortho con “Ajuste de brillo global” – Photomod UAS.....	145
Figura 143. Ortomosaico verdadero – Photomod UAS	146
Figura 144. Mediciones realizadas para cada GCP – UASMaster.....	147
Figura 145. Reporte del ajuste con 14 GCP – UASMaster.....	148
Figura 146. Reporte del ajuste – Photomod UAS	149
Figura 147. Modelo “Terrain”: a) Vista 2D b) Vista Admin. Nube puntos – UASMaster.....	149
Figura 148. Modelo “Surface CBM”: a) Vista 2D b) Vista Nube puntos – UASMaster	150
Figura 149. Modelo “Surface SGM_2.5D” – UASMaster.....	150
Figura 150. Comparación modelo: “Surface CBM” y “Surface SGM_2.5D” – UASMaster.....	151
Figura 151. Ortomosaico clásico – UASMaster	152
Figura 152. Ortomosaico verdadero – UASMaster.....	152
Figura 153. Visualización de los elementos restituidos – Photomod UAS.....	153
Figura 154. Comparación visual de los ortomosaicos obtenidos.....	155
Figura 155. Evaluación radiométrica	156
Figura 156. Exactitud posicional de los ortomosaicos.....	160
Figura 157. Exactitud vertical de los mosaicos de MDT	162

RESUMEN

El uso de aeronaves no tripuladas para la captura de información geoespacial ha incrementado a medida que avanza la tecnología. Así mismo, el procesamiento de los datos se ha facilitado al ser realizado de manera automática aunque sin tomar en cuenta factores que mejoran la calidad. Generalmente, las ortofotos convencionales presentan abatimiento de elementos como: vegetación y construcciones; mediante la generación de True Orthos se busca corregir dichos problemas eliminando las zonas ocultas que dificultan la obtención de información. Es así que, el presente proyecto tiene por objetivo generar true orthos mediante imágenes obtenidas por UAV de ala fija en el sector de La Merced. Para ello, se elaboró el plan de vuelo y planificación de GCP para un área de 300 ha. Posteriormente, se ajustó el bloque fotogramétrico y se generaron MDT utilizando varios métodos de correlación de imágenes (LSM, CBM y SGM) con el fin de obtener ortomosaicos clásicos y verdaderos, siendo estos últimos una opción para la generación de cartografía mediante digitalización, facilitando la captura de construcciones y manzanas. De manera visual, se evidencia el abatimiento de las construcciones en los ortomosaicos clásicos y una vista nadiral en los verdaderos. La exactitud posicional promedio de los ortomosaicos es 0.166m y 0.192m al 90% y 95% de confianza respectivamente, cumpliendo con la normativa para productos de escala 1:1000. Aceptándose también los productos obtenidos mediante restitución al ser su exactitud posicional 0.233m y 0.271m al 90% y 95% de confianza respectivamente.

PALABRAS CLAVE:

- **CORRELACIÓN DE IMÁGENES**
- **ORTOFOTO VERDADERA**
- **ABATIMIENTO**
- **CORRELACIÓN SEMI GLOBAL**
- **PHOTOMOD Y UASMASTER**

ABSTRACT

The use of unmanned aerial vehicles for the capture of geospatial information has increased as technology advances. Likewise, data processing has been facilitated by being carried out automatically but without taking into account factors that improve quality. Generally, conventional orthophotos show inclination of elements such as: vegetation and constructions; through the generation of True Orthos, we seek to rectify these problems by eliminating hidden areas that make them difficult to obtain information. Thus, this project aims to generate true orthos through images obtained by fixed-wing UAVs at La Merced town. To this end, the flight plan and planning of GCP for an area of 300 hectares was prepared. Subsequently, the photogrammetric block was adjusted and DTM was generated using a variety of image matching methods (LSM, CBM and SGM) in order to obtain classic and true orthomosaics, the last one is an option for generation of cartography by digitization, facilitating the capture of buildings and blocks. In a visual way, the inclination of constructions in the classic orthomosaics and a nadiral view in the true orthomosaics are evident. The average positional accuracy of orthomosaics is 0.166m and 0.192m at 90% and 95% of confidence respectively, according with the regulations for 1:1000 scale products, also accepting the products obtained by restitution with its positional accuracy 0.233m and 0.271m at 90% and 95% of confidence, respectively.

KEY WORDS:

- **IMAGE MATCHING**
- **TRUE ORTHOPHOTO**
- **INCLINATION**
- **SEMI GLOBAL MATCHING**
- **PHOTOMOD AND UASMASTER**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las fotografías aéreas requieren de georreferenciación espacial y al ser una representación cónica de la realidad, presentan afectaciones. Dentro de las limitaciones están: la deformación debido a la perspectiva, deformación por el relieve del terreno, la falta de verticalidad de la toma fotográfica y las distorsiones del objetivo de la cámara (Red de Información Ambiental de Andalucía, 2011).

Con el desarrollo de la tecnología, la fotogrametría digital se ha comenzado a utilizar ampliamente en casi todas las áreas del mapeo. Las ortofotos digitales, que son productos fotogramétricos, son utilizadas con frecuencia debido a su fácil interpretación. Esto ha incrementado su demanda y ha llevado a la necesidad de investigar acerca de sus características, entre ellas la precisión. Algunos de los factores que afectan la precisión de las ortofotos son: la resolución, escala de las fotos aéreas o imágenes satelitales utilizadas; la calidad y escala del modelo digital de elevación y la topografía del terreno (Ayhan, Akar, Atay, & Tunc, 2006).

La ortofotografía digital es un producto económico y eficiente que se utiliza para representar la forma correcta de cualquier objeto 3D, en forma fotográfica, mediante su proyección ortogonal en un plano predefinido. Si la zona a representar contiene áreas urbanas, se tiene muchas líneas de discontinuidad (líneas de corte) y áreas ocultas, requiriendo un procedimiento de ortoproyección más complejo. La falta de información correspondiente a las áreas ocultas se evita si se utilizan todas las imágenes disponibles en el bloque fotogramétrico. Por ellos para producir ortofotos digitales rigurosas se necesitan múltiples imágenes y un DTM denso (Biasion, Dequal, & Lingua, 2004)

Las ortofotos (clásicas) que son generados con un Modelo Digital de Terreno, comúnmente presentan desplazamientos por la perspectiva y áreas ocultas por objetos como edificaciones, siendo productos geoméricamente inexactos o incompletos. Además, se presenta un efecto fantasma en los objetos si no se detectan las áreas ocultas en las imágenes, por lo que, serían completadas con información de la misma imagen en vez de ser rellenadas con imágenes adyacentes (Braun, 2003).

De acuerdo a Morten Odegaard Nielsen (2004) y Santos (2005), en la generación de ortofotos convencionales se presentan los objetos desplazados; es decir, solo los objetos que están a nivel del terreno son reproyectados de manera correcta al ser elaborada en base a un MDT. Además, una ortofoto es un producto en donde no se detectan áreas ocultas y aumenta el efecto de imagen fantasma

Al realizar la ortorectificación en base a un modelo digital de superficie, es decir, incluyendo construcciones y puentes, estos elementos se colocan en su posición original, por lo que, se estaría obteniendo una ortofoto verdadera (Nielsen, 2004). Es así que, al momento de generar ortofotos verdaderas (con un MDS), se corrigen los desplazamientos y ocultamientos de objetos ya sean estos naturales o los creados por el hombre. Por lo que, si se requiere elaborar cartografía catastral urbana, las ortofotos verdaderas presentan una solución a problemas de exactitud (Santos, 2005).

Los factores que influyen en la calidad de una ortofoto son la resolución de las imágenes, la calibración de la cámara y la precisión del modelo digital del terreno empleado. Al tener alta resolución espacial con el uso de cámaras digitales, al momento de generar ortofotos el componente que influye es la resolución espacial del modelo, por lo que los objetos presentan desplazamiento radial al final del producto. Una solución es la combinación de las imágenes desde diferentes puntos

de vista evitando las oclusiones (zonas ocultas) y el efecto fantasma (Barazzetti, Brumana, Oreni, & Previtali, 2014).

Las imágenes aéreas se obtienen a través de la proyección por perspectiva y en consecuencia, se tiene desplazamiento debido al relieve en el producto final. En un terreno plano, la ortorectificación funciona de buena manera al no tener una variación rápida en la elevación. No obstante, para proyectos de escalas grandes de áreas urbanas y especialmente con construcciones complejas se debe incluir en el modelo digital los elementos de la superficie. Con el afán de disminuir la distorsión producidas por áreas dobles que como efecto restan utilidad y confiabilidad de la ortofoto (Chen, Briese, Karel, & Pfeifer, 2014).

Gharibi & Habib (2018), indican que las ortofotos generadas usando métodos convencionales tienen una escala uniforme y representan todos los objetos en sus ubicaciones planimétricas correctas. Sin embargo, presentan un efecto de doble mapeo que ocurre en áreas ocultas por objetos altos. El problema se resuelve mediante la generación de ortofotos verdaderas, en el que se incorpora un proceso de detección de oclusión. Es así que, presentan una comparación de ortofotos verdaderas y MDS, obtenidos a partir de datos LiDAR y por coincidencia de imágenes para un área de estudio urbano. Incluyendo métodos de detección de oclusión buscando un mejor rendimiento en términos de salida y tiempo de ejecución.

Gamal, Ramzi, Sharawi, & Bekheet (2018) evalúan ortofotos verdaderas generadas a partir de dos enfoques: imágenes de alta resolución obtenidas con una cámara aérea digital y datos LiDAR. Los resultados muestran que aunque el MDS automático obtenido a partir del método de cámara aérea digital tiene nubes de puntos 3D muy densas en comparación con las nubes de puntos 3D LiDAR. Sin embargo, la ortofoto verdadera producida a partir del segundo enfoque es mejor que la procedente del primero.

1.2 Definición del problema

El uso de aeronaves no tripuladas para la captura de información geoespacial ha incrementado a medida que avanza la tecnología. Así mismo, el procesamiento de los datos se ha facilitado al ser realizado de manera automática aunque sin tomar en cuenta factores que mejoran la calidad de los productos.

Las ortofotos convencionales, que son los productos demandados en la actualidad son elaboradas a partir de densificaciones de puntos creados por defecto. Por lo tanto, las ortofotos presentan desplazamientos de los elementos y en consecuencia, su posterior modelamiento o digitalización también son elaborados con esos errores. Además, se debe considerar que en una ortofoto no se detentan ni corrigen zonas ocultas, dificultando la obtención de información de los objetos. Es así que, en este estudio, se pretende generar ortofotos verdaderas desde nubes de puntos densas obtenidas con diferentes algoritmos de coincidencia. Cuya depuración permita mejorar los modelos digitales de superficie para disminuir el abatimiento de los elementos.

1.3 Justificación

Mediante la generación de True Orthos a partir de imágenes capturadas por aviones no tripulados de ala fija se busca corregir el desplazamiento y abatimiento tanto de elementos naturales (árboles), como los creados por el hombre (construcciones) problemas que generalmente se presentan en las ortofotos convencionales al ser estos elaborados de manera automática y sin depuraciones posteriores. Siendo esto una alternativa de utilidad para la cartografía a escalas grandes que son las requeridas para fines catastrales especialmente.

Al mismo tiempo, el tema de investigación contribuye con el conocimiento acerca de la aplicación de software fotogramétrico especializado como Inpho UASMaster o Photomod UAS, así como, la influencia de los mismos sobre la calidad de los productos generados.

Con esta investigación, todos los profesionales tanto de la empresa pública como privada que se dediquen a la generación de cartografía con nuevas tecnologías como los vehículos aéreos no tripulados se beneficiaran de los resultados obtenidos.

Así también, dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, además de la Carrera Ingeniería en Tecnologías Geoespaciales contarán con una herramienta de conocimiento útil para la formación académica, fundamentalmente, en el área de fotogrametría aplicada.

1.4 Área de Estudio

La parroquia rural de La Merced se encuentra en la provincia de Pichincha, en el Distrito Metropolitano de Quito, a 25 km del sur este de Quito. Esta parroquia limita al norte con la parroquia de Tumbaco, al sur con la parroquia de Alangasí y Píntag, al este con Píntag y al oeste con Alangasí y Guangopolo. La altura promedio de la parroquia es de 2800 msnm, la altura mínima es de 2500 msnm en la parte occidental que limita con Alangasí y una altura máxima de 3140 msnm al norte en la parte alta del Ilaló. Posee un clima templado con una temperatura media anual de 16 °C y de acuerdo al censo del 2010 cuenta con una población de 8394 habitantes. Su territorio está dividido en 24 barrios que suman una superficie aproximada de 3163 ha (Gobierno Parroquial La Merced, 2018).

En esta parroquia se encuentra el área de estudio, que cubre una extensión aproximada de 300 ha como se indica en la **Figura 1**, con una altura mínima de 2510 msnm y altura máxima de 2610 msnm.

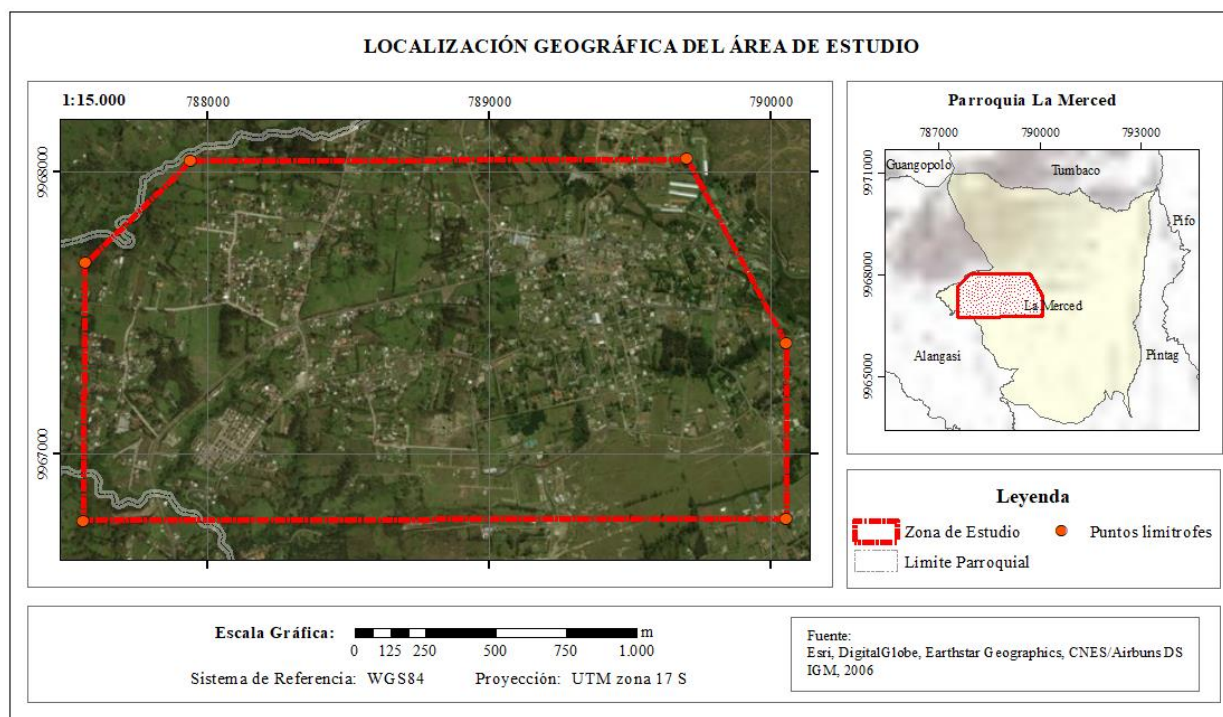


Figura 1. Localización geográfica de la zona de estudio

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Generar True Orthos y restitución fotogramétrica a partir de imágenes obtenidas por aviones no tripulados de ala fija en el sector de La Merced.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Elaborar el plan de vuelo y planificación de los puntos de apoyo fotogramétrico para la captura de imágenes y control terrestre de la zona de estudio con UAV de ala fija.
- Ajustar el bloque fotogramétrico de la zona de estudio mediante software especializado (Inpho UASMaster o PIX4D o Photomod UAS) para la generación de modelos digitales del terreno, ortofotos simples u ortomosaicos y true orthos.

- Generar cartografía 2D y 3D para escala 1:1000 a través de restitución de imágenes obtenidas por UAV en un área o áreas con extensión aproximada de 40 ha de la zona de estudio mediante software fotogramétrico de restitución de drones.
- Evaluar y validar los productos obtenidos por fotogrametría de corto alcance mediante análisis visuales, radiométricos y exactitud posicional.

1.6 Metas

- Un documento técnico y digital acerca de la elaboración del plan de vuelo para el avión no tripulado de ala fija.
- Un elenco de coordenadas de puntos de apoyo fotogramétrico y sus respectivas monografías.
- Una true ortho, ortomosaico, y mosaico del modelo digital de terreno y superficie de la zona de estudio.
- Un manual acerca del ajuste fotogramétrico para los diferentes productos a obtener.
- Captura de elementos en un área de 40 ha de la zona de estudio mediante restitución.
- Un informe de evaluación y validación de la calidad de los productos generados que incluye la exactitud posicional.
- Un documento con estructura de artículo para ser publicado en una revista indexada.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se mencionan los conceptos teóricos a emplearse durante el desarrollo de este proyecto.

2.1 Fotogrametría

Según la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS), la Fotogrametría es "el arte, ciencia y tecnología de obtener información fidedigna de los objetos físicos y del medio ambiente mediante procesos de registro, medición, e interpretación de imágenes fotográficas y de modelos de energía radiante electromagnética y otros fenómenos" (Sánchez, 2007).

La fotogrametría digital surge a partir de los 80 en donde se utilizan imágenes digitales como insumos de entrada siendo estas adquiridas por una cámara digital o mediante el empleo de un escáner para la digitalización matricial de una imagen analógica. Es así que la fotogrametría digital tiene por objetivo reconstruir el espacio tridimensional a partir de imágenes bidimensionales (Coelho & Nunes, 2009)

2.1.1 Fotogrametría de corto alcance

La fotogrametría de corto alcance o también denominada de objeto cercano emplea fotografías que son tomadas a una distancia entre 10 cm y 300 m obteniendo así mediciones geometrías de los elementos. Generalmente, es aplicada a objetos con tamaño entre 10 cm y 200 m aproximadamente (Balaguer, 2017).

2.2 Elementos fotogramétricos

2.2.1 Imagen digital

Según Quirós Rosado (2014), una imagen digital es un archivo digital estructurado en una matriz (imagen monobanda) bidimensional en donde la unidad mínima es el píxel compuesto por

coordenadas fila y columna. Cada píxel tiene un valor llamado Nivel Digital (ND) y está representado por un nivel de gris. Las imágenes a color, es decir, RGB tienen tres matrices, una para cada color: rojo, verde, azul (**Figura 2**) y como cada matriz tiene sus niveles digitales, el espacio de almacenamiento que necesitan se triplica.

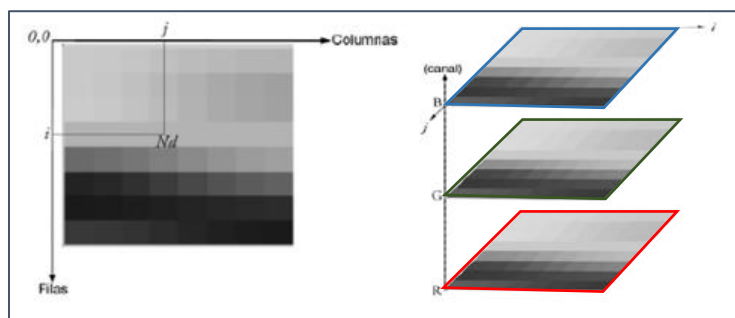


Figura 2. Imagen digital monobanda y RGB

Fuente: (Quirós, 2014) modificado por la autora

2.2.2 GSD

El GSD (Ground Sample Distance) indica la distancia entre los puntos centrales de cada muestra tomada del suelo, al hablar de fotos digitales, cada muestra es una celda o un píxel, en otras palabras, el GSD representa el tamaño aproximado que tiene un píxel en el terreno (Propeller Aero, 2018), como se muestra en la **Figura 3**.

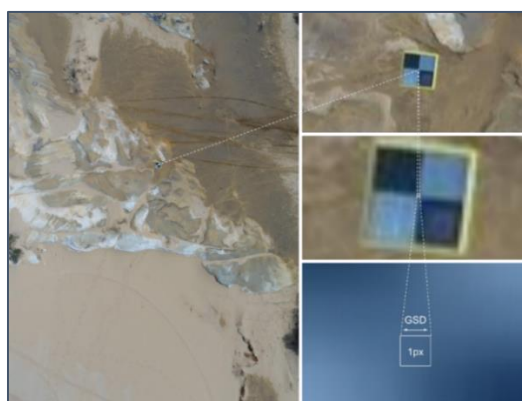


Figura 3. Representación del GSD

Fuente: (Propeller Aero, 2018)

2.2.3 CCD y CMOS

De acuerdo a Nick Waltham (2013), cuando una imagen es capturada por una cámara de red, la luz debe pasar a través del lente y cae sobre el sensor de imagen, este sensor consta de elementos de imagen llamados píxeles, que registran la cantidad de la luz que cae sobre ellos. Posteriormente se convierte la cantidad de luz recibida en un número de electrones, cuanto más fuerte es la luz, más electrones se generan. Los electrones se convierten en voltaje y luego se transforman en números por medio de un convertidor A/D (analógico digital). La señal constituida por los números es procesada por circuitos electrónicos dentro de la cámara.

Actualmente, hay dos tecnologías principales que pueden usarse para el sensor de imagen en una cámara, estos son CCD (Dispositivo de carga acoplada) y CMOS (Semiconductor de óxido de metal complementario) (Axis Communications AB, 2019). En la **Figura 4** se mencionan algunas diferencias.

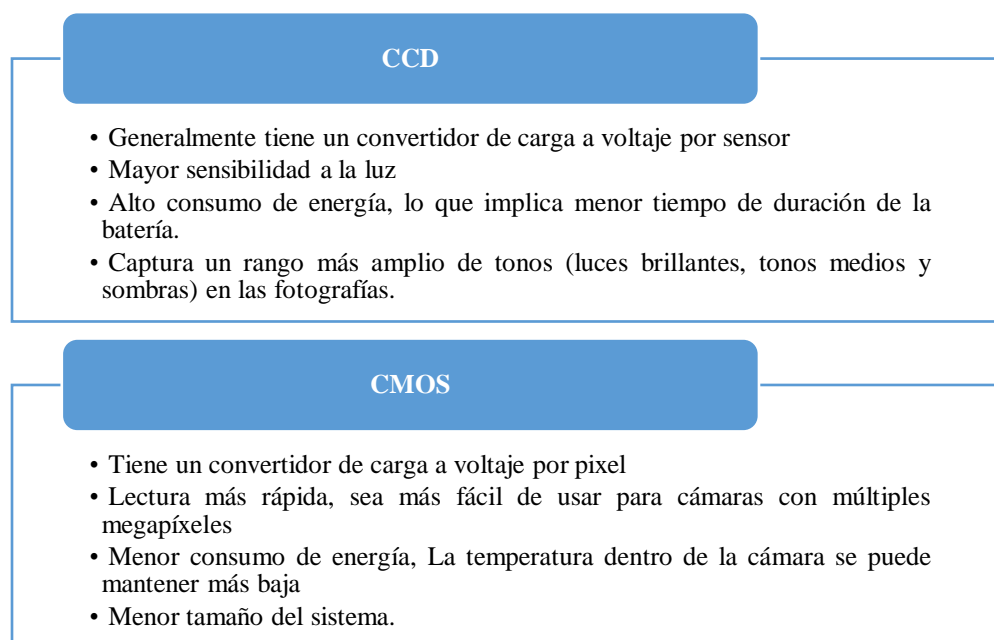


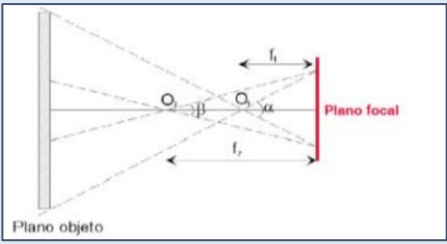
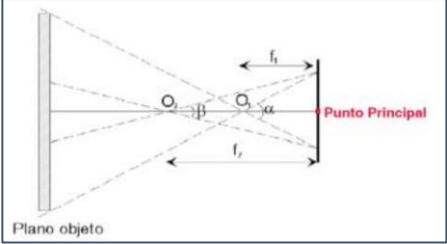
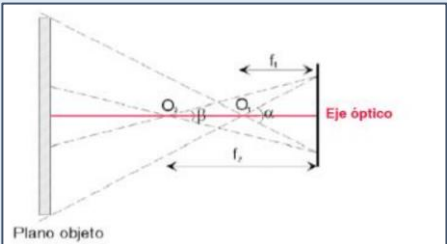
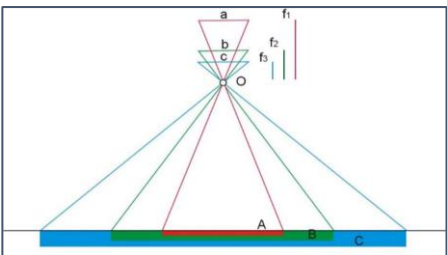
Figura 4. Características del CCD y CMOS

Fuente: Adaptado de (Axis Communications AB, 2019)

2.2.4 Geometría de la cámara

En la **Tabla 1** se definen elementos como el plano focal, punto principal y distancia focal con su respectiva figura.

Tabla 1.
Plano focal, punto principal y distancia focal

Elemento	Definición	Figura
Plano focal	Plano donde inciden los haces de luz al momento de la obturación de la cámara y donde es capturada la imagen.	
Punto principal	Punto central de la fotografía En una fotografía vertical debe coincidir con el nadir (punto en el terreno directamente debajo de la cámara).	
Eje óptico	Eje perpendicular al plano focal que pasa por el centro geométrico de la cámara	
Distancia focal	También llamada distancia principal. Distancia que existe entre el centro del objetivo hasta el plano focal cuando la cámara está enfocada al infinito	

Fuente: Adaptado de (IGN - CNIG, 2015a)

2.3 Proyecto de vuelo

De acuerdo Instituto Geográfico Nacional de España y el Centro Nacional de Información Geográfica (2015a), el proyecto de vuelo abarca los cálculos previos que se realizan antes de

ejecutar un vuelo fotogramétrico con el fin de obtener la mejor cobertura con un menor número de fotografías. Al momento de realizar el vuelo se debe buscar imágenes nítidas, cobertura regular, escala lo más constante posible y que el sol no esté ni muy cerca ni muy bajo de la vertical.

En los apartados posteriores se mencionan algunas características acerca de las condiciones de vuelo, el diseño geométrico del vuelo y los elementos que intervienen en la planificación.

2.3.1 Condiciones de vuelo

Se debe tomar en cuenta que al momento de realizar un vuelo no se tienen necesariamente las condiciones ideales establecidas en la teoría, sea por el hecho de intentar mantener vertical el eje de la cámara o por los accidentes geográficos que tiene la zona (IGN - CNIG, 2015a). En la **Figura 5** se muestra algunas consideraciones a realizarse respecto al desnivel del terreno, inclinación del eje de la toma y algunos requisitos para las condiciones de vuelo.

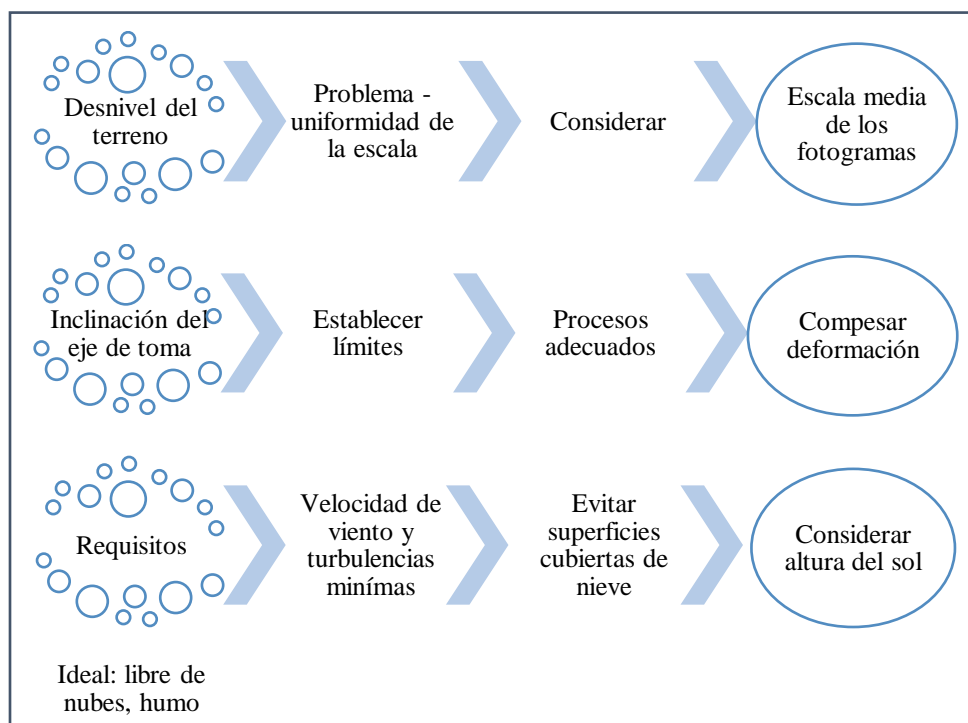


Figura 5. Condiciones de vuelo

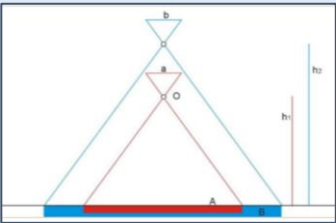
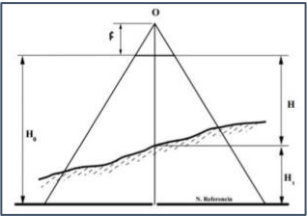
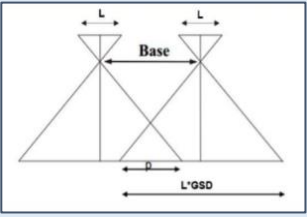
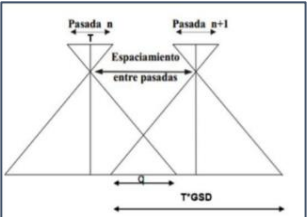
Fuente: Adaptado de (IGN - CNIG, 2015a)

2.3.2 Elementos del plan de vuelo

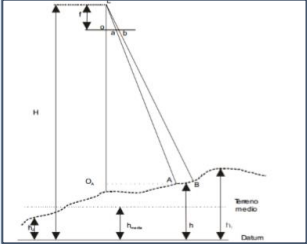
En la **Tabla 2** y **Tabla 3** se resumen los elementos definidos en el proyecto de vuelo como: altura de vuelo, base, espaciamiento entre pasadas, escala y recubrimiento (transversal y longitudinal) con su respectiva figura y ecuación:

Tabla 2.

Elementos del proyecto de vuelo

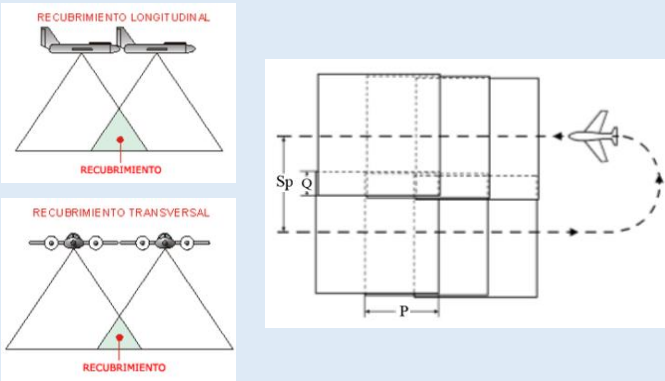
Elemento	Definición	Figura	Ecuación
Altura de vuelo	Distancia que existe entre el terreno fotografiado y el centro del lente.		$\frac{1}{e} = \frac{f}{H_t} \quad (1)$ <ul style="list-style-type: none"> • e: Denominador de la escala • f: Focal • H_t: Altura media sobre el terreno
Altura de vuelo respecto a un plano de referencia	Altura de vuelo sobre el nivel medio del mar. Se determina luego de conocer el tamaño de GSD, CCD y focal.		$H_o = H_t + h_m \quad (2)$ <ul style="list-style-type: none"> • H_m: Altura de vuelo sobre el terreno • H_o: Altura de vuelo sobre nivel medio del mar • H_t: Altura media sobre el terreno
Base aérea	La distancia que recorre el avión entre dos disparos consecutivos. (Distancia entre dos puntos principales en el terreno).		$B = L \times GSD (m) \times \left(1 - \frac{p\%}{100}\right) \quad (3)$ <ul style="list-style-type: none"> • B: Base aérea • GSD: tamaño de pixel medido sobre el terreno • L: N° de píxeles del fotograma en sentido longitudinal • p (%): Porcentaje de recubrimiento longitudinal
Espaciamiento entre pasadas	Distancia entre las líneas de vuelo de dos pasadas adyacentes.		$S_p = T \times GSD [m] \times \left(1 - \frac{q(\%)}{100}\right) \quad (4)$ <ul style="list-style-type: none"> • S_p: distancia en el terreno entre los ejes de dos pasadas • T: N° de píxeles del fotograma en sentido transversal • GSD: tamaño de pixel medido sobre el terreno = CCD \times e

➔ Continúa

Escala de la fotografía	Relación entre lo que mide un objeto en la fotografía y lo que representa en el terreno o entre la distancia focal y la altura de vuelo.		$\frac{1}{e} = \frac{f}{H_t} = \frac{CCD}{GSD} \quad (5)$
		<ul style="list-style-type: none"> • f: Focal • H_t: Altura media sobre el terreno • CCD: Tamaño pixel cámara digital • GSD: Tamaño de pixel medido sobre el terreno 	

Fuente: Adaptado de (Bustillos, 2014), (Quirós, 2014), (IGN - CNIG, 2015a) y (IGN - CNIG, 2015b)

Tabla 3.
Recubrimiento longitudinal y transversal

Elemento	Definición	Figuras
Recubrimiento	<p>Zona común del terreno que aparece en dos fotografías consecutivas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Longitudinal (% p): recubrimiento necesario entre fotografías sucesivas para permitir estereoscopia • Transversal (% q): recubrimiento entre pasadas de vuelo para unir las fotografías 	

Fuente: Adaptado de (Bustillos, 2014) y (IGN - CNIG, 2015a)

Adicionalmente, dentro de la planificación del vuelo se emplean las siguientes ecuaciones:

Tabla 4.
Elementos para la planificación del vuelo

Elemento	Definición	Ecuación
Cadencia de disparos	Diferencia de tiempo entre dos disparos consecutivos, medido en segundos	$t = \frac{B}{v \left[\frac{m}{s} \right]} \quad (6)$
	<ul style="list-style-type: none"> • B: Base aérea • v: Velocidad 	

➔ *Continúa*

Número de fotos por pasada	<p>Se obtiene de dividir la longitud de la zona de trabajo para la base aérea.</p> <p>Redondear este valor por exceso y además sumarle una fotografía para cerciorarse de que se cubre toda la zona.</p>	$N^{\circ}_{fotos\ pda} = \frac{(A)}{B} + 1 \quad (7)$
	<ul style="list-style-type: none"> • $N^{\circ}_{fotos\ pda}$: Número de fotos por pasada • (A): Dimensiones zonas de trabajo - Ancho • B: Base aérea 	
Número de pasadas	<p>Cantidad de líneas de vuelo necesarias para cubrir totalmente el área a fotografiar considerando el traslapeo transversal. Se agrega una línea adicional a fin de compensar un posible error</p>	$N^{\circ}_{pdas} = \frac{(C) - T \times GSD}{Sp} + 1 \quad (8)$
	<ul style="list-style-type: none"> • N°_{pdas}: Número de pasadas • (C): Dimensiones zonas de trabajo - Ancho • T: N° de pixeles del fotograma en sentido transversal (filas) • GSD: tamaño de pixel medido sobre el terreno • Sp: Porcentaje de recubrimiento longitudinal 	
Número de fotos	<p>Este valor es el resultado de multiplicar el número de fotos por pasada por el número de pasadas.</p>	$N = \frac{N^{\circ}_{fotos\ pda}}{N_p} \quad (9)$
	<ul style="list-style-type: none"> • N: Número de fotos • $N^{\circ}_{fotos\ pda}$: Número de fotos por pasada • N_p: Número de pasadas 	

Fuente: Adaptado de (IGN - CNIG, 2015b)

2.4 Puntos de apoyo fotogramétrico

2.4.1 Puntos de control en tierra

Los puntos de control en tierra (GCP: Ground Control Points) son puntos en la superficie terrestre que permiten relacionar las imágenes en bruto de un proyecto, la cámara / sensor y el suelo para la georreferenciación. Por lo tanto, se asocia coordenadas de imagen y coordenadas en el suelo X, Y y Z conocidas (ver **Figura 6**) que pueden provenir de fuentes como el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) (GIS Resources, 2013).

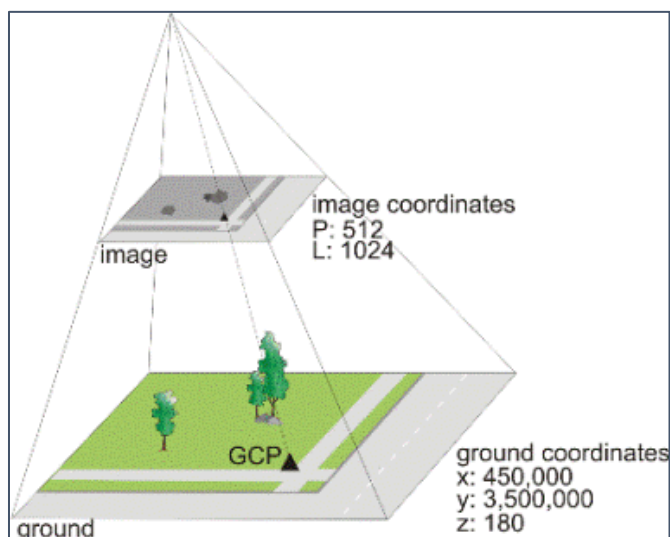


Figura 6. Punto de control terrestre

Fuente: (PCI Geomatics, 2018a)

La calidad de los GCP afecta directamente la precisión del modelo matemático y en consecuencia al resultado del proyecto. Por ello, se deben elegir características que puedan ser identificadas con precisión en la resolución de la imagen en bruto que estén cerca del suelo como intersecciones de calle y tapas de pozos. No es recomendable el uso de sombras o elementos repetitivos como por ejemplo los estacionamientos o líneas en una carretera (PCI Geomatics, 2018b).

2.4.1.1 Distribución de los GCP

Los GCP deben estar ampliamente distribuidos sobre el proyecto y con variación de elevaciones, por lo que, el mínimo de puntos requeridos depende del tamaño del bloque. Se debe considerar que los puntos recopilados deben tener un área de traslapeo entre dos o más imágenes cuando sea posible como se indica en la **Figura 7**. De este modo la relación de la misma coordenada en varias imágenes permite generar un modelo más preciso (PCI Geomatics, 2018b)

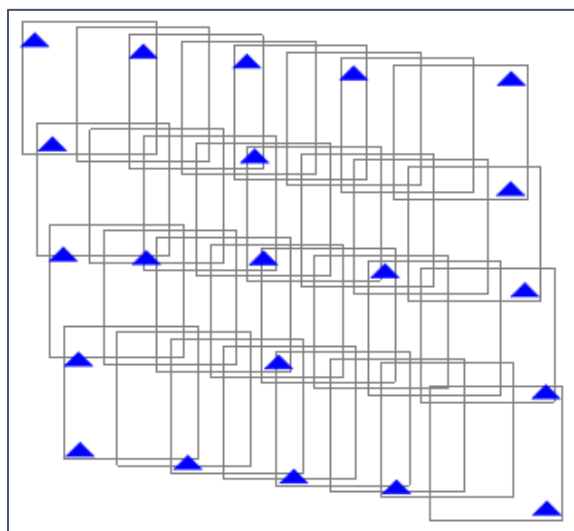


Figura 7. Distribución de GCP en un bloque

Fuente: (GIS Resources, 2013)

Según Milkhail, Bethel y McGlone (2001), el uso de un sistema GPS-IMU incorporado en la etapa de adquisición de imágenes y el proceso de aerotriangulación permiten disminuir el número de GCP. De esta manera, se tiene un punto de control en cada esquina y en el perímetro cada cinco imágenes (Citado en Chuquitarco, 2018).

De acuerdo a Claros, Guevara, & Pacas (2016), para proyectos grandes se recomienda colocar un mínimo de 5 GCP y el número suficiente puede ser 10, puesto que colocar más puntos no varía significativamente el resultado del ajuste. Además se menciona que la precisión máxima que requiere un GCP está relacionada con el GSD a trabajar en el proyecto fotogramétrico, pudiéndose relacionar estos valores en la ecuación (10).

$$P_{GCP} = \frac{1}{10} \times GSD \quad (10)$$

2.4.1.2 Señalización de los GCP

Claros, Guevara, & Pacas (2016) indican que para poder ubicar los GCP en las imágenes, es necesario señalarlos en campo, en donde se puede emplear una marca cuadrada dividida en dos

colores, uno oscuro y otro brillante (Ver **Figura 8**). Las dimensiones dependerán del tamaño del GSD, por lo que la marca debe ser entre 5 a 10 veces mayor que el GSD del proyecto.



Figura 8. Señalización de GCP

Fuente: (Claros, Guevara, & Pacas, 2016), (Drooing, 2019)

2.4.2 Métodos de posicionamiento

González (2015) menciona que los métodos de posicionamiento GPS se clasifican según la **Figura 9** como se indica a continuación:

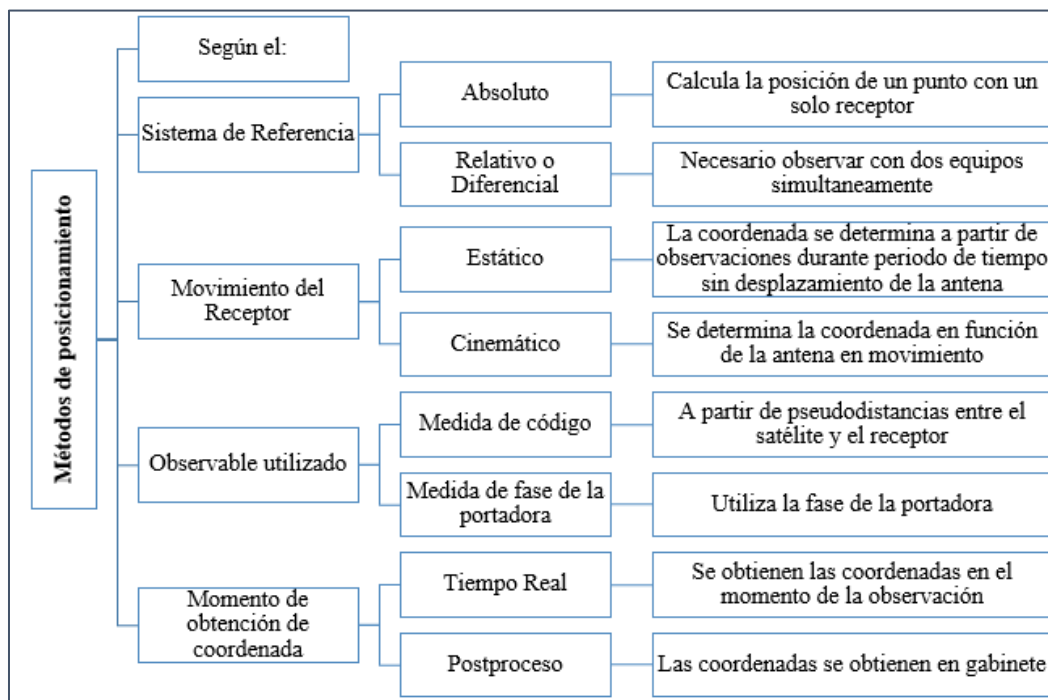


Figura 9. Métodos de levantamiento GPS

Fuente: Adaptado de (González, 2015)

De acuerdo a la combinación de los métodos de levantamiento señalados en la figura anterior, se describen los métodos empleados en este estudio.

2.4.2.1 Método Estático Relativo

- Estándar

Este método requiere de dos o más receptores con observación de un periodo mínimo de media hora alcanzando gran precisión ($5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$) y puede ser empleado con distancias mayores de 20 km (González, 2015).

- Rápido

Este tipo de levantamiento es una variación del método estático relativo estándar descrito anteriormente, en la que se reduce el tiempo de observación teniendo precisiones de $5\text{--}10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$; sin embargo, se debe emplear en distancias menores a las 20 km. Una de sus aplicaciones al ser un método rápido y eficaz es el de redes de control y apoyo fotogramétrico (González, 2015)

2.4.2.2 Método Cinemático Relativo

- *RTK (Real Time Kinematic)*

El método Cinemático Tiempo Real necesita de un receptor fijo ubicado en un punto con coordenadas conocidas y un receptor móvil del que se obtendrán las coordenadas en tiempo real. Permite obtener precisiones centimétricas ($1 \text{ o } 2 \text{ cm} + 1 \text{ ppm}$) y dentro de sus limitantes se encuentra la pérdida de señal entre el punto fijo y el móvil, que puede ser vía radio – modem (González, 2015).

- *PPK (Post Procesing Kinematic)*

El método Cinemático con Postproceso, al igual que en el método RTK, necesita de un receptor base y un receptor móvil en el cual se almacenaran observaciones brutas que serán procesadas posteriormente en gabinete para lograr precisiones de nivel centimétrico (Trimble, 2016).

2.4.3 Documentación (Monografías)

Dentro de la documentación a entregarse se encuentran las monografías y un listado de coordenadas. Las monografías (ver **Figura 10**) deben tener información como número de punto, coordenadas geográficas y planas, precisión, sistema de referencia del proyecto, reseña describiendo la ubicación, croquis y una fotografía del punto del momento en el que se realizó la observación (IGM, 2016).




UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE PROYECTO GENERACIÓN DE TIEBES OTROSOS - LA MERCED			
PROVINCIA: PICHINCHA	CANTÓN: QUITO	PARROQUIA: LA MERCED	
FECHA: 2019-03-15	CHUBEN: PUNTO GPS	NOMBRE DEL PUNTO: BASS	
COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COORDENADAS UTM	
Latitud: <input style="width: 100px;" type="text" value="0°17'11.09221"/>	ZONA: <input style="width: 100px;" type="text" value="17"/>	Sistema de Referencia: <input style="width: 100px;" type="text" value="SRS"/>	EPSG: <input style="width: 100px;" type="text" value="31466"/>
Longitud: <input style="width: 100px;" type="text" value="78°24'18.39607"/>	NORTE (m): <input style="width: 100px;" type="text" value="92670.449"/>	Sistema de Referencia: <input style="width: 100px;" type="text" value="GRS80"/>	
Altura Elipsoidal (m): <input style="width: 100px;" type="text" value="2812.836"/>	S.T.M (m): <input style="width: 100px;" type="text" value="7588.97322"/>		
Altura m.s.n.m. (m): <input style="width: 100px;" type="text" value="2833.335"/>	Precisión Horizontal (m): <input style="width: 100px;" type="text" value="0.023"/>	Precisión Vertical (m): <input style="width: 100px;" type="text" value="0.023"/>	
DESCRIPCIÓN:		IDENTIFICACIÓN DEL SECTOR	
Se hace el punto tomando desde el Parque de La Merced 50 m en dirección Sur por la calle de Mayo, luego girar a la derecha en dirección a la calle César Enrique Salasca y avanzar 450 m, tomar la intersección a la izquierda y avanzar 20 m, girar a la derecha en la entrada al Campamento de La Merced y avanzar 50 m.			
MONUMENTACIÓN:		Ubicación del Punto de Control	
El punto se encuentra instalado dentro del Campamento de La Merced.			
ABASTECIMIENTOS:		Punto	
En la Alameda 7 km de Parque de La Merced se encuentra la Gasolinera PETROQUIMICORAL. La tienda más cercana se encuentra en la calle César Enrique Salasca y 3 de Mayo.			
NOTA:			
* Para el cálculo de la altura ortométrica se utilizó el modelo geoidal del Instituto Geográfico Militar.			
OBSERVACIONES:			
Para la realización de este trabajo se utilizó el GPS de doble frecuencia Trimble R4 durante 5 horas de trabajo y con un intervalo de grabación de 1 Segundo.			
ELABORADO POR: Damián Manzano	PUNTO TOMADO POR: Diego Reyes	REVISADO POR: Ing. Eduardo Klotz	

Figura 10. Ejemplo de monografía de GCP

2.4.4 Puntos de enlace (Tie Points)

Un punto de enlace es aquel cuyas coordenadas en el terreno no se conocen, pero se identifica visualmente entre dos o más imágenes. La posición del punto de enlace aparece mediante la medición de las imágenes correspondientes con superposición y posteriormente son calculadas las coordenadas en el proceso de ajuste de la triangulación (**Figura 11**) (GIS Resources, 2013).

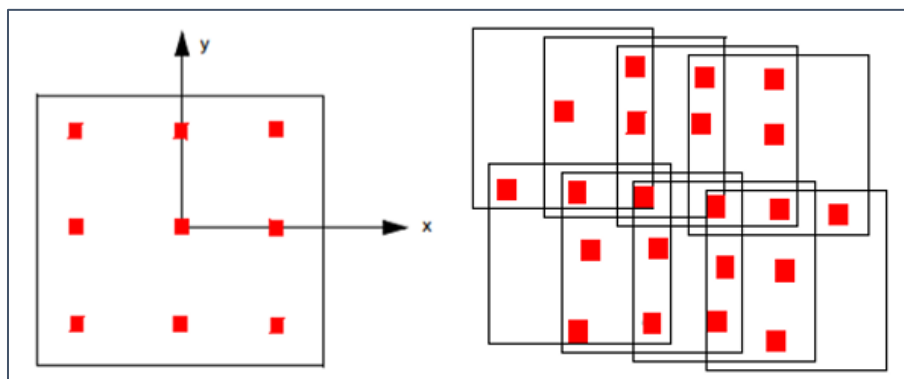


Figura 11. Tie point: imagen individual y bloque

Fuente: (GIS Resources, 2013)

2.5 Distorsión y afectaciones fotogramétricas

Todas las imágenes aéreas, sean estas adquiridas por un sensor en un satélite o una aeronave, poseen cierta cantidad de distorsión geométrica. Esta situación representa un problema en la detección remota, puesto que se desea representar con precisión una superficie tridimensional en una imagen bidimensional. Las distorsiones o afectaciones pueden deberse a factores como: la inclinación de cámara / sensor, distorsión del lente de la cámara o por el relieve del terreno (HSU Geospatial, 2015).

- Distorsión de la lente

La mayoría de las fotografías aéreas se toman con cámaras especializadas para minimizar la distorsión del lente, pero todavía hay algo de distorsión (HSU Geospatial, 2015). La distorsión del lente ocurre cuando los rayos de luz que pasan a través del lente se doblan, cambiando así las direcciones e intersectando el plano de la imagen en posiciones desviadas de la norma. La distorsión del lente afecta la precisión posicional de los puntos de imagen y existen dos tipos: radial y tangencial (GIS Resources, 2013), ilustrando su diferencia en la **Figura 12**.

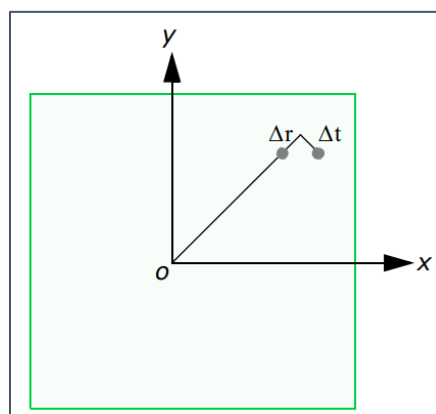


Figura 12. Distorsión radial y tangencial

Fuente: (GIS Resources, 2013)

- Refracción atmosférica

La refracción atmosférica influye en la precisión geométrica de las imágenes fotogramétricas. Se debe a que los rayos de luz no viajan de manera recta desde el suelo hasta el sensor por la variación de la densidad de la atmosfera y el índice de refracción variable. Por lo tanto, el efecto depende de la altura sobre el suelo, el ángulo cenital de la vista y los componentes atmosféricos (Beisl & Tempelmann, 2016).

- Desplazamientos producidos por la inclinación de la fotografía

Es la diferencia que existe entre un punto en la fotografía inclinada y la posición en una fotografía vertical debido a los movimientos (alabeo, guiñada y cabeceo) a los que está sometido el avión. En consecuencia, el eje vertical de la cámara presenta un ángulo con respecto al nadir, por lo que, las proyecciones de los puntos del terreno sobre el negativo presentan desviaciones directamente proporcionales al ángulo de inclinación de la cámara (IGN - CNIG, 2015a).

- Distorsión geométrica debido al relieve

La escala de las imágenes aéreas varía principalmente debido a la variación de la elevación de la superficie del terreno. En el punto principal, la distorsión de escala es cero y aumenta radialmente

desde el centro de la imagen. La parte superior de los objetos altos siempre se desplaza de sus bases. Esto se conoce como desplazamiento debido al relieve y hace que cualquier objeto sobre el suelo se aleje del punto principal de la fotografía. El desplazamiento aumenta cuando el objeto está más distante del punto principal o medida que aumenta la altura del objeto como se indica en la **Figura 13**. Si se conoce la elevación de la superficie del terreno a lo largo de una escena, la distorsión geométrica puede rectificarse (HSU Geospatial, 2015).

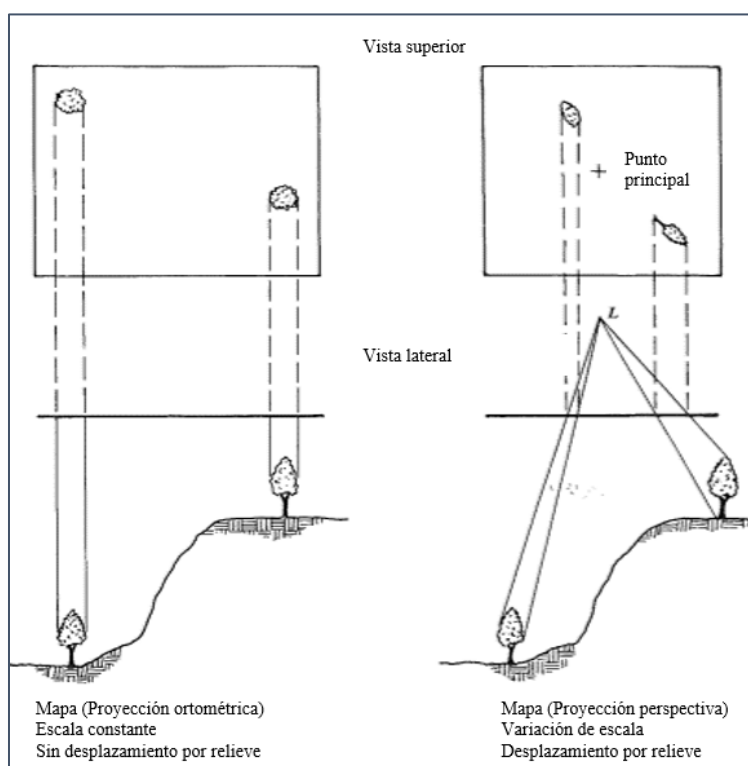


Figura 13. Desplazamiento debido al relieve

Fuente: (HSU Geospatial, 2015)

2.6 Ajuste fotogramétrico

El ajuste fotogramétrico es el proceso que en el cual se aplican modelos matemáticos para la reconstrucción de la geometría de los objetos (Schenk, 2005) en el cual se involucran las siguientes etapas:

2.6.1 Orientación Interior

La orientación interior define la geometría interna de la cámara o del sensor con el que se capturó las imágenes y es usada principalmente para transformar las coordenadas del pixel de la imagen a coordenadas del sistema. Los parámetros que están relacionados son: el punto principal, distancia focal, marcas fiduciales y distorsión del lente (GIS Resources, 2013). En las imágenes digitales no se tienen marcas fiduciales por lo que la orientación interior consiste en determinar la posición del punto principal en relación al centro de la imagen (*Figura 14*). Este proceso automático permite determinar los parámetros de calibración de la cámara (Quirós, 2014).

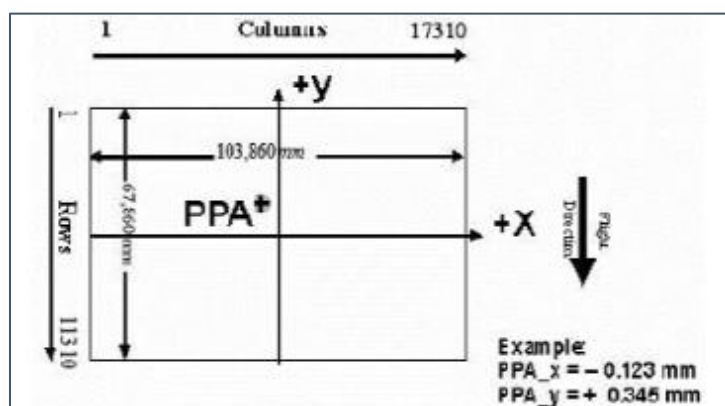


Figura 14. Orientación interna de una imagen digital

Fuente: (Quirós, 2014)

2.6.2 Orientación Relativa

De acuerdo a Coelho & Nunes (2009), en la orientación relativa se identifica puntos homólogos para formar un modelo estereoscópico. Los puntos homólogos se refieren a que un punto correspondiente en un par de imágenes superpuestas es formado por proyección del mismo objeto a través de centros de perspectiva de las dos imágenes (ver *Figura 15*).

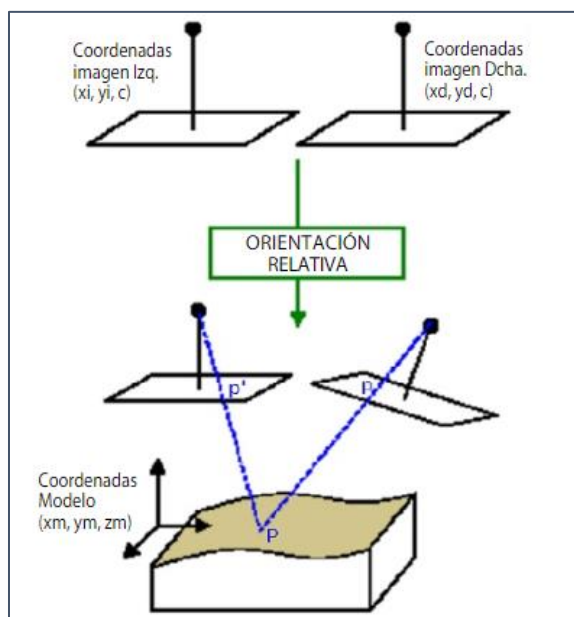


Figura 15. Orientación relativa

Fuente: (Quirós, 2014)

2.6.3 Orientación Absoluta

La orientación absoluta es el proceso se realiza luego de la orientación relativa, por lo que, el modelo estéreo debe ser escalado, trasladado y orientado con respecto al sistema de coordenadas en el espacio (ver **Figura 16**). Matemáticamente se necesitan siete parámetros que corresponden a un factor de escala, tres constantes de traslación y tres ángulos de rotación (Coelho & Nunes, 2009).

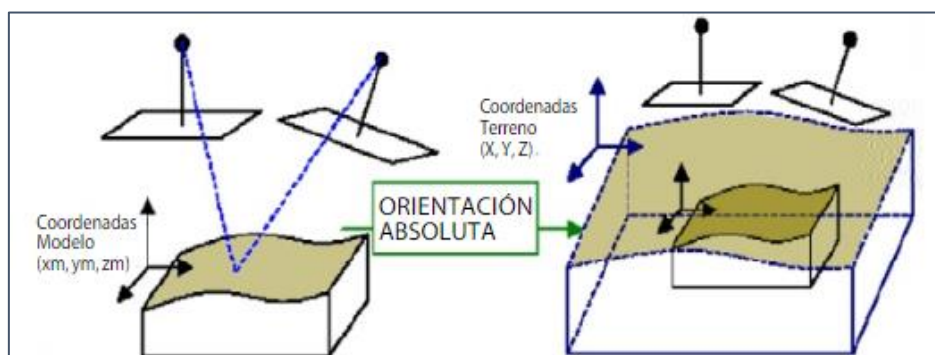


Figura 16. Orientación absoluta

Fuente: (Quirós, 2014)

2.6.4 Aerotriangulación

De acuerdo a la Sociedad Americana de Fotogrametría (1980): “La triangulación aérea es un proceso para la extensión del control horizontal o vertical, mediante las mediciones de ángulos y distancias en fotografías superpuestas, utilizando principios de perspectiva de las fotografías”.

Lerma (1999) clasifica la aerotriangulación de acuerdo a los procesos matemáticos en: modelos independientes y haces de rayos (Citado en Chuquitarco, 2018), como se indica en la **Figura 17**.

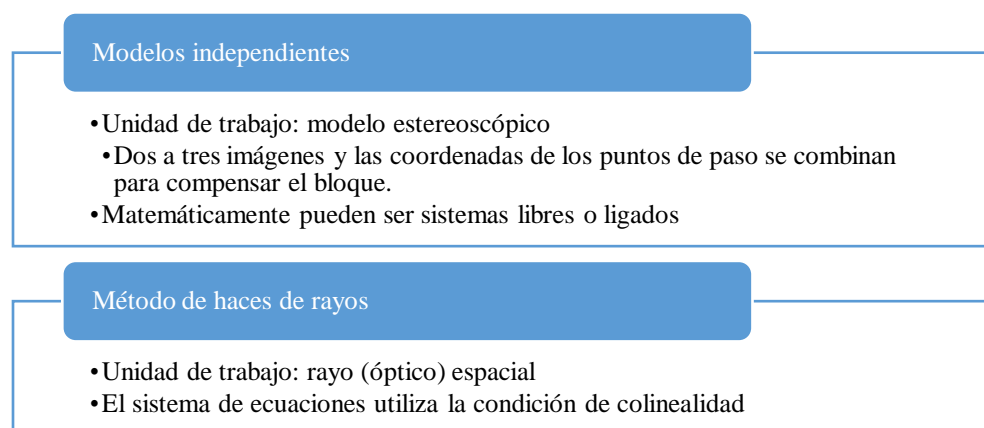


Figura 17. Clasificación de la aerotriangulación

Fuente: Adaptado de (Chuquitarco, 2018)

2.7 Modelos Digitales del Terreno

Un Modelo Digital del Terreno (DTM) consiste en una representación del terreno de manera tridimensional debido a las coordenadas X, Y, Z almacenadas en forma digital (GIS Resources, 2016). De acuerdo a Qiming Zhou (2017) un DTM posee uno o más tipos de información del terreno, es decir, no se refiere solo a alturas y elevaciones, sino también contiene datos como morfología, características físicas, patrones de drenaje y propiedades del suelo.

2.7.1 Modelo Digital de Elevaciones

El modelo digital de elevaciones (DEM) muestra el terreno desnudo, es decir, se eliminan los árboles y las estructuras hechas por el hombre (Zhou, 2017). En un DEM, cada celda de la capa

ráster tiene un valor correspondiente a su elevación generalmente con un intervalo de cuadrícula que está referenciado a un sistema de coordenadas. Si se requiere un DEM con mayor detalle es necesario que los puntos de la cuadrícula están más juntos, mientras que para picos y valles se necesita intervalos más grandes. Generalmente contiene distribuciones arbitrarias de puntos de elevación y puede ser representado de manera regular por un ráster o en forma vectorial por una red irregular triangular (TIN) (GIS Resources, 2016).

2.7.2 Modelo Digital de Superficie

Según Zhou (2017), el modelo digital de superficie (DSM por sus siglas en inglés), es un modelo que muestra la superficie visible del terreno en el que están incluidos los objetos como vegetación o edificaciones. En la **Figura 18** se visualiza la diferencia entre un DEM y un DSM.

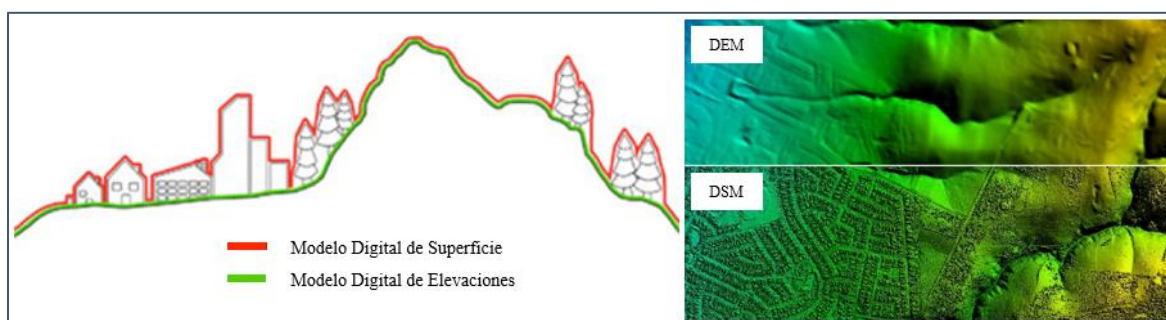


Figura 18. Diferencia entre un MDE y MDS

Fuente: (Geoimage, 2018) y (GIS Resources, 2016), modificado por la autora

2.8 Filtros Digitales

Los filtros digitales son procesos matemáticos en donde se realiza o suaviza los niveles de gris que conforman una imagen aislando los componentes de interés. Es decir, se transforman los niveles digitales de cada píxel para que tengan mayor similitud o diferencia a los píxeles vecinos (SIGMUR, 2006). En la **Figura 19** se mencionan los filtros suavizantes y de paso bajo además de los realzantes y de paso alto.

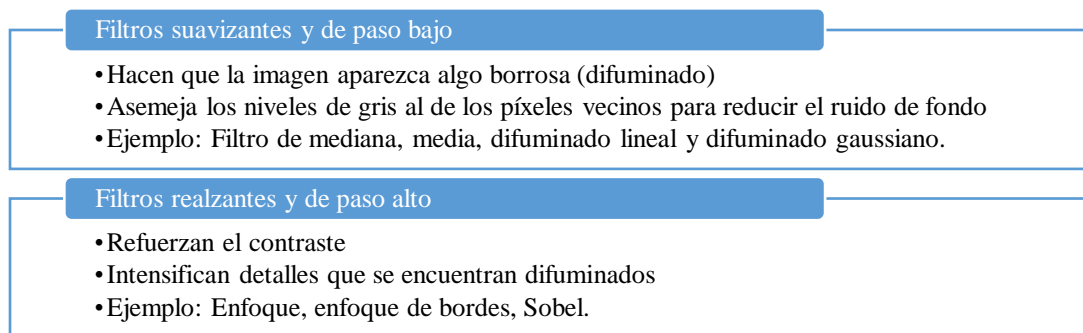


Figura 19. Filtros suavizantes y de paso bajo; realzantes y de paso alto

Fuente: Adaptado de (Quirós, 2014)

Dentro de los productos generados en el proceso fotogramétrico se debe garantizar ortofotos continuas; es decir, que tengan continuidad cromática en las 3 bandas (RGB). Para ello se deben eliminar los efectos del hot spot (una zona más clara que el resto de la imagen) y viñeteado. Si se requiere se pueden tratar las imágenes para tener una mejora visual realizando filtros de realce de bordes, balance de color o expansión de contraste (Quirós, 2014).

2.9 Métodos de correlación de imágenes

2.9.1 Correlación basada en características (FBM)

La estrategia de procesamiento FBM (Feature Based Matching) determina la correspondencia entre las características de dos imágenes. Esta estrategia necesita aproximaciones robustas y es rápida por lo que se emplea como un proceso de correlación inicial. (Trimble Germany, 2018).

2.9.2 Correlación de mínimos cuadrados (LSM)

La técnica LSM (Least Squares Matching) utiliza la estimación de mínimos cuadrados para derivar los parámetros que mejor se ajustan a una ventana de búsqueda con respecto a una ventana de referencia. Esta correlación es iterativa por lo que se emplean los parámetros calculados la primera vez para una segunda pasada y estos para una siguiente (GIS Resources, 2013).

Comparada con la correlación basada en características, esta estrategia es más lenta y requiere mejores aproximaciones. Por tal motivo, es usado al final del proceso para refinar puntos obteniéndolos con mejor precisión (Trimble Germany, 2018).

2.9.3 Correlación basada en costos

Para la generación de modelos de superficie se emplea un algoritmo de coincidencia basado en costos. A diferencia de la comparación basada en características y la de mínimos cuadrados, la técnica CBM (Cost Based Matching) compara píxel a píxel. Por lo que, para cada píxel de una imagen se busca el píxel correspondiente en la segunda imagen a través de una ruta en el llamado cubo de costo 3D. Es así que, al encontrar el píxel con el menor costo genera un modelo 3D de menor costo que en este caso es el modelo digital de superficie (Trimble Germany, 2018).

2.9.4 Semi – Global Matching (SGM)

Dall’Asta (2016) menciona que: “los algoritmos de coincidencia estéreo se utilizan para correlacionar puntos de una imagen digital de un par estéreo con los puntos correspondientes en la segunda imagen. Sin embargo, puede ser difícil encontrar el mejor algoritmo general y los parámetros de procesamiento. Se pueden considerar algunos aspectos: precisión, robustez frente a cambios radiométricos y geométricos, oclusiones, esfuerzos computacionales, entre otros.”

El algoritmo funciona con un par de imágenes con parámetros conocidos de orientación interior, exterior y en consecuencia, la geometría epipolar (los puntos correspondientes se encuentran en la misma línea de imagen horizontal) como se visualiza en la *Figura 20*. Además, realiza una coincidencia en píxeles; es decir, considera tanto la similitud de la imagen y la continuidad del desplazamiento, con la aplicación de restricciones (desplazamiento de píxeles adyacentes). De esta manera, el algoritmo SGM se convierte en una de las mejores estrategias de emparejamiento

utilizadas en fotogrametría ofreciendo buenos resultados con bajo tiempo de ejecución (Dall'Asta, 2016).

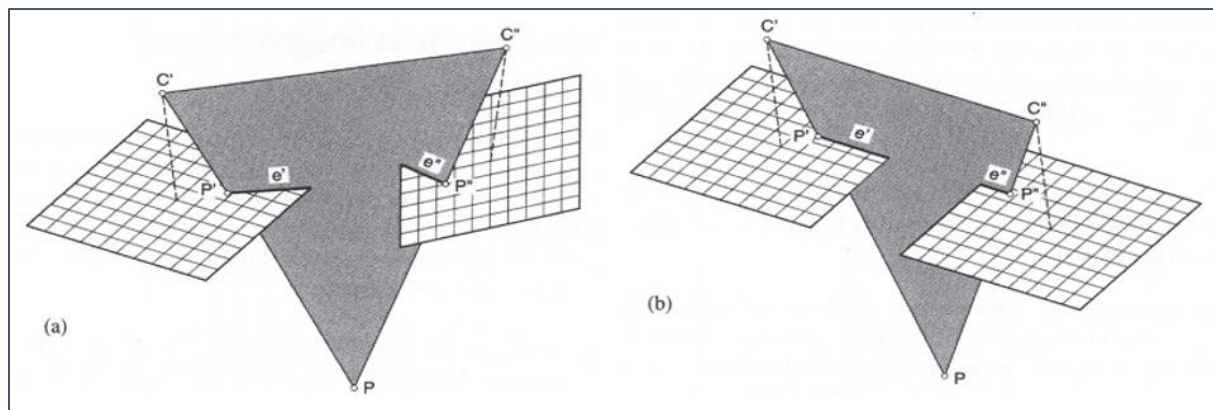


Figura 20. Geometría epipolar a) Modelo normal b) Modelo epipolarizado

Fuente: (OCW UPC, 2011)

2.10 Imágenes Ortorectificadas

La ortorectificación se refiere al proceso mediante el cual se transforma una imagen con perspectiva central a otra en perspectiva ortogonal; por lo que, se reducen los errores geométricos que son inherentes en la fotografía. Entre los factores que influyen en los errores geométricos están: la orientación de la cámara y el sensor o un error sistemático asociado a estos, desplazamiento topográfico debido al relieve y la curvatura de la tierra (GIS Resources, 2013).

2.10.1 Ortofoto Clásica

Una ortofoto es una imagen digital que ha pasado por un proceso de rectificación, en donde se corrigen los desplazamientos debido a la perspectiva del sensor y al relieve, pasando de una proyección cónica a una ortogonal; por lo que, tiene características equivalentes a las de un plano (Vozmediano, 2006).

Las ortofotos son generadas a partir de un MDS obtenido por procesos de correlación automática. Puesto que el correlador sigue las copas de los árboles y los techos de las edificaciones, se debe editar manualmente ese modelo hasta bajarlo al terreno (OCW UPC, 2011).

Una ortofoto clásica es hecha en base a un modelo digital de elevaciones por lo que no incluye construcciones ni vegetación. Esto da como resultado una imagen en la que las construcciones se alejan del centro de la imagen, no se corrigen y solo los objetos que están al nivel del terreno se proyectan correctamente (Nielsen, 2004).

2.10.2 Ortofoto Verdadera (True Ortho)

De acuerdo a Braun (2003), una True Ortho se refiere a una técnica de procesamiento en donde se detectan y corrigen áreas con zonas ocultas con imágenes adyacentes, compensando el efecto del doble mapeo; es decir, se elimina el abatimiento debido a una corrección en la proyección (ver **Figura 21**). Por lo tanto, requiere de un modelo digital de superficie para calcular dichas áreas y por consiguiente tiene una representación más exacta de la realidad.

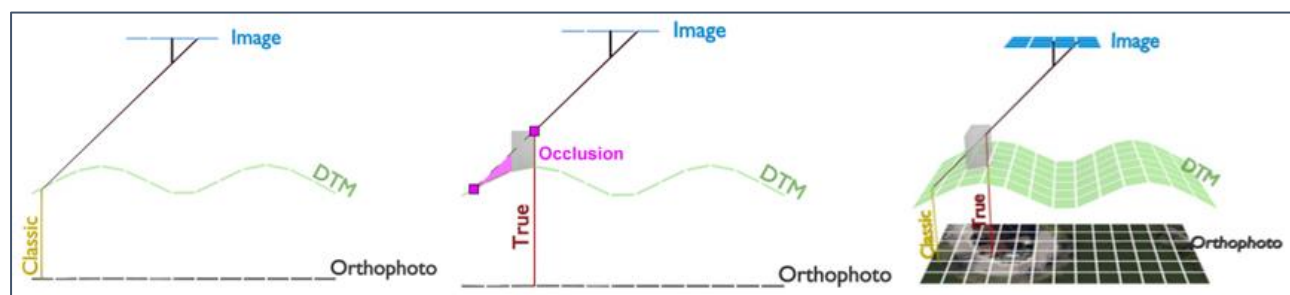


Figura 21. Comparación ortofoto clásica y true ortho

Fuente: (Trimble Germany, 2018)

Una ortofoto verdadera re proyecta las imágenes de origen sobre un modelo de superficie, en donde se incluyen objetos como edificios y puentes. Cuando se incluyen los edificios seguramente se oscurecerán los objetos cercanos a ellos (**Figura 22**), ya que las paredes de los edificios pueden

considerarse como un cambio rápido en la elevación. Por lo que, con un MDS, las construcciones serán rectificadas en la posición original (Barazzetti, Brumana, Oreni, & Previtali, 2014).

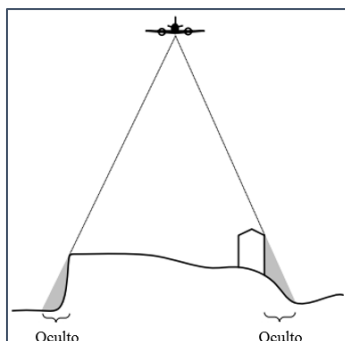


Figura 22. Zonas ocultas

Fuente: (Nielsen, 2004).

Nielsen (2004) indica que: “en términos comunes, una ortofoto es -verdadera- cuando intenta restaurar cualquier objeto oculto y al mismo tiempo incluye tantos objetos como sea posible en el modelo de superficie. Sin embargo, sería una tarea incomprensible crear un modelo completo que incluya vegetación, personas, carros, luces de tráfico, etc.” Generalmente, en los modelos de superficie solo se incluyen: el terreno, edificios y puentes. Otras definiciones recopiladas por dicho autor se mencionan en la **Tabla 5**.

Tabla 5.

Definiciones de True Ortho

Autor	Definición
Amhar (1998)	“El termino ortofoto verdadera se usa generalmente para una ortofoto donde los elementos de superficie que no están incluidos en el modelo digital del terreno también se rectifican a la proyección ortogonal. Estos elementos suelen ser edificios y puentes”
Kuzmin et al. (2004)	“El término True Ortho significa una técnica de procesamiento para compensar los efectos de mapeo doble causados por áreas ocultas, de ser es posible, llenar las áreas ocultas mediante datos superpuestos de imágenes aéreas o marcarlas con un color sólido específico”

Fuente: (Citado en Nielsen, 2004).

Para completar la información de las áreas oscuras o los puntos ciegos, se utiliza imágenes de la misma área tomadas desde diferentes ubicaciones (**Figura 23**). Esto dará como resultado

diferentes desplazamientos debido al relieve en cada imagen y al combinar las imágenes, se puede obtener una cobertura completa (Chen, Briese, Karel, & Pfeifer, 2014).

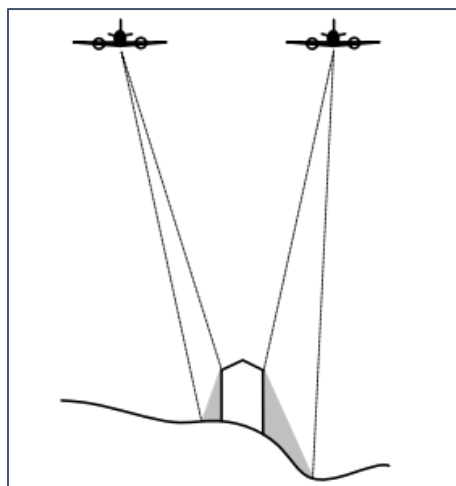


Figura 23. Combinación imágenes

Fuente: (Nielsen, 2004).

La nube de puntos para generar el modelo digital de superficie puede ser obtenida por técnicas de coincidencia de imágenes o a través de datos LiDAR¹ (Gharibi & Habib, 2018). Las nubes de puntos obtenidas a partir de correlación de imágenes capturadas con una cámara aérea digital pueden ser más densas que las capturadas con tecnología LiDAR. Sin embargo, una ortofoto verdadera generada a partir del segundo enfoque (LiDAR) es mejor que la procedente del primero (Gamal, Ramzi, Sharawi, & Bekheet, 2018).

2.11 Restitución

La restitución fotogramétrica, es el procedimiento para generar modelos 3D del terreno a partir de un par estereoscópico con el propósito de extraer elementos del terreno (IGM, 2016). La

¹ LiDAR (Light Detection And Ranging): “tecnología óptica de teledetección que puede medir la distancia a objetos lejanos mediante las propiedades del espectro electromagnético usando pulsos de un láser. Captura nubes de puntos en formato LAS” (Mora, 2014).

restitución emplea el criterio de marca flotante para capturar información sobre los elementos que se desean extraer del modelo estereoscópico a través de vectores (IGAC, 2011).

En la **Figura 24** se define la restitución 2D y 3D de acuerdo a Barragán (2015).

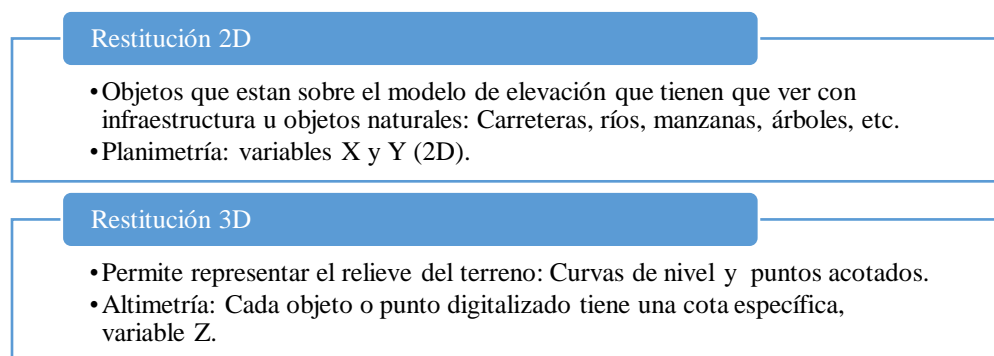


Figura 24. Restitución 2D y 3D

Fuente: Adaptado de (Barragán, 2015)

La escala de restitución de acuerdo al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2011) está dada por la **Tabla 6**.

Tabla 6.

Escala de restitución en función del GSD

Escala de restitución	Resolución espacial mínima
1 : 2000	7.5 cm a 20 cm
1 : 10000	15 cm a 50 cm
1 : 25000	30 cm a 60 cm

Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, 2011)

2.11.1 Marca Flotante

El principio de marca flotante se obtiene cuando en un modelo estereoscópico se colocan dos marcas puntuales sobre un punto imagen y su homólogo en la otra foto (ver **Figura 25**). Con la observación estereoscópica, esta marca se verá como una sola y el observador tiene la percepción de que la marca se apoya sobre la imagen; por lo que, la marca estará posada sobre el punto (Sánchez, 2007). Cuando una marca se desplaza respecto a la otra siguiendo la dirección de las líneas de vuelo, parecerá que el punto sube o baja respecto al terreno (Barragán, 2015).

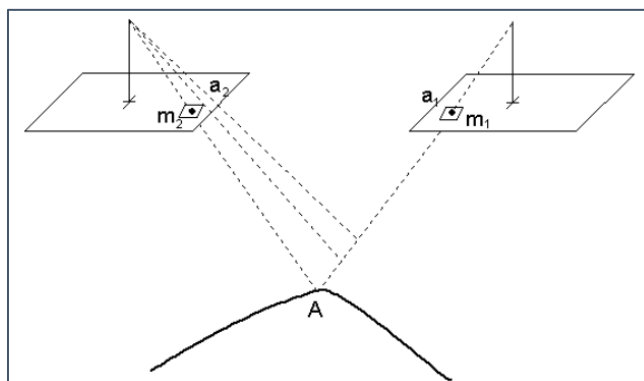


Figura 25. Principio de marca flotante

Fuente: (Sánchez, 2007)

2.11.2 Paralaje Estereoscópico

El paralaje estereoscópico se refiere a la variación aparente en la posición de un punto en dos imágenes debido al cambio de la posición que tiene la cámara al momento en el que se realiza la toma (Quirós, 2014), tal como se indica en la **Figura 26**.

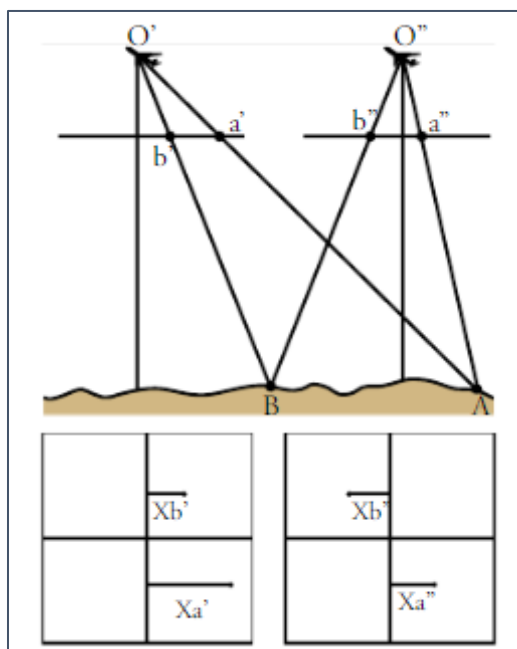


Figura 26. Paralaje Estereoscópico

Fuente: (Quirós, 2014)

2.11.3 Visión Estereoscópica

Se tiene una visión estereoscópica cuando se observa dos imágenes que han sido fotografiadas desde dos puntos de vista y cubren la misma zona. Teniendo así una vista en 3 dimensiones con se percibe el relieve y la distancia, reconstruyendo un modelo que permita tomar medidas en altimetría y planimetría, visualmente el paralaje da una impresión de profundidad. (Otero, Ezquerro, Rodríguez, Martín, & Bachiller, s.f).

2.12 Vehículos Aéreos no tripulados

Los Vehículos Aéreos no Tripulados UAV (Unmanned Aerial Vehicle), son definidos como aeronaves motorizadas aéreas que no llevan un operador humano a bordo, usan fuerzas aerodinámicas para elevar el vehículo y pueden volar de forma autónoma o pilotarse de forma remota (Bone & Bolkcom, 2003).

La Autoridad de Aviación Civil del Reino Unido (CAA) menciona que los términos Aeronaves no tripuladas (UA: Unmanned Aircraft) o Aeronaves pilotadas a distancia (RPA: Remotely Piloted Aircraft) se refieren a la aeronave, mientras que el término “Sistema de Aeronaves no Tripuladas (UAS por sus siglas en inglés)” se utiliza para describir todo el equipo operativo; es decir: aeronave, estación de control y enlace de comunicaciones inalámbrico.

UAV (Unmanned Aerial Vehicle) es el término más general, sin embargo, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) emplea la denominación Sistema de aeronaves pilotadas de forma remota RPAS (del inglés Remotely Piloted Aircraft System) (AltiGator, 2019). La palabra Drone significa zángano en inglés y es como se llamó en un inicio a los aviones no tripulados, especialmente de uso militar (Aerial Insights, 2017a).

Calvo, Herranz & Calvo (2014) mencionan que, de acuerdo al método de generación de sustentación, los UAV pueden clasificarse en: ala fija, ala rotatoria (multirroto) y VTOL (Vertical

Take-Off and Landing) como se ilustra en la **Figura 27**. Además, se diferencian por el uso que se le va a dar, por ejemplo: el área disponible de despegue y aterrizaje, el área a cubrir, la maniobrabilidad que se puede tener durante el vuelo y los productos que se desean generar.



Figura 27. UAV: a) Ala fija, b) Multirrotor, c) VTOL

Fuente: (Tecnitop, 2019) (DJI, 2019) y (TrumpUAV, 2018)

2.12.1 Vehículos aéreos no tripulados de ala fija

En este tipo de vehículos las alas se encuentran unidas al resto de los elementos y no poseen movimiento propio. Presentan mayor autonomía y aerodinámica, que otorga mayor eficiencia y velocidad de vuelo, suelen emplearse en trabajos en donde se necesitan cubrir áreas extensas. Para el lanzamiento de estas aeronaves se utilizan catapultas mecánicas o humanas y en algunos casos paracaídas de aterrizaje requiriendo una superficie adecuada para ello. Siguen trayectorias curvilíneas, con radios de giros amplios y con velocidades de ascenso y descenso bastante estrictas (Aerial Insights, 2017a).

2.12.1.1 Descripción del UAV UX5 HP

Uno de los equipos de ala fija considerados para este proyecto es el UAV Trimble UX5 HP (High Precision) Aerial Imaging Solution, conformado por el rover, cámara, estación de control en tierra, lanzador y rastreador, mismos que se encuentran contenidos en la maleta de transporte (ver **Figura 28**) y de los cuales se detallan sus características a continuación:

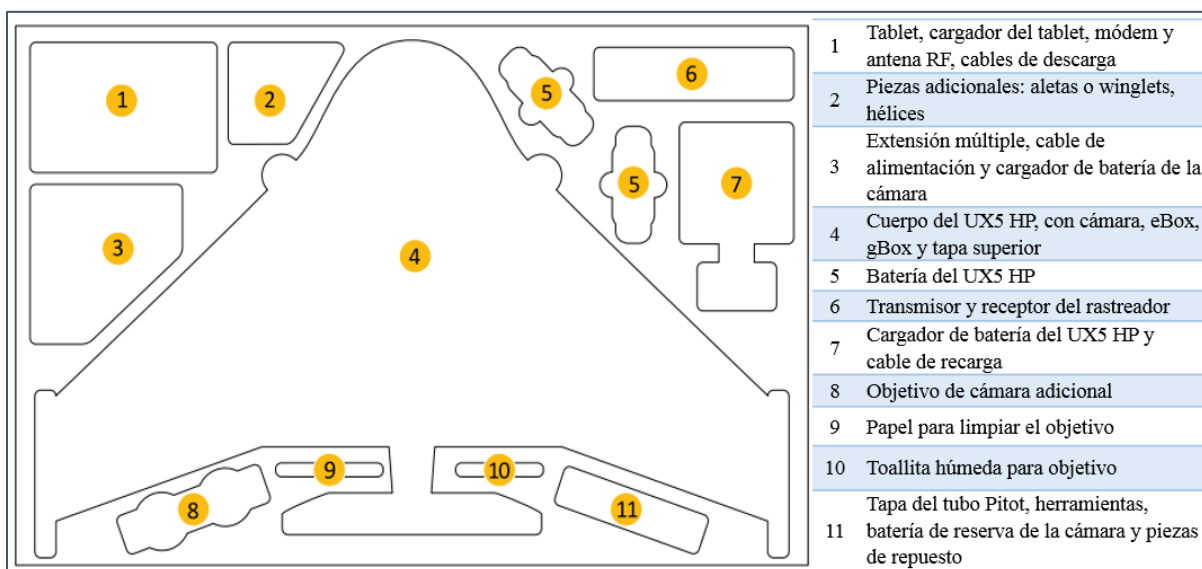


Figura 28. Contenido de la maleta de transporte del UX5 HP

Fuente: Adaptado de (Trimble, 2016)

- Rover UX5 HP

El rover se compone por el Cuerpo, eBox y gBox (**Figura 27**). La eBox (**Figura 30**) es la caja que está conectada a una antena GPS para la navegación y a una antena de radio para la comunicación con la estación de control en tierra. Por otra parte, la gBox (**Figura 31**) es la caja que contiene el receptor GNSS de precisión con tecnología de posicionamiento al nivel del centímetro.

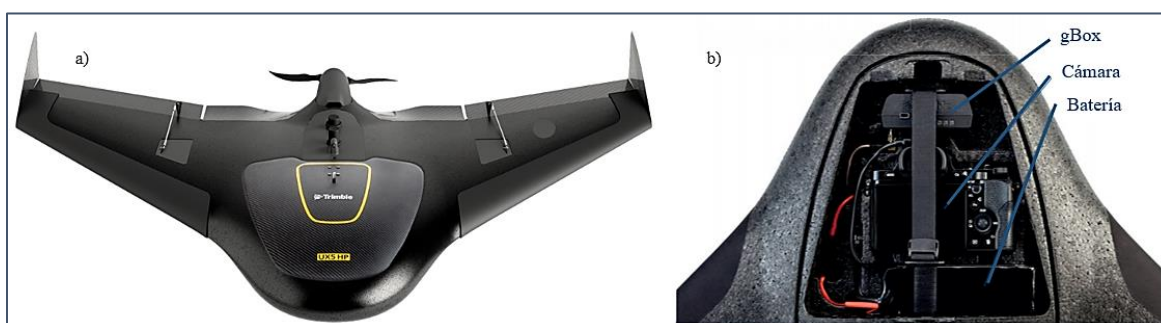


Figura 29. UAV UX5 HP: a) Cuerpo b) gBox

Fuente: (Trimble, 2016), modificado por la autora

Tanto las piezas y partes del UAV UX5 HP se observan en la **Figura 30** (vista superior), **Figura 31** (compartimiento de carga) y **Figura 32** (vista inferior):

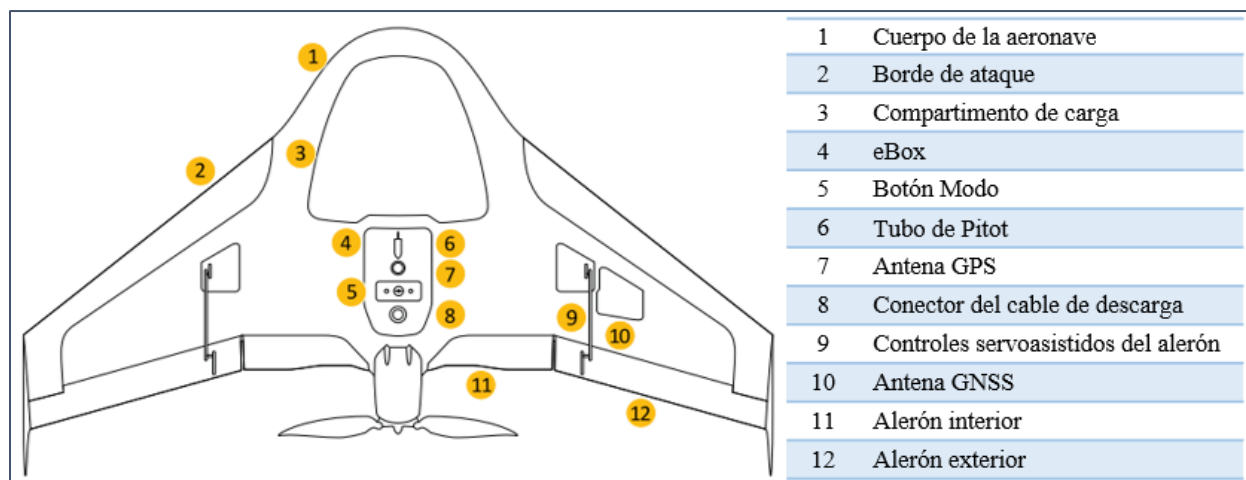


Figura 30. Piezas del UAV UX5 HP (Vista superior)

Fuente: Adaptado de (Trimble, 2016)

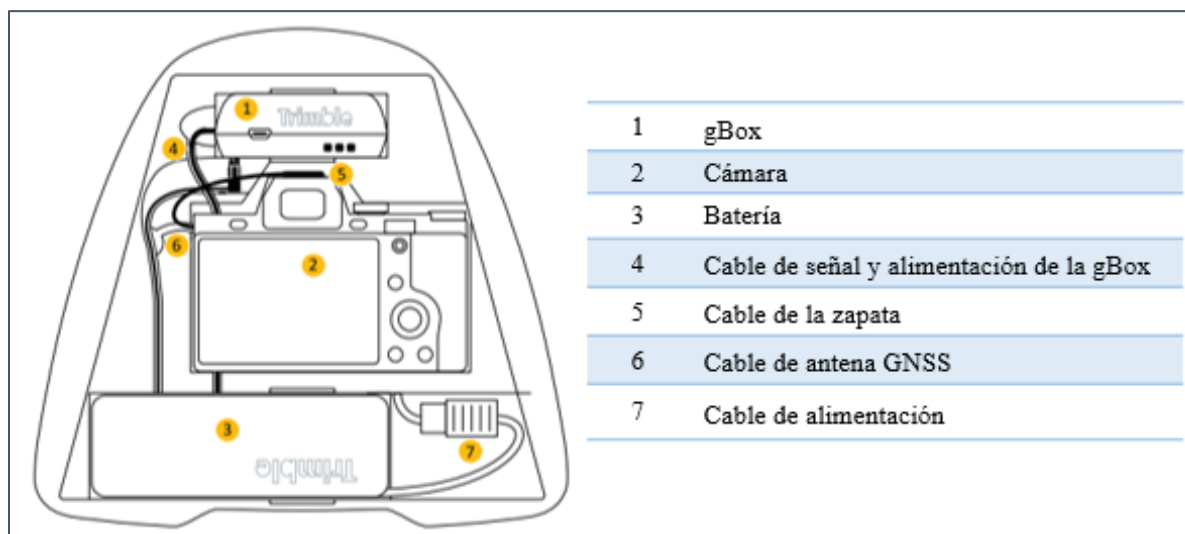


Figura 31. Compartimiento de carga del UAV UX5 HP

Fuente: Adaptado de (Trimble, 2016)

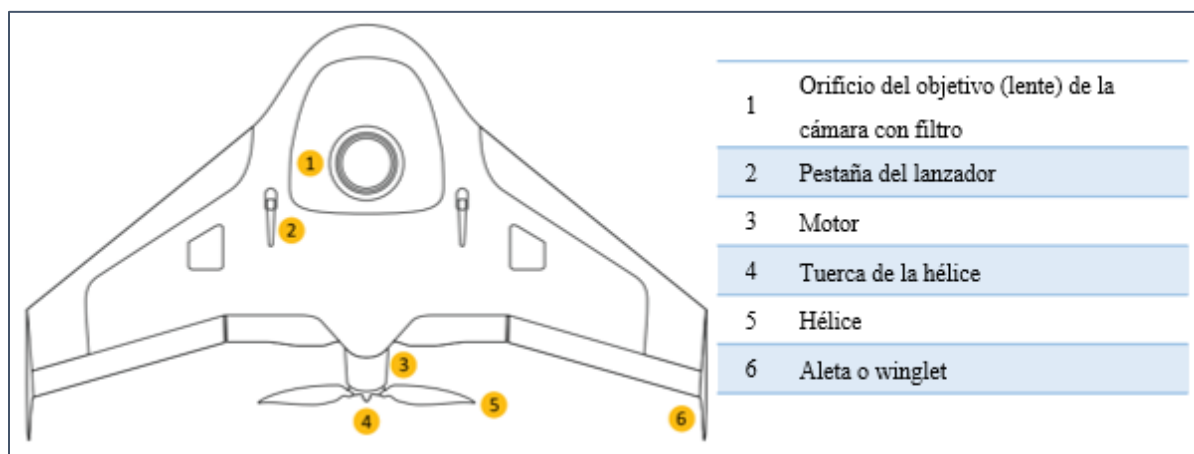


Figura 32. Piezas del UAV UX5 HP (Vista inferior)

Fuente: Adaptado de (Trimble, 2016)

A continuación en la **Tabla 7** se mencionan características como: el peso, techo de vuelo y autonomía del UX5 HP

Tabla 7.

Especificaciones del Rover UX5 HP

Característica	Especificación
Peso	2.9 kg
Altitud máxima de despegue	4250 m
Techo de vuelo	5000 m
Autonomía	35 min
Velocidad nominal	85 kph
Velocidad máxima	95 kph
Dimensiones (envergadura x largo x ancho)	100 x 65 x 13 cm

Fuente: (Trimble, 2016)

Se debe tomar en cuenta que la autonomía de vuelo mencionada en la **Tabla 7** considera condiciones ISA (Atmósfera Estándar Internacional) y sin viento, dichas características se indican en la **Tabla 8:**

Tabla 8.

Condiciones ISA

Parámetro	Valor
Humedad	0 %
Presión atmosférica	760 mm Hg
Temperatura	15 °C
Densidad atmosférica	1.225 kg/m ³

Fuente: (Trimble, 2016)

- Cámara

En la **Tabla 9** se detallan las especificaciones de la cámara Sony a7R con la que trabaja el UAV

UX5 HP:

Tabla 9.

Especificaciones de la cámara y del lente del UX5 HP

Característica	Especificación
Cámara	Sony a7R
Píxeles efectivos	36.4 megapíxeles
Sensor	Exmor CMOS 35.9 x 24.0 mm (1.41 x 0.94")
Velocidad del obturador	1/8000-30 segundos
Sensibilidad ISO	ISO 100-25600
Longitud focal	35 mm
Ángulo de visión	63.3°

Fuente: (Trimble, 2016)

- Estación de control en tierra

La estación de control en tierra es una Tablet con GPS en donde se ejecuta el software Trimble

Access Aerial Imaging para controlar el rover desde tierra mediante comunicación por radio.

- Lanzador

El lanzador o catapulta es el dispositivo mecánico empleado durante el despegue del rover,

cuyas características se encuentran en la **Tabla 10**:

Tabla 10.

Especificaciones del lanzador

Característica	Especificación
Peso	10 kg
Dimensiones – plegado (largo x ancho x altura)	100 x 25 x 12 cm
Dimensiones – no plegado	300 x 75 x 120 cm

Fuente: (Trimble, 2016)

- Rastreador (Opcional)

El último de los componentes del UAV es el rastreador, mismo que está conformado por un transmisor que va insertado en el cuerpo del rover y un receptor para rastrear la señal.

2.12.2 Vehículos aéreos no tripulados de ala rotatoria

Los vehículos aéreos de ala rotatoria o multirrotores poseen un cuerpo central y múltiples rotores que impulsan a las hélices para volar y maniobrar. Según el número de rotores estos pueden ser: cuadricópteros, hexacópteros y octacópteros. Una vez en el aire, estas aeronaves pueden cambiar la velocidad relativa del vuelo gracias al uso de propelas (hélices) fijas para controlar el movimiento. Los vehículos aéreos no tripulados de ala rotatoria, a diferencia de los de ala fija no necesitan de grandes requerimientos para su despegue o aterrizaje, debido a que estos operan como un helicóptero convencional. Además, presentan la posibilidad de disponer de una mayor carga útil² que una aeronave de ala fija y pueden permanecer estáticos en el objetivo (Rejón, 2018).

2.12.3 Vehículos aéreos no tripulados VTOL

Los vehículos no tripulados VTOL (Vertical Take-Off and Landing), presentan características de vuelo iguales a los de un equipo de ala fija, pero con la capacidad de despegar y aterrizar de manera vertical. Revisando las características de los UAV mencionados anteriormente en los apartados **2.12.1** y **2.12.2**, se tiene como dificultades que un dron con rotor de ala giratoria no permite alcanzar mayor velocidad. Por otra parte, las aeronaves de ala fija pueden alcanzar más velocidad, pero durante el despegue requieren de un área amplia (dependiendo de la aeronave) y ser impulsados para alcanzar elevación. Es así que, al combinar las facilidades de ascenso y descenso con la velocidad de vuelo, estos equipos de transición mejoran su rendimiento y pueden lograr fotografías de alta resolución haciendo que su demanda vaya en aumento (Yu, Heo, & Kwon, 2016).

² La carga útil o carga de pago (payload) se refiere al peso que puede transportar un vehículo aéreo no tripulado sin incluir su peso en sí, por lo que pueden ser cámaras adicionales, sensores o paquetes de entrega (COPTRZ, 2016).

2.12.3.1 Descripción del UAV WingtraOne

Uno de los equipos que se puede mencionar de tipo VTOL es el vehículo no tripulado WingtraOne, manufacturado y desarrollado en Suiza (Wingtra, 2018a). Las especificaciones de hardware se mencionan en la **Tabla 11**.

Tabla 11.

Especificaciones del hardware del WingtraOne

Característica	Especificación
Tipo	Transición VTOL (Vertical take-off and landing)
Peso máximo para el despegue	4.5 kg
Peso (vacío)	3.7 kg
Máxima carga de pago	800 g
Envergadura	125 cm
Dimensiones del WingtraOne	125 x 68 x 12 cm
Dimensiones de la Caja Piloto	57 x 37 x 20 cm, 8.6 kg
Capacidad de la batería	99 Wh (Requiere dos baterías por vuelo)

Fuente: Adaptado de (Wingtra, 2018a)

En la **Figura 33** se indica la vista superior del WingtraOne y la respectiva vista inferior en la

Figura 34:

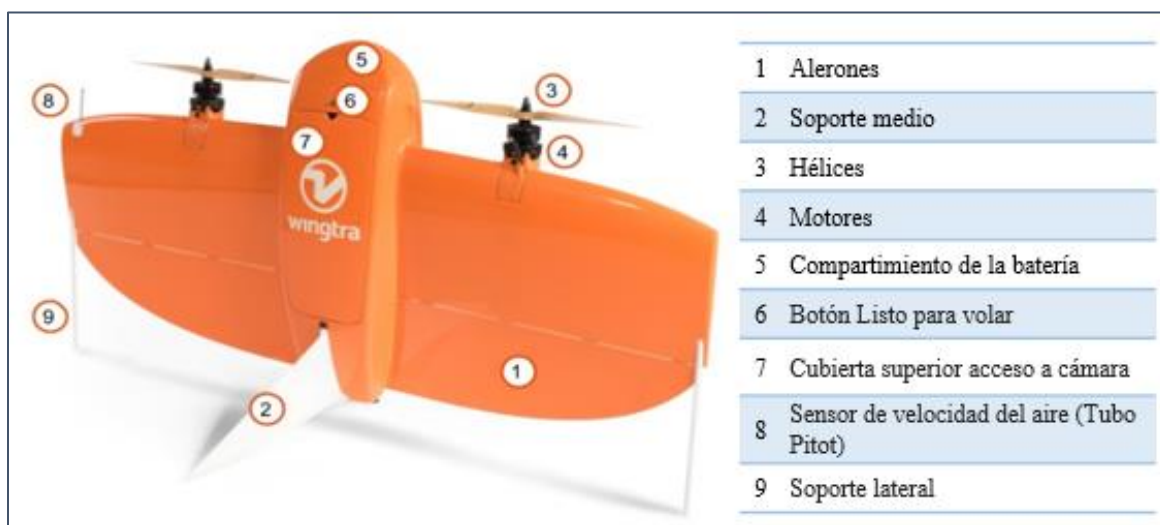


Figura 33. Partes del UAV WingtraOne (Vista superior)

Fuente: Adaptado de (Wingtra, 2018b)



Figura 34. Partes del UAV WingtraOne (Vista inferior)

Fuente: Adaptado de (Wingtra, 2018b)

Además como se mencionó en la **Tabla 11**, WingtraOne posee una caja piloto cuyos elementos se muestran en la **Figura 35**:

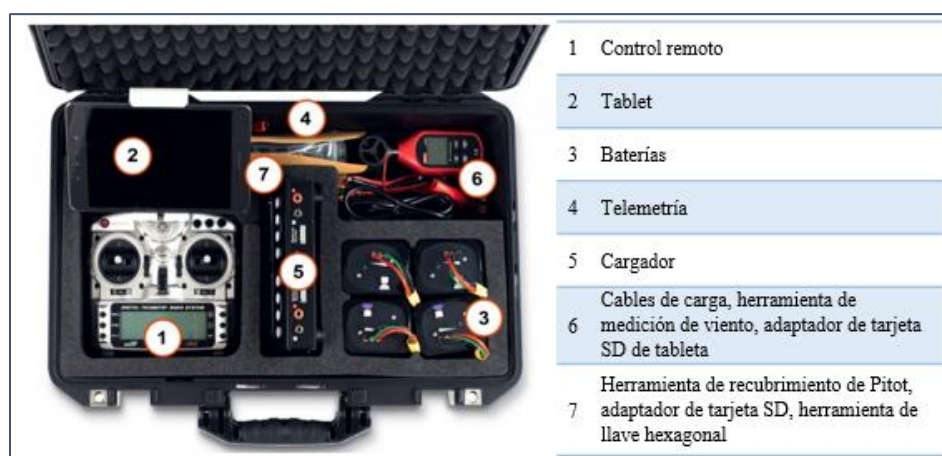


Figura 35. Caja Piloto del UAV WingtraOne

Fuente: Adaptado de (Wingtra, 2018b)

- Estación de control en tierra

La Estación de Control en Tierra es una Tablet Android en el que se ejecuta el software WingtraPilot, el cual permite la creación del plan de vuelo y el control del equipo al momento de ejecutar la misión. La Tablet presenta un módulo de interfaces a telemetría (enlace de datos para automatización para el control de drones) y un controlador de respaldo manual.

- Cámara

El UAV WingtraOne trabaja con la cámara Sony RX1RII con sus especificaciones detalladas en la **Tabla 12**:

Tabla 12.

Especificaciones de la cámara del WingtraOne

Característica	Especificación
Cámara	Sony RX1RII
Focal	Lente de 35 mm
Sensor	Full - frame
Resolución	42 MP
Ángulo de visión	63°
Rango de visión	RGB

Fuente: (Wingtra, 2018a)

En la **Tabla 13** se resume los detalles de la operación del UAV

Tabla 13.

Especificaciones de la operación del WingtraOne

Característica	Especificación
Velocidad de crucero	16 m/s
Velocidad de ascenso crucero	6 m/s
Resistencia la viento	Sobre 45 km/h en crucero (12.5 m/s) y 30 km/h (8.33 m/s) para aterrizar
Máximo tiempo de vuelo	55 minutos
Espacio mínimo para despegue y aterrizaje	2 m x 2 m
Altura máxima	3000 m
Velocidad de descenso crucero	4 m/s
Velocidad de ascenso	6 m/s
Velocidad de descenso	1 m/s
Precisión Auto aterrizaje	< 5 m

Fuente: Adaptado de (Wingtra, 2018a)

EL UAV WingtraOne posee un receptor PPK GNSS L1/L2 que permite el mapeo de alta precisión sin la necesidad de usar GCP para corregir un mapa. Las etiquetas geográficas de las imágenes se corrigen con una precisión de centímetros después del vuelo, mediante la comparación relativa de registro satelital de WingtraOne PPK a una estación base que funciona como estación de referencia en tierra (Wingtra Knowledge Base, s.f.).

2.13 Software fotogramétrico

2.13.1 Trimble Access Aerial Imaging

El software Trimble Access Aerial Imaging permite la preparación de la misión del vuelo de los modelos: UX5 y UX5 HP con la versión de escritorio y el monitoreo durante el vuelo con la versión de campo (Delair Aerial Intelligence, s.f.).

2.13.2 WingtraPilot y WingtraHub

WingtraPilot es el software de campo que permite administrar todo el proceso requerido para la adquisición de datos del UAV WingtraOne, es decir, la planificación de las misiones, el monitoreo durante el vuelo y la salida de los datos con el etiquetado geográfico de las imágenes sin procesamiento PPK. Sin embargo, si se requiere la asignación de posición de las imágenes obtenidas con el WingtraOne con datos de corrección PPK, se requiere el software de oficina WingtraHub (ver **Figura 36**) (Wingtra Knowledge Base, s.f.).



Figura 36. Interfaz WingtraHub

Fuente: (Wingtra Knowledge Base, s.f.)

2.13.3 Trimble Business Center (Módulo de Fotogrametría)

El módulo de Fotogrametría del software Trimble Business Center sirve para procesar los datos recopilados de los UAV: Gatewing X100 y UX5/X5 HP, y así, integrarlos con datos de otros sensores. Se obtienen: nubes de puntos densas, DSM y ortomosaicos; a partir de estos productos

se puede realizar análisis de superficies, generación de contornos, perfilado y cálculo del volumen (Trimble Geospatial Division, 2013).

2.13.4 Inpho UASMaster

Software fotogramétrico que permite: realizar ajustes de bloques fotogramétricos (hasta 9000 imágenes por bloque), creación de modelos digitales de superficie en formato .las, edición de la nube de puntos, vista en estereoscopia, importación de puntos de control para sistemas de coordenadas específico, generación de informe de procesamiento y control de calidad y precisión (Trimble, 2019)

2.13.5 PIX4D

PIX4D es un software especializado en mapeo en base a imágenes tomadas con drone/UAV que permite obtener nube de puntos, ortofotomosaico, cálculo de volumen, modelo digital del terreno y curvas de nivel (Aerial Insights, 2017b).

2.13.6 PHOTOMOD UAS

PHOTOMOD UAS es un software fotogramétrico completo independiente que permite al usuario procesar datos UAS y adquirir productos fotogramétricos de valor agregado: DEM, vectores 2D y 3D, ortofotos, ortofotos verdaderas y ortomosaicos. El software realiza un procesamiento fotogramétrico riguroso de imágenes con una precisión comparable del GSD y método simplificado con una precisión absoluta de aproximadamente decenas de metros (Racurs, 2018).

El software realiza los siguientes procesos: tratamiento de imágenes con proyección central, triangulación aérea, extracción automática de DTM, generación de ortomosaicos, digitalización 3D en pantalla en modo estéreo, creación y salida de mapas digitales (Karabork, Yildiz, Coskun,

Yilmaz, & Yakar, 2004). Además, se puede crear capas con clasificadores para la captura de elementos vectoriales mediante la visualización estéreo (restitución) (Racurs, 2016)

2.13.7 Summit Evolution

Summit Evolution es un software para capturar información 3D a partir de datos estéreo. Incluye interfaces CAD y GIS, superposición de vectores estéreo 3D, edición de funciones automatizada y generación de contornos. A través de la interfaz de captura, las características de imagen de un proyecto Summit Evolution se digitalizan directamente en AutoCAD, MicroStation, ArcGIS o Global Mapper (DAT/EM Systems International, 2018).

2.14 Exactitud Posicional

Según la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital de Colombia (UAECD) (2015), la exactitud posicional es un elemento de la calidad que se refiere a la cercanía de la posición de un objeto respecto a la posición verdadera o asumida como verdadera en un sistema de referencia. Está dividida en tres subelementos que se mencionan en la *Figura 37*.

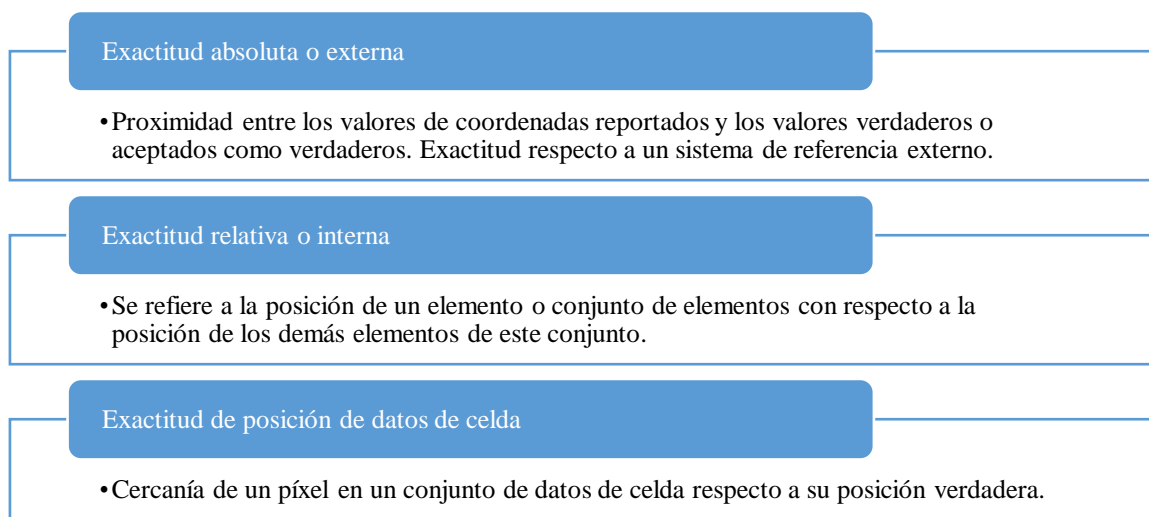


Figura 37. Subelementos de la exactitud posicional

Fuente: Adaptado de (Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital Colombia, 2015)

2.14.1 Control Terrestre

La UAECD (2015) menciona que el control terrestre se refiere al conjunto de puntos fotoidentificables sobre fotografías aéreas que han sido levantados mediante métodos geodésicos o topográficos en campo para obtener su posición horizontal y vertical.

2.15 Teoría estadística

Dentro del control de calidad se emplean algunos estadísticos que se indican en la **Tabla 14**.

Tabla 14.

Definiciones estadísticas

Elemento	Definición	Ecuación
Error medio	El error posicional de un conjunto de valores en donde se suma todos los errores y se divide para el número total de errores.	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (11)$ <ul style="list-style-type: none"> • \bar{x}: Error medio • n: Cantidad de elementos • x_i: valores de diferencia entre la coordenada observada menos la de control.
Desviación estándar	Medida que indica cuanto se puede alejar un valor respecto a la media.	$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (12)$ <ul style="list-style-type: none"> • S_x: Desviación estándar • x: Error en una dimensión específica • \bar{x}: media del error • n: Cantidad de puntos de la muestra • i: rango entre 1 y n

Fuente: ASPRS (2014) y Kimera (2018) Citado en (Chuquitarco, 2018)

2.16 Marco Legal

2.16.1 Norma ISO

La norma ISO 19157:2013 a cerca de la calidad de los datos geográficos nombra a los componentes de la calidad: exactitud posicional, exactitud de los atributos, consistencia lógica y coherencia topológica, compleción, calidad temporal, procedencia (Mozas, 2007). Para el caso de la evaluación de la exactitud posicional, se ampliará en el apartado posterior.

2.16.2 Norma NSSDA

De acuerdo al Estándar Nacional para la Exactitud de Datos Espaciales (NSSDA por sus siglas en inglés), se realiza la evaluación de la exactitud posicional de los datos cartográficos tanto en la componente horizontal como la vertical. Para ello, se busca obtener el error medio cuadrático (RMSE) a un determinado nivel de confianza mostrando como resultado un índice de la calidad en unidades sobre el terreno (Atkinson, García, & Ariza, 2001). Los puntos a ser evaluados dependen del área del proyecto (ASPRS, 2013) como se indica en la **Tabla 15**.

Tabla 15.

Número recomendado de puntos de chequeo basados en el área

Área del proyecto [km ²]	Prueba de precisión horizontal
	Número total de puntos de control horizontales (puntos claramente bien definidos)
≤ 500	20
501 - 750	25
751 - 1000	30
1001 - 1250	35
1251 - 1500	40
1501 - 1750	45
1750 - 2000	50
2001 - 2250	55
2251 - 2500	60

Fuente: Traducido de (ASPRS, 2013)

La evaluación de la componente en X y Y se realiza mediante el empleo de la ecuación (13) y (14) respectivamente (FGDC, 1998).

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum(x_{carto_i} - x_{obs_i})^2}{n}} \quad (13)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum(y_{carto_i} - y_{obs_i})^2}{n}} \quad (14)$$

En donde:

- x_{carto_i} y y_{carto_i} son coordenadas obtenidas en la cartografía

- x_{obs_i} y y_{obs_i} son coordenadas de chequeo observadas en campo
- n es el número de puntos a ser evaluados
- i es un número entero entre 1 y n .

A continuación se evalúa la componente posicional (XY) según la ecuación (15) o de manera simplificada con la ecuación (16) (FGDC, 1998).

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum(x_{carto_i} - x_{obs_i})^2 + \sum(y_{carto_i} - y_{obs_i})^2}{n}} \quad (15)$$

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} \quad (16)$$

En donde, para el 95% del nivel de confianza, la (ASPRS, 2013) indica que se tienen dos casos:

- Caso 1: cuando $RMSE_x = RMSE_y$ la exactitud posicional se calcula con la ecuación (17)

$$Exactitud_r = 2.447(RMSE_x) = 2.447(RMSE_y) = 2.447\left(\frac{RMSE_r}{1.4142}\right) = 1.7308(RMSE_r) \quad (17)$$

- Caso 2: si $RMSE_x \neq RMSE_y$ se emplea la ecuación (18).

$$Exactitud_r = 2.4477 \times 0.5 \times (RMSE_x + RMSE_y) \quad (18)$$

Por último para la componente Z se emplea la ecuación (19) que se muestra a continuación (FGDC, 1998):

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum(z_{carto_i} - z_{obs_i})^2}{n}} \quad (19)$$

Y la exactitud para un nivel de confianza del 95% se calcula con la ecuación (20)

$$Exactitud_v = 1.96 \times RMSE_z \quad (20)$$

2.16.3 Norma Ecuatoriana

- **Precisión de los GCP**

De acuerdo al criterio del IGM citado en (Chuquitarco, 2018), los GCP deben tener una precisión mayor a la cartografía a generar siguiendo la ecuación (21)

$$PH_{GCP} = 0.1 \text{ mm} * M \quad (21)$$

Donde:

- PH_{GCP} : Precisión de los puntos de control
- M : Módulo de la escala

- **Ajuste fotogramétrico**

La Norma Ecuatoriana “Especificaciones técnicas generales para la realización de cartografía topográfica a cualquier escala” menciona que en el proceso de ajuste fotogramétrico, el error estándar debe estar en función del pixel (IGM, 2006), de acuerdo a la **Figura 38**.

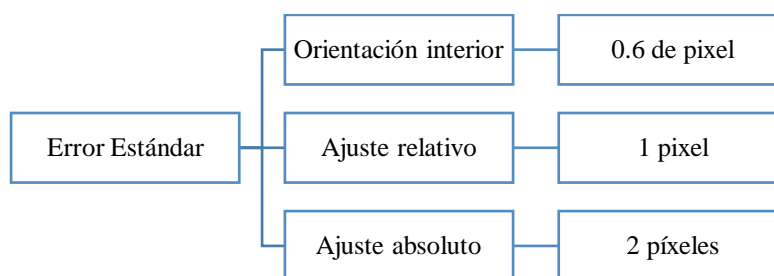


Figura 38. Error estándar ajuste fotogramétrico

Fuente: (IGM, 2006).

- **Calidad de imágenes**

Así mismo, el IGM (2006) indica que se debe realizar un control radiométrico en donde en cada imagen se verifique el histograma y además la saturación en los extremos no debe ser mayor al 0.5%.

- **Calidad de la restitución**

En cuanto a la planimetría, el 90% de los puntos no debe variar de su verdadera posición de acuerdo a la ecuación (22) y en altimetría las cotas del 90% de los puntos se referirán a la ecuación (23) (IGM, 2006).

$$P_H = 0.3 \text{ mm} \times M \quad (22)$$

$$P_V = \frac{1}{10} \times ICN \quad (23)$$

En donde:

- M : Denominador de la escala
- ICN : Intervalo de curva de nivel

Considerando que el intervalo de curva para escalas grandes dependerá de la ecuación (24)

$$ICN = \frac{M}{1000} [m] \quad (24)$$

De la misma forma se muestran las tolerancias para grandes escalas en la **Tabla 16**

Tabla 16.
Tolerancia horizontal y vertical de cartografía para grandes escalas.

Escala	Precisión horizontal	Precisión vertical
5000	100 cm	50 cm
1000	20 cm	10 cm
500	10 cm	5 cm

Fuente: (IGM, 2006).

- **Exactitud posicional**

Para la para la fiscalización de proyectos a escala 1:1000, el IGM se basa en el test empleado por la agencia federal de los Estados Unidos mencionado en el apartado **2.15.2 “Norma NSSDA”**, en donde “los puntos obtenidos en gabinete no debe diferir del verdadero valor en un 90%” (IGM, 2018).

El IGM (2018) indica que para la evaluación de la exactitud posicional a un 90% de confianza se tienen dos casos:

- Caso 1: cuando $RMSE_x = RMSE_y$ la exactitud posicional se calcula con la ecuación (25)
- Caso 2: si $RMSE_x \neq RMSE_y$ y se emplea la ecuación (26)

$$Exactitud_r = 1.5175 \times RMSE_r \quad (25)$$

$$Exactitud_r = 2.1460 \times 0.5 \times (RMSE_x + RMSE_y) \quad (26)$$

- **Precisión final**

El IGM (2006) menciona que la posición del 95% de los puntos en el mapa estará dada por la ecuación (27) y las elevaciones del 90% de los puntos acotados se referirán a la ecuación (28)

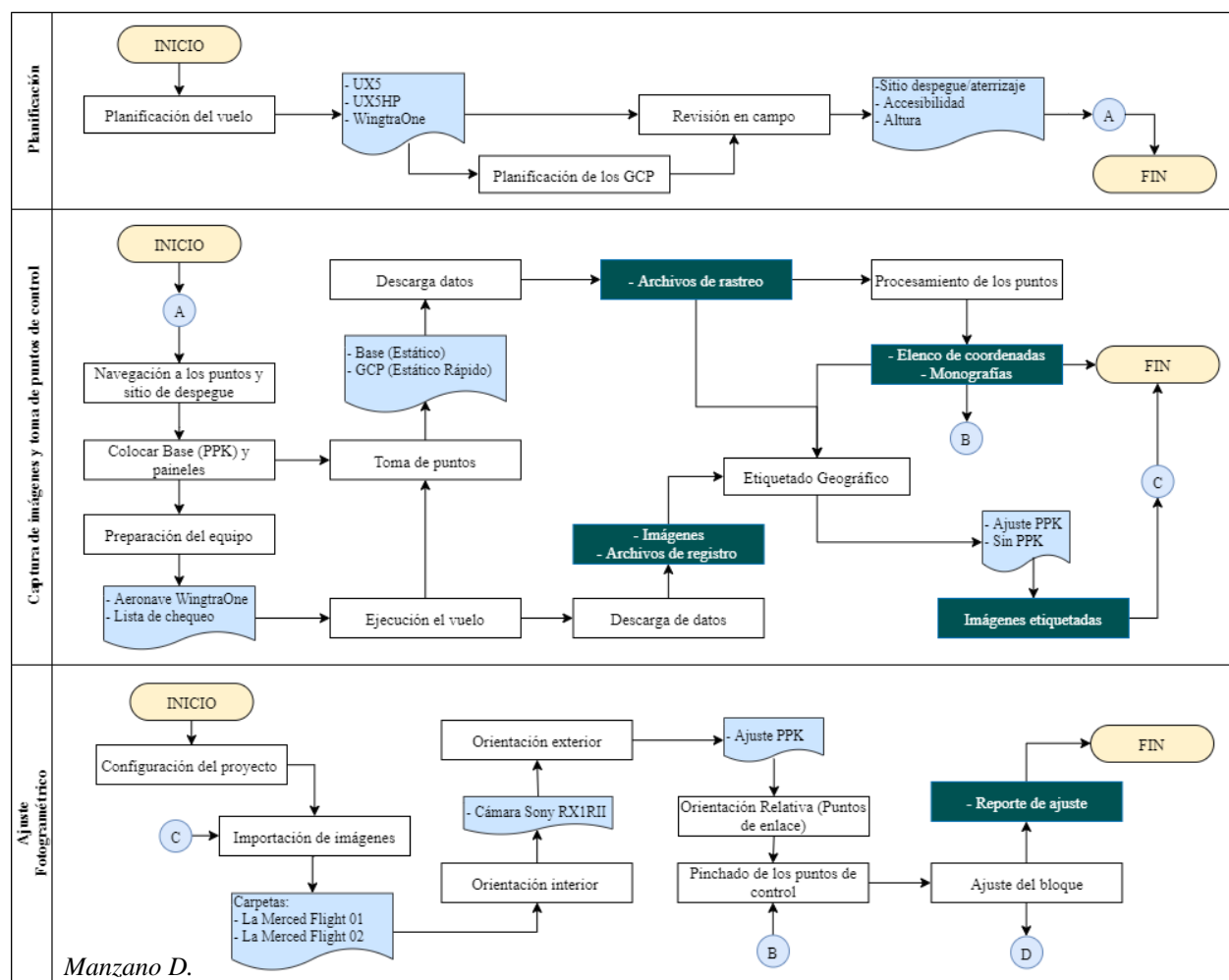
$$P_H = 0.3 \text{ mm} \times \text{denominador de la escala} \quad (27)$$

$$P_V = \frac{1}{4} \times \text{Intervalo de curva de nivel} \quad (28)$$

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta la metodología seguida en este proyecto en base a la teoría expuesta en el Capítulo II, dividiéndose en las siguientes etapas: Prefactibilidad del proyecto fotogramétrico, Planificación del vuelo, Planificación puntos de apoyo fotogramétrico, Toma de imágenes y control terrestre, Post procesamiento de los GCP, Etiquetado geográfico de las imágenes, Proceso realizado en Photomod UAS y UASMaster, Restitución y Control de calidad, como se muestra en la **Figura 39** y detallándose en los ítems a continuación:



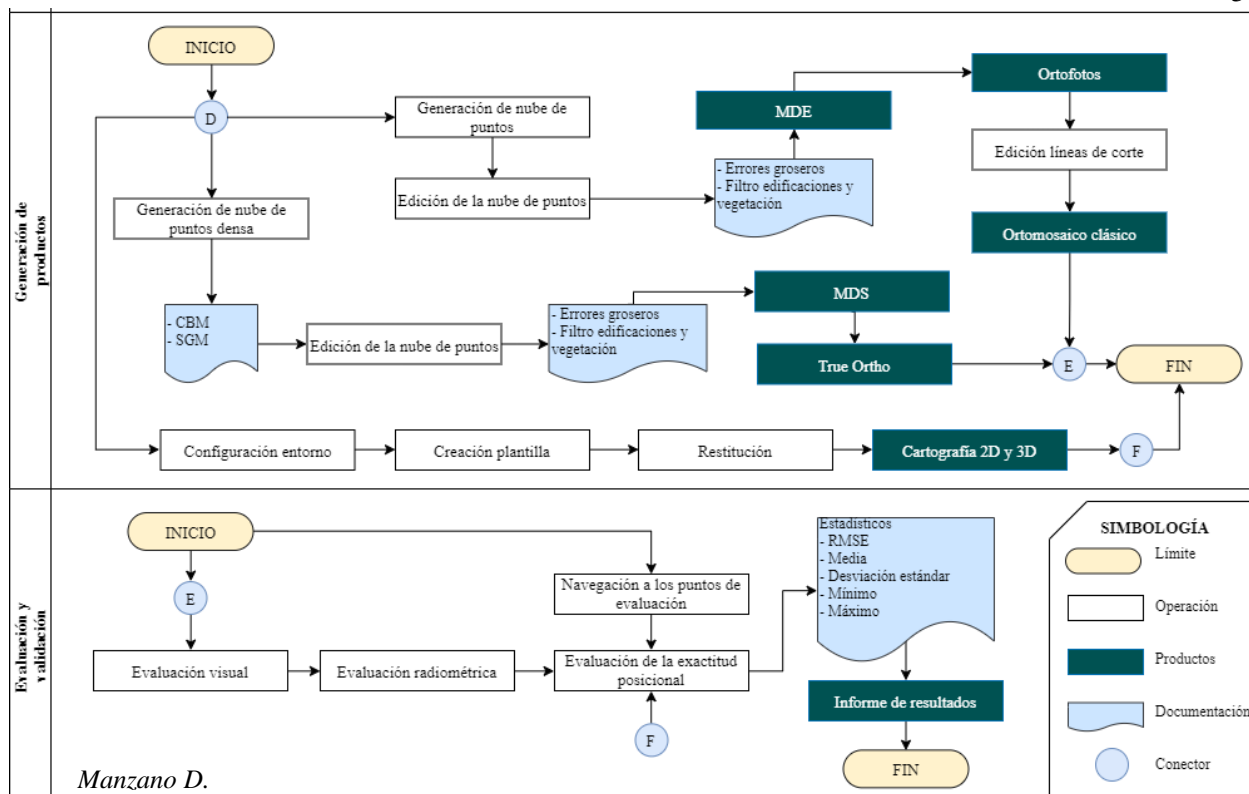


Figura 39. Flujograma del proyecto

3.1 Prefactibilidad del proyecto de vuelo

Previo a la planificación del vuelo en la zona de estudio, se realizaron vuelos para poder definir un traslapeo adecuado, para ello se utilizó el UAV Inspire 1 cubriendo el área de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Las propuestas de configuración de los traslapos tanto longitudinal como transversal se ilustran en la **Tabla 17**.

Tabla 17.
Variaciones de traslapeo

Vuelo	Traslapeo Longitudinal (%)	Traslapeo Transversal (%)
1	60	60
2	70	70
3	80	80
4	60	70
5	60	80

➔ Continúa

6	70	60
7	70	80
8	80	60
9	80	70

Analizando las configuraciones de traslapo, se realizaron las pruebas de ajuste fotogramétrico determinando que el traslapo a trabajar en la zona de estudio, tanto lateral como frontal sea de 70 %.

3.2 Planificación del vuelo

El primer paso para definir un bloque de 300 ha dentro de la Parroquia La Merced, fue buscar una zona con variación de altura y con edificaciones. La diferencia de altura permitirá tener mayor cantidad de curvas de nivel a ser capturadas mediante restitución; mientras que, con las construcciones se va a comparar los productos finales a generarse (ortomosaico clásico y ortomosaico verdadero). Adicionalmente, se tomó en cuenta que no haya presencia de obstáculos que atenten o pongan en riesgo a terceros o al proyecto.

Por tanto, a través de Google Earth y revisión en campo se evaluó la altura de los sitios con mayor peligro, considerando que al norte de la zona de estudio se encuentra el Ilaló. Por lo que, por motivos de seguridad se realizó un recorte del polígono en las esquinas superiores. Además, al tratarse de un UAV de ala fija se estableció un margen de seguridad para realizar los giros entre cada línea de vuelo. Es así que, se define el polígono que se observa en la **Figura 40**, en donde, de acuerdo al perfil de la **Figura 41**, la elevación mínima es de 2510 msnm y máxima de 2610 msnm.



Figura 40. Área de vuelo – Parroquia La Merced



Figura 41. Perfil de elevación de la zona de estudio

3.2.1 Cálculos teóricos para el plan de vuelo

La **Tabla 18** presenta las dimensiones de la zona de trabajo (largo x ancho) obtenidas a partir de la **Figura 40**, además se mencionan los parámetros de la cámara Sony RX1RII (señalados en la **Tabla 12**) que se emplean para los cálculos de las ecuaciones posteriores como por ejemplo: la altura de vuelo, número de fotos por pasada y número total de fotos.

Tabla 18.

Detalles de la zona de trabajo

Zona de trabajo		
Dimensiones	2.50	km de ancho (A)
	1.28	km de alto ©
Altura media del terreno sobre el nivel del mar (hm)	2585	m
Recubrimiento Longitudinal (p%)	70	%
Recubrimiento Transversal (q%)	70	%

➔ *Continúa*

Cámara Sony RX1RII			
Formato	Filas (T)	5304	pixeles
	Columnas (L)	7952	pixeles
Focal		35	mm
Tamaño de pixel (CCD)		4.48	micras
Vuelo Fotogramétrico			
Tamaño de pixel GSD		3.2	cm

- **Altura de vuelo**

La altura de vuelo sobre el terreno (H_t) se calculó a partir de la ecuación (2) mencionada en el apartado 2.3.2 (Elementos del plan de vuelo) tomando en cuenta los valores de focal, CCD y GSD de la **Tabla 18**, mientras que la altura vuelo sobre el nivel del mar (H_o) se obtuvo a partir de la ecuación (5).

$$H_t = 35 \text{ mm} \times \frac{3.2 \text{ cm}}{4.48 \text{ } \mu\text{m}}$$

$$H_t = 250 \text{ m}$$

$$H_o = 250 \text{ m} + 2585 \text{ m}$$

$$H_o = 2835 \text{ m}$$

- **Base aérea (B_{metros})**

Este valor se obtuvo a partir de la ecuación (3) mencionada en la **Tabla 2** (apartado 132.3.2)

$$B = 5304 \times 3.2 \text{ } \mu\text{m} \times \left(1 - \frac{70}{100}\right)$$

$$B = 50.918 \text{ m}$$

- **Cadencia de disparos (t_{segundos})**

Se emplea la ecuación (6) para el cálculo de cadencia de disparos (apertura del obturador).

$$t = \frac{62.057}{16 \text{ m/s}}$$

$$t = 3.18 \text{ s}$$

- **Número de fotos por pasada (N_f)**

Para obtener el número de fotos por pasada se utiliza la ecuación número (7)

$$N^{\circ}_{fotos\ pda} = 26.043 \text{ fotogramas calculados}$$

$$N^{\circ}_{fotos\ pda} = 27 \text{ fotogramas redondeados}$$

- **Distancia (espaciamiento) entre pasadas (S_{metros})**

El cálculo de la base aérea se hizo con la ecuación (4) de la **Tabla 2**

$$Sp = 76.339 \text{ m}$$

- **Número de pasadas (N_p)**

Para obtener el número de pasadas se empleó la ecuación (8).

$$N^{\circ}_{pdas} = 30.383 \text{ pasadas calculadas}$$

$$N^{\circ}_{pdas} = 31 \text{ pasadas redondeadas}$$

- **Número de fotos (N)**

El número de fotos se calculó con la ecuación (9)

$$N = 27 \text{ fotogramas} \times 31 \text{ pasadas} = 837 \text{ fotos}$$

3.2.2 Configuración del plan de vuelo en el software

Se planificaron tres tipos de vuelos en función del uso de tres diferentes aeronaves: WingtraOne, Trimble UX5 y Trimble UX5 HP. Con el UAV de transición WingtraOne se empleó el software WingtraPilot mencionado en la sección **2.13.2**, mientras que para el UAV UX5 y UX5 HP se empleó el programa Trimble Access Aerial Imaging.

3.2.2.1 Planificación – WingtraOne

Una vez definido el polígono de la zona de estudio en Google Earth (**Figura 40**), se exportó el archivo en formato .KML para ser cargado en el software WingtraPilot en donde se realiza el plan

de vuelo. Dentro de la configuración se eligió la cámara Sony RX1RII, cuyas especificaciones se encuentran en la **Tabla 11** dentro del apartado **2.12.3.1 (Descripción del UAV WingtraOne)** y se ejemplifica en la **Figura 42**.

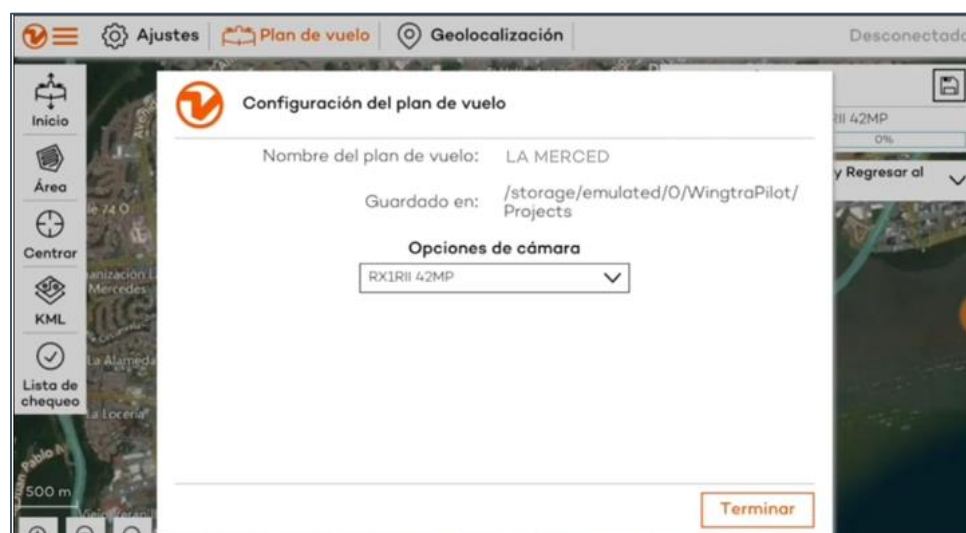


Figura 42. Configuración del plan de vuelo – WingtraPilot

Como se indica en el mismo apartado (**2.12.3.1**), durante el vuelo se necesita una estación de referencia para el levantamiento PPK, dicha base se planificó junto con los puntos de apoyo fotogramétrico, descritos en el ítem **3.3 (Planificación puntos de apoyo fotogramétrico)**.

El sitio de despegue debe ser una zona amplia y libre de obstrucciones como árboles y construcciones altas que interfieran en la señal entre el control remoto, la aeronave y la base para el rastreo PPK. Por lo que, se realizó una revisión en campo para la búsqueda de un sitio que cumpla con estas características y se encuentre relativamente en el centro de todo el bloque. En ese sentido, aparte de lo antes mencionado y por motivos de seguridad, el lugar escogido fue el Campo Santo de la parroquia de La Merced. La elevación del lugar es de 2585 msnm, teniendo una variación hasta la zona más baja de 75 m y hasta la parte más elevada de 25 m.

- **Altura de vuelo**

Luego de la revisión en campo, tomando en cuenta la solución de la ecuación (2) y por recomendación del proveedor del equipo debido a la cercanía del Ilaló; se consideró que la altura de vuelo sea de 250 m desde la zona de despegue.

- **Dirección de las líneas de vuelo**

El equipo debe volar de manera perpendicular a la dirección del viento predominante y todos los giros deben realizarse en contra del viento (Trimble, 2016). Además, el GAD Parroquial de La Merced (2015) señala que: “la dirección del viento en la parroquia va de este a oeste”.

Por lo tanto, de acuerdo a la altura planificada y a la dirección del viento, se tienen 34 líneas de vuelo con dirección 180° (sentido norte – sur) con una longitud media de 1,2 km, obteniendo un total de 843 imágenes.

- **Tiempo estimado de vuelo**

Reuniendo los parámetros anteriores como: altura de vuelo, traslape y dirección de las líneas de vuelo se estima un tiempo de 54 minutos.

Tomando en cuenta la autonomía de vuelo (ver **Tabla 12** dentro del apartado **2.12.3.1 “Descripción del UAV WingtraOne”**) se requieren de dos misiones para cubrir la zona de estudio; es decir, dos juegos de baterías (se debe considerar que para cada vuelo se ocupan dos baterías).

Finalmente, el resultado del plan de vuelo del UAV VTOL WingtraOne se refleja en la **Tabla 23** y **Figura 124** del **Capítulo IV**.

3.2.2.2 Planificación – UAV UX5

La planificación se realizó en el software Trimble Access Aerial Imaging V2.2 partiendo del polígono principal definido en la **Figura 40**.

Para ello, en el entorno del software, ingresando a la ficha “Capas mapa” se selecciona un mapa base, luego en “Bloques” se divide preliminarmente el polígono principal de acuerdo a la autonomía de vuelo y se configuran los parámetros, como se indican en la **Figura 43**. El proceso detallado de cada configuración se encuentra en el **Anexo 1**.

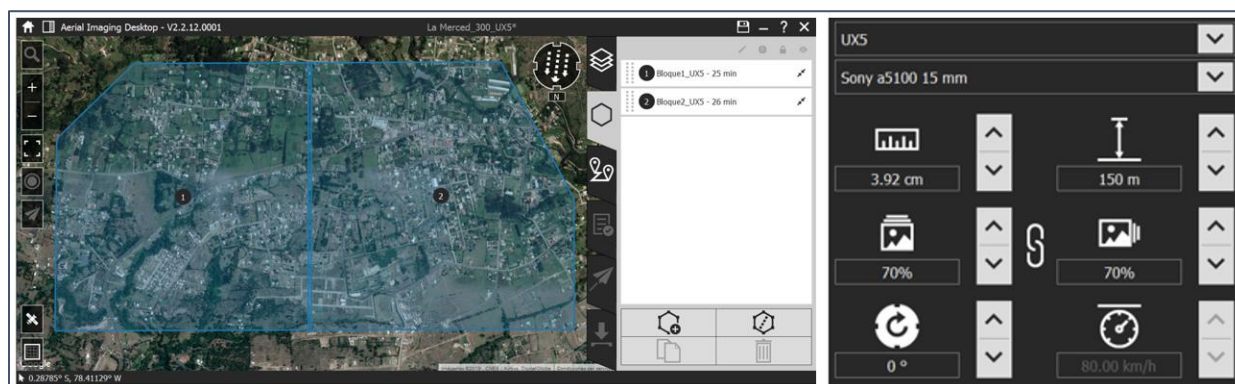
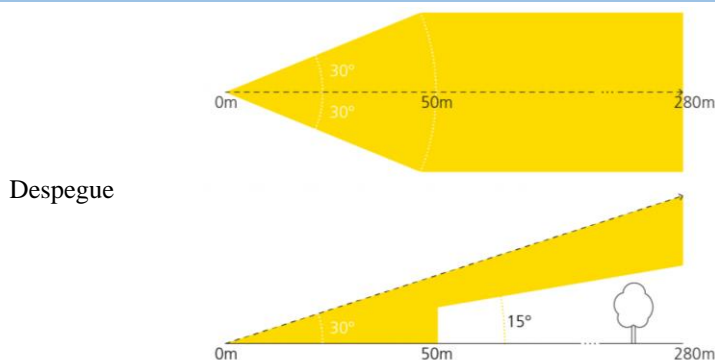


Figura 43. División de bloques y configuración de parámetros – Access Aerial Imaging

Adicionalmente, en la ficha “Vuelos” se define las propiedades del vuelo y el sitio de despegue/aterrizaje, considerando las zonas libres de obstáculos para cada etapa como por ejemplo: el ancho de la pista para el despegue, el espacio para el descenso y el tipo de aterrizaje, de acuerdo a la **Tabla 19**.

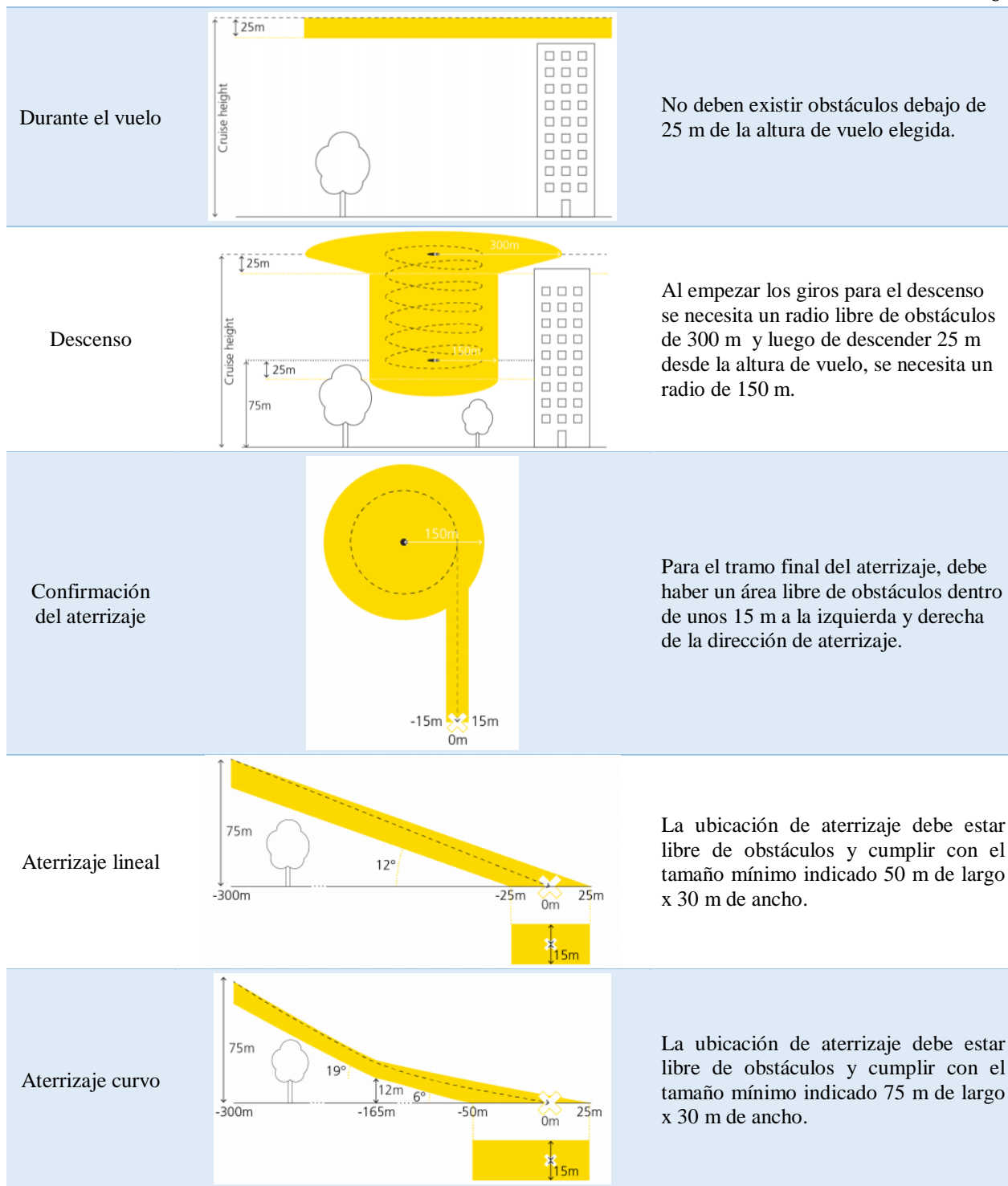
Tabla 19

Distancias libres de obstáculos para el UAV UX5 y UX5 HP



Desde la ubicación de despegue hasta los 50 m se debe tener un área libre de obstáculos de 30° a la izquierda y 30° a la derecha.
Además se establece una línea de seguridad con un ángulo de 15° hasta los 280 m.

➔ *Continúa*



Fuente: Adaptado de (Trimble, 2016)

Tanto para la planificación del vuelo con el UAV UX5 y el UX5 HP se consideró el mismo sitio de despegue y aterrizaje ubicado en la esquina inferior derecha del bloque general (*Figura 44*) y

con las coordenadas en sistema WGS 84 UTM zona 17 Sur que se muestran en la **Tabla 20** a continuación:



Figura 44. Zona de despegue UX5/UX5 HP

Tabla 20

Coordenadas UTM de la zona de despegue

ID	Zona	Este [m]	Sur [m]
Despegue	17 S	789 820.00	9 966 997.00

Ingresando la ubicación dentro del programa, se afina la dirección de despegue y aterrizaje como se indican en la **Figura 45**.

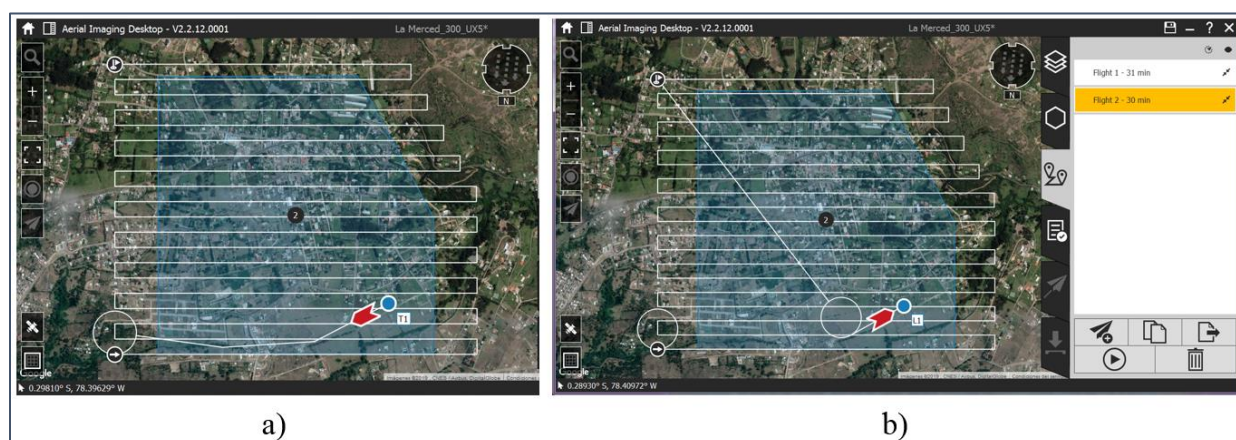


Figura 45. Dirección a) despegue b) aterrizaje UX5/UX5 HP – Access Aerial Imaging

En todas las misiones de vuelo, tanto del UX5 como del UX5 HP, no se emplea el desplazamiento de la zona de aterrizaje; además, para las entradas se eligió un giro a la izquierda y un aterrizaje lineal (*Figura 46*)

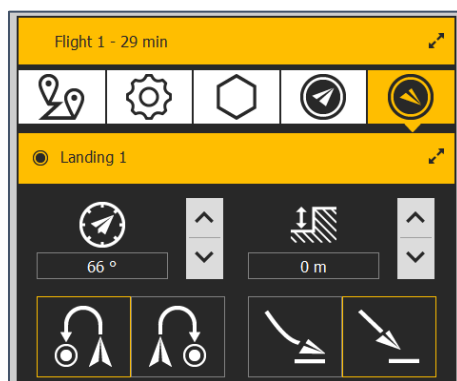


Figura 46. Parámetros aterrizaje UX5- UX5 HP

El resultado de la planificación del proyecto La Merced UX5 se indica en la **Tabla 24 (Capítulo IV)**; además, en la *Figura 125* se ilustran los bloques generados y el diseño del vuelo con los puntos de despegue/aterrizaje que incluye la zona de influencia.

3.2.2.3 Planificación – UX5 HP

De la misma forma que en la sección 3.2.2.2, se parte del bloque inicial y se divide el mismo de acuerdo a la autonomía de vuelo del UAV UX5 HP (**Tabla 7**). De esta forma, se tiene las misiones y parámetros que se visualizan en la *Figura 47*.

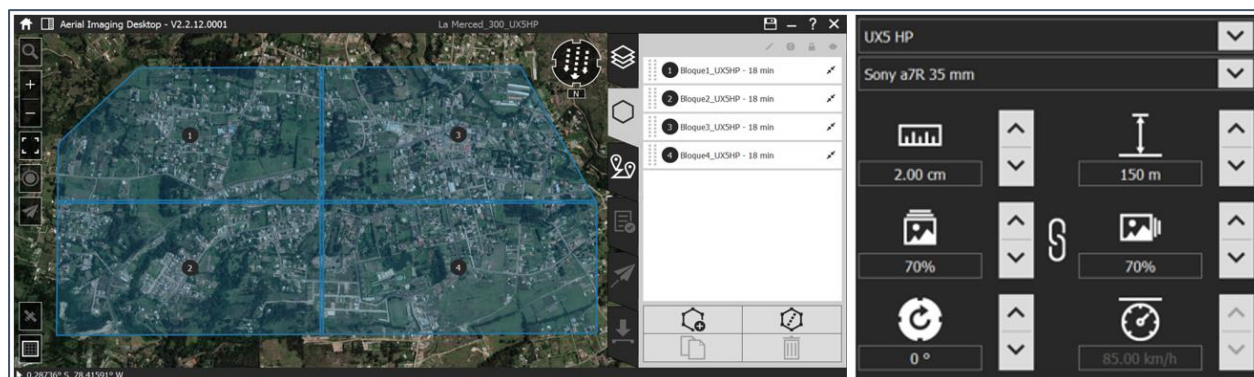


Figura 47. División de bloques y configuración parámetros UX5 HP – Access Aerial Imaging

Para definir las propiedades del vuelo y el sitio de despegue/aterrizaje se emplea la ficha “Vuelos” del programa, considerando las zonas libres de obstáculos que se encuentran en la **Tabla 19** antes mencionada.

El resultado de la planificación del proyecto La Merced UX5 HP se observa en la **Tabla 25 (Capítulo IV)**; además en la **Figura 126** se muestran los bloques generados y el diseño del vuelo con los puntos de despegue/aterrizaje que incluye la zona de influencia.

3.3 Planificación puntos de apoyo fotogramétrico

En la planificación de los GCP se empleó la teoría mencionada en la sección **2.4.1.1 (Distribución de los GCP)** y los bloques diseñados en el apartado **3.2.2.3** (ver **Figura 123**); los cuales, también se detallan en el **Anexo 1**.

Se realizó la navegación a los 14 GCP y la base para su verificación en campo, comprobando su accesibilidad antes de la ejecución del vuelo. De esta manera, se colocó un punto en el centro de cada bloque y en las esquinas, considerando que exista traslapo con el bloque adyacente, materializando 14 CGP. Para el rastreo PPK, se planificó colocar la base en la zona de despegue/aterrizaje; es decir, en el cementerio de la parroquia de La Merced.

La distribución planificada para los puntos de apoyo fotogramétrico y la base se muestran en la **Figura 127**.

3.4 Toma de imágenes y control terrestre

En el siguiente apartado se indica el trabajo de campo seguido en la ejecución del vuelo para la toma de imágenes y la toma de puntos de apoyo fotogramétrico para el control terrestre.

3.4.1 Ejecución del vuelo

El vuelo se realizó el día 14 de marzo de 2019, iniciando con la ubicación de las marcas de referencia para el control terrestre de acuerdo a la planificación de la sección **3.3 (Planificación**

puntos de apoyo fotogramétrico) como se muestra un ejemplo en la *Figura 48*. Además, la base para el levantamiento PPK se plantó en la zona de despegue como se indica en la *Figura 49* y se inició el rastreo con las características indicadas posteriormente en el apartado **3.4.2**



Figura 48. Ubicación de las marcas de referencia



Figura 49. Ubicación de la base en la zona de despegue

Por otra parte, una vez situados en la zona de despegue (Ver *Figura 50*), se preparó la aeronave completando los 14 pasos de la lista de chequeo previo al vuelo que se indican en la *Figura 51*. El detalle del proceso se incluye en el **Anexo 1**.



Figura 50. Preparación del equipo antes del vuelo a) UAV WingtraOne b) Partes y piezas

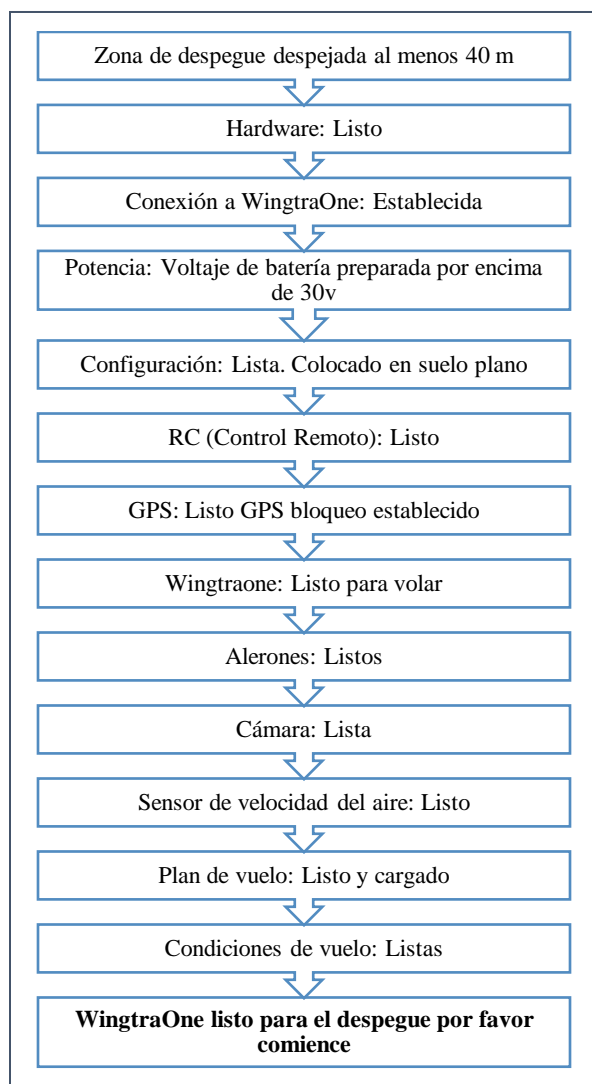


Figura 51. Lista de chequeo WingtraOne

Posteriormente, al completar la lista de chequeo, se ejecutó el vuelo (*Figura 52*) siguiendo los parámetros planificados para el UAV WingtraOne explicados en la **Tabla 23**. En este caso, con el fin de cubrir toda la zona de estudio, se realizaron dos vuelos



Figura 52. Ejecución del vuelo

Los detalles del rendimiento del equipo se observan en la **Tabla 26 (Capítulo IV)**.

3.4.2 Toma de puntos de apoyo fotogramétrico

Una vez finalizado los vuelos, se procedió a la toma de puntos de control (GCP), para lo cual, se planta lo equipos móviles sobre las marcas de referencia, tal como se indica en la *Figura 53*.

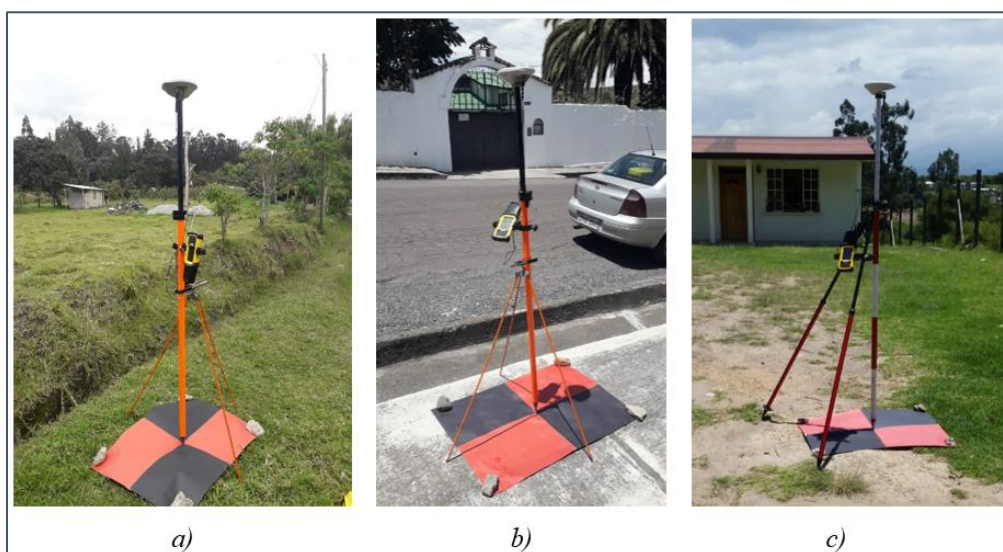


Figura 53. Toma de puntos de control: a) Punto 1 b) Punto 11 c) Punto 6

En el rastreo GNSS, se siguieron las recomendaciones de Kirby E. (2012) citado en (Chuquitarco, 2018) que indican el tiempo y la máscara de registro. Por lo tanto, se utilizó equipos GNSS marca Trimble R3 de una frecuencia con el método de posicionamiento Estático Rápido, tiempo de rastreo de 15 minutos, intervalo de 5 segundos y máscara de elevación de 15°. En cuanto a la base, esta fue rastreada con la antena Trimble R4 de doble frecuencia L1/L2, método Estático, intervalo de rastreo de 1 segundo y máscara de elevación de 15°.

3.5 Post procesamiento de los GCP

El procesamiento de los datos GNSS se realizó en el software comercial Trimble Business Center, empleando como base la Estación de Monitoreo Continuo “EPEC”. Se procesaron 15 puntos incluyendo la base ubicada en el Campo Santo de La Merced.

En este proyecto la cartografía a generar es de escala 1:1000; por lo que, empleando la ecuación (21), la precisión de los puntos de control debe ser mayor a 10 cm. Adicionalmente, de acuerdo a Chuquitarco A. (2018), se puede utilizar la ecuación (29)

$$PH_{GCP} = \frac{PH}{4} \quad (29)$$

Donde:

- PH_{GCP} : Precisión horizontal de los puntos de control
- PH : Precisión horizontal de la cartografía, en este caso con la ecuación (27), es igual a 30 cm para escala 1:1000 ($PH=0.3*1000$); por lo que, la precisión horizontal de los GCP debe ser mayor a 7.5 cm.

El resultado del elenco de coordenadas se presenta en la **Tabla 27** y un ejemplo de las monografías en la **Figura 128**.

3.6 Etiquetado geográfico de las imágenes

Finalizados los vuelos con la aeronave WingtraOne, se debe realizar el proceso de etiquetado geográfico previo al ajuste fotogramétrico para enlazar los centros de fotos con las imágenes. En ese sentido, extraer la información de la tarjeta de memoria que contiene las coordenadas PPK y las fotos como tal, clasificados en carpetas como se observa en la **Figura 54**.

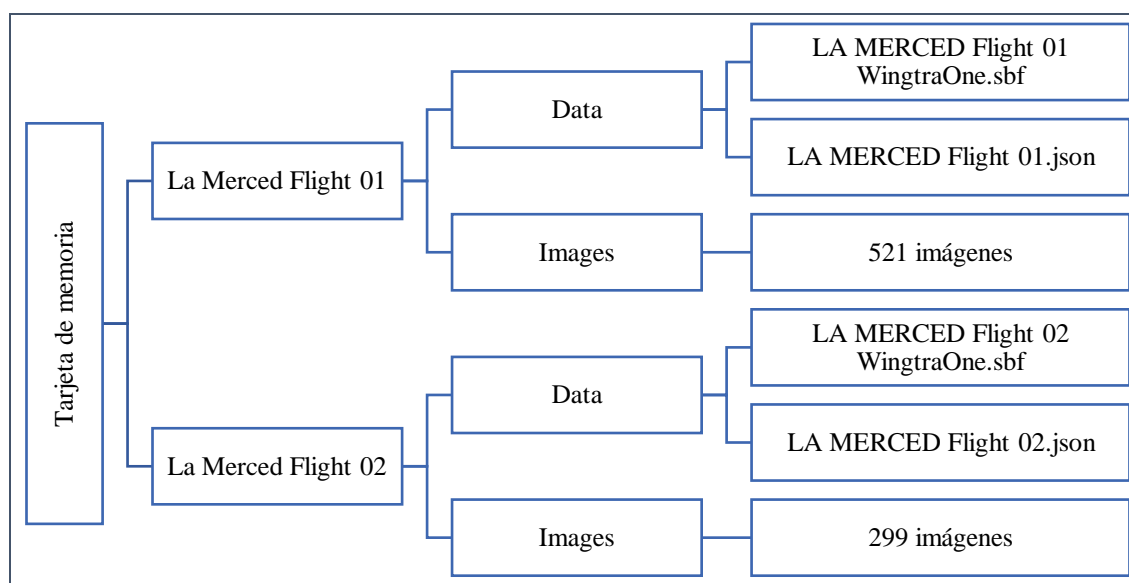


Figura 54. Contenido de la tarjeta SD posterior al vuelo

Posteriormente, se empleó el programa WingtraHub v0.4.0 para calcular la geolocalización precisa de cada imagen (WGS84 con altura elipsoidal). Previamente, se considera que para realizar el procesamiento PPK se requieren como insumos: las imágenes, los datos GNSS de registros PPK (tarjeta SD) y los datos de la base como se ilustra en la **Figura 55**.

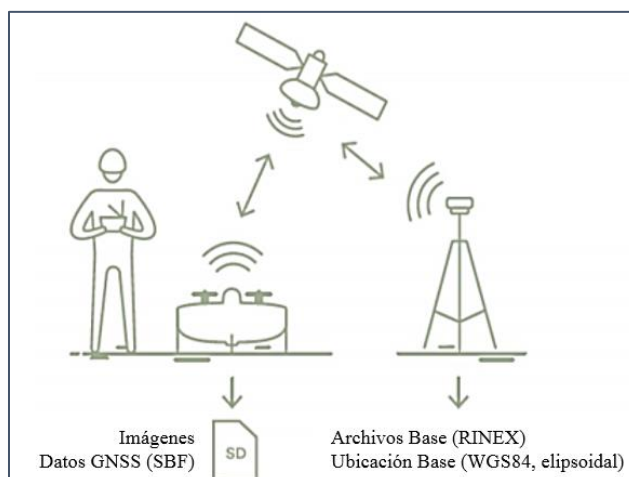


Figura 55. Insumos procesamiento PPK

Fuente: Adaptado de (Wingtra, 2018b)

Los resultados del proceso de geolocalización se visualizan en la **Figura 129** y en la **Figura 130** se observa un extracto de los archivos .CSV obtenidos.

3.7 Configuración del sistema

Para la visualización en estereoscopia a emplearse en los procesos posteriores, se requiere realizar la configuración del sistema (tarjeta) NVIDIA. Por tal motivo, se activó el modo estéreo en los programas con los que se realizará el proceso fotogramétrico (Photomod UAS y UASMaster). Además se cambió la resolución a 1920 x 1080, frecuencia de actualización de 120 Hz y con la profundidad de color más alta (32 bit) como se indica en la **Figura 56**.

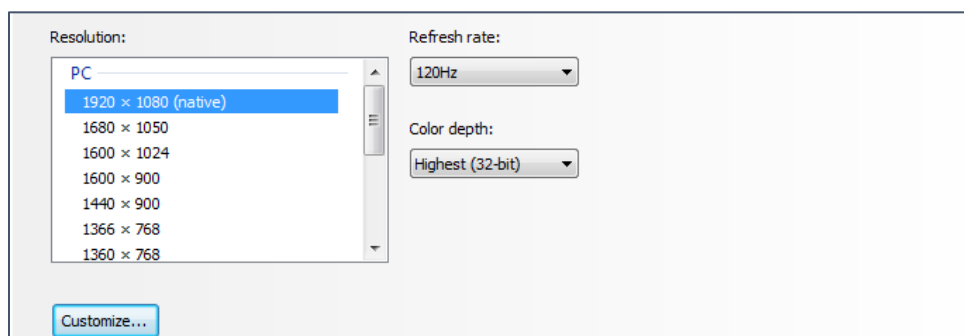


Figura 56. Configuración tarjeta NVIDIA

3.8 Proceso realizado en Photomod UAS

Una vez obtenidas las imágenes y el elenco de coordenadas de los puntos de control, se inició el proceso de ajuste fotogramétrico en el software Photomod UAS. En primer lugar, se crea un nuevo proyecto de nombre -La Merced PPK- con tipo de proyección central, sistema de coordenadas WGS84 UTM zona 17 Sur y se coloca una elevación del relieve referencial como se ejemplifica en la *Figura 57*.

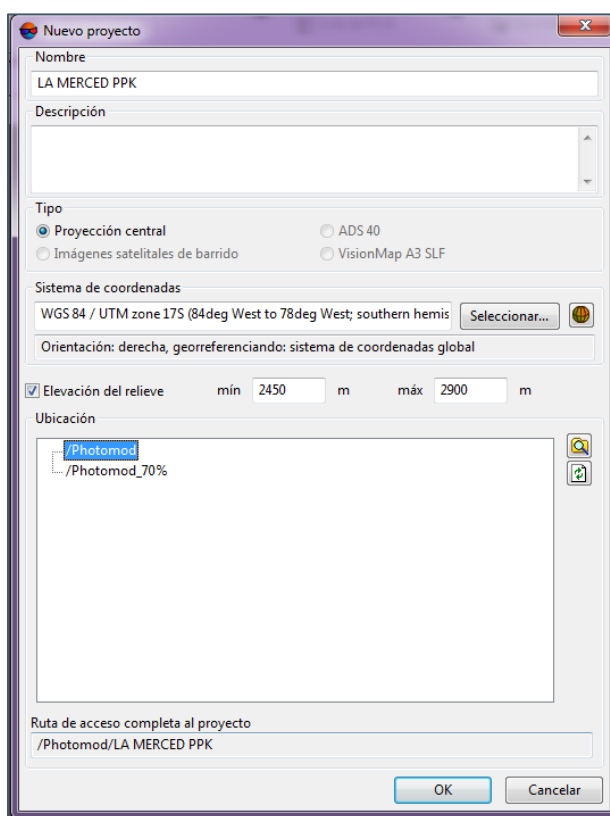


Figura 57. Configuración proyecto Photomod

3.8.1 Aerotriangulación

Dentro de esta sección se va a incluir los procesos de adición de imágenes, Orientación Interior, Orientación Exterior, Orientación Relativa, Pinchado de GCP y Ajuste del bloque fotogramétrico (aerotriangulación).

3.8.1.1 Adicionar imágenes

Para realizar la adición de imágenes se convierte de formato .JPG (formato original) a MS-TIFF (formato interno de Photomod con layers piramidales) que permite un trabajo más eficiente dentro del software. Las 820 imágenes se cargan inicialmente en una sola línea como se ejemplifica en la **Figura 58**, siendo divididas posteriormente de acuerdo a todas las líneas de vuelo realizadas. Este proceso se realizó sin procesamiento distribuido empleando 32 GB de memoria RAM.

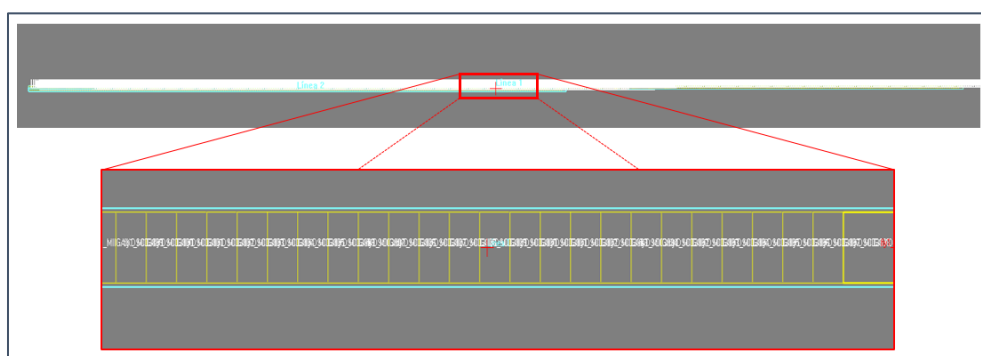


Figura 58. Adición de imágenes – Photomod UAS

3.8.1.2 Orientación Interior

Se realiza la importación de los parámetros de la cámara desde los metadatos mediante el menú “Orientación interior” del proceso “Aerotriangulación”. Adicionalmente se revisa los valores de la cámara Sony RX1RII (**Figura 59**) que coinciden con lo indicado en la **Tabla 18** en el apartado **3.2**

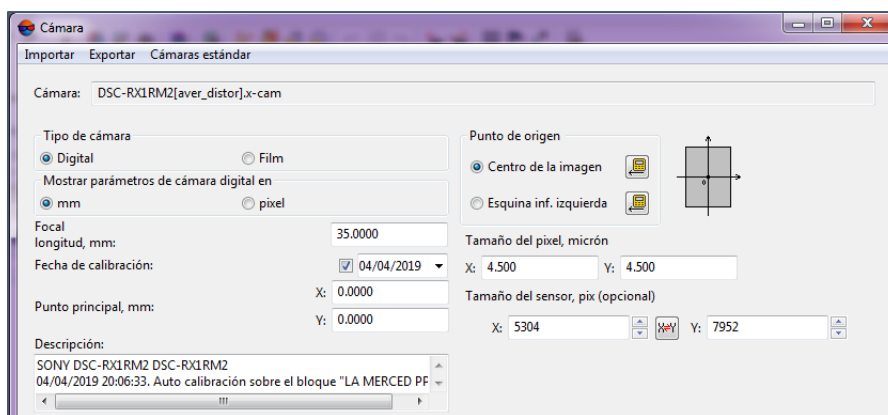


Figura 59. Parámetros de la cámara visualizados en Photomod UAS

3.8.1.3 Orientación Exterior

En este proceso se carga el archivo IMU/GPS obtenido con el etiquetado geográfico del apartado 3.6 en formato .CSV (LA MERCED Flight 01 geotags.csv y LA MERCED Flight 02 geotags.csv). Con la información de la hora GPS se divide el bloque en las 34 líneas de vuelo como se observa en la **Figura 60**; además, en la **Figura 61** se visualiza las imágenes una vez realizada la orientación exterior.

	1	2	3	4	5	6	7	
1	LA_MERCED_Flight_01_00002	LA_MERCED_Flight_01_00003	LA_MERCED_Flight_01_00004	LA_MERCED_Flight_01_00005	LA_MERCED_Flight_01_00006	LA_MERCED_Flight_01_00007	LA_MERCED_Flight_01_00008	LA_MER
2	LA_MERCED_Flight_01_00030	LA_MERCED_Flight_01_00029	LA_MERCED_Flight_01_00028	LA_MERCED_Flight_01_00027	LA_MERCED_Flight_01_00026	LA_MERCED_Flight_01_00025	LA_MERCED_Flight_01_00024	LA_MER
3	LA_MERCED_Flight_01_00031	LA_MERCED_Flight_01_00032	LA_MERCED_Flight_01_00033	LA_MERCED_Flight_01_00034	LA_MERCED_Flight_01_00035	LA_MERCED_Flight_01_00036	LA_MERCED_Flight_01_00037	LA_MER
4	LA_MERCED_Flight_01_00074	LA_MERCED_Flight_01_00073	LA_MERCED_Flight_01_00072	LA_MERCED_Flight_01_00071	LA_MERCED_Flight_01_00070	LA_MERCED_Flight_01_00069	LA_MERCED_Flight_01_00068	LA_MER
5	LA_MERCED_Flight_01_00075	LA_MERCED_Flight_01_00076	LA_MERCED_Flight_01_00077	LA_MERCED_Flight_01_00078	LA_MERCED_Flight_01_00079	LA_MERCED_Flight_01_00080	LA_MERCED_Flight_01_00081	LA_MER
6	LA_MERCED_Flight_01_00125	LA_MERCED_Flight_01_00124	LA_MERCED_Flight_01_00123	LA_MERCED_Flight_01_00122	LA_MERCED_Flight_01_00121	LA_MERCED_Flight_01_00120	LA_MERCED_Flight_01_00119	LA_MER
7	LA_MERCED_Flight_01_00126	LA_MERCED_Flight_01_00127	LA_MERCED_Flight_01_00128	LA_MERCED_Flight_01_00129	LA_MERCED_Flight_01_00130	LA_MERCED_Flight_01_00131	LA_MERCED_Flight_01_00132	LA_MER
8	LA_MERCED_Flight_01_00177	LA_MERCED_Flight_01_00176	LA_MERCED_Flight_01_00175	LA_MERCED_Flight_01_00174	LA_MERCED_Flight_01_00173	LA_MERCED_Flight_01_00172	LA_MERCED_Flight_01_00171	LA_MER
9	LA_MERCED_Flight_01_00178	LA_MERCED_Flight_01_00179	LA_MERCED_Flight_01_00180	LA_MERCED_Flight_01_00181	LA_MERCED_Flight_01_00182	LA_MERCED_Flight_01_00183	LA_MERCED_Flight_01_00184	LA_MER
10	LA_MERCED_Flight_01_00229	LA_MERCED_Flight_01_00228	LA_MERCED_Flight_01_00227	LA_MERCED_Flight_01_00226	LA_MERCED_Flight_01_00225	LA_MERCED_Flight_01_00224	LA_MERCED_Flight_01_00223	LA_MER
11	LA_MERCED_Flight_01_00230	LA_MERCED_Flight_01_00231	LA_MERCED_Flight_01_00232	LA_MERCED_Flight_01_00233	LA_MERCED_Flight_01_00234	LA_MERCED_Flight_01_00235	LA_MERCED_Flight_01_00236	LA_MER
12	LA_MERCED_Flight_01_00281	LA_MERCED_Flight_01_00280	LA_MERCED_Flight_01_00279	LA_MERCED_Flight_01_00278	LA_MERCED_Flight_01_00277	LA_MERCED_Flight_01_00276	LA_MERCED_Flight_01_00275	LA_MER
13	LA_MERCED_Flight_01_00282	LA_MERCED_Flight_01_00283	LA_MERCED_Flight_01_00284	LA_MERCED_Flight_01_00285	LA_MERCED_Flight_01_00286	LA_MERCED_Flight_01_00287	LA_MERCED_Flight_01_00288	LA_MER
14	LA_MERCED_Flight_01_00332	LA_MERCED_Flight_01_00332	LA_MERCED_Flight_01_00331	LA_MERCED_Flight_01_00330	LA_MERCED_Flight_01_00329	LA_MERCED_Flight_01_00328	LA_MERCED_Flight_01_00327	LA_MER
15	LA_MERCED_Flight_01_00334	LA_MERCED_Flight_01_00335	LA_MERCED_Flight_01_00336	LA_MERCED_Flight_01_00337	LA_MERCED_Flight_01_00338	LA_MERCED_Flight_01_00339	LA_MERCED_Flight_01_00340	LA_MER
16	LA_MERCED_Flight_01_00385	LA_MERCED_Flight_01_00384	LA_MERCED_Flight_01_00383	LA_MERCED_Flight_01_00382	LA_MERCED_Flight_01_00381	LA_MERCED_Flight_01_00380	LA_MERCED_Flight_01_00379	LA_MER
17	LA_MERCED_Flight_01_00386	LA_MERCED_Flight_01_00387	LA_MERCED_Flight_01_00388	LA_MERCED_Flight_01_00389	LA_MERCED_Flight_01_00390	LA_MERCED_Flight_01_00391	LA_MERCED_Flight_01_00392	LA_MER
18	LA_MERCED_Flight_01_00437	LA_MERCED_Flight_01_00436	LA_MERCED_Flight_01_00435	LA_MERCED_Flight_01_00434	LA_MERCED_Flight_01_00433	LA_MERCED_Flight_01_00432	LA_MERCED_Flight_01_00431	LA_MER
19	LA_MERCED_Flight_01_00438	LA_MERCED_Flight_01_00439	LA_MERCED_Flight_01_00440	LA_MERCED_Flight_01_00441	LA_MERCED_Flight_01_00442	LA_MERCED_Flight_01_00443	LA_MERCED_Flight_01_00444	LA_MER
20	LA_MERCED_Flight_01_00489	LA_MERCED_Flight_01_00488	LA_MERCED_Flight_01_00487	LA_MERCED_Flight_01_00486	LA_MERCED_Flight_01_00485	LA_MERCED_Flight_01_00484	LA_MERCED_Flight_01_00483	LA_MER
21	LA_MERCED_Flight_01_00490	LA_MERCED_Flight_01_00491	LA_MERCED_Flight_01_00492	LA_MERCED_Flight_01_00493	LA_MERCED_Flight_01_00494	LA_MERCED_Flight_01_00495	LA_MERCED_Flight_01_00496	LA_MER
22	LA_MERCED_Flight_01_00522	LA_MERCED_Flight_01_00521	LA_MERCED_Flight_01_00520	LA_MERCED_Flight_01_00519	LA_MERCED_Flight_01_00518	LA_MERCED_Flight_01_00517	LA_MERCED_Flight_01_00516	LA_MER
23	LA_MERCED_Flight_02_00027	LA_MERCED_Flight_02_00026	LA_MERCED_Flight_02_00025	LA_MERCED_Flight_02_00024	LA_MERCED_Flight_02_00023	LA_MERCED_Flight_02_00022	LA_MERCED_Flight_02_00021	LA_MER
24	LA_MERCED_Flight_02_00028	LA_MERCED_Flight_02_00029	LA_MERCED_Flight_02_00030	LA_MERCED_Flight_02_00031	LA_MERCED_Flight_02_00032	LA_MERCED_Flight_02_00033	LA_MERCED_Flight_02_00034	LA_MER
25	LA_MERCED_Flight_02_00079	LA_MERCED_Flight_02_00078	LA_MERCED_Flight_02_00077	LA_MERCED_Flight_02_00076	LA_MERCED_Flight_02_00075	LA_MERCED_Flight_02_00074	LA_MERCED_Flight_02_00073	LA_MER
26	LA_MERCED_Flight_02_00080	LA_MERCED_Flight_02_00081	LA_MERCED_Flight_02_00082	LA_MERCED_Flight_02_00083	LA_MERCED_Flight_02_00084	LA_MERCED_Flight_02_00085	LA_MERCED_Flight_02_00086	LA_MER
27	LA_MERCED_Flight_02_00131	LA_MERCED_Flight_02_00130	LA_MERCED_Flight_02_00129	LA_MERCED_Flight_02_00128	LA_MERCED_Flight_02_00127	LA_MERCED_Flight_02_00126	LA_MERCED_Flight_02_00125	LA_MER
28	LA_MERCED_Flight_02_00132	LA_MERCED_Flight_02_00133	LA_MERCED_Flight_02_00134	LA_MERCED_Flight_02_00135	LA_MERCED_Flight_02_00136	LA_MERCED_Flight_02_00137	LA_MERCED_Flight_02_00138	LA_MER
29	LA_MERCED_Flight_02_00183	LA_MERCED_Flight_02_00182	LA_MERCED_Flight_02_00181	LA_MERCED_Flight_02_00180	LA_MERCED_Flight_02_00179	LA_MERCED_Flight_02_00178	LA_MERCED_Flight_02_00177	LA_MER
30	LA_MERCED_Flight_02_00184	LA_MERCED_Flight_02_00185	LA_MERCED_Flight_02_00186	LA_MERCED_Flight_02_00187	LA_MERCED_Flight_02_00188	LA_MERCED_Flight_02_00189	LA_MERCED_Flight_02_00190	LA_MER
31	LA_MERCED_Flight_02_00233	LA_MERCED_Flight_02_00232	LA_MERCED_Flight_02_00231	LA_MERCED_Flight_02_00230	LA_MERCED_Flight_02_00229	LA_MERCED_Flight_02_00228	LA_MERCED_Flight_02_00227	LA_MER
32	LA_MERCED_Flight_02_00234	LA_MERCED_Flight_02_00235	LA_MERCED_Flight_02_00236	LA_MERCED_Flight_02_00237	LA_MERCED_Flight_02_00238	LA_MERCED_Flight_02_00239	LA_MERCED_Flight_02_00240	LA_MER
33	LA_MERCED_Flight_02_00278	LA_MERCED_Flight_02_00277	LA_MERCED_Flight_02_00276	LA_MERCED_Flight_02_00275	LA_MERCED_Flight_02_00274	LA_MERCED_Flight_02_00273	LA_MERCED_Flight_02_00272	LA_MER
34	LA_MERCED_Flight_02_00279	LA_MERCED_Flight_02_00280	LA_MERCED_Flight_02_00281	LA_MERCED_Flight_02_00282	LA_MERCED_Flight_02_00283	LA_MERCED_Flight_02_00284	LA_MERCED_Flight_02_00285	LA_MER

Figura 60. División en líneas de vuelo – Photomod UAS

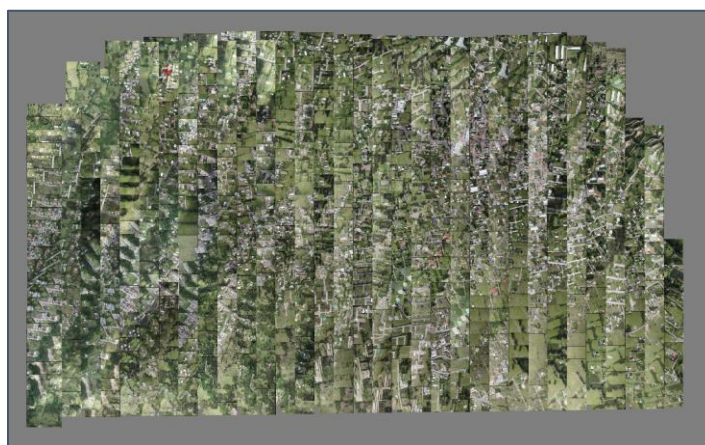


Figura 61. Visualización de la división en líneas de vuelo – Photomod UAS

3.8.1.4 Orientación Relativa

Una vez terminado el proceso de orientación exterior, se realiza la orientación relativa cuya teoría fue mencionada en el apartado 2.6.2. Para ello, se ejecuta la medición automática de los puntos de enlace.

El software permite trabajar con procesamiento distribuido, el cual, al dividir en tareas de acuerdo a los núcleos del computador, mejora el rendimiento disminuyendo el tiempo de ejecución. Sin embargo, para esta etapa no se realizó dicha distribución, obteniendo el reporte de procesamiento que se indica en la *Figura 131* y visualizándose el bloque como en la *Figura 132*.

3.8.1.5 Pinchado de GCP

Se importa el elenco de coordenadas de los GCP (**Tabla 27**) en formato .CSV. Posteriormente se realiza el pinchado de los puntos en cada una de las marcas de referencia como se indica en la *Figura 62*. El número de mediciones en cada imagen se observa en la *Figura 133* del capítulo “Resultados”

The screenshot displays the 'Medición de puntos' (Point Measurement) window in Photomod UAS. It features a grid of image windows, each showing a different view of a ground control point (GCP) marked with a red crosshair. Below the grid, a table lists the triangulation points (Puntos de Triangulación) with their respective coordinates and measurement data.

Código	Nombre	Tipo	X, m	Y, m	Z, m	Dev. Std. X, m	Dev. Std. Y, m	Dev. Std. Z, m	Número de mediciones
102083	P05	Control Terren	787690.964	9967400.013	2563.210	0,2	0,2	0,2	11
102084	P06	Control Terren	787712.399	9966878.529	2543.995	0,2	0,2	0,2	0
102086	P08	Control Terren	788175.757	9967949.052	2571.771	0,2	0,2	0,2	0
102087	P09	Control Terren	788819.137	9966874.591	2602.045	0,2	0,2	0,2	0
102088	P10	Control Terren	789298.46	9968078.75	2603.185	0,2	0,2	0,2	0

Figura 62. Pinchado de GCP en Photomod UAS

3.8.1.6 Ajuste

Luego de realizar el pinchado de GCP, se configura los parámetros del ajuste de acuerdo a la teoría del apartado 2.6.4. En ese sentido, el método empleado para la aerotriangulación fue “Ajuste de bloque” en donde se realiza la triangulación aérea para todas las imágenes a la vez y se ejemplifica en la *Figura 63*.

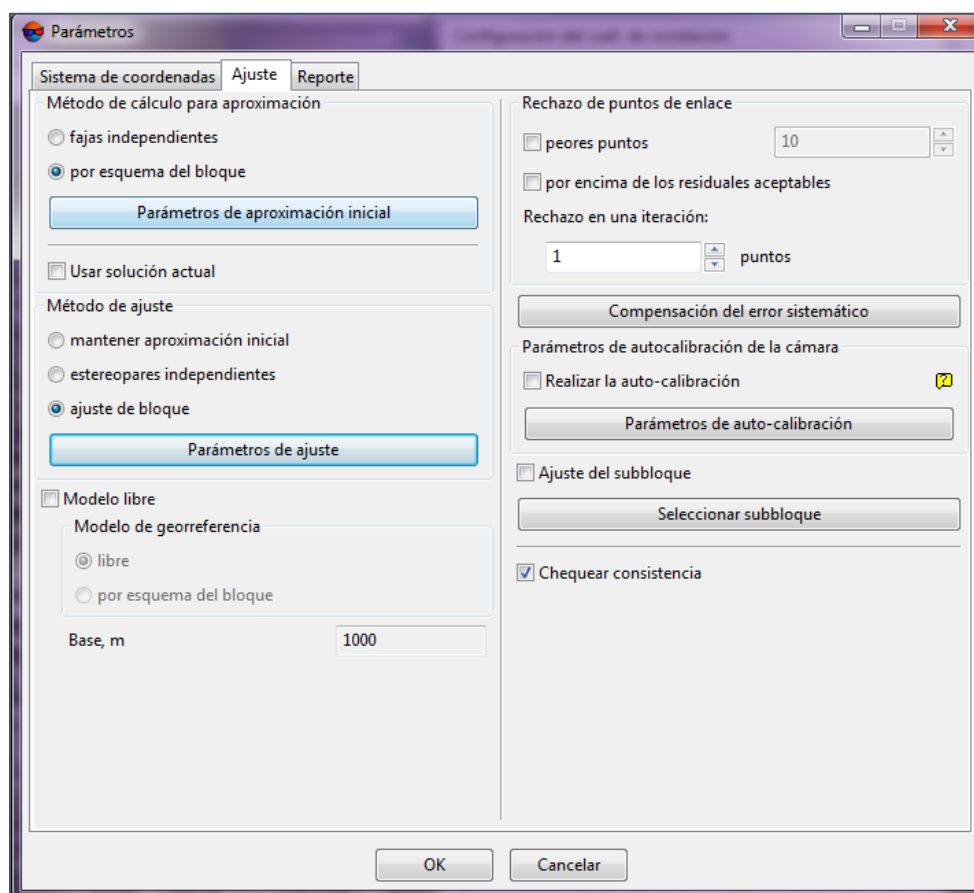


Figura 63. Parámetros del ajuste – Photomod UAS

Adicionalmente, se configura los parámetros de auto calibración de la cámara. Para este proyecto se empleó el tipo de calibración “Mezclado” (*Figura 64*) donde intervienen elementos como: desplazamiento del punto principal en X y Y, desviación del valor de la distancia focal, coeficientes de distorsión radial y tangencial.

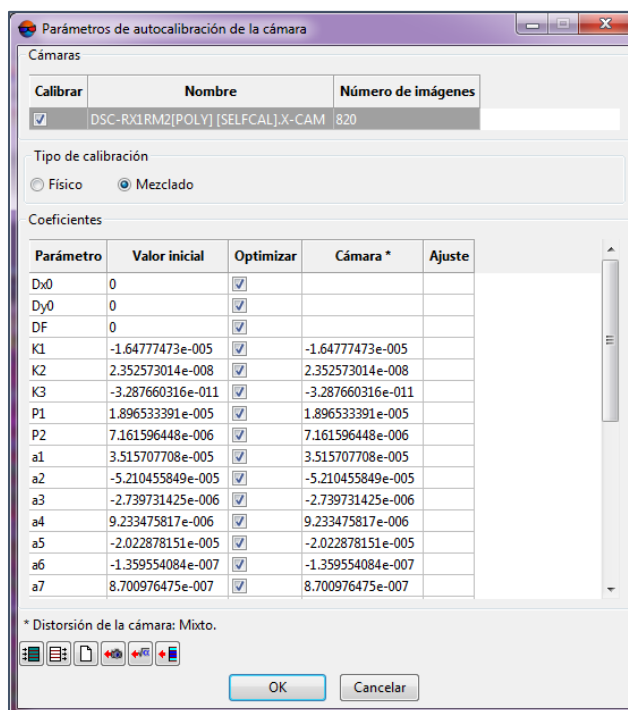


Figura 64. Autocalibración cámara – Photomod UAS

Como resultado se tiene el reporte de procesamiento plasmado en la **Figura 134** del Capítulo IV.

3.8.2 Generación de Productos en Photomod UAS

3.8.2.1 MDE

La siguiente sección menciona los procesos seguidos para la obtención de un MDE con el cual se generará un ortomosaico simple.

3.8.2.1.1 Nube de puntos

Una vez realizado el ajuste del bloque, se precede a la creación de una nube de puntos con el herramienta “Cálculo de Puntos” dentro del flujo de trabajo “Calcular el MDE”, se utiliza el coeficiente de correlación para un área rural tomando el rango de elevación de acuerdo a los puntos de triangulación, de esta manera, se obtiene una nube puntos como se visualiza en la **Figura 65**.

Adicionalmente, se encuentra en el **Anexo 3** la configuración de todos los parámetros con mayor detalle.



Figura 65. Obtención de la nube de puntos – Photomod UAS

Una vez generada la nube de puntos, esta pasa a través de algoritmos de filtrado y edición manual para eliminar las características verticales y los objetos hechos por el hombre. Para ello se emplea la opción “Filtro de edificaciones y vegetación” de acuerdo a la **Figura 66**.

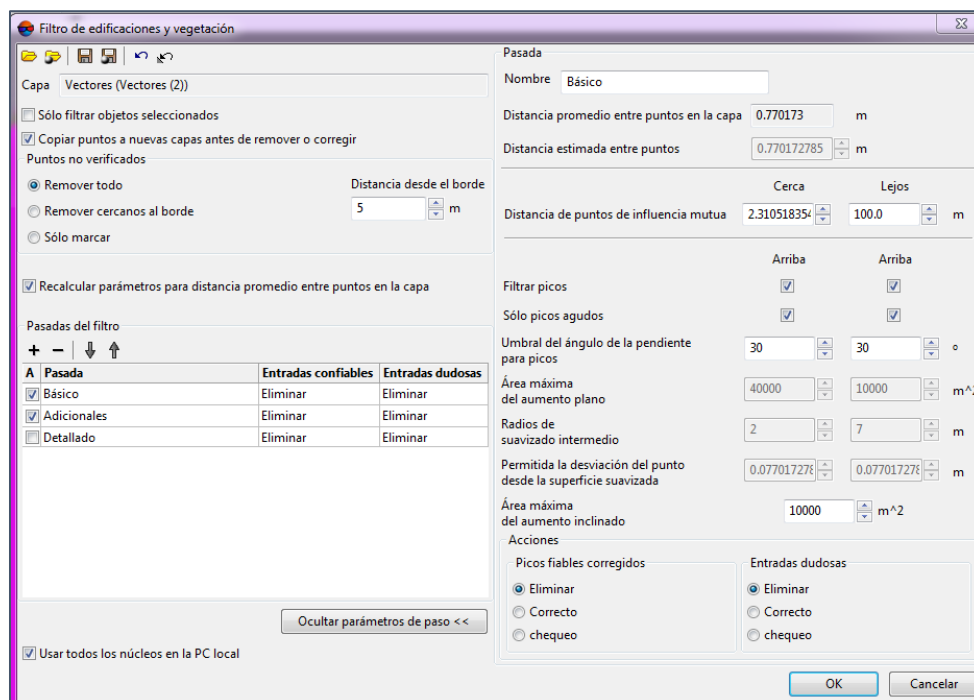


Figura 66. Filtro de edificaciones y vegetación – Photomod UAS

Es así que, todos los puntos que presentan un cambio brusco se consideran picos (puntos de color rojo en la *Figura 67*) y son eliminados.

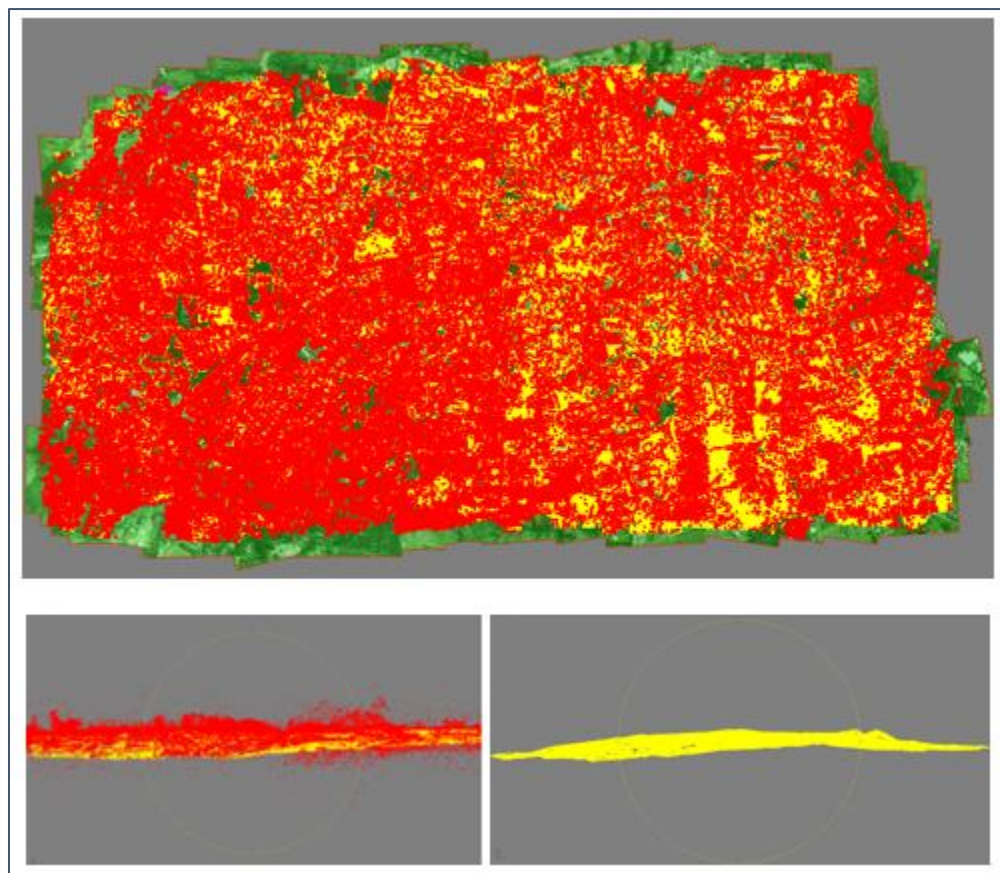


Figura 67. Filtrado de picos en la nube de puntos – Photomod UAS

Posteriormente, se revisa en estereoscopia para depurar la nube y eliminar manualmente los puntos que quedaron sobre las edificaciones.



Figura 68. Filtrado de puntos en edificaciones – Photomod UAS

Además, existen zonas en donde los filtros automáticos eliminaron puntos, por lo que se lo añade manualmente como indica en la **Figura 69**.

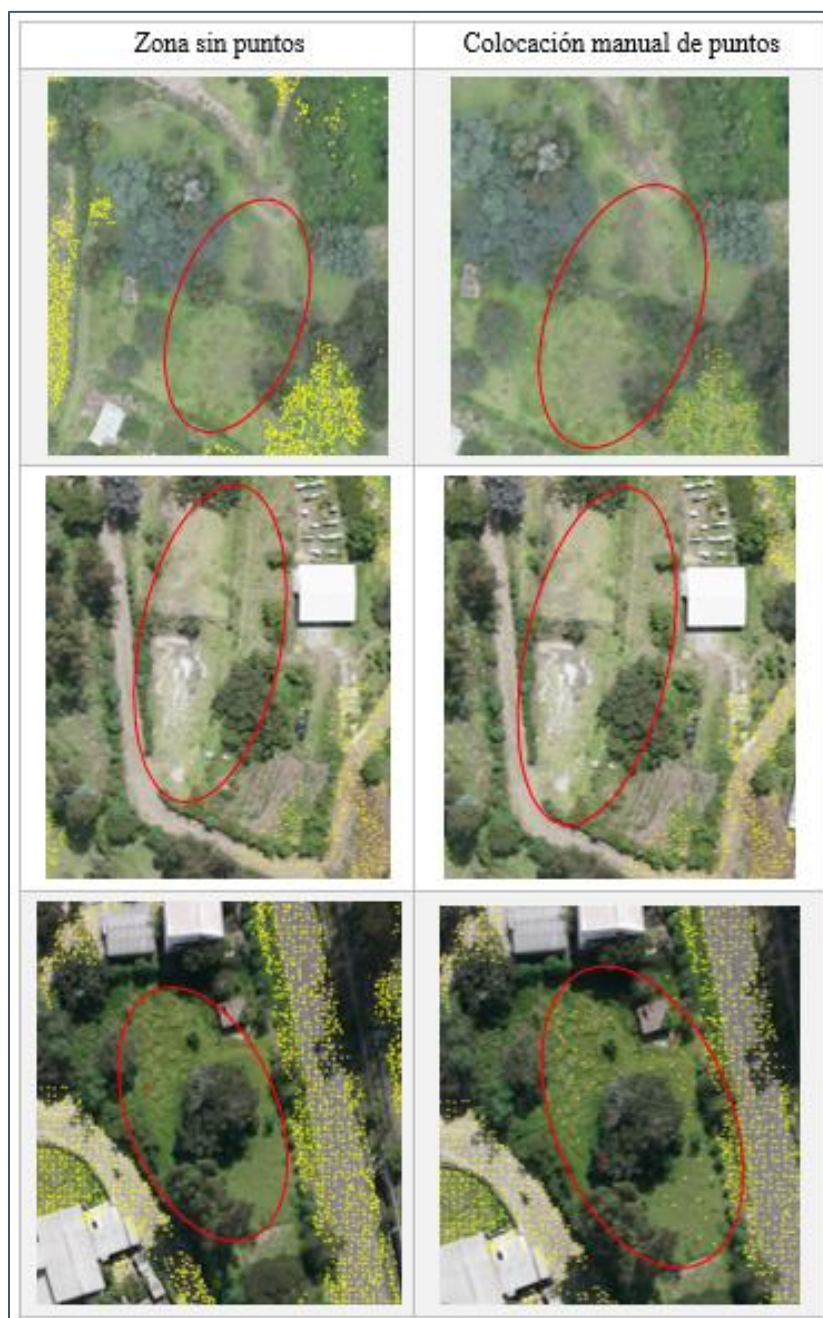


Figura 69. Colocación de puntos manualmente – Photomod UAS

La nube de puntos depurada se observa en la **Figura 135**.

3.8.2.1.2 TIN

Mediante los nodos obtenidos anteriormente, se va a generar una red irregular de triangulación (TIN) para el modelo digital de elevaciones. Por lo tanto, se selecciona la capa con los puntos

filtrados de acuerdo a la **Figura 70** y el resultado obtenido se presenta en la **Figura 136** del Capítulo IV.

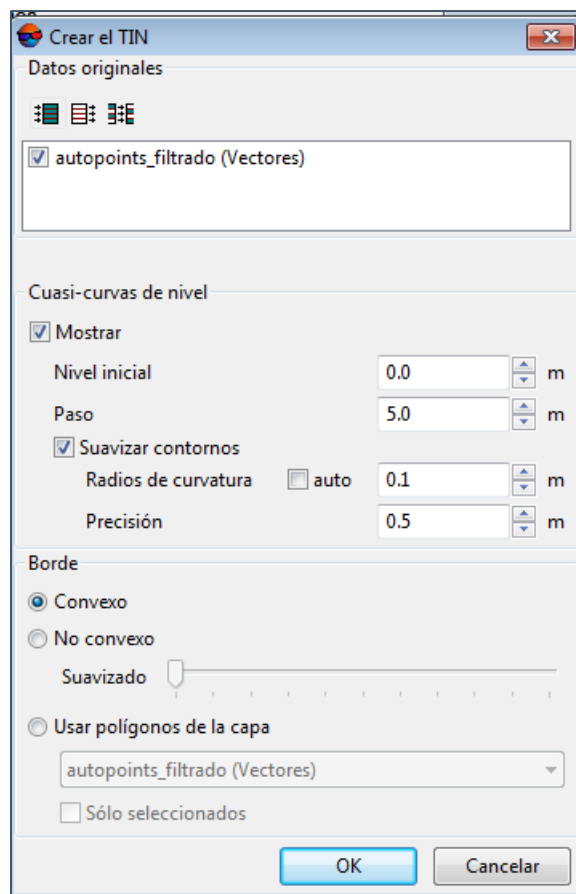


Figura 70. Creación del TIN – Photomod UAS

3.8.2.1.3 Modelo Digital de Elevaciones

Para la creación del MDE a partir del TIN se emplea el tamaño de celda del proyecto, es decir, 0.039 m como se ilustra en la **Figura 71** y el resultado obtenido en esta etapa se visualiza en la **Figura 137** del Capítulo IV.

Figura 71. Parámetros creación MDE – Photomod UAS

3.8.2.2 Modelo Digital de Superficie

El modelo digital de superficie se generó empleando el método de correlación SGM cuya teoría fue mencionada en el apartado 2.9.4. A partir de este modelo se generó un ortomosaico verdadero y también, un ortomosaico simple.

El método se aplicó para todas las imágenes, con una aproximación inicial de acuerdo al rango elevación de cada estereopar, se añadió un método de costos donde se incluyen restricciones para un procesamiento más rápido, tamaño de celda de 0.039 m y el peso estimado de 16 GB. En la **Figura 72** se observa las configuraciones realizadas y el resultado obtenido en la **Figura 138** del Capítulo IV.

Tomar en cuenta que al momento de generar el MDS también se ejecuta la creación del ortomosaico verdadero, sin embargo los parámetros escogidos se mencionan en el apartado 3.8.2.4.

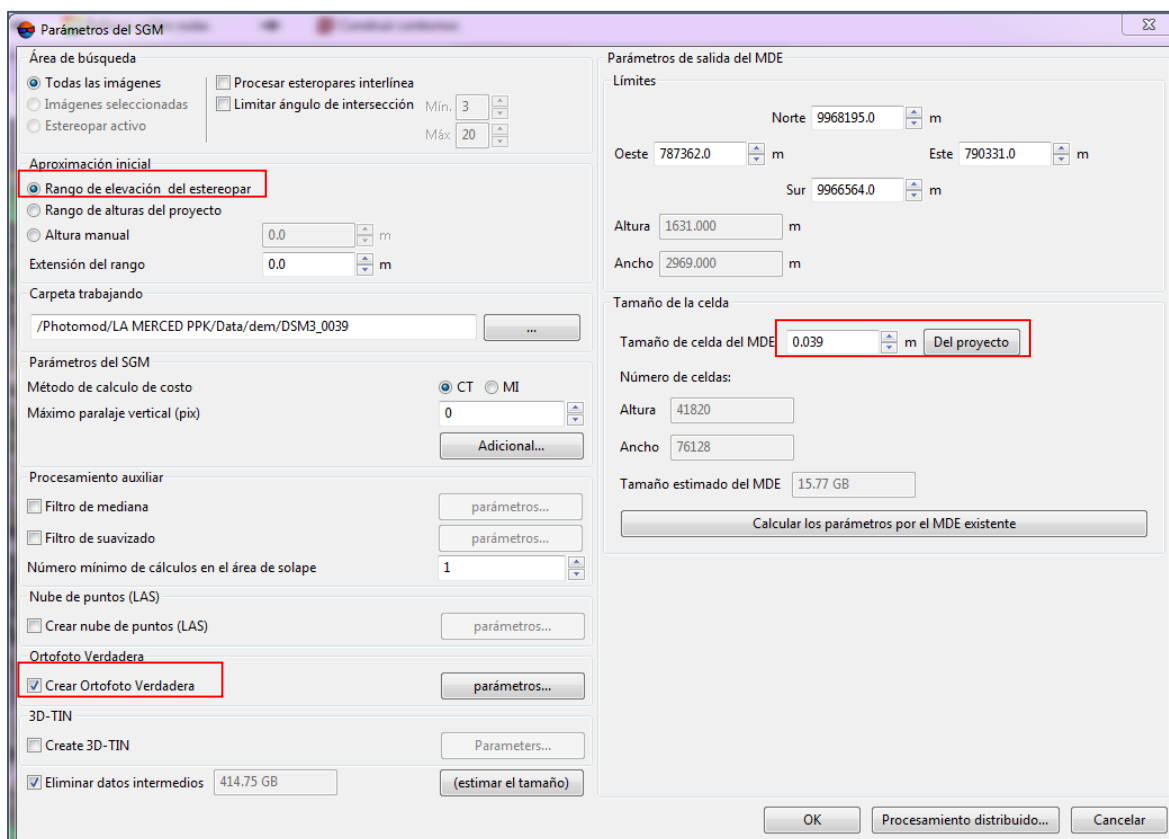


Figura 72. Parámetros creación MDS con el algoritmo SGM – Photomod UAS

3.8.2.3 Ortomosaico Clásico

Antes de crear las ortofotos, se debe comprobar los estadísticos de exactitud del ajuste de aerotriangulación y del modelo digital de elevaciones con la herramienta “Control de exactitud” del menú “Calcular el Ortofoto”. En la **Figura 139** se muestra el reporte de aerotriangulación obtenido.

Posteriormente, se definen los parámetros de creación de las ortofoto simples con la herramienta “Parámetros de ortoimágenes”, para ello seleccionar el MDE obtenido en la sección **3.8.2.1**, el tamaño del GSD de 0.039 m y el sistema de coordenadas WGS84 UTM zona 17S como se ilustra en la **Figura 73**.

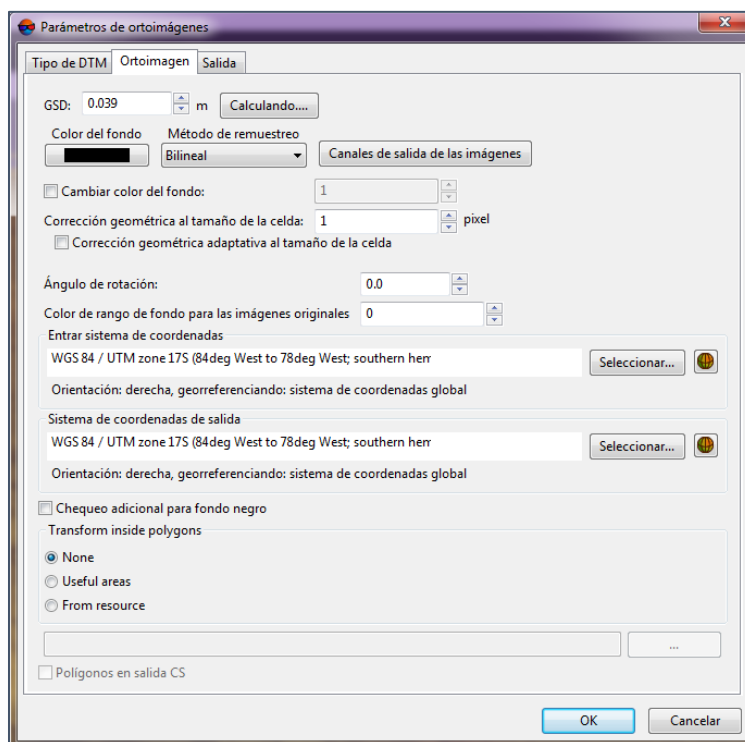


Figura 73. Generación ortofotos simples – Photomod UAS

El ejecutar la ortorectificación, se tiene un mensaje con el tiempo estimado de 367 horas (Ver **Figura 74**), considerando que no se emplea el procesamiento distribuido y la memoria RAM con la que se trabaja es de 32 GB.

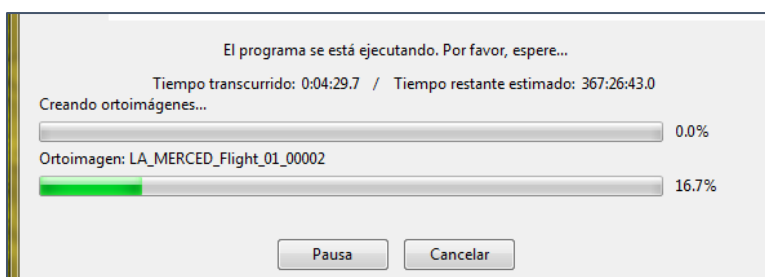


Figura 74. Tiempo estimado creación ortofotos – Photomod UAS

Por tal razón, se generó las ortofotos simples con los parámetros configurados anteriormente pero, con la opción de procesamiento distribuido. Por lo cual, con la memoria RAM de 82 GB, se requiere de un tiempo de 45 horas de ejecución y se obtienen ortofotos como la de la **Figura 140**.

Una vez obtenidas las ortofotos, éstas se adicionan en el módulo Photomod Geomosaic para realizar el ortomosaico, teniendo una visualización preliminar como se indica en la **Figura 75**.



Figura 75. Visualización preliminar del ortomosaico – Photomod UAS

A continuación, se crean las líneas de corte que permiten mejorar o escoger la imagen que mejor coincida con el objeto de análisis; por ejemplo: para visualizar un edificio. Se emplea la función “Crear” del menú Líneas de corte y se escoge el método rápido (diagrama de Voronoi) de acuerdo a la **Figura 76** y se visualiza en la **Figura 77**.

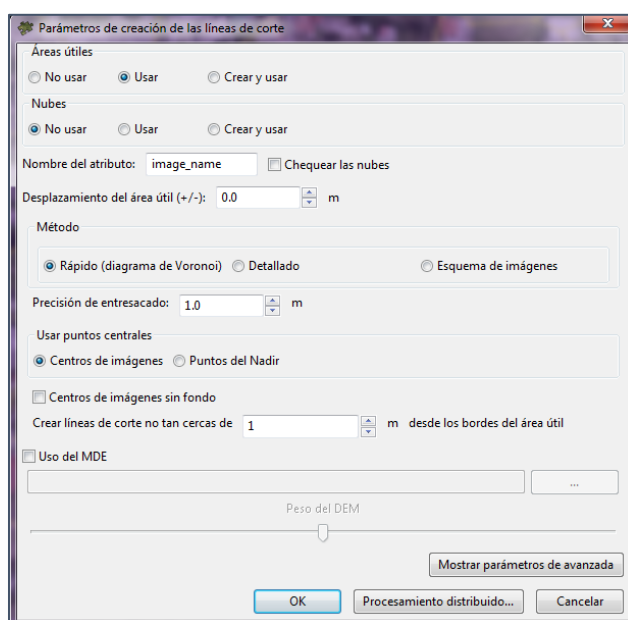


Figura 76. Parámetros creación líneas de corte – Photomod UAS

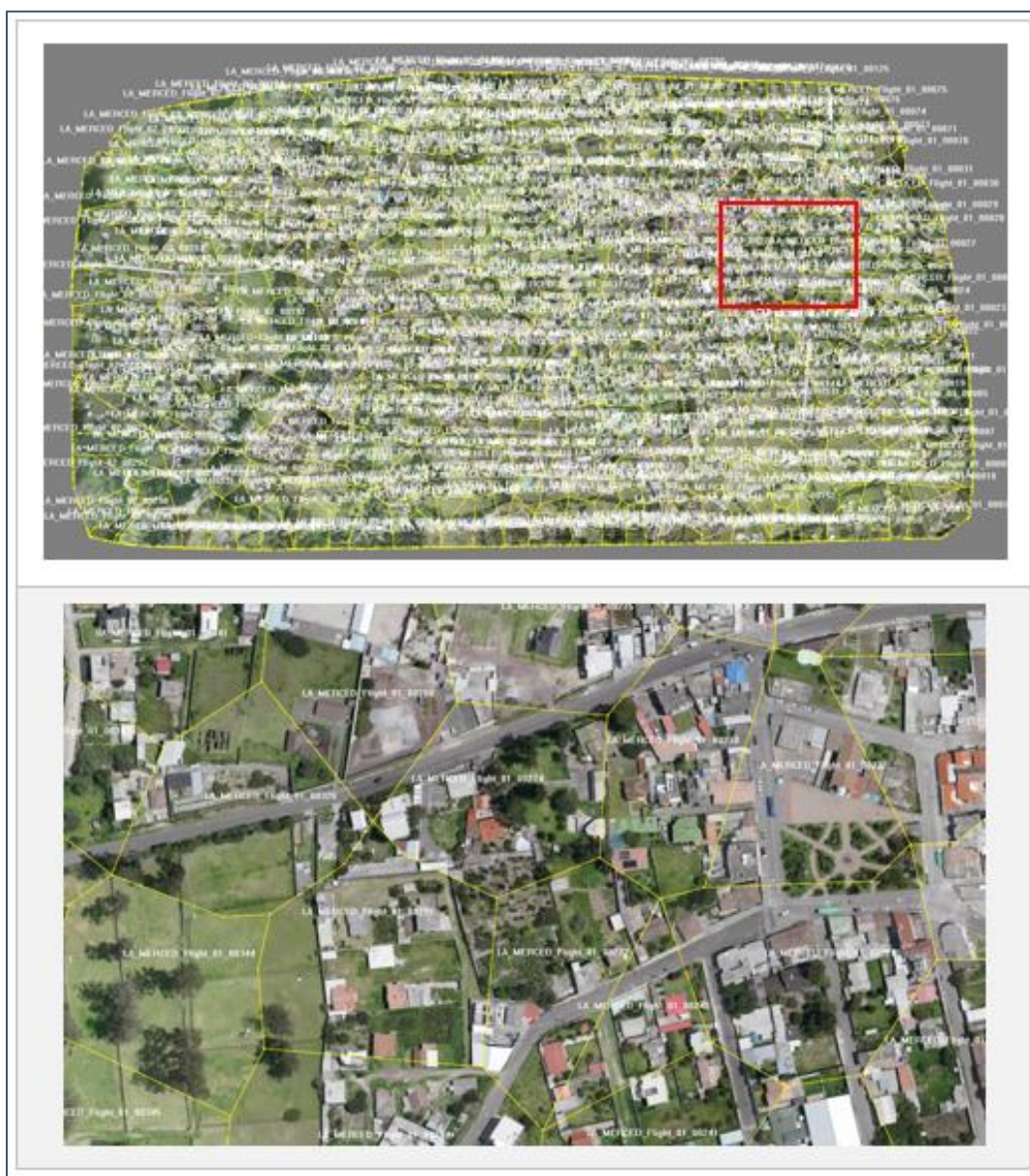


Figura 77. Visualización de las líneas de corte – Photomod UAS

Durante la edición de las líneas de corte, éstas se mueven fuera el objeto como se ejemplifica en la **Figura 78** para que no fragmenten de manera errónea las edificaciones.



Figura 78. Visualización de las líneas de corte – Photomod UAS

En cada polígono que se forma con las líneas de corte se tiene diferencias de brillo como se visualiza en la **Figura 79** y se harán correcciones radiométricas posteriormente.

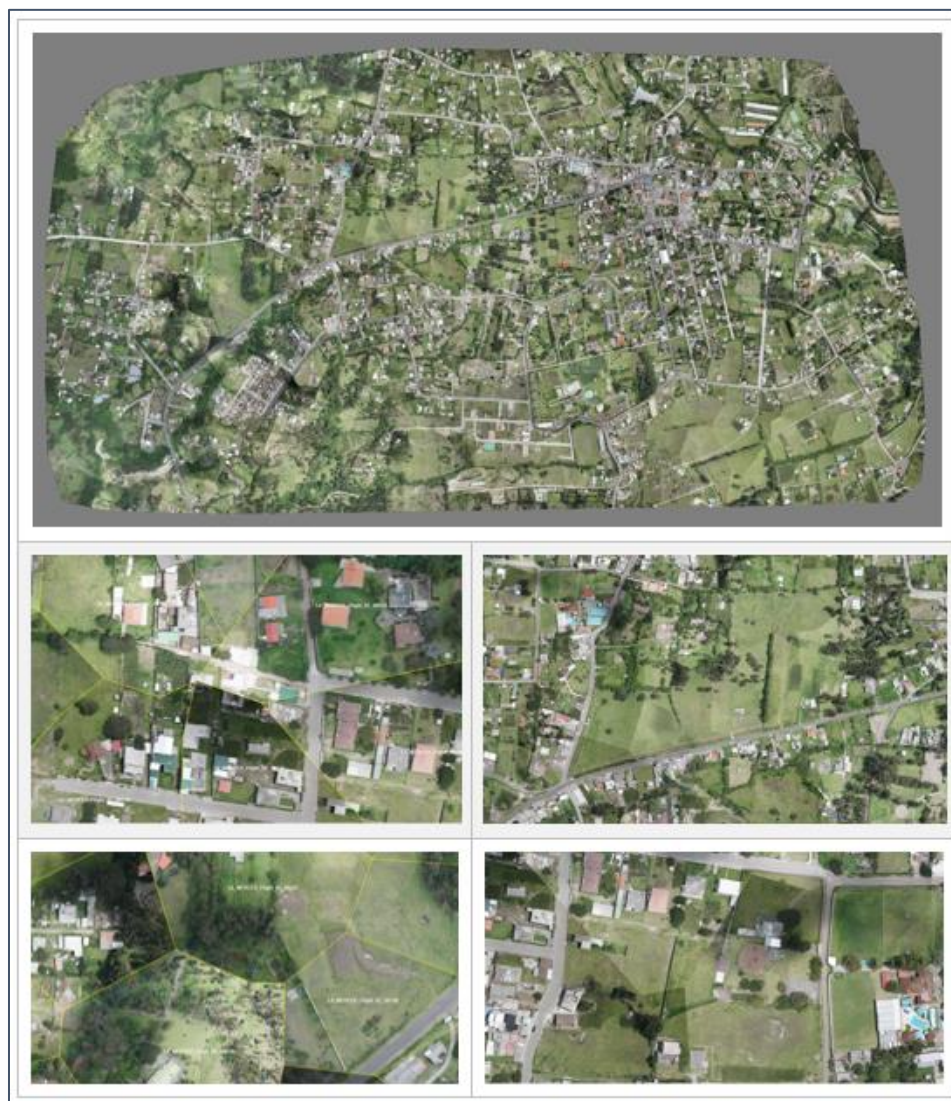


Figura 79. Diferencias de brillo en el ortomosaico – Photomod UAS

Una vez finalizado la edición de las líneas de corte, se modifican los “Parámetros del mosaico”, empezando por la selección del sistema de coordenadas de entrada (ortofotos) y salida (ortomosaico). La siguiente configuración corresponde al ajuste del brillo, para este proyecto se emplea las opciones “Ajuste local” e “Intercalado de costuras” para tener una imagen mejor homogenizada. Por último se escoge el formato de salida Geo TiFF como se visualiza en la **Figura 80**.

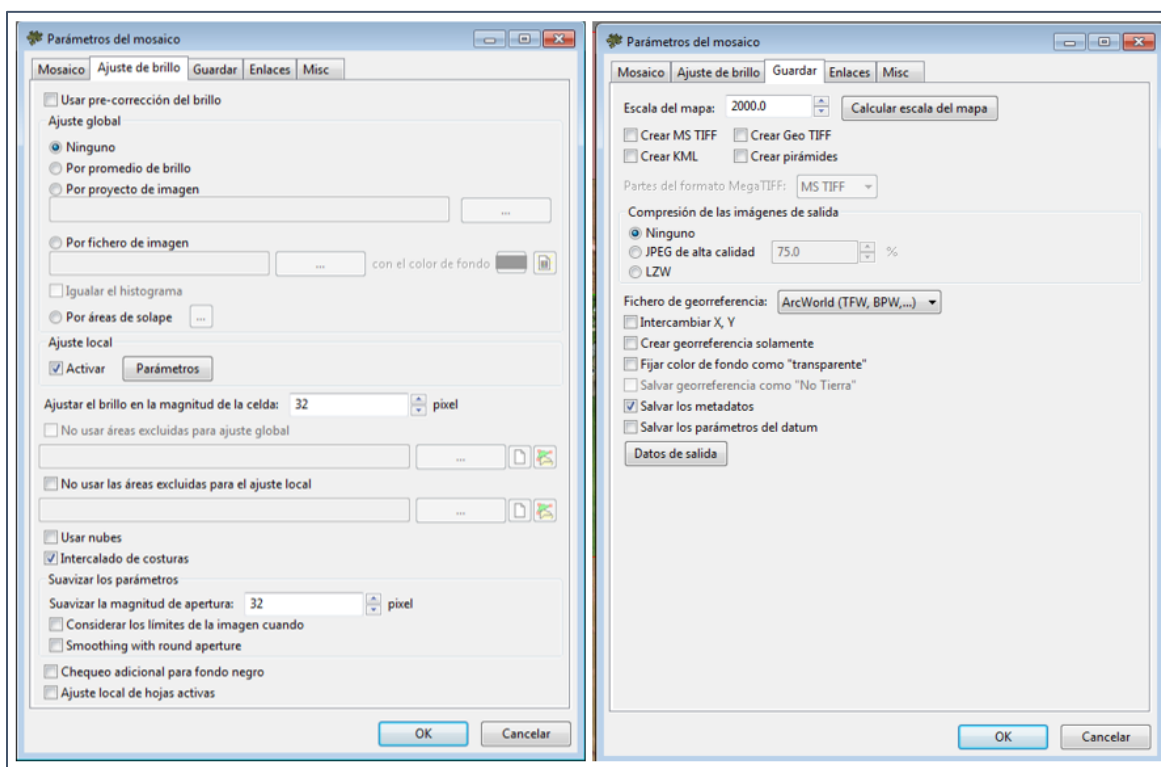


Figura 80. Parámetros del mosaico – Photomod UAS

El ortomosaico resultante se observa en la **Figura 141** del Capítulo IV.

3.8.2.4 Ortofoto Verdadera (True Ortho)

Con la función “MDS Denso” del apartado 3.8.2.2, se modifican también los parámetros para la generación de la True Ortho, considerar que la casilla de creación debe estar activada.

Con la herramienta “Rellenar celdas nulas” (**Figura 81**) se realizan las siguientes acciones:

- Establecer la altura mínima del edificio en metros para excluir edificios de la interpolación del DEM con celdas nulas, en este caso 2 m.
- Configurar el tamaño de memoria caché (megabytes) asignado para una sola tarea al crear la ortofoto verdadera.
- La opción de “Ajuste de brillo global” aplica el ajuste radiométrico sobre las áreas superpuestas de la imagen al crear un ortomosaico. Acorde a la experiencia de

procesamiento, si esta función está activada se crea un ráster con diferencias de brillo (ver **Figura 142**) por lo que es preferible desactivarla para una homogenización de color.

- Se activa la casilla “Rellenar celdas nulas” para la interpolación de celdas nulas, caso contrario se creará un ortomosaico con celdas sin rellenar.
- Adicionalmente, se filtra valores atípicos; es decir, se realiza un filtrado del ortomosaico medio con umbral predeterminado, en donde se eliminan píxeles individuales con brillo no natural.

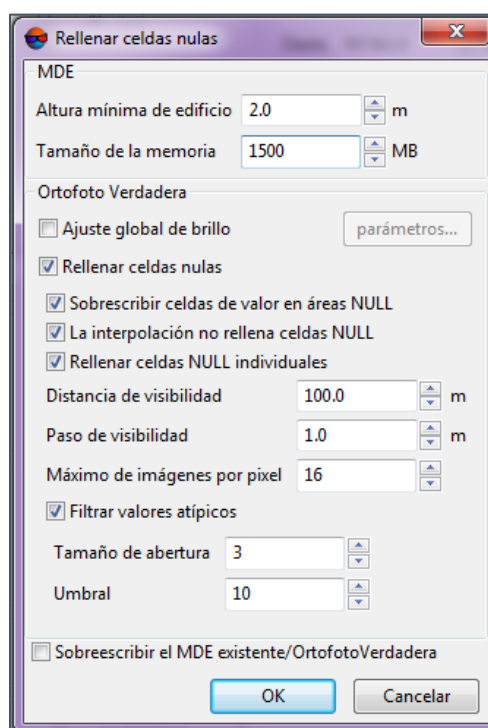


Figura 81. Parámetros creación True Ortho – Photomod UAS

Además, en los “Parámetros del SGM”, se activa la opción “Eliminar datos intermedios” y se estima el espacio de disco requerido para todo el proceso: 415 GB. Al finalizar el peso de cada producto es diferente.

La ortofoto es generada en formato Mega TIFF .prf por lo que, luego se exporta a .tif mediante el módulo Photomod Geomosaic y se muestra el resultado en la **Figura 143** del Capítulo IV.

3.9 Proceso realizado en UASMaster

Con las imágenes obtenidas y el elenco de coordenadas de los puntos de control, se inició el proceso de ajuste fotogramétrico en el módulo UAS Area Mapping del programa UASMaster (se emplearon las versiones 9.0 y 9.1). Para empezar, se crea un nuevo proyecto de nombre -La Merced- con sistema de coordenadas WGS84 proyección UTM zona 17 Sur como se ejemplifica en la **Figura 82**.

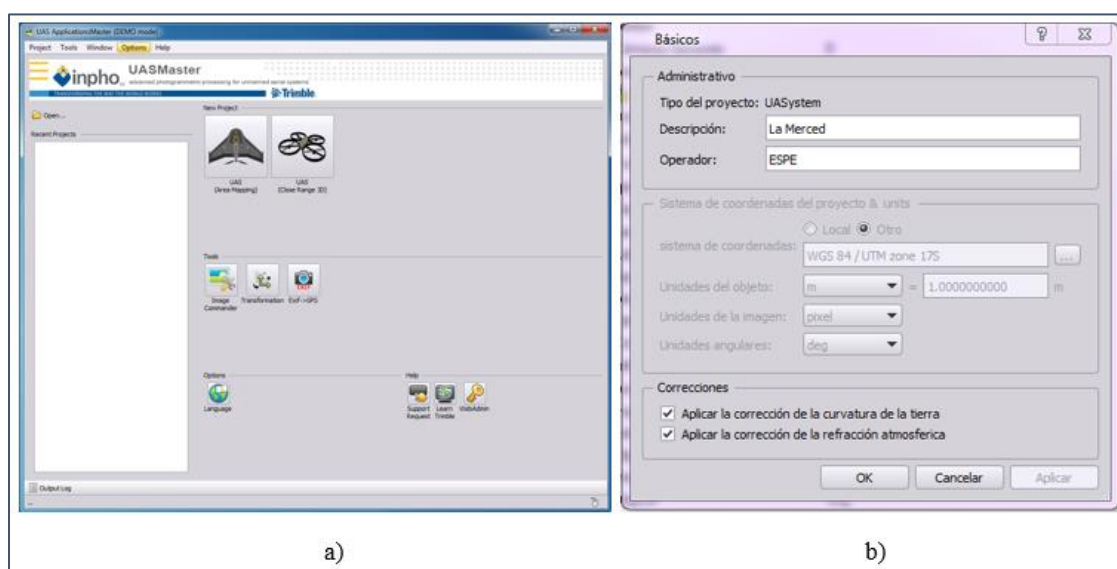


Figura 82. a) Interfaz inicial b) Configuración del proyecto – UASMaster

Una vez creado el proyecto, se añaden los elementos que se observan en la **Figura 83** en el siguiente orden: adición de imágenes, parámetros de la cámara, archivo GNSS/IMU, puntos de apoyo y generación de pasadas.

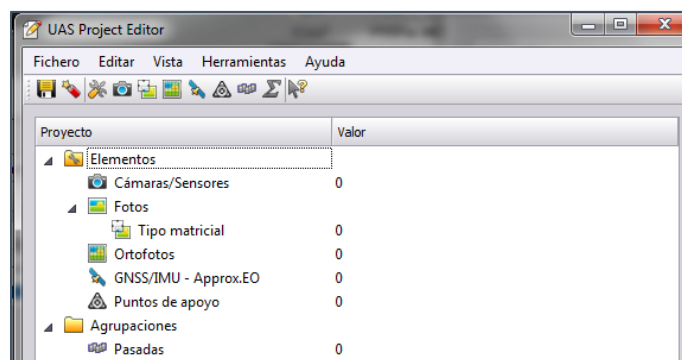


Figura 83. Edición del proyecto – UASMaster

Los siguientes pasos a realizarse, permitirán la orientación interior y exterior del proyecto:

- Importación de imágenes

Se añaden las 820 imágenes en formato .jpg, considerando que en este proyecto se importaron automáticamente los parámetros de la cámara y los archivos “GNSS/IMU” obtenidos en el apartado 3.6. En la **Figura 84** se visualiza la ventana “Fotos de la Estructura” que contiene el ID de cada imagen con la cámara asignada, sistema de coordenadas del proyecto, coordenadas de centro de foto y altura media del terreno.

ID	Cámara	Sistema de coordenadas	Este X	Norte Y	Altitud Z	Omega	Phi	Kappa	Terreno	Ori	On	Fichero
100002	SONY_DSC-RX1RM2_35.000000_7952x5304	WGS 84 / UTM zone 17S	790067.520	9967236.253	2875.599	0.0000	0.0000	0.0000	2490.000			M:\T
100003	SONY_DSC-RX1RM2_35.000000_7952x5304	WGS 84 / UTM zone 17S	790067.889	9967185.130	2875.914	0.0000	0.0000	0.0000	2490.000			M:\T
100004	SONY_DSC-RX1RM2_35.000000_7952x5304	WGS 84 / UTM zone 17S	790069.230	9967133.241	2876.397	0.0000	0.0000	0.0000	2490.000			M:\T
100005	SONY_DSC-RX1RM2_35.000000_7952x5304	WGS 84 / UTM zone 17S	790067.908	9967082.624	2877.467	0.0000	0.0000	0.0000	2490.000			M:\T
100006	SONY_DSC-RX1RM2_35.000000_7952x5304	WGS 84 / UTM zone 17S	790068.432	9967031.786	2877.255	0.0000	0.0000	0.0000	2490.000			M:\T
100007	SONY_DSC-RX1RM2_35.000000_7952x5304	WGS 84 / UTM zone 17S	790068.039	9966980.385	2876.575	0.0000	0.0000	0.0000	2490.000			M:\T
100008	SONY_DSC-RX1RM2_35.000000_7952x5304	WGS 84 / UTM zone 17S	790068.796	9966929.578	2878.464	0.0000	0.0000	0.0000	2490.000			M:\T
100009	SONY_DSC-RX1RM2_35.000000_7952x5304	WGS 84 / UTM zone 17S	790067.772	9966878.577	2878.224	0.0000	0.0000	0.0000	2490.000			M:\T
100010	SONY_DSC-RX1RM2_35.000000_7952x5304	WGS 84 / UTM zone 17S	790067.537	9966827.631	2877.535	0.0000	0.0000	0.0000	2490.000			M:\T
100011	SONY_DSC-RX1RM2_35.000000_7952x5304	WGS 84 / UTM zone 17S	790068.318	9966776.366	2876.429	0.0000	0.0000	0.0000	2490.000			M:\T
100012	SONY_DSC-RX1RM2_35.000000_7952x5304	WGS 84 / UTM zone 17S	789992.512	9966767.871	2876.661	0.0000	0.0000	0.0000	2490.000			M:\T
100013	SONY_DSC-RX1RM2_35.000000_7952x5304	WGS 84 / UTM zone 17S	789992.489	9966818.540	2879.778	0.0000	0.0000	0.0000	2490.000			M:\T

Figura 84. Importación de las imágenes – UASMaster

- Importación puntos de apoyo

Posteriormente, se importa el elenco de coordenadas de los GCP (**Tabla 27**) en formato .CSV.

En la **Figura 85** se visualiza un extracto de los puntos importados, ID y coordenadas.

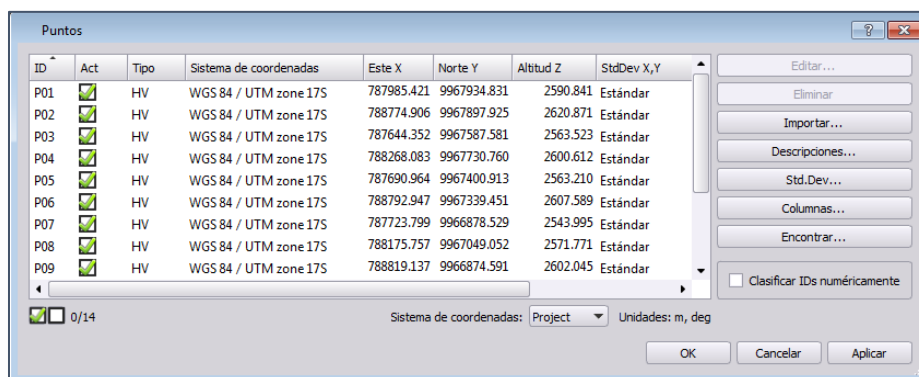


Figura 85. Configuración proyecto UASMaster

- Generación de pasadas

A continuación, se crean las pasadas o líneas mediante la función “Pasadas”, teniendo así, la identificación de la tira creada, fotos asignadas y número de fotos en la tira como se observa en la **Figura 86**. Además, en la **Figura 87** se visualiza las imágenes una vez realizada la orientación exterior.

ID	IDs de las fotos	Num	Crab Angle	Azimuth
1	100002,100003,100004,100005,100006,....,100011	10	0.0000	179.9006
2	100012,100013,100014,100015,100016,....,100030	19	0.0000	-0.0386
3	100031,100032,100033,100034,100035,....,100049	19	0.0000	179.9572
4	100050,100051,100052,100053,100054,....,100074	25	0.0000	-0.0349
5	100075,100076,100077,100078,100079,....,100099	25	0.0000	179.9748
6	100100,100101,100102,100103,100104,....,100125	26	0.0000	-0.0393
7	100126,100127,100128,100129,100130,....,100151	26	0.0000	179.9603
8	100152,100153,100154,100155,100156,....,100177	26	0.0000	-0.0828
9	100178,100179,100180,100181,100182,....,100203	26	0.0000	179.9227
10	100204,100205,100206,100207,100208,....,100229	26	0.0000	-0.1512
11	100230,100231,100232,100233,100234,....,100255	26	0.0000	179.9602
12	100256,100257,100258,100259,100260,....,100281	26	0.0000	-0.0648
13	100282,100283,100284,100285,100286,....,100307	26	0.0000	-179.9890
14	100308,100309,100310,100311,100312,....,100333	26	0.0000	-0.0564
15	100334,100335,100336,100337,100338,....,100359	26	0.0000	-179.9875
16	100360,100361,100362,100363,100364,....,100385	26	0.0000	-0.0396
17	100386,100387,100388,100389,100390,....,100411	26	0.0000	-179.9865
18	100412,100413,100414,100415,100416,....,100437	26	0.0000	-0.0494
19	100438,100439,100440,100441,100442,....,100463	26	0.0000	179.9581
20	100464,100465,100466,100467,100468,....,100489	26	0.0000	-0.0939
21	100490,100491,100492,100493,100494,....,100515	26	0.0000	-179.9849
22	100516,100517,100518,100519,100520,....,100522	7	0.0000	-0.1324
23	200002,200003,200004,200005,200006,....,200027	26	0.0000	-0.0667
24	200028,200029,200030,200031,200032,....,200053	26	0.0000	179.9812
25	200054,200055,200056,200057,200058,....,200079	26	0.0000	-0.0707
26	200080,200081,200082,200083,200084,....,200105	26	0.0000	179.9762
27	200106,200107,200108,200109,200110,....,200131	26	0.0000	-0.0245
28	200132,200133,200134,200135,200136,....,200157	26	0.0000	-179.9466
29	200158,200159,200160,200161,200162,....,200183	26	0.0000	-0.0894
30	200184,200185,200186,200187,200188,....,200209	26	0.0000	-179.9442
31	200210,200211,200212,200213,200214,....,200233	24	0.0000	-0.1015
32	200234,200235,200236,200237,200238,....,200257	24	0.0000	179.9980
33	200258,200259,200260,200261,200262,....,200278	21	0.0000	-0.0537
34	200279,200280,200281,200282,200283,....,200300	22	0.0000	-179.9286

Figura 86. Generación de pasadas – UASMaster

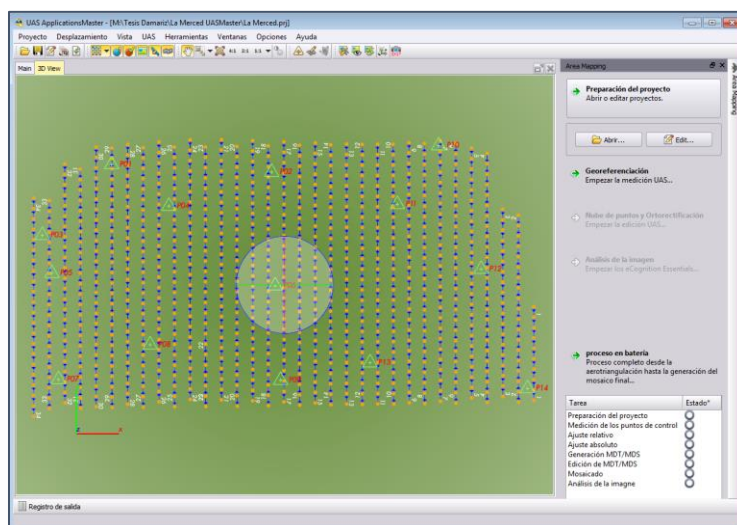


Figura 87. Configuración proyecto UASMaster

Para las etapas posteriores, se requieren visualizar extractos de las imágenes que se cargarán en la memoria RAM de la computadora. Por lo que, una vez finalizada la configuración del proyecto, se convierten las imágenes de formato JPG a TIFF para un procesamiento y visualización en menor tiempo. Lo cual, se realiza mediante la herramienta “Generar imágenes piramidales” del menú Operaciones con imágenes” (**Figura 88**).

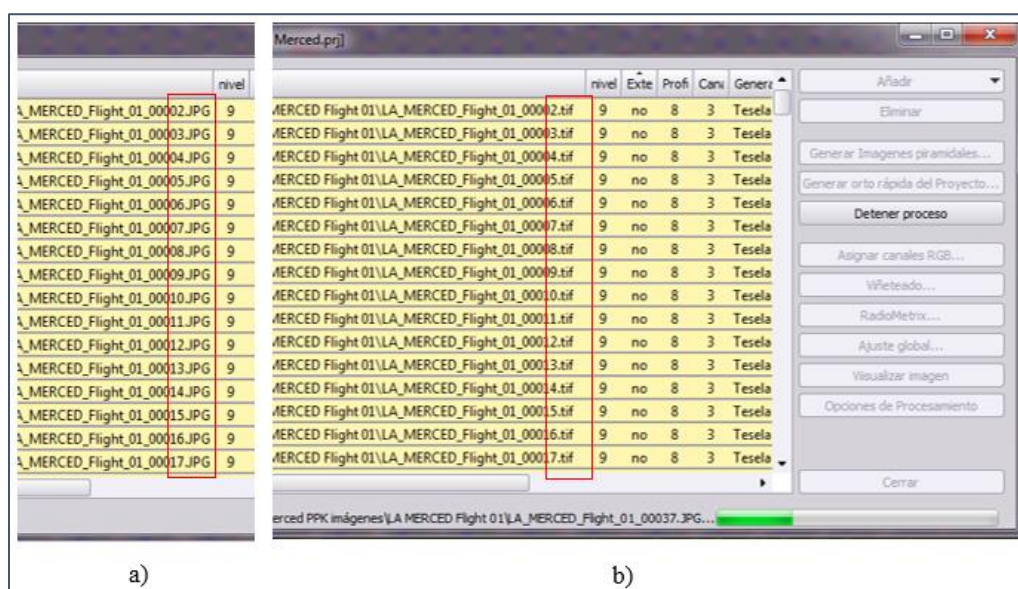


Figura 88. Conversión de imágenes: a) formato JPG b) TIF – UASMaster

Para tener una imagen de fondo que sirva de referencia, se puede crear un mosaico de parches de ortofotos, rectificado con baja resolución y sin ninguna corrección de color. Por lo cual se emplea la opción “Generar orto rápida del Proyecto” del menú “Operaciones con imágenes” (*Figura 89*).

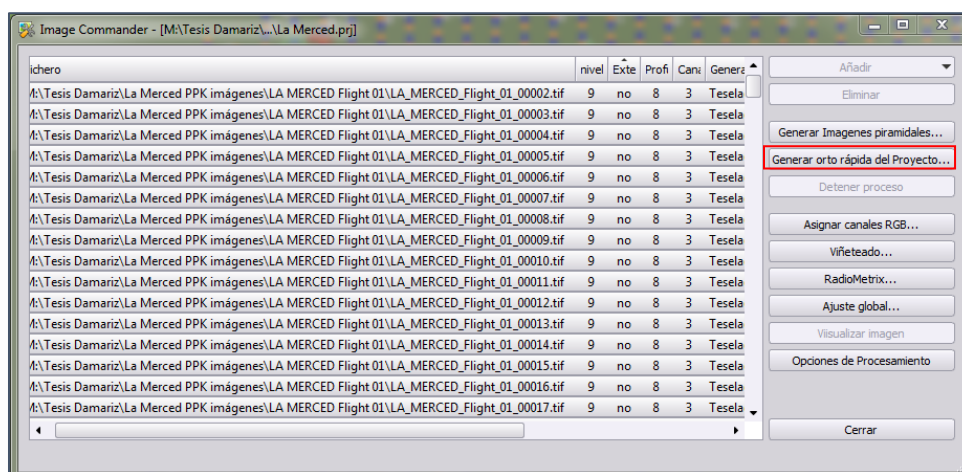


Figura 89. Generación imagen de fondo – UASMaster

La vista “Principal” muestra la imagen de fondo creada, mientras que, en la Vista 3D se puede observar los puntos de control como triángulos verdes, los centros de proyección como puntos anaranjados y la organización de las franjas (Ver *Figura 90*).

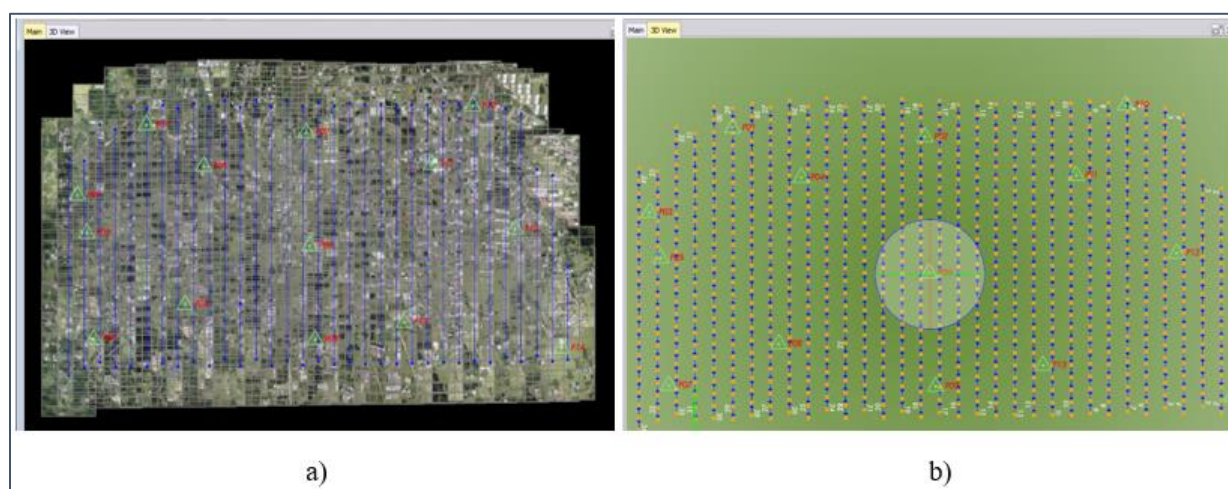


Figura 90. a) Vista principal b) Vista 3D del proyecto – UASMaster

3.9.1 Georreferenciación

Una vez realizada la orientación interior y exterior del proyecto, se escoge el menú “Georreferenciación” para la extracción de los puntos de enlace y el pinchado de los GCP mediante la ventana “Mediciones UAS” como se indica en la *Figura 91*.

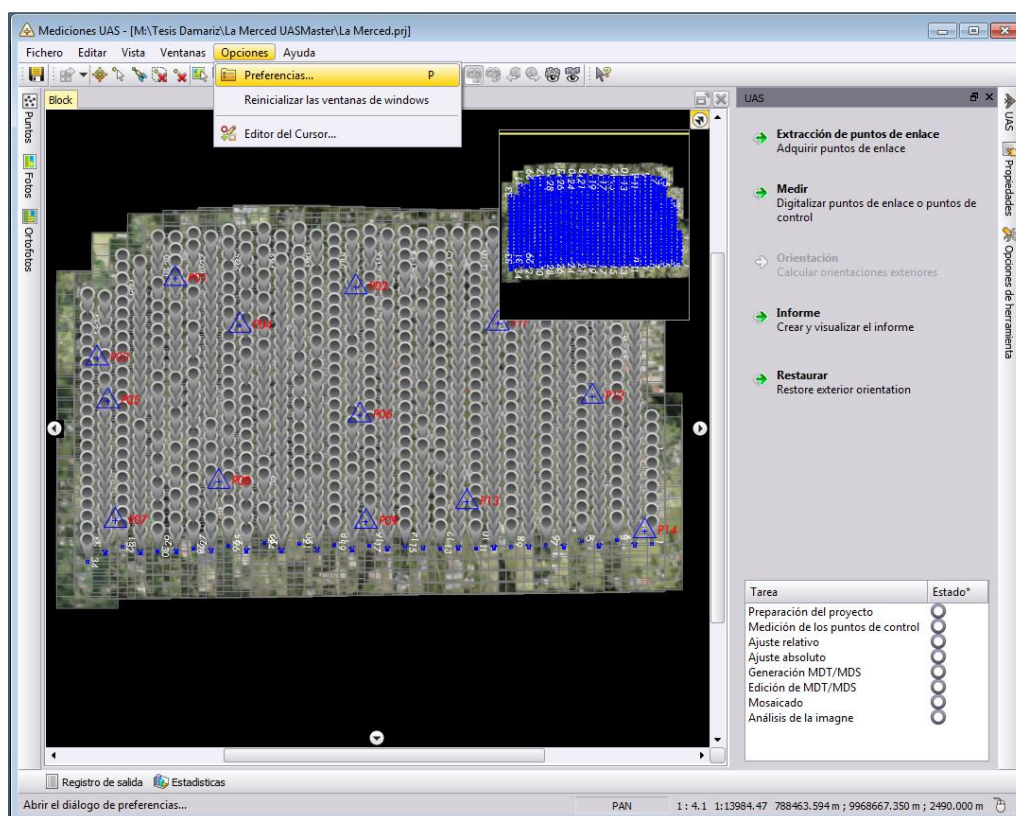


Figura 91. Ventana “Mediciones UAS” – UASMaster

3.9.1.1 Extracción de punto de enlace - Orientación Relativa

En la ventana de “Parámetros de extracción de puntos de enlace” se empleó la estrategia: “nivel de extracción alta” y “orientación inicial aproximada débil” como se ve en la *Figura 92*.

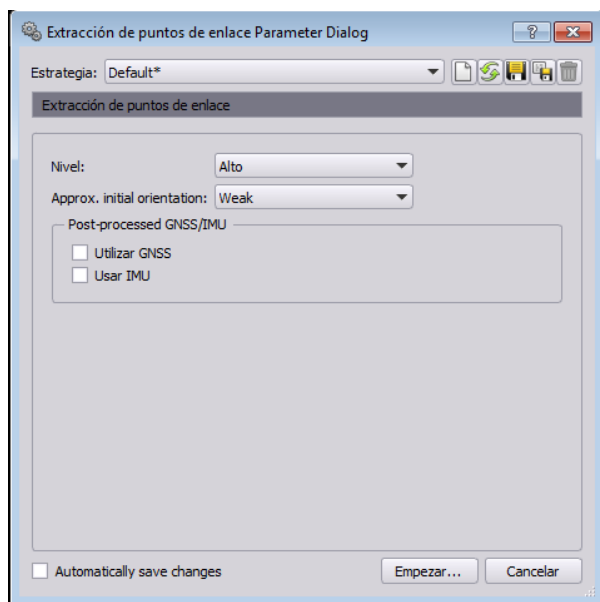


Figura 92. Extracción puntos de enlace – UASMaster

Se comprobó si todos los marcadores (centro de foto anaranjados) están rellenos con un asterisco; es decir, tienen puntos de enlace (Ver **Figura 93**). En este caso las imágenes 100031 y 100068 (el primer dígito indica que son del vuelo 1) presentan problemas, por lo que se comienza nuevamente la extracción de punto de enlace con la estrategia: Nivel Alto y Orientación inicial aproximada Débil

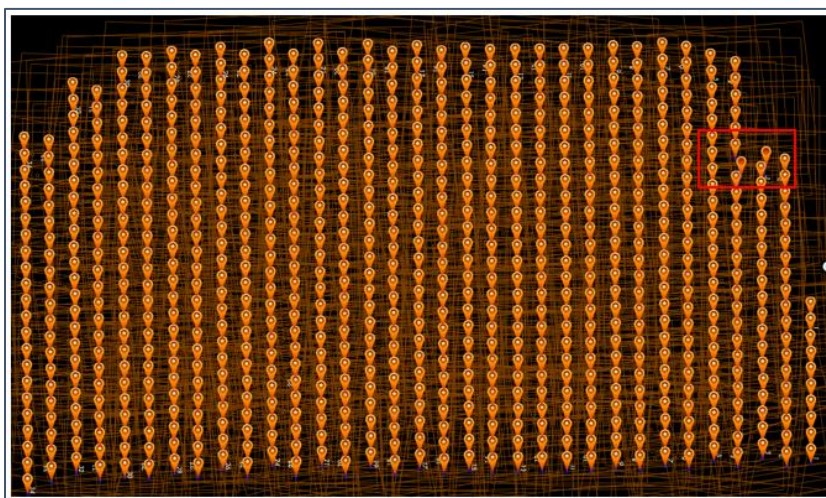


Figura 93. Revisión de los puntos de enlace – UASMaster

3.9.1.2 Medir los puntos de control GCP

El siguiente paso es la medición de los puntos de control de tierra (GCP) para la orientación absoluta. Este paso se realiza con la opción “Medir puntos de control” y se va pinchando el punto en cada imagen. Inicialmente se tiene un punto “estimado” que aparece como un triángulo de color amarillo y después de la segunda medición aparece un triángulo blanco que muestra la posición “calculada” del GCP como se ilustra en la **Figura 94**.



Figura 94. Pinchado de GCP – UASMaster

Una vez completada la medición, la lista de puntos muestra un indicador verde cuando los puntos se midieron en todas las imágenes estimadas, amarillo cuando no se midieron en todas y rojo cuando no se midió en ninguna como se ilustra en la **Figura 95**.

ID	Tipo	Predicciones	Links
<input checked="" type="checkbox"/> P14	HV	11	1
<input type="checkbox"/> P13	HV	13	0
<input type="checkbox"/> P12	HV	12	0
<input type="checkbox"/> P11	HV	15	0
<input checked="" type="checkbox"/> P10	HV	10	10
<input type="checkbox"/> P09	HV	16	0
<input type="checkbox"/> P08	HV	17	0
<input checked="" type="checkbox"/> P07	HV	24	24
<input checked="" type="checkbox"/> P06	HV	14	14

Figura 95. Indicador GCP – UASMaster

El número de mediciones en cada imagen se muestra en la **Figura 144** del Capítulo “Resultados”

3.9.1.3 Calibración de la cámara

Para mejorar la definición de la cámara y la orientación exterior, el siguiente paso es la calibración de la cámara con la que se determinará: la distancia focal, valores de desplazamiento del punto principal y el modelo de distorsión (coeficientes). Para ello, en la ventana “Parámetros de Orientación” se realiza una calibración inicial seleccionando la estrategia por defecto como se indica en la **Figura 96**.

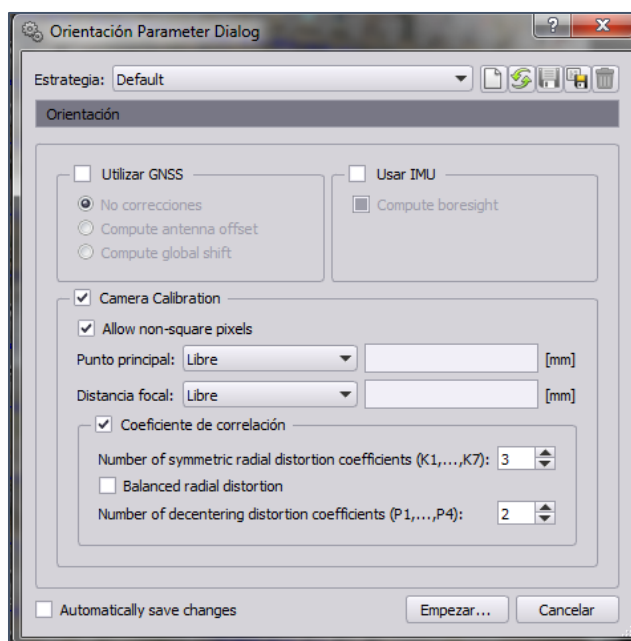


Figura 96. Calibración de la cámara – UASMaster

Se verifica la conexión entre las fotos, con la opción “Conexiones” de la pestaña “Propiedades” y se visualiza en la **Figura 97**. En donde, las imágenes de los bordes al tener menos conexión se observan de color rojo.

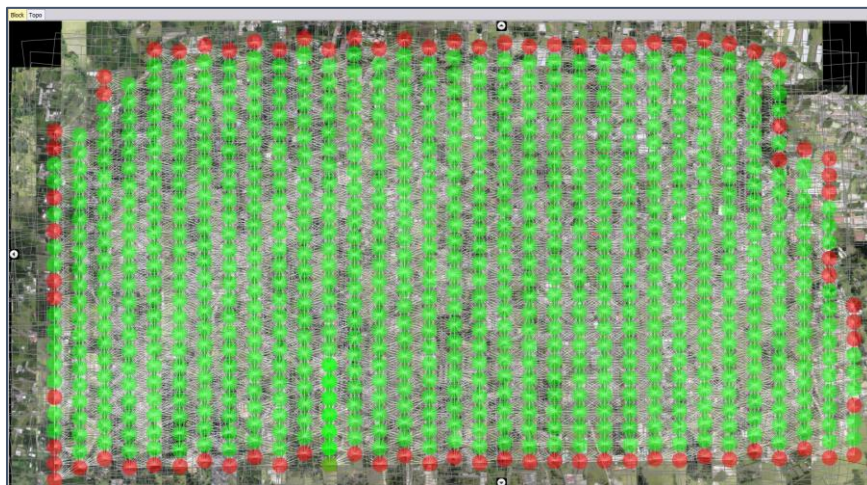


Figura 97. Revisión de conexión de fotos – UASMaster

Se ejecuta nuevamente los parámetros de orientación con la estrategia por defecto y adicionalmente, como comprobación se ejecutó activando la opción “Utilizar GNSS” (**Figura 98**).

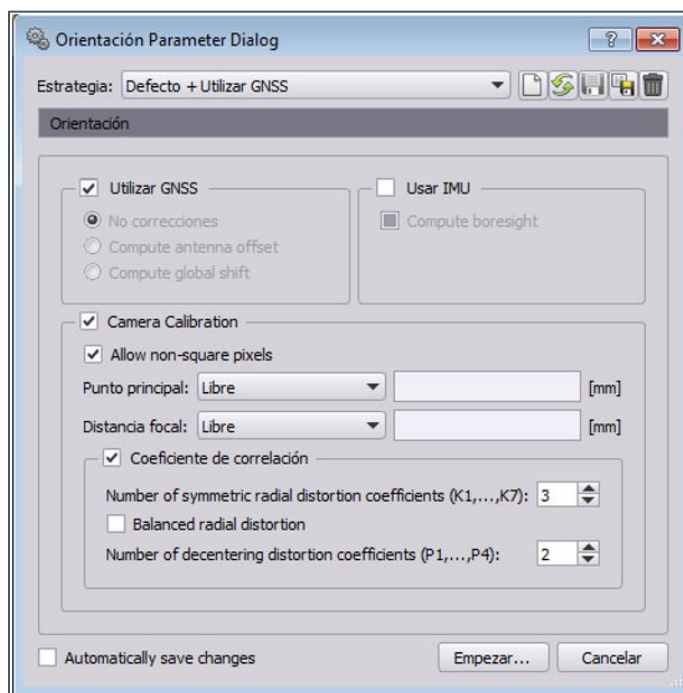


Figura 98. Calibración final de la cámara – UASMaster

Una vez realizada la orientación se visualizan los reportes de procesamiento en la **Figura 145** y **Figura 146** en el Capítulo IV.

3.9.2 Optimización radiométrica

La herramienta de optimización radiométrica realiza correcciones entre las fotos: balance de color y adaptación de histograma. Sin embargo, esta opción es válida solo en la versión 9.1 de UASMaster como se visualiza en la **Figura 99**.

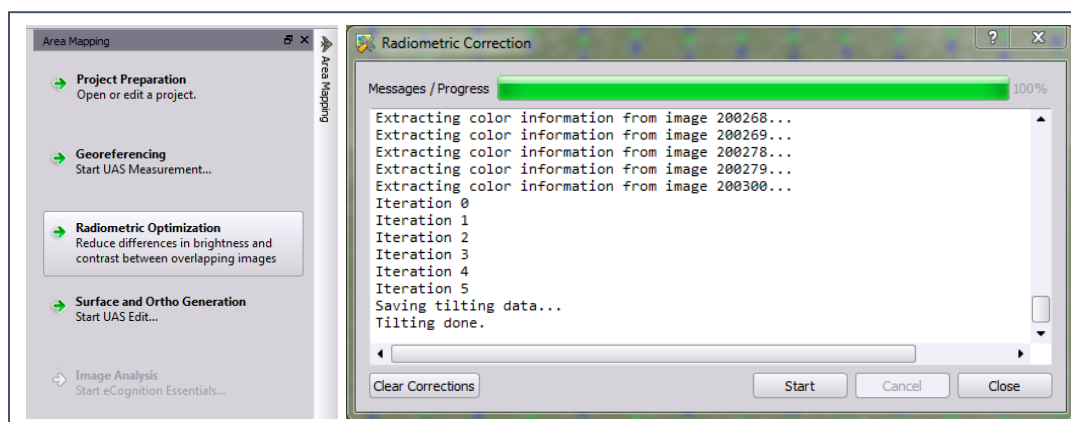


Figura 99. Optimización radiométrica – UASMaster

3.9.3 Generación de productos

3.9.3.1 Generación de nubes de puntos

En esta sección se van a generar nubes de puntos para un modelo digital de elevaciones (MDE) o un modelo digital de superficie (MDS) que van a derivar en un ortomosaico simple y verdadero respectivamente.

Por lo general, después de la obtención de la nube de puntos, esta necesita una edición manual antes de comenzar la generación del ortomosaico puesto que, las alturas incorrectas en el modelo de terreno crearán ortomosaicos fuera de lugar. Por ello, se sigue el flujo de trabajo que se indica en la **Figura 100**.

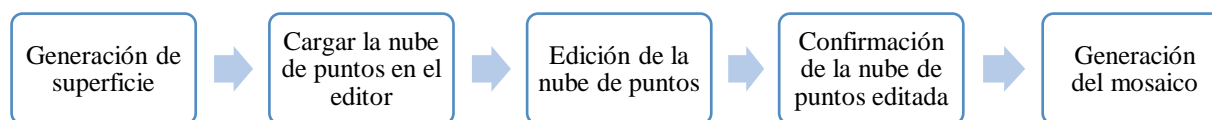


Figura 100. Flujo seguido para la generación de ortomosaicos – UASMaster

Para un MDE se emplea el modelo “Terrain” que trabaja con los algoritmos: “Comparación basada en características” y “Comparación de mínimos cuadrados” (LSM y FBM respectivamente, por sus siglas en inglés) cuya teoría fue mencionada en los apartados **2.9.1** y **2.9.2**. Lo cual crea una nube de puntos de baja densidad, donde se busca el modelo de terreno de tierra desnuda puesto que, el interés principal está en las características morfológicas de la naturaleza, no en los objetos hechos por el hombre.

Los modelos de superficie se calculan con una estrategia de coincidencia basada en costos (CBM mencionado en la sección **2.9.3**) y para UASMaster v9.1 se adiciona el tipo de modelo “Surface (SGM_2.5D apartado **2.9.4**)” como se observa en la **Figura 101**.

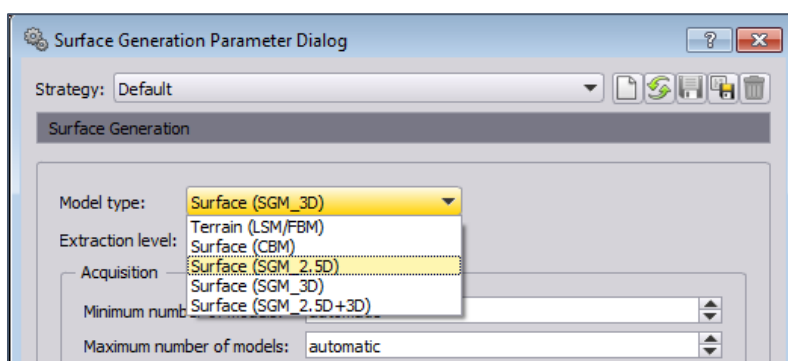


Figura 101. Tipos de modelos – UASMaster

Para este proyecto se generaron 3 nubes de puntos, el primero, para un modelo digital de elevación (Terrain LSM/FBM) y los otros dos para obtener modelos digitales de superficie (Surface CBM y Surface SGM_2.5D)

- **Primera nube de puntos**

En el flujo de trabajo “Nube de Puntos y Ortorectificación” se modifican los “parámetros de generación de superficie”, por lo cual se selecciona el tipo de modelo “Terrain (LSM/FBM)” con nivel de extracción media como se observa en la **Figura 102**.

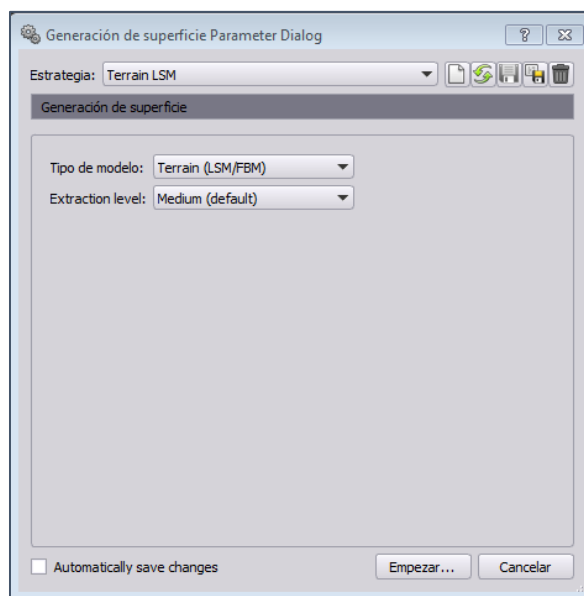


Figura 102. Generación modelo “Terrain” – UASMaster

El nivel de extracción se refiere a la densidad de la nube de puntos y esta depende del tipo de modelo utilizado (terreno o superficie). En este caso, con la resolución media un área de 2x2 píxeles de la imagen original se reducen a un solo píxel, visualizándose de mejor manera en la **Figura 103**. Es decir, como el GSD es de 0.039 m, para este modelo se tendrá un punto cada 1.95 m.

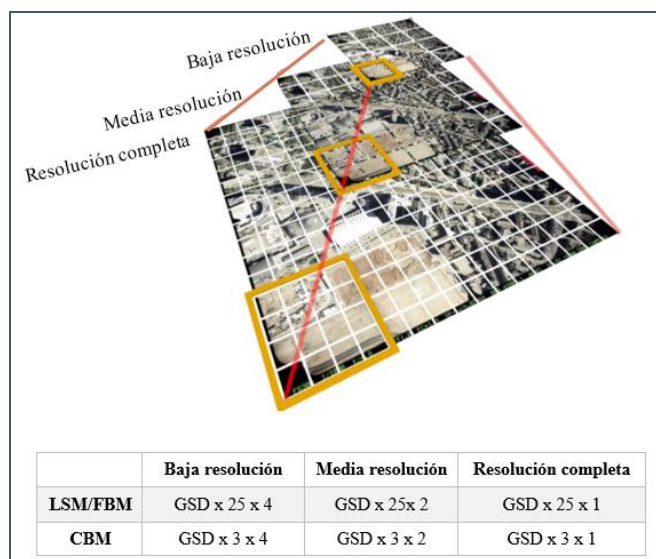


Figura 103. Nivel de extracción nube de puntos – UASMaster

Fuente: Adaptado de (Trimble Germany, 2018)

La nube de puntos generada se coloca automáticamente en las siguientes en capas:

- Los puntos con una alta confianza y una buena precisión de coincidencia se colocan en la capa “00_Created”.
- Los puntos con una precisión y probabilidad de coincidencia más bajas se colocan en la capa “13_MediumReliability”.
- Los puntos que necesitaron una interpolación adicional o que solo alcanzaron una baja precisión y probabilidad de coincidencia se colocan en la capa “14_LowReliability”.

Se almacena automáticamente como archivo LAS y se visualiza el resultado en la **Figura 147**.

- **Segunda nube de puntos**

Tanto la segunda como tercera nube de puntos, serán generados para obtener MDS densos que finalizaran en ortomosaicos verdaderos.

Para la creación de la nube de puntos, se modifican los “Parámetros de Generación de superficie”, seleccionando el tipo de modelo *Surface (CBM)* y el nivel de extracción *Media*.

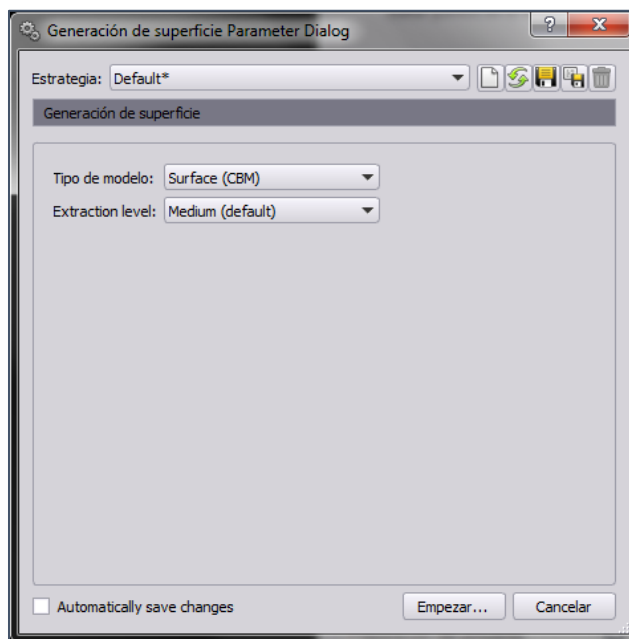


Figura 104. Generación modelo “Surface CBM” – UASMaster

De la misma manera que el modelo “Terrain”, la nube de puntos generada se coloca automáticamente en capas: “00_Created”, “13_MediumReliability” y “14_LowReliability” y se almacena en formato LAS, visualizándose el resultado en la **Figura 148** del Capítulo IV.

- **Tercera nube de puntos**

El tipo de modelo *Surface (SGM_2.5D)* realiza filtros para reducir los puntos a lo largo de las fachadas de las edificaciones por lo que se verán más rectas. En el DSM se realiza una reducción de triángulos (densidad adaptativa de la triangulación) en zonas planas y se tiene un realce o mejoras de los bordes intentando que estos se vean rectos y no con un efecto zigzag, puesto que corregir las edificaciones es parte del objetivo de las ortofotos verdaderas.

En el nivel de extracción está definido por el GSD del proyecto: Alta (nivel 1:2 necesita 16 GB de RAM), Media (nivel 1:4) y Baja (nivel 1:8). En otras palabras, como el tamaño de GSD original es de 3.9 cm, emplear el nivel de extracción alta implica tener un punto cada 7.8 cm, 15.6 cm para el nivel medio y 31.2 cm para el bajo. Esto depende de la resolución de la True Ortho que se desea.

La adquisición se refiere a la redundancia de las imágenes; es decir, cuántas imágenes pueden mirar una posición o punto en la foto, por lo que, cuantas más imágenes se tiene, más redundancia hay y se puede predecir mejor el punto. El filtro de áreas de baja textura no es necesario para la generación de True Orthos asumiendo que se tienen imágenes nadirales. El archivo de salida de la True Ortho es generado automáticamente por lo que no es necesario definir ningún otro archivo de salida.

En ese sentido, se modifican los “Parámetros de Generación de superficie” escogiendo el tipo de modelo “Surface (SGM_2.5D)” con nivel de extracción alto como se visualiza en la **Figura 105**.

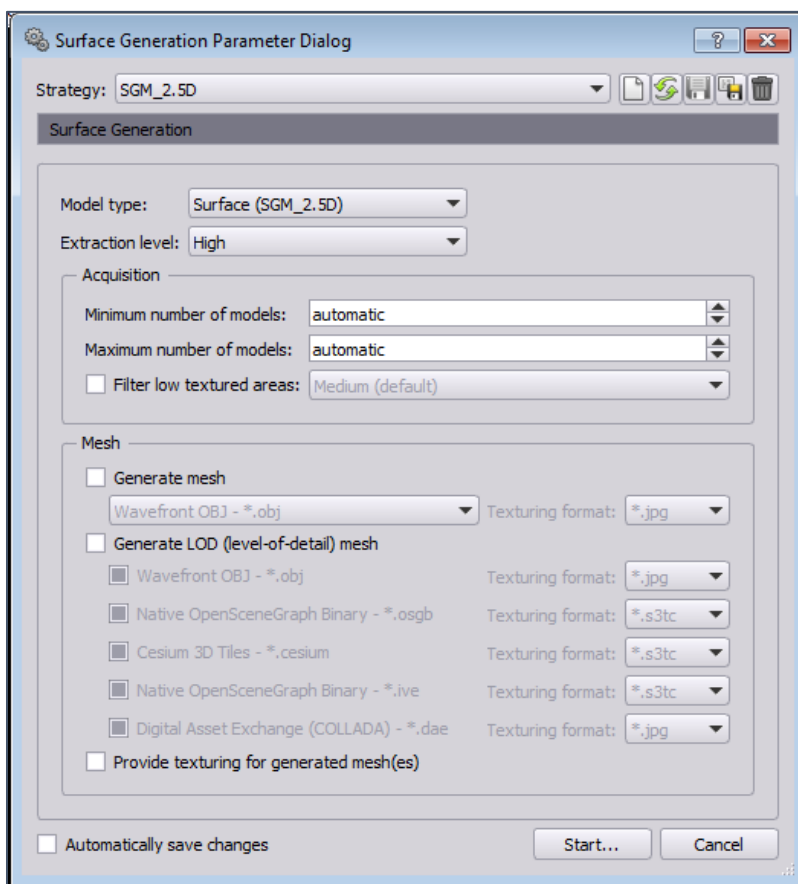


Figura 105. Generación modelo “Surface SGM_2.5D” – UASMaster

Con esta estrategia, durante este proceso se requieren 460 GB (aproximadas) de espacio en el disco duro. Visualizándose el resultado en la **Figura 149** del Capítulo IV y una comparación con el modelo anterior en la **Figura 150**.

Además, todas las configuraciones realizadas para la generación de nube de puntos, así también como el resto del proceso en UASMaster, se mencionan con mayor detalle en el **Anexo 4**.

3.9.3.2 Edición de la nube de puntos

Para las tres nubes de puntos obtenidas anteriormente, se consideran los siguientes procesos para la depuración:

- Eliminar errores groseros

Mediante la “Vista perfil” se realiza la búsqueda de errores groseros como los ejemplos de la *Figura 106* para ser eliminados o movidos a otra capa.

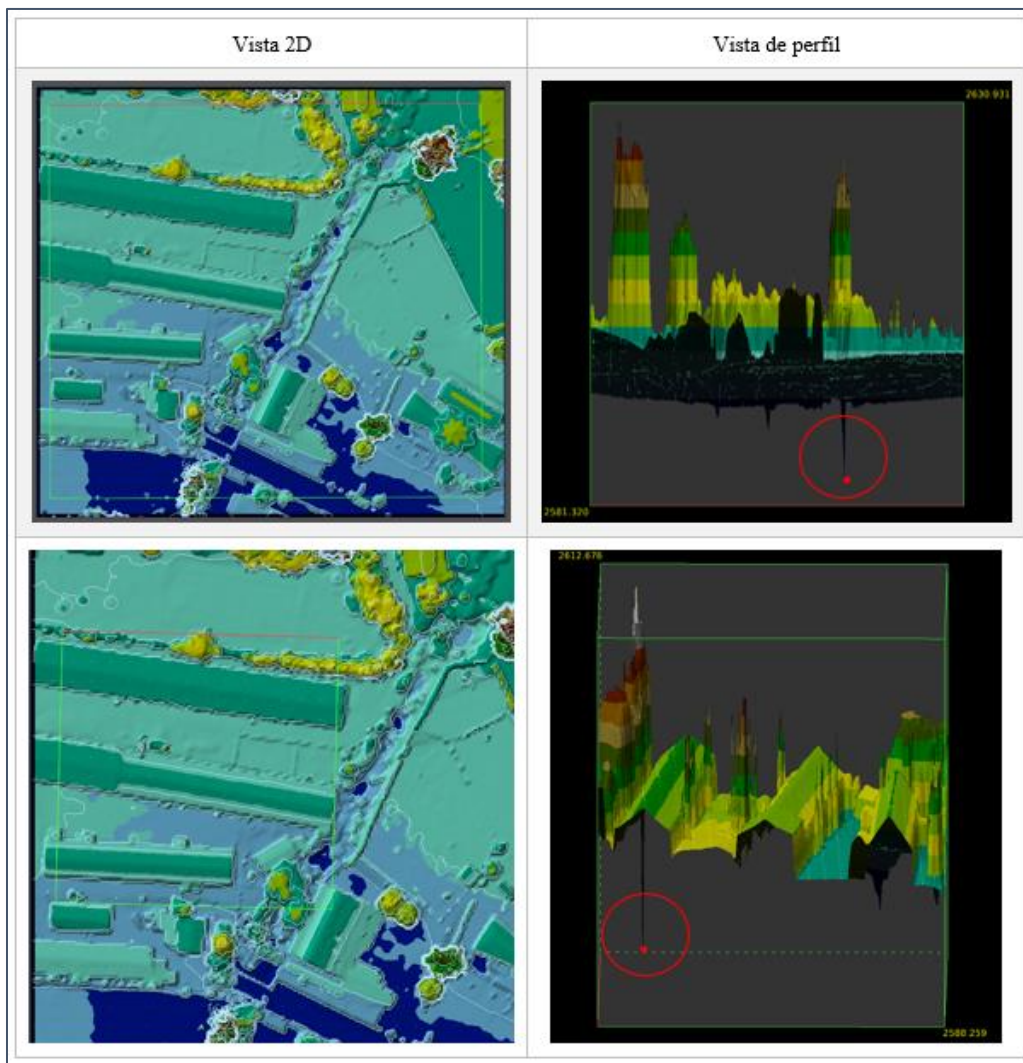


Figura 106. Búsqueda de errores groseros – UASMaster

- Herramienta “Filtro”

Para la depuración de la nube de puntos se emplea la herramienta “Filtrar el proyecto” del menú “Puntos”, en este caso se selecciona el filtro de errores groseros, edificación, vegetación y “DtmDSM” como se observa en la *Figura 107*.

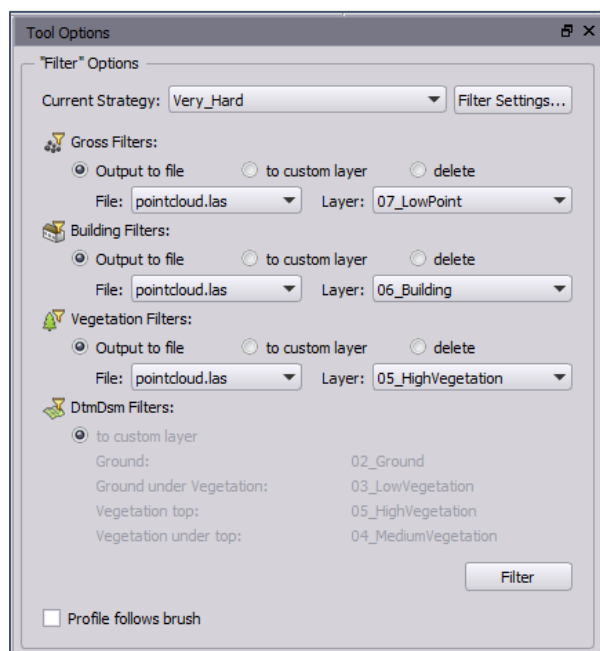


Figura 107. Opciones de filtrado – UASMaster

La **Figura 108** contiene un ejemplo del filtro de edificaciones realizado y la **Figura 109** el filtro “DtmDsm”.

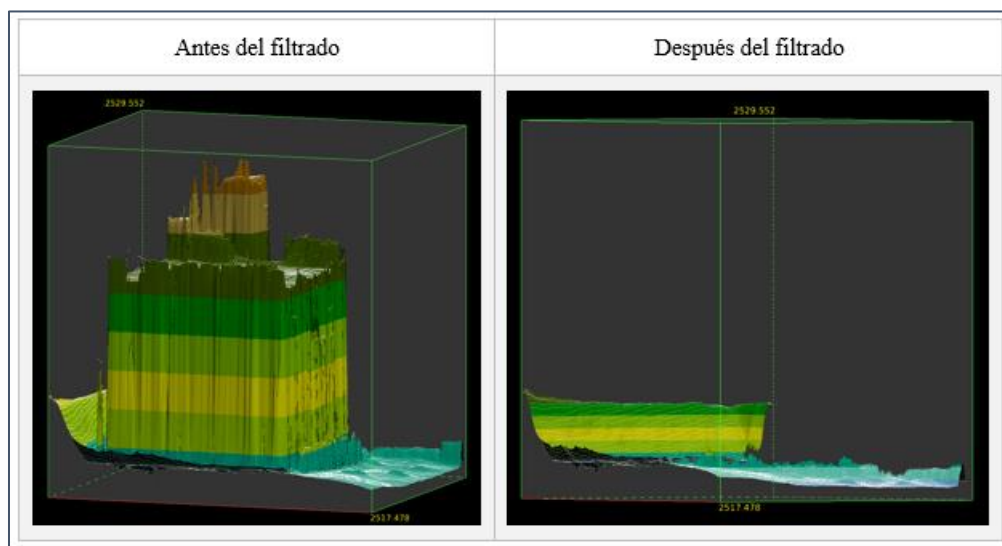


Figura 108. Filtro de edificación – UASMaster

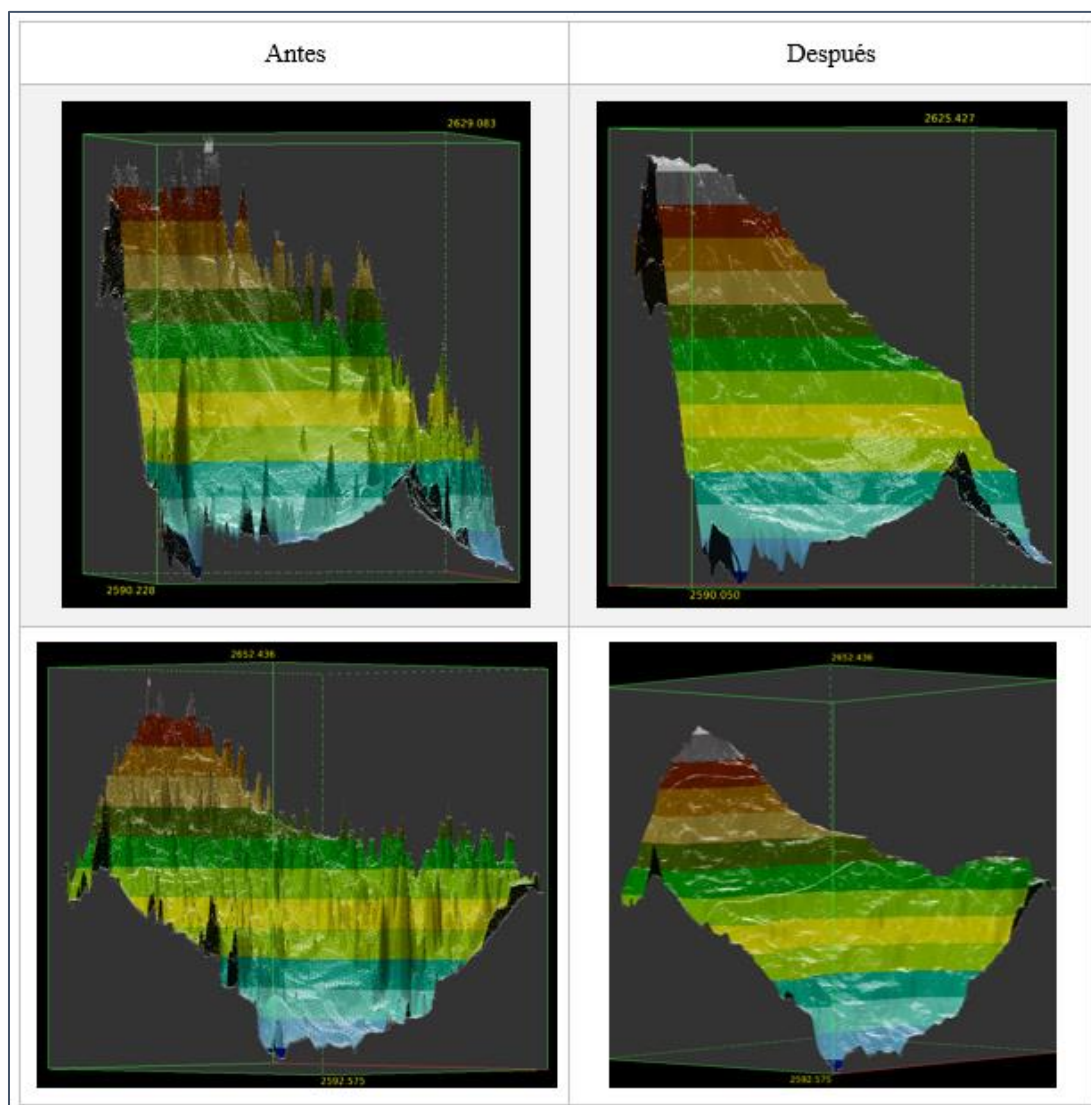


Figura 109. Filtro “DtmDsm” – UASMaster

En el caso de los modelos digitales de superficie empleados para la generación de True Orthos, estos deben ser depurados, eliminando los puntos de las construcciones como se ejemplifica en la **Figura 110**.

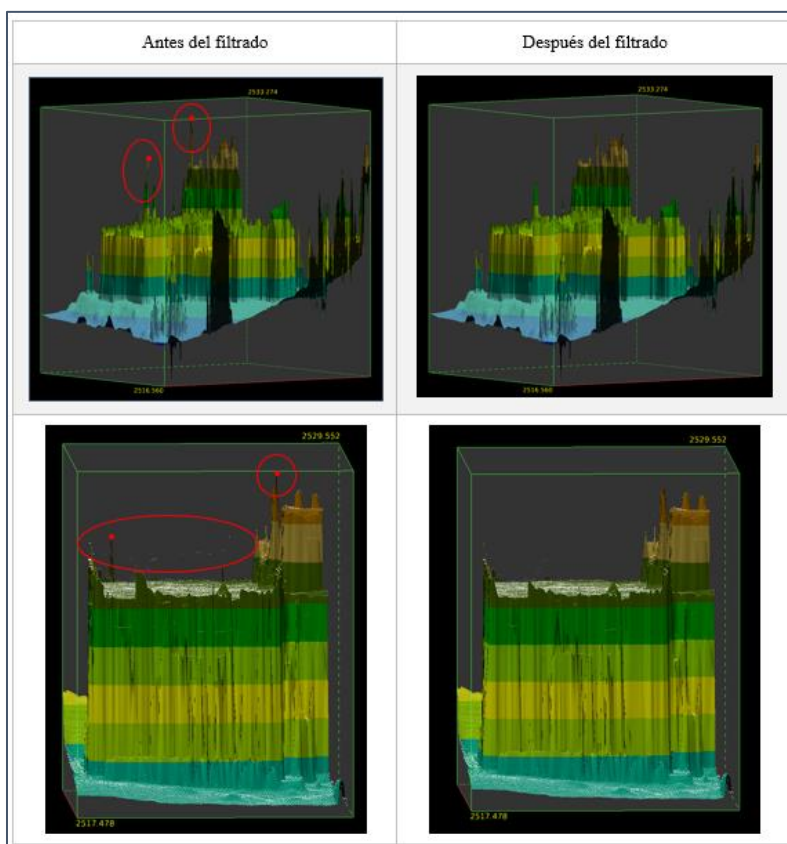


Figura 110. Errores groseros en las edificaciones – UASMaster

- Reinterpolación

Se emplea la opción “Reinterpolación” para que los puntos existentes tengan una nueva altura de acuerdo con su vecino, como se ejemplifica en la **Figura 111**.

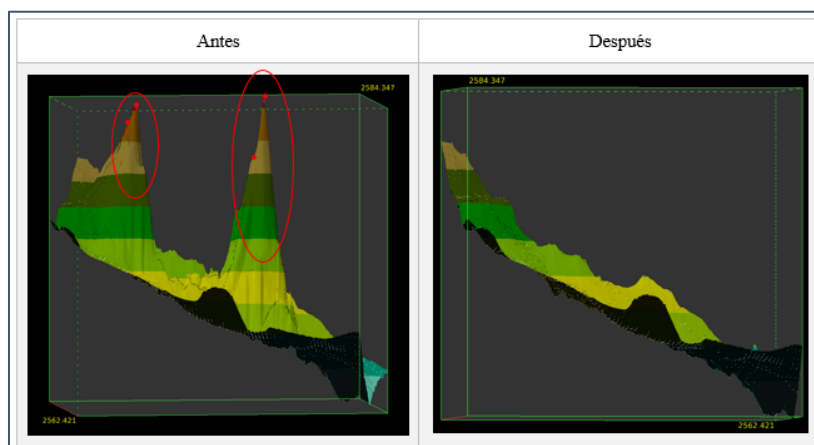


Figura 111. Ejemplo de reinterpolación – UASMaster

3.9.3.3 Ortomosaico Clásico

Después de la depuración de la nube de puntos, se crea el ortomosaico con la opción “Generación Orthophoto” de la ventana “Administrador de la nube de puntos”.

- Generación de ortofoto clásica

Se genera a partir del tipo de modelo “Terrain LSM/FBM” (primera nube de puntos) creado anteriormente. Para ello, seleccionar el método “Classic Orthophoto” y elegir el tamaño de pixel (0.039 m) como en la *Figura 112*. El resultado obtenido se visualiza en la *Figura 151*.

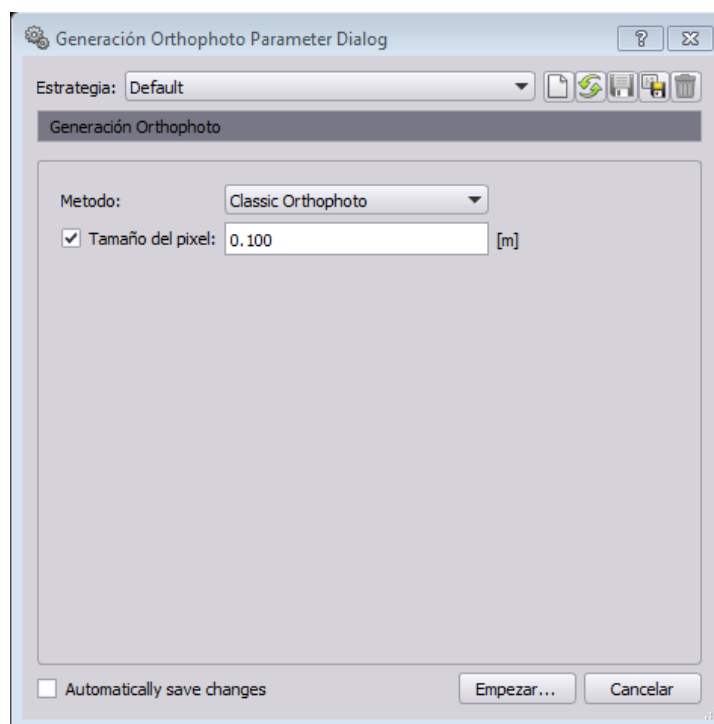


Figura 112. Creación ortomosaico clásico – UASMaster

3.9.3.4 Ortomosaico Verdadero

De la misma manera que el ortomosaico clásico, se realiza después de la depuración de la nube de puntos con la función “Generación Orthophoto”.

En UASMaster v9.0 se crea a partir del modelo “Surface CBM” (segunda nube de puntos obtenida) y en UASMaster v9.1 con “Surface SGM_2.5” (tercera nube de puntos).

Para ello, seleccionar el método “True Orthophoto” y elegir el tamaño de pixel (0.039 m) como se ejemplifica en la **Figura 113**. La ortofoto verdadera obtenida a partir del modelo CBM se visualiza en la FIGURA y la resultante del modelo SGM en la **Figura 152**.

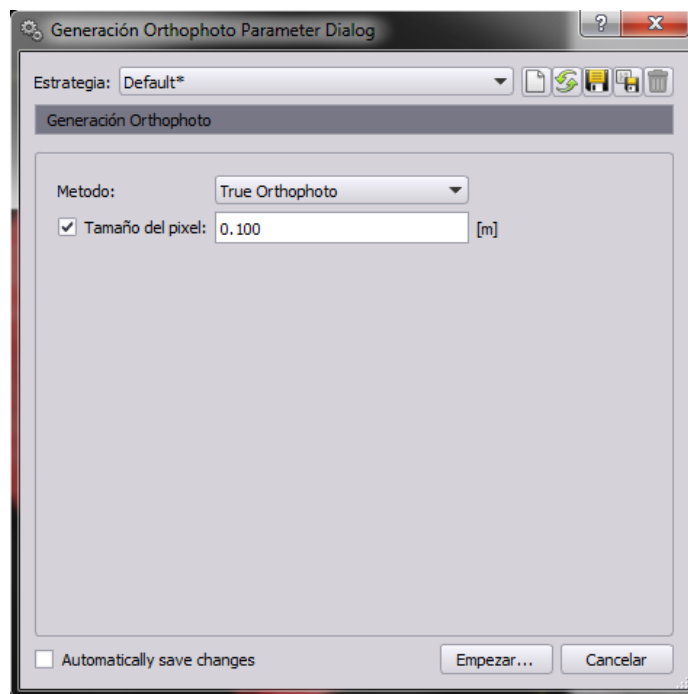


Figura 113. Creación ortomosaico verdadero – UASMaster

3.10 Restitución

Para la generación de cartografía 2D y 3D a través de restitución fotogramétrica, se partió del ajuste fotogramétrico obtenido el aparatado **3.8.1.6** en el software Photomod UAS. La configuración del sistema se hizo de acuerdo a lo indicado en el apartado **3.7** para la visualización en estereoscopia.

Posteriormente, con la herramienta “Configuración del Ratón” se muestra los botones disponibles para el ratón empleado en este proyecto (ratón estándar) (**Figura 114**).

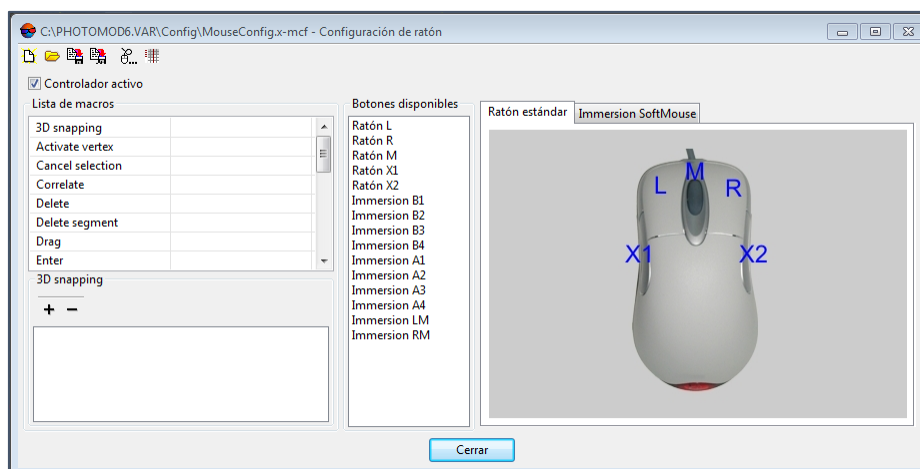


Figura 114. Configuración del ratón estándar – UASMaster

Considerar que la cartografía a crearse es de escala 1:1000, por lo cual, el IGM (2016) Citado en (Yáñez, 2019), presenta una descripción de los elementos agrupados en categorías y subcategorías plasmado en un Catálogo de Objetos escala 1:1000 de la **Tabla 21**.

Tabla 21

Catálogo de objetos escala 1:1000 no oficializado

COD	CATEGORÍA	COD	SUBCATEGORÍA	Código	Nombre	GEOMETRIA	Definición
02	INFRAESTRUCTURA DE INDUSTRIA Y SERVICIOS	01.05	COMUNICACIONES / TRANSMISIONES	AT042	Poste	Punto	Poste utilizado para soportar uno o más cables
02	GEOGRAFÍA SOCIOECONÓMICA	02.01	CONSTRUCCIONES	AL013	Edificio	Polígono	Construcción independiente cubierta y con paredes destinada a la ocupación humana, lugar de trabajo, recreación y / o habitación.
				AL070	Cerca	Línea	Barrera artificial construida por el hombre de estructura relativamente liviana utilizada para delimitar.
		02.02	ASOCIADO A POBLADOS	AL170	Plaza Pública	Línea	Sitio abierto que sirve como lugar de reunión pública en una zona poblada para diversos usos.
				AL241	Torre	Punto	Estructura relativamente alta y delgada, que puede presentarse sola o puede formar parte de otra estructura.
				AL260	Muro	Línea	Barrera hecha por el hombre de material resistente utilizado como límite o para protección.
				AQ150	Escalinata	Polígono	Serie de escalones o gradas que sirven para subir a un plano más elevado o bajar a uno inferior.
				EA020	Cerca Viva	Línea	Crecimiento continuo de arbustos plantados como una cerca, una frontera y/o una barrera contra el viento, utilizada para delimitar.
				02.04	RECREACIÓN	AK040	Campo Deportivo
		AK120	Parque			Línea	Área utilizada con propósitos recreacionales u ornamentales.
		AK170	Piscina			Polígono	Construcción destinada a contener agua con fines de recreación y natación.
		AK165	Estadio			Polígono	Infraestructura que parcial o totalmente rodea un campo deportivo, diseñada para permitir a los espectadores ver un evento de pie o sentados.
		AK166	Plaza de Toros			Línea	Construcción generalmente circular u ovalada, de cielo abierto, rodeada por graderíos para los espectadores.

➔ Continúa

03	INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE	03.01	FERROCARRILES	AN010	Línea Férrea	Línea	Una o más vías de ferrocarril que comprende una red utilizada para el transporte de pasajeros y/o carga.
		03.02	TRANSPORTE TERRESTRE	AP020	Intercambiador Vial	Línea	Un sistema de interconexión de carreteras, situados en un cruce de vías, que prevé la libre circulación de tráfico entre dos o más rutas en diferentes niveles.
				AP030	Vía o Ruta	Línea	Trayecto con una superficie especialmente preparada para ser usada por vehículos a ruedas, generalmente a motor.
		03.07	CRUCES Y ENLASES	AQ040	Puente	Línea	Estructura que conecta dos lugares y facilita el paso de una ruta de transporte (por ejemplo: carretera o línea férrea) sobre un obstáculo del terreno (por ejemplo: cuerpo de agua, barranco y/o carretera).
		03.08	ASOCIADO A TRANSPORTACIÓN	AQ130	Túnel	Línea	Paso subterráneo, abierto en ambos extremos para establecer una vía de transporte.
				AQ152	Puente Peatonal	Línea	Estructura elevada o suspendida que permite el paso de peatones.
				AP034	Parterre	Línea	Divisor entre dos rutas de transporte para separar el flujo del tráfico (por ejemplo, en direcciones opuestas).
				AP031	Paseo peatonal / ciclo via	Línea	Franja de terreno pavimentada o mejorada que tiene por objeto servir como una vía para peatones, animales y/o vehículos no motorizado.
				AQ141	Parqueadero	Línea	Lugar o estructura utilizada para el estacionamiento de vehículos.
				AQ035	Acera	Línea	Ruta pavimentada o mejorada para uso del peatón, normalmente se encuentra adyacente y paralela a una calle o carretera.
AQ036	Bordillo			Línea	Borde de hormigón, asfalto o piedras que forman parte de un canal a lo largo del borde de una calle o carretera.		
AQ065	Alcantarilla	Punto	Ducto que permite el cruce de un cauce de agua bajo una vía u otra infraestructura, así como una construcción destinada a evacuar aguas residuales.				
04	HIDROGRAFÍA Y OCEANOGRAFÍA	04.01	ZONAS COSTERAS	BA010	Orilla	Línea	Línea donde una masa de tierra está en contacto con un cuerpo de agua.
				BA030	Isla	Línea	Masa de tierra más pequeña que un continente y rodeada por agua.
		04.02	PUERTOS Y MUELLES	BB009	Puerto	Línea	Lugar con instalaciones de terminales y de transferencia de carga y / o descarga de mercancías o pasajeros, que normalmente se encuentra en una bahía.
		04.10	REGULACIÓN Y/O ZONAS RESTRINGIDAS	BH050	Granja acuática	Línea	Área cerrada de agua utilizada para la reproducción o cría de camarones, peces y similares.
		04.11	AGUAS INTERIORES	BH010	Acueducto	Línea	Un tubo o canal artificial que está diseñado para transportar agua desde una fuente remota, generalmente por gravedad, para el suministro de agua dulce, agrícola, o uso industrial.
				BH030	Acequia	Línea	Excavación poco profunda construida en tierra a modo de canal con propósitos de drenaje o irrigación.
				BH100	Zanja	Línea	Excavación larga y estrecha que se hace en la tierra, generalmente para delimitar sembríos o parcelas o usos semejantes.
				BH140	Río	Línea	Curso de agua que fluye naturalmente.
				BH081	Estanque	Línea	Depósito construido para recolección o almacenamiento de agua para consumo humano o agropecuario.
				BH080	Lago	Línea	Cuerpo de agua, rodeada por tierra.
BI010	Cisterna			Línea	Contenedor cubierto, construido por el hombre utilizado para recolectar y almacenar el agua.		
05	FISIOGRAFÍA	05.01	REPRESENTACIÓN DE RELIEVE	CA010	Curva de Nivel	Línea	Línea que conecta puntos que tienen el mismo valor de altura respecto a un datum vertical.
				CA030	Punto Acotado	Punto	Lugar designado con un valor de elevación relativa con respecto a un datum vertical.
				ZB035	Punto de control	Punto	Objeto en el terreno de ubicación conocida, donde se ha determinado las coordenadas horizontal y/o vertical por métodos geodésicos o topográficos.

Fuente: IGM (2016) citado en (Yáñez, 2019)

Por lo cual, una vez configurado el mouse, se añade una “Capa con clasificador”, que es una capa vectorial en donde se creará la plantilla para la restitución, teniendo como referencia el

catálogo mencionado anteriormente y de manera complementaria, el Catálogo de Objetos de escala

1:5000 del IGM, con un extracto en la **Tabla 22**.

Tabla 22

Catálogo de objetos escala 1:5000

COD	CATEGORÍA	COD	SUBCATEGORÍA	COD	OBJETO	GEOMETRÍA	DEFINICIÓN
02	Geografía Socioeconomía	02.01	Construcciones	AL030	Campamento	Polígono	<i>Instalaciones generalmente en terreno abierto que pueden ser movidas con facilidad, sirven como residencia a tiempo completo o temporal.</i>
				AL015	Edificio	Punto / Polígono	<i>Estructura techada relativamente permanente, diseñada para algún uso particular.</i>
		02.02	Asociado a Poblados	AL030	Cementerio	Polígono	<i>Sitio de estructuras asociadas, utilizadas para el entierro de muertos.</i>
				AL070	Cerca	Línea	<i>Barrera artificial construida por el hombre de estructura relativamente liviana utilizada como cercado o límite.</i>
				AQ150	Escalinata	Línea / Polígono	<i>Serie de escalones que sirven para subir a un plano más elevado o para bajar a un plano inferior.</i>
				AL130	Monumento	Punto / Línea / Polígono	<i>Estructura levantada o mantenida en memoria a una persona o evento.</i>
				AL260	Muro	Línea / Polígono	<i>Barrera hecha por el hombre de material resistente utilizado como límite o para protección.</i>
		02.03	Comercio	AL241	Torre	Punto / Polígono	<i>Estructura relativamente alta, que puede presentarse sola o puede formar parte de otra estructura.</i>
				AG030	Complejo Comercial	Polígono	<i>Instalaciones comerciales de varios almacenes, con restaurantes, lugares de entretenimiento y otras empresas, está completamente cubierto y cuenta con una amplia zona de estacionamiento.</i>
						AL014	Estructura no Construida

 *Continúa*

02	Geografía Socioeconomía	02.04	Recreación	AK040	Cancha	Polígono	Lugar al aire libre destinado a eventos deportivos, ejercicio o juegos.
				AK160	Coliseo	Polígono	Escenario parcial o totalmente rodeado por una estructura diseñada para permitir a los espectadores de pie o sentados visualizar un evento. A menudo diseñados en forma y tamaño para dar cabida a deportes específicos (por ejemplo: fútbol, baloncesto, etc.), teatro o actuaciones musicales.
				AK165	Estadio	Polígono	Campo deportivo parcial o totalmente rodeado por una estructura diseñada para permitir a los espectadores ver un evento de pie o sentados; a menudo diseñados en forma y tamaño para dar cabida a deportes específicos (por ejemplo: el fútbol).
				AK121	Mirador	Polígono	Área, generalmente en un lugar elevado, con infraestructura para observaciones del paisaje circundante.
				AK120	Parque	Polígono	Área utilizada con propósitos recreacionales u ornamentales.
				AK030	Parque de Diversión	Polígono	Instalación predominantemente artificial, equipada con dispositivos recreacionales.
				AK190	Paseo Marítimo	Polígono	Estructura que se extiende en el agua utilizada con propósitos recreacionales, no pretende ser un lugar de atraque de buques.
				AK170	Piscina	Polígono	Construcción destinada a contener agua con fines de recreación y natación.
03	Infraestructura de Transporte	03.01	Ferrocarriles	AN010	Ferrocarril	Línea	Una o más vías de ferrocarril que comprende una red utilizada para el transporte de pasajeros y/o bienes.
				AN070	Estación de Ferrocarril	Polígono	Instalación en la que los pasajeros pueden subir y bajar de los trenes y/o cargar y descargar mercancías del transporte ferroviario.
		03.02	Transporte Terrestre	AQ180	Estación de Pesaje	Polígono	Construcción y equipos asociados que se utilizan para examinar y pesar los vehículos de motor.
				AQ170	Gasolinera	Polígono	Establecimiento en el cual se vende combustible y lubricantes generalmente para vehículos de motor.
				AP020	Intercambiador Vial	Polígono	Conexión diseñada para facilitar el acceso del tráfico de una carretera a otra.
				AP010	Rodera	Línea	Vía natural con poca o ninguna mejora por la que pueden transitar vehículos de doble tracción.
				AP050	Sendero	Línea	Camino angosto abierto por el tránsito de personas o animales.
				AP030	Vía o Ruta	Línea / Polígono	Trayecto con una superficie especialmente preparada que se mantiene para ser usada por vehículos generalmente a motor.
		03.07	Cruces y Enlaces	AQ070	Gabarra	Línea	Ruta definida que cruza una gabarra de una orilla a otra.
				AQ040	Puente	Línea / Polígono	Estructura que conecta dos lugares y facilita el paso de una ruta de transporte (por ejemplo: carretera o ferrocarril) sobre un obstáculo del terreno (por ejemplo: cuerpo de agua, barranco y/o carretera).

 Continúa

03	Infraestructura de Transporte	03.08	Asociado a Transportación	AQ065	Alcantarilla	Línea	Estructura hecha por el hombre que permite el cruce de un cauce de agua bajo una vía u otra infraestructura, así como una construcción destinada a evacuar aguas residuales.
				AP040	Control Vehicular	Línea	Barrera en una ruta de transporte (por ejemplo: una carretera, un ferrocarril, un túnel o un puente) que controla el paso (puede ser abierto o cerrado).
				AQ036	Cuneta	Línea	Borde de hormigón, asfalto o piedras que forman parte de un canal a lo largo del borde de una calle o carretera.
				AQ080	Estación de Gabarra	Polígono	Lugar donde una gabarra toma o descarga su carga.
				AM510	Estación de Transbordo	Polígono	Complejo de edificios, instalaciones asociadas, carreteras y zonas adaptadas, utilizadas para el transbordo de pasajeros y carga entre los mismos o diferentes tipos de transporte.
				AQ125	Estación de Transporte	Polígono	Estación que sirve como un punto de parada a lo largo de una ruta de transporte.
				AQ140	Parqueadero	Polígono	Lugar destinado generalmente para estacionar vehículos.
				AP034	Parterre	Línea / Polígono	Obra o espacio vial entre dos rutas de transporte para separar el flujo del tráfico (por ejemplo, en sentido contrario).
				AP031	Paseo Peatonal/ Ciclovía	Línea / Polígono	Franja de terreno pavimentada o mejorada que tiene por objeto servir como una vía para peatones, animales y/o vehículos no motorizado.
				AQ152	Puente Peatonal	Línea / Polígono	Estructura elevada o suspendida que permite el paso de peatones.
				AQ060	Torre de Control	Punto / Polígono	Estructura que alberga personas y equipos que cumplen con la función de controlar el tráfico aéreo, náutico o de trenes.
AQ130	Túnel	Línea	Paso subterráneo o submarino, abierto para establecer comunicación.				
		04.08	Riesgos y Obstrucciones	BD120	Arrecife	Polígono	Costa peñascosa, formada en el mar por roca o coral, casi a flor de agua, que constituye peligro para la navegación.
				BD110	Plataforma marina	Polígono	Superficie plana levantada sobre el mar, como etapa de trabajo en la conducción de operaciones mar adentro.
		04.11	Aguas Interiores	BH030	Acequia	Línea / Polígono	Excavación poco profunda construida en tierra con propósitos de drenaje o irrigación.
				BH010	Acueducto o Canal	Línea / Polígono	Cauce artificial que transporta agua en forma de flujo continuo desde un lugar en el que ésta es accesible para consumo u otros usos.
				BI010	Cisterna	Polígono	Contenedor cubierto, construido por el hombre utilizado para recolectar y almacenar el agua.
				AQ116	Estación de Bombeo	Polígono	Instalación para mover sólidos, líquidos o gases a través de presión o succión.
				BH081	Estanque	Polígono	Depósito construido para recolección o almacenamiento de agua para consumo humano o agropecuario.
BH140	Río	Línea / Polígono	Curso de agua que fluye naturalmente.				

Fuente: IGM (2011) citado en (Yáñez, 2019)

Para crear la plantilla, el primer paso es seleccionar la opción “Agregar la capa”, que contendrán objetos de la misma categoría. Dentro de cada capa, se adicionan los elementos a restituir (Ej.: río, laguna, piscina, entre otros), se coloca el código, nombre, tipo (P: punto, L: línea, C: polígono), color y estilo de línea como se ilustra en la **Figura 115**. De tal manera, los elementos añadidos en la plantilla se resumen en la **Tabla 28** del Capítulo IV.

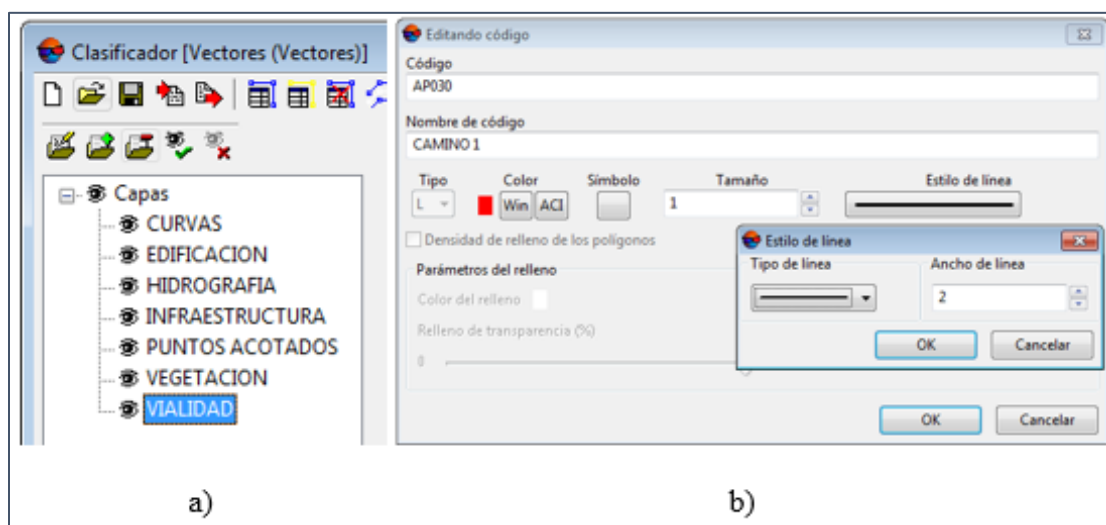


Figura 115. Creación de la plantilla: a) Capas b) Elementos de la capa – Photomod UAS

La captura de elementos se realiza siguiendo el principio de la marca flotante mencionado en el apartado **2.11.1**. Para lo cual se activa la vista “estereopar” y la “Marca=Ratón” que modifica el paralaje en X y la marca flotante. Posteriormente se insertan los nodos deseados para el tipo de objeto de acuerdo a la escala requerida y se tiene un ejemplo en la **Figura 116**.

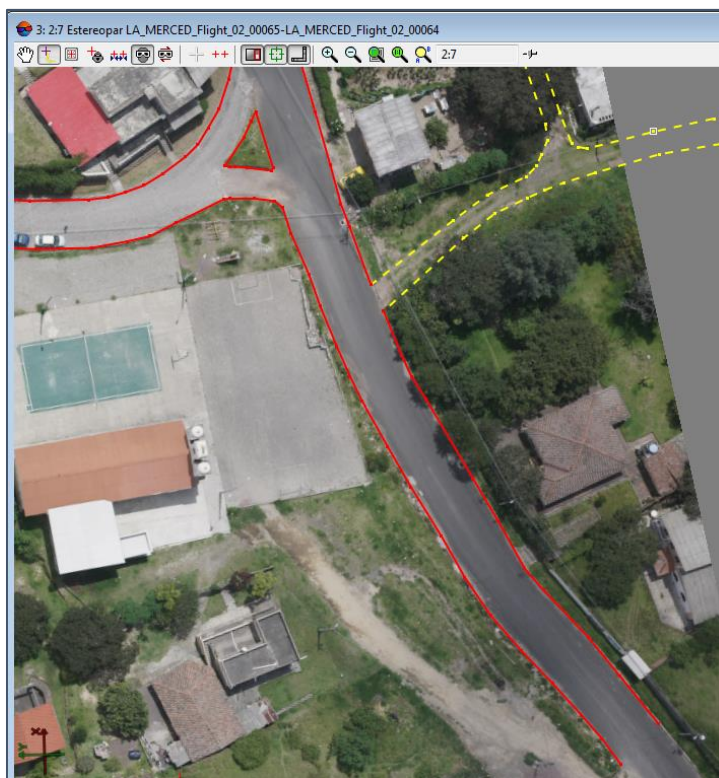


Figura 116. Captura de elementos a través de restitución – Photomod UAS

Finalmente, la **Figura 116** muestra el resultado obtenido luego de la captura de todos los elementos.

3.11 Control de calidad

La evaluación de los productos obtenidos por fotogrametría de corto alcance se realizó mediante análisis visuales, radiométricos y exactitud posicional de los mosaicos obtenidos, además de los mosaicos de modelos digitales de terreno.

3.11.1 Análisis visual y radiométrico

Una vez generados los ortomosaicos clásicos y verdaderos, estos son exportados en formato TIF en cada software (Photomod UAS y UASMaster) para el análisis visual y radiométrico en el programa ArcGis. En la evaluación visual se compara las mismas construcciones en cada producto, prestando atención en los bordes, gaps y abatimiento.

Mientras que, para la evaluación radiométrica se emplea la herramienta “Análisis de imagen”

(Figura 117) y se considera lo indicado por IGM (2006) mencionado en el apartado 2.16.3.

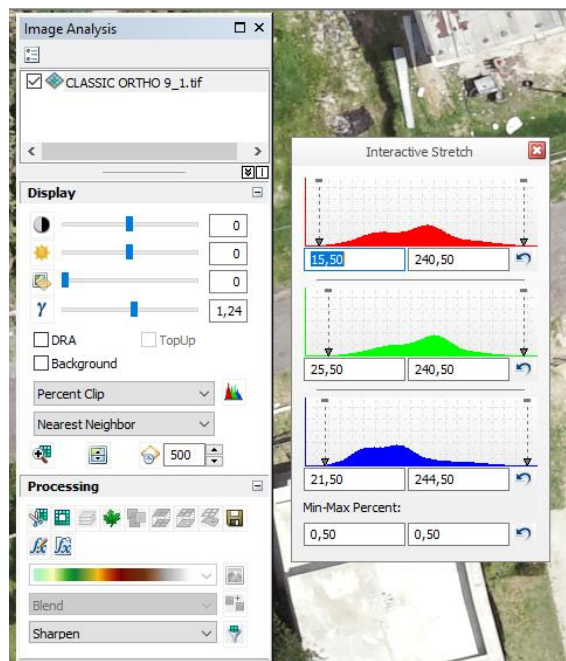


Figura 117. Herramienta “Análisis de imagen”

Los resultados de las evaluaciones realizadas en esta sección se indican en la sección 4.9.1

3.11.2 Exactitud Posicional

Para la evaluación de la exactitud posicional de los productos se utilizó la teoría expuesta en el apartado 2.16.2 en el cual se basa el IGM para la fiscalización de proyectos a escala 1:1000 (sección 2.16.3)

Por lo que se deben comparar las coordenadas de puntos obtenidos en gabinete (en este caso, de las ortofotos convencionales y verdaderas generadas en Photomod UAS y UASMaster), con las coordenadas de los mismos puntos obtenidos de manera independiente. Siendo que el 90% de los puntos no difieren del verdadero valor.

La NSSDA indica la cantidad de puntos que se deberían evaluar de acuerdo al área del proyecto según la Tabla 15, dicho esto, al tener 300 Ha se evalúan 20 puntos.

La navegación a los puntos para la evaluación de la exactitud posicional se hizo con un GPS navegador conectado a un SIG siguiendo la metodología indicada por Kirby E. (2009) “Metodología para navegación en Arcgis a través del uso del GPS” citado en (Chuqitarco, 2018). En la **Figura 118** se visualizan las rutas seguidas desde la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE hacia los puntos y en la **Figura 119** un ejemplo de los puntos tomados.



Figura 118. Navegación a los puntos de evaluación

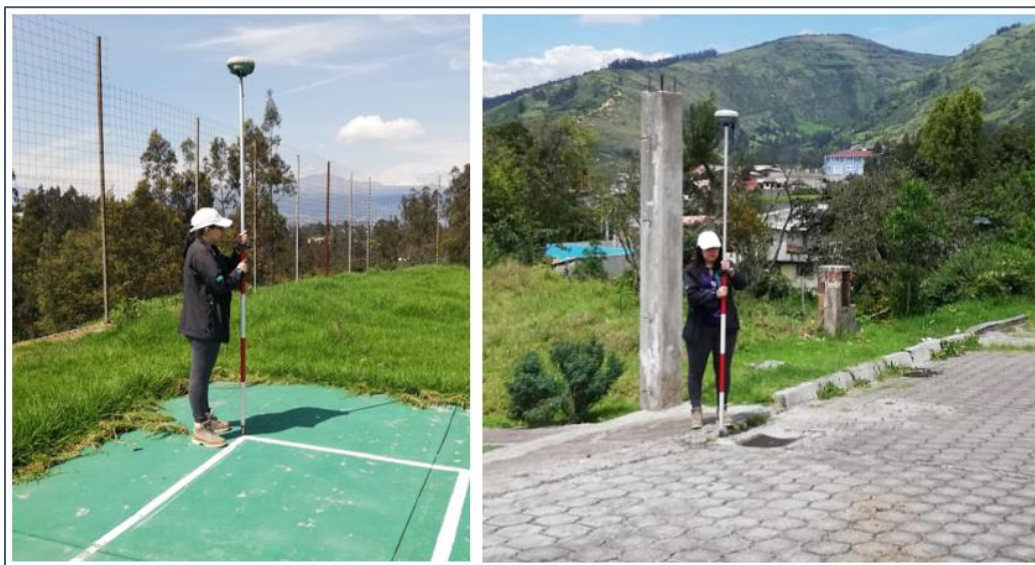


Figura 119. Puntos RTK de evaluación

Se calculó el RMSE_x para la componente X según la ecuación (13) y de forma análoga para componente Y con la ecuación (14), posteriormente el RMSE_r para la componente posicional (XY) según la ecuación (16). Una vez calculados estos valores, de acuerdo a lo mencionado en la sección **2.16.3** se tiene el caso 2; es decir, $RMSE_x \neq RMSE_y$.

El IGM (2018) indica que: “el valor obtenido como exactitud posicional del producto cartográfico no deberá ser mayor a la exactitud esperada en función del factor de escala” de acuerdo a la ecuación (27); es decir, en 30 cm. Los valores de exactitud posicional de los productos: “Ortomosaico simple – Photomod”, “True Ortho – Photomod”, “Ortomosaico simple – UASMaster” y “True Ortho UASMaster” se encuentran en la **Tabla 30, Tabla 31,**

Tabla 32, Tabla 33 respectivamente. Adicionalmente, por motivos de comparación se generó el Ortomosaico simple en el software PIX4D mostrándose los resultados en la **Tabla 34.**

Además, se aplica el test NSSDA para la evaluación de las coordenadas X y Y de los elementos capturados mediante restitución y se obtienen los resultados de la **Tabla 36.**

3.11.3 Control de calidad de los mosaicos de MDT

En el control de calidad del MDS y MDE, se unen los puntos tomados en campo para la valuación de la exactitud posicional de los ortomosaicos y restitución dando un total de 133 puntos distribuidos como se observa en la **Figura 120.**

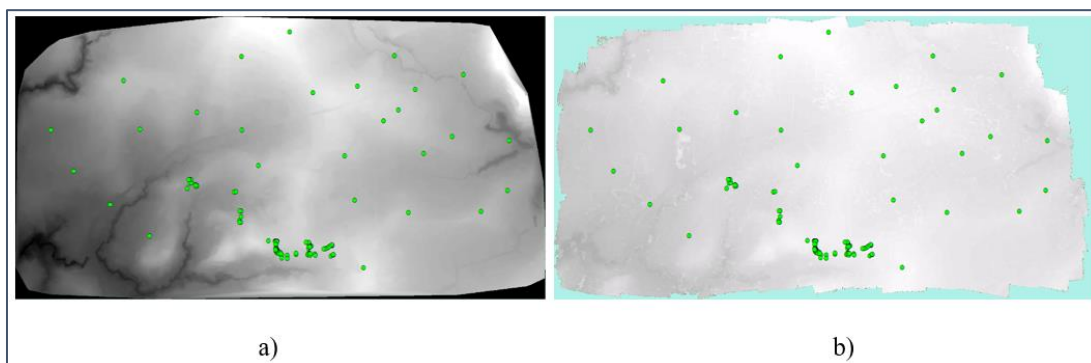


Figura 120. Puntos de evaluación: a) Visualización sobre el MDE b) sobre el MDS

Para la extracción del valor del pixel del MDE y MDS se emplea la herramienta “Extract Values to Points” de acuerdo a Kirby (2007) y Mancero et al (2015), citados en (Chuquitarco, 2018). Una función similar, pero que permite extraer el valor de varias capas ráster a la vez es “Extract Multi Values to Points”, por lo que se la se utilizó como se indica en la **Figura 121**.

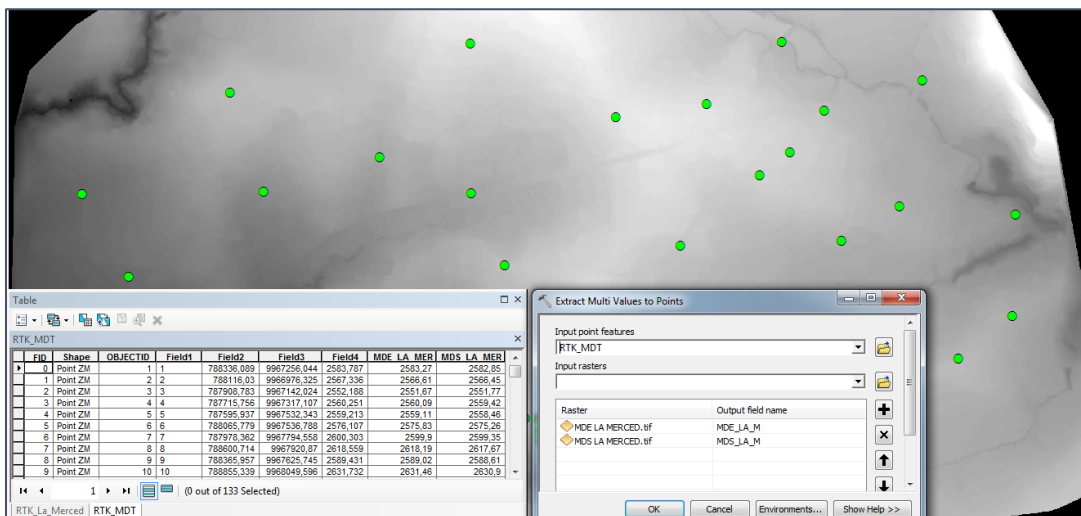


Figura 121. Extracción de valores del MDS y MDE respecto a los puntos de evaluación

A partir de las curvas de nivel obtenidas mediante restitución, se genera un MDE mediante la herramienta “Topo to Raster” como indica la **Figura 122** y **Figura 123**. Posteriormente, se emplea herramienta “Extract Values to multipoint” de la misma forma que en la **Figura 121**, pero considerando el origen de la referencia.

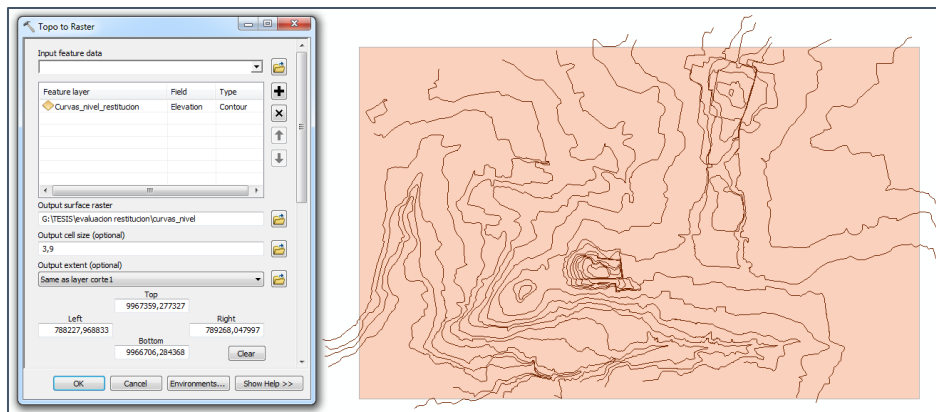


Figura 122. Generación MDE a partir de curvas de nivel restituidas

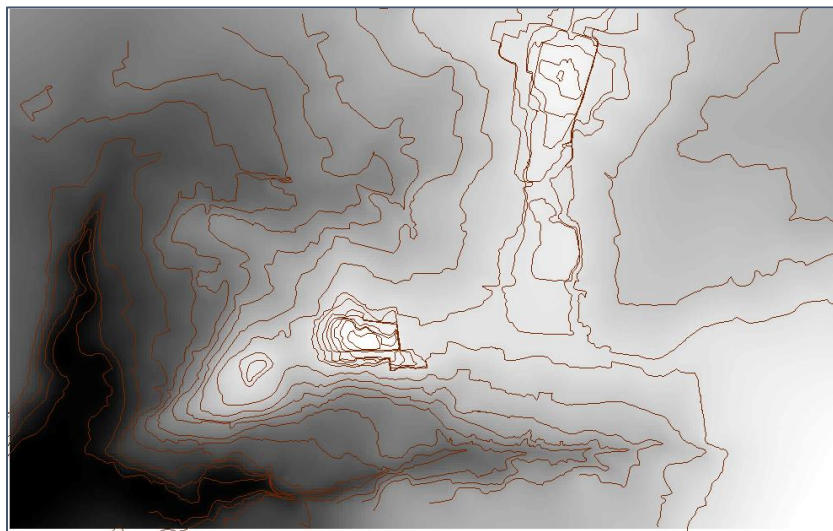


Figura 123. MDE a partir de curvas de nivel restituidas

Finalmente, se calcula el RMSEz con la ecuación (19) y se obtiene la exactitud vertical con la ecuación (20), teniendo los resultados de la **Tabla 37** y la **Figura 157**.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

El presente capítulo contiene los resultados obtenidos a partir de la metodología indicada en el CAPÍTULO III.

4.1 Resultados del plan de Vuelo

4.1.1 Resultados de la Planificación – WingtraOne

El resumen del plan de vuelo realizado para el UAV VTOL WingtraOne en el software WingtraPilot se resume en la **Tabla 23** y **Figura 124** a continuación:

Tabla 23.

Detalles del plan de vuelo WingtraPilot

Característica	Especificación
Cámara	RX1R11 42 MP
Traslado lateral	70 %
Traslado frontal	70 %
Altitud sobre el terreno	250 m
GSD	3.2 cm/px
Dirección del vuelo	180 °
N° de imágenes	843
N° de vuelos	2
Tiempo	54 min 25 s



Figura 124. Plan de vuelo –WingtraPilot

4.1.2 Resultados de la Planificación – UX5

La **Tabla 24** contiene el resumen de la planificación del proyecto “La Merced UX5”, empleando la cámara Sony a5100, lente de 15 mm, GSD de 3.92 cm, a una altura de 150 m desde la zona de despegue y con traslapo longitudinal y transversal del 70 %.

Tabla 24

Resumen de la planificación de vuelo con la aeronave UX5

Vuelo	Área [ha]	Duración bloque [min]	Duración vuelo [min]	N° de Imágenes	Líneas de vuelo
1	150.02	25	31	524	20
2	151.73	26	32	531	20
Total	301.75	51	63	1055	40

Entre cada bloque existe traslapo, por lo tanto, el área total a levantarse es de 301.75 Ha. La columna “Duración bloque” se refiere al tiempo de vuelo desde el inicio de la primera línea de vuelo hasta la última línea. Sin embargo, la columna “Duración vuelo” incluye el tiempo de desplazamiento desde el despegue hacia la primera línea y el desplazamiento desde la última línea hasta el aterrizaje. Por tal motivo, al tiempo de duración de la misión (Duración bloque), en este caso, se suma 6 minutos en cada bloque, dando un tiempo total de vuelo de 63 minutos. El número total de imágenes es de 1055 capturadas en 40 líneas de vuelo.

Además en la **Figura 125** se visualizan los dos bloques generados y posteriormente, el diseño del vuelo con los puntos de despegue y aterrizaje que incluyen la zona de influencia

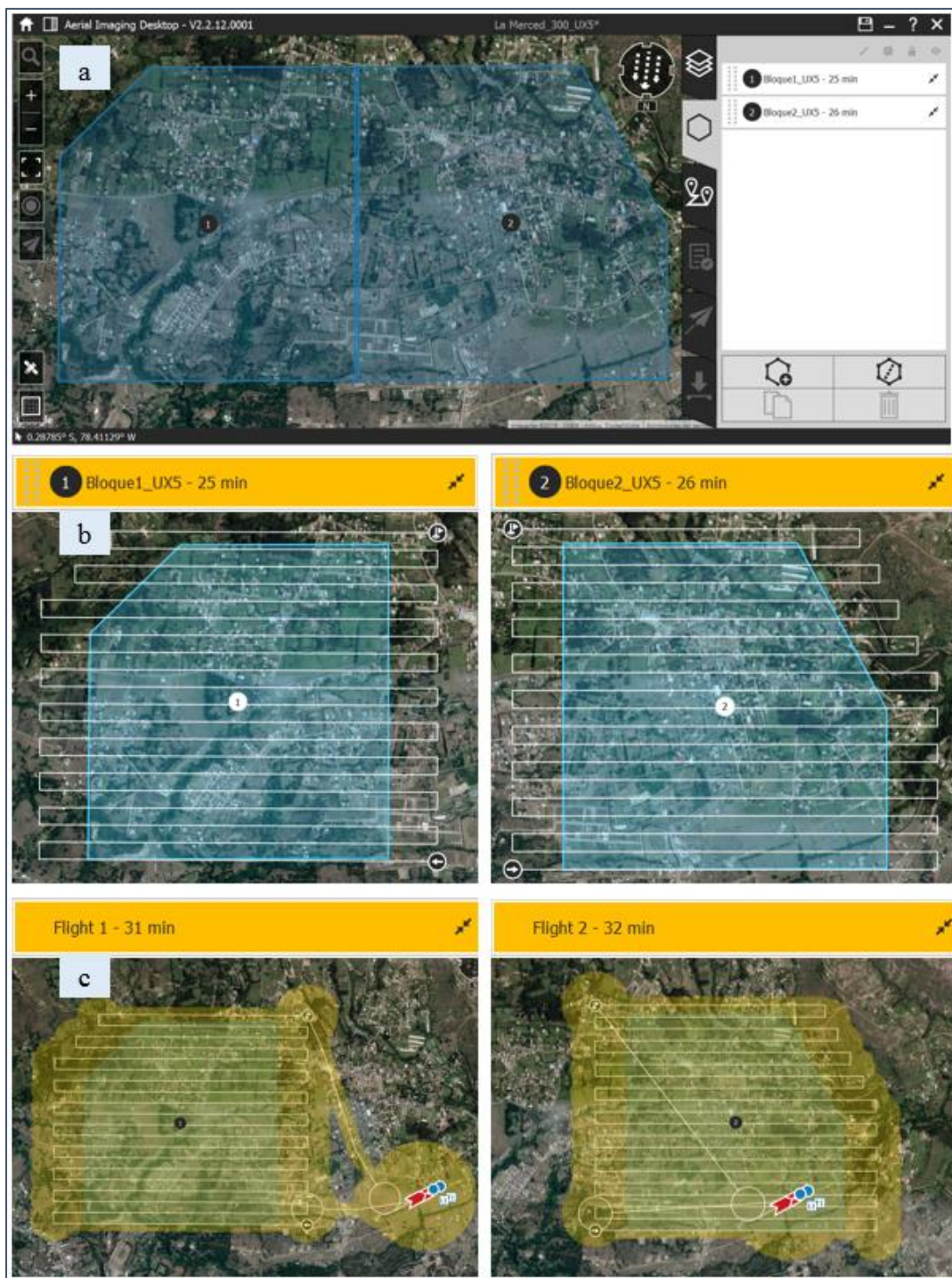


Figura 125. Planificación UX5: a) División de bloques b) Líneas de vuelo
c) Despegue, aterrizaje y zona de influencia

4.1.3 Resultados de la Planificación – UX5 HP

La **Tabla 25** contiene el resumen de la planificación del proyecto “La Merced UX5 HP” empleando la cámara Sony a7R, un lente de 35 mm de focal, GSD de 2 cm a una altura de 150 m desde la zona de despegue y con traslapo longitudinal y transversal del 70 %. Para cada bloque, se tiene el área, duración del bloque, tiempo total de vuelo, número de imágenes y líneas de vuelo.

Tabla 25

Resumen de la planificación de vuelo con la aeronave UX5 HP

Vuelo	Área [ha]	Duración bloque [min]	Duración vuelo [min]	Nº de Imágenes	Líneas de vuelo
1	72.61	18	24	616	16
2	79.08	18	25	612	15
3	71.76	18	25	598	16
4	81.56	18	24	635	15
Total	305.00	72	98	2461	62

El área total a levantarse es de 305 Ha, considerando que existe traslapo entre cada bloque. El tiempo total de vuelo es de 98 minutos y en este caso, al tiempo de duración de la misión (Duración bloque), se añade 6 minutos a los bloques más cercanos del sitio de despegue y 7 minutos a los bloques más lejos. El número total de imágenes es de 2461 capturadas en 62 líneas de vuelo.

La **Figura 126** indica los cuatro bloques generados y posteriormente el diseño del vuelo con los puntos de despegue y aterrizaje incluyendo la zona de influencia.

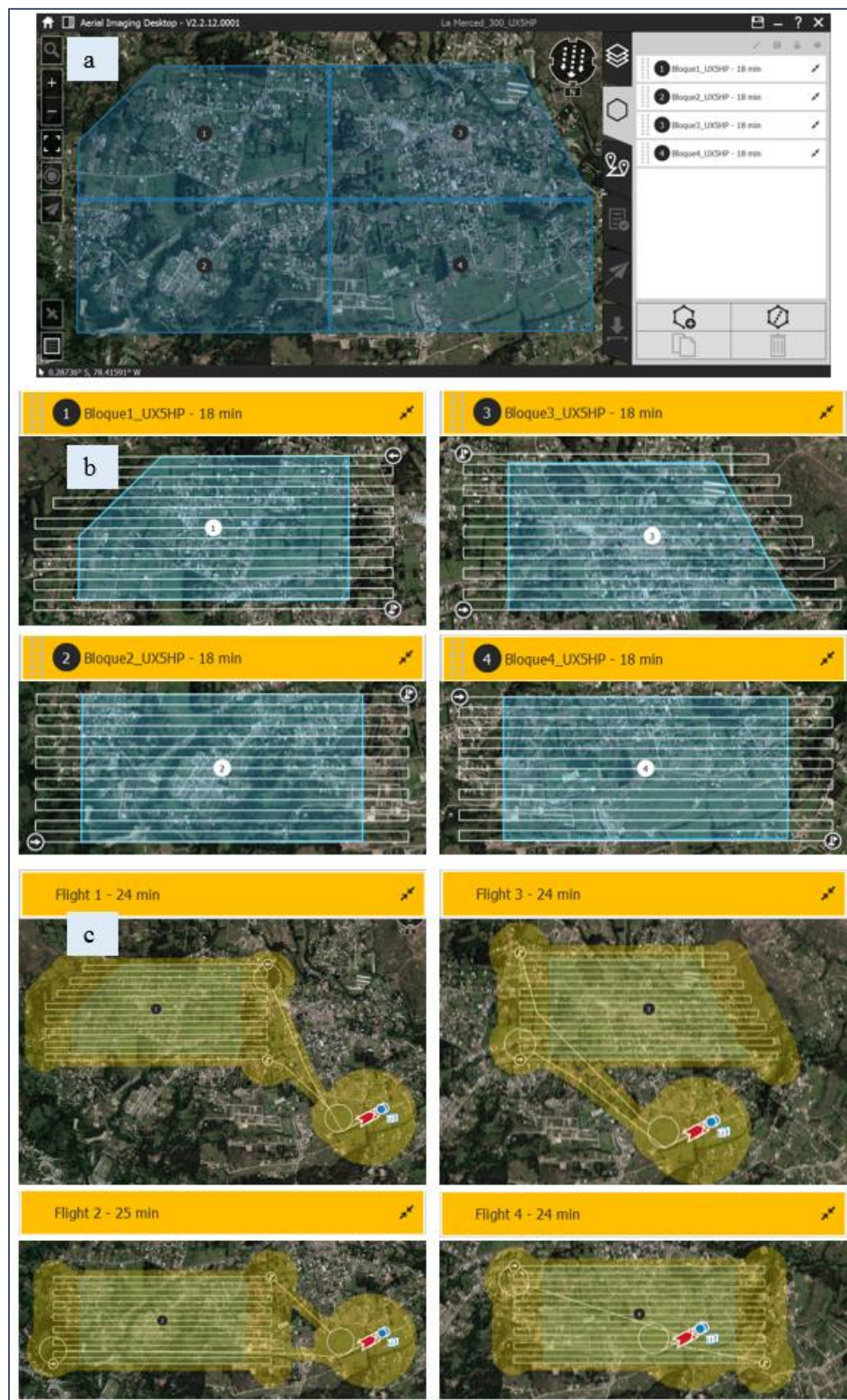


Figura 126. Planificación UX5 HP: a) División de bloques b) Líneas de vuelo c) Despegue, aterrizaje y zona de influencia

4.2 Resultados de la planificación de puntos de apoyo fotogramétrico

La distribución planificada para los 14 puntos de apoyo fotogramétrico (GCP) y la base se presenta en la *Figura 127*, por lo que, en total se tienen 15 puntos.

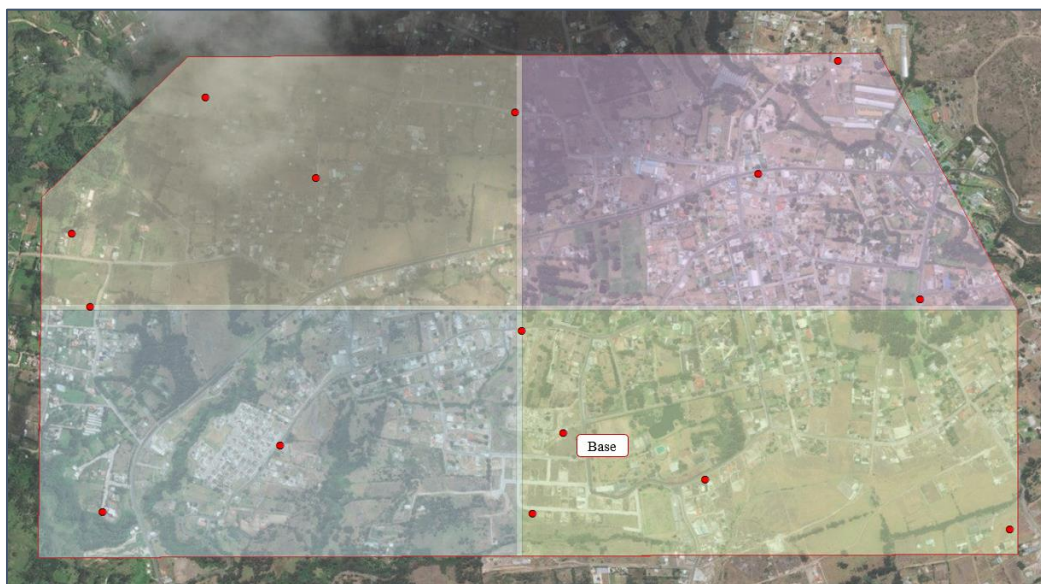


Figura 127. Distribución de los GCP y la base

4.3 Resultados de la ejecución del vuelo

Los detalles del rendimiento del equipo WingtraOne durante el vuelo en la zona de estudio se indican a continuación en la **Tabla 26**.

Tabla 26

Detalles del rendimiento del WingtraOne

Vuelo	Hora Inicio	Hora Fin	Tiempo de vuelo [min]	% del proyecto	Nº Imágenes	Área cubierta [ha]
1	10:17	10:53	0:36	65	521	195
2	10:59	11:25	0:26	35	299	105
Total				100	820	300

La primera misión de vuelo tardó 36 minutos abarcando 195 ha; es decir, el 65 % del área total y el resto (105 Ha) se cubrió en 26 minutos. Por lo que, el tiempo de vuelo para levantar la 300 Ha fue de 62 minutos, obteniendo 820 imágenes.

4.4 Resultados del procesamiento de los puntos de apoyo fotogramétrico

El elenco de coordenadas de los GCP obtenidos luego del post procesamiento se observan en la

Tabla 27.

Tabla 27

Elenco de coordenadas de los puntos de apoyo fotogramétrico

ID	Este [m]	Norte [m]	Altura elipsoidal [m]	Precisión Horizontal [m]	Precisión Vertical [m]
Base	788897.533	9967080.45	2612.856	0.003	0.009
P01	787985.421	9967934.83	2590.841	0.004	0.006
P02	788774.906	9967897.93	2620.871	0.007	0.013
P03	787644.352	9967587.58	2563.523	0.004	0.007
P04	788268.083	9967730.76	2600.612	0.004	0.006
P05	787690.964	9967400.91	2563.21	0.004	0.005
P06	788792.947	9967339.45	2607.589	0.003	0.005
P07	787723.799	9966878.53	2543.995	0.003	0.005
P08	788175.757	9967049.05	2571.771	0.004	0.005
P09	788819.137	9966874.59	2602.045	0.004	0.006
P10	789598.46	9968028.25	2603.185	0.003	0.006
P11	789395.382	9967739.72	2609.943	0.003	0.008
P12	789807.978	9967420.79	2591.429	0.003	0.009
P13	789260.295	9966960.89	2612.285	0.003	0.008
P14	790037.162	9966833.73	2593.621	0.003	0.006
Promedio				0.004	0.007

La precisión vertical media de los GCP es de 0.007 m y la horizontal es de 0.004 m; en ese sentido, comparando con los resultados de las ecuaciones (21) y (29) calculadas en el apartado 3.5, cumplen con lo requerido y todos los puntos son empleados para el proceso de ajuste fotogramétrico.

Las características de cada punto como: ubicación, coordenadas y fotografía, se detallan en una monografía, cuyo ejemplo se visualiza en la **Figura 128** y el resto se encuentran en el **Anexo 2**.




UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE PROYECTO GENERACIÓN DE TRIE ORTOS - LA MERCED					
PROVINCIA: PICHINCHA	CANTÓN: QUITO	PARROQUIA: LA MERCED			
FECHA: 2019-03-15	CIUDAD: PUNTO GPS	NOMBRE DEL PUNTO: BASE			
COORDENADAS GEOGRÁFICAS:		COORDENADAS UTM:		Sistema de Referencia: ITRF5	
Latitud: 0°17'51.02227" S	ZONA: 17	Epo de Referencia: 2016 A 26	ITRF		
Longitud: 78°24'18.98027" O	NORTE (m): 29670.80.449	Epo de Referencia: GR500	GR500		
Altura Geoidal (m): 2612.858	E. STD (m): 7.88897.333	Precisión Vertical (m): 0.003	Precisión Horizontal (m): 0.003		
Altura m.s.n.m. (m): 2882.335	Precisión Horizontal (m): 0.003	Precisión Vertical (m): 0.003			
DESCRIPCIÓN:			Identificación del sector		
Se llega al punto recordando desde el Parque de La Merced 50 m en dirección Sur por la calle 4 de Mayo, luego girar a la derecha en dirección a la calle César Siquiera Salcedo y avanzar 400 m, tomar la intersección a la izquierda y avanzar 220 m, girar a la derecha en la entrada al Campo Santo de La Merced y avanzar 50 m.					
MONUMENTACIÓN:			Ubicación del Punto de Control		
El punto se encuentra rastreado dentro del Campo Santo de La Merced					
ABASTECIMIENTOS:			Punto		
En la Av. 10 a 1 km del parque de La Merced, se encuentra la Gasolinera PATROCOMERCIAL. La tienda más cercana se encuentra en la calle César Siquiera Salcedo y 2 de Mayo.					
NOTA:					
* Para el cálculo de la altura ortométrica se utilizó el modelo geoidal del Instituto Geográfico Militar.					
OBSERVACIONES:					
Para la realización de este trabajo se utilizó el GPS de doble Frecuencia Trimble R4 durante 2 horas de rastreo, y con un intervalo de grabación de 1 Segundo.					
ELABORADO POR: Damaris Manzano	PUNTO TOMADO POR: Diego Reyes	REVISADO POR: Ing. Eduardo Kirij			

Figura 128. Monografía de un GCP

4.5 Resultados del etiquetado geográfico de las imágenes

En la **Figura 129** se indica el resumen del proceso, en donde, para la geolocalización sin procesamiento PPK únicamente se generó el archivo .CSV, mientras que, para el procesamiento PPK se tiene el resumen con el porcentaje fijo y la precisión horizontal y vertical. Es decir, en la parte (a) de la figura, se realiza la geolocalización de 521 imágenes para la primera misión de vuelo y 299 para la segunda. Por otra parte, en el proceso de corrección PPK, la precisión horizontal media es de 0.03 m para las dos misiones de vuelo y la vertical es de 0.04 m para la primera misión y 0.05 m para la segunda.

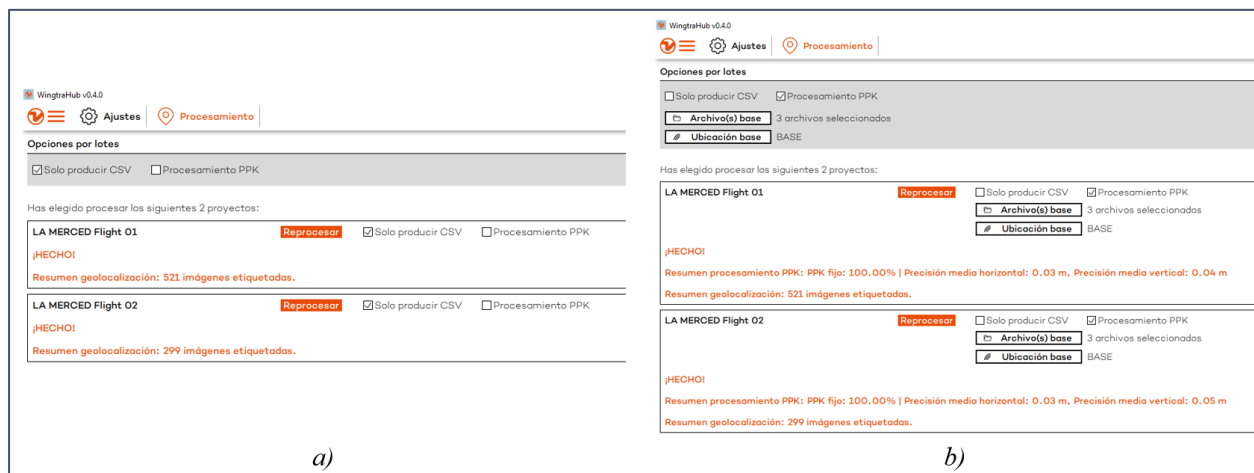


Figura 129. Procesamiento WingtraHub: a) Sin PPK b) PPK

Los archivos generados contienen las coordenadas de los centros de foto con sus respectivos giros. La parte a) de la **Figura 130** pertenece a las coordenadas sin las corrección PPK por lo que la precisión horizontal y vertical es de 5m y 10 m respectivamente. Mientras que, en la parte b) se visualizan las coordenadas con la corrección PPK y la precisión horizontal y vertical es de 5m y 10 m respectivamente

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	# image name	latitude [decimal degrees]	longitude [decimal degrees]	altitude [meter]	omega [degrees]	phi [degrees]	kappa [degrees]	accuracy horizontal [meter]	accuracy vertical [meter]
2	LA_MERCED_Flight_02_00002.JPG	-0.300535834	-78.40863243	2847.620117	-6.7213612	0.56188418	-0.98935493	5	10
3	LA_MERCED_Flight_02_00003.JPG	-0.300074733	-78.40863807	2848.115479	-2.37415391	1.04420781	3.01411979	5	10
4	LA_MERCED_Flight_02_00004.JPG	-0.29961344	-78.408639	2848.710693	0.68539726	2.66752905	3.44118676	5	10
5	LA_MERCED_Flight_02_00005.JPG	-0.299151995	-78.40863785	2848.880127	-4.34435719	3.12334044	16.2926769	5	10
6	LA_MERCED_Flight_02_00006.JPG	-0.298691188	-78.40863999	2849.248779	-0.49191994	4.48038847	5.0102366	5	10
7	LA_MERCED_Flight_02_00007.JPG	-0.298228842	-78.4086331	2847.692139	0.32597587	0.71126725	7.92204528	5	10
8	LA_MERCED_Flight_02_00008.JPG	-0.297767032	-78.40863772	2848.660156	0.7486478	1.66336488	6.30455446	5	10
9	LA_MERCED_Flight_02_00009.JPG	-0.297305659	-78.40863584	2848.748779	1.4805102	1.49537894	9.24842533	5	10
10	LA_MERCED_Flight_02_00010.JPG	-0.296844575	-78.40863576	2848.929443	-3.21177394	2.66735573	6.03380704	5	10

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	# image name	latitude [decimal degrees]	longitude [decimal degrees]	altitude [meter]	omega [degrees]	phi [degrees]	kappa [degrees]	accuracy horizontal [meter]	accuracy vertical [meter]
2	LA_MERCED_Flight_02_00002.JPG	-0.300545291	-78.40862355	2878.015307	0	0	0	0.03	0.04
3	LA_MERCED_Flight_02_00003.JPG	-0.300084703	-78.40863212	2878.50132	0	0	0	0.03	0.04
4	LA_MERCED_Flight_02_00004.JPG	-0.299621295	-78.40863507	2879.284096	0	0	0	0.03	0.04
5	LA_MERCED_Flight_02_00005.JPG	-0.299163433	-78.40863513	2879.52582	0	0	0	0.03	0.05
6	LA_MERCED_Flight_02_00006.JPG	-0.298700203	-78.40863752	2880.045792	0	0	0	0.03	0.05
7	LA_MERCED_Flight_02_00007.JPG	-0.298237429	-78.4086308	2878.47463	0	0	0	0.03	0.04
8	LA_MERCED_Flight_02_00008.JPG	-0.297776755	-78.40863613	2879.381995	0	0	0	0.03	0.04
9	LA_MERCED_Flight_02_00009.JPG	-0.297314605	-78.4086354	2879.66123	0	0	0	0.03	0.04
10	LA_MERCED_Flight_02_00010.JPG	-0.296858033	-78.40863617	2879.772003	0	0	0	0.03	0.04

Figura 130. Archivos CSV del procesamiento a) Sin PPK b) PPK

Los archivos CSV generados contienen los campos: nombre de la imagen, latitud, longitud, altitud, omega, phi, kappa, precisión horizontal y precisión vertical

4.6 Resultados del procesamiento en Photomod UAS

4.6.1 Orientación Relativa

El proceso de automedición de puntos de enlace para la orientación relativa, se realizó con 32 GB de memoria RAM y sin procesamiento distribuido, por lo que tardó 75 horas. Además, se obtuvo el reporte de procesamiento (ajuste preliminar) que se indica en la **Figura 131**, en donde se indican elementos como: nombre del proyecto, nombre de la cámara, número de líneas de vuelo y número de puntos de enlace medidos. En el caso del GSD se tiene un valor de 0.039 m difiriendo del valor inicialmente planificado (0.032 m). Además, En la **Figura 132** se visualiza el bloque orientado.

Reporte del procesamiento del bloque	
Versión de PHOTOMOD 6.4.2279 UAS x64	
Propiedades del proyecto y de los datos iniciales	
Proyecto	LA MERCED PPK
Reporte de tiempo	lunes, 08 de abril de 2019, 3:25:13
Cámaras	DSC-RX1RM2[poly] [selfcal] x-cam
GSD, metre	0.039
Sistema de coordenadas	----
Rango de altura, metre	2450.000 - 2900.000
Área, metre ²	4112698.591
Número de imágenes	820
Número de líneas	34
Número de puntos de enlace	102077
Número de puntos de control terrestre	0
Número de puntos de chequeo	0

Figura 131. Reporte orientación relativa – Photomod UAS



Figura 132. Visualización del bloque con orientación relativa – Photomod UAS

4.6.2 Resultado del pinchado de GCP

En la **Figura 133** se observa el número de mediciones (imágenes) en las que se encuentra cada GCP, siendo el punto 14 el que menos coincidencias tienen al estar ubicado en la parte más externas del bloque. Considerar que el punto denominado “Base” no fue pinchado al no estar descubierto en las imágenes, debido a que el equipo GNSS se encontraba plantado en el momento del vuelo para el rastreo PPK.

Código	Nombre	Tipo	X, m	Y, m	Z, m	Desv. Std. X, m	Desv. Std. Y, m	Desv. Std. Z, m	Número de mediciones
102079	P01	Control Terren	787985.421	9967934.831	2590.841	0.004	0.004	0.006	17
102080	P02	Control Terren	788774.906	9967897.925	2620.871	0.007	0.007	0.013	13
102081	P03	Control Terren	787644.352	9967587.581	2563.523	0.004	0.004	0.007	12
102082	P04	Control Terren	788268.083	9967730.76	2600.612	0.004	0.004	0.006	16
102083	P05	Control Terren	787690.964	9967400.913	2563.210	0.004	0.004	0.005	15
102084	P06	Control Terren	788792.947	9967339.451	2607.589	0.003	0.003	0.005	14
102085	P07	Control Terren	787723.799	9966878.529	2543.995	0.003	0.003	0.005	19
102086	P08	Control Terren	788175.757	9967049.052	2571.771	0.004	0.004	0.005	14
102087	P09	Control Terren	788819.137	9966874.591	2602.045	0.004	0.004	0.006	14
102088	P10	Control Terren	789598.46	9968028.25	2603.185	0.003	0.003	0.006	10
102089	P11	Control Terren	789395.382	9967739.724	2609.943	0.003	0.003	0.008	13
102090	P12	Control Terren	789807.978	9967420.787	2591.429	0.003	0.003	0.009	13
102091	P13	Control Terren	789260.295	9966960.887	2612.285	0.003	0.003	0.008	13
102092	P14	Control Terren	790037.162	9966833.731	2593.621	0.003	0.003	0.006	6

Figura 133. Número de mediciones realizadas para cada GCP – Photomod UAS

4.6.3 Resultados del ajuste del bloque en Photomod UAS

Como resultado del ajuste del bloque se tiene el reporte (*Figura 134*) con datos como la exactitud del ajuste

Reporte del ajuste del bloque		Page 1 of 16		
== martes, 23 de julio de 2019 == 14:17:07 ==				
Reporte del ajuste del bloque				

Bloque: LA MERCED PPK				
Número de líneas: 34				
Número de estereopares: 786				
Parámetros de ajuste:				
ajuste de bloque				
sistema de coordenadas: WGS 84 / UTM zone 17S				
exactitud de las mediciones de los puntos manuales sobre la imagen, pix.: 0.75				
exactitud de las mediciones de los puntos automáticos sobre la imagen, pix.: 0.75				
peso de las mediciones de los puntos de enlace: 1				
peso de las coordenadas de los puntos de control terreno: 2				
peso de las coordenadas de los centros de proyección (GPS): 1				
ángulos de OE no usados				
residual mínimo en 3D				
exactitud de ajuste: 0.5				
Unidades de las medidas: metre				

Estimación de la exactitud del ajuste general				
Sigma_0 = 0.992				

Residuales de los puntos de control terreno				
N	Xm-Xg	Ym-Yg	Zm-Zg	Exy (metre)
límite:	0.200	0.200	0.200	0.200
Base	-	-	-	-
P01	-0.003	0.005	-0.008	0.006
P02	-0.014	-0.004	-0.038	0.015
P03	-0.004	0.005	-0.002	0.006
P04	-0.003	0.004	-0.009	0.005
P05	-0.000	0.003	-0.003	0.003
P06	0.000	0.000	-0.006	0.000
P07	0.004	0.000	-0.004	0.004
P08	0.005	-0.001	-0.005	0.005
P09	0.010	0.001	-0.007	0.010
P10	-0.001	-0.002	-0.006	0.002
P11	-0.003	-0.002	-0.013	0.004
P12	-0.000	-0.002	-0.014	0.003
P13	0.002	0.000	-0.013	0.002
P14	-0.002	0.001	-0.004	0.002

medio absoluto:	0.004	0.002	0.009	0.005
EMC:	0.005	0.003	0.013	0.006
máximo:	0.014	0.005	0.038	0.015
número de puntos (diferencias):	15 (14	14	14)

Figura 134. Reporte del ajuste – Photomod UAS

Como se observa en el reporte, el error cuadrático medio posicional es de 0.006 m, el valor medio es de 0.005 m y el máximo es de 0.015 m.

4.6.4 Resultados de la generación de productos

4.6.4.1 MDE

- Nube de puntos

En la **Figura 135** se observa la nube de puntos que ha sido depurada, por lo que, los puntos en las edificaciones y vegetación se eliminaron mediante algoritmos de filtrado y también de forma manual.

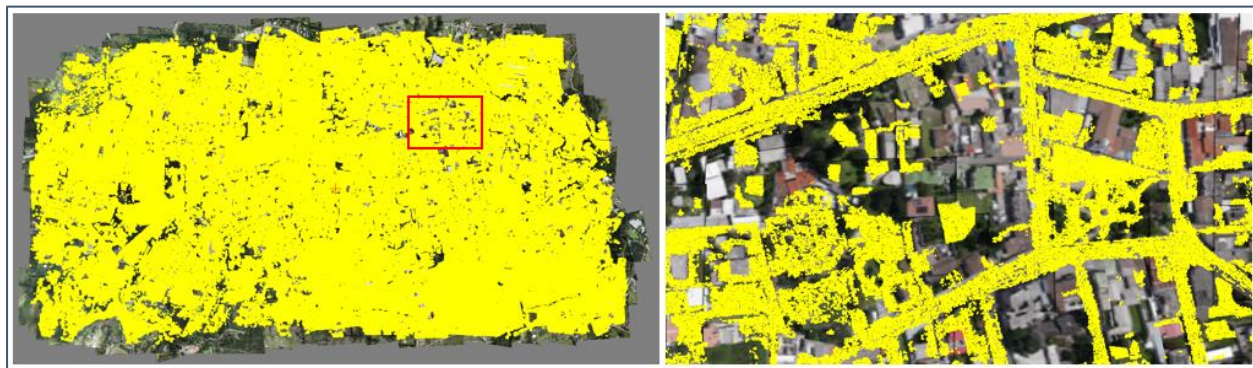


Figura 135. Nube de puntos depurada – Photomod UAS

- TIN

El TIN obtenido a partir de la nube de puntos se visualiza en la **Figura 136**.

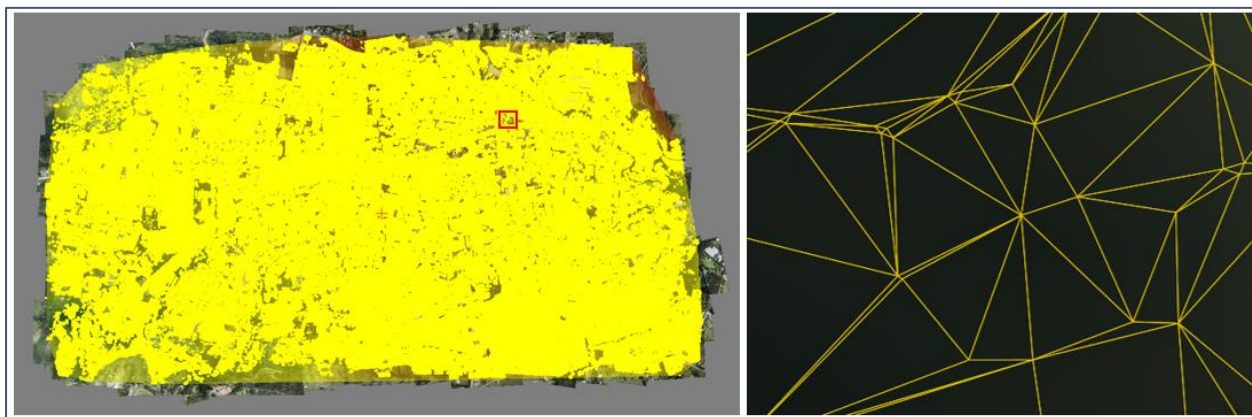


Figura 136. TIN obtenido a partir de la nube de puntos – Photomod UAS

- Modelo Digital de Elevaciones

El modelo digital de Elevaciones generado en el apartado **3.8.2.2** a partir del TIN posee tamaño de celda de 0.039 m, peso de 14.34 GB y se visualiza en la **Figura 137**.

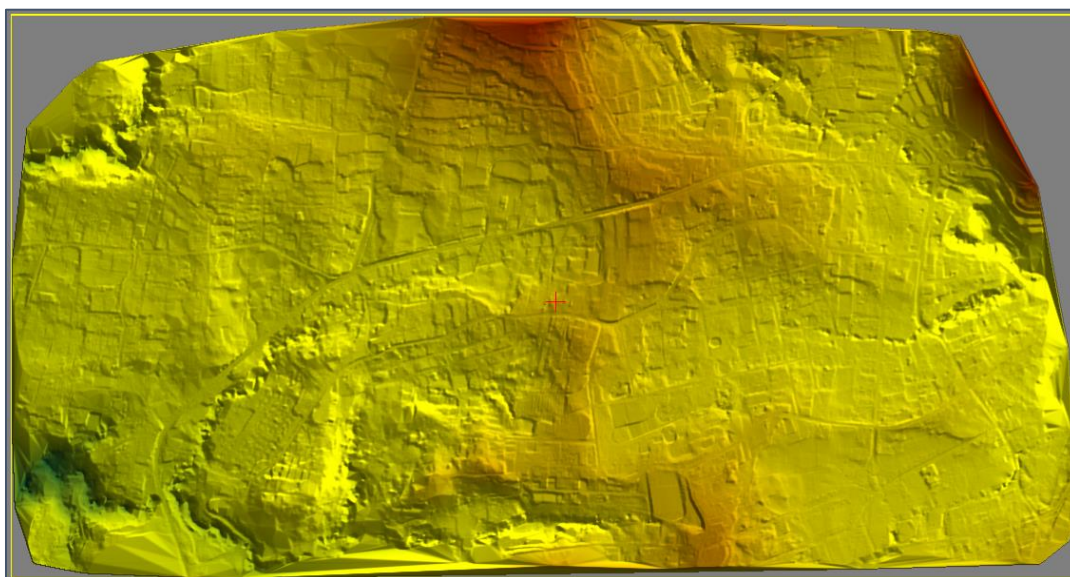


Figura 137. MDE obtenido – Photomod UAS

4.6.4.2 MDS

El modelo digital de superficie obtenido en el apartado 3.8.2.2. con el algoritmo SGM, tiene un tamaño de celda de 0.039 m y 16.63 GB, se generó con 82 GB de memoria RAM durante 7 días de procesamiento y se visualiza en la **Figura 138**.

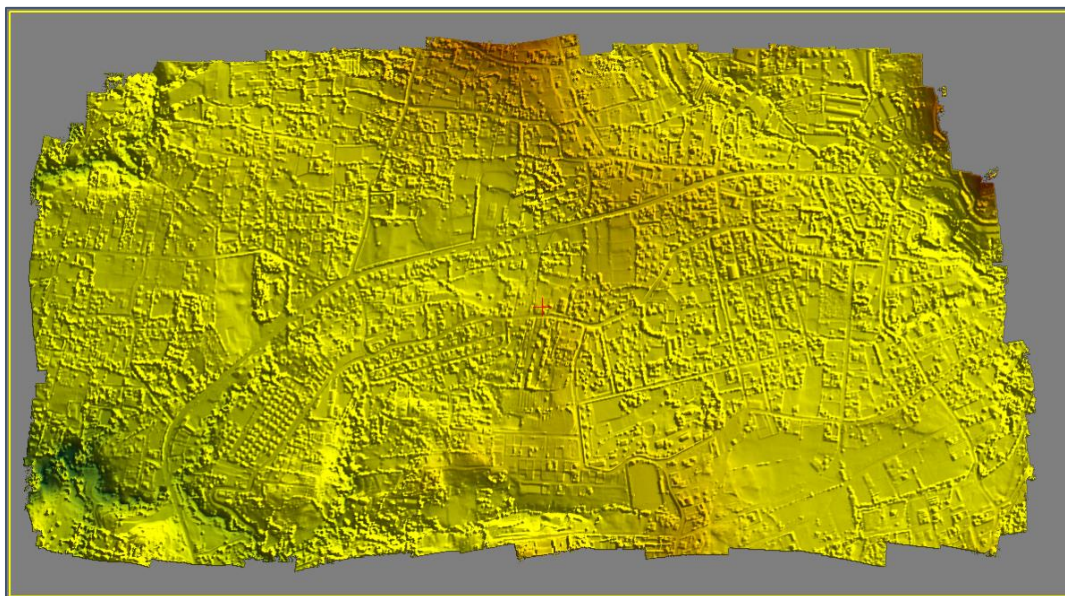


Figura 138. Obtención MDS a través de SGM – Photomod UAS

4.6.4.3 Ortomosaico Clásico

El reporte de control de exactitud contiene los tipos de puntos (GCP y enlace) que han sido usados durante el ajuste, los valores del RMS, máximos y mínimos en X, Y y XY, En ese sentido, el punto denominado Base al no estar pinchado no se usa durante el ajuste y se visualiza de color rojo, mientras que el resto de puntos si están marcados. El RMS posicional es igual a 10.96 mm y el valor máximo es 57.05 mm como se observa en la **Figura 139**.

Código	Nombre	Tipo	Usar	Ex, mm	Ey, mm	Exy, mm	Imagen
102078	Base	Control Terreno					
102079	P01	Control Terreno	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.662	-0.723	0.981	LA_MERGED_Flight_02_00131
102080	P02	Control Terreno	<input checked="" type="checkbox"/>	15.401	9.073	17.875	LA_MERGED_Flight_01_00384
102081	P03	Control Terreno	<input checked="" type="checkbox"/>	-9.896	9.630	13.808	LA_MERGED_Flight_02_00243
102082	P04	Control Terreno	<input checked="" type="checkbox"/>	5.429	0.864	5.498	LA_MERGED_Flight_02_00022
102083	P05	Control Terreno	<input checked="" type="checkbox"/>	-12.673	-9.570	15.881	LA_MERGED_Flight_02_00225
102084	P06	Control Terreno	<input checked="" type="checkbox"/>	6.810	4.414	8.115	LA_MERGED_Flight_01_00373
102085	P07	Control Terreno	<input checked="" type="checkbox"/>	-26.911	-10.031	28.720	LA_MERGED_Flight_02_00205
102086	P08	Control Terreno	<input checked="" type="checkbox"/>	-8.007	-10.192	12.961	LA_MERGED_Flight_02_00063
102087	P09	Control Terreno	<input checked="" type="checkbox"/>	3.000	4.775	5.640	LA_MERGED_Flight_01_00365
102088	P10	Control Terreno	<input checked="" type="checkbox"/>	6.447	-4.525	7.876	LA_MERGED_Flight_01_00077
102089	P11	Control Terreno	<input checked="" type="checkbox"/>	8.893	2.979	9.378	LA_MERGED_Flight_01_00172
102090	P12	Control Terreno	<input checked="" type="checkbox"/>	0.040	0.229	0.232	LA_MERGED_Flight_01_00061
102091	P13	Control Terreno	<input checked="" type="checkbox"/>	8.676	-7.862	11.709	LA_MERGED_Flight_01_00206
102092	P14	Control Terreno	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.477	-0.338	0.584	LA_MERGED_Flight_01_00049
1174	~1000	Enlace	<input checked="" type="checkbox"/>	2.562	-1.313	2.879	LA_MERGED_Flight_01_00023
40909	~1000000	Enlace	<input checked="" type="checkbox"/>	-2.687	1.243	2.960	LA_MERGED_Flight_01_00297
40910	~1000005	Enlace	<input checked="" type="checkbox"/>	-2.678	-3.204	4.175	LA_MERGED_Flight_01_00301
40911	~1000171	Enlace	<input checked="" type="checkbox"/>	-4.004	-0.923	4.109	LA_MERGED_Flight_01_00318
40912	~1000363	Enlace	<input checked="" type="checkbox"/>	-2.172	-4.737	5.212	LA_MERGED_Flight_01_00300
40913	~1000398	Enlace	<input checked="" type="checkbox"/>	-5.051	-1.638	5.311	LA_MERGED_Flight_01_00350
40914	~1000413	Enlace	<input checked="" type="checkbox"/>	-5.134	-1.430	5.329	LA_MERGED_Flight_01_00350
40915	~1000496	Enlace	<input checked="" type="checkbox"/>	-5.021	-1.058	5.132	LA_MERGED_Flight_01_00350
40916	~1000522	Enlace	<input checked="" type="checkbox"/>	-2.090	-7.240	7.536	LA_MERGED_Flight_01_00300
40917	~1000553	Enlace	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.443	-3.995	4.020	LA_MERGED_Flight_01_00299
40918	~1000581	Enlace	<input checked="" type="checkbox"/>	-2.672	2.449	3.625	LA_MERGED_Flight_01_00320
40919	~1000591	Enlace	<input checked="" type="checkbox"/>	-8.793	-3.421	9.435	LA_MERGED_Flight_01_00352
40920	~1000604	Enlace	<input checked="" type="checkbox"/>	-8.160	1.429	8.284	LA_MERGED_Flight_01_00350
5468	~100072	Enlace	<input checked="" type="checkbox"/>	5.469	-3.738	6.624	LA_MERGED_Flight_01_00036
40921	~1000770	Enlace	<input checked="" type="checkbox"/>	-4.068	-1.606	4.374	LA_MERGED_Flight_01_00351
40922	~1000793	Enlace	<input checked="" type="checkbox"/>	-3.907	-1.691	4.258	LA_MERGED_Flight_01_00352

EMC: X 9.3122 Y 5.7806 XY 10.9605 Máx.: X 52.6562 Y 47.5403 XY 57.0527

Refrescar Cerrar

Figura 139. Control de exactitud previo a la generación de ortofotos – Photomod UAS

Una de las ortofotos clásicas obtenidas en el apartado 3.8.2.3. se visualiza en la **Figura 140**.



Figura 140. Ortofoto obtenida – Photomod UAS

En la **Figura 141** se observa el ortomosaico clásico que posee un tamaño de pixel de 0.039 m. en el cual, se realizó la homogenización de color y la edición de las líneas de corte que unían cada ortofoto.



Figura 141. Ortomosaico clásico – Photomod UAS

4.6.4.4 Ortomosaico Verdadero

En la **Figura 142** se visualiza el ortomosaico verdadero en donde se aplicó la opción de “Ajuste de brillo global”, en consecuencia, la imagen no se homogenizó de manera correcta.



Figura 142. True Ortho con “Ajuste de brillo global” – Photomod UAS

En la **Figura 143** se ilustra el ortomosaico verdadero donde se realizó la homogenización de color de manera adecuada. Este fue generado a partir del modelo digital de superficie denso y tiene un tamaño de pixel de 0.039 m .



Figura 143. Ortomosaico verdadero – Photomod UAS

4.7 Resultados del procesamiento en UASMaster

En esta sección se presentan todos los resultados obtenidos durante el procesamiento en el programa UASMaster

4.7.1 Resultado del pinchado de GCP

En la **Figura 144** se observa el número de mediciones (imágenes) en las que se encuentra cada GCP, siendo el punto 14 el que menos coincidencias tiene al igual que en el apartado **4.6.2**, puesto que se encuentra ubicado en la parte más externa del bloque. Mientras que el GCP 7, es el punto que se encuentra en más imágenes (24 mediciones)

ID	Fold
P01	18
P02	13
P03	13
P04	17
P05	16
P06	14
P07	24
P08	16
P09	16
P10	10
P11	15
P12	15
P13	14
P14	7

Figura 144. Mediciones realizadas para cada GCP – UASMaster

4.7.2 Resultados del ajuste del bloque en UASMaster

- Ajuste con 14 GCP

El valor de “Sigma naught” es de 2.51 μ y la media de la desviación estándar de los puntos de terreno total es de 0.07 m. (Los valores de RMS para GNSS e IMU no existen puesto que no se activó esa opción para el ajuste)

Información del proyecto general

Project name	La Merced
Process	Georeferenciación
Computer node	CA-RESTITUIDORE
Operating system	Microsoft Windows 7 Professional Service Pack 1 (build 7601), 64-bit, version 6.1
Machine	Intel(R) Xeon(R) CPU E09 v2 @ 2.50GHz 8 cores 31.9 GByte RAM
Program version	9.0.0.54407
User name	ESPE
Report generation time	Thu May 30 11:30:51 2019
Processing time	Thu May 30 11:30:27 2019
Result file	C:\Users\ESPE\AppData\Local\Temp\UASMaster18-Precise AT\uasbox.prj
Number of used images	820 de 820
Number of used cameras	1 de 1
Number of strips	34
Flying height	min=2873.6 / avg=2878.3 / max=2883.1 [m]
Terrain height	min=2510.6 / avg=2590.9 / max=2647.5 [m]
Average photo scale	1 : 11242
Coordinate system	PROJCS["WGS 84 / UTM zone 17S", GEOGCS["WGS 84",DATUM["WGS_1984",SPHEROID["WGS 84", 6378137,298.257223563,AUTHORITY["EPSG","7030"]], AUTHORITY["EPSG","6326"]], PRIMEM["Greenwich",0,AUTHORITY["EPSG","8901"]], UNIT["degree",0.01745329251994328,AUTHORITY["EPSG", "9122"]], AUTHORITY["EPSG","4326"]], UNIT["metre",1,AUTHORITY["EPSG","9001"]], PROJECTION["Transverse_Mercator"], PARAMETER["latitude_of_origin",0], PARAMETER["central_meridian",-81], PARAMETER["scale_factor",0.9996], PARAMETER["false_easting",500000], PARAMETER["false_northing",1000000], AUTHORITY["EPSG","32717"], AXIS["Easting",EAST], AXIS["Northing",NORTH]]

Resultados del ajuste de bloque

Exactitud

Sigma naught	2.5140 [micron]
	0.5553 [pixel]

Media de la desviación estándar de los desplazamientos

X [m]	Y [m]	Z [m]	Total [m]
0.0383	0.0490	0.0476	0.0783

Media de la desviación estándar de las rotaciones

Omega [deg/1000]	Phi [deg/1000]	Kappa [deg/1000]
8.9981	6.5295	1.8983

Media de la desviación estándar de los puntos de terreno

X [m]	Y [m]	Z [m]	Total [m]
0.0238	0.0215	0.0670	0.0742

RMS values for GNSS

X [m]	Y [m]	Z [m]	Total [m]
---	---	---	---

RMS values for IMU

Omega (X) [deg]	Phi (Y) [deg]	Kappa (Z) [deg]
---	---	---

Puntos de control y de terreno

Ground control point residuals (given - adjusted)

ID	Fold	X [m]	Y [m]	Z [m]	Total [m]	f
P01	17	-0.0441	-0.0141	0.7591	0.7605	
P02	13	0.0021	-0.0138	0.3097	0.3101	
P03	12	0.0690	0.0008	-0.2883	0.2964	
P04	16	0.0363	-0.0504	0.1880	0.1980	
P05	16	0.0183	0.0193	-0.4104	0.4112	
P06	14	0.0145	0.0001	-0.2621	0.2625	
P07	22	-0.0351	-0.0457	-0.2145	0.2221	
P08	15	0.0241	0.0571	0.0201	0.0652	
P09	16	-0.0302	0.0767	0.4222	0.4302	
P10	9	-0.0566	0.0424	0.0460	0.0844	
P11	15	-0.0373	0.0290	-0.4227	0.4253	
P12	13	0.0068	0.0023	-0.7565	0.7566	
P13	13	-0.0540	0.0030	0.0970	0.1111	
P14	6	0.0861	-0.1067	0.5122	0.5302	
Maximum		0.0861	-0.1067	0.7591		
Mean		-0.0000	0.0000	0.0000		
Sigma		0.0449	0.0469	0.4185		
RMSE(x,y,z)		0.0433	0.0452	0.4033		
RMSEr		0.0626	SQRT(RMSEx * RMSEx + RMSEy * RMSEy)			
ACCr (at 95% Confidence Level)		0.1083	RMSEr * 1.7308			
ACCz (at 95% Confidence Level)		0.7905	RMSEz * 1.9600			

Figura 145. Reporte del ajuste con 14 GCP – UASMaster

- Ajuste con 14 GCP y Utilizar GNSS

Como comprobación final se volvió a ejecutar la orientación (con los 14 GCP) pero esta vez se activó la opción Utilizar GNSS; en donde, el valor de Sigma naught aumentó y la media de la desviación estándar de los desplazamientos, de las rotaciones y de los puntos de terreno disminuyeron. Además ahora se cuenta con el RMS para GNSS.

Información del proyecto general

Project name	La Merced
Process	Georeferenciación
Computer node	CA-RESTIUIDORE
Operating system	Microsoft Windows 7 Professional Service Pack 1 (build 7601), 64-bit, version 6.1
Machine	Intel(R) Xeon(R) CPU E09 v2 @ 2.50GHz 8 cores 31.9 GByte RAM
Program version	9.0.0.54407
User name	ESPE
Report generation time	Thu May 30 11:56:45 2019
Processing time	Thu May 30 11:56:21 2019
Result file	C:\Users\ESPE\AppData\Local\Temp\UASMaster18-Precise AT\uasbox.prj
Number of used images	820 de 820
Number of used cameras	1 de 1
Number of strips	34
Flying height	min=2871.8 / avg=2876.5 / max=2881.3 [m]
Terrain height	min=2508.8 / avg=2589.7 / max=2645.8 [m]
Average photo scale	1 : 11212
Coordinate system	PROJCS["WGS 84 / UTM zone 17S", GEOGCS["WGS 84",DATUM["WGS_1984",SPHEROID["WGS 84", 6378137.296,257223963,AUTHORITY["EPSG","7030"]], AUTHORITY["EPSG","6326"]], PRIMEM["Greenwich",0,AUTHORITY["EPSG","8901"]], UNIT["degree",0.01745329251994328,AUTHORITY["EPSG", "9122"]], AUTHORITY["EPSG","4326"]], UNIT["metre",1,AUTHORITY["EPSG","9001"]], PROJECTION["Transverse_Mercator"], PARAMETER["latitude_of_origin",0], PARAMETER["central_meridian",-81], PARAMETER["scale_factor",0.9996], PARAMETER["false_easting",500000], PARAMETER["false_northing",1000000], AUTHORITY["EPSG","32717"], AXIS["Easting",EAST], AXIS["Northing",NORTH]]]

Resultados del ajuste de bloque

Exactitud

Sigma naught	2.5797 [micron]
	0.5698 [pixel]

Media de la desviación estándar de los desplazamientos

X [m]	Y [m]	Z [m]	Total [m]
0.0237	0.0293	0.0103	0.0390

Media de la desviación estándar de las rotaciones

Omega [deg/1000]	Phi [deg/1000]	Kappa [deg/1000]
5.7515	4.4689	1.5526

Media de la desviación estándar de los puntos de terreno

X [m]	Y [m]	Z [m]	Total [m]
0.0178	0.0151	0.0535	0.0584

RMS values for GNSS

X [m]	Y [m]	Z [m]	Total [m]
0.0519	0.0526	0.0367	0.0825

RMS values for IMU

Omega (X) [deg]	Phi (Y) [deg]	Kappa (Z) [deg]
---	---	---

Puntos de control y de terreno

Ground control point residuals (given - adjusted)

ID	Fold	X [m]	Y [m]	Z [m]	Total [m]	f
P01	17	-0.0103	0.0216	1.1289	1.1292	
P02	13	0.0059	0.0798	1.1358	1.1386	
P03	12	0.0736	-0.0071	0.8268	0.8301	
P04	16	0.0434	-0.0117	1.0627	1.0637	
P05	16	0.0353	-0.0088	0.9553	0.9560	
P06	14	0.0283	-0.0254	1.1130	1.1136	
P07	22	0.0224	-0.1300	1.0060	1.0146	
P08	15	0.0559	-0.0080	1.0297	1.0312	
P09	16	0.0233	-0.0095	1.1274	1.1276	
P10	9	-0.0209	0.0765	1.0495	1.0525	
P11	15	-0.0049	0.0502	1.0903	1.0915	
P12	13	0.0024	-0.0011	0.9957	0.9957	
P13	13	-0.0064	-0.0758	1.0959	1.0985	
P14	6	0.1306	-0.1327	0.8784	0.8979	
Maximum		0.1306	-0.1327	1.1358		
Mean		0.0270	-0.0130	1.0354		
Sigma		0.0402	0.0646	0.0953		
RMSE(x,y,z)		0.0472	0.0635	1.0395		
RMSEr		0.0792	SQRT(RMSEx * RMSEx + RMSEy * RMSEy)			
ACCr (at 95% Confidence Level)		0.1370	RMSEr * 1.7308			
ACCz (at 95% Confidence Level)		2.0373	RMSEz * 1.9600			

Figura 146. Reporte del ajuste – Photomod UAS

4.7.3 Resultados de la generación de Productos

4.7.3.1 MDE

La **Figura 147** contiene nube de puntos obtenida con el algoritmo LSM/FBM en la vista “UAS Edit 2D” y “Administrador de nubes de puntos”.

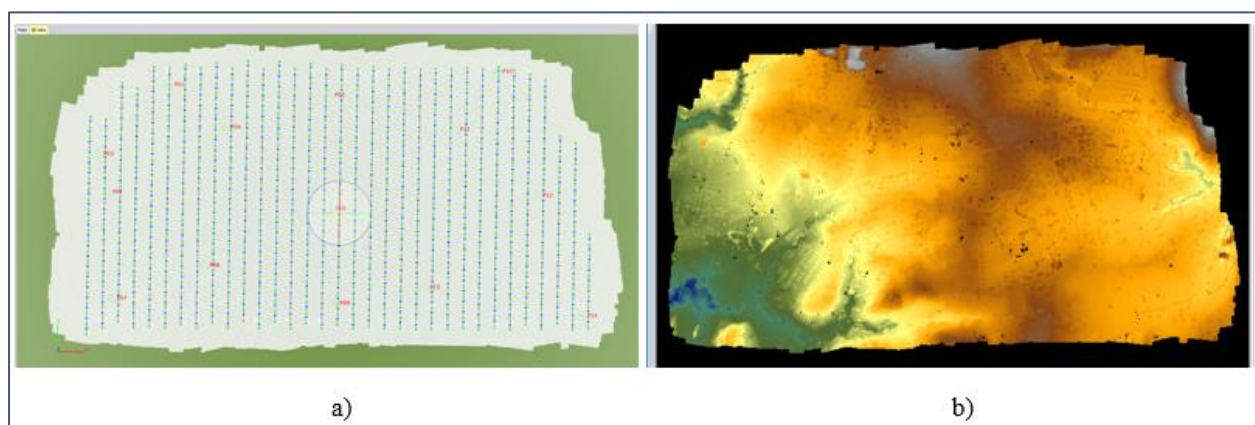


Figura 147. Modelo “Terrain”: a) Vista 2D b) Vista Admin. Nube puntos – UASMaster

4.7.3.2 MDS

- CBM

En la **Figura 148** se observa la nube de puntos generada con el método “Cost Based Matching” con nivel de extracción medio.

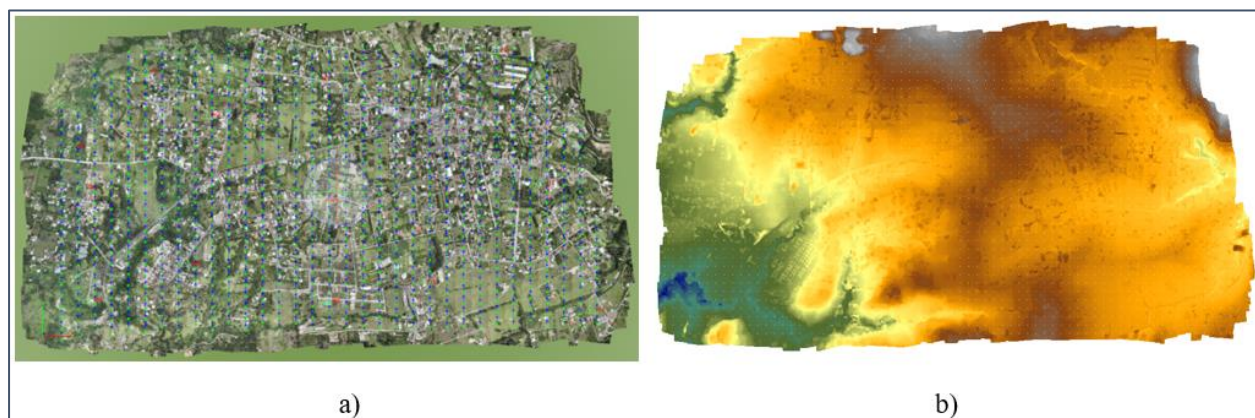


Figura 148. Modelo “Surface CBM”: a) Vista 2D b) Vista Nube puntos – UASMaster

- SGM (2.5_D)

En la **Figura 149** se visualiza la nube de puntos generada con el método “Semi Global Matching 2.5D” con nivel de extracción alto.

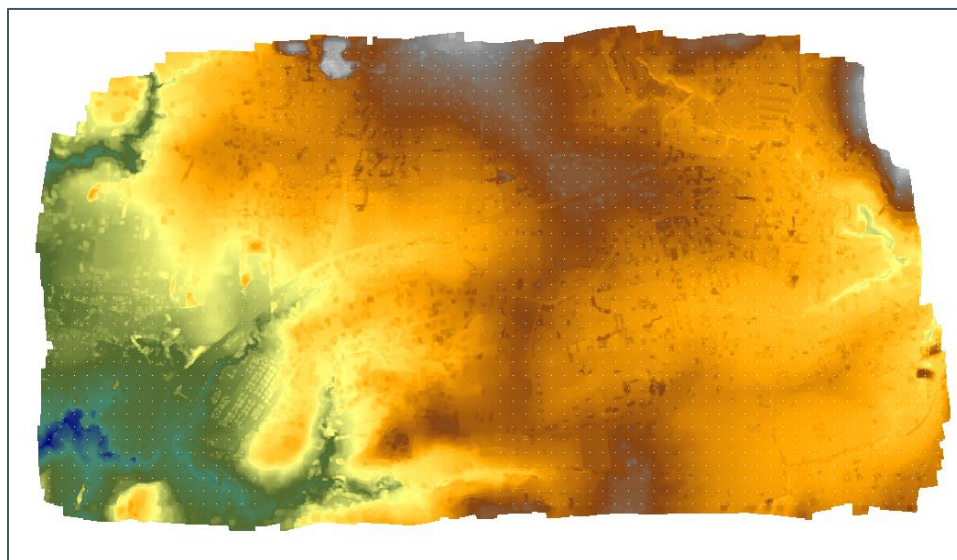


Figura 149. Modelo “Surface SGM_2.5D” – UASMaster

En la **Figura 150** se compara visualmente los modelos de superficie obtenidos en el programa UASMaster con los algoritmos “CBM” y “SGM 2.5D” y se observa las imágenes obtenidas en el vuelo para una referencia. En el cual, en la construcción A, con el algoritmo “CBM” se tienen puntos en la fachada, mientras que en la construcción B, se extrajeron puntos que corresponden a los cables de tensión eléctrica que deben ser eliminados. Por otra parte, con el algoritmo “SGM 2.5D” estos puntos no fueron capturados, disminuyendo así la tarea de depuración de la nube de puntos.

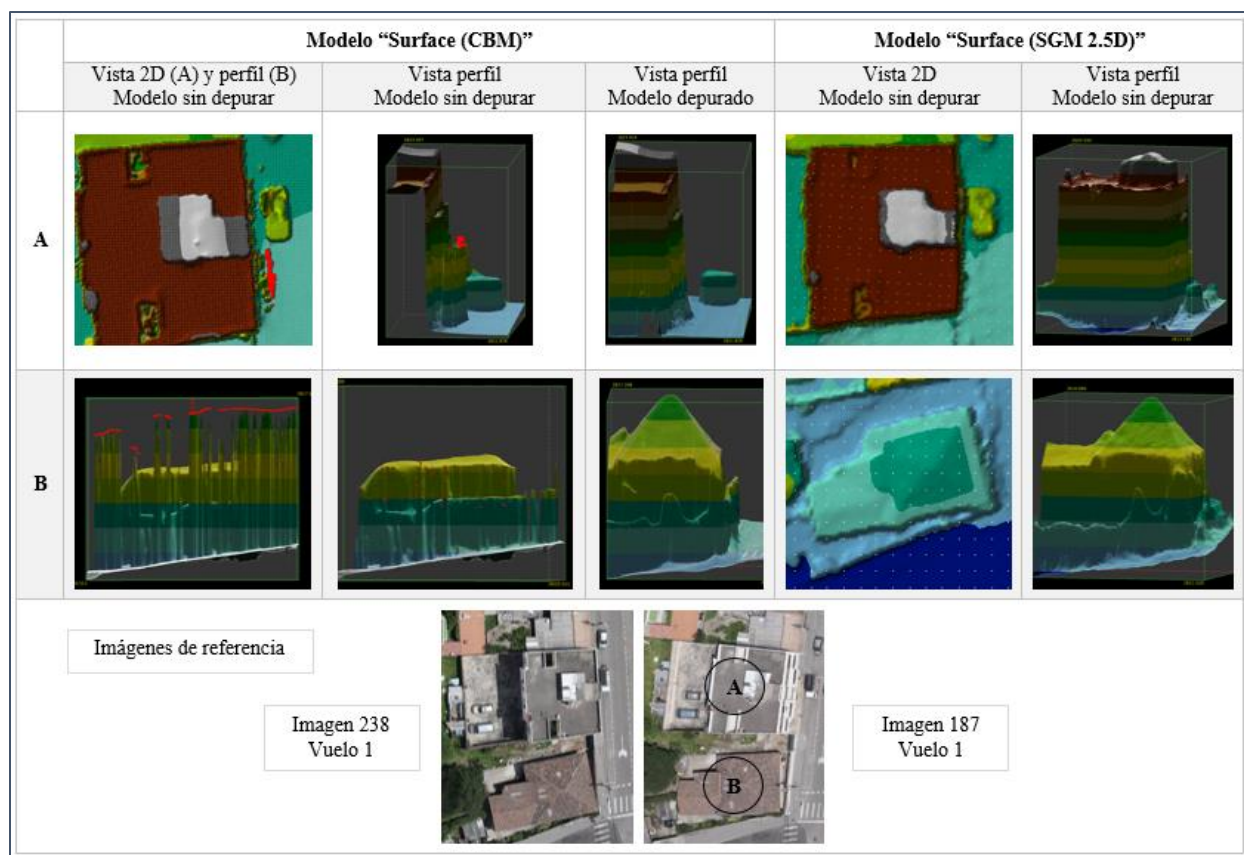


Figura 150. Comparación modelo: “Surface CBM” y “Surface SGM_2.5D” – UASMaster

4.7.3.3 Ortomosaico Clásico

El ortomosaico clásico obtenido a partir del modelo “Terrain LSM/FBM” se visualiza en la **Figura 151**.



Figura 151. Ortomosaico clásico – UASMaster

4.7.3.4 Ortomosaico Verdadero

En la *Figura 152* se observa el ortomosaico verdadero obtenido a partir del modelo “Surface SGM 2.5D”



Figura 152. Ortomosaico verdadero – UASMaster

4.8 Resultados de la restitución

La **Tabla 28** resume los elementos añadidos en la plantilla clasificados en capas.

Tabla 28*Elementos de la plantilla creada*

Capa	Elementos
Curvas	Curvas de nivel índice, curvas de nivel intermedias
Edificación	Casa, predio
Hidrografía	Río quebrada sencillo intermitente
Infraestructura	Iglesia, cancha, graderío, alambrada, muro, invernadero
Puntos acotados	Puntos desvanecidos
Vegetación	Cultivo, bosque
Vialidad	Camino 1, 2, 3, 4, Rodera, Sendero

En la **Figura 153** se visualiza los elementos restituidos de acuerdo al catálogo de objetos para la escala 1:1000.



Figura 153. Visualización de los elementos restituidos – Photomod UAS

4.9 Control de calidad

4.9.1 Evaluación visual y radiométrica

La **Figura 154** contiene muestras de cada ortomosaico, como era esperado los ortomosaicos clásicos presentan abatimiento en las construcciones. Mientras que, los ortomosaicos verdaderos,

tienen vista nadiral, sin embargo, los bordes no son muy definidos. Los productos obtenidos en UASMaster poseen gaps, especialmente el ortomosaico verdadero generado a partir del modelo “Surface” con el algoritmo CBM. En cuanto al ortomosaico verdadero generado a partir de un modelo denso en Photomod UAS, contiene diferencias de brillo que no pueden ser homogenizados.






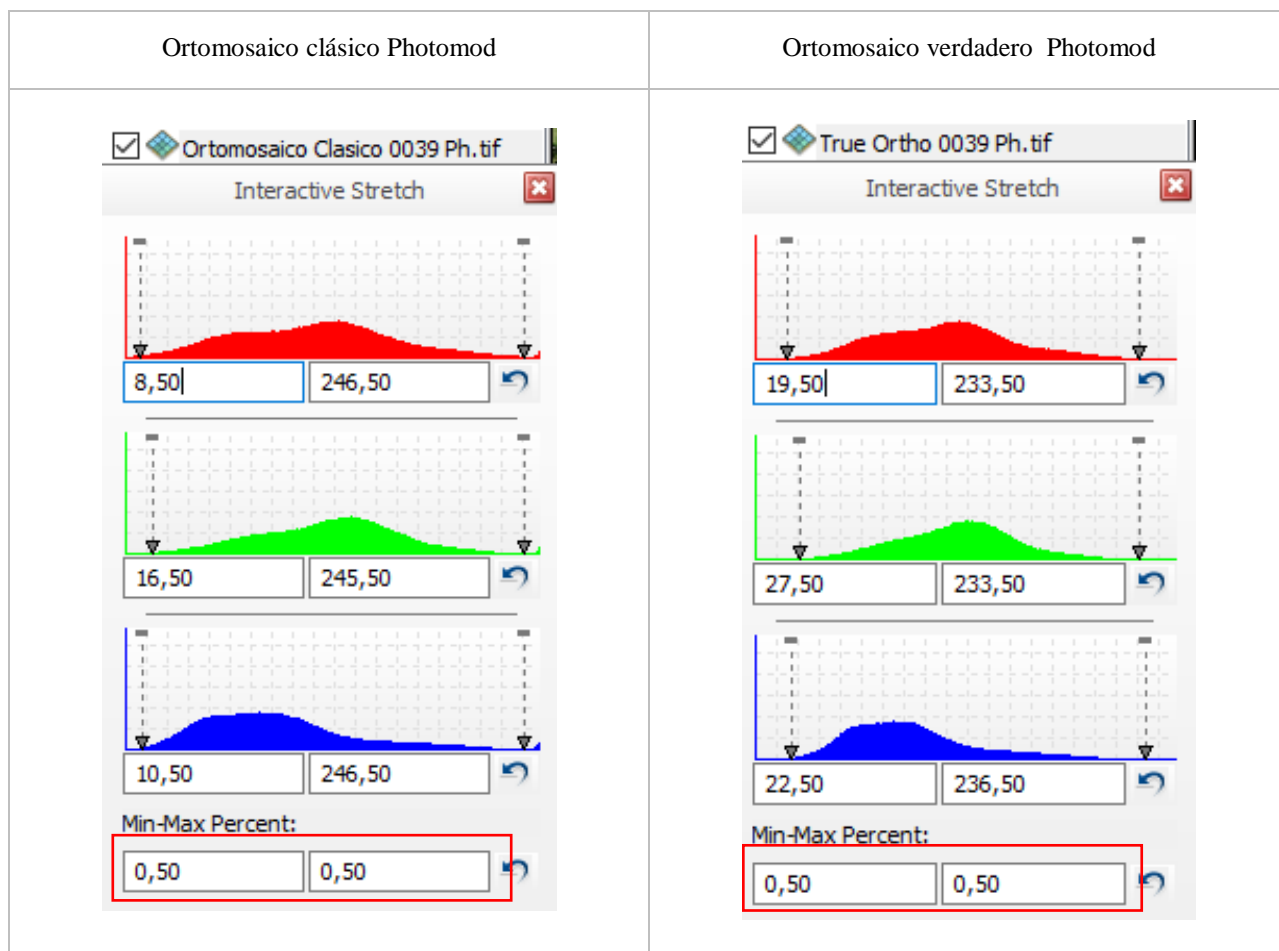
	UASMaster			Photomod UAS	
Ortofoto clásica Modelo Terrain	Ortofoto verdadera CBM	Ortofoto verdadera SGM	Ortofoto clásica MDE	Ortofoto verdadera MDS denso	
					
					





Figura 154. Comparación visual de los ortomosaicos obtenidos

Los resultados de la evaluación radiométrica se presentan en la **Figura 155**, en donde se observa el histograma de cada ortomosaico y la saturación de los extremos en cada uno, no supera al 0.5%, por lo que, cumple con lo mencionado por el IGM en la sección **2.16.3**



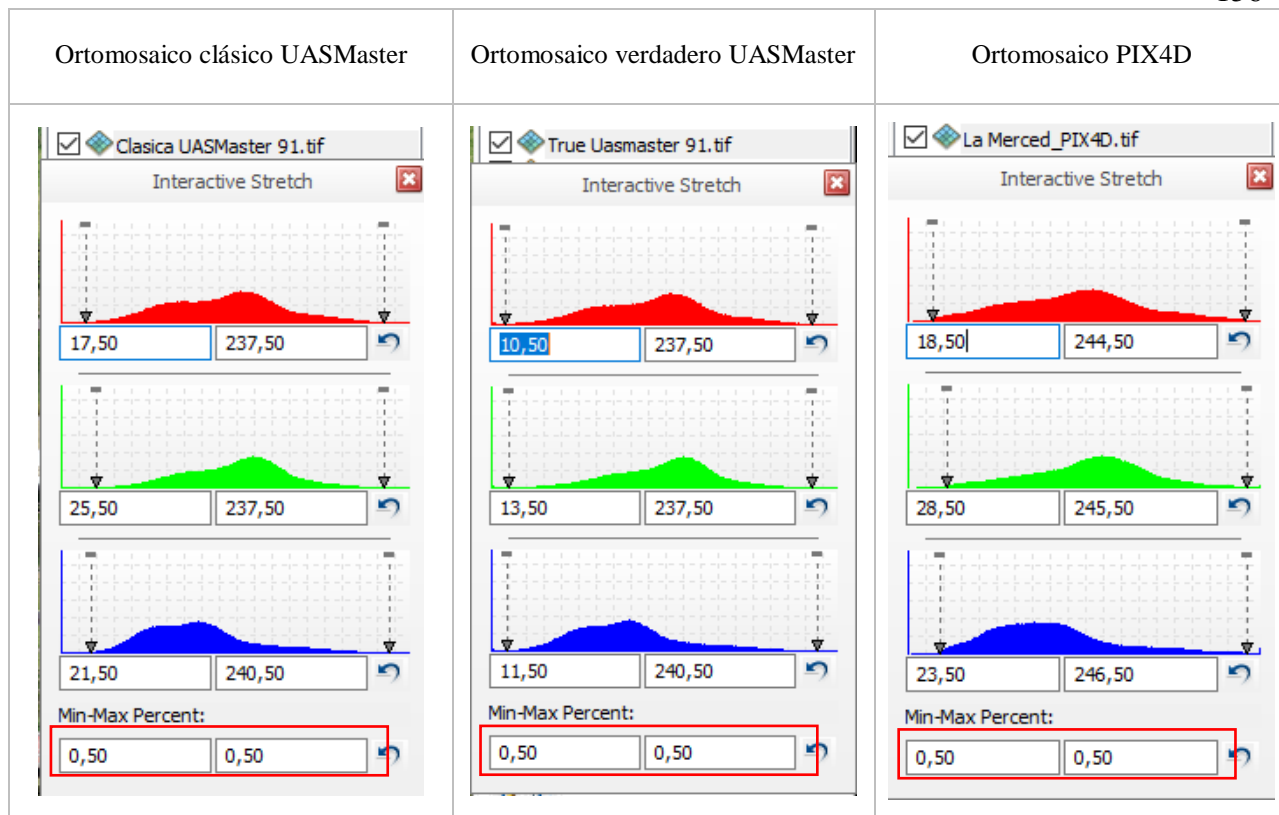


Figura 155. Evaluación radiométrica

En la **Tabla 29** se resume la evaluación visual y radiométrica de los ortomosaicos obtenidos, donde se compara si cumplen con el valor permitido para la saturación de los extremos (Histograma), si presentan gaps y bandeados. Además, se incluye el peso en GB y el tamaño de pixel en metros de cada uno.

Tabla 29

Comparación visual y radiométrica de los ortomosaicos

Producto	Histograma	Gaps	Bandeados	Peso [GB]	Tamaño pixel [m]
Ortomosaico Clásico Photomod	√	x	x	7.600	0.039
Ortomosaico Verdadero Photomod	√	x	√	11.850	0.039
Ortomosaico Clásico UASMaster	√	√	x	8.130	0.040
Ortomosaico Verdadero UASMaster	√	√	x	8.080	0.040
Ortomosaico Clásico PIX4D	√	x	x	10.690	0.380

4.9.2 Exactitud posicional

La aplicación del test NSSDA para los productos: “Ortomosaico simple – Photomod”, “True Ortho – Photomod”, “Ortomosaico simple – UASMaster” y “True Ortho UASMaster” se encuentran en la **Tabla 30**, **Tabla 31**, **Tabla 32**, y **Tabla 33** respectivamente.

Adicionalmente, la **Tabla 34** contiene el test aplicado en el Ortomosaico simple generado en PIX4D.

Tabla 30

Aplicación del test NSSDA para el ortomosaico clásico de Photomod UAS

N°	ID	Xcarto	Ycarto	ID	Xobservado	Yobservado	Distancia [m]	Xcarto-Xobs	(Xcarto-Xobs) ²	Ycarto-Yobs	(Ycarto-Yobs) ²
1	23	789244.376	9966808.58	17	789244.326	9966808.558	0.0545	0.050	0.002	0.022	0.000
2	2	787908.756	9967142.076	2	787908.783	9967142.024	0.0589	-0.027	0.001	0.052	0.003
3	22	789481.913	9967098.425	16	789482.107	9967098.459	0.1967	-0.194	0.038	-0.034	0.001
4	21	789864.932	9967106.673	15	789864.924	9967106.609	0.0641	0.008	0.000	0.064	0.004
5	1	788116.228	9966976.173	1	788116.03	9966976.325	0.2499	0.198	0.039	-0.152	0.023
6	19	790012.719	9967478.468	14	790012.79	9967478.466	0.0713	-0.071	0.005	0.002	0.000
7	0	788336.132	9967256.118	0	788336.089	9967256.044	0.0858	0.043	0.002	0.074	0.006
8	28	789711.449	9967499.727	19	789711.39	9967499.774	0.0753	0.059	0.003	-0.047	0.002
9	11	788689.37	9967347.246	8	788689.336	9967347.303	0.0662	0.034	0.001	-0.057	0.003
10	18	789771.07	9967825.683	13	789771.026	9967825.745	0.0757	0.044	0.002	-0.062	0.004
11	4	787595.811	9967532.492	3	787595.937	9967532.343	0.1955	-0.126	0.016	0.149	0.022
12	26	789145.075	9967397.88	18	789145.064	9967397.877	0.0112	0.011	0.000	0.003	0.000
13	5	788065.821	9967536.835	4	788065.779	9967536.788	0.0631	0.042	0.002	0.047	0.002
14	9	788855.233	9968049.551	7	788855.339	9968049.596	0.1146	-0.106	0.011	-0.045	0.002
15	14	788602.257	9967534.257	10	788602.372	9967534.233	0.1177	-0.115	0.013	0.024	0.001
16	16	789213.077	9967764.779	12	789213.14	9967764.77	0.0636	-0.063	0.004	0.009	0.000
17	6	787978.294	9967794.68	5	787978.362	9967794.558	0.1399	-0.068	0.005	0.122	0.015
18	7	788600.765	9967920.932	6	788600.714	9967920.87	0.0802	0.051	0.003	0.062	0.004
19	15	789407.912	9967925.199	11	789408.025	9967925.154	0.1220	-0.113	0.013	0.045	0.002
20	13	788742.936	9966950.797	9	788742.747	9966950.784	0.1897	0.189	0.036	0.013	0.000
RMSE_x										0.099	
RMSE_y										0.069	
RMSE_r										0.12	
Exactitud _r								0.208	95% Confianza	NSSDA	
Exactitud _r								0.18	90% Confianza	IGM	

Tabla 31*Aplicación del test NSSDA para el ortomosaico verdadero de Photomod UAS*

N°	ID	Xcarto	Ycarto	ID	Xobservado	Yobservado	Distancia [m]	Xcarto-Xobs	(Xcarto-Xobs) ²	Ycarto-Yobs	(Ycarto-Yobs) ²
1	23	789244.3759	9966808.58	17	789244.326	9966808.558	0.0545	0.050	0.002	0.022	0.000
2	2	787908.7556	9967142.076	2	787908.783	9967142.024	0.0589	-0.027	0.001	0.052	0.003
3	22	789482.1712	9967098.417	16	789482.107	9967098.459	0.0766	0.064	0.004	-0.042	0.002
4	21	789864.9027	9967106.599	15	789864.924	9967106.609	0.0237	-0.021	0.000	-0.010	0.000
5	1	788116.1912	9966976.203	1	788116.03	9966976.325	0.2020	0.161	0.026	-0.122	0.015
6	19	790012.6817	9967478.51	14	790012.79	9967478.466	0.1171	-0.108	0.012	0.044	0.002
7	0	788336.1318	9967256.118	0	788336.089	9967256.044	0.0858	0.043	0.002	0.074	0.006
8	28	789711.4491	9967499.727	19	789711.39	9967499.774	0.0753	0.059	0.003	-0.047	0.002
9	11	788689.3701	9967347.246	8	788689.336	9967347.303	0.0662	0.034	0.001	-0.057	0.003
10	18	789771.0023	9967825.632	13	789771.026	9967825.745	0.1158	-0.024	0.001	-0.113	0.013
11	4	787595.8106	9967532.492	3	787595.937	9967532.343	0.1955	-0.126	0.016	0.149	0.022
12	26	789145.0646	9967397.853	18	789145.064	9967397.877	0.0239	0.001	0.000	-0.024	0.001
13	5	788065.8213	9967536.835	4	788065.779	9967536.788	0.0631	0.042	0.002	0.047	0.002
14	9	788855.2335	9968049.551	7	788855.339	9968049.596	0.1146	-0.106	0.011	-0.045	0.002
15	14	788602.3943	9967534.336	10	788602.372	9967534.233	0.1055	0.022	0.000	0.103	0.011
16	16	789213.0295	9967764.811	12	789213.14	9967764.77	0.1178	-0.111	0.012	0.041	0.002
17	6	787978.2938	9967794.68	5	787978.362	9967794.558	0.1399	-0.068	0.005	0.122	0.015
18	7	788600.7648	9967920.932	6	788600.714	9967920.87	0.0802	0.051	0.003	0.062	0.004
19	15	789407.9116	9967925.199	11	789408.025	9967925.154	0.1220	-0.113	0.013	0.045	0.002
20	13	788742.8966	9966950.814	9	788742.747	9966950.784	0.1525	0.150	0.022	0.030	0.001
										RMSE _x	0.083
										RMSE _y	0.073
										RMSE _r	0.110
								Exactitud _r	0.191	95% Confianza	NSSDA
								Exactitud _r	0.167	90% Confianza	IGM

Tabla 32*Aplicación del test NSSDA para el ortomosaico clásico de UASMaster*

N°	ID	Xcarto	Ycarto	ID	Xobservado	Yobservado	Distancia [m]	Xcarto-Xobs	(Xcarto-Xobs) ²	Ycarto-Yobs	(Ycarto-Yobs) ²
1	23	789244.3878	9966808.581	17	789244.326	9966808.558	0.0660	0.062	0.004	0.023	0.001
2	2	787908.5836	9967142.103	2	787908.783	9967142.024	0.2143	-0.199	0.040	0.079	0.006
3	22	789482.326	9967098.441	16	789482.107	9967098.459	0.2197	0.219	0.048	-0.018	0.000
4	21	789864.953	9967106.604	15	789864.924	9967106.609	0.0294	0.029	0.001	-0.005	0.000
5	1	788116.0774	9966976.17	1	788116.03	9966976.325	0.1620	0.047	0.002	-0.155	0.024
6	19	790012.7703	9967478.41	14	790012.79	9967478.466	0.0595	-0.020	0.000	-0.056	0.003
7	0	788336.0524	9967256.132	0	788336.089	9967256.044	0.0949	-0.037	0.001	0.088	0.008
8	28	789711.465	9967499.664	19	789711.39	9967499.774	0.1333	0.075	0.006	-0.110	0.012
9	11	788689.2868	9967347.302	8	788689.336	9967347.303	0.0492	-0.049	0.002	-0.001	0.000
10	18	789771.0167	9967825.663	13	789771.026	9967825.745	0.0822	-0.009	0.000	-0.082	0.007
11	4	787595.9403	9967532.307	3	787595.937	9967532.343	0.0362	0.003	0.000	-0.036	0.001
12	26	789145.1003	9967397.897	18	789145.064	9967397.877	0.0413	0.036	0.001	0.020	0.000
13	5	788065.8504	9967536.77	4	788065.779	9967536.788	0.0737	0.071	0.005	-0.018	0.000
14	9	788855.3393	9968049.628	7	788855.339	9968049.596	0.0315	0.000	0.000	0.032	0.001
15	14	788602.434	9967534.22	10	788602.372	9967534.233	0.0634	0.062	0.004	-0.013	0.000
16	16	789213.2808	9967764.681	12	789213.14	9967764.77	0.1665	0.141	0.020	-0.089	0.008
17	6	787978.3996	9967794.593	5	787978.362	9967794.558	0.0513	0.038	0.001	0.035	0.001
18	7	788600.9029	9967920.898	6	788600.714	9967920.87	0.1909	0.189	0.036	0.028	0.001
19	15	789408.0148	9967925.104	11	789408.025	9967925.154	0.0511	-0.010	0.000	-0.050	0.003
20	13	788742.7385	9966950.824	9	788742.747	9966950.784	0.0406	-0.009	0.000	0.040	0.002
										RMSE _x	0.093
										RMSE _y	0.062
										RMSE _r	0.112
								Exactitud _r	0.193	95% Confianza	NSSDA
								Exactitud _r	0.166	90% Confianza	IGM

Tabla 33

Aplicación del test NSSDA para el ortomosaico verdadero de UASMaster

Nº	ID	Xcarto	Ycarto	ID	Xobservado	Yobservado	Distancia [m]	Xcarto-Xobs	(Xcarto-Xobs) ²	Ycarto-Yobs	(Ycarto-Yobs) ²
1	23	789244.4408	9966808.508	17	789244.326	9966808.558	0.1251	0.115	0.013	-0.050	0.002
2	2	787908.5836	9967142.103	2	787908.783	9967142.024	0.2143	-0.199	0.040	0.079	0.006
3	22	789482.148	9967098.54	16	789482.107	9967098.459	0.0909	0.041	0.002	0.081	0.007
4	21	789864.9398	9967106.617	15	789864.924	9967106.609	0.0177	0.016	0.000	0.008	0.000
5	1	788115.9563	9966976.292	1	788116.03	9966976.325	0.0805	-0.074	0.005	-0.033	0.001
6	19	790012.7782	9967478.442	14	790012.79	9967478.466	0.0271	-0.012	0.000	-0.024	0.001
7	0	788336.0921	9967256.057	0	788336.089	9967256.044	0.0138	0.003	0.000	0.013	0.000
8	28	789711.4888	9967499.727	19	789711.39	9967499.774	0.1093	0.099	0.010	-0.047	0.002
9	11	788689.2987	9967347.27	8	788689.336	9967347.303	0.0497	-0.037	0.001	-0.033	0.001
10	18	789771.001	9967825.652	13	789771.026	9967825.745	0.0968	-0.025	0.001	-0.093	0.009
11	4	787595.7974	9967532.434	3	787595.937	9967532.343	0.1666	-0.140	0.019	0.091	0.008
12	26	789145.1003	9967397.897	18	789145.064	9967397.877	0.0413	0.036	0.001	0.020	0.000
13	5	788065.8107	9967536.796	4	788065.779	9967536.788	0.0328	0.032	0.001	0.008	0.000
14	9	788855.3393	9968049.628	7	788855.339	9968049.596	0.0315	0.000	0.000	0.032	0.001
15	14	788602.3784	9967534.257	10	788602.372	9967534.233	0.0246	0.006	0.000	0.024	0.001
16	16	789213.2491	9967764.709	12	789213.14	9967764.77	0.1250	0.109	0.012	-0.061	0.004
17	6	787978.3996	9967794.593	5	787978.362	9967794.558	0.0513	0.038	0.001	0.035	0.001
18	7	788600.9029	9967920.898	6	788600.714	9967920.87	0.1909	0.189	0.036	0.028	0.001
19	15	789408.0545	9967925.052	11	789408.025	9967925.154	0.1059	0.029	0.001	-0.102	0.010
20	13	788742.7352	9966950.85	9	788742.747	9966950.784	0.0672	-0.012	0.000	0.066	0.004
RMSE_x										0.085	
RMSE_y										0.055	
RMSE_r										0.101	
Exactitud _r								0.175	95% Confianza	NSSDA	
Exactitud _r								0.150	90% Confianza	IGM	

Tabla 34

Aplicación del test NSSDA para el ortomosaico clásico de PIX4D

Nº	ID	Xcarto	Ycarto	ID	Xobservado	Yobservado	Distancia [m]	Xcarto-Xobs	(Xcarto-Xobs) ²	Ycarto-Yobs	(Ycarto-Yobs) ²
1	23	789244.3878	9966808.581	17	789244.326	9966808.558	0.0284	0.062	0.004	0.023	0.001
2	2	787908.5836	9967142.103	2	787908.783	9967142.024	0.1828	-0.199	0.040	0.079	0.006
3	22	789482.326	9967098.441	16	789482.107	9967098.459	0.3304	0.219	0.048	-0.018	0.000
4	21	789864.953	9967106.604	15	789864.924	9967106.609	0.0294	0.029	0.001	-0.005	0.000
5	1	788116.0774	9966976.17	1	788116.03	9966976.325	0.0833	0.047	0.002	-0.155	0.024
6	19	790012.7703	9967478.41	14	790012.79	9967478.466	0.1109	-0.020	0.000	-0.056	0.003
7	0	788336.0524	9967256.132	0	788336.089	9967256.044	0.0614	-0.037	0.001	0.088	0.008
8	28	789711.465	9967499.664	19	789711.39	9967499.774	0.1398	0.075	0.006	-0.110	0.012
9	11	788689.2868	9967347.302	8	788689.336	9967347.303	0.0372	-0.049	0.002	-0.001	0.000
10	18	789771.0167	9967825.663	13	789771.026	9967825.745	0.0282	-0.009	0.000	-0.082	0.007
11	4	787595.9403	9967532.307	3	787595.937	9967532.343	0.0550	0.003	0.000	-0.036	0.001
12	26	789145.1003	9967397.897	18	789145.064	9967397.877	0.0413	0.036	0.001	0.020	0.000
13	5	788065.8504	9967536.77	4	788065.779	9967536.788	0.1148	0.071	0.005	-0.018	0.000
14	9	788855.3393	9968049.628	7	788855.339	9968049.596	0.0447	0.000	0.000	0.032	0.001
15	14	788602.434	9967534.22	10	788602.372	9967534.233	0.1031	0.062	0.004	-0.013	0.000
16	16	789213.2808	9967764.681	12	789213.14	9967764.77	0.0621	0.141	0.020	-0.089	0.008
17	6	787978.3996	9967794.593	5	787978.362	9967794.558	0.0513	0.038	0.001	0.035	0.001
18	7	788600.9029	9967920.898	6	788600.714	9967920.87	0.1442	0.189	0.036	0.028	0.001
19	15	789408.0148	9967925.104	11	789408.025	9967925.154	0.0219	-0.010	0.000	-0.050	0.003
20	13	788742.7385	9966950.824	9	788742.747	9966950.784	0.0537	-0.009	0.000	0.040	0.002
RMSE_x										0.093	
RMSE_y										0.062	
RMSE_r										0.112	
Exactitud _r								0.193	95% Confianza	NSSDA	
Exactitud _r								0.166	90% Confianza	IGM	

En la **Tabla 35** se indican los estadísticos generales como: media, error típico, desviación estándar, rango, mínimo y máximo de los ortomosaicos clásicos y verdaderos; además, se resumen los valores de la exactitud posicional obtenidos en las tablas anteriores.

Tabla 35
Estadísticos generales de los ortomosaicos

Producto	Media [m]	Error típico [m]	Desviación Estándar [m]	Mínimo [m]	Máximo [m]	RMSE _x [m]	RMSE _y [m]	RMSE _r [m]	Exactitud _r (95%NC) [m]	Exactitud _r (90% NC) [m]
Ortomosaico Clásico Photomod	0.105	0.014	0.061	0.011	0.250	0.099	0.069	0.120	0.208	0.180
Ortomosaico Verdadero Photomod	0.100	0.011	0.049	0.024	0.202	0.083	0.073	0.110	0.191	0.167
Ortomosaico Clásico UASMaster	0.093	0.014	0.064	0.029	0.220	0.093	0.062	0.093	0.193	0.166
Ortomosaico Verdadero UASMaster	0.083	0.013	0.059	0.014	0.214	0.085	0.055	0.085	0.175	0.150
Ortomosaico Clásico PIX4D	0.086	0.016	0.073	0.022	0.330	0.093	0.062	0.093	0.193	0.166
Promedio	0.093	0.014	0.061	0.020	0.243	0.090	0.064	0.100	0.192	0.166

En la **Figura 156** se indica el orden ascendente del valor de exactitud posicional de los ortomosaicos obtenidos, evidenciando que cada uno cumple con los valores permitidos en la normativa para la escala 1:1000, que en este caso, de acuerdo a la ecuación (27) el límite aceptable es de 30 cm.

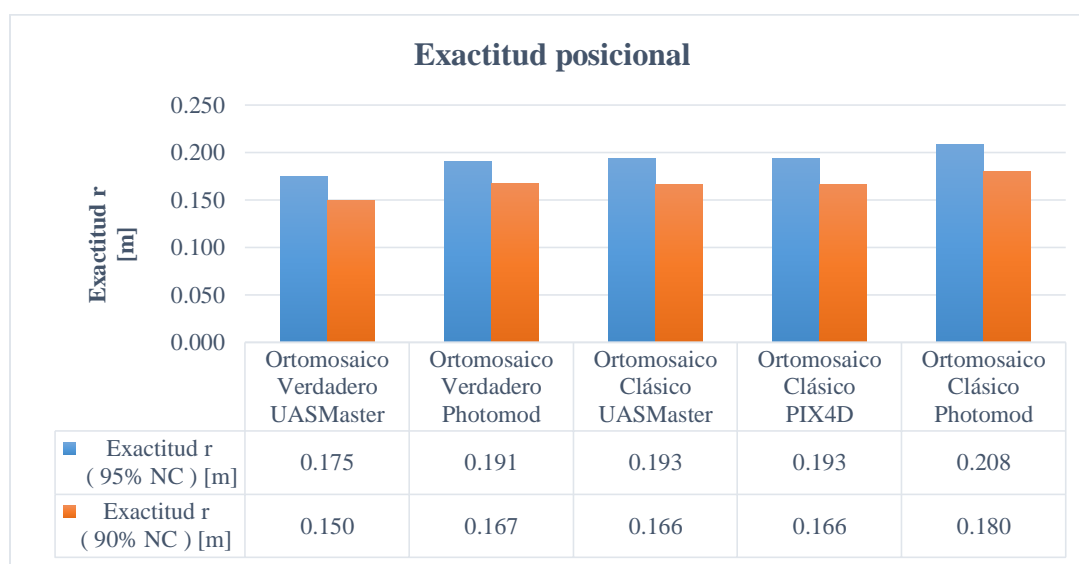


Figura 156. Exactitud posicional de los ortomosaicos

En la **Tabla 36** se tiene los resultados de la aplicación del test NSSDA para los elementos restituidos

Tabla 36
Aplicación del test NSSDA para la restitución

N	FID	Xcarto	Ycarto	ID	Xobservado	Yobservado	Distancia [m]	Xcarto-Xobs	(Xcarto-Xobs) ²	Ycarto-Yobs	(Ycarto-Yobs) ²		
1	6	788335.4877	9967255.94	p03	788335.423	9967255.886	0.0842	0.065	0.004	0.054	0.003		
2	1	788325.1927	9967273.308	p09	788325.174	9967273.347	0.0435	0.019	0.000	-0.039	0.002		
3	55	788366.6414	9967239.667	p17	788366.708	9967239.654	0.0679	-0.067	0.004	0.013	0.000		
4	0	788324.4103	9967273.164	p10	788324.343	9967273.221	0.0882	0.067	0.005	-0.057	0.003		
5	61	788778.4734	9966950.195	p68	788778.349	9966950.051	0.1880	0.124	0.015	0.144	0.021		
6	68	788780.0969	9966948.089	p71	788779.935	9966947.991	0.1907	0.162	0.026	0.098	0.010		
7	69	788788.2958	9966949.497	p74	788788.265	9966949.544	0.1070	0.031	0.001	-0.047	0.002		
8	22	788786.1698	9966946.985	p79	788786.054	9966946.999	0.1382	0.116	0.013	-0.014	0.000		
9	24	788785.9449	9966911.065	p84	788785.685	9966911.067	0.2514	0.260	0.068	-0.002	0.000		
10	83	788787.3329	9966902.151	p88	788787.1	9966902.082	0.2432	0.233	0.054	0.069	0.005		
11	92	788795.1111	9966893.916	p92	788795.062	9966893.841	0.1519	0.049	0.002	0.075	0.006		
12	87	788787.4056	9966890.668	p98	788787.214	9966890.517	0.2440	0.192	0.037	0.151	0.023		
13	99	788951.6217	9966883.275	p110	788951.62	9966883.357	0.0843	0.002	0.000	-0.082	0.007		
14	47	788955.9517	9966940.572	p115	788955.829	9966940.441	0.1480	0.123	0.015	0.131	0.017		
15	34	788959.3993	9966884.523	p122	788959.223	9966884.505	0.1032	0.176	0.031	0.018	0.000		
16	109	789086.1161	9966877.957	p133	789085.917	9966878.005	0.0565	0.199	0.040	-0.048	0.002		
17	38	789078.8203	9966928.924	p137	789078.687	9966928.759	0.1829	0.133	0.018	0.165	0.027		
18	103	788965.8242	9966921.184	p148	788965.795	9966921.228	0.2042	0.029	0.001	-0.044	0.002		
19	44	788961.5285	9966918.7	p150	788961.475	9966918.717	0.2043	0.053	0.003	-0.017	0.000		
20	12	788570.7387	9967210.057	p160	788570.681	9967209.91	0.0631	0.058	0.003	0.147	0.022		
										RMSE _x	0.131		
										RMSE _y	0.087		
										RMSE _r	0.157		
										Exactitud _r	0.271	95% Confianza	NSSDA
										Exactitud _r	0.233	90% Confianza	IGM

Producto	Media [m]	Desviación Estándar [m]	RMSE _r [m]	Exactitud _r (95% NC) [m]	Exactitud _r (90% NC) [m]
Restitución	0.142	0.068	0.157	0.271	0.233

Finalmente, la **Tabla 37** contiene los estadísticos calculados para los mosaicos de MDT, incluidos los valores de RMSE_z y en la **Figura 157** se indica el orden ascendente del valor de exactitud vertical de los mosaicos de MDT obtenidos. Indicando que los modelos digitales sobrepasan el valor permitido en la normativa para la escala 1:1000, que en este caso, de acuerdo a la ecuación (28) y considerando el intervalo de curva de 1 m es de 25 cm,

Tabla 37
Estadísticos generales de los mosaicos de MDT

Producto	Media [m]	Error típico [m]	Desviación Estándar [m]	Mínimo [m]	Máximo [m]	RMSE _v [m]	Exactitud _v (95% NC) [m]	Exactitud _v (90% NC) [m]
MDE Photomod	-0.393	0.010	0.113	-0.726	-0.103	0.364	0.712	0.600
MDS Photomod	-0.766	0.009	0.103	-0.994	-0.418	0.684	1.342	1.129
MDE UASMaster	-0.352	0.037	0.167	-0.726	-0.046	0.388	0.760	0.640
MDS UASMaster	-0.426	0.078	0.350	-0.955	0.441	0.546	1.071	0.901
MDE a partir de curvas	-0.747	0.074	0.772	-4.836	2.367	1.072	2.101	1.768
Promedio	-0.537	0.042	0.301	-1.647	0.448	0.611	1.197	1.008

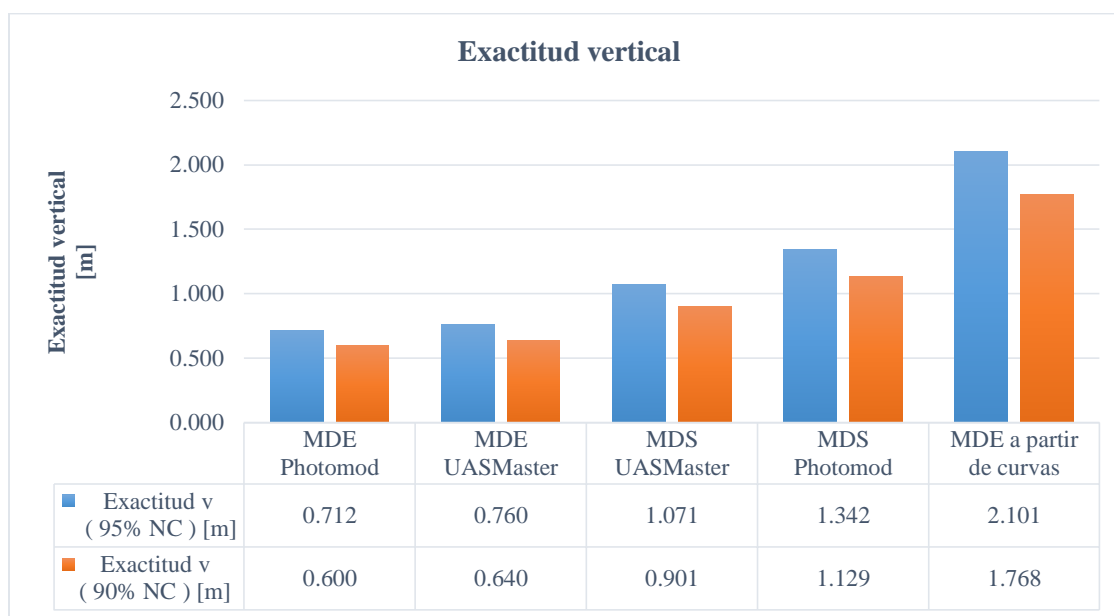


Figura 157. Exactitud vertical de los mosaicos de MDT

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este último capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones que se han obtenido luego de finalizar este trabajo, relacionadas con las metas planteadas inicialmente y los resultados de cada fase encaminados a la generación de True Orthos mediante imágenes obtenidas por aviones no tripulados de ala fija en el sector de La Merced

5.1 Conclusiones

Se cumplieron con todos los objetivos y metas propuestas para este proyecto. En donde se partió desde la planificación del vuelo y control terrestre para la zona de estudio, obteniendo así ortomosaicos clásicos y verdaderos, siendo estos últimos una opción para la generación de cartografía mediante digitalización, facilitando la captura de construcciones y manzanas.

Se elaboró un plan de vuelo y planificación de los puntos de apoyo para la captura de imágenes y control terrestre en una extensión de 300 ha con el uso del UAV de ala fija WingtraOne, cámara Sony RXIRII con lente de 35mm (**Tabla 23**). El mismo que constó con las consideraciones que estos equipos requieren: diferencias de altura, dirección de las líneas de vuelo, dirección del viento, amplitud de giro, obstrucciones bajo la altura de vuelo.

Se posicionó el punto Base y los 14 GCP de acuerdo a la planificación, los cuales mediante el post procesamiento alcanzan buenas precisiones (**Tabla 27**); en ese sentido, se cumple con los valores requeridos para los GCP que indica la normativa del IGM (7.5 cm para escala 1:1000).

Durante el proceso de aerotriangulación en las dos plataformas empleadas: Photomod y UASMaster, el RMSE posicional es de 0.006 m (**Figura 134**) y 0.062 m (**Figura 146**) respectivamente, cumpliendo con los valores permitido por la normativa del IGM (7.5 cm para escala 1:1000).

Se evaluó de manera visual y radiométrica los ortomosaicos, evidenciando que los ortomosaicos clásicos presentan abatimiento en las construcciones. Mientras que, los ortomosaicos verdaderos, tienen vista nadiral, sin embargo, los bordes no son muy definidos. En ese sentido, de los algoritmos de correlación empleados, el método Semi Global es el que permite obtener ortomosaicos verdaderos con mejores características. Por otra parte, ninguno sobrepasa el valor de saturación de 0.5% en los extremos del histograma y tienen una distribución normal, por lo que, cumplen con la normativa del IGM (**Tabla 29**).

Se aplicó el test NSSDA para evaluar los ortomosaicos clásicos y verdaderos alcanzando buenos resultados, al 90% de confianza como evalúa el IGM la exactitud posicional promedio es de 0.166 m y al 95% de confianza que evalúa la ASPRS el valor es de 0.192 (**Tabla 35**). Por lo que, todos se encuentran dentro del límite de la normativa (Precisión horizontal igual a 30 cm) para productos de escala 1:1000.

Los productos obtenidos mediante restitución fotogramétrica en un área de 40 Ha fueron evaluados con el test NSSDA, en donde la exactitud posicional promedio de 0.233 y 0.271 al 90% y 95% de confianza respectivamente (**Tabla 36**). Por lo tanto, se acepta para la escala 1:1000 de acuerdo a la normativa ($P_H = 30$ cm).

En cuanto los modelos digitales de superficie y elevación, al aplicar la misma norma, al 90% de confianza la exactitud vertical promedio es 1.008 m y al 95% de confianza es 1.197 m. De tal forma, todos sobrepasan el valor permitido en la normativa (Precisión vertical igual a 25 cm, con intervalo de curva de 1 m) (**Tabla 37**). Sin embargo, el “MDE Photomod” es válido para una escala máxima de 1:2400.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda el uso de procesamiento distribuido para etapas como: medición de puntos de enlace (tie points), obtención de nube de puntos especialmente si son para generar modelos de superficie densos y generación de ortofotos para disminuir el tiempo de ejecución.

Se recomienda revisar la normativa existente, con respecto a la altura de vuelo especialmente para el caso de las aeronaves de ala fija.

Se invita a la generación de ortofotos verdaderas a partir de nubes puntos obtenidas con datos LIDAR y la comprobación de estas con las nubes de puntos obtenidas por correlación.

Se recomienda considerar el uso de ortomosaicos verdaderos cuando se va a generar cartografía mediante digitalización. Puesto que los elementos verticales no tienen abatimiento y permiten la visibilidad del resto de objetos a capturar.

REFERENCIAS

- Aerial Insights. (2017a). *Tipos de drones en el mercado*. Obtenido de <http://www.aerial-insights.co/blog/tipos-de-drones/>
- Aerial Insights. (2017b). *6 Aplicaciones para planificar el vuelo de tu dron*. Obtenido de <http://www.aerial-insights.co/blog/6-aplicaciones-para-planificar-el-vuelo-de-tu-dron/>
- AltiGator. (2019). *Drone, UAV, UAS, RPA o RPAS*. Obtenido de <https://altigator.com/drone-uav-uas-rpa-or-rpas/>
- ASPRS. (Diciembre de 2013). *ASPRS Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*. Obtenido de http://www.asprs.org/a/society/divisions/pad/Accuracy/Draft_ASPRS_Accuracy_Standards_for_Digital_Geospatial_Data_PE&RS.pdf
- Atkinson, A., García, J., & Ariza, F. (Junio de 2001). Los diferentes test para el control de calidad posicional en cartografía. *Actas del XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica (INGEGRAF)*. Universidad de Extremadura. Badajoz, España.
- Axis Communications AB. (2019). *CCD and CMOS sensor technology. Technical white paper*. Obtenido de Axis Communications: https://www.axis.com/files/whitepaper/wp_ccd_cmos_40722_en_1010_lo.pdf
- Ayhan, E., Akar, Ö., Atay, G., & Tunc, G. (2006). Digital orthophoto generation with aerial photos and satellite images and analyzing of factors which affect accuracy.
- Balaguer, M. (2017). *Fotogrametría de Objeto Cercano. Conceptos básicos*. Valencia.
- Barazzetti, L., Brumana, R., Oreni, D., & Previtali, M. (2014). True Orthophoto generation from UAV images: Implementation of a combined photogrammetric and computer vision approach. *ISPRS*, 57-63.
- Barragán, G. (2015). Generación de ortofotos y cartografía 2D y 3D mediante procesos fotogramétricos digitales con Intergraph Erdas Imagine. *Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Matriz Sangolquí.
- Beisl, U., & Tempelmann, U. (Julio de 2016). Estimation of the atmospheric refraction effect in airborne images using radiosonde data. *ISPRS, XLI-B1*, 281-286. doi:10.5194/isprs archives-XLII-B1-281-2016
- Biasion, A., Dequal, S., & Lingua, A. (2004). A new procedure for the automatic production of true orthophotos. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/228555318_A_new_procedure_for_the_automatic_production_of_true_orthophotos

- Bone, E., & Bolkcom, C. (2003). *Unmanned Aerial Vehicles: Background and Issues for Congress*. U.S.A.
- Braun, J. (2003). Aspects on True-Orthophoto production. *Photogrammetric Week '97 Wichmann Verlag Heidelberg*, 205-214.
- Bustillos, J. (2014). Modelado en 3D mediante Fotogrametría de puente en Sangonera la Verde. *Universidad Politécnica de Cartagena*. Cartagena, España. Obtenido de <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4716/pfc5888.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Calvo, C., Herranz, F., & Calvo, P. (Febrero de 2014). De los UAV a los RPAS. *Perfiles IDS*, 14.
- Chen, Y., Briese, C., Karel, W., & Pfeifer, N. (2014). True Orthophoto generation using multi-view aerial images. *ISPRS*, 67-71.
- Chuquitarco, A. (2018). Análisis de los métodos de aerotriangulación y número de puntos de control sobre la calidad de las ortofotos con Erdas LPS Core y Orima. *Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Matriz Sangolquí.
- Claros, R., Guevara, A., & Pacas, N. (2016). Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados. *Universidad de El Salvador*. San Miguel, El Salvador.
- Coelho, L., & Nunes, J. (2009). *Fotogrametria digital*. Río de Janeiro: EDUERJ. Obtenido de http://files.labtopope.webnode.com/200000166-592785a262/APOSTILA_FOTOGRAMETRIA_DIGITAL_UERJ_2009.pdf
- COPTRZ. (7 de Junio de 2016). *Understanding drone payloads*. Obtenido de <https://www.coptrz.com/understanding-drone-payloads/>
- Dall'Asta, E. (2016). Semi-Global techniques in image matching and change detection with applications to civil and environmental engineering (Tesis doctoral). *Università degli Studi di Parma*. Parma, Italia. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/87fd/21d47754d4f6f39521c856e980e6d4280d66.pdf>
- DAT/EM Systems International. (2018). *Summit Evolution World - Class photogrammetric workstation*. Obtenido de <http://www.datem.com/summit-evolution/>
- Delair Aerial Intelligence. (s.f.). *Software downloads & updates*. Obtenido de <https://www.delair-analytics.com/tools/>
- DJI. (2019). *Phantom 4 Pro V2.0*. Obtenido de <https://www.dji.com/phantom-4-pro-v2>
- Drooing. (2019). *Mapeo con Dron – VANT*. Obtenido de <http://drooing.com/agriculture/>
- FGDC. (1998). *Geospatial Positioning Accuracy Standards. Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy*. Reston.

- GAD Parroquial de La Merced. (10 de 2015). *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Obtenido de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1768098920001_PDY_OT%20FINAL%20PARROQUIA%20LA%20MERCED_29-10-2015_15-55-17.pdf
- Gamal, L., Ramzi, A., Sharawi, A., & Bekheet, A. (March de 2018). Assessment of the true digital ortho from digital aerial camera and from LIDAR data. *The 12th international conference Geomatics of Middle East and North Africa*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/323446076_Assessment_of_the_true_digital_ortho_from_digital_aerial_camera_and_from_LIDAR_data/references
- Geoimage. (2018). *DEMS Overview*. Obtenido de Geoimage: <https://www.geoimage.com.au/DEMS/dems-overview>
- Gharibi, H., & Habib, A. (Abril de 2018). True orthophoto generation from aerial frame images and LiDAR data: an update. *Remote Sensing*, 10(4), 581. doi:10.3390/rs10040581
- GIS Resources. (Noviembre de 2013). *Introduction to Photogrammetry LPS*. Obtenido de <http://www.gisresources.com/wp-content/uploads/2013/11/Introduction-to-Photogrammetry-LPS.pdf>
- GIS Resources. (26 de Mayo de 2016). *Confused Between DEM, DTM and DSM*. Obtenido de GIS Resources: <http://www.gisresources.com/confused-dem-dtm-dsm/>
- Gobierno Parroquial La Merced. (2018). *La Parroquia - Información general*. Obtenido de <http://www.lamerced.gob.ec/web/index.php/la-parroquia/informacion-general>
- González, P. (2015). Levantamiento mediante GPS de una red de puntos establecidos para correlacionar los distintos espacios de la universidad en el mismo sistema de coordenadas. *Universidad Politécnica de Cartagena*. Cartagena, España.
- HSU Geospatial. (2015). *Distortion in aerial photos*. Obtenido de Introduction to Remote Sensing: http://gsp.humboldt.edu/olm_2015/Courses/GSP_216_Online/lesson2-2/distortion.html
- IGM. (2006). *Especificaciones técnicas generales para la realización de cartografía topográfica a cualquier escala*. Quito.
- IGM. (2016). *Especificaciones técnicas para la producción de cartografía escala 1:5000*. Quito.
- IGM. (Marzo de 2018). *Protocolo de Fiscalización para proyectos de generación de cartografía base con fines catastrales escala 1:1000 obtenidas a través de método aerofotogramétrico, digitalización 2D sobre ortofoto o levantamiento topográfico*. Obtenido de <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/descargas/normativa/>
- IGN - CNIG. (2015a). Curso de teledetección, fotogrametría, Lidar y ocupación del suelo. *Módulo 2: Fotogrametría, Teoría Cámaras y vuelo fotogramétrico*. España.

- IGN - CNIG. (2015b). Curso de teledetección, fotogrametría, Lidar y ocupación del suelo. *Módulo 2: Fotogrametría; Ejercicio Caso Proyecto de vuelo*. España.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. (2011). Restitución fotogramétrica digital. Colombia.
- Karabork, H., Yildiz, F., Coskun, E., Yilmaz, H., & Yakar, M. (2004). Investigation of accuracy for digital elevation models generated with different methods in photogrammetry. *ISPRS*, <https://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm3/papers/259.pdf>. Obtenido de https://www.academia.edu/31914113/Investigation_of_Accuracy_for_Digital_Elevation_Models_Generated_with_Different_Methods_in_Photogrammetry
- Mora, I. (2014). *LIDAR y escáner terrestre Light Detection and Ranging or Laser Imaging Detection and Ranging*. Obtenido de https://www.academia.edu/31038454/LIDAR_Y_ESC%C3%81NER_TERRESTRE_Light_Detection_and_Ranging_or_Laser_Imaging_Detection_and_Ranging
- Mozas, A. (2007). *Control de calidad posicional en cartografía por elementos lineales*. Jaén.
- Nielsen, M. O. (2004). True orthophoto generation. *Technical University of Denmark*. Kgs. Lyngby.
- OCW UPC. (2011). *Grupo A. Temas generales Grupo A.2 Fotogrametría y Teledetección*. Obtenido de <https://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=390209/2011/1/53971/a2-4511.pdf>
- Otero, I., Ezquerro, A., Rodríguez, R., Martín, L., & Bachiller, I. (s.f). *Fotogrametría*.
- PCI Geomatics. (2018a). *Explaining ground control points*. Obtenido de PCI Geomatics: https://www.pcigeomatics.com/geomatica-help/COMMON/concepts/GCP_explainGCPs.html
- PCI Geomatics. (2018b). *Choosing good ground control points*. Obtenido de PCI Geomatics: https://www.pcigeomatics.com/geomatica-help/concepts/orthoengine_c/Chapter_54.html
- Propeller Aero. (2018). *What is Ground Sample Distance (GSD) and how does it affect your drone data?* Obtenido de Propeller Aerobotics Pty Ltd: <https://www.propelleraero.com/blog/ground-sample-distance-gsd-calculate-drone-data/>
- Quirós, E. (2014). Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil. *1*. Cáceres, España: Universidad de Extremadura. Servicio de Publicaciones. Obtenido de https://www.academia.edu/10681910/Introducci%C3%B3n_a_la_Fotogrametr%C3%ADa_y_Cartograf%C3%ADa_aplicadas_a_la_Ingenier%C3%ADa_Civil
- Racurs. (2016). *From imagery to map: digital photogrammetric technologies*. Obtenido de 16th International Scientific and Technical Conference: <http://conf.racurs.ru/conf2016/eng/program/Proceedings.pdf>

- Racurs. (2018). *PHOTOMOD UAS*. Obtenido de <https://geo-matching.com/uploads/default/m/i/migrationwpi5em.pdf>
- Red de Información Ambiental de Andalucía. (2011). *Ortofoto*. Obtenido de <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/portada/>
- Rejón, J. (Mayo de 2018). *Multi-rotor o ala fija. Aprende a elegir*. Obtenido de RENTADRONE: <https://rentadrone.cl/multi-rotor-o-ala-fija-aprende-a-elegir/>
- Sánchez, J. (2007). *Introducción a la fotogrametría*. Madrid: E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos.
- Santos, L. (2005). Ortofoto verdadera (True-Otho) y Lidar, el posible futuro de la cartografía catastral urbana. *CT Catastro*, 131-154.
- Schenk, T. (2005). Introduction to photogrammetry. *The Ohio State University, 106*.
- SIGMUR. (2006). *Tema 6: Técnicas de filtrado*. Obtenido de <https://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema06.pdf>
- Tecnitop. (2019). *UAV. Drones / RPAs*. Obtenido de <https://tecnitop.com/es/uav-drones-rpas/>
- Trimble. (2016). Trimble UX5 HP aerial imaging solution user guide. 2.2.2. Sunnyvale, California, Estados Unidos.
- Trimble. (2016). Trimble UX5 HP aerial imaging solution user guide. 2.2.2. Sunnyvale, California, Estados Unidos.
- Trimble. (2019). *Inpho UASMaster*. Obtenido de <https://www.trimble.com/geospatial/inpho-uasmaster>
- Trimble Geospatial Division. (2013). *Trimble Business Center photogrammetry module white paper*. Obtenido de <https://www.cansel.ca/medias/Trimble-Business-Center-Photogrammetry-Module-White-Paper-English.pdf?context=bWFzdGVyfGltYWdldlc3wyMTY0ODg4fGFwcGxpY2F0aW9uL3BkZnRpbWFnZXMvaDRmL2hiOS84ODU0NzMyOTYzODcwLnBkZnZw1ZDk4ZjdjYTM4Y2Y5OWZlNGQ1MmVkJZGZzMDU1ZDFiYjcxMTVhZTQ4>
- Trimble Germany. (2018). UASMaster reference manual for version 9.0 and higher.
- TrumpUAV. (2018). *Battery-Powered VTOL Fixed-wing Drone UT-VF12E*. Obtenido de <http://www.trumpuav.com/product/battery-powered-vtol-fixed-wing-ut-vf12e/>
- Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital Colombia. (2015). *Cómo evaluar y reportar la calidad de los datos espaciales*. Obtenido de https://www.ideca.gov.co/sites/default/files/IDECA-Curso-Taller-Estandar-y-Calidad_Octubre.pdf

- Vozmediano, D. (2006). Fotogrametría digital aplicada a la obtención de ortofotos y modelos digitales en entidades patrimoniales. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU.
- Waltham, N. (2013). CCD and CMOS sensors. En M. Huber, A. Pauluhn, J. Culhane, J. Timothy, K. Wilhelm, & A. Zehnder (Edits.), *Observing Photons in Space. ISSI Scientific Report Series* (Vol. 9, págs. 423-442). New York. doi:10.1007/978-1-4614-7804-1_23
- Wingtra. (2018a). WingtraOne technical specification sheet. Zúrich, Suiza.
- Wingtra. (2018b). WingtraOne User Manual. 1.8. Zúrich, Suiza.
- Wingtra Knowledge Base. (s.f.). *Process your data*. Obtenido de Wingtra Knowledge Base: <https://knowledge.wingtra.com/process-your-data>
- Yáñez, A. (2019). Evaluación de la calidad de datos geográficos de la cartografía urbana del cantón Pujilí escala 1:1000. *Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Matriz Sangolquí.
- Yu, S., Heo, J., & Kwon, Y. (2016). Technical Analysis of VTOL UAV. *Journal of Computer and Communications*, 4(15), 92-97. doi:10.4236/jcc.2016.415008
- Zhou, Q. (2017). Digital elevation model and digital surface model. En *The International Encyclopedia of Geography*. doi:10.1002/9781118786352.wbieg0768

ANEXOS