



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**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**TEMA: METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE CATASTRO FÍSICO
MEDIANTE EL USO DE NUEVA TECNOLOGÍA FOTOGRAFÉTRICA.**

AUTOR: ZURITA GUTIÉRREZ, BYRON ALEJANDRO

DIRECTOR: ING. ALEXANDER ROBAYO

CODIRECTOR: ING. PABLO PÉREZ

SANGOLQUÍ

2015

CERTIFICACIÓN

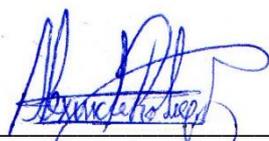
Ing. Alexander Robayo N.

Ing. Pablo Pérez S.

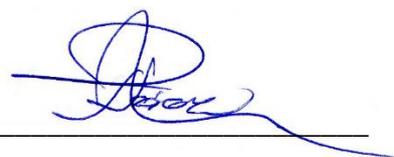
Certifican:

Que el trabajo titulado “**METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE CATASTRO FÍSICO MEDIANTE EL USO DE NUEVA TECNOLOGÍA FOTOGRAMÉTRICA**”, realizado por el Sr. BYRON ALEJANDRO ZURITA GUTIÉRREZ, ha sido revisado prolijamente y cumple con los requerimientos: teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la ESPE, por lo que nos permitimos acreditarlo y autorizar su entrega al Ing. Wilson Jácome, en su calidad de Director de la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. El trabajo en mención consta de dos empastados y dos discos compactos el cual contienen el documento en formato portátil de Acrobat (PDF).

Sangolquí, Mayo de 2015



Ing. Alexander Robayo
DIRECTOR



Ing. Pablo Pérez
CODIRECTOR

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.

Yo, Byron Alejandro Zurita Gutiérrez, declaro que el proyecto de grado titulado **“METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE CATASTRO FÍSICO MEDIANTE EL USO DE NUEVA TECNOLOGÍA FOTOGRAFAMÉTRICA”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Mayo de 2015

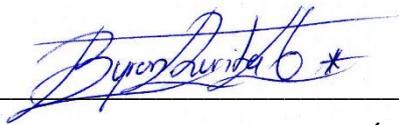


BYRON ALEJANDRO ZURITA GUTIÉRREZ

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, Byron Alejandro Zurita Gutiérrez, autorizo la publicación de este Proyecto de Tesis llamado **“METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE CATASTRO FÍSICO MEDIANTE EL USO DE NUEVA TECNOLOGÍA FOTOGRAMÉTRICA”**, en la biblioteca virtual de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE; que es de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, Mayo de 2015



BYRON ALEJANDRO ZURITA GUTIÉRREZ

DEDICATORIA

A mi familia, quienes siempre han estado a mi lado demostrándome su apoyo, paciencia y amor en todas las etapas de mi vida, son quienes me han enseñado sobre lo importante que son los valores, perseverancia y dedicación para tener éxito en todo lo que me propongo.

A mis abuelitos quienes con su trabajo y esfuerzo a lo largo de su vida me han demostrado lo importante que es el amor y trabajo duro en pareja y en familia.

A mi madre por haberme brindado la oportunidad de existir y compartir con ella muchas experiencias hermosas.

A mis tías Lucía y Nidia por dedicarme su tiempo y paciencia para poder terminar mis estudios de manera exitosa.

A mis hermanos José y Evelyn por permitirme compartir con ellos la hermosa experiencia de tener en quien confiar y sentir el cariño que solo entre hermanos se puede tener.

A Erika mi novia por ser mi motivación para prepararme, ser una persona mejor cada día de mi vida y por permitirme soñar en un futuro juntos.

A mis compañeros inseparables de la universidad Karlita, Pablo, Santiago y Alejo, por demostrarme siempre su apoyo y compañerismo desde que iniciamos esta gran aventura.

AGRADECIMIENTO

A mi familia por ser la motivación principal para haber culminado mis estudios con éxito.

A la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, por haberme aceptado dentro de sus aulas para adquirir el conocimiento que me ayudaran a ser un gran profesional.

A mis profesores y amigos en la Carrera de Ingeniería Geográfica.

A mis directores de tesis Ing. Alexander Robayo e Ing. Pablo Pérez, quienes con su conocimiento y compañerismo me han guiado a lo largo de mis estudios y a la culminación exitosa del presente proyecto.

A la empresa Instrumental y Óptica por apoyarme con el préstamo de equipo y conocimiento necesario para el desarrollo de mi proyecto de Tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

ASPECTOS GENERALES	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3.1 Árbol de Problema	4
1.3.2 Descripción del problema	5
1.4 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	5
1.4.1 Datos generales de la zona de estudio.....	5
1.4.2 Ubicación Geográfica de la Zona de Estudio.....	6
1.5 OBJETIVOS.....	8
1.5.1 Objetivo general	8
1.5.2 Objetivos específicos	8
1.6 METAS	8
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 FOTOGRAMETRÍA.....	9
2.1.1 Introducción	9
2.1.2 Etapas de la Fotogrametría.....	10
2.1.3 Clasificación de la Fotogrametría	11
2.1.4 Proyecto Fotogramétrico Digital.....	15
2.2 PROCESO FOTOGRAMÉTRICO DIGITAL	30
2.2.1 Introducción	30
2.2.2 Planificación del Proyecto Fotogramétrico.....	31
2.2.3 Proyecto Fotogramétrico Aéreo	31
2.2.4 Proyecto Fotogramétrico Terrestre	37
2.2.5 Ejecución del Proyecto.....	38
2.2.6 Software Fotogramétrico.....	39
2.3 PRODUCTOS FOTOGRAMÉTRICOS	41
2.3.1 Modelos Digitales del Terreno.....	41
2.3.2 Ortoimágenes	42
2.4 CATASTRO	43
2.4.1 Clasificación del Catastro.	44

2.4.2	Componentes del Catastro.....	46
2.4.3	Sistema de Información Geográfica (SIG).....	48
2.4.4	Geodatabase	48
2.4.5	Elementos Altimétricos, Planimétrico, Símbolos y Formatos	50
2.4.6	Precisiones Finales	51
2.5	CONTROL DE CALIDAD.....	52
2.5.1	Control de Calidad del Insumo.	52
2.5.2	Control de Calidad de los Productos Cartográficos	53
METODOLOGÍA		53
1.1	FOTOGRAMETRÍA AÉREA CON EL UAV TRIMBLE UX5.	53
1.1.1	Descripción del Equipo Trimble UX5	53
3.1.2	Planificación del Vuelo Fotogramétrico	58
3.1.3	Planificación del Vuelo Fotogramétrico con el UAV Trimble UX5	66
3.1.4	Ejecución del Vuelo Fotogramétrico	71
3.1.5	Apoyo Terrestre GNSS	73
3.1.6	Procesamiento de la Misión Fotogramétrica Aérea	80
3.1.7	Ajuste y Creación de Entregables	87
3.2	Generación de la Cartografía Catastral.....	91
3.2.1	Generación de los Modelos Lógicos para la Cartografía Catastral.....	91
3.3	Digitalización de la Cartografía.....	97
3.4	FOTOGRAMÉTRIA TERRESTRE CON EL EQUIPO TRIMBLE V10.....	101
3.4.1	Fotogrametría Terrestre para la Obtención de Catastro Físico	104
3.4.2	Diferencias entre Fotogrametría Aérea y Terrestre.....	104
3.4.3	Planificación del Proyecto Fotogramétrico Terrestre	105
3.4.4	Ejecución del Proyecto Fotogramétrico Terrestre.....	109
3.4.5	Procesamiento de la Misión Fotogramétrica Terrestre	111
3.4.6	Creación de Entregables.....	117
3.4.7	Generación de la Cartografía 3D.....	119
3.4.8	Generación del Modelo Gráfico.....	123
4.1	Control de Calidad del Ortomosaico de 220 metros de Altura	124
4.1.1	Planificación del Muestreo.....	124
4.1.2	Toma de Muestras	126
4.1.3	Procesamiento de la Información.....	127
4.1.4	Prueba de Hipótesis.....	128

4.2	Control de Calidad Ortomosaico del Vuelo 750 m de Altura.	132
4.2.1	Planificación del Muestreo.....	133
4.2.2	Toma de Muestras	133
4.3	Control de Calidad de los Modelos de Elevación.	138
4.3.1	Planificación del Control Vertical.....	139
4.3.2	Ejecución del Control Vertical.....	139
4.3.3	Análisis de los Datos.....	140
4.4	Exactitud Posicional de la Cartografía.	142
4.5	Control de Calidad de la Cartografía Catastral.	144
4.5.1	Factores de Evaluación y Cuantificadores	145
4.5.2	Asignación de Pesos a los Factores.....	147
4.5.3	Calificación de la Cartografía.	150
4.6	Análisis de Calidad de la Cartografía Tridimensional.	153
4.6.1	Comparación de Técnicas de Dibujo Tridimensional.....	154
4.7	Análisis de costos para la metodología.	156
4.7.1	Costo de la misión fotogramétrica aérea.....	156
4.7.2	Costo de la misión Fotogramétrica terrestre	157
CAPITULO V		159
5.1	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	159
5.1.1	CONCLUSIONES	159
5.1.2	RECOMENDACIONES	161
Bibliografía		162

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de Zona de Estudio.....	7
Tabla 2. Post- Proceso.....	19
Tabla 3. Aplicaciones del Posicionamiento GNSS.....	20
Tabla 4. Software Fotogramétricos.....	40
Tabla 5. Características UAV Trimble UX5.....	53
Tabla 6. Características de la Cámara Sony NEX-5R.....	57
Tabla 7. Tamaño de Pixel Utilizado para la Producción Cartográfica.....	58
Tabla 8. Dimensiones de la Misión Fotogramétrica.....	67
Tabla 9. Dimensiones de la Misión Fotogramétrica.....	68
Tabla 10. Características de los Archivos Descargados.....	73
Tabla 11. Coordenadas de la Estación Cotopaxi (IGM).....	76
Tabla 12. Coordenada del Punto PCT1.....	77
Tabla 13. Resumen de las Coordenadas de los Puntos de Control.....	78
Tabla 14. Diferencias entre la Planificación y la Ejecución del Vuelo a 220 m.....	83
Tabla 15. Diferencias entre la Planificación y la Ejecución del Vuelo a 750 m.....	83
Tabla 16. Productos Fotogramétricos de las dos Misiones Aéreas.....	90
Tabla 17. Modelo Gráfico.....	96
Tabla 18. Características del Equipo Trimble V10.....	101
Tabla 19. Características del Sensor Fotográfico del Trimble V10.....	103
Tabla 20. Diferencias entre el Ajuste Automático y Manual.....	114
Tabla 21. Productos Panorámicos del Trimble V10.....	118
Tabla 22. Diferencia entre las Medidas de Campo y el Ortomosaico.....	127
Tabla 23. Dimensiones de las Muestras.....	134
Tabla 24. Datos de Elevación de los Modelos.....	140
Tabla 25. Diferencias entre el Levantamiento Topográfico y la Cartografía 1:5000.....	142
Tabla 26. Diferencias entre el Levantamiento Topográfico y la Cartografía 1:1000.....	143
Tabla 27. Factores de Evaluación y Cuantificadores.....	146
Tabla 28. Calificaciones para las Dependencias entre Factores.....	147
Tabla 29. Matriz de Saaty.....	148
Tabla 30. Obtención de Pesos.....	148
Tabla 31. Rango de Valores de Cada Categoría Escala 1:1000.....	149
Tabla 32. Rango de Valores de Cada Categoría Escala 1:5000.....	150
Tabla 33. Descripción de las Categorías para Cada Cuantificador.....	151
Tabla 34. Controles Realizados a la Cartografía.....	153
Tabla 35. Calificación de la Cartografía Escala 1:1000.....	150
Tabla 36. Calificación de la Cartografía Escala 1:5000.....	151
Tabla 37. Categorías de Calidad Cartográfica.....	152
Tabla 38. Comparación de las Medidas del Modelo y Campo.....	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol del Problema.	4
Figura 2. Ubicación del Cantón Saquisilí.	5
Figura 3. Zona de Estudio Principal	6
Figura 4. Zona de estudio Secundaria – Saquisilí.	7
Figura 5. Etapas de la Fotogrametría.	10
Figura 6. Características de Fotogrametría Analógica.	13
Figura 7. Características de Fotogrametría Analítica.	14
Figura 8. Diagramas de Flujo de Fotogrametría Analógica y Analítica.....	14
Figura 9. Ejemplos de Puntos de Control Terrestre.	16
Figura 10. Posicionamiento Absoluto.	17
Figura 11. Posicionamiento estático y RTK	18
Figura 12. Representación de una Imagen Digital	20
Figura 13. CMOS	21
Figura 14. Equipo Fotogramétrico Terrestre	23
Figura 15. Drone DJI phantom y UAV Trimble UX5	24
Figura 16. Cámaras Individuales	25
Figura 17. Cámara Estereoscópica	25
Figura 18. Cámara Panorámica	26
Figura 19. Resolución Espacial	26
Figura 20. Resolución Espectral	27
Figura 21. Resolución Radiométrica	27
Figura 22. Resolución Temporal	28
Figura 23. Proceso Fotogramétrico Digital	29
Figura 24. Representación de la Escala de la Fotografía	30
Figura 25. Recubrimiento del Fotograma.....	31
Figura 26. Traslapos Longitudinales y Transversales	31
Figura 27. Orientación Interna	32
Figura 28. Identificación de Puntos Homólogos	33
Figura 29. Giros y desplazamientos de la aeronave	34
Figura 30. Aerotriangulación	35
Figura 31. Rectificación de una Imagen.	36
Figura 32. Fotogrametría Terrestre.	36
Figura 33. Fuerza Geométrica de una Figura	37
Figura 34. Elementos del Aspecto de Gabinete.	38
Figura 35. Estructura Vertical de un MDE	41
Figura 36. Ortorectificación de Imágenes	41
Figura 37. Catastro Urbano y Rural	43
Figura 38. Vista Superior e Inferior del UAV	54

Figura 39. Ebox	54
Figura 40. Compartimento Frontal del UAV	55
Figura 41. Tablet YUMA 1	55
Figura 42. Catapulta de Lanzamiento	56
Figura 43. Cámara SONY NEX-5R	56
Figura 44. Menús del Software Trimble Aerial Imaging	66
Figura 45. Área de la Primera Misión Fotogramétrica	67
Figura 46. Área de la Segunda Misión Fotogramétrica	67
Figura 47. Ventanas De Parámetros Fotogramétricos Escalas 1:1000 y 1:5000	68
Figura 48. Calculadora de vuelo en línea.....	69
Figura 49. Puntos de Despegue y Aterrizaje de los Vuelos	69
Figura 50. Condiciones para el despegue el UAV	70
Figura 51. Alerta de Check List Completado	70
Figura 52. Resumen del Proceso del Vuelo Fotogramétrico	71
Figura 53. Archivo de Desplazamientos y Giros	72
Figura 54. Distribución de los Puntos de Control Terrestre	73
Figura 55. Marcado de los Puntos de Control Terrestre	74
Figura 56. Antenas Doble Frecuencia Trimble 5800	75
Figura 57. Línea Base CXEC-PCT1	76
Figura 58. Procesamiento de los Puntos de Control Terrestre	77
Figura 59. Sistemas de Proyección y Referencia del Procesamiento.....	79
Figura 60. Importación de la Misión Fotogramétrica	80
Figura 61. Ajuste del Bloque Fotogramétrico con Puntos de Paso	81
Figura 62. Pinchado del Punto de Control PCT3	83
Figura 63. Residuales para el Vuelo de 220 metros de altura	84
Figura 64. Residuales para el Vuelo de 750 metros de altura	85
Figura 65. Ajuste y Creación de Entregables	86
Figura 66. Configuración del Formato de la Nube de Puntos	86
Figura 67. Resolución y Formato del Modelo de Superficie	87
Figura 68. Configuración de la Resolución y Formato del Ortomosaico	87
Figura 69. Entregables Importados a la Pantalla Principal del TBC	87
Figura 70. Modelo Lógico para la Escala 1:1000	90
Figura 71. Modelo Lógico para la Escala 1:5000	91
Figura 72. Software ArcCatalog.	92
Figura 73. Geodatabases creadas para Cada Escala	92
Figura 74. Proceso de Digitalización de las Áreas Catastrales y Edificadas	94
Figura 75. Ejemplo del Posible Error	95
Figura 76. Verificación del Elemento en la Nube de Puntos	95
Figura 77. Elementos Digitalizados	96

Figura 78. Representación Cartográfica de la Variable Altura	96
Figura 79. Representación de los Objetos en el Modelo de Superficie	97
Figura 80. Componentes del Equipo Trimble V10	98
Figura 81. Modos de Combinaciones del Equipo Trimble V10	99
Figura 82. Distribución de las Cámaras Fotográficas	99
Figura 83. Campo de Visión de las Cámaras	102
Figura 84. Método de la Medición Fotogramétrica	103
Figura 85. Ubicación Óptima de los Puntos a Medir	103
Figura 86. Configuración para la Medición de las Fachadas	104
Figura 87. Diagrama para el Cálculo de la Línea Base	104
Figura 88. Distribución de las Estaciones Fotogramétricas	105
Figura 89. Posicionamiento del Equipo Trimble V10	106
Figura 90. Pantalla Principal del Equipo	106
Figura 91. Panorámica Concluida	107
Figura 92. Estaciones Fotogramétricas mostradas en el TBC	108
Figura 93. Puntuación de las Estaciones Fotogramétricas Terrestres	111
Figura 94. Estado de las Estaciones Fotogramétricas Terrestres	112
Figura 95. Procesamiento de los Panoramas	113
Figura 96. Comando Medir Punto de Fotogrametría	115
Figura 97. Cursor de Picado	115
Figura 98. Medición de un Punto Fotogramétrico	116
Figura 99. Archivo Importado al Software Sketch up	117
Figura 100. Modelo Tridimensional	118
Figura 101. Fotografía del Objeto y su Respectivo Modelo 3D.....	119
Figura 102. Distribución de las Medidas de Muestreo	121
Figura 103. Toma de Muestras y su Digitalización	122
Figura 104. Nivel de Significancia	126
Figura 105. Grados de Libertad y Nivel de Significancia.	127
Figura 106. Ubicación del Estadístico de Prueba.	128
Figura 107. Distribución de las Medidas de Muestreo	129
Figura 108. Desplazamiento entre Segmentos	130
Figura 109. Ubicación del Estadístico de Prueba	133
Figura 110. Modelos de Elevación en Formato Raster	134
Figura 111. Estación Trimble 5600	135

RESUMEN

La realidad catastral de la mayoría de los municipios del Ecuador es la desactualización o ausencia de sus bases cartográficas y alfanuméricas, utilizadas para la valoración de los bienes inmuebles y planificación territorial. Por otro lado la evolución de la tecnología ha permitido mejorar una técnica de obtención remota de información, la fotogrametría, la que permite generar cartografía a partir de fotografías ya sean estas tomadas desde el aire o desde la superficie terrestre, las principales empresas dedicadas a la “geotrónica”, han dotado a la población civil de nuevas tecnologías para mejorar la técnica mencionada anteriormente, en la parte aérea se han desarrollado sistemas que ya no necesitan la intervención humana, los UAV y en la parte terrestre se han diseñado equipos de medición con un corto tiempo de captura de la información en campo que permite el modelamiento tridimensional de los objetos. Mediante el uso de las nuevas tecnologías se pretende diseñar y probar una metodología que permita la obtención o actualización del catastro físico, para así proveer a las entidades que administran el territorio de un mejor criterio para establecer las contribuciones que debe realizar la sociedad y administrar eficazmente su jurisdicción territorial.

PALABRAS CLAVE:

CATASTRO

CARTOGRAFÍA

UAV

VALORACIÓN

ADMINISTRACIÓN TERRITORIAL

SUMMARY

The cadastral reality of most of the municipalities of Ecuador is outdated or absence of its cartographic and alphanumeric bases used for valuation of real estate and land use planning. On the other hand the evolution of technology has improved a technique to remotely obtain information, photogrammetry, cartography that generates from photographs whether they are taken from the air or from the ground, the major companies engaged in "geotronics" have provided the civilian population of new technologies to improve the technique mentioned above, in the aerial part systems have been developed that do not require human intervention, the UAV and the ground part are designed measuring devices with a short time to capture information field that enables three-dimensional modeling of objects. Using new technologies is to design and test a methodology to obtain or update the physical land, thus providing the authorities running the territory of a better criterion for the contributions to be performed by the company and manage effectively its territorial jurisdiction.

KEYWORDS:

CADASTRE

CARTOGRAPHY

UAV

RATING

TERRITORIAL ADMINISTRATION

GLOSARIO DE TERMINOS

CMOS.- Complementary Metal Oxide Semiconductor, elemento electrónico encargado de convertir la luz en cargas electrónicas para su registro en una imagen.

COOTAD.- Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización, es el documento encargado de otorgar las distintas competencias a los municipios del Ecuador

GAD.- Gobierno Autónomo Descentralizado, son las distintas administraciones encargadas de una porción del territorio nacional

GNSS.- Global Navigation Satelital System es un sistema que permite el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre ya sea en tierra, mar o aire, mediante la constelación NAVSTAR y GLONASS

GPS.- Siglas de Global Positionig System o Sistema de posicionamiento Global, es un sistema que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, mediante la recolección de datos de la constelación NAVSTAR desarrollado por el Ministerio de Defensa de EE. UU

IGM.- Instituto Geográfico Militar, es la entidad rectora de la cartografía nacional encargada de la realización de normativa técnica para este aspecto

PCT.- Puntos de Control Terrestre, materialización del control de campo, que permite realizar la orientación externa de un bloque fotogramétrico

UAV.- Siglas en inglés para Unmanned Aerial Vehicle, es una aeronave que vuela sin tripulación. Hay UAV de uso civil y militar

UTM.- Universal Transversal de Mercator, sistema de proyección cartográfica que permite representar una porción del globo terráqueo en un plano

WGS.- World Geodesic System, Sistema de referencia mundial que permite la navegación y generación de cartografía sobre la superficie terrestre.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 ANTECEDENTES

Con la evolución de la tecnología en el área fotogramétrica y el desarrollo de hardware y software a finales de la década de los 90, nace la fotogrametría digital misma que ofrece varias ventajas en los productos finales, sin embargo, el costo de los elementos necesarios para su implementación, se ha convertido en el principal limitante para su desarrollo.

Por otro lado la misma evolución tecnológica ha permitido automatizar procesos mecánicos y miniaturizar componentes electrónicos, facilitando el desarrollo de diversas plataformas de adquisición de información espacial, por ejemplo satélites, aviones y cámaras digitales.

Una de las plataformas que ha experimentado una significativa evolución han sido los UAV, mismos que desde su nacimiento a finales de la segunda guerra mundial se han convertido una de las mejores maneras de obtener información.

En la década de los 90's se produce un gran salto en el posicionamiento espacial de los UAV, mediante la fusión de estos con la tecnología GPS, ofreció la posibilidad de realizar vuelos teledirigidos, sin embargo el costo de esta tecnología, los hace inalcanzables para varios tipos de aplicaciones, especialmente civiles.

En la actualidad y con el abaratamiento de la tecnología, empresas mundiales dedicadas a la geo electrónica, han puesto a disposición de la población civil una serie de aviones no tripulados dotados de múltiples sensores como cámaras digitales, cámaras multiespectrales, LIDAR, RADAR, etc. con los cuales se puede realizar tomas aéreas de las zonas necesarias, ofreciendo ventajas para la fotogrametría digital de precisión.

Con la evolución continua de la informática se han desarrollado varios programas para el procesamiento de la información adquirida por los UAS, facilitando y automatizando el proceso fotogramétrico, ofreciendo muchos beneficios para la planificación territorial, producción cartográfica, agricultura de precisión, seguridad, etc.

La inadecuada administración territorial, de la que se hizo cargo el actual gobierno, obligo a la creación del Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización en octubre del 2010, el cual se encarga de establecer competencias para los distintos niveles de gobierno, especialmente para el nivel municipal.

Entre estas se encuentran:

- Elaborar y administrar los catastros inmobiliarios urbanos y rurales.
- Actualizar cada dos años los catastros y la valoración de la propiedad urbana y rural.
- Elaboración de la cartografía geodésica del territorio nacional para el diseño de catastros urbanos y rurales de la propiedad inmueble y de los proyectos de planificación territorial.
- Llevar un inventario actualizado de todos los bienes valorizados del dominio privado y de los afectados al servicio público que sean susceptible de otra valoración.

Con el otorgamiento de estas competencias, es responsabilidad de los municipios la capacidad de producir, mejorar y mantener actualizada su información cartográfica y geodésica, la cual sirve como base para la planificación territorial, avalúo de las tierras y toma de decisiones que tienen un efecto directo en la capacidad contributiva de la población. Sin embargo esta competencia incluye grandes retos para la mayoría de municipios de país, que como en el caso del GAD cantonal de Saquisilí, manejan su información catastral de manera manual y analógica, sin ninguna referencia espacial. Lo cual es inconveniente en aspectos como:

- Valoración de propiedades.
- Planificación del territorio.
- Corrección y actualización de la información.
- Traspaso de la información a una plataforma digital.

Estas falencias son el denominador común a nivel cantonal en cuanto a avalúos y catastros se refieren, mismas que difícilmente podrán ser superadas sin utilizar las nuevas tecnologías fotogramétricas.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El elevado costo y tiempo que implica renovar la información catastral de los municipios cada bienio conforme lo dictamina la ley en el COOTAD, crea la necesidad de desarrollar procesos que permitan agilizar la producción de información espacial de manera automatizada y precisa, misma que debe estar de acuerdo con los distintos parámetros establecidos por las autoridades que rigen la Cartografía Nacional.

La manera más óptima de potencializar el proceso cartográfico es mediante el uso de las nuevas tecnologías fotogramétricas disponibles, tales como los aviones no tripulados (UAV), los cuales permiten capturar información en el momento y el espacio en que esta sea requerida.

Otro elemento necesario que permitirá mejorar la obtención de información espacial es la fotogrametría terrestre, debido a la sustancial mejora que tendría esta para la delimitación de fachadas y la caracterización de las construcciones.

Con el uso óptimo de la tecnología fotogramétrica y con la sinergia entre la fotogrametría aérea y terrestre de alta resolución, se pretende documentar a detalle los elementos espaciales significativos para el catastro, ofreciendo así un nivel de información y productos nunca antes manejado por el catastro nacional. Información que ayudara a las autoridades a tener un mejor criterio al momento de valorar y administrar el territorio.

Con todos estos componentes el presente trabajo pretende desarrollar una metodología, de costo y tiempo bajos en comparación a los procesos fotogramétricos convencionales, que sea aplicable por parte de las entidades interesadas y que ofrezca a la vez una información de calidad para mantener actualizada la cartografía catastral conforme lo dictamina la Ley ecuatoriana.

1.3 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1 Árbol de Problema

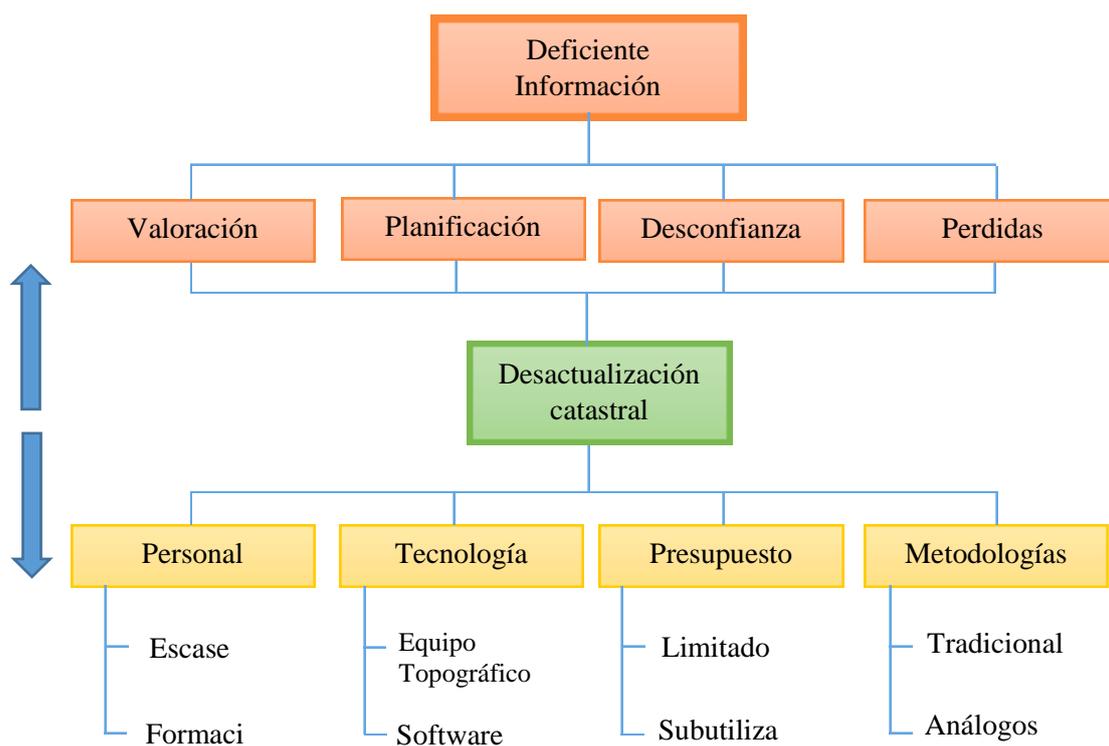


Figura 1. Árbol del Problema.

1.3.2 Descripción del problema

El escaso personal técnico y la limitada tecnología para geoespacializar el territorio por parte de la mayoría de municipios pequeños del Ecuador, impide que estos mantengan actualizada su información catastral, teniendo como consecuencia una deficiente administración de sus avalúos, lo cual genera desconfianza en la población, afectando la capacidad contributiva de la misma.

Por otro lado el alcance de la cartografía catastral, se rige a la escala de trabajo de los métodos convencionales fotogramétricos, mismos que permiten tener productos básicos y analógicos que no permiten la transferencia de información necesaria para una eficiente administración territorial

1.4 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.4.1 Datos generales de la zona de estudio

Como se observa en la figura 2, el cantón Saquisilí forma parte del territorio de la provincia de Cotopaxi, la cual se halla ubicada en la zona centro- norte de la Región Interandina del Ecuador. El cantón tiene una superficie de 207.9 km² y comprende cuatro parroquias Saquisilí, Canchagua, Chantilín y Cochapamba.

Tiene una altitud que varía entre 2900 y 4200msnm, el clima se considera seco-templado con una temperatura media anual de 12°C ,siendo los meses más fríos julio y agosto (11°C) y los más calientes de noviembre a enero(13°C). La precipitación anual varía de 500 a 900 mm, presentándose una estación seca de mayo a septiembre y mayores precipitaciones en los periodos comprendidos entre octubre a diciembre y de febrero a abril (Ashca. A 2008).

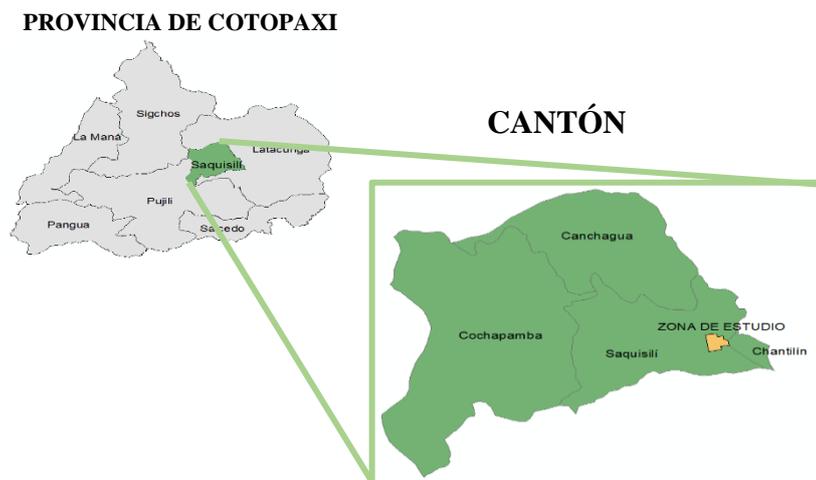


Figura 2. Ubicación del Cantón Saquisilí.

1.4.2 Ubicación Geográfica de la Zona de Estudio.

El presente estudio consta de dos zonas de estudio, una principal que comprende una porción del territorio de la cabecera cantonal de Saquisilí, comprende 25 manzanas de la parroquia, distribuidas como se observan en la figura 3, esta se destinara para la producción de cartografía catastral y realizar el correspondiente control de calidad.

La segunda consta de una manzana, la cual se encuentra ubicada frente al parque central de Saquisilí y que alberga a la municipalidad del cantón, de la cual se realizará una reconstrucción tridimensional, con la finalidad de obtener un catastro 3D.

Los límites de la zona de estudio principal son: al norte calle Bartolomé de las casas, al sur la calle Amazonas, al este la calle Chimborazo y al Oeste la calle 24 de Mayo.

Tabla 1.*Coordenadas de Zona de Estudio.*

ESTE (X)	NORTE (Y)
759648.00 m	9907368.00 m
760228.00 m	9906940.00 m

*Figura 3. Zona de Estudio Principal.*

En la figura 4, se indica la zona de estudio secundaria que comprende 5 lotes y alberga el edificio en que funciona el GAD de Saquisilí.

*Figura 4. Zona de estudio Secundaria – Saquisilí.*

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Desarrollar una metodología para la obtención de catastro físico, mediante el uso de nueva tecnología fotogramétrica.

1.5.2 Objetivos específicos

- Realizar la toma de fotografías aérea a distintas alturas con el uso aviones no tripulados (Trimble UX5)
- Realizar la toma de fotografías terrestres mediante el uso del equipo fotogramétrico terrestre TRIMBLE V10
- Materializar el control de campo para los proyectos fotogramétricos.
- Generar las ortofotografías, mediante los módulos del software Trimble Bussines Center.
- Realizar el control de calidad de los insumos y productos aéreos y terrestres
- Digitalizar los modelos 3D de las fachadas de las edificaciones
- Generar los planos catastrales de la zona de estudio.

1.6 METAS

- Un archivo digital con las fotografías aéreas escalas 1:1000 y 1:5000 de la zona de estudio.
- Un archivo digital con las fotografías panorámicas del equipo Trimble V10.
- Un elenco de coordenadas de los puntos obtenidos para los planes fotogramétricos aéreo y terrestre.

- Un archivo digital con las ortofotografías de la zona de estudio.
- Fotografías rectificadas de las estaciones fotogramétricas terrestres.
- Una archivo digital con la reconstrucción de las fachadas de las edificaciones.
- Un plano catastral de la zona 1:1000 y 1:5000 de la zona de estudio según parámetros de IGM.
- Un informe de precisiones obtenidas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 FOTOGRAMETRÍA

2.1.1 Introducción

La fotogrametría es un sistema de captura de información a distancia la cual permite conocer las dimensiones, posición y características de cualquier objeto o figura a partir de una serie de fotografías tomadas del mismo.

En la actualidad las técnicas de la fotogrametría se consideran integradas con las técnicas de percepción remota y fotointerpretación, estas disciplinas se complementan entre sí, con el objetivo primordial de obtener cartografía.

Entre los conceptos más aceptados se tiene:

“Es la disciplina resultado de la convergencia de la óptica, la fotografía y las matemáticas, especialmente la geometría proyectiva, para realizar levantamientos de carácter cartográfico. Crea modelos en 3D a partir de imágenes 2D para adquirir las características geométricas de los objetos. Las imágenes son obtenidas por medios fotográficos y la medición se realiza a distancia, sin que exista contacto físico con el objeto” (Rodríguez, 2008)

“Técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto” (Bonneval, 1972)

2.1.2 Etapas de la Fotogrametría

La fotogrametría nació con la invención de la fotografía por parte de Arago en 1839, pero es hasta 1854 cuando el ingeniero francés Aimme Laussedat logró hacer la primera reconstrucción de una superficie, bautizando a esta técnica con el nombre de metrofotografía.

Desde su concepción hasta la actualidad han pasado más de 150 años, en los cuales han sucedido varios hitos técnicos y científicos que han marcado una constante evolución de esta técnica, la cual se puede resumir en cuatro etapas como se ve en la figura 5, las cuales son:

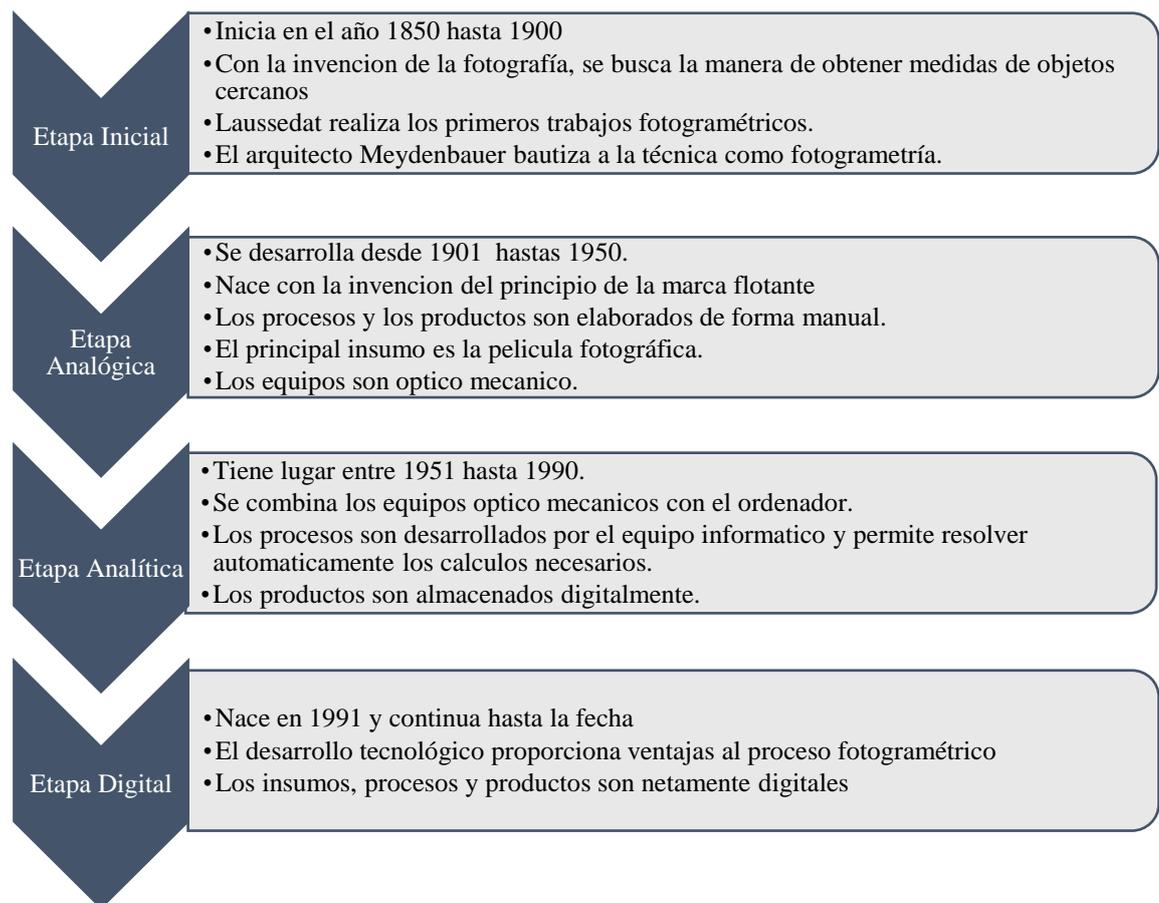


Figura 5. Etapas de la Fotogrametría.

2.1.3 Clasificación de la Fotogrametría

Por la posición de la toma:

- **Fotogrametría Terrestre:**

Este es el primer tipo de fotogrametría que apareció, tras los primeros trabajos de Laussedat (1854) y el General Terrero (1862), en los cuales se obtuvieron representaciones de varios edificios y planos topográficos.

Tras varios años y ensayos, esta técnica fue perfeccionando tanto sus métodos como sus instrumentos. La primera aplicación que se le dio a esta técnica, fue en la reconstrucción de una zona montañosa a escala 1:200000 realizada por el francés Deville.

Con el pasar del tiempo y debido al potencial que se vio en este método de medición, varios ingenieros civiles y militares fueron investigando esta técnica obteniendo significativos avances, posteriormente fabricantes ópticos y de cámaras fotográficas fueron colaborando con la invención de equipos especializados para la aplicación de la fotogrametría.

En la actualidad las principales aplicaciones de este tipo de fotogrametría son la arquitectura y arqueología, donde se tiene pequeñas extensiones de superficie y se puede tener un control geodésico y topográfico de alta calidad, este es uno de los principales aspectos por los cuales su desarrollo ha quedado un poco truncado, ya que al realizar este proceso de forma aérea se puede realizar el mapeo de extensiones mucho más grandes con costos y tiempos bastantes reducidos.

- **Fotogrametría Aérea:**

Nace gracias a los estudios del periodista y dibujante francés Gaspard Félix Tournachon quien desde un globo aerostático, en el año 1858, capturo el Bois de Bolougne en la fotografía aérea más antigua que se conoce tomada desde 300 metros de altura.

Pese a las limitaciones de la época fueron varios los trabajos que se fueron realizando con la fotogrametría aérea, sin embargo la estabilidad de la cámara en el vuelo y el control de vuelo fueron los principales problemas a resolver, se intentó usar cometas, globos e incluso palomas amaestradas para este cometido, fracasando en todo estos. Sin embargo la aparición de la aviación gracias al primer planeador que inventaron los hermanos Wright se obtuvo la solución definitiva.

Tras el estallido de la primera y la segunda guerra mundial, la aviación tuvo una evolución muy acelerada y a la par la fotogrametría, ya que la principal aplicación que se daba hasta esos momentos era militar, para determinar la posición de las tropas enemigas.

Actualmente las aplicaciones que se le da a la fotogrametría aérea son civiles y militares, con el abaratamiento de la electrónica y de la socialización de las metodologías fotogramétricas, se ha logrado dar un uso multidisciplinario a esta técnica.

- **Fotogrametría Satelital**

Este tipo de fotogrametría utiliza imágenes satelitales, capturadas desde el espacio por los distintos satélites que se encuentran en órbita. La mayoría se dedica a la obtención de información gráfica, sin embargo existe varios sensores especializados para obtener la topografía de cualquier zona.

Por el tratamiento de la información:

- **Analógica**

Se basa en el uso de aparatos ópticos/mecánicos con los cuales el operador intenta recrear las condiciones de la toma para poder corregir la geometría de la misma y con esto poder realizar manualmente la reconstrucción de los objetos de estudio. (Orellana, 2006)

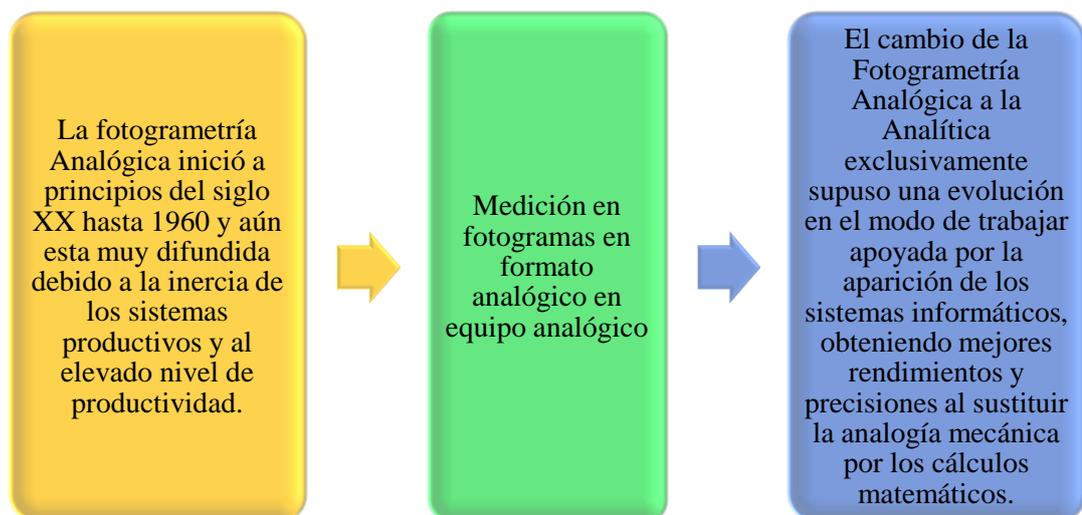


Figura 6. Características de Fotogrametría Analógica.

Fuente: (Orellana, 2006)

- **Analítica**

Con el desarrollo del ordenador y la combinación de este con los restituidores analógicos, se logra la agilización de los procesos, lo cual significó una mayor producción cartográfica y un mayor detalle y precisión en los productos, además esto abrió la posibilidad de manejar la información digitalmente y combinarla con varios software como los CAD. (Orellana, 2006)



Figura 7. Características de Fotogrametría Analítica.

Fuente: (Orellana, 2006)

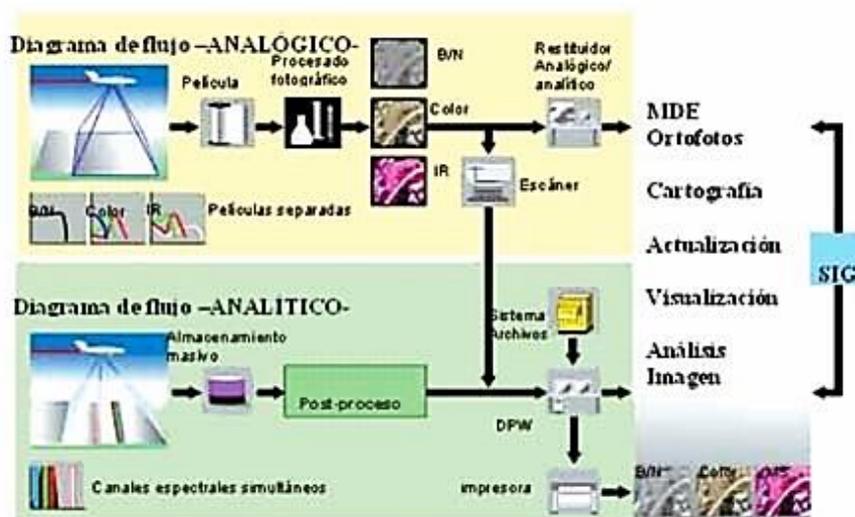


Figura 8. Diagramas de Flujo de Fotogrametría Analógica y Analítica.

Fuente: (Orellana, 2006)

- **Digital**

Con la rápida evolución de la tecnología y la automatización de los procesos fotogramétricos, todos los insumos y productos pasaron a manejarse de manera digital, permitiendo manejar grandes cantidades de información, obtener además una interoperabilidad de los productos.

Esta es el tipo de fotogrametría actual, la cual se ha visto beneficiada principalmente por el abaratamiento de la tecnología aeronáutica, permitiendo así poner al alcance civil un procedimiento que hasta hace pocos años era netamente militar y que demandaba costos elevados.

En el presente estudio se utilizan la fotogrametría terrestre y aérea, empleando un tratamiento netamente digital de la información.

2.1.4 Proyecto Fotogramétrico Digital.

El proyecto fotogramétrico digital son todos aquellos procesos digitales que permite planificar, ejecutar, controlar y obtener productos cartográficos la calidad y el detalle requeridos.

Consta de tres aspectos fundamentales: apoyo, campo y gabinete, los cuales combinados permitirán ejecutar el proyecto fotogramétrico con las características deseadas. Estos aspectos a la vez son resultado de la combinación de procesos individuales, los cuales se definen a continuación.

- **Aspecto de Apoyo**

El principal objetivo de este aspecto es determinar un grupo de coordenadas tridimensionales (x, y, z) sobre la superficie terrestre, que servirán como partida para el control de la geometría del proceso fotogramétrico.

En el caso de la fotogrametría aérea, los puntos a determinar se denominan Puntos de Apoyo Fotogramétrico o Puntos de Control Terrestre, los cuales deben estar bien identificados (fotoidentificables) en las fotografías y deben guardar relación con el nivel de detalle que se tenga en la misma como se puede ver en la figura 9. Estos pueden ser elementos marcados previo al vuelo fotogramétrico o se puede utilizar elementos reconocibles, para posteriormente obtener las coordenadas de este.



Figura 9. Ejemplos de Puntos de Control Terrestre.

En la fotogrametría terrestre, al estar esta ya posicionada sobre la superficie, se deben definir las coordenadas del punto en la que se realiza la toma de la fotografía, lo cual servirá posteriormente para resolver los cálculos geométricos necesarios

Estos puntos pueden ser definidos mediante cualquier método topográfico o geodésico que asegure la precisión necesaria para el proyecto. Uno de los métodos más utilizados en la actualidad es el posicionamiento GNSS, el cual otorga una buena precisión en las coordenadas tridimensionales.

Apoyo GNSS

El Sistema Global de Navegación Satelital (*Global Navigation Satellite System*) es un sistema que a través de una constelación de satélites con posiciones conocidas en el espacio, permite determinar las coordenadas de cualquier punto sobre la superficie terrestre.

Posicionamiento GNSS

El posicionamiento GNSS son todas aquellas actividades desarrolladas por el segmento usuario, llevadas a cabo sobre la superficie terrestre para conocer las coordenadas geográficas de un punto, las cuales están referidas a una superficie matemática que se asemeja a la forma de la tierra, en este caso un elipsoide de revolución.

Tipos de Posicionamiento GNSS

Existen dos tipos de posicionamiento, los cuales están condicionados por el tipo de receptor de señal GNSS con que se cuenta para realizar el posicionamiento.

Posicionamiento Absoluto

Este tipo de posicionamiento consiste en que el receptor determine las coordenadas del punto en el mismo sistema en que se encuentran los satélites, una vez determinadas, el mismo se encarga de transformarlas en coordenadas geográfica y mostrarlas al usuario. Este proceso se realiza de forma automática y en tiempo real. La precisión de este posicionamiento es netamente de navegación, ya que el rango de error de sus coordenadas es mayor a 3 metros en el mejor de los casos.



Figura 10. Posicionamiento Absoluto.

Posicionamiento Relativo

Consiste en determinar la posición de uno o más receptores móvil a partir de otro receptor con coordenadas previamente conocidas.

El tratamiento de la información se lo puede realizar de dos maneras la primera con software especializado, posterior a la adquisición de los datos, lo cual se denomina post-proceso, el cual asegura que las coordenadas de los puntos móviles se encuentren en el orden del error centimétrico. La segunda se realiza en el momento de adquisición de los datos GNSS es decir en tiempo real, en donde el receptor base emite correcciones a la señal que capta el móvil y corrige su posición asegurando de la misma manera precisiones centimétricas, dichas correcciones son ser enviadas mediante radio UHF o Internet.

El principal condicionante para este tipo de posicionamiento es el tipo de receptor que se utilice como base y como móvil y la distancia a la que esté ubicados el uno del otro. Ver figura 11.



Figura 11. Posicionamiento estático y RTK.

Fuente: (Méndez, 2005)

La precisión de este tipo de posicionamiento lo hace el más idóneo para su uso en trabajos de ingeniería, a continuación se mencionan los métodos de posicionamiento.

Métodos de Posicionamiento GNSS

Existen varios métodos de posicionamiento GNSS, dependerá de la precisión requerida en el proyecto para la elección de alguno de estos, a continuación se resumen las principales características.

Tabla 2.

Post- Proceso

POST-PROCESO		
Método	Tiempo de posicionamiento	Precisión
Estático	Una o más horas	5mm + 1ppm
Estático rápido	15 minutos	10mm + 1ppm
Stop & Go	Pocos segundos	1 a 5 cm
TIEMPO REAL		
RTK	Pocos segundos	2-5 cm +2ppm
NTRIP	Pocos segundos	2-5 cm +2ppm
Absoluto	Pocos segundos	3-10 metros

Fuente: (Méndez, 2005)

Aplicaciones del posicionamiento GNSS

Tabla 3.

	Levantamiento de Control	Levantamiento Topográficos	Replanteos	Levantamiento Rápidos	SIG	Navegación
Estático	X					
Estático Rápido	X					
Stop & Go		X		X		
RTK		X	X			
NTRIP		X	X			
Absoluto					X	X

Aplicaciones del Posicionamiento GNSS

- **Aspecto de Escritorio**

Es el aspecto más importante del proceso, ya que aquí se llevan a cabo la mayoría de cálculos matemáticos para obtener el producto fotogramétrico.

Consta de dos procesos principales, el primero está orientado a planificar al proyecto fotogramétrico, es decir establecer los parámetros que ayudarán a obtener el insumo principal para desarrollar el proyecto, el segundo permite ejecutar la planificación anterior, a continuación se mencionan los procesos necesarios para realizar ambas actividades.

Imagen Digital

Una imagen digital; como se observa en la figura 12; es una matriz compuesta de n filas y m columnas, la intersección de estas da como resultado un pixel, el cual contiene un valor digital que está relacionado con la reflexión de la luz sobre un objeto y que es captado por cualquier sensor fotográfico.

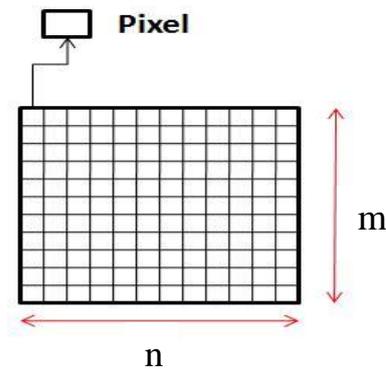


Figura 12. Representación de una Imagen Digital.

Fuente: (Lerma, 2002)

Para el proceso fotogramétrico este insumo puede provenir de dos fuentes:

- a) Una imagen digital obtenida mediante el escaneo de una fotografía impresa.
- b) Una imagen obtenida con un sensor digital.

Sensores Fotogramétricos Digitales

Un sensor fotogramétrico digital es aquel que captura el reflejo de la luz sobre cualquier superficie y los transforma, mediante sus elementos óptico-electrónicos, en valores digitales, para posteriormente arrojar como resultado una imagen digital compuesta por píxeles.

- **Elementos de los Sensores Digitales**

CMOS

El CMOS o Complementary metal oxide semiconductor (Semiconductor Complementario de Oxido Metal) es el elemento electrónico encargado de transformar el reflejo de la luz en señales eléctricas, mediante las celdas fotoeléctricas que contiene, posteriormente estas señales son procesadas por la cámaras y son almacenadas en la tarjeta de memoria. El nivel de detalle o resolución que posee la cámara está estrechamente relacionado con el número de celdas fotoeléctricas que tenga el CMOS.

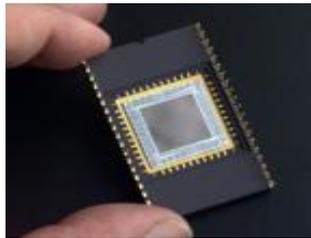


Figura 13. CMOS.

Fuente: (Orellana, 2006)

Debido a la variación de las características óptico electrónicas del CCD se han diseñado sensores que no solo capturan el espectro visible de la luz, sino también otras partes del espectro electromagnético, como por ejemplo el infrarrojo.

- **Clasificación de los Sensores Fotogramétricos:**

Los sensores fotogramétricos digitales, son todos aquellos mecanismos óptico-eléctricos que captan la luz del entorno y los transforman en imágenes digitales mediante sus circuitos, se pueden clasificar en:

Según la Geometría Constructiva del Sensor

a) Cámaras Métricas

Es una cámara fotográfica cuyos elementos de orientación interior son conocidos y cuya calidad geométrica es tal, que se puede considerar como una proyección central ideal. Como consecuencia de esta calidad geométrica, este tipo de cámaras debe tener foco fijo, ya que cualquier variación en el enfoque haría variar el ángulo de apertura “ α ” (Sifuentes, 1997).

b) Cámaras Simétricas

Las cámaras simétricas consideradas para incorporar una placa reserva, o sea, una placa de vidrio que contiene marcas grabadas a distancias uniformes que sirven para corregir el efecto de deformación y dislocamiento del plano imagen (Rodríguez, 2008).

c) Cámaras no Métricas

Las cámaras no métricas son producidas para la fotografía profesional. La calidad geométrica no es lo fundamental, pero si es necesaria la geometría de la imagen. No presenta orientación interna, marcas de referencia, foco fijo y pueden ser calibradas. Hay gran disponibilidad comercial para este tipo de cámaras (Rodríguez, 2008).

Según la Plataforma en que se Encuentre Instalado

a) Terrestres

Son todos aquellos dispositivos equipados con sensores fotográficos, que permiten capturar imágenes digitales desde la superficie terrestre, orientados a capturar información especialmente de objetos cercanos, por ejemplo fachadas de edificaciones, monumentos, etc.

Las principales aplicaciones se dan en la arquitectura, arqueología y documentación del patrimonio.



Figura 14. Equipo Fotogramétrico Terrestre.

Fuente: (Coelho, 2007)

b) Aéreos

Son los distintos artefactos aéreos dotados de sensores fotográficos, que permiten la captura de imágenes digitales desde una altura controlada sobre la superficie terrestre, esta es la plataforma que más se ha desarrollado, gracias a la constante evolución de la aeronáutica y la electrónica, está orientada a la captura de información de información a distancia, entre las principales plataformas tenemos:

Aviones

Es el medio más utilizado en la actualidad para la obtención de fotografías aéreas, es utilizado especialmente en el ámbito militar y civil en el que se realiza cartografía en grandes cantidades y de áreas muy extensas.

Drones y UAV

Estos son artefactos voladores más pequeños, capaces de aerotransportar los sensores necesarios para realizar una misión fotogramétrica tales como GNSS e INS, su principal característica es no necesitar de la intervención humana, más que en el momento de la planificación del vuelo. Los tipos principales de estos aparatos son de ala rotatoria y de ala fija, los primeros tienen pequeñas hélices que giran y mantienen el control del artefacto en el vuelo, los segundos tienen una sola ala, de mayor tamaño y se mantiene estables en el aire gracias a los alerones y timones.



Figura 15. Drone DJI phantom y UAV Trimble UX5.

Según el Modo de Captura

a) Cámaras Individuales

Son aquellas cámaras que permiten realizar una sola toma a la vez.



Figura 16. Cámaras Individuales.

Fuente: Manual Cámara Lumix Panasonic

b) Cámaras Estereoscópicas

Son las cámaras dotadas de dos lentes individuales separadas a una distancia específica uno del otro, orientados en una misma dirección, emulando el sentido de la vista de los humanos, otorgando a sus imágenes un sentido de tridimensionalidad.



Figura 17. Cámara Estereoscópica.

Fuente: Manual Cámara Lumix 3D Panasonic

c) Cámaras Panorámicas

Son un determinado número de cámaras que cubren en su totalidad los 360° del entorno, permitiendo realizar una documentación de toda el área que rodea al sitio de toma.



Figura 18. Cámara Panorámica.

Fuente:

- **Resoluciones de las Imágenes Fotogramétricas**

- a) Resolución Espacial

Designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. En un sistema fotográfico, suele medirse como la mínima separación a la cual los objetos aparecen distintos y separados en la fotografía, se mide en unidades de longitud y depende de la longitud focal de la cámara y de su distancia sobre la superficie (Chuvieco, 1995). Está relacionada con el GSD, es decir con la porción de la realidad que representa el sensor en cada uno de los píxeles de la imagen que captura. Esta dependerá exclusivamente de la altura con la que se encuentre el sensor en el momento de la toma.

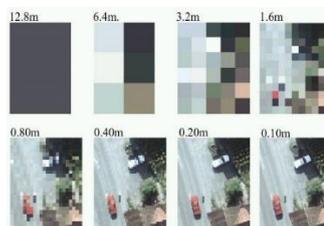


Figura 19. Resolución Espacial

Fuente: (Lerma, 2002)

b) Resolución Espectral

Indica el número y anchura de bandas espectrales que puede discriminar un sensor. Conviene que estas bandas sean lo suficientemente estrechas, con objeto de recoger la señal sobre regiones coherentes del espectro (Chuvieco, 1995).

Está relacionada con las características contractivas del CCD, es decir con la cantidad del espectro electromagnético que capta el sensor y que posteriormente almacenará.



Figura 20. Resolución Espectral

Fuente: (Orellana, 2006)

c) Resolución Radiométrica

Hace mención a la sensibilidad del sensor, esto es, a su capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. Es el número máximo de niveles digitales de la imagen (Chuvieco, 1995). Se relaciona con la forma en que el sensor dispone de la información captada por el sensor para su almacenamiento.

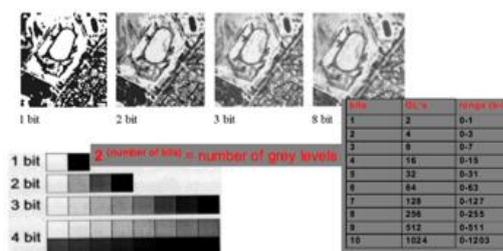


Figura 21. Resolución Radiométrica.

Fuente: (Orellana, 2006)

d) Resolución Temporal

Se refiere a la periodicidad con la que el sensor adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre, el ciclo de cobertura está en función de las características orbitales de la plataforma desde la que se captura la información (Chuvieco, 1995).

En el caso de la fotogrametría satelital esta sería de días o semanas, en la fotogrametría terrestre o aérea, esta estaría fijada por el operador.

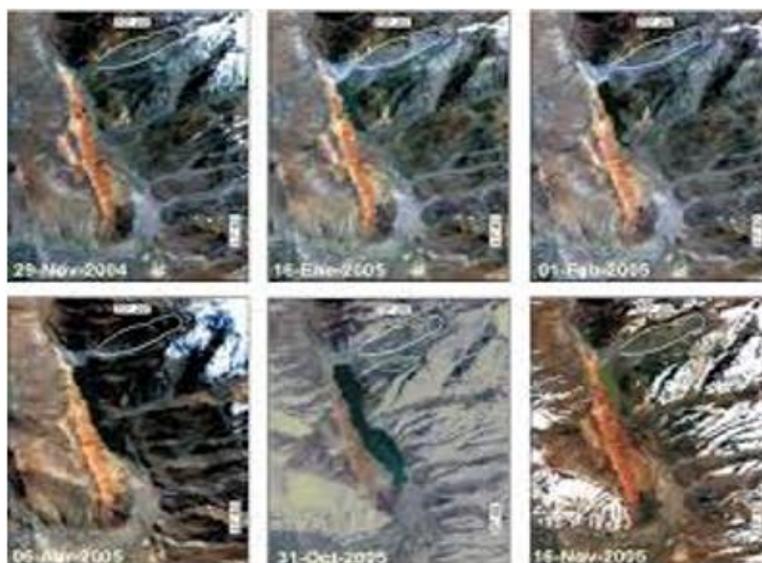


Figura 22. Resolución Temporal.

Fuente: (Chuvieco, 1995)

2.2 PROCESO FOTOGRAMÉTRICO DIGITAL

2.2.1 Introducción

El objetivo fundamental del proceso fotogramétrico, cualquiera que sea la metodología empleada para su construcción es la obtención de información espacial de objetos a partir de imágenes de los mismos, en el caso concreto de los Sistemas Fotogramétricos Digitales, a partir de imágenes en formato digital.

En la figura 23, se presenta de una forma esquemática el proceso fotogramétrico digital.

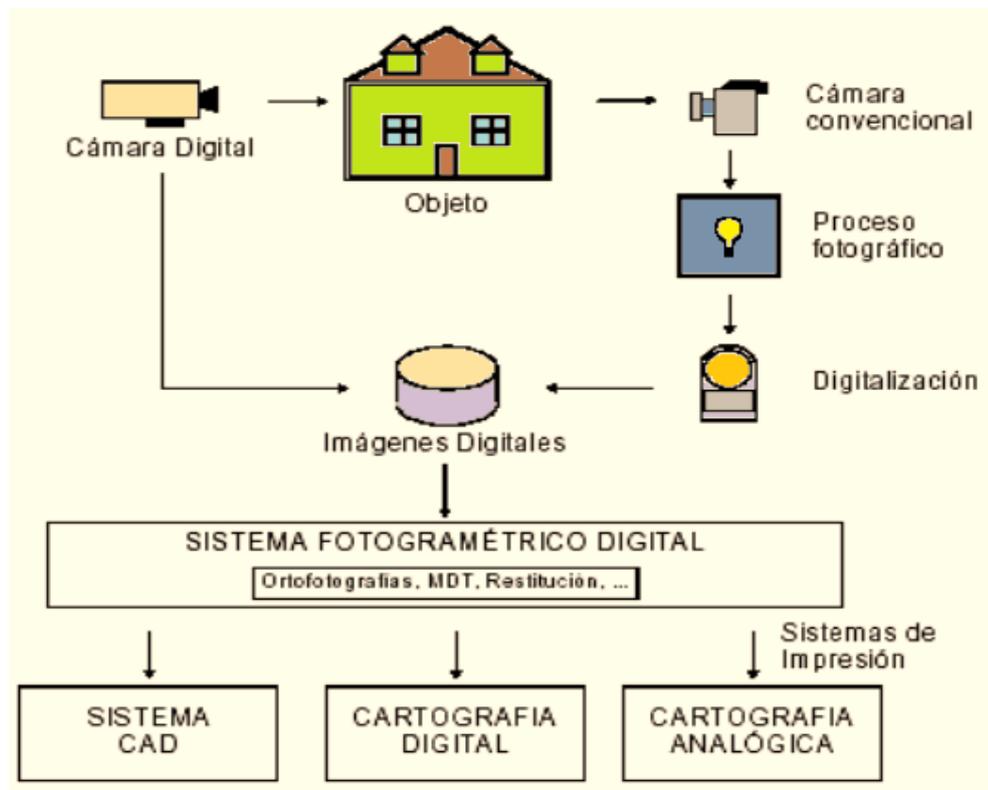


Figura 23. Proceso Fotogramétrico Digital.

Fuente: (Orellana, 2006)

2.2.2 Planificación del Proyecto Fotogramétrico

Esta es la etapa en la que se determinan los parámetros geométricos que ayudarán a capturar la información, de tal manera que se obtenga una adecuada cobertura fotográfica del objetivo.

2.2.3 Proyecto Fotogramétrico Aéreo

Para la planificación del proyecto fotogramétrico aéreo, también conocido como vuelo fotogramétrico tiene como finalidad obtener un conjunto de imágenes al cual se le denomina bloque fotogramétrico, para lo cual se debe definir las condiciones iniciales tales como:

- a) La escala de las imágenes, el cual es el parámetro que condiciona el detalle a obtener en los productos cartográficos, se determina mediante la siguiente fórmula:

$$Escala = \frac{Distancia\ focal}{Altura\ de\ vuelo} \quad (2.1)$$

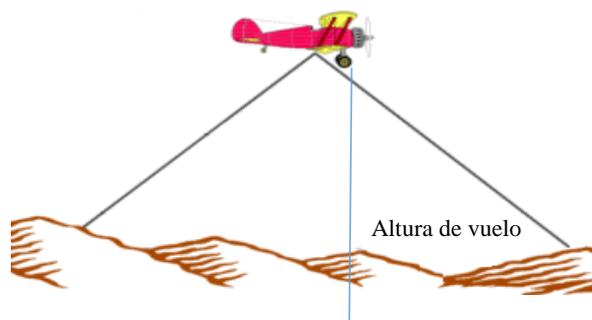


Figura 24. Representación de la Escala de la Fotografía.

Fuente: (Orellana, 2006)

- b) El recubrimiento que tendrá cada fotograma sobre la superficie terrestre.

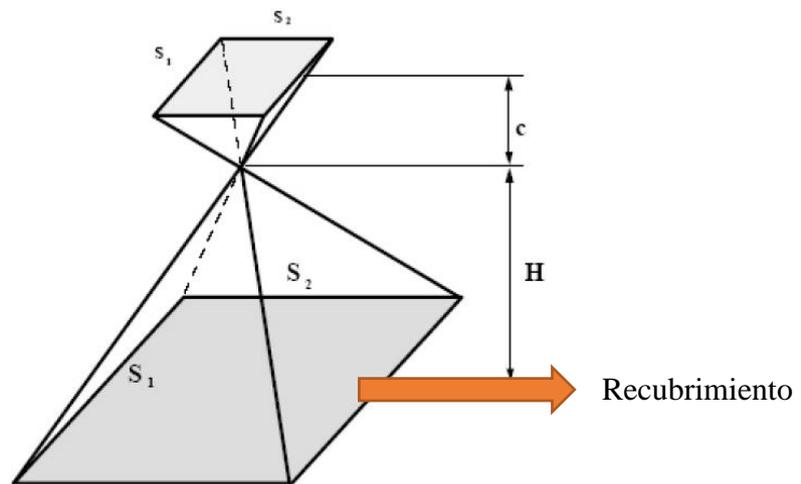


Figura 25. Recubrimiento del Fotograma.

Fuente: (Orellana, 2006)

- c) La superposición longitudinal entre imágenes y transversal entre pasadas, denominados como traslapos.

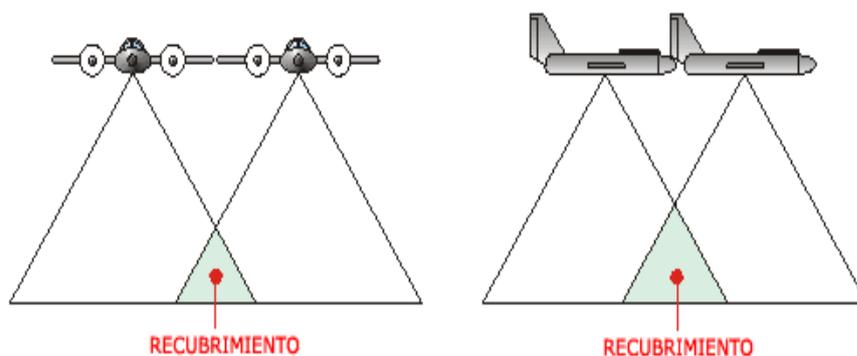


Figura 26. Traslapos Longitudinales y Transversales

Fuente: (Orellana, 2006)

Orientación Interna

La orientación interna en fotogrametría digital se puede definir como el proceso en el que a partir de las coordenadas píxel de la imagen se obtienen las coordenadas en milímetros, a partir de las que se procede con la siguiente fase del método general de la fotogrametría.

En fotogrametría digital el concepto de la orientación interna cambia según la imagen tratada proceda del escaneo de una imagen analógica o se haya adquirido directamente con una cámara digital (Hernández, 2006).

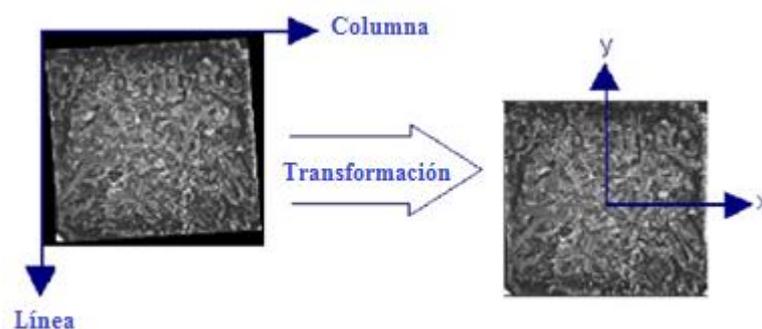


Figura 27. Orientación interna.

Fuente: (Hernández, 2006)

Correlación de Imágenes

Dado un punto de un objeto del que se captan diferentes imágenes fotográficas, se denominan puntos homólogos de las imágenes a los diferentes puntos sobre las imágenes que son imagen del punto. En diferentes aplicaciones de la fotogrametría digital es necesario, identificado el punto en una imagen que corresponde a un punto del objeto fotografiado, localizar los puntos homólogos en otras imágenes.

La identificación de puntos homólogos se puede hacer de manera manual, tanto monoscópica como estereoscópicamente (Hernández, 2006).



Figura 28. Identificación de Puntos Homólogos.

Fuente: (Hernández, 2006)

Orientación Externa

En el proceso fotogramétrico, el objetivo de la orientación externa es obtener los parámetros para posicionar correctamente el haz de rayos correspondiente a la imagen respecto a un sistema de referencia vinculado al terreno (Hernández, 2006).

En relación a los procesos fotogramétricos analógicos y analíticos, en el proceso digital, existe una variación en la adopción del método, debido a que ya no divide la orientación externa en: orientación relativa y orientación absoluta.

La orientación relativa buscaba referenciar cada haz en relación a su homólogo, reconstruyendo la posición exacta en el espacio de toma de un par estereoscópico de imágenes. La orientación absoluta, a su vez, referenciaba un par de haces al terreno, formando un modelo estereoscópico nivelado a escala (Coelho, 2007).

Para realizar esta orientación, es necesario conocer los giros y desplazamientos en los 3 ejes que ha realizado el avión en cada toma, por lo que la aeronave está dotada de dos sensores primordiales, un GNSS el cual capta la posición en el espacio y un sistema inercial el cual determina los ángulos de giro.

Combinación de GNSS e INS

La misión del GNSS en el avión es obtener puntos de apoyo aéreos y definir la posición de los sensores en el momento de la toma, dichos puntos cuentan con una precisión relativa en modo cinemático (diferencial) inferior al decímetro. La precisión del GPS diferencial en aplicaciones dinámicas depende de aspectos como: distancia de la estación de referencia a la antena (receptor), geometría y número de satélites, receptores de bajo ruido, ausencia de rebotes “multipath”, y estrategias de procesamiento (Lerma, 2002).

La tecnología GPS (*Global Positioning System*) aerotransportada ha sido utilizada ya sea en sistemas de gestión y control de vuelo como en el cómputo de las coordenadas de los centros del sensor al momento de la obtención de la información. La combinación del sistema GPS y el INS (*Inertial Navigation System*) facilita la determinación directa de los parámetros de orientación externa independientemente del tipo de sensor utilizado (Lerma, 2002).

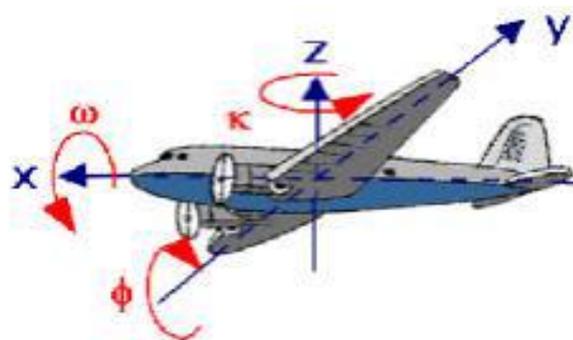


Figura 29. Giros y desplazamientos de la aeronave.

Fuente: (Lerma, 2002).

Aerotriangulación

Puede definirse a la aerotriangulación como el proceso de determinar indirectamente los parámetros de orientación exterior de un bloque de imágenes fotográficas, así como las coordenadas terreno-objeto de una serie de puntos previamente medidos sobre las imágenes y algunos puntos medidos en campo.

Es una de las técnicas que se han utilizado con el fin de reducir los requerimientos de apoyo en campo, asociados al proceso de orientación del conjunto de imágenes; esta reducción se acentúa mediante la incorporación de la tecnología GPS/INS aerotransportada, con capacidad de generar directamente los parámetros de orientación externa de la cámara en el momento del disparo (Lerma, 2002).

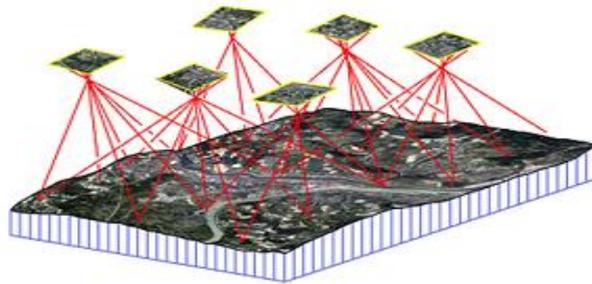


Figura 30. Aerotriangulación.

Fuente: (Lerma, 2002).

Rectificación de Imágenes

La rectificación de una imagen es un proceso para conseguir una imagen transformada similar a la que se hubiera obtenido si el plano de imagen hubiera sido paralelo al plano principal del objeto en el momento de la toma. En el caso de una imagen aérea, la imagen se transforma para llevarla a la situación ideal de la toma vertical (Hernández, 2006).

Rectificar una imagen “consiste en proyectarla sobre su propio eje perspectivo, en un plano horizontal”, lo que significa que, la rectificación de una imagen permite eliminar o modificar los ángulos de posicionamiento de la cámara en relación a un plano referencial y la distancia focal de la imagen resultante.

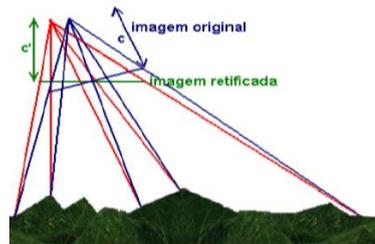


Figura 31. Rectificación de una Imagen.

Fuente: (Lerma, 2002)

2.2.4 Proyecto Fotogramétrico Terrestre

La fotogrametría terrestres es menos complicada que la aérea, esto principalmente se debe a que en el momento de la toma la fotografía terrestres está totalmente controlada, cosa que no pasa en el vuelo fotogramétrico. Para planificar el proyecto fotogramétrico terrestre, es necesario establecer el número de fotografías con las que se cubrirá estereoscópicamente el objeto de estudio, para esto se analizará desde que posiciones se obtendrá el mayor recubrimiento de una zona común entre dos o más fotografías.

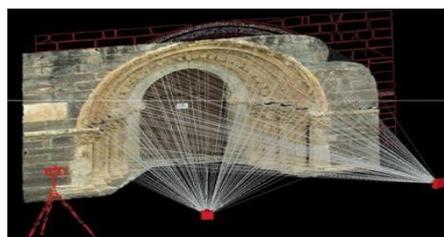


Figura 32. Fotogrametría Terrestre.

Fuente: Manual de Photomodeler

Las principales características a cumplir para obtener una buena planificación es tomar los fotogramas a un mismo nivel para aprovechar la mayoría de la imagen y tener una fuerza geométrica de figura, lo cual consiste en formar polígonos lo más regulares posibles en los cuales los vértices serán las estaciones fotográficas, la figura más básica y la mejor es el triángulo equilátero y todas sus combinaciones.

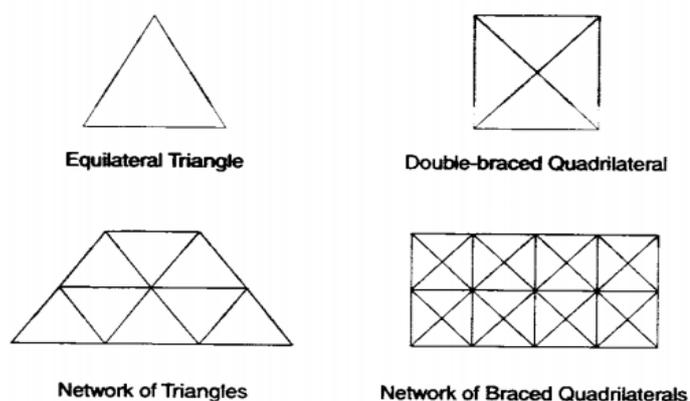


Figura 33. Fuerza Geométrica de una Figura.

Fuente: (Luhmann, 2010)

2.2.5 Ejecución del Proyecto

La ejecución del proyecto fotogramétrico, consta de todas las acciones que se llevan a cabo para poner en marcha la planificación anterior en el caso aéreo el despegue del avión, el recorrido del avión sobre la ruta planificada y el aterrizaje. En el caso de la fotogrametría terrestre, la ejecución consta en obtener las coordenadas x y z del punto sobre el que se posicionará el instrumento mediante cualquier método GNSS o topográfico, posteriormente se debe orientar el sensor hacia el objetivo y realizar la toma. El último proceso de la ejecución, es la descarga de la información, ya sea esta en formato digital o análogo.

- **Aspecto de Gabinete**

Este aspecto consiste en la extracción de la información contenida en las fotografías aéreas, para generar los diversos productos que de ellas se derivan, requiere el uso de los instrumentos específicos altamente precisos y minuciosos procesos con trabajos de detalle (Hernández, 2006). En este proceso se combina la información fotográfica con la de apoyo, sin embargo el proceso realizado con UAV se simplifica a tres pasos en lo que se realiza el ajuste con tie point el cual equivale a realizar la orientación interna y la correlación de imágenes, posteriormente el software realiza el ajuste con puntos de control, similar a la orientación externa

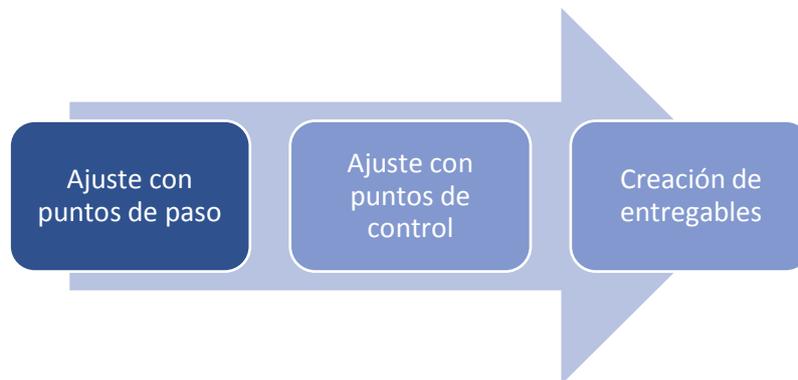


Figura 34. Elementos del Aspecto de Gabinete.

2.2.6 Software Fotogramétrico

Es el software que mediante códigos de programación y las características de construcción de los sensores fotográficos, se encarga de reconstruir la geometría de la toma, procesos que anteriormente se los realizaban con los restituidores analógicos. En la actualidad existen muchos software fotogramétricos en el mercado, los cuales presentan características interesantes, algunos de estos de presentan en la siguiente tabla 4:

Tabla 4.

Software Fotogramétricos

Software	Características
Photomodeler	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Es el software comercial de la casa EOS System. ❖ Permite la calibración de cámaras no métricas ❖ Es compatible con una gran cantidad de sensores ❖ Permite la creación de elementos tridimensionales y nubes de puntos. <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  </div>
Trimble Bussines Centre	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Es el software fotogramétrico utilizado por la marca Trimble ❖ Usado para el procesamiento de datos obtenidos por los UAV UX5 y X100 ❖ Permite crear ortomosaicos y modelos de superficie <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  </div>
Pix4D	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Este software es comercializado con drones de varias marcas, el más conocido es el eBee de la marca Sensefly. ❖ Permite el manejo de grandes cantidades de información y la generación de nubes de puntos y modelos de elevación y superficie. <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  </div>
Image Master	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Es el software de la casa Topcon ❖ Comercializado con el UAV Sirius pro ❖ Permite la creación de ortomosaicos y nubes de puntos <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> CONTINÚA  </div>

ERDAS LPS	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Es el software fotogramétrico de la casa Leica ❖ Es el más popular en el ámbito de la fotogrametría ❖ Compatible con cualquier tipo de imágenes satelitales y aéreas. ❖ Se lo comercializa con el drone Ibotix y con el paquete ERDAS. 
3DVEM	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Es un software gratuito desarrollado en la universidad técnica de Valencia ❖ Permite la generación de nubes de puntos y su edición ❖ Su principal limitación la cantidad de datos con los que trabaja. 

Fuente: Pagina web consultada de cada uno de los software.

2.3 PRODUCTOS FOTOGRAMÉTRICOS

2.3.1 Modelos Digitales del Terreno

Un modelo digital del terreno, MDT, es una representación de la distribución espacial de una variable cuantitativa continua. Un modelo digital de elevaciones, MDE, es un caso particular de un MDT en el que la variable cuantitativa es la altitud del terreno (Hernández, 2006).

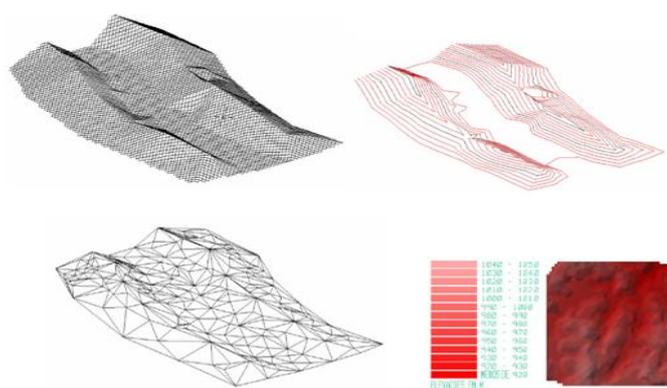


Figura 35. Estructura Vertical de un MDE.

Fuente: (Hernández, 2006).

2.3.2 Ortoimágenes

Una imagen en proyección ortogonal se puede considerar como un documento cartográfico en el sentido de que es una representación a escala del territorio.

El problema que se estudia en este capítulo es cómo obtener una imagen en proyección ortogonal, una ortoimagen, a partir de una imagen real, en perspectiva cónica. Este problema se resuelve a través de una transformación que se denomina ortorectificación, que se puede considerar como otro caso de la rectificación, pero que por su importancia en los trabajos fotogramétricos actuales se ha preferido tratar de manera independiente (Hernández, 2006).

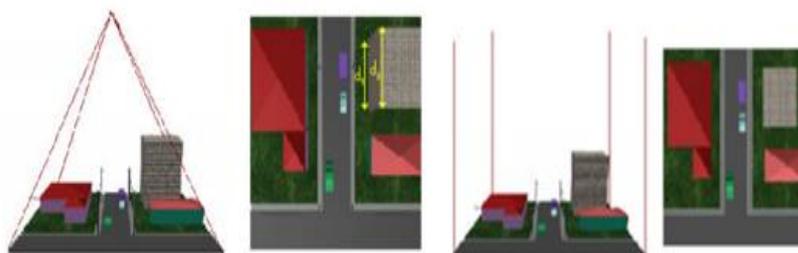


Figura 36. Ortorectificación de Imágenes.

Fuente: (Hernández, 2006)

2.4 CATASTRO

“Un catastro es un sistema integrado de bases de datos que reúne la información sobre el registro y la propiedad del suelo, características físicas, modelo econométrico para la valoración de propiedades, zonificación, transporte y datos ambientales, socioeconómicos y demográficos. Dichos catastros representan una herramienta holística de planificación que puede usarse a nivel local, regional y nacional con la finalidad de abordar problemas como el desarrollo económico, la propagación urbana, la erradicación de la pobreza, las políticas de suelo y el desarrollo comunitario sostenible” (Erba, 2005).

“El catastro es un inventario público, metódicamente ordenado, de datos concernientes a propiedades de un determinado país o distrito, basado en la medida de sus límites.

Las propiedades son identificadas de manera sistemática por medio de alguna designación distintiva. Los límites de la propiedad y el identificador de la parcela se indican normalmente en planos a escala grande, que, junto con otros registros, pueden mostrar para cada propiedad distinta, la naturaleza, el tamaño, el valor y los derechos legales asociados con la parcela. El catastro responde a las preguntas de dónde y cómo” (Kaufmann, 1998).

El catastro es un conjunto de datos gráficos y alfanuméricos, los cuales representan las características principales de una parcela o predio, la que es la unidad básica del sistema. Esta caracterización permite la planificación jurídica, económica y física de la misma, que está estrechamente relacionada con la situación de su entorno permitiendo así el manejo conjunto de todas las variables necesarias para una planificación territorial en beneficio de la población.

2.4.1 Clasificación del Catastro.

La clasificación del catastro se puede realizar según varios parámetros, los más aceptados por la mayoría de los autores son:

Por el Ámbito o Ubicación:

Refiriéndose a la posición espacial en que se encuentren los predios o parcelas que se estudien se tiene:

- **Catastro Urbano.**

Es percibido como un censo orientado al inventario y diagnóstico de información inmobiliaria, física, jurídica y económica de las ciudades. Dentro de las Actividades se encuentran: planos catastrales, en donde se identifican actividades urbanas como: desarrollos habitacionales, comerciales, industriales, institucionales, recreativos, entre otros (Méndez, 2005).

- **Catastro Rural.**

Está orientado al inventario y diagnóstico de la situación física, jurídica y económica de las unidades inmobiliarias rústicas. Dentro de las actividades se encuentran la realización de mapas, mediante los cuales se identifican las actividades agrícolas, como cultivos, actividades agro-pastoriles, así como también se identifican aquellas áreas misceláneas (Méndez, 2005).



Figura 37. Catastro Urbano y Rural.

Fuente: (Erba, 2005)

Por el Enfoque u Objetivo.

Dependiendo del objetivo con el que se maneja la información catastral, existen:

- **Catastro Económico o Fiscal.**

Basado en fines netamente tributarios, este se encuentra implantado en la mayoría de países del mundo, los cuales mediante una base de datos y distintos métodos de valoración determinan la contribución monetaria que realizará el propietario de un predio.

- **Catastro Geométrico o Físico**

Surge tras combinar las bases de datos con varias características espaciales de los predios, como extensión, posición y topografía, los cuales se obtienen con métodos topográficos o cartográficos, permitiendo administrar la exactitud de la información geográfica del territorio para obtener una valoración económica más equitativa.

- **Catastro Jurídico**

Es aquel que establece y controla el aspecto jurídico sobre los predios, es decir las circunstancias legales en las que va evolucionando el territorio en cuanto a su ocupación, geometría, posesión y valor económico se refiere.

- **Catastro Multifinalitario**

Fusiona los conceptos anteriores y los relaciona con aspectos ambientales y sociales, para establecer acciones de administración territorial eficientes, que aseguren una distribución armónica de la población y de las actividades económicas, buscando mejorar las condiciones de vida de la sociedad.

2.4.2 Componentes del Catastro

El catastro tiene varios componentes, los cuales interactúan entre sí, los cuales son:

- **Componente Económico**

Consiste en determinar el valor aplicable de todas las propiedades sujeto del catastro; determina el valor económico catastral de cada uno de los inmuebles de la municipalidad (Albarrán, 2004).

- **Componente Jurídico**

Se orienta básicamente al esclarecimiento de la tenencia de la propiedad inmobiliaria; es conveniente considerar que este componente considera el basamento legal que rige las actividades del catastro, las normativas y ordenanzas municipales referidas a las actividades catastrales (Albarrán, 2004).

- **Componente Social**

Esta referido a las condiciones sociales, históricas, demográficas y económicas existentes en la municipalidad. También comprende, entre otros; los servicios sociales, vivienda, salud, educación, infraestructura de servicio, vialidad, transporte y asistencia social (Albarrán, 2004).

- **Componente Ambiental**

Está constituido por los aspectos físico-naturales que comprenden el marco municipal. Tiene como objetivo primordial evaluar la calidad ambiental del medio físico natural y el comportamiento urbano y definido por la poligonal (Albarrán, 2004).

- **Componente Físico**

Constituye todas las técnicas referidas a la producción cartográfica catastral, deslinde municipal y parroquial, determinación de la poligonal urbana, sectorización, manzaneo, dimensiones, codificación catastral, ubicación cartográfica y caracterización de los inmuebles enmarcados dentro del ámbito municipal, como unidad orgánica (Albarrán, 2004).

Para el presente trabajo este es el componente más importante, ya que se pretende demostrar la factibilidad técnica para la producción de cartografía catastral a partir de imágenes capturadas con UAV. Para esto se digitalizará y organizará este componente mediante un Sistema de Información Geográfica, el cual permite estructurar la información espacial.

2.4.3 Sistema de Información Geográfica (SIG)

Un SIG es un software que principalmente permite la realización de las siguientes operaciones:

- Lectura, edición, almacenamiento, en términos generales, gestión de datos espaciales.
- Análisis de dichos datos. Esto puede incluir desde consultas sencillas a la elaboración de complejos modelos, y puede llevarse a cabo tanto sobre la componente espacial de los datos (la localización de cada valor o elemento) o la componente temática (el valor o el elemento en sí).
- Generación de resultados tales como mapas, informes, gráficos, etc.
- Un sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas. En otras palabras, un SIG es tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos georreferenciados, como un conjunto de operaciones para trabajar con esos datos. En cierto modo, un SIG es un mapa de orden superior (Olaya, 2011).

2.4.4 Geodatabase

Una geodatabase es un modelo que permite crear un repositorio central para el almacenamiento y gestión de datos espaciales con la finalidad de almacenar la información de una forma ordenada, dependiendo de la tipología y temática.

Una geodatabase es una colección de *datasets* de diversos tipos que se utiliza en ArcGIS y se administra en una carpeta de archivos o una base de datos relacional.

La Geodatabase se diferencia de las bases de datos normales en la relación de datos en el espacio incluyendo puntos, líneas, polígonos y su respectiva topología, es decir utiliza la información alfanumérica y espacial para realizar operaciones.

La digitalización de la cartografía se basará en la norma técnica ecuatoriana, establecida por el IGM en el documento denominado “Especificaciones Técnicas Generales para la Realización de Cartografía Topográfica a Cualquier Escala” en el cual se establece las características que deben tener cualquier representación gráfica de la superficie terrestre del Ecuador, entre estas se indica:

- Escala y Equidistancias de curvas

La equidistancia de curvas estará dado básicamente por la escala del mapa; así, para la cartografía de series nacionales las fijará el Instituto Geográfico Militar y para cartografía a escalas mayores ó iguales a 1:10 000 será la milésima parte del denominador de la escala, en metros.

- Proyección y Referencia Geográfica a utilizar

La cartografía se obtendrá en la Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), con base en el sistema de referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), materializada en el Marco Internacional de Referencia Terrestre 1994 (ITRF94) del International *Earth Rotation Service* (IERS) para la época 1995.4 y relacionado con el Elipsoide de Referencia Geodésico 1980 (GRS80).

El origen de longitudes es el meridiano de Greenwich y de latitudes es el paralelo cero o Ecuador. La referencia que utilizará todos los levantamientos será la Cuadrícula Universal Transversa de Mercator (CUTM). Cuando el área geográfica se encuentre entre zonas de traslapo se hará constar la cuadrícula del huso a la que pertenezca y figurará también la otra cuadrícula. El intervalo cuadrícula para series nacionales será de 1000 m a la escala del mapa y para cartografía mayor o igual a 1:10000 será aquella que responda al algoritmo: módulo de la escala dividida para 10. Ejemplo: señalemos a la escala 1:10 000 el intervalo cuadrícula será de 1 000 m. a la escala (10 cm).

2.4.5 Elementos Altimétricos, Planimétrico, Símbolos y Formatos

Los elementos altimétrico y planimétrico representará dependerá de la escala y el uso que se va a dar a la información; será una para aplicaciones con sistemas de información geográfica y otra, para realizar impresión en papel, en la que se utilizarán símbolos, signos y formatos de acuerdo a la escala.

Límites Parcelarios a Representar

Para la representación de límites parcelarios se diferenciarán dos casos:

- a) Cuando no existan levantados los polígonos del Catastro Topográfico Parcelario.
- b) Cuando estén levantados estos polígonos.

En el primer caso, para el catastro rural como urbano se representarán los límites de las parcelas visibles en la fotografía aérea.

En el segundo se identificarán los predios del catastro topográfico existente en las fotografías y se restituirán dichos predios.

Cuando tras el examen de las fotografías no sea posible identificar dichas parcelas, por no existir evidencias de modificaciones en ellas, se restituirán como aparecen en los fotogramas.

Se rotulará una leyenda que diga “parcelario interpretado con la información de la ficha catastral o documento utilizado”.

Puntos Acotados para Definir la Altimetría

Deberán figurar las cotas de todos los puntos que convenga definir, como: vértices geodésicos, placas de nivelación, puntos fijos topográficos, puntos de apoyo, cumbres y collados, cruces de vías estaciones de ferrocarril, puentes, cambios de pendiente y otros detalles planimétricos importantes.

Cuando la topografía del terreno tienda a ser plana se deberá aumentar el número de puntos acotados a efectos de mejor representación. En los casos urbanos se acotarán los curces de calles y las plazas.

2.4.6 Precisiones Finales

- a) Planimetría.- La posición en el mapa digital del 95% de los puntos bien definidos, no diferirán de la verdadera en más de 0.3 mm por el denominador de la escala.
- b) Altimetría.- Las elevaciones del 90% de los puntos acotados en el mapa digital, no diferirá de la verdadera en más de $\frac{1}{4}$ del intervalo de curva de nivel, el 5% restante nunca excederá del valor del $\frac{1}{2}$ del intervalo de curva de nivel. Las elevaciones del 90% de los puntos, cuyas cotas se obtengan por interpolación entre curvas de nivel, no diferirán de las verdaderas en más de $\frac{1}{2}$ del intervalo de curva de nivel. El 10% restante no podrá exceder del valor de la equidistancia.
- c) Parcelas.- En el caso de no existir polígonos del catastro parcelario, el 90% de las parcelas visibles en los fotogramas a la fecha de adquisición de la información, deberán ser representadas en el mapa. Cuando existan los polígonos del catastro parcelario, todos los polígonos de dichas parcelas estarán representadas.

2.5 CONTROL DE CALIDAD

El control de la calidad en los productos cartográficos es una preocupación actual de todos los organismos y empresas del sector. La incorporación de dichos productos en entornos de sistemas de información geográfica y su posterior análisis espacial requiere una buena calidad posicional de la información obtenida.

Es indudable que en procesos de producción tan complejos como es el proceso de producción cartográfica el control de calidad no es tarea fácil, por lo que es aconsejable la realización de controles individuales en cada una de las fases (Pérez, 2006).

Para realizar un control fotogramétrico, se debe tomar en cuenta que la producción cartográfica está conformada por dos procesos muy importantes, el proceso fotogramétrico en sí y sus productos, por lo que se hace necesario establecer maneras de control de las dos partes, los insumos y sus productos, para lo cual se definirá dos métodos para esto.

2.5.1 Control de Calidad del Insumo.

Para realiza un control de los insumos, en el caso de la producción cartográfica el ortomosaico, se usará una prueba de hipótesis, la cual brindará una idea del error estimado que tiene la imagen, para esto es necesario realizar la toma de los datos en campo, para obtener la diferencia entre la medida real y la de la fotografía y posteriormente se realizará un cálculo estadístico.

2.5.2 Control de Calidad de los Productos Cartográficos

Como en la mayoría de sectores productivos de cualquier población los usuarios exigen mayor calidad en sus productos, la cartografía no está alejada de esta realidad, más aun siendo esta base para la planificación de cualquier evento que se desarrolle en el territorio, esta debe cumplir las características más altas en cuanto a precisión y calidad.

Para realizar cualquier control de calidad se debe basar en una norma dictaminada por la entidad rectora del ámbito de producción, en la que se establezcan los valores máximos permitidos de error y especialmente los criterios de calificación, para esto se utilizarán los estándares de evaluación para productos cartográficos impresos, documento desarrollado por el Instituto Geográfico Militar en el año 2005. Pese a que este método ha sido desarrollado para la calificación de cartografía impresa, en el presente trabajo se lo usará para evaluar cartografía digital, debido a la facilidad que presentan actualmente los Sistemas de Información Geográfica para navegar y encontrar cualquier elemento geográfico con sus respectivas características geométricas y espaciales

Este sistema analiza cinco aspectos principales:

- **Exactitud Horizontal**

Es la desviación estándar estimada de los detalles planimétricos constantes en el producto cartográfico; se basa en el grado con que cumplieron los estándares de producción establecidas en los diferentes procesos (Ruano, 2005).

- **Exactitud Vertical**

Es la desviación estándar estimada de los detalles altimétricos (curvas de nivel y puntos acotados) constantes en el producto cartográfico; se basa en el grado con que cumplieron los estándares de producción en los diferentes procesos (Ruano, 2005).

- **Integridad**

Es el grado en que el producto incluye detalles en relación directa con la escala del producto y en caso de compilación cartográfica la escala de la información fuente (Ruano, 2005).

- **Configuración**

Es la semejanza que tiene el dibujo con los accidentes reales del terreno, según lo permitido por la escala. Se encarga de evaluar la generalización de los elementos gráficos en el documento cartográfico en conformidad de las especificaciones técnicas de acuerdo a la escala (Ruano, 2005).

- **Vigencia**

Es la antigüedad de la información cartografiada (detalles culturales y en ocasiones detalles físicos de la superficie terrestre), se calcula a partir del año de captura de la información fuente (fotografía aérea, radar, imágenes de cualquier sensor y/o topografía) más el tiempo de vida del documento (Ruano, 2005).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

1.1 FOTOGRAMETRÍA AÉREA CON EL UAV TRIMBLE UX5.

1.1.1 Descripción del Equipo Trimble UX5

Este equipo es una solución aérea para la obtención de imágenes digitales, las cuales posteriormente con el software Trimble Business Centre son procesadas para crear productos fotogramétricos como ortomosaicos, nubes de puntos y modelos digitales del terreno.

El Trimble UX5 cuenta con una cámara digital RGB de 16.1 megapíxeles, lo cual permite tener una resolución espacial mínima de 2.54 cm y máxima de 25.4 metros, dependiendo de la altura de vuelo del equipo, a continuación se detallan varias características del equipo.

Tabla 5.

Características UAV Trimble UX5

Características Trimble UX5	
Tipo	Ala fija
Material	Polipropileno expandido y fibra de carbono
Ancho	60 cm
Largo	100 cm
Autonomía de vuelo	45 minutos
Resolución cámara	16.1 megapíxeles
GSD	2.54 cm – 25.4 metros
Altura de vuelo	75 – 750 metros
Distancia de control	Máximo 5 km

Fuente: Manual de usuario Trimble UX5

El equipo se compone de dos segmentos principales, que son:

- **Segmento Aéreo**

El cuerpo del equipo está fabricado con un esqueleto interno de carbono y una cubierta de polipropileno expandido, lo que le otorga buena resistencia a los golpes y al medio ambiente, adicionalmente cuenta con varias piezas de fibra de carbono, entre estas los alerones y la hélice, encargados de la estabilidad del equipo en el aire.



Figura 38. Vista Superior e Inferior del UAV.

Fuente: Hoja de datos equipo Trimble UX5

En el interior del cuerpo del UAV existen dos compartimentos en uno de estos se encuentra la caja Ebox, en su interior se encuentran un receptor GNSS L1, una antena receptora de radio frecuencia y varios elementos electrónicos que reciben y ejecutan las acciones emitidas por el segmento terrestre.



Figura 39. Ebox.

Fuente: Empresa Instrumental y Óptica.

En el compartimento frontal se albergan el sensor fotográfico el cual realiza la toma cuando el Ebox se lo indica, también se encuentran la fuente de alimentación del equipo y los servomotores.



Figura 40. Compartimento Frontal del UAV.

Fuente: Empresa Instrumental y Óptica.

- **Segmento Terrestre**

Está conformado por la Tablet modelo YUMA 1 que se muestra en la figura 41, en la cual se encuentra instalado el software de planificación del vuelo y la antena emisora, con la cual el programa envía las ordenes al UAV mediante ondas de radiofrecuencia para que este se desplace en el espacio y ejecute la misión fotogramétrica como fue planificada.



Figura 41. Tablet YUMA 1.

Fuente: Hoja de datos Trimble UX5

Para el despegue del equipo, se cuenta con una catapulta de lanzamiento, la cual mediante la tensión mecánica de cuerdas, lanza al equipo a la velocidad necesaria para activar sus sensores y realizar el vuelo fotogramétrico.



Figura 42. Catapulta de Lanzamiento.

Fuente: Hoja de datos Trimble UX5

- **Sensor Fotográfico del UAV**

El sensor fotográfico del equipo es la cámara SONY NEX-5R, la cual posee 16.1 megapíxeles de resolución. Esta realiza la captura de las imágenes en el punto en que indique el Ebox, esta información se transmite mediante el wifi incorporado que tienen ambos elementos. Posee un sensor de gran tamaño APS-C (CMOS) el cual otorga un tamaño de pixel de 4.8 μm .



Figura 43. Cámara SONY NEX-5R.

Fuente: Empresa Instrumental y Óptica

La lente externa Voigtlander aporta una focal fija de 15.5172 mm la cual genera una geometría interna de la cámara más estable y por ende una mejor calibración. Otras características del sensor se presentan a continuación en la tabla 6.

Tabla 6.

Características de la Cámara Sony NEX-5R

Tamaño	23.5 x 15.6 mm
Peso	218 gramos
Tamaño de la imagen	4912 x 3264 pixeles
Distancia focal	15.5172 mm
Resolución	16.1 MP
Ángulo de visión	75.87 grados

Fuente: Hoja de datos Trimble UX5

- **Condiciones de Operación.**

El cuerpo robusto del equipo y el potente motor, permite operar el UAV en condiciones máximas de vientos de 65 Km/h y lluvia ligera, sin embargo se debe considerar que las adversidades climáticas influirán drásticamente en la captura y calidad de las imágenes así como en el tiempo de vuelo del UAV.

3.1.2 Planificación del Vuelo Fotogramétrico

Dentro de la planificación del estudio se necesita realizar dos vuelos fotogramétricos, para los cuales se deben conocer los parámetros geométricos que permitan obtener productos con la precisión deseada. Previo a la planificación del proyecto se acudió al Departamento Cartográfico del IGM para investigar las características de la producción digital de cartografía a escalas 1:1000 y 1:5000, dentro de la información recolectada se encuentra los tamaños de pixel que utiliza esta entidad, los cuales se indican a continuación:

Tabla 7

Tamaño de Pixel Utilizado para la Producción Cartográfica

Escala de trabajo	Tamaño de pixel
1:1000	7 – 12 cm
1:5000	20 -30 cm

Fuente: IGM, departamento cartográfico

En base a estos valores se decidió utilizar el tamaño de pixel de 7 cm para la escala de trabajo 1:1000 y 24 cm para la escala 1:5000, con el primer valor se espera una altura de vuelo promedio a 220 metros de altura, y con el segundo valor una altura de 750 metros, el cual es el límite máximo de altura de vuelo del UAV Trimble UX5.

Conociendo los tamaños de pixel a utilizar y las altura de vuelo esperadas, se procede al cálculo de los distintos parámetros matemáticos que intervienen en la producción cartográfica.

- **Precisiones y Equivalencias del Equipo Fotográfico**

Los datos de partida para la elaboración del proyecto son:

Tamaño de pixel del sensor utilizado: 4.8 μm .

Focal: 15.5172 mm

Resolución:

$$\text{Resolución} = \frac{1000 \mu\text{m}}{4.8 \mu\text{m}} = \frac{208.33 \text{ ln}}{\text{mm}} = 200 \text{ ln/mm}$$

Presión en la medición de las coordenadas:

$$\delta_x = \delta_y = \frac{\text{Resolución}}{5} = \frac{4.8 \mu\text{m}}{5} = \pm 0.96 \mu\text{m}.$$

Precisión Planimétrica:

$$\delta_{xy} = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2}$$

$$\delta_{xy} = \delta_x \sqrt{2} = \pm 0.96 \mu\text{m} \cdot \sqrt{2}$$

$$\delta_{xy} = \pm 1.357 \mu\text{m}$$

Precisión Estereoscópica:

$$\delta_{xyz} = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2 + \delta_z^2}$$

$$\delta_{xyz} = \delta_x \sqrt{3} = \pm 0.96 \mu\text{m} \cdot \sqrt{3}$$

$$\delta_{xyz} = \pm 1.6627 \mu\text{m}$$

- **Planificación del Proyecto Fotogramétrico Escala 1:1000**

$$\text{Escala de la fotografía} = Ef = \frac{\text{focal}}{\text{Altura de vuelo}} = \frac{0.0155172}{220} = 14000$$

Factor de Ampliación:

$$FA = \frac{\text{Resolución (efectiva)}}{\frac{5 \text{ ln}}{\text{mm}} - \frac{10 \text{ ln}}{\text{mm}}}$$

$$= \frac{200 \text{ ln/mm}}{5 \text{ ln/mm}} / \frac{200 \text{ ln/mm}}{10 \text{ ln/mm}}$$

$$FA = 40X / 20X$$

$$FA = \frac{14000}{40X} / \frac{14000}{20X}$$

Escala Plano:

$$Ep = \frac{Ef}{FA}$$

$$FA = \frac{14000}{1000} = 14X$$

El producto cartográfico a escala 1:1000, permitirá un factor de ampliación de 14X

Altura de Vuelo:

$$\delta_{xyz} = \delta_{xyz} * Ef * \frac{z}{B}$$

$$z = 0.0155172 \text{ m} * 14000 = 217.24 \text{ m}$$

Precision Planimétrica en el Terreno:

$$PpT = Pp * Ef$$

$$PpT = \pm 1.357 \mu\text{m} * 14000$$

$$PpT = \pm 1.899 \text{ cm}$$

Puntos de Control:

$\pm 1.9 \text{ cm}$	\longrightarrow	65%
$\pm 0.95 \text{ cm}$	\longrightarrow	95%
$\pm 0.48 \text{ cm}$	\longrightarrow	99.5%

Separación entre Centros de Foto:

$$\text{Tamaño longitudinal} = \frac{\text{Ancho de la fotografía} * GSD}{100000}$$

$$= \frac{3264 * 7}{100000} = 0.228 \text{ km}$$

$$\text{Separación} = \text{Tamaño L.} * (1 - \text{Traslapo Longitudinal})$$

$$\text{Separación} = 0.228 * (1 - 0.80) = 0.0456 \text{ km}$$

Separación entre líneas de vuelo:

$$\text{Tamaño transversal} = \frac{\text{Largo de la fotografía} * GSD}{100000}$$

$$= \frac{4912 * 7}{100000} = 0.343 \text{ km}$$

$$\text{Separación} = \text{Tamaño T.} * (1 - \text{Traslapo Transversal})$$

$$\text{Separación} = 0.343 * (1 - 0.80) = 0.0686 \text{ km}$$

Precisión Altimétrica:

$$P(z) = Pz * Ef * \frac{z}{B}$$

$$Pz = \pm 1.6627 \mu\text{m} * 14000 * \frac{220}{45.6}$$

$$P(z) = \pm 0.1123 \text{ m} = \pm 11.23 \text{ cm}$$

Área cubierta por cada fotografía:

Área = tamaño longitudinal * tamaño transversal

$$\text{Área} = 343 \text{ m} * 228\text{m} = 78204 \text{ m}^2 = 7.82 \text{ ha}$$

Número de líneas de vuelo:

$$\text{N}^\circ \text{ de líneas de vuelo} = \frac{\text{Largo zona de estudio}}{\text{separacion entre líneas}}$$

$$= \frac{980 \text{ m}}{68.6 \text{ m}} = 14.2 = 14 \text{ líneas de vuelo}$$

Número de fotos por línea de vuelo:

$$\text{N}^\circ \text{ de fotos por línea} = \frac{\text{Ancho zona de estudio}}{\text{separacion entre fotos}}$$

$$= \frac{890 \text{ m}}{45.6 \text{ m}} = 19.51 = 20 \text{ fotos por línea}$$

Número total de fotos:

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ total de fotos} &= \text{Fotos por línea} * \text{líneas de vuelo} \\ &= 20 * 14 = 280 \text{ fotos} \end{aligned}$$

- **Planificación del Proyecto Fotogramétrico Escala 1:5000**

Factor de Ampliación:

$$\begin{aligned} \text{FA} &= \frac{\text{Resolución (efectiva)}}{\frac{5 \text{ ln}}{\text{mm}} - \frac{10 \text{ ln}}{\text{mm}}} \\ &= \frac{200 \text{ ln/mm}}{5 \text{ ln/mm}} / \frac{200 \text{ ln/mm}}{10 \text{ ln/mm}} \\ \text{FA} &= 40X / 20X \end{aligned}$$

$$\text{FA} = \frac{48000}{40X} / \frac{48000}{20X}$$

Escala Plano:

$$\begin{aligned} \text{Ep} &= \frac{Ef}{FA} \\ \text{FA} &= \frac{48000}{1000} = 48X \end{aligned}$$

El producto cartográfico a escala 1:5000, permitirá un factor de ampliación de 48X

Altura de Vuelo:

$$\delta_{xyz} = \delta_{xyz} * Ef * \frac{z}{B}$$

$$z = 0.0155172 \text{ m} * 48000 = 744.82 \text{ m}$$

Precision Planimétrica en el Terreno:

$$PpT = Pp * Ef$$

$$PpT = \pm 1.357 \mu\text{m} * 48000$$

$$PpT = \pm 6.513 \text{ cm}$$

Puntos de Control:

$$\pm 6.5 \text{ cm} \longrightarrow 65\%$$

$$\pm 3.25 \text{ cm} \longrightarrow 95\%$$

$$\pm 1.63 \text{ cm} \longrightarrow 99.5\%$$

Separación entre centros de foto:

$$\text{Tamaño longitudinal} = \frac{\text{Ancho de la fotografía} * GSD}{100000}$$

$$= \frac{3264 * 24}{100000} = 0.783 \text{ km}$$

$$\text{Separación} = \text{Tamaño L.} * (1 - \text{Traslapo Longitudinal})$$

$$\text{Separación} = 0.783 * (1 - 0.80) = 0.156 \text{ km}$$

Separación entre líneas de vuelo:

$$\text{Tamaño transversal} = \frac{\text{Largo de la fotografía} * GSD}{100000}$$

$$= \frac{4912 * 24}{100000} = 1.178 \text{ km}$$

Separación = Tamaño T. * (1- Traslado Transversal)

$$\text{Separación} = 1.178 * (1 - 0.80) = 0.235 \text{ km}$$

Precisión Altimétrica:

$$P(z) = Pz * Ef * \frac{z}{B}$$

$$Pz = \pm 1.6627 \mu\text{m} * 48000 * \frac{750}{156}$$

$$P(z) = \pm 0.3837 \text{ m} = \pm 38.37 \text{ cm}$$

Área cubierta por cada fotografía:

Área = tamaño longitudinal * tamaño transversal

$$\text{Área} = 1178 \text{ m} * 783 \text{ m} = 922374 \text{ m}^2 = 92.23 \text{ ha}$$

Número de líneas de vuelo:

$$\text{N}^\circ \text{ de líneas de vuelo} = \frac{\text{Largo zona de estudio}}{\text{separacion entre líneas}}$$

$$= \frac{2485.76 \text{ m}}{235 \text{ m}} = 10.5 = 11 \text{ líneas de vuelo}$$

Número de fotos por línea de vuelo:

$$\text{N}^\circ \text{ de fotos por línea} = \frac{\text{Ancho zona de estudio}}{\text{separacion entre fotos}}$$

$$= \frac{2612.5 \text{ m}}{156 \text{ m}} = 16.7 = 17 \text{ fotos por línea}$$

Número total de fotos:

Nº total de fotos = Fotos por línea * líneas de vuelo

$$= 11 * 17 = 187 \text{ fotos}$$

3.1.3 Planificación del Vuelo Fotogramétrico con el UAV Trimble UX5

La planificación del vuelo con el equipo Trimble UX5, se la realiza mediante el software Trimble Aerial Imaging, el cual se encuentra precargado en la Tablet que acompaña al equipo, mediante este se programan los parámetros como altura de vuelo, traslapos, área de cobertura y resolución espacial.

- **Trimble Aerial Imaging**

El software Trimble Aerial Imaging se utiliza para realizar la planificación y la simulación de las misiones fotogramétricas, permite visualizar y delimitar el área de estudio directamente sobre imágenes satelitales de Google Earth o importar archivos similares en formatos compatibles, ventaja orientada a las zonas nubosas y de poca visibilidad.

- **Creación de la Misión**

La creación de la misión se realiza mediante la selección del menú **NEW**, el cual se despliega conjuntamente con varios comandos los cuales se muestran en la figura 44, estos aparecen automáticamente al iniciar el software de planificación.



Figura 44. Menús del Software Trimble Aerial Imaging.

Fuente: Trimble Aerial Imaging.

Automáticamente se despliega la ventana principal con un mapa mundial en el cual se realiza la navegación hasta el área de estudio. Dentro de la pestaña **MAP LAYERS**  se realiza la delimitación del área de toma la cual se crea con el comando **CREATE A MISSION AREA**  , en el caso del proyecto se crearon dos misiones, la primera indicada en la figura 45 de superficie aproximada de 0.87 km² destinada al vuelo a 220 metros de altura y la segunda con un área de 6.49 km² para la toma de fotografías a 750 metros, indicada en la figura 46.

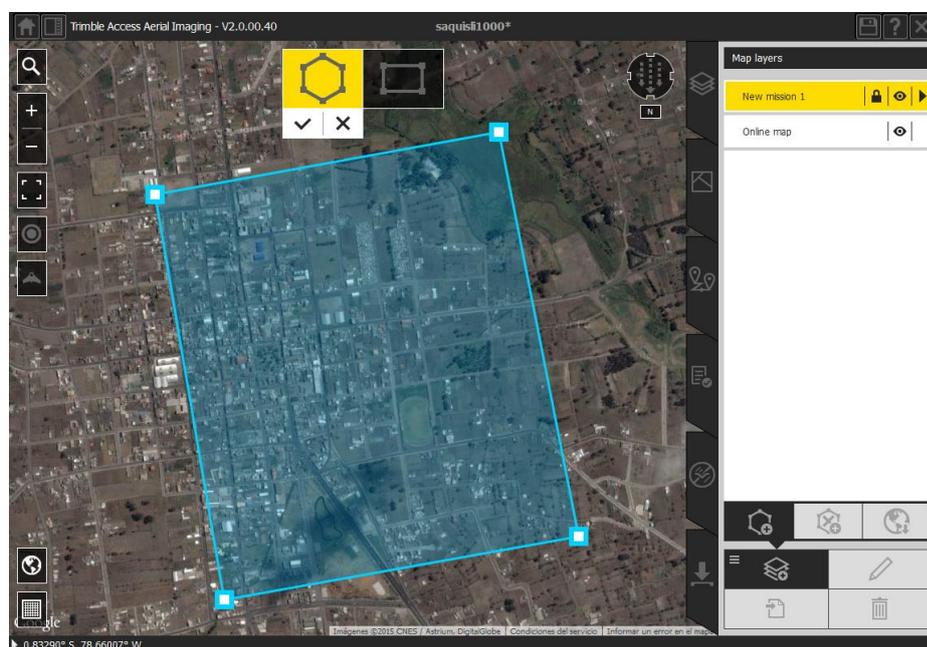


Figura 45. Área de la Primera Misión Fotogramétrica.

Tabla 8.

Dimensiones de la Misión Fotogramétrica

Misión	Largo	Ancho	Superficie
Saquisilí1000	0.98km	0.89 km	0.87 km ²

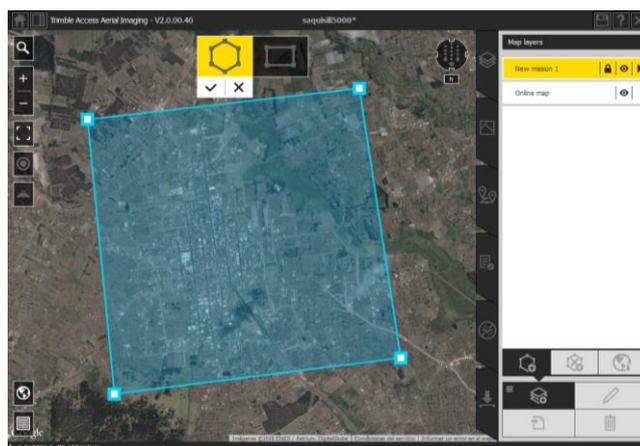


Figura 46. Área de la Segunda Misión Fotogramétrica.

Tabla 9.

Dimensiones de la Misión Fotogramétrica

Misión	Largo	Ancho	Superficie
Saquisilí5000	2.612 km	2.485 km	6.49 km ²

- **Programación de los Parámetros de la Misión Fotogramétrica**

Una vez creada la misión fotogramétrica se procede a establecer las características geométricas del vuelo, las cuales son calculadas mediante el proceso detallado en el numeral 3.1.2 de este capítulo, los parámetros a ingresar son:

- GSD
- Altura de Vuelo
- Traslapo horizontal y vertical

La programación consiste en asignar el valor requerido de los parámetros anteriormente mencionados mediante los botones que se presentan en la pantalla, al ingresar el GSD o la altura de vuelos, el software automáticamente calcula el valor correspondiente al otro parámetro, las ventanas de programación para cada misión fotogramétrica se observan en la figura 47.

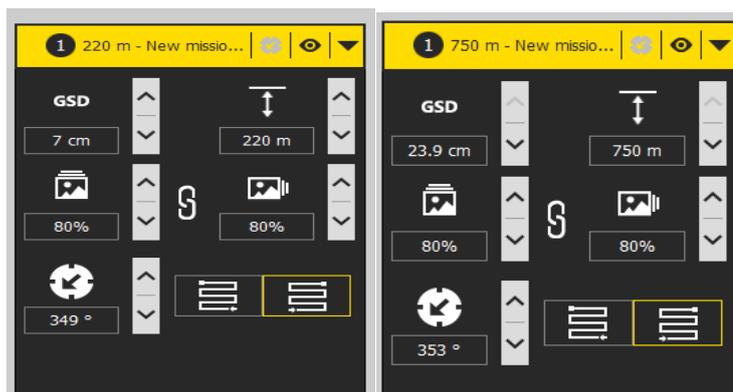


Figura 47. Ventanas de Parámetros Fotogramétricos para las Escalas 1:1000 y 1:5000.

Una vez configuradas las características del vuelo, el programa aproxima el tiempo necesario para la ejecución del mismo, además de los calculo realizados por el software se puede tener los datos fotogramétrico mediante la calculadoras de vuelo en línea, disponible en la dirección <http://uas.trimble.com/calculator>, en donde se obtuvieron los resultados que se indican en la figura 48.

	Type	GSD *	Area Coverage	# Flight Lines	Flight Time	# Pictures
	UX5	7.04 cm	0.8722 km ²	13	20.405 minutes	286
	UX5	24 cm	6.49082 km ²	11	31.499 minutes	187

Figura 48. Parámetros calculados mediante la herramienta calculadora de vuelo en línea.

Fuente: Trimble Calculator

Una vez ingresados los parámetros, se debe establecer los puntos de despegue y aterrizaje, tomando en cuenta que el área para este fin debe ser lo suficientemente extensa para que el UAV realice las maniobras necesarias sin complicaciones, para el proyecto se seleccionó el estadio de la liga deportiva cantonal de Saquisilí, ubicado al sur oriente el área de estudio, con una longitud de 131 metros y un ancho de 68, en el software se indica el punto de despegue y aterrizaje, el cual se usó para los dos vuelos fotogramétricos, estos quedaron definidos como se observa en la figura 49.



Figura 49. Puntos de Despegue y Aterrizaje de los Vuelos.

El área de despegue debe cumplir ciertas condiciones mínimas como por ejemplo que no existan interferencia de árboles o edificios en los siguientes 50 metros al punto de despegue, tampoco debe tener obstáculo en los siguientes 280 metros en un ángulo vertical de 30° como se observa en la figura 50.

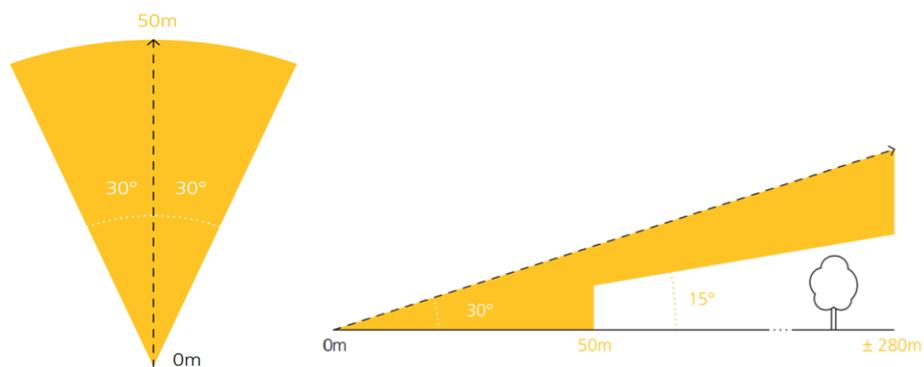


Figura 50. Condiciones para el despegue el UAV.

Fuente: Manual se usuario Trimble UX5

3.1.4 Ejecución del Vuelo Fotogramétrico

Con la planificación del vuelo realizada y seleccionados los puntos de despegue y aterrizaje se debe colocar el UAV en la catapulta de lanzamiento y continuar con la lista de chequeo previa al lanzamiento, el cual cuenta con 16 pasos en los que se va probando la operatividad de todos los sensores como el GNSS, la cámara, el sistema inercial de navegación los alerones, la carga de la batería y el motor, una vez terminado el chequeo el software advierte que el UAV está listo para ser lanzado, lo cual se observa en la figura 51.

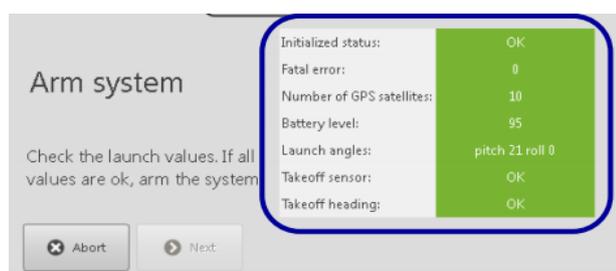


Figura 51. Alerta de Check List Completado.

Fuente: Trimble Aerial Imaging

Para ejecutar el lanzamiento se debe accionar el mecanismo de la catapulta que arroja al UAV a 65 km/h, velocidad necesaria para que los sensores del avión activen el motor y empiece con la misión fotogramétrica.

Los vuelos se realizaron desde la esquina noroeste del estadio con las condiciones de viento y clima favorables.

Durante el vuelo el UAV primero alcanza la altura programada, para lo cual ejecuta giros con un radio de 100 metro. Alcanzada la altura se procede a tomar las fotografías avanzando a una velocidad crucero (80 km/h) sobre las líneas de vuelo previamente definidas.

Al terminar de fotografiar la zona el avión avanza hasta la zona de aterrizaje perdiendo altura de la misma manera en la que ascendió, es decir realizando círculos con un radio de 100 metros, este proceso lo realiza hasta alcanzar una altura de 75 metros en donde se indica mediante el botón **LAND** que el UAV puede aterrizar.

Toda la ejecución del vuelo se puede observar en la siguiente secuencia de imágenes resumido en la figura 52.

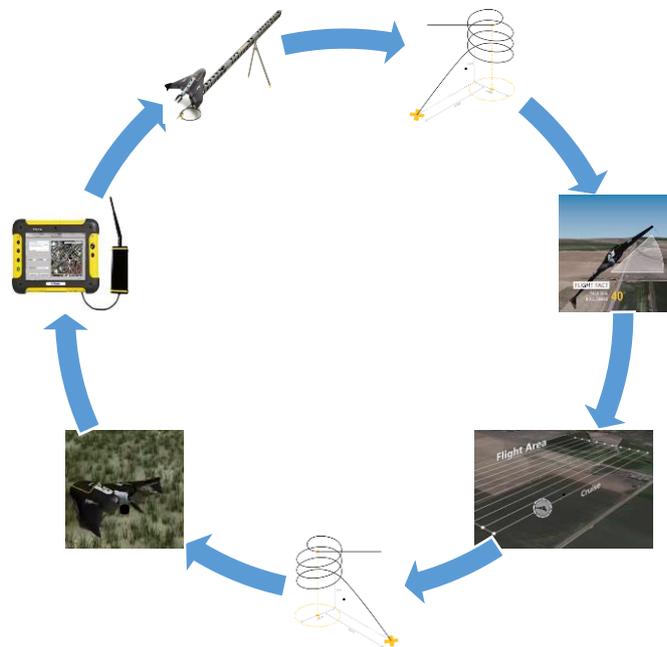


Figura 52. Resumen del Proceso del Vuelo Fotogramétrico.

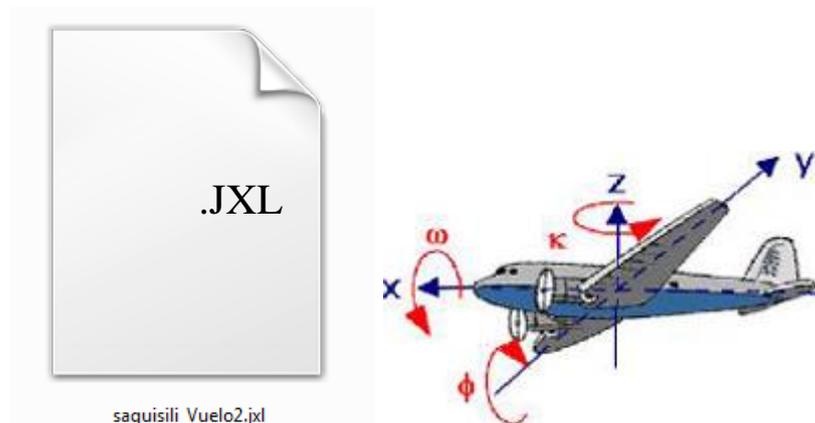
- **Descarga de Datos.**

La descarga de datos consiste en extraer del equipo dos elementos, el primero son todas las fotografías que captó la cámara durante el vuelo, las características de las imágenes se detallan en la tabla 10 las que se copian desde la tarjeta de memoria del dispositivo.

Tabla 10.***Características de los Archivos Descargados***

Misión	N° de fotografías	Peso del archivo
Vuelo 220 metros	285	1.87 Gb
Vuelo 750 metros	140	1.04 Gb

El segundo elemento que se debe extraer es el archivo de navegación, es decir toda la ruta que siguió el UAV durante el vuelo, dentro de este archivo se encuentran los desplazamientos que tuvo en los ejes X, Y, Z y los giros conocido como Phi, Omega y Kappa. Este archivo es propio del equipo, es decir limita el proceso de la información en otro software, este archivo de navegación tiene un formato .JXL

***Figura 53. Archivo de Desplazamientos y Giros.*****3.1.5 Apoyo Terrestre GNSS**

El trabajo de apoyo terrestre se realizó mediante el posicionamiento GNSS con el cual se posicionaron 5 puntos de control distribuidos por la zona de estudio con se observan en la figura 54.

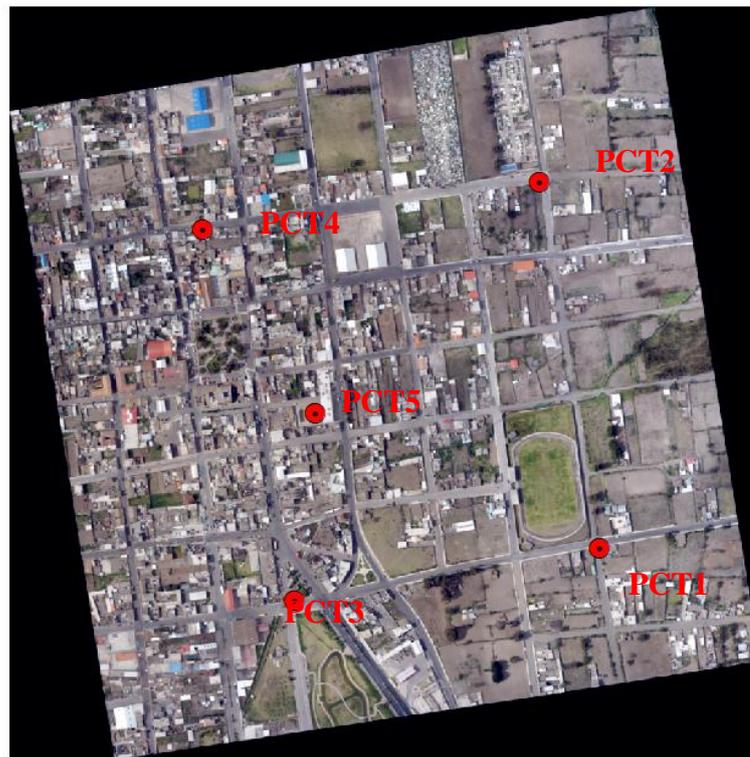


Figura 54. Distribución de los Puntos de Control Terrestre.

Previo a la realización del vuelo se colocaron targets (marcas) en 2 de los 5 puntos con la finalidad de tener un mejor pinchado de los mismos, en el caso de no contar con targets, se debe ubicar elementos claramente identificables en un mínimo de 5 fotografías, lo cual se realizó para los 3 puntos faltantes.

- **Posicionamiento GNSS**

El método utilizado fue el estático, en el que se plantó una base por un tiempo de 7 horas y 4 móviles por un lapso de 20 minutos cada uno. Debido a la falta de 2 de los 4 targets, se decidió reemplazar los elementos faltantes por puntos fotoidentificables en las fotografías, por lo que al momento del posicionamiento se debía verificar que un mismo objeto se encuentre en por lo menos 5 fotografías.

Una vez identificados los puntos se procedió a marcarlos con pintura roja con la leyenda PCT (Punto de Control Terrestre) como se muestra en la figura 55, posteriormente se colocó el equipo 5800 y se realizó la recolección de los datos GNSS.



Figura 55. Marcado de los Puntos de Control Terrestre.

El posicionamiento GNSS se lo realizó con el equipo GNSS Doble frecuencia Trimble 5800, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas.



Figura 56. Antenas Doble Frecuencia Trimble 5800.

- **Post Proceso de los Datos GNSS**

El primer punto obtenido fue la Base del proyecto, la cual se procesó con los datos GNSS de la Estación de monitoreo continuo Cotopaxi (CXEC) ubicada en la ciudad de Latacunga, esta estación pertenece a la REGME establecida por el IGM y cuenta con las coordenadas fijas.

Tabla 11.

Coordenadas de la Estación Cotopaxi (IGM)

Punto	CXEC (IGM)
Coordenada UTM X	765451,212 m
Coordenada UTM Y	9896539,748 m
Coordenada Elipsoidal Z	2808,509 m

Una vez obtenidos los datos de la base el procesamiento se llevó a cabo en el software Trimble Business Centre, mediante el módulo GNSS, la distancia entre la base del IGM y la del proyecto es aproximadamente, conocida como línea base fue de aproximadamente 11 km como se observa en la pantalla de procesamiento en la figura 57.

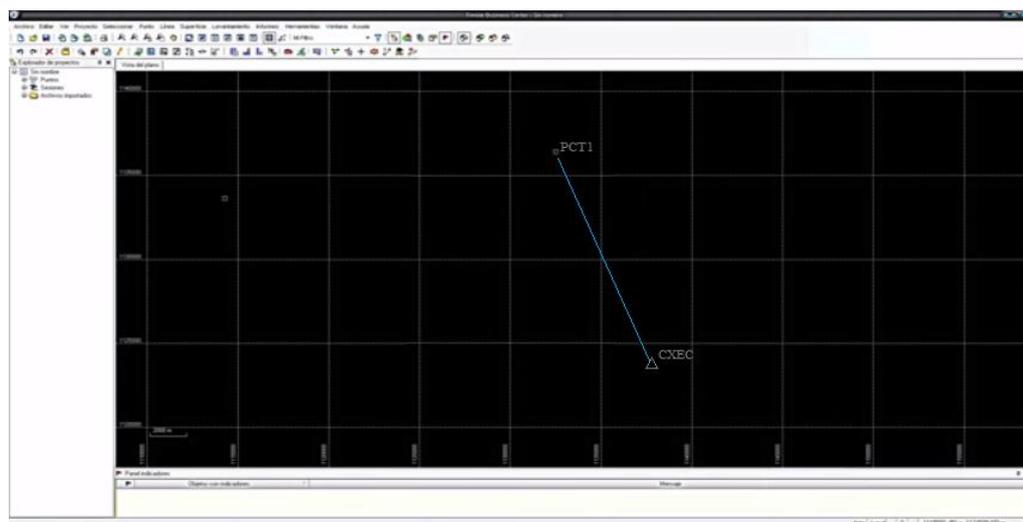


Figura 57. Línea Base CXEC-PCT1.

El procesamiento se llevó a cabo de manera exitosa, adicionalmente se obtuvo la ondulación geoidal para la zona mediante una placa nivelada a 4 km de la zona, esta fue de 27.668 m, tras los cálculos necesarios se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 12.

Coordenada del Punto PCT1

Punto	PCT1 (base)
Coordenada UTM X	760221,61 m
Coordenada UTM Y	9906945,07 m
Coordenada Elipsoidal Z	2943,564 m
Altura nivelada	2915,896
Tipo de solución	Fija
Precisión Horizontal	0.004 m
Precisión Vertical	0.021 m
RMS	0.002
Tiempo de recolección	7 h 09 min

Con las coordenadas de la base para el proyecto, se procedió a procesar los 4 puntos móviles mediante el software TBC, en este caso las líneas base que aparecen en la figura 58 fueron de menor longitud, aproximadamente 650 metros.

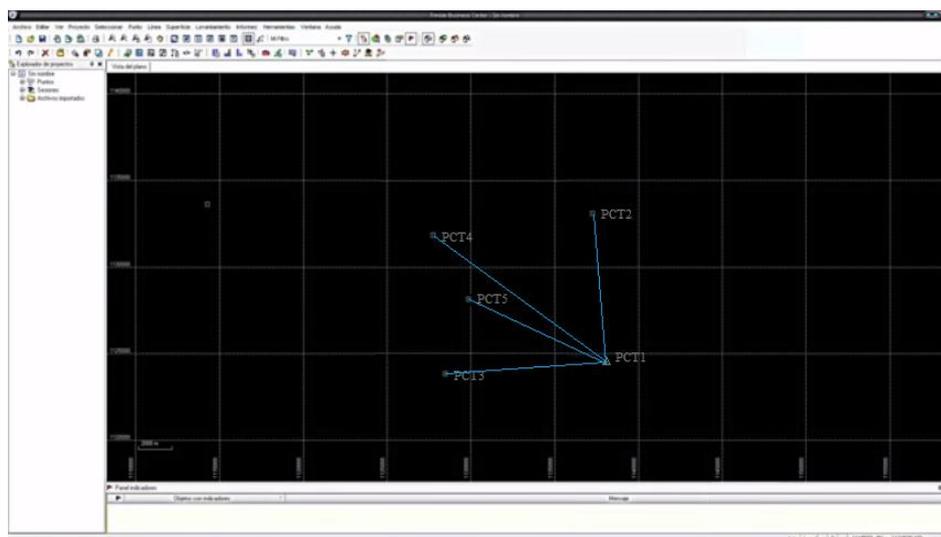


Figura 58. Procesamiento de los Puntos de Control Terrestre.

Los resultados del procesamiento se documentaron en las monografías del anexo 1, teniendo resumido los siguientes resultados:

Tabla 13.

Resumen de las Coordenadas de los Puntos de Control

Punto	PCT2
Coordenada UTM X	760142,192 m
Coordenada UTM Y	9907434,920 m
Coordenada Elipsoidal Z	2952,810 m
Altura nivelada	2929,142
Tipo de solución	Fija
Precisión Horizontal	0,003
Precisión Vertical	0,004
RMS	0,000
Tiempo de recolección	21 min 15 seg
Punto	PCT3
Coordenada UTM X	759816,020 m
Coordenada UTM Y	9906874,313 m
Coordenada Elipsoidal Z	2940,773 m
Altura nivelada	2013,105
Tipo de solución	Fija
Precisión Horizontal	0,004
Precisión Vertical	0,008
Continua	

RMS	0,000
Tiempo de recolección	19 min 40 seg
Punto	PCT4
Coordenada UTM X	759694,174 m
Coordenada UTM Y	9907371,348 m
Coordenada Elipsoidal Z	2945,765 m
Altura nivelada	2918,097
Tipo de solución	Fija
Precisión Horizontal	0,004
Precisión Vertical	0,006
RMS	0,000
Tiempo de recolección	20 min 05 seg
Punto	PCT5
Coordenada UTM X	759843,285 m
Coordenada UTM Y	9907125,076 m
Coordenada Elipsoidal Z	2943,499 m
Altura nivelada	2915,831
Tipo de solución	Fija
Precisión Horizontal	0,004
Precisión Vertical	0,005
RMS	0,000
Tiempo de recolección	26 min 45 seg

Como se puede observar las precisiones obtenidas en horizontal y vertical, satisfacen lo establecido en el cálculo de las precisiones realizado en el numeral 3.1.2 referente a la planificación del vuelo fotogramétrico, en donde se establece que para ambas escalas la mínima precisión necesaria es 0.48 cm, al tener como promedio 0.004 m de Precisión en horizontal y 0.008 en vertical, los Puntos de Control Terrestre pueden ser utilizados para el procesamiento de los vuelos fotogramétricos realizados.

3.1.6 Procesamiento de la Misión Fotogramétrica Aérea

Para el procesamiento de la información se utilizó el software Trimble Business Center versión 3.40, el cual admite los archivos obtenidos del UAV Trimble UX5, el software cuenta con un módulo dedicado exclusivamente a la producción de cartografía.

El procesamiento se llevó a cabo inicialmente en una Workstation DELL Precision T7600, sin embargo se presentaron inconvenientes ya que las configuraciones de la computadora eran las que no permitían realizar los ajustes necesarios, posteriormente se trabajó con una Workstation DELL Precision M4800, con las configuraciones y permisos necesarios.

Para el iniciar el procesamiento se crea un nuevo trabajo y se le otorga a este las características geográficas como se observa en la figura 59, estableciendo el sistema de referencia WGS84 y el sistema de proyección UTM, zona 17 Sur, esto se realizó para cada uno de los vuelos fotogramétricos realizados

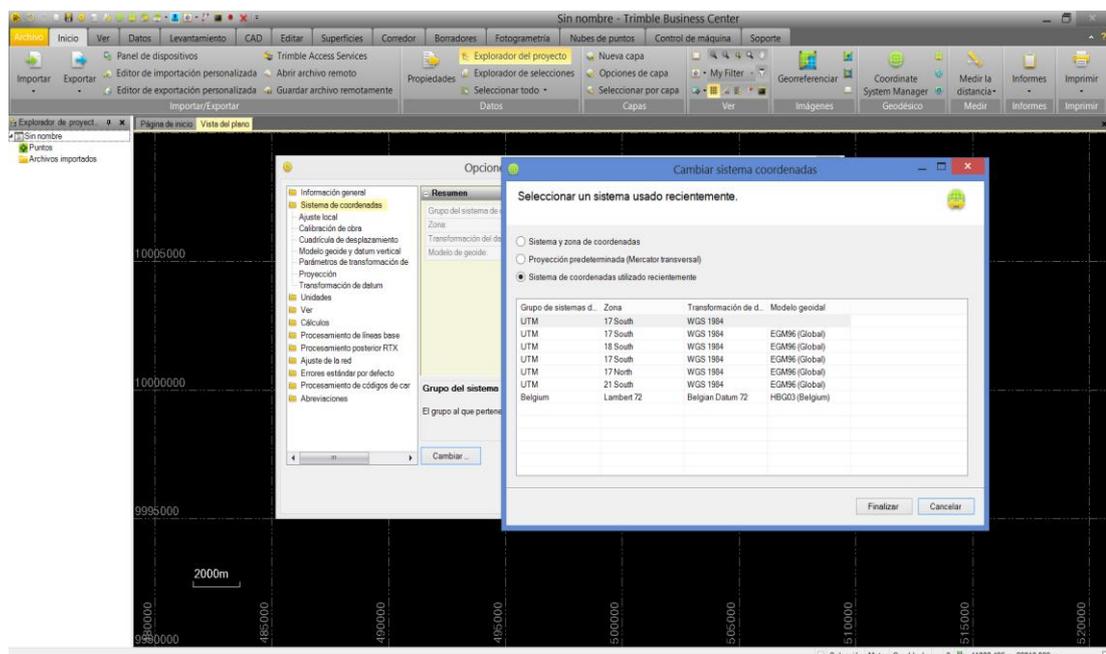


Figura 59. Configuración de los Sistemas de Proyección y Referencia del Procesamiento.

Posteriormente e debe importar a la pantalla principal del software los dos archivos anteriormente descargados del UAV y de la cámara, es decir el Archivo .JXL y las fotografías, este proceso se lleva a cabo simplemente arrastran el archivo desde la carpeta que lo contiene hasta la pantalla principal del TBC como se observa en la figura 60, inmediatamente se despliegan las fotografía y los puntos de centro de foto.

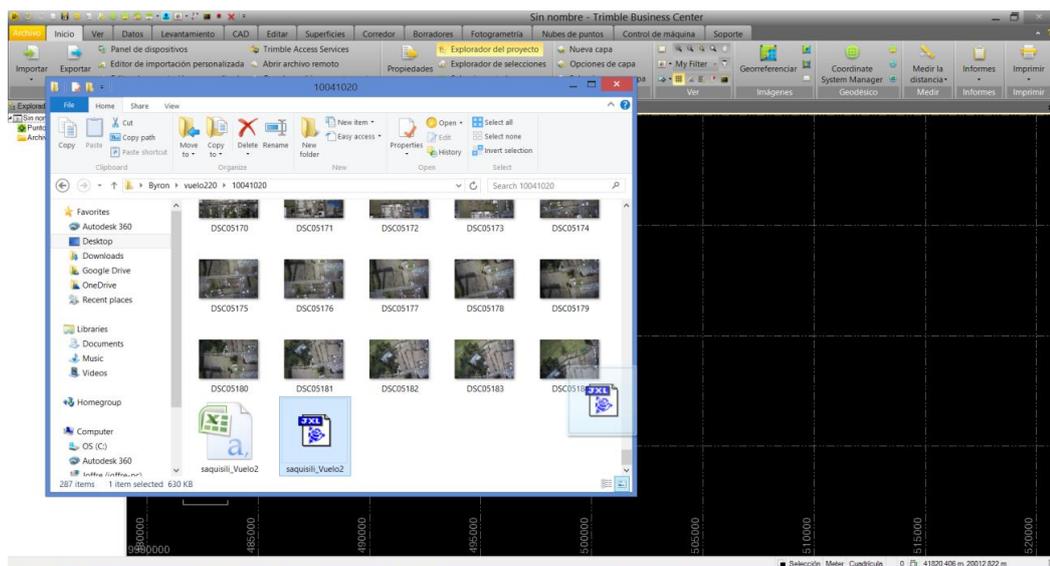


Figura 60. Importación de la Misión Fotogramétrica.

El procesamiento de la información se lleva a cabo en 3 pasos en los cuales se ajusta la misión con puntos de paso, equivalente a realizar la orientación interna en el proceso fotogramétrico convencional, posteriormente con puntos de control para realizar la orientación absoluta del bloque y finalmente la creación de los entregables.

- **Ajuste con Puntos de Paso**

Este proceso se denomina también ajuste automático, ya que el software realiza el ajuste de todas las fotografías mediante las coordenadas que obtuvo el GNSS a bordo del UAV, las cuales tienen una precisión de ± 1.5 metros.

El ajuste con puntos de paso se basa en 9 pasos, los cuales tienen por objetivo realizar la orientación relativa de las fotografías, basándose en el algoritmo “state-of-the-art” el software detecta puntos en común entre los fotogramas, a estos se los conoce con el nombre de Tie points, posteriormente combina la información del archivo .jxl en el que se encuentra los giros y desplazamientos, se inicia el proceso dando click en el botón ubicado en la parte inferior derecha de la ventana de procesamiento como se observa en la figura 61.

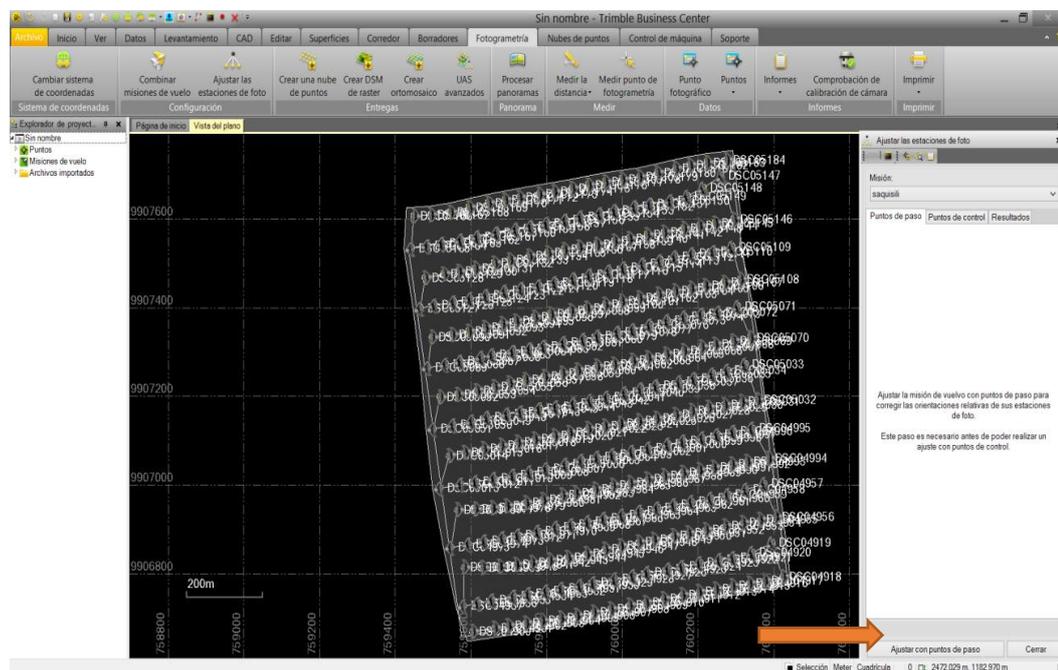


Figura 61. Ajuste del Bloque Fotogramétrico con Puntos de Paso.

Este procedimiento se llevó en un tiempo aproximado de 3 horas, tras lo cual se evidenció el ajuste tras el cambio del icono que representa el centro de foto, se siguieron los mismos pasos para ajustar las dos misiones fotogramétricas.

Tras comparar la misión fotogramétrica desplegada en el software Trimble Business Center y la planificación del vuelo fotogramétrico realizado en el apartado 3.1.2, se observaron ciertas diferencias en ambas misiones, las cuales se resumen en las tablas 14 y 15.

Tabla 14.***Diferencias entre la Planificación y la Ejecución del Vuelo a 220 m***

	Planificación	Trimble Aerial Imaging
N° de líneas de vuelo	14	15
Fotos por Línea de vuelo	20	19
Distancia entre líneas	68.6 m	65.3 m
Distancia entre Fotos	45.6 m	42.63 m
N° Total de fotos	280	285

Tabla 15.***Diferencias entre la Planificación y la Ejecución del Vuelo a 750 m***

	Planificación	Trimble Aerial Imaging
N° de líneas de vuelo	11	10
Fotos por Línea de vuelo	17	14
Distancia entre líneas	235 m	248 m
Distancia entre Fotos	156 m	186 m
N° Total de fotos	187	140

Estas diferencias se pueden deber a varios factores principalmente a la precisión de las dimensiones del área de toma con la que se realizaron los cálculos, la cuales se obtuvieron mediante Google Earth el cual otorga una precisión mayor a 8 metros con lo cual la superficie delimitada, variará significativamente a la real

- **Ajuste con Puntos de Control**

El ajuste con puntos de control también es denominado ajuste manual, ya que se va picando en cada fotografía los puntos de control terrestre (PCT) que se obtuvieron mediante posicionamiento GNSS, esto ayuda a mejorar la posición espacial de la misión de métrica a centimétrica. Se utilizaron los 5 Puntos de Control descritos en el apartado 2.5.6 referente al Apoyo geodésico.

Al realizar el pinchado claramente se observan los beneficios de contar con una marca sobre el punto de control, lo cual facilita la localización exacta del mismo gracias al contraste entre los colores que lo componen como se observa en la figura 62 en la cual se realiza el pinchado del PCT 3. Este proceso tiene como finalidad realizar la orientación absoluta del bloque de fotografías.

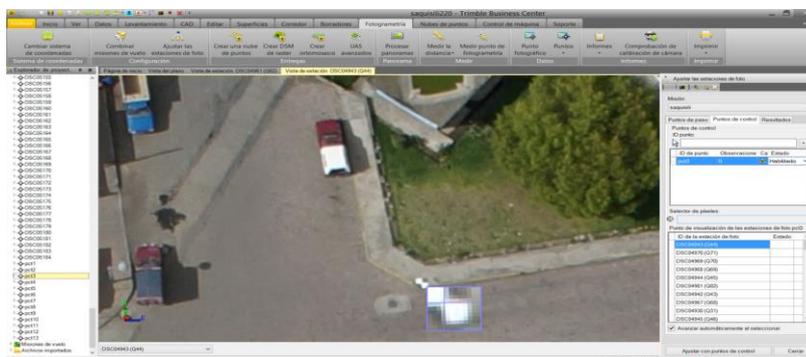


Figura 62. Pinchado del Punto de Control PCT3.

Una vez concluido que se han pinchado todos los puntos de control se debe iniciar el ajuste con el botón **Ajustar con puntos de control**, tras esto el procesamiento se realizó en aproximadamente 2 horas y media. Al final del ajuste se genera un reporte el cual indica los residuales del ajuste indicados en la figura 62, además de varias características de la misión fotogramétrica, el reporte completo se puede observar en el anexo 2.

Al analizar el informe obtenido se observó que existen algunos residuales altos, en ciertos casos esto tiene una relación directa con la precisión del picado de los puntos y con la ubicación del punto dentro de la fotografía, es decir el punto se encuentra en los extremos de la imagen. Debido a esto se decidió eliminar los puntos con los residuales más altos y en otros casos se picó con un mayor detalle, mejorando el ajuste como se observa en la figura 63

Punto:		pct1		
Observación		Este	Norte	Elevación
 DSC04999-pct1 (P32)		0.070 m	0.070 m	-0.030 m
 DSC04953-pct1 (P22)		-0.060 m	-0.060 m	0.000 m
 DSC04922-pct1 (P30)		0.050 m	0.060 m	0.030 m
 DSC04998-pct1 (P27)		0.080 m	0.000 m	0.000 m
 DSC04961-pct1 (P19)		-0.050 m	0.060 m	-0.010 m
 DSC04988-pct1 (P28)		0.020 m	-0.060 m	0.030 m
 DSC04952-pct1 (P20)		-0.060 m	0.020 m	0.010 m
 DSC04960-pct1 (P21)		0.040 m	0.030 m	-0.010 m
 DSC04993-pct1 (P31)		0.000 m	-0.030 m	0.010 m
 DSC04951-pct1 (P23)		-0.020 m	-0.020 m	-0.010 m

Punto:		pct2		
Observación		Este	Norte	Elevación
 DSC05103-pct2 (P69)		0.070 m	-0.070 m	0.010 m
 DSC05107-pct2 (P65)		0.060 m	-0.070 m	-0.030 m
 DSC05075-pct2 (P60)		0.010 m	0.070 m	0.020 m
 DSC05114-pct2 (P64)		0.040 m	0.050 m	0.000 m
 DSC05113-pct2 (P70)		-0.030 m	0.040 m	-0.020 m
 DSC05112-pct2 (P67)		-0.040 m	0.030 m	-0.010 m
 DSC05104-pct2 (P61)		0.030 m	-0.040 m	0.000 m

Punto:		pct3		
Observación		Este	Norte	Elevación
 DSC04970-pct3 (P3)		-0.020 m	0.100 m	-0.010 m
 DSC04968-pct3 (P5)		0.010 m	0.070 m	-0.010 m
 DSC04942-pct3 (P8)		-0.030 m	-0.040 m	-0.020 m
 DSC04943-pct3 (P2)		-0.040 m	-0.020 m	-0.010 m
 DSC04931-pct3 (P13)		-0.040 m	0.000 m	0.010 m
 DSC04982-pct3 (P18)		0.040 m	-0.010 m	0.000 m
 DSC04981-pct3 (P7)		-0.030 m	0.020 m	-0.010 m
 DSC04929-pct3 (P16)		0.000 m	0.030 m	0.020 m
 DSC04969-pct3 (P4)		0.000 m	0.030 m	0.000 m
 DSC04944-pct3 (P6)		-0.010 m	-0.020 m	0.000 m

Punto:		pct4		
Observación	Este	Norte	Elevación	
 DSC05123-pct4 (P52)	0.080 m	0.070 m	0.000 m	
 DSC05095-pct4 (P49)	-0.020 m	-0.080 m	0.000 m	
 DSC05083-pct4 (P54)	-0.050 m	-0.010 m	0.010 m	
 DSC05093-pct4 (P50)	-0.040 m	-0.030 m	-0.010 m	
 DSC05133-pct4 (P57)	-0.040 m	-0.020 m	0.010 m	
 DSC05084-pct4 (P55)	-0.020 m	0.030 m	0.010 m	
 DSC05085-pct4 (P48)	-0.010 m	-0.030 m	-0.010 m	
 DSC05094-pct4 (P47)	0.010 m	-0.030 m	0.000 m	
 DSC05122-pct4 (P51)	-0.020 m	0.000 m	0.000 m	
 DSC05096-pct4 (P53)	0.000 m	-0.010 m	0.000 m	

Punto:		pct5		
Observación	Este	Norte	Elevación	
 DSC05004-pct5 (P41)	0.030 m	-0.060 m	-0.030 m	
 DSC05007-pct5 (P43)	0.030 m	0.040 m	0.020 m	
 DSC05005-pct5 (P34)	-0.040 m	0.020 m	0.020 m	
 DSC05045-pct5 (P39)	0.020 m	-0.040 m	0.010 m	
 DSC05021-pct5 (P33)	0.020 m	-0.040 m	0.000 m	
 DSC05020-pct5 (P35)	0.000 m	-0.040 m	0.000 m	
 DSC05006-pct5 (P45)	-0.030 m	0.000 m	0.000 m	
 DSC05044-pct5 (P38)	0.020 m	-0.020 m	0.000 m	
 DSC05043-pct5 (P36)	0.020 m	-0.020 m	0.000 m	
 DSC05058-pct5 (P46)	0.010 m	-0.010 m	0.010 m	

Figura 63. Residuales para el Vuelo de 220 metros de altura.

El mismo procedimiento se realizó para el vuelo de 750 metros, teniendo como resultados mostrados en la figura 64, al igual que en el primer vuelo se analizaron aquellos residuales altos y se procedió a su eliminación o corrección el reporte completo puede ser observado en el anexo 2.

Punto:	pct1		
Observación	Este	Norte	Elevación
DSC04849-pct1 (P31)	0.120 m	0.160 m	0.040 m
DSC04834-pct1 (P30)	-0.150 m	-0.130 m	-0.020 m
DSC04847-pct1 (P32)	0.070 m	0.180 m	0.000 m
DSC04836-pct1 (P33)	0.010 m	-0.060 m	0.010 m
DSC04862-pct1 (P34)	0.050 m	0.020 m	0.020 m
DSC04848-pct1 (P28)	0.000 m	-0.030 m	0.000 m
DSC04835-pct1 (P29)	0.000 m	0.000 m	0.000 m

Punto:	pct2		
Observación	Este	Norte	Elevación
DSC04834-pct2 (P27)	0.160 m	-0.170 m	-0.060 m
DSC04821-pct2 (P23)	-0.060 m	0.210 m	0.020 m
DSC04819-pct2 (P20)	-0.170 m	0.080 m	0.040 m
DSC04807-pct2 (P21)	-0.160 m	-0.030 m	0.000 m
DSC04809-pct2 (P25)	0.100 m	-0.120 m	-0.010 m
DSC04808-pct2 (P24)	0.070 m	-0.120 m	0.020 m
DSC04836-pct2 (P26)	0.110 m	0.000 m	-0.030 m

Punto:	pct3		
Observación	Este	Norte	Elevación
DSC04823-pct3 (P19)	0.060 m	0.220 m	-0.100 m
DSC04852-pct3 (P18)	-0.030 m	0.210 m	0.020 m
DSC04832-pct3 (P16)	-0.170 m	-0.090 m	0.000 m
DSC04850-pct3 (P13)	0.110 m	0.110 m	-0.010 m
DSC04833-pct3 (P17)	-0.030 m	-0.140 m	0.030 m
DSC04851-pct3 (P14)	-0.070 m	0.090 m	0.000 m
DSC04831-pct3 (P15)	-0.040 m	-0.090 m	0.010 m

Punto:	pct4		
Observación	Este	Norte	Elevación
DSC04832-pct4 (P11)	-0.160 m	-0.060 m	-0.020 m
DSC04821-pct4 (P8)	-0.040 m	0.130 m	0.020 m
DSC04831-pct4 (P12)	-0.080 m	0.050 m	0.010 m
DSC04823-pct4 (P5)	0.010 m	0.090 m	0.010 m
DSC04804-pct4 (P7)	-0.080 m	-0.040 m	0.000 m
DSC04802-pct4 (P4)	-0.040 m	-0.020 m	-0.020 m
DSC04803-pct4 (P3)	0.000 m	-0.040 m	0.000 m
DSC04833-pct4 (P10)	-0.010 m	0.010 m	0.010 m

Punto:	pct5		
Observación	Este	Norte	Elevación
DSC04823-pct5 (P38)	0.200 m	0.020 m	0.040 m
DSC04832-pct5 (P36)	0.020 m	-0.180 m	-0.020 m
DSC04821-pct5 (P39)	0.150 m	-0.050 m	-0.020 m
DSC04820-pct5 (P41)	0.070 m	-0.020 m	-0.020 m
DSC04831-pct5 (P37)	0.020 m	-0.070 m	0.000 m
DSC04822-pct5 (P40)	-0.030 m	-0.060 m	0.010 m
DSC04849-pct5 (P43)	-0.050 m	-0.020 m	0.010 m

Figura 64. Residuales para el Vuelo de 750 metros de altura

3.1.7 Ajuste y Creación de Entregables

Los entregables del proceso son generados automáticamente por el software, para esto se utiliza el menú **UAS AVANZADOS**, resaltado en la figura 65 el cual permite crear los tres productos de vuelo fotogramétrico con un solo comando

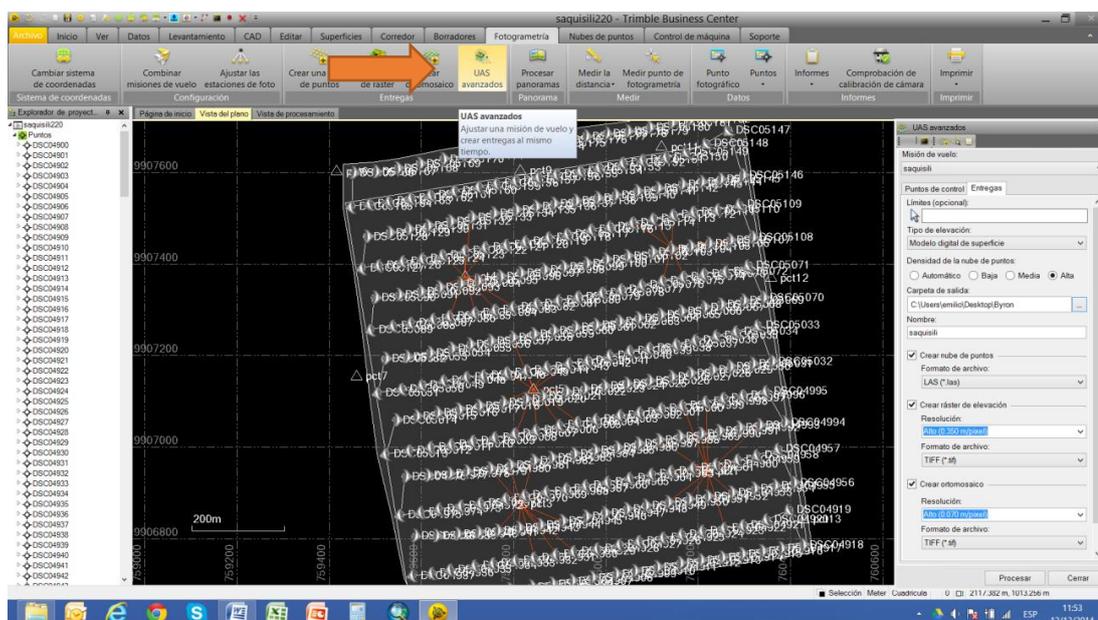


Figura 65. Ajuste y Creación de Entregables.

La creación de la nube de puntos, el ortomosaico y el modelo de superficie, se inicia con la configuración de los parámetros resolución espacial y formato de salida, en el caso de la nube de puntos se seleccionó el formato .LAS (figura 66), para el ortomosaico y el modelos de superficies se estableció la resolución espacial en 7 cm para el vuelo de 220 mts y 24 cm para el vuelo de 750 mts, además se estableció el formato del archivo en .TIFF (figuras 67 y 68)

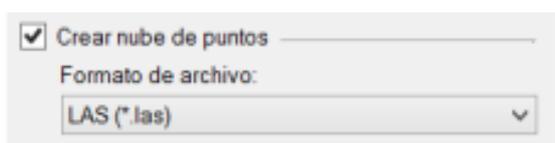


Figura 66. Configuración del Formato de la Nube de Puntos.

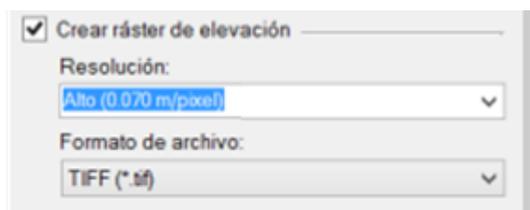


Figura 67. Configuración de la Resolución y Formato del Modelo de Superficie.

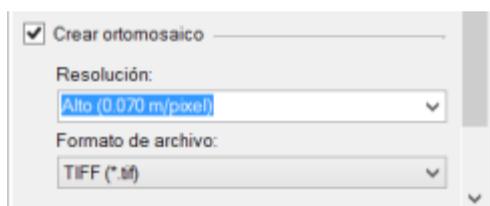


Figura 68. Configuración de la Resolución y Formato del Ortomosaico.

Una vez establecidos los requerimientos de los productos se procede a crear los entregables, este proceso tarda alrededor de 1 hora, tras lo cual se despliegan los resultados en la pantalla principal del software, como se observa en la figura 69 se han importado el ortomosaico, la nube de puntos y el modelos de superficie, en la tabla 16 se muestran los resultados para ambos vuelos.

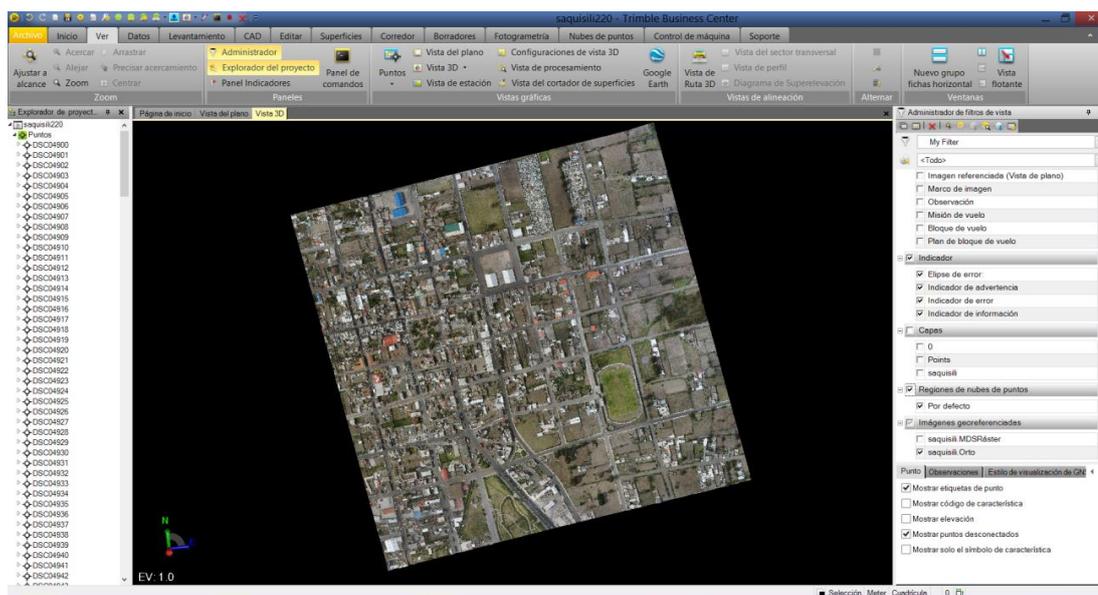
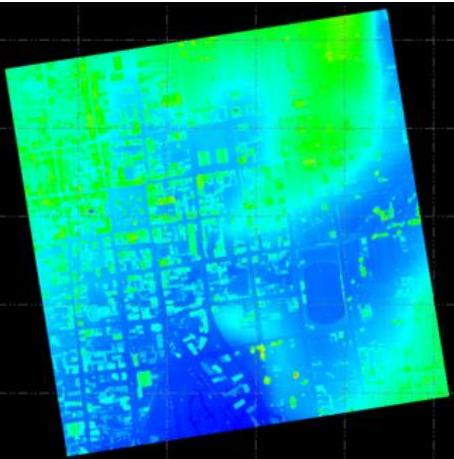
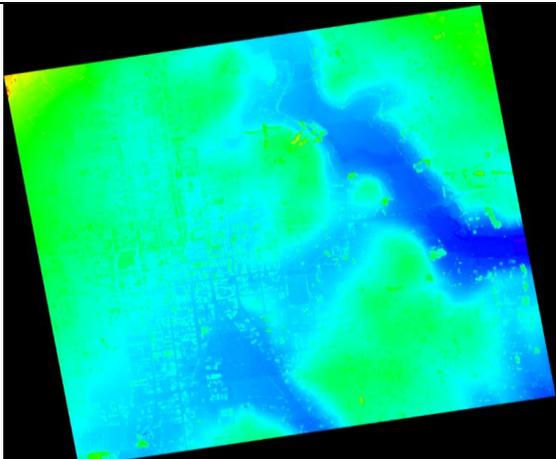


Figura 69. Entregables Importados a la Pantalla Principal del TBC.

Tabla 16.

Productos Fotogramétricos de las dos Misiones Aéreas

PRODUCTOS FOTOGRAMÉTRICOS	
VUELO 220 m	VUELO 750 m
ORTOMOSAICOS	
	
NUBES DE PUNTOS	
	
MODELOS DE SUPERFICIE	
	

3.2 Generación de la Cartografía Catastral

La cartografía que se generó a partir de los ortomosaicos es destinada al uso catastral, por lo que debe cumplir con las condiciones necesarias para una valoración exitosa de los bienes municipales, por lo tanto, se debe tomar en cuenta que existen varios elementos propios de las escalas de trabajo, en este caso 1:1000 y 1:5000, los cuales obligatoriamente deben estar representados en la cartografía. Estos fueron extraídos de los catálogos de objetos respectivos, otorgados por el Instituto Geográficos Militar.

3.2.1 Generación de los Modelos Lógicos para la Cartografía Catastral

Un referente para la ejecución de este proceso es el trabajo realizado por Velásquez María y Álvaro Esthefany en 2015, en el cual se desarrolla un modelo lógico para la organización de la información catastral en una geodatabase, mismo que representa la información geográfica significativa catastralmente, este modelo se basa en el análisis del catálogo de objetos del Instituto Geográfico Nacional del Perú, ya que en el momento de su desarrollo el IGM aún no disponía el catálogo para el Ecuador.

- **Generación de los Modelos Lógicos para las Dos Escalas de Trabajo**

Para la generación de la cartografía a escala 1:1000 se comparó los elementos del modelo lógico con los del catálogo de objetos correspondiente del IGM, modificando algunos de ellos y aumentando otros, con la finalidad de apegarse a la realidad geográfica de la zona de estudio.

Analizando el catálogo 1:1000 establecidos por el IGM se establecen los elementos a representar en la cartografía, los cuales se indican mediante el cuadro presentado en la figura 70.

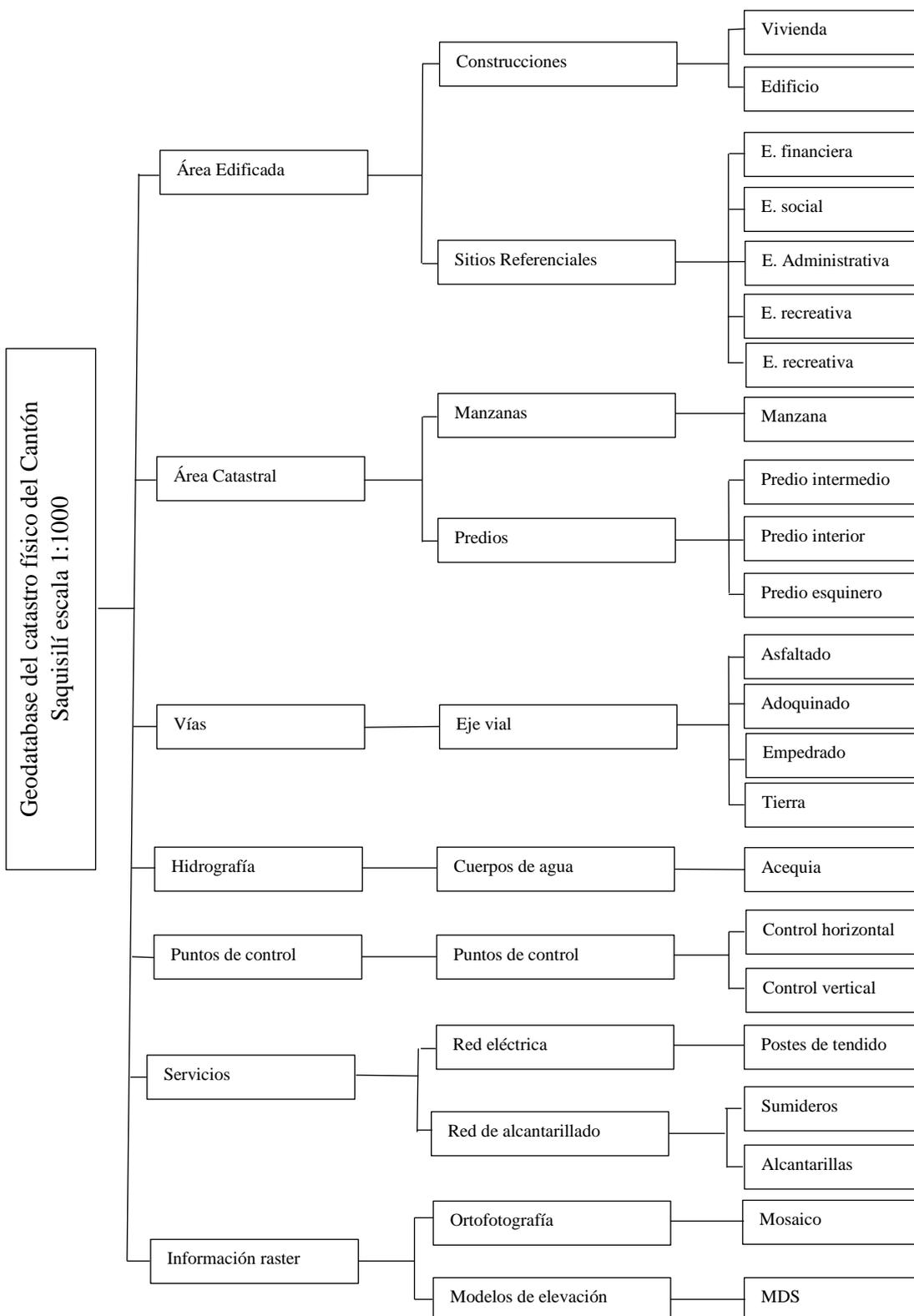


Figura 70. Modelo Lógico para la Escala 1:1000.

De la misma manera se establecieron los elementos que deberán ser representados en la cartografía a escala 1:5000, presentados en la figura 71, a diferencia del modelo anterior varios elementos son eliminados debido a la resolución del ortomosaico y a aspectos propios de la escala de trabajo.

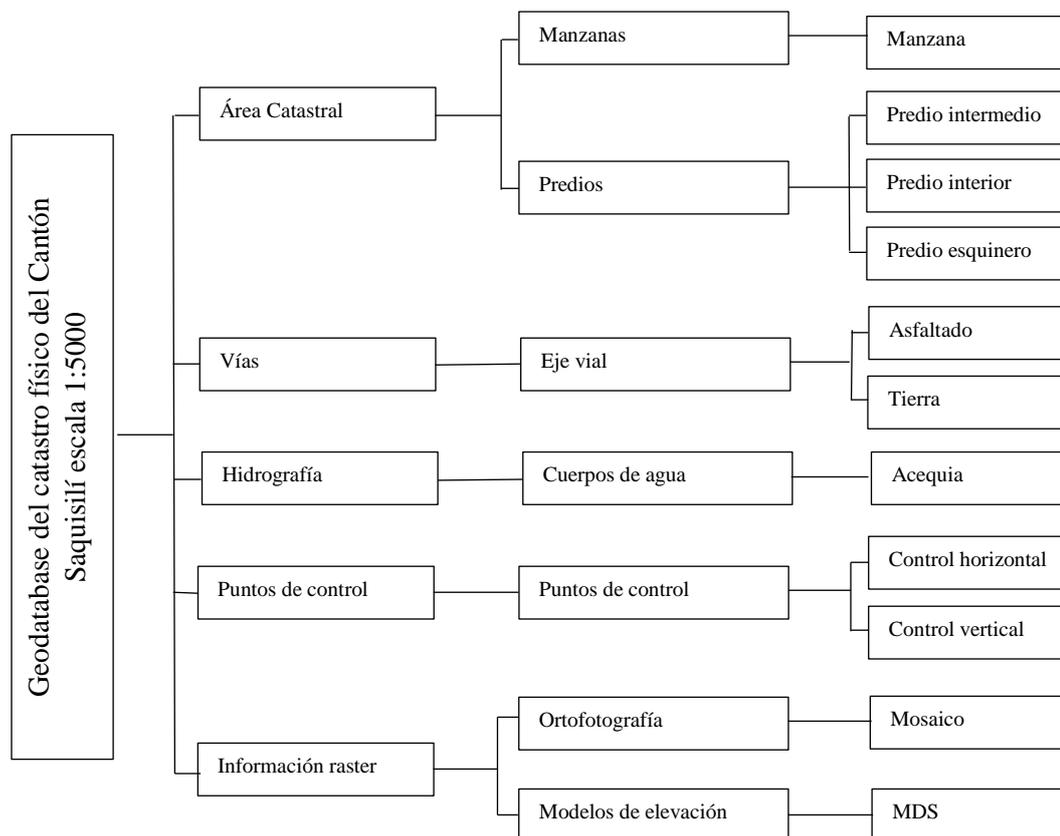


Figura 71. Modelo Lógico para la Escala 1:5000.

Una vez establecidos los objetos a representar en la cartografía en ambas escalas, se deben definir cada uno de ellos, estas definiciones se encuentran en el anexo 3, las cuales se aplican para las dos escalas de trabajo, seleccionando para la 1:5000 únicamente los objetos que se detallan en el modelo lógico correspondiente.

- **Creación de las geodatabases.**

Todos los elementos establecidos en los modelos lógicos fueron organizados en una geodatabase para cada escala, las cuales fueron creadas mediante el software ArcCatalog.

La interfaz del software se muestra en la figura 72. Este es programa del paquete ArcGis que permite la creación de las capas que serán desplegadas en los otros programas del mismo paquete.

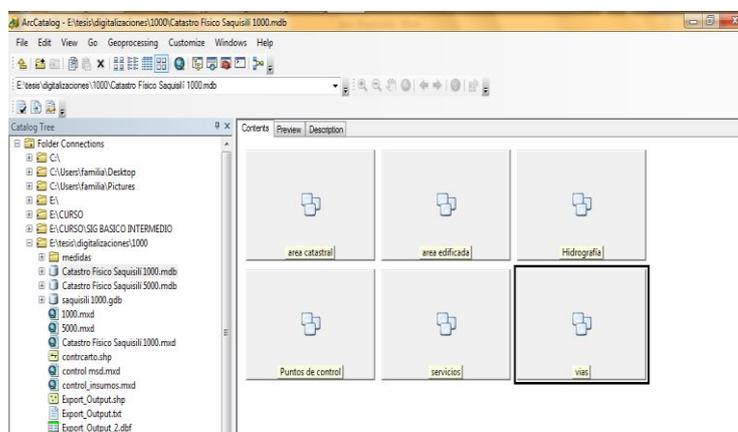


Figura 72. Software ArcCatalog.

Las geodatabases tienen una jerarquía establecida por los elementos: geodatabase, feature dataset y feature class, como se observa en la figura 73, estos fueron creados siguiendo el orden establecido en el modelo lógico.

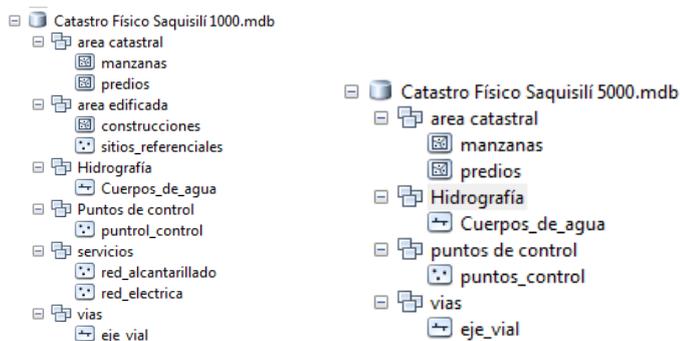


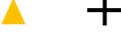
Figura 73. Geodatabases creadas para Cada Escala.

- **Generación de los Modelos Gráficos para la Cartografía Catastral**

El modelo gráfico consiste en establecer las características que poseerán cada uno de los elementos representados en la cartografía a las diferentes escalas, lo cual se establece en la tabla 17.

Tabla 17.

Modelo Gráfico

ATRIBUTOS GRÁFICOS				
Capa	Símbolo	Geometría	Descripción 1:1000	Descripción 1:5000
Construcciones		Polígono	Polígono continuo grosor 0.2 contorno rojo y relleno a 45° de inclinación y 5 de separación	N/A
Sitios referenciales	Plaza Colombia 	Punto	Punto color negro diámetro 2mm con letras tamaño 8	Punto color negro diámetro 2mm con letras tamaño 8
Manzanas		Polígono	Polígono sin relleno grosor 0.45 mm	Polígono sin relleno grosor 0.45 mm
Predios		Polígono	Polígono sin rellenos grosor 0.5, color rojo	Polígono sin rellenos grosor 0.5, color rojo
Eje vial	24 de Mayo 	Polilinea	Línea cortada grosor 0.1 con letras tamaño 8	Línea continua grosor 0.1 con letras tamaño 8
Hydrografía		Polilinea	Línea continua grosor 0.1, color azul	Línea continua grosor 0.1, color azul
Puntos de control		Punto	Punto amarillo forma triangular (horizontal) Punto negro forma de Cruz (vertical)	Punto amarillo forma triangular Punto negro forma de Cruz
Red eléctrica		Punto	Punto color negro diámetro 2mm	N/A
Red alcantarillado		Punto	Punto sin relleno forma cuadrada 2x2 mm (sumideros) Punto forma circular diámetros 6 mm (alcantarilla)	N/A

3.3 Digitalización de la Cartografía.

Como lo indica la norma técnica del IGM, en el caso de los dos fotogramas se digitalizaron los límites parcelarios como se los aprecia en los ortomosaicos, debido a que el GAD de Saquisilí no cuenta con polígonos prediales ni otra referencia cartográfica, realidad de la mayoría de municipios pequeños del Ecuador. El producto de este proceso son los mapas catastrales de la zona de estudio, los cuales se pueden observar en el anexo 4.

Con los modelos lógicos y gráficos establecidos, se digitalizó la cartografía en ambas escalas mediante las herramientas del software ArcMap, dibujando los polígonos como se los observa en el ortomosaico, los primeros polígonos en ser digitalizados fueron las manzanas utilizando como referencia el borde externo de las aceras, posteriormente todos los polígonos se duplicaron en a capa lotes en la cual se delimitaron cortándolos por la línea de fábrica y dividiéndolos utilizando los muros y construcciones para obtener los frentes y fondos correspondientes, armados los lotes se duplicaron estos en la capa construcciones para cortar los polígonos por los respectivos bordes de las viviendas, este proceso se resume a continuación en la figura 74:

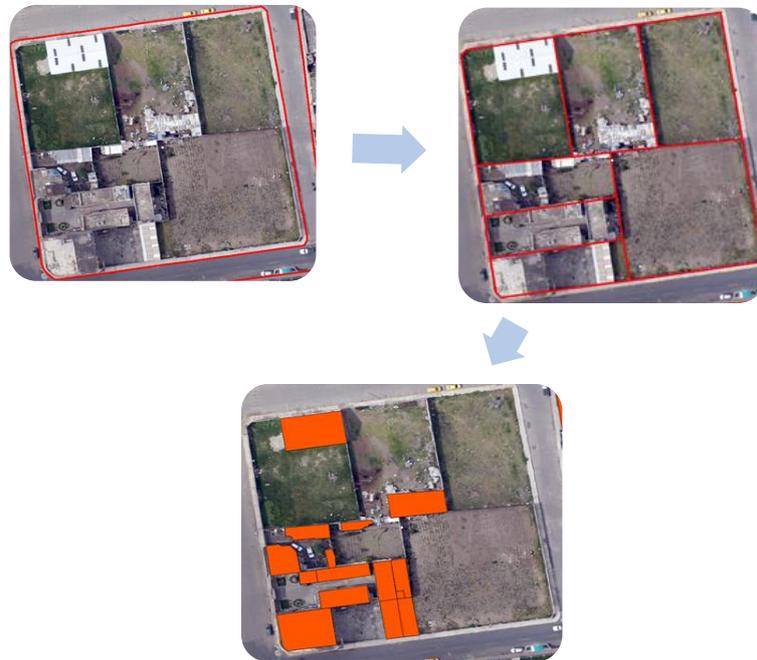


Figura 74. Proceso de Digitalización de las Áreas Catastrales y Edificadas.

Al digitalizar las construcciones se puede cometer un error, el cual consiste en confundir un patio o cualquier superficie de concreto a nivel del suelo con edificaciones como el ejemplo que se observa en la figura 75, este se puede eliminar mediante la observación de las características del predio en la nube de puntos, otro producto de los vuelos fotogramétricos.



Figura 75. Ejemplo del Posible Error.

Como se observa en la figura 75 a simple vista se tiene una construcción con techo de concreto y posiblemente ventilaciones en la parte superior, sin embargo al observar la nube de puntos en la figura 76, se evidencia que se trata de un patio que es utilizado posiblemente como corral.

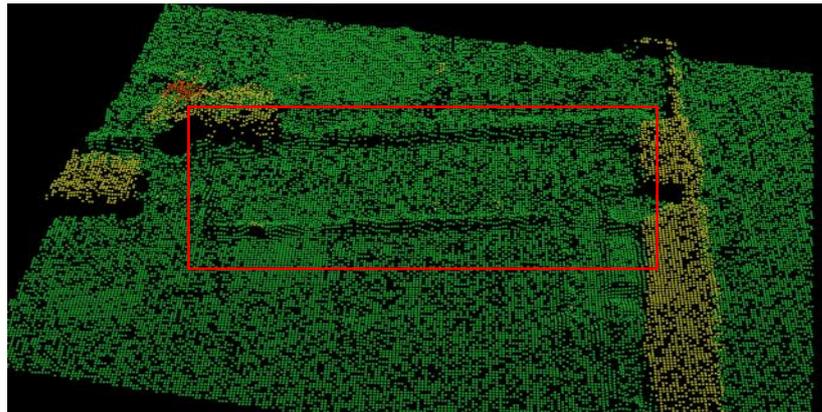


Figura 76. Verificación del Elemento en la Nube de Puntos.

Los demás elementos como ejes viales, servicios e hidrografía se digitalizaron dentro del feature class correspondiente, observando su forma en el ortomosaico y otorgándoles la geometría correspondiente, como se aprecia en la figura 77.



Figura 77. Elementos Digitalizados

Para la representación de la elevación en la cartografía se digitalizó un punto en cada intersección de los ejes viales acompañado del valor de la altura correspondiente, el cual fue extraído del modelo de superficies mediante la herramienta “*extract value to points*”.



Figura 78. Representación Cartográfica de la Variable Altura.

La variable altura se representó de esta manera ya que como se observa en la figura 79, el modelo contiene información de construcciones, vehículos y otros elementos que están por sobre la superficie del suelo, impidiendo de esta manera la extracción de las curvas de nivel y la representación del terreno sin detalles creados por el hombre.

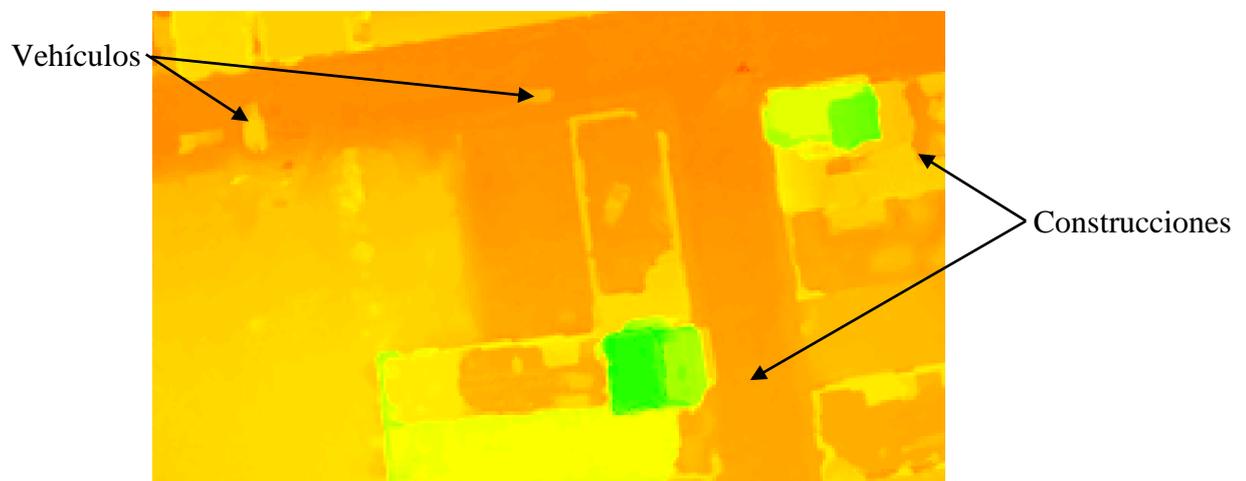


Figura 79. Representación de los Objetos en el Modelo de Superficie.

3.4 FOTOGRAMÉTRIA TERRESTRE CON EL EQUIPO TRIMBLE V10

- **Descripción del Equipo Trimble V10.**

El equipo Trimble V10 es un sistema que integra una cámara panorámica que captura imágenes digitales de 360° para la documentación visual y posterior medición de los elementos de interés en cualquier entorno, es el único equipo que integra 12 cámaras calibradas con posicionamiento GNSS y un sistema inercial, en la tabla 18 se resumen algunas características del equipo

Tabla 18.

Características del Equipo Trimble V10

Características Trimble V10	
Tipo	Cámara panorámica
Número de cámaras	12
Resolución individual	5 megapíxeles
Sistema inercial	Brújula magnética Sensores de inclinación Acelerómetros Giroscopios
Orientación del equipo	Vertical
Altura el equipo (fija)	2.1 metros
Alimentación	Bastón eléctrico.

Fuente: Manual de usuario Trimble V10

Este equipo es parte del paquete Trimble vision, el mismo tiene como cometido la documentación fotográfica en campo para posteriormente ajustar las estaciones de fotografía y realizar mediciones sobre las mismas, acortando así el tiempo de trabajo en la zona de estudio. La principal ventaja de este sistema es la documentación completa de los detalles necesarios sin tener contacto alguno con los mismos, característica que será utilizada en el proyecto para la reconstrucción de las fachadas de la zona de estudio secundaria

Los componentes del equipo son tres principales: cámara panorámica, bastón eléctrico y Tablet de control, los cuales se detallan a continuación.

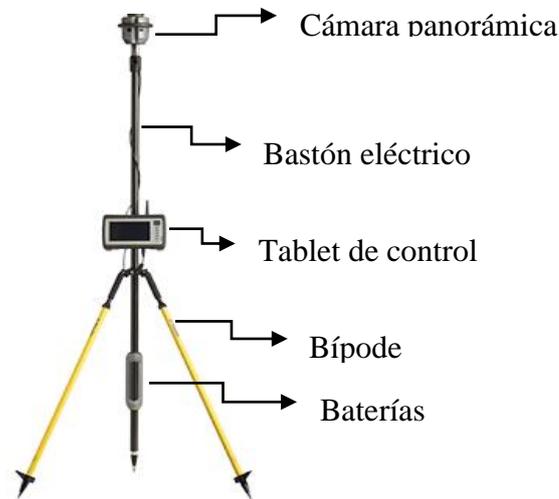


Figura 80. Componentes del Equipo Trimble V10.

Fuente: Manual de usuario Trimble V10

Para asegurar una buena precisión en los productos fotogramétricos del equipo, este debe contar con las coordenadas de cada estación fotográfica, por lo que es necesario que el Trimble V10 funcione en combinación con algún equipo que se observa en la figura 81 es decir con un equipo de posicionamiento GNSS o una estación total, también se puede utilizar de manera independiente teniendo en cuenta que los resultados del equipo deberán ser escalados en el trabajo de escritorio.



Figura 81. Modos de Combinaciones del Equipo Trimble V10.

Fuente: Manual de usuario Trimble V10

- **Sensor Fotográfico del Trimble V10**

Está conformado por 12 cámaras calibradas, dispuestas como se observan en la figura 82, las cuales que permiten hacer una toma con visual superior de 360 grados y una inferior de 210 grados. Cada cámara tiene una resolución de 5 megapíxeles y una focal de 3.63 milímetros, estas y otras características se resumen en la tabla 19.



Figura 82. Distribución de las Cámaras Fotográficas.

Fuente: Manual de usuario Trimble V10

Tabla 19.

Características del Sensor Fotográfico del Trimble V10

Tamaño	113 x 124 mm
Peso	900 gramos
Peso de la imagen panorámica	10 MB – 20 MB
Distancia focal	3.63 mm
Resolución	5 MP
Ángulo de visión superior	360 grados
Ángulo de visión inferior	210 grados

Fuente: Manual de usuario Trimble V10

3.4.1 Fotogrametría Terrestre para la Obtención de Catastro Físico

La fotogrametría terrestre en el ámbito catastral no ha sido utilizada, en los municipios más grandes del Ecuador simplemente se captura una imagen de la fachada de la construcción, a la cual se denomina “fotofachada” para poder realizar una simple descripción del inmueble, estas fotografías no tienen características geométricas lo cual impide realizar cualquier tipo de medición sobre estas. La fotogrametría terrestre permite realizar el cálculo de las posiciones tridimensionales de puntos, con los cuales se puede formar líneas o polígonos sobre las fotografías por lo que puede ser utilizada para:

- La delimitación exacta de frentes de lotes
- Documentación de las características constructivas, uso y estado de inmuebles, vialidad y mobiliario urbano
- Identificación de los servicios con los que cuenta la zona
- Topografía de la zona
- Fuente de información territorial para otros estudios

Todos estos elementos actualmente son recolectados mediante la constatación física de los mismos, lo cual involucra una gran cantidad de tiempo, recursos económicos y humanos, principal razón por la que la mayoría de municipios no cuentan con esta información, lo que implica una valoración económica desacorde a la realidad.

3.4.2 Diferencias entre Fotogrametría Aérea y Terrestre

La principal diferencia entre la fotogrametría aérea y terrestres es la ubicación de las estaciones fotográficas, al posicionar el sensor sobre la superficie terrestre, al alcance del operador, se puede tener un mayor control de la posición de cada una de las tomas y de la geometría de un conjunto de estas. Aspectos que en la fotogrametría aérea dependen de factores como las condiciones climáticas y el método de posicionamiento utilizado para obtener las coordenadas del punto de toma.

Otra de las diferencias entre las fotogrametrías es la planificación del proyecto, mientras que en la aérea se diseñan líneas de vuelo para cubrir una superficie, en la terrestre se debe calcular la posición de las tomas para cubrir un objeto, las cuales no deben estar ubicadas estrictamente sobre una línea.

Finalmente otras de las diferencias se observa en la escala de las fotografías y la precisión de los productos generados con ambas técnicas

3.4.3 Planificación del Proyecto Fotogramétrico Terrestre

- **Calculo de la Escala de la Fotografía**

El primer parámetro calcular es la escala de la fotografía, al igual que en la fotogrametría aérea se obtiene mediante la relación entre la distancia al objetivo y la longitud focal de la cámara, sin embargo la toma de la cámara está conformada por 12 imágenes individuales como se observa en la figura 83, por lo que se adoptará la escala calculada para la cámara número 4 del equipo, la cual debe estar siempre orientada hacia el objetivo.

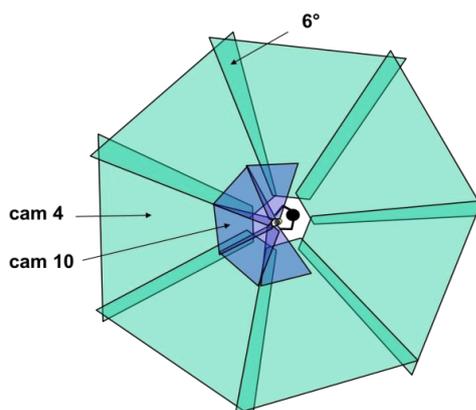


Figura 83. Campo de Visión de las Cámaras.

Fuente: Manual de usuario Trimble V10

Al igual que en las tomas aéreas la distancia entre el sensor y el objetivo es variable, por lo que se debe optar por una distancia promedio, en el caso del área de estudio las estaciones fotográficas se colocaron en la acera opuesta a la manzana objeto de estudio, por lo que la distancia promedio entre estas servirá para realizar el cálculo.

$$\text{Escala de la fotografía} = Ef = \frac{\text{focal}}{\text{Distancia al objetivo}} = \frac{0.00363 \text{ m}}{10.84 \text{ m}} = 3000$$

- **Separación entre Estaciones Fotogramétricas**

Las mediciones mediante la fotogrametría terrestre se basa en la determinación del ángulo formado entre los rayos r' y r'' (proyecciones del punto P sobre los fotogramas), las coordenadas de intersección entre los planos A, B (imágenes) y la epipolar, que es la línea formada entre el punto P y el centro de proyección de la foto, elemento que se indican en la figura 84.

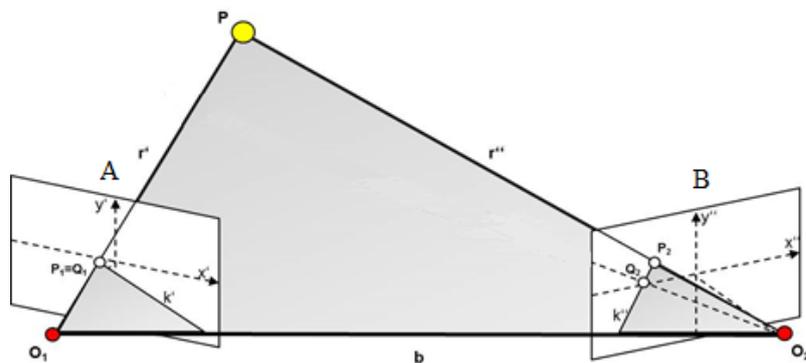


Figura 84. Método de la Medición Fotogramétrica.

Fuente: Manual de usuario Trimble V10, modificado por Zurita 2015.

Uno de los elementos más cruciales es la determinación del ángulo entre las proyecciones del punto, el cual según (Luhmann, 2010) debe tener un valor mayor a 20° , lo cual se consigue como se indica en la figura 85 al medir los puntos dentro de la zona verde, ya que fuera de ella los ángulos tienen un valor menor y entre estaciones este sería muy alto.

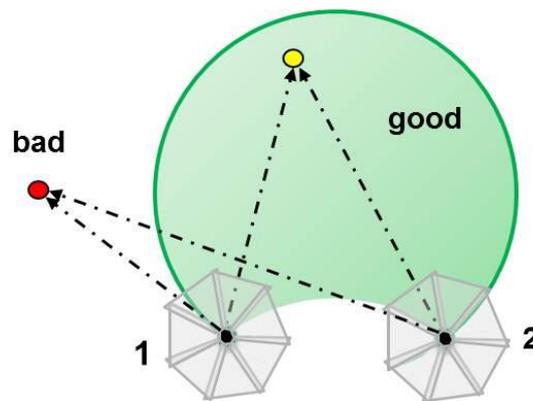


Figura 85. Ubicación Óptima de los Puntos a Medir.

Fuente: Luhmann, 2010.

En el proyecto los objetos a modelar son las fachadas de las construcciones de cada lado de la manzana, las cuales se encuentran sobre un mismo plano, para lo cual la configuración óptima para las estaciones fotogramétricas recomendada por el manual de usuario del equipo es realizar las tomas desde una misma línea paralela al objetivo, como se observa en la figura 86.

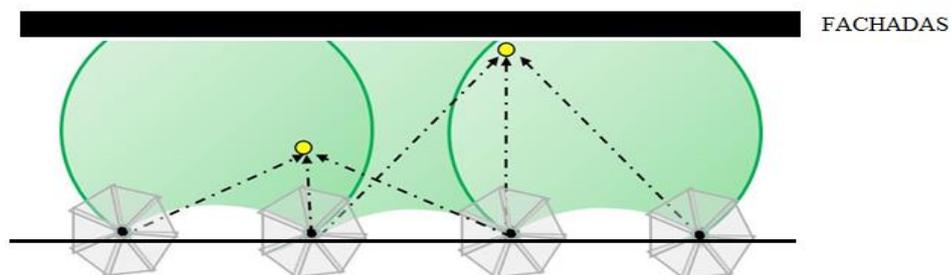


Figura 86. Configuración para la Medición de las Fachadas.

Fuente: Manual de usuario Trimble V10, modificado por Zurita 2015

Con lo expuesto anteriormente, se estableció el valor del ángulo mínimo entre las epipolares en 45° , como se observa en la figura 87, ya que este valor ayuda a que el ancho de la vía sea el mismo que se necesita entre las estaciones, debido a que las calles que rodean la manzana tienen diferentes dimensiones, convirtiendo a esto en un criterio para el posicionamiento de las estaciones en campo.

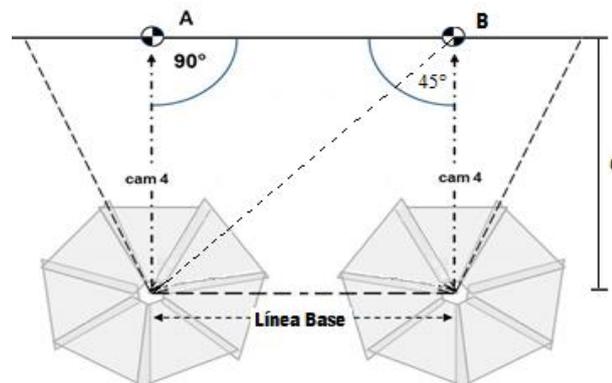


Figura 87. Diagrama para el Cálculo de la Línea Base.

Fuente: Manual de Usuario Trimble V10, modificado por Zurita 2015.

Como se observó en la figura 87 se forma un triángulo rectángulo entre las estaciones y el punto B, en donde el cateto inferior es la línea base entre estaciones, con esto se puede establecer una regla para el posicionamiento de las estaciones fotogramétricas terrestres.

$$\text{Línea base} = \frac{d}{\tan(45)} = d$$

Las estaciones fueron distribuidas en las aceras que rodean la manzana, distribuyéndolas como se muestra en la figura 88, mediante las herramienta de google earth se midió la distancia entre las fachadas y las aceras opuestas teniendo los siguientes valores: norte 14 m, sur 14.9 m, este 7 m y oeste 8 m con esto se establecieron 16 estaciones que cubren todas las fachadas, separadas una de otra por su distancia correspondiente.

Al realizar la planificación en google earth la precisión que este proporciona no es buena, lo óptimo sería realizar los cálculos con datos como levantamientos topográficos, ortomosaicos u otra base cartográfica con la finalidad de obtener las coordenadas de los puntos deseados y realizar un replanteo en campo.

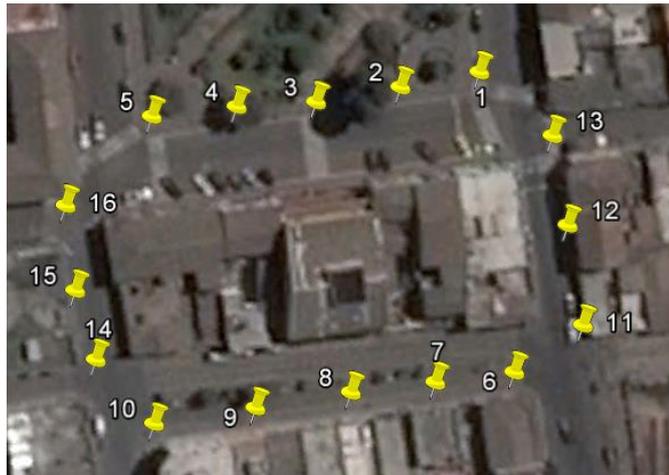


Figura 88. Distribución de las Estaciones Fotogramétricas.

3.4.4 Ejecución del Proyecto Fotogramétrico Terrestre

Una vez planificada la posición de las estaciones fotográficas se acudió a la zona de estudio, en donde se colocó el equipo en las estaciones preestablecidas, para esto se utilizó un equipo GNSS R4, posicionamiento RTK. La base utilizada para obtener las correcciones en tiempo real, fue la misma rastreada para el postproceso de los datos GNSS estáticos, es decir el Punto PCT1 ubicado al sur este de la zona de estudio.

Con un equipo GNSS como base y con otro acoplado al equipo Trimble V10 mediante un adaptador especialmente diseñado para este fin como se observa en la figura 89, se procedió a posicionar el equipo en los puntos planificados, para esto se midió el ancho de cada una de las vías y se utilizó esta medida como referencia para conocer la separación entre estaciones, a fin de cumplir con lo anteriormente planificado.



Figura 89. Posicionamiento del Equipo Trimble V10.

Un vez posicionado y nivelado el equipo, se conecta el cable de transmisión de datos entre la cámara panorámica y la Tablet, inmediatamente aparece la pantalla de la figura 90, en la que se indican el nombre y número de la estación, el nivel del equipo conocido como ebubble y la vista de la cámara número 4 tomada como principal.



Figura 90. Pantalla Principal del Equipo.

Dando click en el botón iniciar, inmediatamente se despliegan las fotografías que componen la toma fotogramétrica distribuidas como en la figura 91, el tiempo necesario para esta acción es aproximadamente 10 segundos, como se observa el proceso que se necesita para la operación del equipo muy simplificado y las únicas configuraciones previas que necesita son la creación del trabajo y el acoplamiento del elemento que permita la determinación de las coordenadas.



Figura 91. Panorámica Concluida.

Fuente: Manual de usuario Trimble V10

Inicialmente se establecieron 16 estaciones fotográficas, sin embargo al momento de la ejecución se aumentaron 5 debido a la altura de las construcciones ya que el campo de visión vertical del equipo no permite visualizar los techos de algunas de estas, por ende se buscó estaciones en las que a la distancia se pueda observar estos elementos, además varios obstáculos se encontraron ubicados frente a las fachadas afectando la visión de los límites de los lotes.

Finalmente después de adquirir toda la información se debe descargar los datos recolectados, al igual que en el UAV, se debe importar las fotografías y el archivo en el que se encuentran los datos inerciales y las coordenadas de las estaciones, en este caso el formato de salida de esta información es .job, este proceso es completamente digital y se lo hace insertando una flash memory en el puerto USB de la Tablet.

3.4.5 Procesamiento de la Misión Fotogramétrica Terrestre

Con la información recolectada se realizó el procesamiento mediante el software TBC, al igual que en el proceso aéreo, se inicia con la importación de los datos, arrastrando el archivo .job a la pantalla principal del TBC, se debe considerar que todas las fotografías y el documento de posicionamiento deben estar ubicados en la misma dirección, inmediatamente se despliegan las estaciones fotogramétricas y los puntos sobre los que se tomaron como se observa en la figura 92.

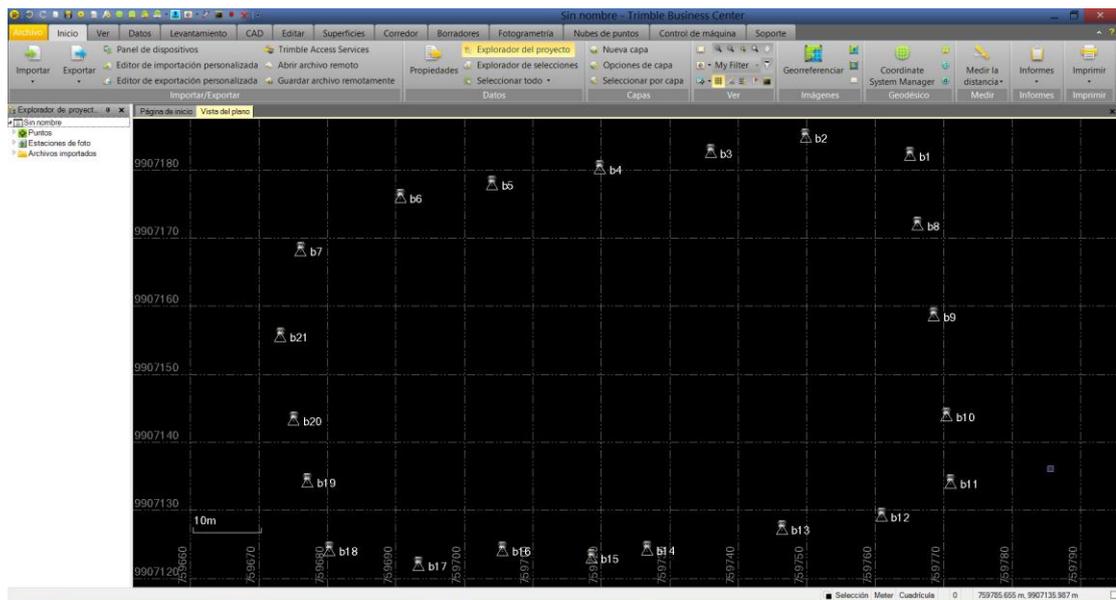


Figura 92. Estaciones Fotogramétricas mostradas en el TBC.

El primer paso para realizar el ajuste es seleccionar el tipo de configuración de este, mediante el cual el software seleccionará los parámetros geométricos de las tomar que se ajustara, los tipos de configuración que dispone el software son cuatro, los que se describen a continuación:

- **Valores de los Sensores Brutos**

Es el tipo de configuración que se establece por defecto para una estación fotogramétrica, este tipo de configuración sirve únicamente para generar a visualización de las estaciones

- **Sólo Azimut**

En esta configuración los puntos de enlace de las estaciones se realizan solamente mediante los azimuts que provee el sistema inercial del equipo, es similar al sistema de medición de una estación total en el cual a partir de una referencia fija se determina los ángulos necesarios para determinar otros puntos.

Azimuths se ajustan

Las posiciones y las inclinaciones quedan omitidas

Mínimo: Dos puntos de amarre

Óptima: Cuatro o más puntos de unión

- **Orientación Completa**

Mediante este tipo de configuración el software calcula los parámetros inerciales de las estaciones al momento de la toma para compensar las mediciones de los puntos de amarre entre estaciones, esto debido a que durante la captura el equipo no está completamente vertical a la superficie, este tipo de configuración se recomienda cuando las estaciones de coordenadas son captadas con métodos precisos como posicionamiento GNSS o estación total.

Se omite el ajuste de las coordenadas

Se ajustan los azimuths y las inclinaciones de panoramas

Mínimos: Seis puntos de amarre

Óptimos: Ocho o más puntos de unión

- **Resección Estándar**

En este tipo de configuración se compensan todos los puntos de amarre mediante todos los parámetros inerciales del equipo, además se realiza una compensación en las coordenadas, por lo cual está recomendado para trabajar con panoramas cuyo punto de toma no haya sido medido con métodos exactos por ejemplo el posicionamiento autónomo con GNSS o cuando las estaciones fueron determinadas previamente con topografía convencional.

Se ajustan las posiciones, azimuth e inclinación

Mínimos: Doce puntos de amarre

Óptimos: Catorce o más puntos de unión

Luego de seleccionar el tipo de configuración se selecciona el tipo de ajuste teniendo en cuenta que existen dos tipos, el manual y el automático, el primero consiste en picar manualmente puntos en común entre las estaciones fotogramétricas mientras que en el segundo el software identifica todos los puntos que tienen en común las estaciones, otras diferencias se pueden observar en la tabla 20,

Tabla 20.

Diferencias entre el Ajuste Automático y Manual

Puntos de amarre automática (ATP)	Puntos de amarre Manual (MTP)
Longitudes de bases pequeñas	Longitudes de base mayor
Se puede tener ángulo entre epipolares pequeños	Los ángulos deben ser óptimos
Se recomienda para un número de panoramas considerable	Reducción del número de panoramas para reducir las mediciones manuales
Muchos puntos de amarre	Más pequeño número de puntos de amarre
Mayor tiempo de cálculo	Corto tiempo de cálculo
Distribución incontrolada	Distribución controlada por el operador

Fuente: Manual de usuario Trimble V10

En el proyecto se optó por realizar el ajuste automático ya que las estaciones se ubican de manera que no se puede divisar puntos en común entre estas, por ejemplo entre las estaciones 4 y 14 observadas en la figura 92, las cuales se encuentran en calles paralelas con una edificación de 4 pisos entre estas. Otra de las razones para seleccionar el ajuste automático es que esta permite tener ángulos entre epipolares, lo cual ocurre en los casos en que se desea observar los techos de algunas edificaciones que quedan fuera del campo de visión vertical.

Una vez iniciado el ajuste, el procedimiento se llevó a cabo en aproximadamente cinco horas debido a que el método automático toma más tiempo que el manual, posteriormente el software arroja los resultados respectivos mostrados a continuación en las figuras 93 y 94, en los cuales se da una puntuación a la geometría, distribución y redundancia de los puntos de cada estación.

Estación	Puntuación de geometría	Puntuación de distribución	Redundancia
b1 (Q1)	10.00 / 10	10.00 / 10	67.0
b2 (Q2)	6.47 / 10	9.23 / 10	76.7
b3 (Q3)	0.00 / 10	8.46 / 10	111.3
b4 (Q4)	0.00 / 10	7.98 / 10	71.6
b5 (Q5)	0.00 / 10	8.30 / 10	62.7
b6 (Q6)	10.00 / 10	9.80 / 10	26.1
b7 (Q7)	9.00 / 10	10.00 / 10	16.3
b8 (Q8)	7.28 / 10	8.85 / 10	40.1
b9 (Q9)	0.00 / 10	8.36 / 10	74.2
b10 (Q10)	6.47 / 10	9.63 / 10	55.1
b11 (Q11)	10.00 / 10	10.00 / 10	60.2
b12 (Q12)	8.95 / 10	10.00 / 10	37.2
b13 (Q13)	0.00 / 10	10.00 / 10	46.6
b14 (Q14)	0.00 / 10	9.82 / 10	54.6
b15 (Q15)	0.22 / 10	10.00 / 10	50.6
b16 (Q16)	0.00 / 10	9.93 / 10	76.5
b17 (Q17)	9.53 / 10	10.00 / 10	54.1
b18 (Q18)	10.00 / 10	10.00 / 10	104.5
b19 (Q19)	8.98 / 10	8.60 / 10	128.4
b20 (Q20)	9.40 / 10	8.60 / 10	131.6
b21 (Q21)	9.01 / 10	7.78 / 10	91.3

Figura 93. Puntuación de las Estaciones Fotogramétricas Terrestres.

Además indica el estado de cada una de las estaciones, en este caso las 21 estaciones pasaron el ajuste automático que se aplicó al proyecto, el informe de ajuste completo de las estaciones fotogramétricas se puede apreciar en el anexo 2.

Estado de la estación				
Estación	Tipo de configuración	Ajuste	Posición	Orientación
b1 (Q1)	Orientación completa	Pasado	Habilitado	Habilitado
b2 (Q2)	Orientación completa	Pasado	Habilitado	Habilitado
b3 (Q3)	Orientación completa	Pasado	Habilitado	Habilitado
b4 (Q4)	Orientación completa	Pasado	Habilitado	Habilitado
b5 (Q5)	Orientación completa	Pasado	Inhabilitado	Habilitado
b6 (Q6)	Orientación completa	Pasado	Habilitado	Habilitado
b7 (Q7)	Orientación completa	Pasado	Inhabilitado	Inhabilitado
b8 (Q8)	Orientación completa	Pasado	Inhabilitado	Habilitado
b9 (Q9)	Orientación completa	Pasado	Habilitado	Habilitado
b10 (Q10)	Orientación completa	Pasado	Habilitado	Habilitado
b11 (Q11)	Orientación completa	Pasado	Habilitado	Habilitado
b12 (Q12)	Orientación completa	Pasado	Habilitado	Habilitado
b13 (Q13)	Orientación completa	Pasado	Habilitado	Habilitado
b14 (Q14)	Orientación completa	Pasado	Inhabilitado	Habilitado
b15 (Q15)	Orientación completa	Pasado	Inhabilitado	Habilitado
b16 (Q16)	Orientación completa	Pasado	Inhabilitado	Habilitado
b17 (Q17)	Orientación completa	Pasado	Inhabilitado	Habilitado
b18 (Q18)	Orientación completa	Pasado	Inhabilitado	Habilitado
b19 (Q19)	Orientación completa	Pasado	Inhabilitado	Habilitado
b20 (Q20)	Orientación completa	Pasado	Inhabilitado	Habilitado
b21 (Q21)	Orientación completa	Pasado	Inhabilitado	Habilitado

Figura 18. Estado de las Estaciones Fotogramétricas Terrestres.

3.4.6 Creación de Entregables

Aplicado el ajuste y verificado el estado de las estaciones, se puede procesar digitalmente las fotografías panorámicas con lo cual se puede obtener los primeros productos que son: archivos panorámicos en formato .jpeg, compatible con cualquier dispositivo, archivos para Google Chrome en formato .HTML que utiliza el visor HD view, archivos para Google Earth en formato .KMZ el cual permite la visualización de la fotografía panorámica en esta plataforma, estos archivos son generados por el software mediante el cuadro **PROCESAR PANORAMAS** observado en la figura 95 para cada una de las 21 estaciones, adicionalmente con este proceso se ajusta la exposición a la luz homogenizando los colores entre fotografías y se unen los bordes de las imágenes individuales en una sola, los archivos panorámicos de pueden observar en el anexo 5.

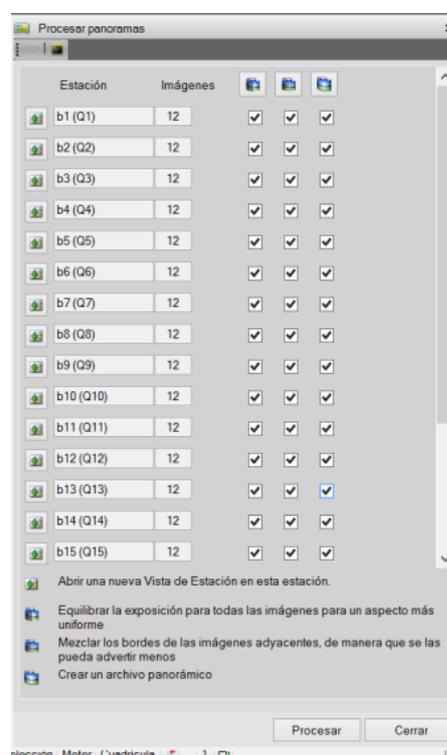
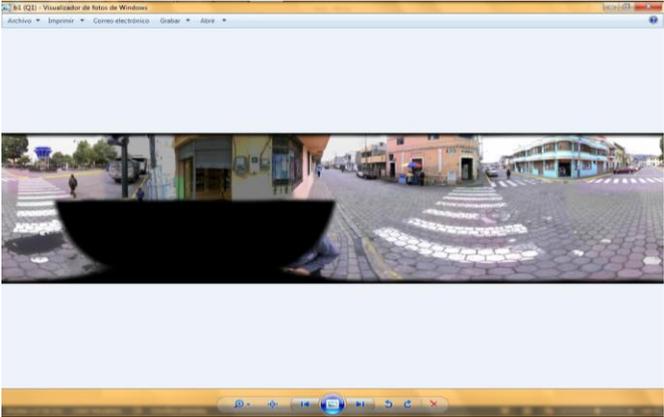
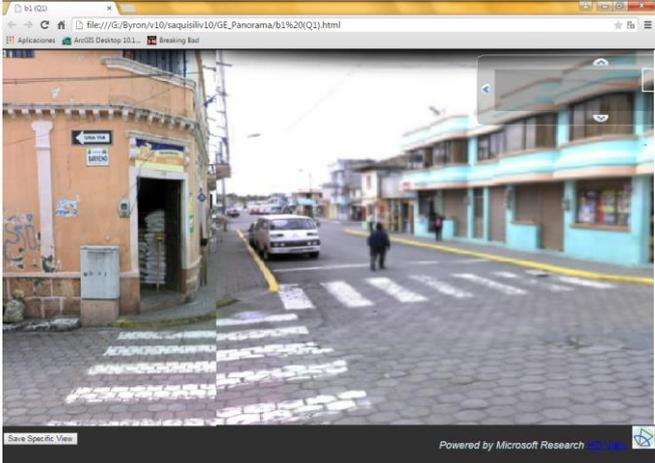
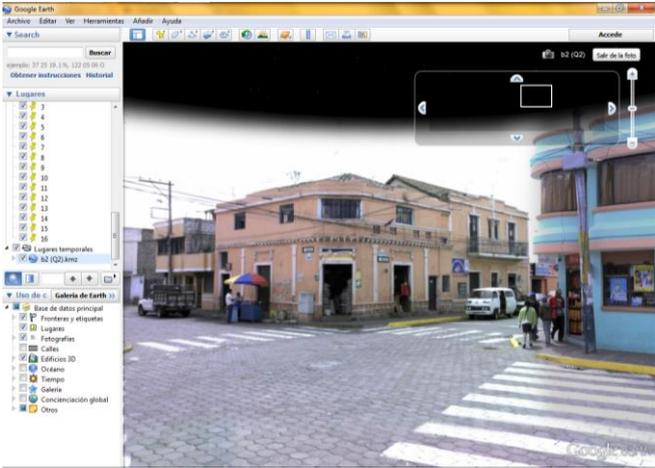


Figura 95. Procesamiento de los Panoramas.

Tabla 21.

Productos Panorámicos del Trimble V10

Tipo	Vista
Imagen.	
Google Chrome.	
Google Earth.	

3.4.7 Generación de la Cartografía 3D

Una vez culminados los procesos anteriores, se puede empezar a extraer la información fotogramétrica, que en este caso son puntos y distancias que permitan el dibujo de las fachadas, para esto se realiza un restitución no convencional mediante la herramienta medir puntos de fotogrametría mostrado en la figura 96.



Figura 96. Comando Medir Punto de Fotogrametría.

La medición de un punto se realiza en dos pasos el primero es picar un mismo punto en un mínimo de dos fotografías, en el segundo se calculan las coordenadas del mismo. El sistema de medición que utiliza el equipo se basa en la toma convergente de la fotogrametría terrestre, en el cual los centros de captura de cada una de las estaciones no son paralelos ni perpendicular al objetivo, el picado de los puntos se realiza mediante un cursor especial el cual realiza un acercamiento únicamente en la zona necesaria, como se observa en la figura 97.



Figura 97. Cursor de Picado.

Una vez picado el mismo punto en dos fotografías se procede a calcular las coordenadas del punto mediante el boton calcular, inmediatamente el software muestra el punto restituído como se ve en la figura 98, sobre todos los fotogramas que tengan visual directa del punto.



Figura 98. Medición de un Punto Fotogramétrico.

Una vez medidos los puntos necesarios con el software TBC se puede reconstruir las fachadas de las construcciones, sin embargo se observó que los 4 puntos que forman una misma pared no contiene una tridimensionalidad congruente, es decir no se encuentran sobre un mismo plano, para solucionar esto se exportó el modelo a una plataforma de fácil edición, en este caso el software sketch up Pro, ya que ofrece herramientas mucho más prácticas de edición y provee a los elementos creados de una geometría congruente, todos los puntos están ubicados en un mismo plano

La compatibilidad en los formatos de los dos programas permite exportar todos los elementos que se tienen en el TBC como puntos, líneas y estaciones fotográficas para utilizarlos como referencias métricas y crear las superficies de interés.

El archivo exportado contiene toda la información geográfica y geométrica del proyecto, sin embargo los valores grandes de las coordenadas causan conflicto en el programa provocando un temblor de los puntos al momento de unirlos con una línea, esto se solucionó arrastrando toda la información al origen del programa como se observa en la figura 99.

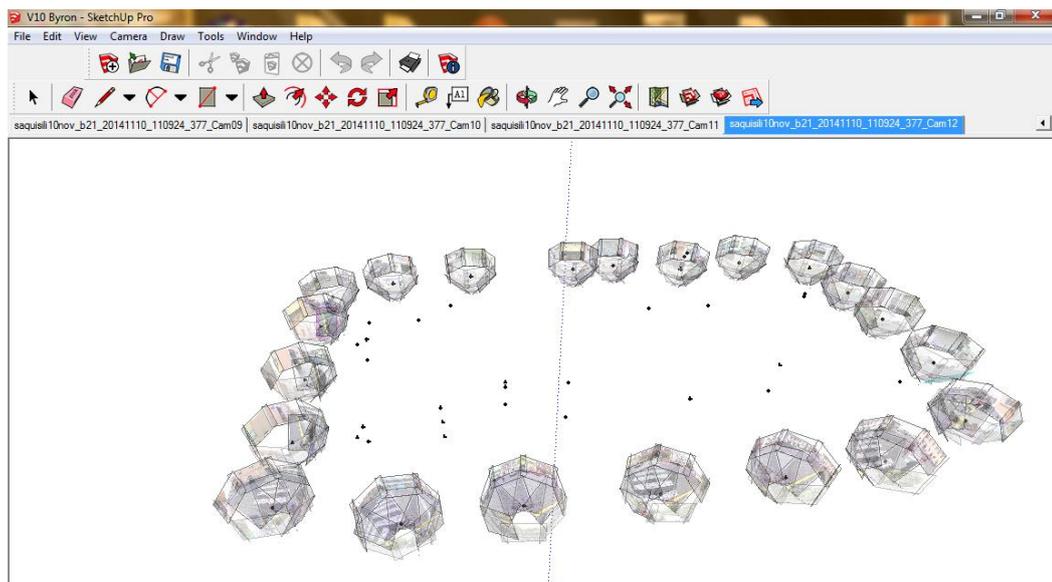


Figura 99. Archivo Importado al Software Sketch up.

Como se muestra en la imagen las fotografías que componen la toma panorámica son desplegadas, permitiendo realizar la navegación entre cada una de estas con el comando Image Igloo y las flechas de navegación.

Posteriormente para la realización del dibujo se utilizan los puntos de referencia obtenidos en el software TBC y conjuntamente con las herramientas de Google Sketchup realizar el dibujo de cada una de las fachadas de la manzana, como se puede apreciar en la figura 100, los bordes de las construcciones deben coincidir con los del dibujo, tanto en la estación desde la que se grafica como de las otra estaciones que tiene visual directa del objeto, como ejemplo se muestra una misma edificación observada desde dos estaciones distintas y su representación tridimensional.

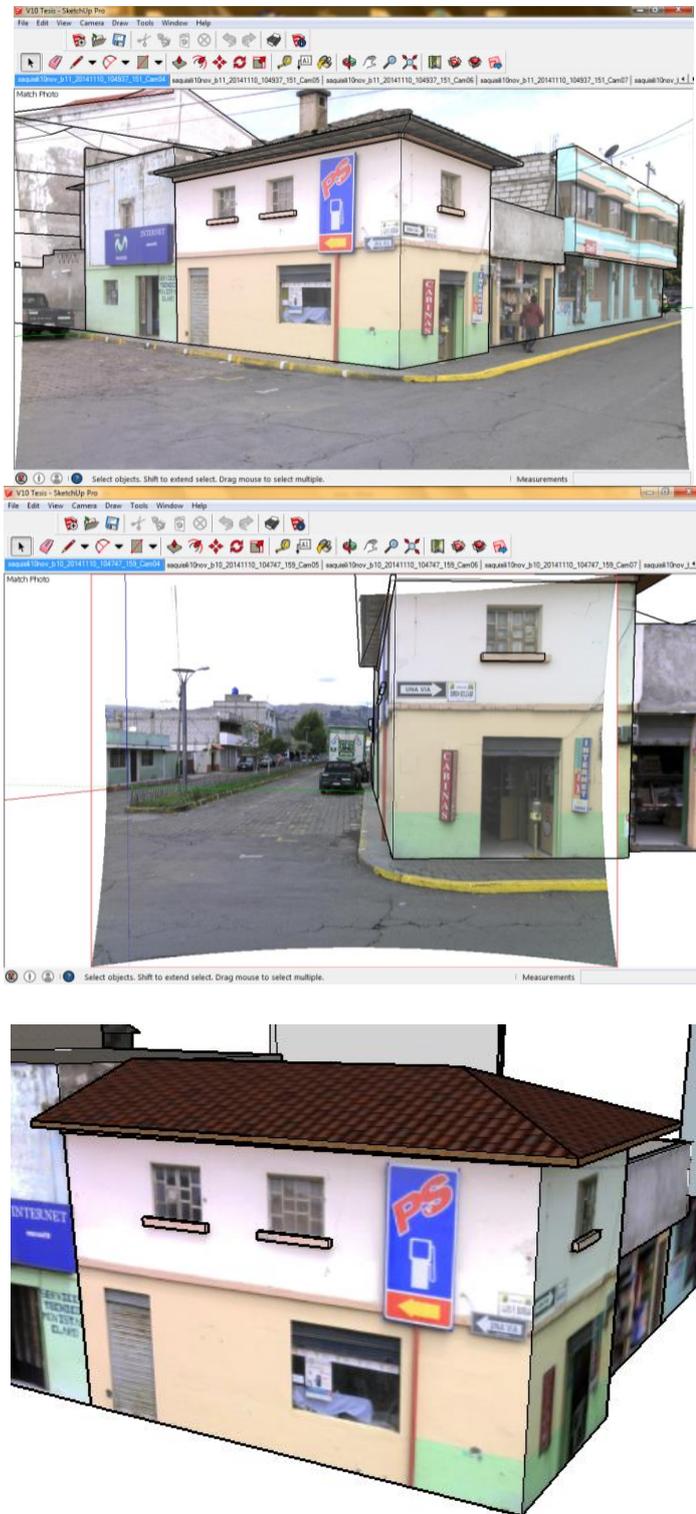


Figura 100. Modelo Tridimensional.

La información referente a fondo de lotes y profundidad de las construcciones se obtuvo a partir de mediciones realizadas en el ortomosaico de la cartografía 1:1000 completando así la información en las “zonas muertas” producidas por la interferencia de elemento de una altura mayor a la de los objetos de interés, varias vistas del modelo tridimensional se puede observar en el anexo 6.

3.4.8 Generación del Modelo Gráfico

El modelo gráfico trata sobre la simbología que tendrán los elementos en la cartografía, en este caso al tener modelos tridimensionales no se hace necesaria la representación de los objetos con elementos geométricos básicos, ya que se puede presentar los objetos con sus características verdaderas.

Los elementos que se obtienen tras su digitalización presentan su textura natural, la cual se obtienen a partir de las fotografías de los mismos objetos, como se observa en la figura 101 a continuación, la textura es asignada al objeto, mediante la herramienta Project photo. El modelo gráfico queda definido por las características reales de cada elemento.



Figura 101. Fotografía del Objeto y su Respectivo Modelo 3D.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Control de Calidad del Ortomosaico de 220 metros de Altura

Los proyectos que emplean ortofotos dependen de su calidad métrica, todas las restituciones o mediciones realizadas sobre ellas van a estar condicionadas por su precisión geométrica.

El principal insumo del proyecto, son los ortomosaicos generados con las imágenes del UAV Trimble UX5, por lo que para garantizar la exactitud de la cartografía es necesario establecer un control para verificar la calidad del insumo fotogramétrico. Para esto se realizó una prueba de hipótesis con la finalidad de demostrar que el error que tiene el ortomosaico es menor al tamaño del pixel y que el mismo es óptimo para la digitalización de la cartografía catastral.

El proceso de control para los dos ortomosaicos se realizó en dos partes, en la primera se realizó el control de calidad de ortomosaico de resolución espacial (7 cm), y luego utilizarlo como referencia geométrica y compararlo con la imagen de mayor resolución espacial (24 cm).

4.1.1 Planificación del Muestreo

Para realizar el control de calidad se tomaron 30 muestras digitalmente sobre el ortomosaico generado a partir del vuelo de 220m, el número de muestras está basado en el documento Metodologías del Control Posicional de la Universidad de Jaén, en el cual se recomienda que el tamaño de la muestra para control fotogramétrico debe ser como mínimo 20 elementos. El muestreo fue realizado mediante el método aleatorio estratificado, éste es ampliamente utilizado en la verificación de datos que se encuentran en zonas dispersas, además permite abarcar grandes espacios de terreno considerando una o distintas variables auxiliares.

En el caso de la zona de estudio su distribución urbana y regular se utilizó como variable auxiliar las calles del sector en sentido este-oeste, dividiendo a la zona en 5 porciones definidas por los ejes viales, dentro de cada una se ubicaron 6 muestras, quedando distribuidas como se indica en la figura 102, tomando en cuenta que para evitar sesgos y para que la muestra sea lo más aleatoria posible en cada cuadrante de la zona de estudio no deberán estar ubicados menos del 20% de las medidas de control dichos elementos corresponden a distancias entre detalles claramente identificables en la imagen como sumideros, anchos de vía, frentes o fondos de lotes, figuras formadas por el adoquinado de las calzadas, todas las muestras fueron previamente planificadas y separadas en una imagen para poder ubicarlas en campo.

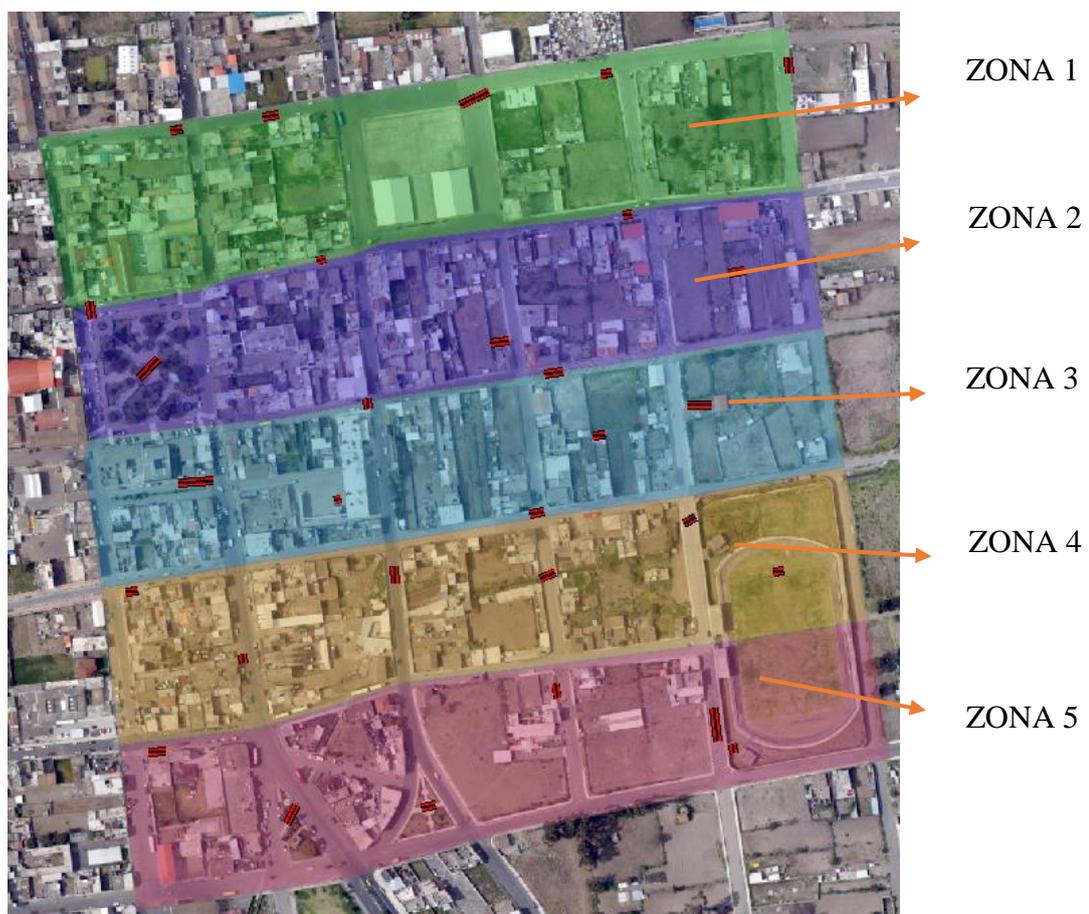


Figura 102. Distribución de las Medidas de Muestreo.

4.1.2 Toma de Muestras

Para la toma de las muestras se utilizó una cinta métrica de 60 metros con la cual se tomó las muestras previamente planificadas como se indica en la figura 103, una vez realizada la medición fue registrada en una hoja de Excel.

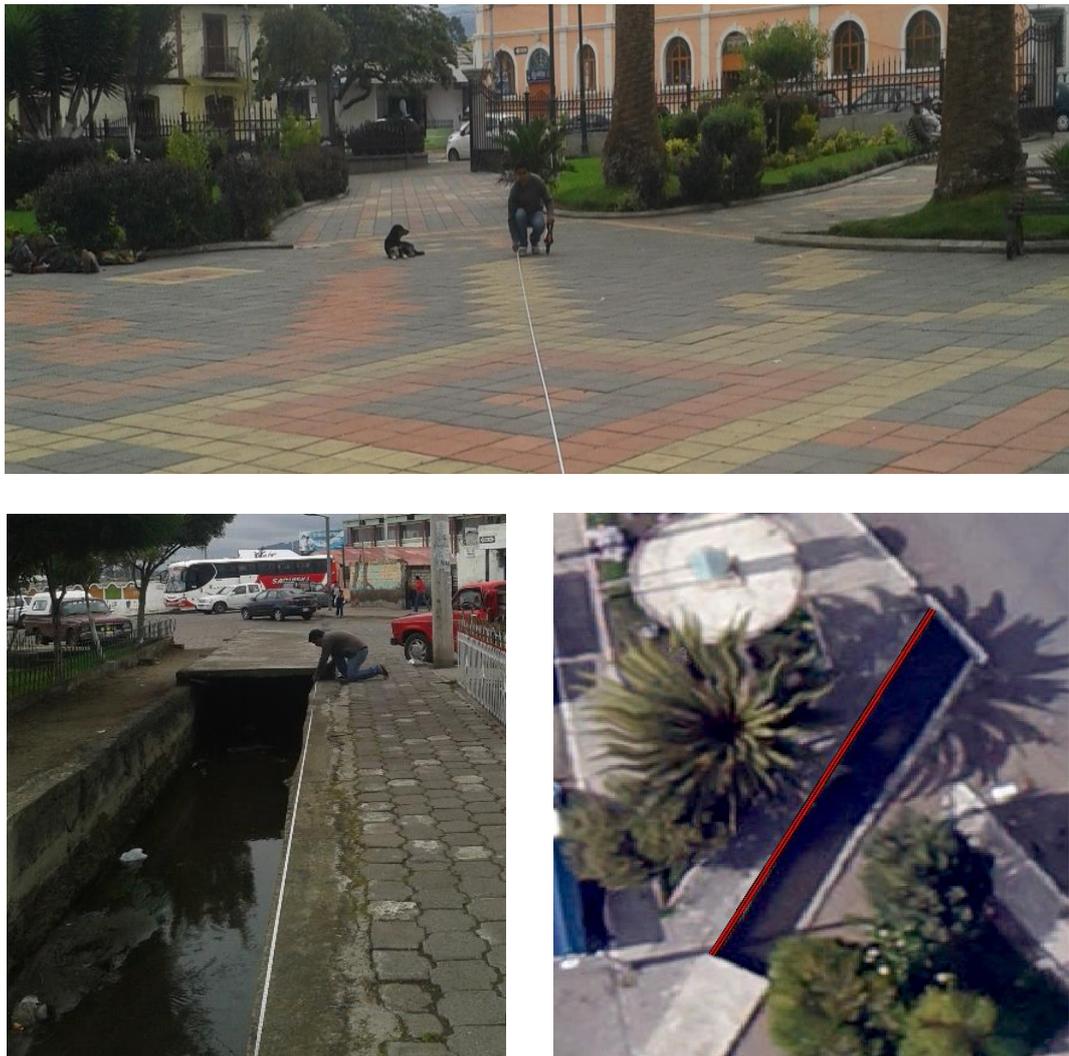


Figura 103. Toma de Muestras y su Digitalización.

4.1.3 Procesamiento de la Información

Posteriormente al trabajo de planificación y campo se realizó los cálculos necesarios para la prueba de hipótesis, el primer paso fue comparar las mediciones con las obtenidas mediante su digitalización en el software ArcGis 10.1, la resolución del ortomosaico fue una clara ventaja en este proceso. Una vez digitalizados todos los segmentos, sobre el ortomosaico, se calculó las longitudes de cada uno de estos con las herramientas propias del sistema y registrando estas en la tabla de atributos de la capa. Posteriormente se exportó la tabla de atributos a una hoja de Excel y se realizó una diferencia entre las medidas del software con las medidas de campo, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 22.

Diferencia entre las Medidas de Campo y el Ortomosaico

MUESTRA	DIGITALIZACION(m)	CAMPO(m)	DIFERENCIA(m)
1	8,443	8,392	-0,051
2	11,55	11,520	-0,030
3	21,573	21,576	0,003
4	7,789	7,650	-0,139
5	11,245	11,300	0,055
6	12,278	12,200	-0,078
7	18,715	18,736	0,021
8	6,985	6,942	-0,043
9	6,791	6,748	-0,043
10	13,032	13,086	0,054
11	11,214	11,124	-0,090
12	24,207	24,224	0,017
13	5,139	5,100	-0,039
14	7,767	7,794	0,027
15	9,936	9,875	-0,061
16	13,366	13,334	-0,032
17	8,347	8,340	-0,007
18	16,188	16,262	0,074
19	8,505	8,415	-0,090
20	6,627	6,566	-0,061
CONTINUA 			

21	12,465	12,390	-0,075
22	10,827	10,898	0,071
23	9,789	9,686	-0,103
24	7,541	7,460	-0,081
25	7,005	6,950	-0,055
26	22,832	22,850	0,018
27	11,026	10,930	-0,096
28	10,586	10,630	0,044
29	13,95	13,934	-0,016
30	12,085	12,032	-0,053

4.1.4 Prueba de Hipótesis.

La prueba de hipótesis es una herramienta para determinar el comportamiento de una población a partir de un grupo de muestras, por lo que este proceso es el más indicado para determinar la calidad de los ortomosaicos.

Para realizar la prueba de hipótesis se debe obtener varios indicadores previos a la prueba entre los cuales están:

- **Media Muestral**

$$\mu = \frac{\sum |Digitalizacion - Campo|}{n}$$

En donde:

μ = Media muestral

n = Número de datos

Reemplazando los datos se obtiene:

$$\mu = 0,054233333$$

- **Desviación Estándar**

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - \mu)^2}{n - 1}}$$

En donde:

S= Desviación estándar

x = Dato

μ = Media muestral

n = Número de datos

Reemplazando los datos se obtiene:

$$S = 0,031562399$$

La prueba de hipótesis busca evaluar los datos obtenidos en campo con los digitalizados sobre el ortomosaico, tomando como valor de referencia para la hipótesis nula y alternativa una aproximación de la media poblacional de 7 cm, el cual es el valor del tamaño del pixel del insumo.

- **Establecimiento de la Hipótesis Nula y Alternativa**

La hipótesis nula consiste en demostrar que el error medio del total de los datos muestreados es menor o igual al tamaño del pixel del ortomosaico, es decir 7 cm. La hipótesis alternativa está definida por el enunciado contrario es decir que el error es mayor a los 7 cm, con lo que se expresa a estas de la siguiente manera:

$$H_0 : \mu \leq 7 \text{ cm}$$

$$H_1 : \mu > 7 \text{ cm}$$

La tipo de prueba de hipótesis que se utilizó para la toma de decisión es unilateral debido a que se desea probar que el error medio está dentro de un intervalo menor o igual al valor establecido y no que es estrictamente igual.

- **Selección de un Nivel de Significancia.**

El nivel de significancia se hace en base a un nivel de confianza de los datos del 95%, es decir que el nivel de significancia es igual a 0.05, representando el límite de la región de rechazo o aceptación de la prueba como se observa en la figura 104.



Figura 104. Nivel de Significancia.

- **Cálculo del Estadístico de Prueba.**

El estadístico de prueba se establece principalmente en base al número de muestras y al tipo de distribución que tienen los mismos, en el caso del presente análisis se ha seleccionado el estadístico t de Student, suponiendo que la distribución de la población es normal y basándose en el número de datos, el estadístico queda definido por la siguiente fórmula:

$$t = \frac{x - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

En donde:

t = Estadístico de prueba.

x = Media muestral.

μ = Media poblacional hipotética.

n = Número de datos.

S = Desviación estándar.

Reemplazando los datos se tiene:

$$t = -2,736090775$$

- **Formular una Regla para la Toma de Decisión.**

Establecer la regla de toma de decisión consiste en imponer los límites entre la zona de rechazo y aceptación de la hipótesis nula, para esto se debe verificar en las tablas de nivel de probabilidad de la distribución t cual es dicho valor.

Para ubicar este nivel se debe seleccionar la intersección entre los grados de libertad y el nivel de significancia de la prueba de hipótesis, especificados en la figura 105.

n	$t_{0,55}$	$t_{0,60}$	$t_{0,70}$	$t_{0,80}$	$t_{0,90}$	$t_{0,95}$	$t_{0,975}$	$t_{0,99}$	$t_{0,995}$
1	0,1584	0,3249	0,7265	1,3764	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567
2	0,1421	0,2887	0,6172	1,0607	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248
3	0,1366	0,2767	0,5844	0,9785	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409
4	0,1338	0,2707	0,5686	0,9410	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041
5	0,1322	0,2672	0,5594	0,9195	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321
6	0,1311	0,2648	0,5534	0,9057	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074
7	0,1303	0,2632	0,5491	0,8960	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995
28	0,1268	0,2558	0,5304	0,8546	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633
29	0,1268	0,2557	0,5302	0,8542	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564
30	0,1267	0,2556	0,5300	0,8538	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500
40	0,1265	0,2550	0,5286	0,8507	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045
50	0,1263	0,2547	0,5278	0,8489	1,2987	1,6759	2,0086	2,4033	2,6778
60	0,1262	0,2545	0,5272	0,8477	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603
80	0,1261	0,2542	0,5265	0,8461	1,2922	1,6641	1,9901	2,3739	2,6387
100	0,1260	0,2540	0,5261	0,8452	1,2901	1,6602	1,9840	2,3642	2,6259
120	0,1259	0,2539	0,5258	0,8446	1,2886	1,6577	1,9799	2,3578	2,6174
∞	0,126	0,253	0,524	0,842	1,282	1,645	1,960	2,327	2,576

Figura 105. Grados de Libertad y Nivel de Significancia.

- **Decisión.**

Consiste en ubicar el valor del estadístico en la distribución como se observa en la figura 106, que tiene como límite el valor identificado en el paso anterior para según esto decidir si la hipótesis nula se acepta o se rechaza. En este caso se aceptó la hipótesis nula, por lo que queda demostrada que la calidad del ortomosaico.

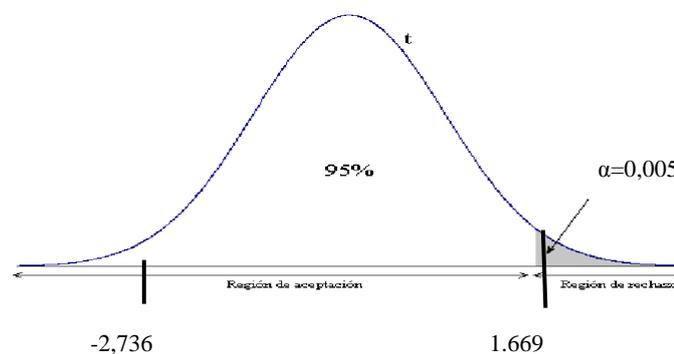


Figura 106. Ubicación del Estadístico de Prueba.

4.2 Control de Calidad Ortomosaico del Vuelo 750 m de Altura.

Para el control de calidad, se utilizó el ortomosaico generado con el vuelo de 220 metros de altura, debido a su mejor resolución y del cual ya se ha demostrado su calidad. Este proceso consiste en digitalizar el mismo segmento en los dos ortomosaicos y compararlos, para al igual que en el caso anterior realizar una prueba de hipótesis. La resolución de la primera imagen permite realizar una mejor apreciación de las distancias a ser digitalizadas, lo cual no sucede con la segunda imagen debido al tamaño del pixel que es casi 4 veces mayor y que por ende agrupa los niveles digitales de alrededor de 16 pixeles en uno solo, debido a esto se espera tener una diferencia mayor en los segmentos de los ortomosaicos que los que se obtuvo entre las medidas de campo y la primera ortoimagen.

4.2.1 Planificación del Muestreo

Al analizar la misma zona de estudio que el ortomosaico anterior se conservó el tipo de muestreo y sus zonas, el muestreo que se realizó es aleatorio estratificado, el número de muestras en cada porción fue de 6, igual al caso anterior, digitalizando los segmentos apreciables en el ortomosaico de 24 centímetros de resolución espacial.

4.2.2 Toma de Muestras

Para este muestreo, estas fueron determinadas con las herramientas de digitalización del software, mediante las cuales se trazó 30 segmentos distribuidos en toda la zona de estudio observados en la figura 107, de los cuales se calculó sus longitudes automáticamente con el programa, obteniendo los resultados que se observan en la imagen.

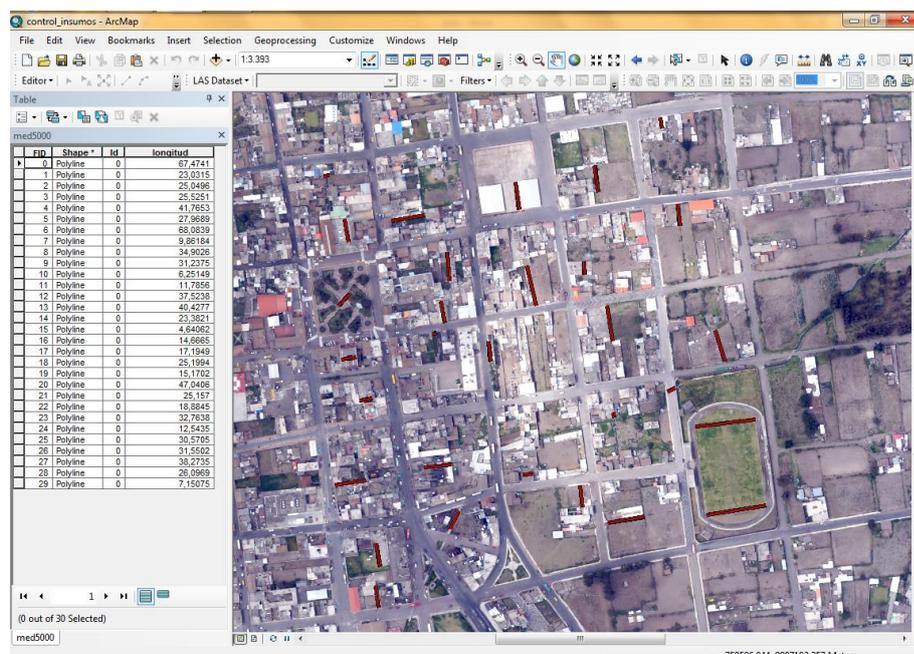


Figura 107. Distribución de las Medidas de Muestreo.

Posteriormente se digitalizó los segmentos correspondientes en el ortomosaico de 7 centímetros de resolución, en el cual se obtuvo una mejor capacidad de apreciación de los elementos y se calculó sus longitudes con las herramientas del software.

Al digitalizar los segmentos en ambos ortomosaicos, se puede observar en la figura 108 un claro desplazamiento posicional de los elementos, el cual está relacionado con las características propias del vuelo, como la altura, resolución y precisión en el pinchado de los puntos de control.

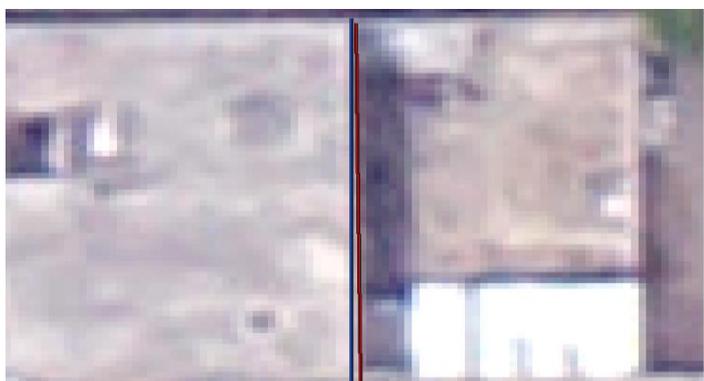


Figura 108. Desplazamiento entre Segmentos.

Tras obtener las longitudes de los segmentos se exportó estos datos a una hoja de Excel y se realizó los cálculos para resolver la prueba de hipótesis, los resultados se observan en la tabla 23.

Tabla 23.

Dimensiones de las Muestras

MUESTRA	2° ORTOMOSAICO(m)	1° ORTOMOSAICO(m)	DIFERENCIA(m)
0	67,47407	67,3764038	0,0976662
1	25,52505	25,5359001	-0,0108501
2	23,03148	23,0849991	-0,0535191
3	25,0496	25,1196995	-0,0700995
4	41,76528	41,8956985	-0,1304185
CONTINUA			➔

5	27,96894	27,8446007	0,1243393
6	68,08392	68,0143967	0,0695233
7	9,861835	9,7876997	0,0741353
8	34,90262	34,9201012	-0,0174812
9	31,23754	31,2413006	-0,0037606
10	6,251492	6,3438902	-0,0923982
11	11,78558	11,7435999	0,0419801
12	37,52385	37,4440002	0,0798498
13	40,42772	40,4962997	-0,0685797
14	23,38206	23,5793991	-0,1973391
15	4,640618	4,7596302	-0,1190122
16	14,66647	14,7070999	-0,0406299
17	17,19485	17,1527996	0,0420504
18	25,19942	25,2091007	-0,0096807
19	15,17018	14,9771996	0,1929804
20	47,04058	46,8549004	0,1856796
21	25,15698	24,9288006	0,2281794
22	18,88445	18,7462006	0,1382494
23	32,76385	32,6481018	0,1157482
24	12,54348	12,4450998	0,0983802
25	30,5705	30,3325996	0,2379004
26	31,55023	31,5944996	-0,0442696
27	38,27354	38,4627991	-0,1892591
28	26,09691	26,1142998	-0,0173898
29	7,150751	7,0976801	0,0530709

Se calculó la media muestral y desviación estándar, mediante las fórmulas definidas anteriormente, con las que se obtienen los siguientes resultados:

- **Media Muestral**

$$\mu = \frac{\sum |2^{\circ} \text{ORTOMOSAICO} - 1^{\circ} \text{ORTOMOSAICO}|}{n}$$

$$\mu = 0,094814007$$

- **Desviación Estándar**

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - \mu)^2}{n - 1}}$$
$$S = 0,067550312$$

- **Establecimiento de la Hipótesis Nula y Alternativa**

La hipótesis nula expresa que el error es menor o igual a 24 cm, la hipótesis alternativa está definida por el enunciado contrario es decir que el error es mayor a los 24 cm, expresando esto de la siguiente manera:

$$H_0 : \mu \leq 24 \text{ cm}$$

$$H_1 : \mu > 24 \text{ cm}$$

La prueba de hipótesis es unilateral debido a que se desea demostrar que el error medio está dentro de un intervalo menor o igual al valor establecido.

- **Selección de un Nivel de Significancia**

La selección del nivel de significancia se hace en base a un nivel de confianza de los datos del 95%, es decir que el nivel de significancia es igual a 0.05, representando el límite de la región de rechazo o aceptación de la prueba.

- **Cálculo del Estadístico de Prueba**

Se utiliza el mismo estadístico, t de Student, suponiendo que la distribución de la población es normal y basándose en el número de datos, el estadístico queda definido por la siguiente fórmula:

$$t = \frac{x - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

$$t = -10,96137328$$

El valor del estadístico de prueba cae dentro de la región de aceptación, con lo que la hipótesis nula es aceptada.

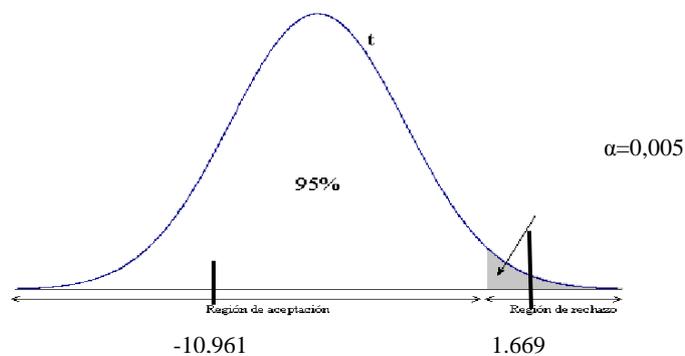


Figura 109. Ubicación del Estadístico de Prueba.

4.3 Control de Calidad de los Modelos de Elevación.

Al igual que con cualquier otra variable espacial, se hace necesario verificar su calidad es decir analizar los errores, cuya aparición es inevitable.

Los modelos de superficie producto de los vuelos fotogramétricos representan la variable altura distribuida en la superficie, la cartografía convencional se encarga de representar esta característica del terreno mediante las curvas de nivel, sin embargo gracias a la facilidad de los SIG para manejar distintos tipos de datos, esta superficie se puede representar tridimensionalmente mediante varios formatos: Raster como el de la figura 110, Tin, Curvas de nivel.

La altura es una variable espacial muy importante, ya que mediante esta se representa la pendiente, la cual es una de las bases para la planificación territorial, en el catastro tiene un especial significado para la valoración de los bienes inmuebles, ya que un predio que se encuentre bajo, al mismo o sobre nivel de los ejes viales tendrá una valor diferente, conociendo a esto como el factor topografía.

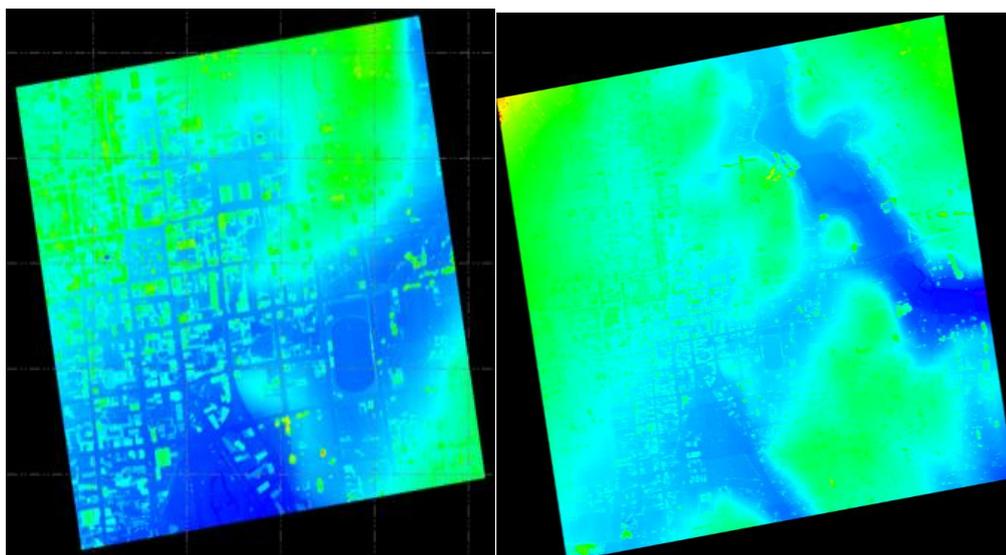


Figura 110. Modelos de Elevación en Formato Raster.

4.3.1 Planificación del Control Vertical

Para el control de calidad de los modelos se realizará una comparación de las alturas obtenidas mediante un levantamiento topográfico y los modelos de superficie obtenido tras procesar los vuelos fotogramétricos. El levantamiento permite determinar los desniveles entre puntos que tienen visual directa, los cuales para el proyecto se ubicaron sobre los ejes viales, lo que permite divisar cada uno de estos desde una misma posición, a distancias largas.

Se determinó que el levantamiento es suficiente debido a la escala de trabajo de la cartografía, ya que el error máximo permisible es $\frac{1}{4}$ del intervalo de curva, 25 cm en el caso de la cartografía 1:1000 y 1.25 metros para la cartografía 1:5000.

4.3.2 Ejecución del Control Vertical

Una vez seleccionado el método de trabajo, se seleccionó el equipo a ser utilizado que fue una estación total marca Trimble modelo 5600, con una precisión angular de 1", observada en la imagen 111. El trabajo se inició con las coordenadas de los Puntos de control terrestre 4 y 2, los cuales tienen una visual directa.



Figura 111. Estación Trimble 5600.

4.3.3 Análisis de los Datos

Tras el levantamiento se obtuvieron las coordenadas x,y,z de los puntos necesarios con los cuales se realizó la respectiva compensación mediante el software civilcad teniendo como diferencias entre las coordenadas de partida y llegada ± 6 cm en horizontal y ± 3 cm en vertical, realizando una compensación milimétrica en los puntos observados. El valor de la coordenada z de los modelos de superficie se obtuvo mediante las herramientas del software arcgis, con las coordenadas x, y de los puntos del levantamiento, se utilizó el comando “extract value to points”, el cual entrega en la tabla de atributos el valor correspondiente de altura para cada punto.

Con estos datos se armó la tabla 24 en la cual se procedió a realizar una diferencia entre los valores, tomando en cuenta que el 90% de estas deben tener un valor menor a $\frac{1}{4}$ del intervalo de la curva de nivel según la escala de trabajo y el restante 10% dentro del $\frac{1}{2}$ del mismo intervalo, sin embargo al tratar la información digitalmente se desea comprobar que estos porcentajes pueden ser mayores es decir se espera que el 95% de los datos cumplan con las condiciones antes mencionadas, para este proceso se utilizaron 36 puntos en los ejes viales, sin embargo se eliminaron 3 ya que al momento del trabajo en campo se constató la modificación de las alturas debido a trabajo viales que realiza el GAD en la zona, obteniendo los siguientes datos:

Tabla 24.

Datos de Elevación de los Modelos

Número	z(m)	z1000(m)	Diferencia	z5000(m)	Diferencia
1	2917,062	2916,97998	0,08202	2917,4519	-0,3899
2	2917,737	2917,62305	0,11395	2918,21094	-0,47394
3	2916,951	2916,82105	0,12995	2916,99292	-0,04192
4	2919,391	2919,42895	-0,03795	2919,33496	0,05604
5	2925,234	2925,31104	-0,07704	2925,2981	-0,0641
6	2924,748	2924,88208	-0,13408	2924,18701	0,56099
7	2914,78	2914,84106	-0,06106	2913,84399	0,93601
8	2915,732	2915,76489	-0,03289	2916,15405	-0,42205
9	2920,021	2920,01294	0,00806	2920,09497	-0,07397
CONTINUA 					

10	2916,537	2916,50488	0,03212	2916,72705	-0,19005
11	2916,045	2915,99609	0,04891	2916,88306	-0,83806
12	2916,712	2916,54712	0,16488	2917,08203	-0,37003
13	2919,277	2919,67407	-0,39707	2918,90088	0,37612
14	2914,453	2914,58008	-0,12708	2915,18188	-0,72888
15	2915,196	2915,23804	-0,04204	2915,49097	-0,29497
16	2918,536	2918,72998	-0,19398	2918,47607	0,05993
17	2915,741	2915,73193	0,00907	2915,63989	0,10111
18	2916,457	2916,52393	-0,06693	2916,63403	-0,17703
19	2915,019	2915,24097	-0,22197	2914,79004	0,22896
20	2914,652	2914,83789	-0,18589	2914,66309	-0,01109
21	2915,52	2915,83106	-0,31106	2915,67896	-0,15896
22	2915,836	2915,91992	-0,08392	2916,35791	-0,52191
23	2914,543	2914,68311	-0,14011	2915,11401	-0,57101
24	2915,563	2915,63599	-0,07299	2916,43408	-0,87108
25	2912,661	2912,54199	0,11901	2913,17798	-0,51698
26	2912,536	2912,44702	0,08898	2912,74194	-0,20594
27	2913,062	2912,9209	0,1411	2912,83301	0,22899
28	2913,553	2913,46997	0,08303	2914,25293	-0,69993
30	2913,951	2914,00391	-0,05291	2913,72192	0,22908
31	2914,267	2914,23901	0,02799	2914,81396	-0,54696
32	2916,021	2916,10693	-0,08593	2915,96899	0,05201
33	2916,67	2916,677	-0,007	2916,43896	0,23104
34	2919,611	2919,62598	-0,01498	2920,36206	-0,75106
Media poblacional			0,102		0,363

Analizando los datos individualmente se observa que para la escala de trabajo 1:1000 únicamente dos valores superan el valor de ± 25 cm, por lo que se puede establecer que el 95% de los datos cumplen con la norma IGM, validando el modelo de superficie para esta escala. En el modelo 1:5000 todas las diferencias no se acercan al límite establecido de ± 1.25 metros, por ende el 100% de los datos cumplen las normativa. Para el conjunto de datos se calculó la media poblacional indicada al final de la tabla 24, se observa que los valores no superan los límites para sus escalas.

4.4 Exactitud Posicional de la Cartografía.

La exactitud posicional es uno de los parámetros más importantes que debe cumplir la cartografía catastral, ya que las dimensiones que se presenten en esta es un elemento muy importante para la valoración de los predios y construcciones. El control realizado para verificar su exactitud se basó en comparar la posición de varios elementos identificables en la cartografía con su posición obtenida tras la realización de un levantamiento topográfico. Las especificaciones técnicas para la producción de cartografía elaborada por el IGM establece que la posición del 95 % de puntos definidos deben no debe diferir de la real en más del 0.3 mm por el denominador de escala, en el proyecto se consideró a las coordenadas obtenidas con el levantamiento como la real y se las comparó con la cartografía, midiendo su diferencia, la cual debe estar bajo el valor de 1.5 metros en la escala 1:5000 y 30 cm en el caso de la escala 1:1000, la medición se llevó a cabo en el software ArcMap en la cartografía de las dos escalas, los resultados se muestran en las tablas 25 y 26 respectivamente. En el caso de la segunda se eliminaron varios puntos correspondientes a construcciones ya que en esta esos elementos no están representados.

Tabla 25.

Diferencias entre el Levantamiento Topográfico y la Cartografía 1:5000

Medición	Longitud	Medición	Longitud	Medición	Longitud
1	0,239	15	0,547	29	0,153
2	0,666	16	0,409	30	0,895
3	1,183	17	0,985	31	0,344
4	0,396	18	0,53	32	0,577
5	0,318	19	0,689	33	0,376
6	1,613	20	0,431	34	1,021
7	0,031	21	0,319	35	0,806
8	0,368	22	0,127	36	1,006
9	0,21	23	0,475	37	0,47
10	0,894	24	0,258	38	0,412
11	0,179	25	0,288	39	1,018
12	0,726	26	0,302	40	0,257
13	0,484	27	0,331		
14	0,401	28	0,62		

Tabla 26.**Diferencias entre el Levantamiento Topográfico y la Cartografía 1:1000**

Medición	Longitud	Medición	Longitud	Medición	Longitud
1	0,054	23	0,173	45	0,285
2	0,108	24	0,237	46	0,014
3	0,248	25	0,056	47	0,153
4	0,012	26	0,07	48	0,203
5	0,179	27	0,067		
6	0,274	28	0,092		
7	0,245	29	0,109		
8	0,057	30	0,284		
9	0,14	31	0,093		
10	0,276	32	0,207		
11	0,143	33	0,234		
12	0,276	34	0,384		
13	0,292	35	0,241		
14	0,028	36	0,239		
15	0,071	37	0,096		
16	0,276	38	0,226		
17	0,198	39	0,218		
18	0,169	40	0,164		
19	0,084	41	0,254		
20	0,209	42	0,175		
21	0,072	43	0,234		
22	0,067	44	0,274		

En color rojo se observan los valores que sobrepasan el límite establecido de 30 cm para la cartografía 1:1000 y 1.5 metros para la 1:5000, en la tabla 25 se evidencia que únicamente un valor está fuera de rango y en la tabla 26 se observa que un valor ha sobrepasado el límite, evidenciando que más del 95 % de los datos cumplen con la norma preestablecida.

Analizando los datos estadísticamente se tiene una media muestral de 17 cm para la cartografía 1:1000 y 53 cm para la 1:5000.

4.5 Control de Calidad de la Cartografía Catastral.

El control de la cartografía catastral se realiza de acuerdo a la metodología presentada en el documento “Estándares de Evaluación Para Productos Cartográficos Impresos”, desarrollado por el Instituto Geográfico Militar, el cual se basa en calificar varios requisitos técnicos denominados cuantificadores. El conjunto de estos a su vez forman un factor de evaluación al cual se debe otorgar un peso, este será establecido mediante el uso de una matriz de saaty, aporte realizado a la metodología por el Ing. Alexander Robayo, docente de la Universidad de las Fuerzas Armadas, la combinación de los pesos y las calificaciones proporcionara una valor ponderado con el cual se ubicará a la cartografía en una categoría que proporcione la calidad de la misma.

La cartografía a presentarse en este proyecto tiene fines catastrales, por lo que algunos de los factores de evaluación han sido modificados para acoplarse a este tipo de datos, sin embargo la metodología de calificación y las categorías han sido conservadas.

La forma de la calificación de la cartografía se llevará a cabo con los siguientes pasos:

- Establecer los factores de evaluación y sus cuantificadores.
- Asignar pesos a los factores de evaluación.
- Prepara una tabla de calificación.
- Calificar cada uno de los cuantificadores.
- Calcular la calificación de la cartografía y ubicar el resultado dentro de su categoría correspondiente.

4.5.1 Factores de Evaluación y Cuantificadores

Estos son los elementos utilizados para la calificación de la cartografía, se basan en el establecimiento de criterios técnicos geométricos y geográficos como la exactitud, sistemas de referencia, forma de los predios, entre otros.

- **Factores de Evaluación**

Son los aspectos generales que debe cumplir la cartografía,

- **Cuantificadores**

Son los aspectos individuales a ser calificados, un conjunto determinado de cuantificadores relacionados entre sí forma un factor e evaluación.

Tabla 27.***Factores de Evaluación y Cuantificadores***

ORDEN	FACTORES DE EVALUACIÓN	DEFINICIÓN	CUANTIFICADORES
1	Exactitud posicional	Es grado de cumplimiento posicional que tienen los detalles altimétricos y planimétricos en el terreno en comparación a los presentados en el producto cartográfico	Proyección horizontal
			Sistema de referencia
			Exactitud horizontal
			Sistema de referencia vertical
			Exactitud vertical
2	Integridad	Es la cantidad de representación de los objetos utilizados para la valoración catastral que se distinguen en la cartografía.	Áreas catastrales
			Áreas edificadas
			Vialidad
			Hidrografía
			Servicios
			Toponimia
3	Consistencia Lógica	Es la relación geométrica y posicional entre elementos que componen la cartografía.	Topología
4	Configuración	Es la semejanza que tiene la cartografía con los elementos reales en el terreno.	Configuración
5	Vigencia	Es la cantidad de aspectos válidos y verificados que se representan en la cartografía dentro del tiempo de vigencia establecido por la ley.	Fecha de captura

4.5.2 Asignación de Pesos a los Factores

Los pesos son indicadores de la importancia que se atribuye a cada una de las alternativas que intervienen en el análisis, en este proceso se relacionan todos los factores entre sí, determinando el nivel de dependencia que tiene el uno del otro, se realiza mediante una matriz de Saaty en la cual se colocan en las filas y columnas a los factores de evaluación, a continuación se realiza una intersección entre estas y se analiza la dependencia entre cada una de ellas a la cual se asigna un valor a cada relación, este debe ser tomado de la tabla 28:

Tabla 28.

Calificaciones para las Dependencias entre Factores

Calificación	Descripción
0	No depende
1	Poca dependencia
2	Media dependencia
3	Buena dependencia
4	Depende completamente

Metodología: A. Robayo

A continuación se construye la matriz con sus respectivas filas, columnas y las intersecciones entre estas, las relaciones entre los mismos factores tienen un valor nulo, como se observa en la tabla 29.

Tabla 29. *Matriz de Saaty.*

		A	B	C	D	E
A	Exactitud posicional		4	3	4	1
B	Integridad	0		1		4
C	Consistencia lógica	2	3		4	1
D	Configuración	1	1	3		1
E	Vigencia	0	2	0	0	

Metodología: A. Robayo

A continuación como se observa en la tabla 30 se obtienen los pesos, realizando la suma de las calificaciones para cada factor de evaluación, posteriormente se obtiene el porcentaje que representa ese valor y finalmente se obtiene el peso.

Tabla 30.

Obtención de Pesos

	Suma	Porcentaje	Peso
	= A+B+C+D+E	= 35/Suma	=Porcentaje/10
	12	34,29	3,43
	5	14,29	1,43
	10	28,57	2,86
	6	17,14	1,71
	2	5,71	0,57
TOTAL	35	100	10

Una vez obtenidos los pesos se procede a establecer los rangos de valores en los que se encontrará cada una de las cuatro categorías como se observa en la tabla 31, para esto se asigna un valor de 20 puntos a cada uno de los factor de evaluación el cual es distribuido en cantidades semejantes para cada uno de los cuantificadores que lo componen.

Tabla 31.***Rango de Valores de Cada Categoría Escala 1:1000***

Puntaje	Cuantificador	A		B		C		D	
		<=	>	<=	>	<=	>	<=	>
20	Proyección horizontal	4	3	3	2	2	1	1	0
	Sistema de referencia	4	3	3	2	2	1	1	0
	Exactitud horizontal	4	3	3	2	2	1	1	0
	Sistema de referencia vertical	4	3	3	2	2	1	1	0
	Exactitud vertical	4	3	3	2	2	1	1	0
	20	Áreas catastrales	3.3	2.47	2.47	1.65	1.65	0.82	0.82
Áreas edificadas		3.3	2.47	2.47	1.65	1.65	0.82	0.82	0
Vialidad		3.3	2.47	2.47	1.65	1.65	0.82	0.82	0
Hidrografía		3.3	2.47	2.47	1.65	1.65	0.82	0.82	0
Servicios		3.3	2.47	2.47	1.65	1.65	0.82	0.82	0
Toponimia		3.3	2.47	2.47	1.65	1.65	0.82	0.82	0
20	Topología	20	15	15	10	10	5	5	0
20	Configuración	20	15	15	10	10	5	5	0
20	Fecha de captura	20	15	15	10	10	5	5	0

Para la calificación de la cartografía 1:5000 se realizó otra matriz de calificación debido a que varios elementos cuantificadores desaparecen por efectos de la escala de trabajo, modificando así los rangos de calificación como se observa en la tabla 32.

Tabla 32.***Rango de Valores de Cada Categoría Escala 1:5000***

Puntaje	Cuantificador	A		B		C		D	
		<=	>	<=	>	<=	>	<=	>
20		<=	>	<=	>	<=	>	<=	>
	Proyección horizontal	4	3	3	2	2	1	1	0
	Sistema de referencia	4	3	3	2	2	1	1	0
	Exactitud horizontal	4	3	3	2	2	1	1	0
	Sistema de referencia vertical	4	3	3	2	2	1	1	0
	Exactitud vertical	4	3	3	2	2	1	1	0
20	Áreas catastrales	5	3.75	3.75	2.5	2.5	1.25	1.25	0
	Vialidad	5	3.75	3.75	2.5	2.5	1.25	1.25	0
	Hidrografía	5	3.75	3.75	2.5	2.5	1.25	1.25	0
	Toponimia	5	3.75	3.75	2.5	2.5	1.25	1.25	0
20	Topología	20	15	15	10	10	5	5	0
20	Configuración	20	15	15	10	10	5	5	0
20	Fecha de captura	20	15	15	10	10	5	5	0

La calificación que se otorgue a los cuantificadores depende del porcentaje de cumplimiento que tenga la cartografía analizada de cada una de las categorías establecidas en la tabla 31, para esto se realizó un determinado control para las dos escalas, el tipo, control y resultados se puede observar en la tabla 32.

Tabla 33.***Descripción de las Categorías para Cada Cuantificador***

Cuantificador	A	B	C	D
Proyección horizontal	Referencia Mundial	Referencia Regional	Otra referencia	No tiene proyección
Sistema de referencia	Referencia Mundial	Referencia Regional	Otra referencia	No tiene sistema
Exactitud horizontal	95% elementos de control dentro de 0.3 mm por Factor de escala	90% elementos de control dentro de 0.6mm por Factor de escala	90% elementos de control dentro de 1.2 mm por Factor de escala	90% elementos de control superan de 1.2 mm por Factor de escala
Sistema de referencia vertical	Sistema Absoluto	Nivel medio del mar	Otra referencia	No tiene sistema
Exactitud vertical	95% elementos de control tienen un error menor a ¼ IC	95% elementos de control tienen un error menor a 1/2 IC	95% elementos de control tienen un error menor a 1 IC	95% elementos de control tienen un error mayor a 1 IC
Áreas catastrales	Más del 95% de elementos están representados	N/A	N/A	Menos del 95% de los elementos han sido representados
Áreas edificadas	Más del 95% de elementos están representados	N/A	N/A	Menos del 95% de los elementos han sido representados
CONTINUA				

Vialidad	Más del 95% de elementos están representados	N/A	N/A	Menos del 95% de los elementos han sido representados
Hidrografía	Más del 95% de elementos están representados	N/A	N/A	Menos del 95% de los elementos han sido representados
Servicios	Más del 95% de elementos están representados	N/A	N/A	Menos del 95% de los elementos han sido representados
Toponimia	Los elementos de interés cuentan con la toponimia correspondiente	N/A	N/A	Menos del 95% cuentan con la toponimia correspondiente
Topología	Topología verificada mediante medios informáticos	N/A	N/A	La topología no ha sido verificada
Configuración	Los elementos y accidentes geográficos equivalen a la condición actual del terreno con pequeñas variaciones	Los detalles muestra una ligera generalización	Algunos detalles principales generalizados y faltan detalles secundarios	Los detalles han sido generalizados y son inexactos
Fecha de captura	La captura de la información se realiza dentro del plazo establecido.	N/A	N/A	La captura de la información se realiza fuera de los tiempos establecidos

Tabla 34.

Controles Realizados a la Cartografía

Cuantificador	Tipo de control	Descripción	Resultado
Proyección horizontal	Verificación en archivos	Se verificó las propiedades de la geodatabase del proyecto	El sistema de proyección es la Universal Transversal de Mercator (UTM), Zona 17 Sur
Sistema de referencia	Verificación en archivos	Se verificó las propiedades de la geodatabase del proyecto	El sistema de referencia es el World Geodesic System 1984 (WGS84)
Exactitud horizontal	Levantamiento topográfico	Se realizó la planificación y el levantamiento topográfico de puntos definidos	Más 95% de los elementos de control se encuentra en radio menor a 0.3 mm por el Factor de escala
Sistema de referencia vertical	Verificación en archivos	Se constató las alturas GNSS y las alturas usadas en el proyecto	Se realizó la corrección con la ondulación geoidal específica para la zona
Exactitud vertical	Levantamiento topográfico	Se realizó la planificación y el levantamiento topográfico sobre ejes viales	El 95% de los elementos de control se encuentran con un error menor al ¼ del Intervalo de curva de nivel
Áreas catastrales	Verificación en archivos	Se verificó los elementos dibujados con el ortomosaico	La totalidad de la forma de los elementos catastrales concuerdan con el ortomosaico
Áreas edificadas	Verificación en archivos	Se verificó los elementos dibujados con el ortomosaico	La totalidad de la forma de los elementos catastrales concuerdan con el ortomosaico
			CONTINUA 

Vialidad	Verificación en archivos	Se verificó los elementos dibujados con el ortomosaico	La totalidad de la forma de los elementos catastrales concuerdan con el ortomosaico
Hidrografía	Verificación en archivos	Se verificó los elementos dibujados con el ortomosaico	La totalidad de la forma de los elementos catastrales concuerdan con el ortomosaico
Servicios	Verificación en archivos y campo	Se verificó los elementos dibujados con el ortomosaico y trabajo en campo	Aproximadamente el 90% de los elementos verificados se encuentra definidos en la cartografía
Toponimia	Verificación en archivos y campo	Se verificó los elementos dibujados con el ortomosaico y trabajo en campo	La mayoría de los elementos de interés cuentan con su respectiva toponimia
Topología	Verificación en archivos	Se verifico la geodatabase del proyecto	Se verifico la topología mediante medios informáticos
Configuración	Verificación en archivos	Se verificó los elementos dibujados con el ortomosaico	Los elementos representados concuerdan con los elementos observados en el ortomosaico y el modelo de superficie
Fecha de captura	Verificación en archivos	Se verificó las fechas de ejecución del proyecto	La captura de la información se llevó dentro del período de los 2 años que establece el COOTAD

4.5.3 Calificación de la Cartografía.

Con los controles respectivos se calificó la cartografía para las dos escalas de trabajo como se observan en las tablas 35 y 36. La cartografía 1:5000 fue calificada con los mismo factores de evaluación, sin embargo se suprimieron varios cuantificadores debido a que estos no son apreciables a esa escala, las calificaciones se muestran en las tablas que se muestran a continuación.

Tabla 35.

Calificación de la Cartografía Escala 1:1000

Calificación de la Cartografía escala 1:1000				
Peso	Cuantificador	Calificación	Total	Calificación ponderada
3.43	Proyección horizontal	4	20	68.6
	Sistema de referencia	4		
	Exactitud horizontal	4		
	Sistema de referencia vertical	4		
	Exactitud vertical	4		
1.43	Áreas catastrales	3.3	17.32	24.76
	Áreas edificadas	3.3		
	Vialidad	3.3		
	Hidrografía	3.3		
	Servicios	0.82		
	Toponimia	3.3		
2.86	Topología	20	20	57.2
1.71	Configuración	20	20	34.2
0.57	Fecha de captura	20	20	11.4
		Total a 200		196.16
		Total a 100		98.08

Tabla 36.*Calificación de la Cartografía Escala 1:5000*

Calificación de la Cartografía escala 1:5000				
Peso	Cuantificador	Calificación	Total	Calificación ponderada
3.43	Proyección horizontal	4	20	68.8
	Sistema de referencia	4		
	Exactitud horizontal	4		
	Sistema de referencia vertical	4		
	Exactitud vertical	4		
1.43	Áreas catastrales	5	20	28.6
	Vialidad	5		
	Hidrografía	5		
	Toponimia	5		
2.86	Topología	20	20	57.2
1.71	Configuración	20	20	34.2
0.57	Fecha de captura	20	20	11.4
		Total a 200		200
		Total a 100		100

Con las calificaciones obtenidas se puede ubicar a la cartografía dentro de una de las categorías presentadas en la tabla 37, observando que ambas cartografías se encuentran en la clase A indicando que estas son óptimas para su uso con fines catastrales.

Tabla 37.

Categorías de Calidad Cartográfica

CATEGORÍA	CALIDAD	INTERVALO DE CLASE	DEFINICIÓN
A	Óptimo	Mayor a 78 y menor igual a 100	Reúne las más altas características de exactitud en todos los elementos constantes en el documento y cumple con su propósito específico
B	Adecuado	Mayor a 56.8 y menor igual a 78	Satisface los requisitos para el uso al que está destinado, está dentro de la exactitud deseada
C	Servible	Mayor a 30 y menor igual a 56.8	La exactitud en el 90% de sus elementos constitutivos satisface en el límite al uso
D	Inadecuado	Menor igual a 30	Su contenido es inexacto y/o incompleto a tal grado que la utilidad en el uso se reduce a un nivel referencial

Fuente: Instituto Geográfico Militar

4.6 Análisis de Calidad de la Cartografía Tridimensional.

Para la verificación de los resultados tridimensionales que se obtuvieron tras su digitalización en el software sketch Up Pro, se comparó las medidas en los modelos 3D con medidas en campo, las cuales fueron tomadas con una cinta métrica de 60 metros, las mediciones se realizaron en todos los frentes de los lotes que componen la manzana de estudio, obteniendo los resultados y diferencias expresadas en la tabla 38.

Tabla 38.

Comparación de las Medidas del Modelo y Campo

Número	Medida de Campo (m)	Medida Sketch Up (m)	Diferencia (m)
1	17,43	17,46	0,03
2	7,97	7,99	0,02
3	8,18	8,19	0,01
4	9,97	9,92	0,05
5	17,15	17,21	0,06
6	6,15	6,14	0,01
7	4,25	4,23	0,02
8	8,25	8,24	0,01
9	5,73	5,74	0,01
10	7,73	7,74	0,01
11	7,63	7,68	0,05
12	18,86	18,91	0,05
13	10,7	10,75	0,05
14	17,92	17,9	0,02
15	12,12	12,16	0,04
16	12,98	12,93	0,05
17	21,14	21,09	0,05
18	11,55	11,51	0,04

Con las diferencias se obtiene la media muestral de 0.032 metros, además tomando al valor más alto (6 cm) y despejando de la fórmula: $\text{Error} = 0.3\text{mm} \times \text{Denominador de escala}$, se obtiene que la escala de trabajo con el equipo es de 1:200, la cual es similar a las obtenidas por equipos topográficos convencionales.

4.6.1 Comparación de Técnicas de Dibujo Tridimensional.

La creación de modelos tridimensionales es un campo que ha tomado fuerza a partir de la evolución informática que ha permitido la creación de distintos software de modelado 3D en los cuales podemos diseñar objetos a partir de medidas obtenidas mediante varios métodos, en el proyecto el uso de esta técnica está orientado a la representación de las fachadas, para lo cual las dimensiones necesarias pueden provenir de una fuente fotogramétrica o de la medición directa en el objeto con varios instrumentos para este fin, a continuación se analizará tres técnicas diferentes de dibujo tridimensional para uso catastral en el software Sketch Up.

- **Dibujo con Medidas Directas sobre las Fachadas**

Esta técnica consiste en realizar medidas sobre los objetos de la fachada que se desea representar mediante el uso de equipos topográficos, flexómetros, cintas métricas ó distanciómetros laser, para posteriormente modelar el objeto en el software, pudiendo adicionar las características del mismos mediante la paleta de colores y materiales que otorga el programa o añadir una textura a partir de fotografías.

Ventajas

- Control directo sobre las medidas de referencia
- Nivel de detalle establecido por el operador
- La precisión depende del instrumento utilizado para la medición

Desventajas

- Requiere de un tiempo de medición y edición alto
- El tamaño de los objetos medidos limita el alcance del operador

- El modelado del dibujo se debe realizar sobre el origen y los ejes ortogonales del software
- Dificultad para la representación de la pendiente y la unión de fachadas
- Las características del objeto deben ser consultadas por el operador y registradas en una libreta de campo

- **Dibujo con Medidas Obtenidas con Fotogrametría**

En esta técnica las medidas necesarias para la representación de las fachadas se obtienen de la restitución sobre fotografías mediante el uso de un software fotogramétrico por ejemplo Photomodeler, en el cual con un mínimo de tres imágenes, los parámetros de calibración de la cámara y una medida real de referencia se pueden extraer la información necesaria.

Ventajas

- El tiempo de medición en campo se limita a la toma de una medida por fachada
- Los detalles de interés pueden ser medidos sin tener contacto con el objeto
- La textura de la fachada es otorgada directamente mediante la proyección de las fotografías
- Las características de inmueble puede ser descrito tras la visualización en la imagen, estas pueden ser representadas directamente en una base de datos

Desventajas

- El campo de visualización únicamente permite representar y caracterizar una fachada a la vez.
- Únicamente se puede modelar la porción espacial representada en la fotografía.
- El enlace entre fotografías de distintos objetos es imposible.

- **Dibujo con Estaciones Fotogramétricas Terrestres**

Esta es una fusión de las dos técnicas anteriores, consiste en primero obtener las coordenadas de los puntos necesarios para posteriormente crear los objetos necesarios, al tener un campo de visualización completo se puede obtener información en todas las direcciones.

Ventajas

- Permite un realizar un dibujo georeferenciado
- Se puede empatar la información de todas las estaciones necesarias sin importar la pendiente del terreno o los obstáculos.
- Se puede otorgar la textura real a los elementos creados.

Desventajas

- Requiere una mayor cantidad de tiempo ya que se debe realizar un ajuste de la referencia espacial.
- Se necesita equipo y software especializado

4.7 Análisis de costos para la metodología.

4.7.1 Costo de la misión fotogramétrica aérea

El uso de los UAV para la producción cartográfica abarata considerablemente los costos, debido a que el equipo simplifica las actividades del proceso fotogramétrico como el tiempo de vuelo, infraestructura espacial, procesamiento de la información, además el personal técnico necesitado es muy limitado en comparación al ocupado convencionalmente. En la tabla 39 se observa un detalle de costos obtenido tras la investigación realizada en la empresa auspiciante y distintas fuentes, el cual es aplicado para la zona de estudio que se utilizó en el proyecto, utilizando como referencia la generación de la cartografía a escala 1:1000.

Tabla 39.*Análisis de costos para la producción de cartografía 1:1000 con UAV*

Descripción	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Costo de la misión fotogramétrica (vuelo y procesamiento)	27 ha	50	1350
Dibujante	5 días	40	200
Control terrestre	5 Puntos GNSS	150	750
Transporte	1 viaje	40	40
Varios (targets, alimentación, etc.)	1	20	20
Valor total			2360
Valor por hectárea			88

Fuente: Empresa Instrumental y Óptica.

4.7.2 Costo de la misión Fotogramétrica terrestre

Para la misión fotogramétrica terrestre, el análisis de costos es netamente referencial, debido a que varios valores del equipo con que se realizó el proceso no se han establecido debido a la complejidad del procesamiento y captura de información con el mismo, lo que implica principalmente personal técnico especializado, sin embargo estos valores se consideraron los aproximados para un trabajo cartográfico o topográfico. Los valores mostrados en la tabla 40, son estimados para el área de estudio utilizada en el proyecto, es decir una manzana.

Tabla 40.*Análisis de costos para la producción de cartografía 3D con el equipo Trimble V10*

Descripción	Cantidad	Costo Unitario(\$)	Costo Total(\$)
Costo de la misión fotogramétrica	1 manzana	100	100
Equipo GNSS	1 día	120	120
Dibujante	2 días	50	100
Transporte	1 viaje	40	40
Varios	1	20	20
Valor total por manzana			380

Fuente: Empresa Instrumental y Óptica

Se debe considerar que al contar con 360 grados de visión se puede obtener información en todas las direcciones, con lo cual se reducirían los costos, sin embargo no se realizó este tipo de análisis ya que en el proyecto únicamente se trabajó en una manzana.

CAPITULO V

5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.1 CONCLUSIONES

- Se realizó el Catastro Físico mediante el uso de nuevas tecnologías fotogramétricas, demostrando que la generación de cartografía catastral con equipos aéreos no tripulados y equipo fotogramétrico terrestres es viable técnicamente, además la poca infraestructura física que se necesita tanto para la ejecución de las misiones aéreas como terrestres y el escaso tiempo de adquisición de la información, hacen de esta metodología fácilmente replicable, sin embargo se presentan algunas limitaciones como el uso de programas especializados, infraestructura computacional y los costos que acarrearán la adquisición del hardware y software necesarios.
- Se realizó dos vuelos fotogramétrico con el UAV Trimble UX5, capturando un total de 425 fotografías individuales, se observó que la planificación para las misiones aéreas convencionales resulta similar a la calculada por el software de planificación utilizado por el equipo, teniendo diferencias de casi una línea por vuelo y una foto por línea, lo cual se debe a el tamaño de la aeronave, precisión de delimitación de la zona de toma y la relación de estos con el método e posicionamiento del UAV durante la ejecución.
- Se realizó la toma desde 21 estaciones fotogramétricas terrestres con el equipo Trimble v10, obteniendo un total de 252 fotografías en un tiempo aproximado de 30 minutos, lo cual demuestra el corto tiempo de adquisición de datos necesario.

- Se materializó 5 puntos de control terrestre para la el vuelo fotogramétrico mediante posicionamiento estático y 21 puntos para la misión terrestre con el método RTK, enlazados al marco de referencia SIRGAS época 2014.8 y referidos al datum vertical del nivel medio del mar, observando que la precisión alcanzada depende mucho del método utilizado, en el caso de la misión aérea todos los puntos cumplieron con lo establecido en la planificación del vuelo (max. 5mm) y en el caso de la misión terrestre las coordenadas se obtuvieron con la precisión que otorgo el equipo, enlace de radio y condiciones de campo, las cuales fueron entre 9 mm y 2 cm, siendo útiles para la ejecución del proyecto terrestre.
- La generación de los ortomosaicos se realizó con el software Trimble Bussines Centre, sin embargo se observó que en las zonas con construcciones elevadas se producen distorsiones de la imagen que dificultan el reconocimiento de varios elementos como línea de fábrica y áreas edificadas. Este fenómeno se observa en varios ortomosaicos obtenidos con el UAV, siendo esto atribuible al número de puntos de control con los que se realizó el ajuste manual ya que se observaron casos en los que se usó 18 puntos y no se presentó distorsión alguna. Esto ocurrió utilizando el mismo software de procesamiento
- El control de calidad tanto de insumos como de productos fotogramétricos demostró que estos pueden ser controlados mediante la metodología que se aplica a la fotogrametría convencional ya que se obtuvieron valores planimétricos y altimétricos que en el caso de los vuelos fotogramétricos cumplen con las normas establecidas por el IGM en promedio 17 cm para la escala 1:1000 y 53 cm para la 1:5000. En el caso terrestre se evidenció que los resultados cumplen con parámetros topográficos ofreciendo escalas de trabajo entre 1:50 y 1:200.

- La digitalización de los modelos 3D demostró tener un gran potencial para su uso en la valoración catastral, debido a la facilidad de extracción de información, la reducción del trabajo de campo y sobre todo la capacidad descriptiva de los elementos catastrales que se adquiere al contar con fotografías georeferenciadas de cada una de las construcciones, ejes viales y mobiliario urbano.

5.1.2 RECOMENDACIONES

- Es necesario analizar el comportamiento de la metodología en grandes extensiones de terreno, analizando varios aspectos técnicos como control de campo digitalización y estructuración de la información y principalmente costos, que aseguren la generación del catastro físico de ciudades completas tanto de su parte urbana como rural.
- En el proyecto se realizó un único vuelo para cada escala de trabajo, por lo que se debería establecer una metodología para la unión de varios vuelos fotogramétricos con UAV, ya que al tener una autonomía limitada de vuelo una zona extensa no podría ser fotografiada en una sola misión.
- Se hace necesario analizar los beneficios que otorga el modelamiento 3D del aspecto urbano, lo que se podría utilizar para diseñar ordenamientos territoriales mediante ambientes virtuales, simulaciones del comportamiento poblacional y otros estudios basados en insumos tridimensionales.
- Se debería analizar la combinación de este tipo de metodologías con estudios a nivel macro que permitan obtener información a distintos niveles que ayuden a una organización territorial eficiente.

Bibliografía

- Albarrán, G. (2004). *Levantamiento Catastral Multifinalitario, Sector San José-El Arenal-Carmania. Santa Cruz de Mora, Municipio Antonio Pinto Salinas. Estado Mérida*. Mérida: Universidad de los Andes.
- Bonneval, H. (1972). *Photogrammétrie Générale*. París: Eyrolles.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid: RIALP, S.A.
- Coelho, L. (2007). *Fotogrametría Digital*. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Ingeniería.
- Erba, D. A. (2005). *Aplicaciones del Catastro Multifinalitario en la Definición de Políticas de Desarrollo Urbano*. Cambridge: Lincoln Institute for Land Policy.
- Fernández, T. (2007). *Teledetección*. Veo Linares: Escuela Politécnica Superior de Jaén.
- Galindo, E. (2010). *Estadística, Métodos y Aplicaciones para Administración e Ingeniería*. Quito: ProCiencia Editores.
- García, D. (2008). *Sistema GNSS*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- geospatial, H. (10 de Enero de 2015). *Overview*. Obtenido de Overview: <http://www.hexagongeospatial.com/products/photogrammetry/imagene-photogrammetry-%28formerly-lps%29/overview>
- Hacienda, M. d. (13 de Mayo de 200). Pliego de prescripciones técnicas de cartografía catastral. *NORMA DE CARTOGRAFÍA CATASTRAL URBANA Y PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TECNICAS PARA LA CONTRATACIÓN POR LA DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO DE LOS TRABAJOS DE CARTOGRAFÍA CATASTRAL URBANA*. Madrid, España.
- Hacienda, M. d. (2000). *NORMA DE CARTOGRAFÍA CATASTRAL URBANA Y PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TECNICAS PARA LA CONTRATACIÓN POR LA DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO DE LOS TRABAJOS DE CARTOGRAFÍA CATASTRAL URBANA*. Madrid.
- Hernández, D. (2006). *Introducción a la Fotogrametría Digital*. La Mancha: Universidad de Castilla.
- Jordi, E. (2003). *Tipos de muestreo*. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Kaufmann, J. (1998). *Catastro 2014*. Melbourne: Federación Internacional de Agrimensores.
- Lerma, J. (2002). *Fotogrametría moderna: Analítica y Digital*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

- Lind, D. (2008). *Estadística aplicada a los Negocios y Economía*. Mexico: McGraw-Hill.
- Luhmann, T. (2010). *Fotogrametría de Corto Alcance*. Wichamm: Verlag.
- Méndez, A. I. (2005). *El catastro multiutalitario: herramienta clave para el análisis territorial y el ordenamiento rural. Caso del municipio Rangel en el estado de Mérida, Venezuela*. Merida: Universidad de Los Andes.
- Olaya, V. (2011). *Sistema de Información Geográfica*. Madrid: Creative Commons.
- Orellana, R. (2006). *Apuntes de Fotogrametría*. Obtenido de http://www.cartografia.cl/download/apuntes_fotogrametria.pdf
- powerful, P. 4. (14 de Diciembre de 2014). *Pix 4D*. Obtenido de Pix 4D: <https://pix4d.com/construction-cadaster/>
- Pérez, J. (2006). *Planificación y Control de Calidad de Vuelos Fotogramétricos*. Jaén: Universidad de Jaén.
- Rodríguez, A. (2008). *La Fotogrametría arquitectural digital y sus aplicaciones*. Holguín: Universidad de Holguín.
- Ruano, M. (2005). *ESTÁNDARES DE EVALUACIÓN PARA PRODUCTOS CARTOGRÁFICOS IMPRESOS*. Quito: Instituto Geográfico Militar.
- Sifuentes, F. (1997). *Intriducción a la Fotogrametría*. México: Trillas.
- System, E. (12 de Diciembre de 2014). *photomodeler*. Obtenido de photomodeler: <http://www.photomodeler.com/applications/engineering/default.html>
- Topcon. (8 de Enero de 2015). *Image Master*. Obtenido de Image Master: <https://www.topconpositioning.com/software/mass-data-collection/imagemaster>
- Trimble. (12 de Diciembre de 2014). *Trimble survey*. Obtenido de Trimble survey: <http://www.trimble.com/survey/trimble-business-center.aspx>
- Valencia, U. P. (20 de Diciembre de 2014). *GIFLE*. Obtenido de GIFLE: <http://gifle.webs.upv.es/Servicios.php>

