



**Universidad del Azuay**

**Maestría en Geomática con mención  
en Ordenamiento Territorial.**

**FOTOGRAFÍA AÉREA DE BAJO COSTO Y  
SUS POSIBLES APLICACIONES EN  
GEOMÁTICA.**

**Autor:**

**Rómulo Arturo Izquierdo Pérez.**

**Director:**

**Dr. Daniel Orellana Vintimilla.**

**Correo: [art\\_izq@hotmail.com](mailto:art_izq@hotmail.com)**

**Cuenca, Ecuador**

**2016**



## **RESUMEN:**

La ortofotografía es un conjunto de fotografías aéreas tomadas desde una aeronave (avión, helicóptero, globo aéreo, etc.) que presentan una zona de la superficie terrestre en la que todos los elementos tienen la misma escala, libre de errores y deformaciones, con igual validez de un plano cartográfico. La adquisición de ortofotografía tradicional mediante fotografía aérea desde aviones tripulados tiene un costo muy elevado que solo es viable para ciertos municipios, instituciones y grandes proyectos con altos presupuestos.

Existen otras técnicas por las cuales se puede obtener fotografía aérea mediante globos, cometas, drones, zepelines, parapente, globos tripulados, etc., las cuales resultan mucho más económicas en relación a las tomadas por aviones tripulados, además existe software que nos permite procesar la fotografía tomada y convertirla en ortofotografía.

En este trabajo de tesis se investigó metodologías y técnicas existentes para adquisición de fotografía aérea de bajo costo, se implementó experimentalmente tres alternativas para la obtención de ortofotografía aérea usando globos de helio, cometas y drones, se determinó el software y los métodos adecuados para el tratamiento digital de las imágenes, se evaluaron los resultados obtenidos usando las tres alternativas y se demostró que es posible obtener ortofotos y modelos digitales de superficie MDS usando equipos de fotografía aérea de bajo costo.

Finalmente se pudo determinar las posibles aplicaciones y saber que las ventajas del uso de fotografía aérea de bajo costo en comparación a la obtenida con los métodos tradicionales (aviones tripulados, satélites) son mayores a las desventajas encontradas.

## **Palabras Clave:**

Ortofotografía, Ortofotos, MDS, drones, cometas, globos de helio.

## ABSTRACT

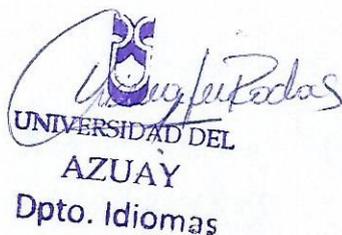
Orthophotography is a set of aerial photographs taken from an aircraft (plane, helicopter, hot air balloon, etc.) which present an area of the earth's surface in which all elements have the same scale, free from errors and distortions, and with equal validity of a cartographic plan. The acquisition of a traditional orthophoto through aerial photography from manned aircrafts has a very high cost, which is only affordable for certain municipalities, institutions and large projects with high budgets.

However, there are other techniques by which it is possible to get aerial photography using balloons, kites, drones, airships, gliders, manned balloons, etc., that are much cheaper in relation to those taken by manned aircraft. Additionally, there is software that allows processing photographs taken and then changing them into orthophotography.

The current methodologies and techniques for the acquisition of low-cost aerial photography were investigated in this research paper. Three alternatives for obtaining aerial orthophotography through helium balloons, kites and drones were experimentally implemented. The software and appropriate methods for the digital image processing were determined; the results obtained were evaluated using the three alternatives. Consequently, it was demonstrated that it is possible to obtain orthophotos and digital surface models MDS using low-cost aerial photography equipment.

Finally, the possible applications were determined. Furthermore, it was important to know that the advantages of using low-cost aerial photography compared to the traditional methods (manned aircraft, satellites) are greater than the disadvantages encountered.

**Keywords:** Orthophotography, orthophoto, MDS, drones, kites, helium balloons.



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Lourdes Crespo', is written over the printed text 'Translated by,'.

Lic. Lourdes Crespo



## **DEDICATORIA.**

Dedico este trabajo a mi amada esposa Gaby y mi hijo Andresito quienes fueron un gran apoyo emocional dándome el aliento para continuar durante el tiempo de estudio de la maestría y luego en la elaboración de este trabajo de tesis.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Primeramente agradezco a Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque con su ayuda hice realidad este sueño.

A mi familia por su constante apoyo emocional y por la paciencia brindada en especial a mi esposa Gaby y mi hijo Andresito.

A mi director de tesis, Dr. Daniel Orellana por compartir sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación lo que ha logrado que pueda terminar este trabajo con éxito.

A la Universidad del Azuay por darme la oportunidad de estudiar y obtener este título profesional.

A los profesores y compañeros que durante todo el tiempo de estudio de la maestría aportaron con un granito de arena a mi formación.



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN:</b> .....	ii
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA.</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTOS.</b> .....	iv
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	v
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	xi
<b>1. INTRODUCCIÓN:</b> .....	1
<b>2. PROBLEMÁTICA:</b> .....	2
<b>3. OBJETIVO GENERAL:</b> .....	3
<b>4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b> .....	3
<b>5. INTRODUCCION TEORICA.</b> .....	3
<b>5.1. FOTOGRAFIA AEREA.</b> .....	3
<b>5.2. FOTOGRAMETRIA.</b> .....	6
<b>5.3. FOTOGRAMETRIA DIGITAL</b> .....	6
<b>6. EQUIPOS Y SOFTWARE UTILIZADOS EN FOTOGRAFIA AEREA DE BAJO COSTO.</b> ..	13
<b>6.1. EQUIPOS AÉREOS QUE SE USAN PARA OBTENER FOTOGRAFÍA AÉREA.</b> .....	13
<b>6.2. SOFTWARE FOTOGRAMÉTRICO.</b> .....	14
<b>6.3. EQUIPO FOTOGRÁFICO CÁMARAS DIGITALES.</b> .....	18
<b>6.4. EQUIPOS DE CORRECCIÓN DIFERENCIAL Y GPS.</b> .....	20
<b>6.5. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA COMPUTACIONAL NECESARIOS PARA     PODER INSTALAR EL SOFTWARE PARA OBTENER LA ORTOFOTOGRAFIA Y MDS.</b> ..	20
<b>7. MATERIALES Y MÉTODOS USADOS EN LAS PRUEBAS REALIZADAS PARA LA GENERACION DE FOTOGRAFIA AEREA</b> .....	21
<b>7.1. DRONES (UAV).</b> .....	21
<b>7.1.1. MATERIALES USADOS EN LAS PRUEBAS CON DRONES.</b> .....	21
<b>7.1.2. METODOLOGÍA.</b> .....	23
<b>7.1.2.1.- Plan de vuelo</b> .....	23
<b>7.1.2.2.- Preparación de los equipos de vuelo.</b> .....	27
<b>7.1.2.3.- Apoyo topográfico.</b> .....	28

7.1.2.4.- Vuelo y toma fotográfica.....	29
7.1.2.5.- Procesado y cálculo.....	32
7.2 COMETAS.....	40
7.2.1 MATERIALES USADOS EN LAS PRUEBAS CON COMETAS.....	40
7.2.2 METODOLOGÍA.....	42
7.2.2.1.- Plan de vuelo.....	42
7.2.2.2.- Preparación de los equipos de vuelo.....	45
7.2.2.3.- Apoyo topográfico.....	48
7.2.2.4.- Vuelo y toma fotográfica.....	50
7.2.2.5.- Procesado y cálculo.....	52
7.3 GLOBOS CON HELIO.....	55
7.3.1 MATERIALES USADOS EN LA PRUEBA CON GLOBOS DE HELIO.....	56
7.3.2 METODOLOGÍA.....	57
7.3.2.1.- Plan de vuelo.....	57
7.3.2.2.- Preparación de los equipos de vuelo.....	59
7.3.2.3.- Apoyo topográfico.....	61
7.3.2.4.- Vuelo y toma fotográfica.....	62
7.3.2.5.- Procesado y cálculo.....	64
8. RESULTADOS.....	66
8.1 ORTOFOTOGRAFÍA U ORTOMOSAICO.....	66
8.2 MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (MDS).....	66
8.3 ORTOFOTOS Y MDS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS CON DRONES.....	67
8.4 ORTOFOTOS Y MDS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS CON COMETA.....	70
8.5 ORTOFOTOS Y MODELOS DIGITALES DE SUPERFICIES OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS CON GLOBOS.....	71
8.6 PRODUCTOS QUE SE OBTIENEN USANDO TÉCNICAS DE FOTOGRAFÍA AÉREA DE BAJO COSTO.....	72
8.7 ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS Y CALIDAD FOTOGRAMETRICA DE LAS ORTOFOTOS OBTENIDAS.....	72
8.7.1 Área cubierta y área utilizable.....	72
8.7.2 Resolución en tierra (GSD) y Georreferenciación.....	75
8.7.3 Valores de altitud del Modelo Digital de Superficie (MDS).....	79
8.7.4 Muestreo y tipos de muestreo para verificación.....	80



<b>8.8 ANALISIS COMPARATIVO ENTRE TECNICAS DE FOTOGRAFIA AEREA DE BAJO COSTO USANDO DRONES, COMETAS, GLOBOS DE HELIO. ....</b>	<b>91</b>
<b>8.9 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FOTOGRAFIA AEREA USANDO EQUIPOS DE BAJO COSTO (DRONES, COMETAS, GLOBOS DE HELIO) EN COMPARACION CON LAS TECNICAS TRADICIONALES. ....</b>	<b>92</b>
<b>8.10 APLICACIONES DE LA FOTOGRAFÍA AEREA USANDO EQUIPOS DE BAJO COSTO (DRONES, COMETAS, GLOBOS DE HELIO).....</b>	<b>93</b>
<b>9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>94</b>
<b>10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:.....</b>	<b>96</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1. Clasificación de la fotografía aérea en función de su campo angular.</b>	3
<b>FIGURA 2. Fotografía vertical.</b>	4
<b>FIGURA 3. Fotografía oblicua alta.</b>	4
<b>FIGURA 4. Fotografía oblicua baja.</b>	5
<b>FIGURA 5. Fotografía horizontal.</b>	5
<b>FIGURA 6. Ortofoto de la Ciudad de Cuenca realizada por el IGM (Instituto Geográfico Militar).</b>	7
<b>FIGURA 7. Imagen digital.</b>	7
<b>FIGURA 8. GSD. (Alberto López de la Sierra)</b>	9
<b>FIGURA 9. Levantamiento predial usando ortofotografía realizada por el IGM (Instituto Geográfico Militar).</b>	11
<b>FIGURA 10. Tipos de Aeronave usados en los UAV. (Barrientos y Rossi, 2009).</b>	12
<b>FIGURA 11. Aplicaciones más comunes de los UAV (Barrientos et al., 2009).</b>	13
<b>FIGURA 12. De izquierda a derecha GPS navegador Garmin, GPS diferencial Geoexplorer 2008, Equipo RTK Pro Mark 120.</b>	20
<b>FIGURA 13. De izquierda a derecha GPS Qstarz BT-Q1300S-45, GPS Qstarz bt-q1000xt, MINI GPS LEZYNE.</b>	20
<b>FIGURA 14. Ejemplo de una línea de vuelo.</b>	30
<b>FIGURA 15. Descarga de información GPS con el software GPSBABEL.</b>	34
<b>FIGURA 16. Imágenes descargadas sin georreferenciación.</b>	34
<b>FIGURA 17. Imágenes cargadas en la ruta GPS con el software JOSM.</b>	35
<b>FIGURA 18. Sincronización del tiempo de las imágenes con el tiempo del receptor GPS.</b>	35
<b>FIGURA 19. Cambio de información de cabecera o "exif" de cada imagen.</b>	35
<b>FIGURA 20. Propiedades de una imagen seleccionada.</b>	36
<b>FIGURA 21. Proceso de georreferenciación de las imágenes.</b>	36
<b>FIGURA 22. Propiedades de una imagen tomada con el drone Aeryon Scout, las imágenes obtenidas ya están georreferenciadas.</b>	36
<b>FIGURA 23. Ecuación de colinealidad.</b>	37
<b>FIGURA 24. Esquema del procesamiento de imágenes y puntos de control para obtener la ortofotografía y modelo digital de superficie.</b>	39
<b>FIGURA 25. Precauciones en las pruebas con cometas.</b>	43
<b>FIGURA 26. Cortar una botella.</b>	46
<b>FIGURA 27. Hacer unas alas con el resto de la botella.</b>	46
<b>FIGURA 28. Ajuste de bandas elásticas y cámara a la botella.</b>	46
<b>FIGURA 29. Ceja o sujetador para las bandas elásticas.</b>	46
<b>FIGURA 30. Capsula que contendrá la cámara.</b>	47
<b>FIGURA 31. Capsula con el GPS y la cámara.</b>	47

<b>FIGURA 32. Levantamiento usando GPS diferencial en el Terminal de Paute. ....</b>	<b>49</b>
<b>FIGURA 33. Proceso de Georreferenciación de las imágenes. ....</b>	<b>54</b>
<b>FIGURA 34. Esquema del procesamiento de imágenes y puntos de control para obtener la ortofotografía y modelo digital de superficie. ....</b>	<b>55</b>
<b>FIGURA 35. Precauciones en las pruebas con globos.....</b>	<b>58</b>
<b>FIGURA 36. Preparación de los globos de helio para la fotografía aérea. ....</b>	<b>60</b>
<b>FIGURA 37. Preparación de la capsula que contendrá la cámara y el GPS.....</b>	<b>61</b>
<b>FIGURA 38. Configuración cámara. ....</b>	<b>61</b>
<b>FIGURA 39. Configuración GPS.....</b>	<b>61</b>
<b>FIGURA 40. Sujetar con mosquetón. Enganchar la cámara y GPS debajo de los globos. ....</b>	<b>62</b>
<b>FIGURA 41. Elevar el globo rápidamente. ....</b>	<b>63</b>
<b>FIGURA 42. Vuelo y toma fotográfica. ....</b>	<b>63</b>
<b>FIGURA 43. Fotografías desde globos con helio, 877 fotografías tomadas de las cuales se escogieron 107 para procesar.....</b>	<b>63</b>
<b>FIGURA 44. Georreferenciación de las imágenes. ....</b>	<b>65</b>
<b>FIGURA 45. Esquema del procesamiento de imágenes y puntos de control para obtener la ortofotografía y modelo digital de superficie. ....</b>	<b>66</b>
<b>FIGURA 46. Ejemplo de ortofoto obtenida en las pruebas con drone. ....</b>	<b>73</b>
<b>FIGURA 47. Ejemplo de una ortofoto obtenida en las pruebas con cometas. ....</b>	<b>73</b>
<b>FIGURA 48. Ejemplo de una ortofoto obtenida en las pruebas con globos.....</b>	<b>73</b>
<b>FIGURA 49. Ortofoto prueba 1 con drone y ortofoto IGM. ....</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA 50. Ortofoto prueba 2 con drone vuelo con la primera batería y ortofoto IGM. ....</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA 51. Ortofoto prueba 2 con drone vuelo con la segunda batería y ortofoto IGM. ....</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA 52. Ortofoto prueba 3 con drone y la imagen Bing satélite. ....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 53. Ortofoto obtenida desde cometa en la prueba 3 y ortofoto IGM. ...</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 54. Ortofoto prueba 1 con globos de helio y ortofoto IGM.....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 55. Ejemplo del valor de GSD más bajo de la ortofoto obtenida en una prueba realizada con drone comparado con el GSD de la ortofoto del IGM. ..</b>	<b>77</b>
<b>FIGURA 56. Ortofotos obtenidas en la prueba usando cometas en el terminal de Paute con y sin puntos de control en tierra, superpuestas sobre la ortofoto del IGM. ....</b>	<b>79</b>
<b>FIGURA 57. MDS en el aire con respecto a la altura real de tierra. ....</b>	<b>79</b>
<b>FIGURA 58. Ejemplos de valores de altitud desde la altura de vuelo de los equipos y los tomados desde los puntos de control de tierra.....</b>	<b>80</b>
<b>FIGURA 59. Ejemplo de curvas de nivel obtenidas cada 5 centímetros del MDS obtenido en la prueba con drone.....</b>	<b>80</b>
<b>FIGURA 60. Histograma de la diferencia entre las longitudes tomadas en el terreno y la longitud tomada en la ortofoto obtenida usando drone.....</b>	<b>85</b>



<b>FIGURA 61. Gráfico de dispersión entre las longitudes tomadas en el terreno y la longitud tomada en la ortofoto obtenida usando drone.....</b>	<b>86</b>
<b>FIGURA 62. Histograma de la diferencia entre las longitudes tomadas en el terreno y la longitud tomada en la ortofoto obtenida usando cometa.....</b>	<b>87</b>
<b>FIGURA 63. Gráfico de dispersión entre las longitudes tomadas en el terreno y la longitud tomada en la ortofoto obtenida usando cometa. ....</b>	<b>88</b>
<b>FIGURA 64. Histograma de la diferencia entre las longitudes tomadas en el terreno y la longitud tomada en la ortofoto obtenida usando globos de helio. ....</b>	<b>89</b>
<b>FIGURA 65. Gráfico de dispersión entre las longitudes tomadas en el terreno y la longitud tomada en la ortofoto obtenida usando globos de helio. ....</b>	<b>90</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1. Correspondencia entre GSD y escala .....</b>	<b>9</b>
<b>TABLA 2. Ejemplos de equipos usados en la fotografía aérea tradicional. ....</b>	<b>10</b>
<b>TABLA 3. Algunos equipos utilizados en fotografía aérea de bajo costo. ....</b>	<b>14</b>
<b>TABLA 4. Ejemplos de software para procesamiento de fotografía aérea. ....</b>	<b>18</b>
<b>TABLA 5. Sensores adaptados en equipos no tripulados. (Camargo Santana, 2011). ....</b>	<b>19</b>
<b>TABLA 6. Cámaras multiespectrales. (Camargo Santana, 2011). ....</b>	<b>19</b>
<b>TABLA 7. Materiales usados en las pruebas con drones. ....</b>	<b>23</b>
<b>TABLA 8. Áreas de estudio y ubicación general. ....</b>	<b>24</b>
<b>TABLA 9. Correspondencia entre GSD y escala. ....</b>	<b>25</b>
<b>TABLA 10. Estimación del tamaño del GSD. ....</b>	<b>26</b>
<b>TABLA 11. Preparación de los equipos de vuelo. ....</b>	<b>28</b>
<b>TABLA 12. Distribución de los puntos de apoyo topográfico. ....</b>	<b>29</b>
<b>TABLA 13. Vuelo y toma fotográfica. ....</b>	<b>32</b>
<b>TABLA 14. Puntos de apoyo procesados tomados en campo. ....</b>	<b>33</b>
<b>TABLA 15. Materiales usados en las pruebas con cometas. ....</b>	<b>42</b>
<b>TABLA 16. Ubicación y extensión a representar. ....</b>	<b>45</b>
<b>TABLA 17. Preparación de los equipos de vuelo. ....</b>	<b>48</b>
<b>TABLA 18. Distribución de los puntos de apoyo topográfico. ....</b>	<b>50</b>
<b>TABLA 19. Vuelo y toma fotográfica. ....</b>	<b>52</b>
<b>TABLA 20. Puntos de apoyo procesados tomados en campo. ....</b>	<b>53</b>
<b>TABLA 21. Materiales usados en las pruebas con globos. ....</b>	<b>57</b>
<b>TABLA 22. Ubicación y extensión a representar. ....</b>	<b>59</b>
<b>TABLA 23. Distribución de los puntos de apoyo topográfico. ....</b>	<b>62</b>
<b>TABLA 24. Puntos de apoyo procesados tomados en campo. ....</b>	<b>64</b>
<b>TABLA 25. Ortofotos y MDS obtenidos en las pruebas con drones. ....</b>	<b>69</b>
<b>TABLA 26. Ortofotos y MDS obtenidos en las pruebas con cometas. ....</b>	<b>71</b>
<b>TABLA 27. Ortofotos y MDS obtenidos en las pruebas con globos de helio. ....</b>	<b>72</b>
<b>TABLA 28. Porcentaje de área utilizable en los productos obtenidos según el método de vuelo usado. ....</b>	<b>74</b>
<b>TABLA 29. Resolución en tierra GSD en las ortofotos obtenidas. ....</b>	<b>77</b>
<b>TABLA 30. Obtención de medidas de campo. ....</b>	<b>82</b>
<b>TABLA 31. Determinación de errores en las imágenes. ....</b>	<b>83</b>
<b>TABLA 32. Datos obtenidos en campo en el parque Miraflores y la ortofoto obtenida con drone cuyo GSD es de 3,36cm. ....</b>	<b>84</b>
<b>TABLA 33. Datos obtenidos en campo en el terminal de Paute y de la ortofoto obtenida con cometa. ....</b>	<b>86</b>
<b>TABLA 34. Datos obtenidos en campo en el parque Miraflores y de la ortofoto</b>	



obtenida usando globos con helio.....	88
<b>TABLA 35. Comparación entre los errores en las diferentes plataformas probadas.....</b>	<b>90</b>
<b>TABLA 36. Comparación entre técnicas de fotografía aérea de bajo costo aplicadas.....</b>	<b>92</b>
<b>TABLA 37. Aplicaciones de la fotografía aérea de bajo costo.....</b>	<b>93</b>

## 1. INTRODUCCIÓN:

La ortofotografía es un conjunto de fotografías aéreas tomadas desde una aeronave (avión, helicóptero, globo aéreo, etc.) que presentan una zona de la superficie terrestre en la que todos los elementos tienen la misma escala, libre de errores y deformaciones, con igual validez de un plano cartográfico. Las imágenes han sido corregidas digitalmente para representar una proyección ortogonal sin efectos de perspectiva, y en la que por lo tanto es posible realizar mediciones exactas. Combina las características de detalle de una fotografía aérea con las propiedades geométricas de un plano. (SIGTIERRAS, junio de 2015).

Además, la fotografía aérea es un elemento básico para generar modelos y productos para el conocimiento del territorio; constituye uno de los insumos fundamentales para iniciar el proceso de elaboración de cartografía topográfica, catastral, de riesgos, de ordenamiento territorial y de otros temas relacionados con la disposición de información básica para el análisis del entorno geográfico. (INEGI, junio de 2015)

Hasta hace poco la elaboración de ortofotografía era solamente realizada por grandes empresas o institutos debido a su costo elevado, en nuestro país el IGM Instituto Geográfico Militar es el organismo encargado de realizar la fotografía aérea para obtener la ortofotografía nacional, las imágenes abarcan gran territorio debido a la altura a la que viaja la aeronave y permite fotografíar un área de varios kilómetros. Estas imágenes son tratadas con diferentes procedimientos y presentan gran precisión geométrica y geográfica.

Existen otras técnicas por las cuales se puede obtener fotografía aérea mediante globos de helio, cometas, drones, zepelines, parapentes, globos tripulados, etc., las cuales resultan mucho más económicas en relación a las tomadas por aviones tripulados, además existe software que nos permite procesar la fotografía tomada y convertirla en ortofotografía. Sin embargo, la precisión de estas técnicas es mucho más baja y no deberían ser utilizadas como fuentes oficiales.

Algunas de estas técnicas han sido probadas en varios estudios como: fotografía de alta resolución para la ciencias de la tierra, fotografía aérea de alta resolución y baja altitud para obtener cambios temporales en la dinámica de las superficies y entornos, fotografía aérea de baja altitud para administrar recursos naturales, fotografía aérea de bajo costo para generar DEM de alta resolución, etc. Entre las ventajas obtenidas son la alta precisión la topografía fotogramétrica es alcanzable, alto potencial para producir una densidad de puntos significativamente mayor pero con el riesgo de introducir errores en bruto, aumenta la resolución de la foto asequible, mejorar la flexibilidad y la especificidad del sitio, alta resolución fotográfica significa que el mapeo de los patrones espaciales y temporales en el entorno son posibles en detalles muy finos, fácil de usar, económica y oportuna en la producción de fotografías aéreas de zonas pequeñas, sirve de registro permanente se puede utilizar para comparar a posterior para observar el cambio, las imágenes se pueden documentar, informar, y pueden ser compartidas con otros para ayudarles a entender mejor los recursos y las



prácticas de gestión utilizadas en ellos de una manera muy económica. (Aber2002, Baker2004, Bitelli2002, Henry2002, Niethammer2012, Quilter2000, Smith2009).

Este trabajo de tesis consiste en investigar metodologías y técnicas existentes para adquisición de fotografías aéreas de bajo costo y probar experimentalmente 3 métodos diferentes: globos de helio, cometas y drones. Además se determinará el software adecuado para el tratamiento digital de las imágenes y la producción de ortofotografía, se evaluará los resultados y determinará las ventajas y desventajas del uso de este tipo de ortofotografía y sus posibles aplicaciones.

La principal limitación de estas técnicas de bajo costo, además de su limitada precisión, es que el área fotografiada abarca unos cuantos metros que en relación es mucho menor a la técnica tradicional que cubre varios kilómetros cuadrados.

## **2. PROBLEMÁTICA:**

En la actualidad obtener ortofotografía aérea de la forma tradicional requiere una gran inversión que no está al alcance para cualquier usuario debido a los altos costos para obtenerlas entre los cuales constan costos de operación de la aeronave tripulada, costos de combustible y piloto, costos de implementación de equipos cámaras, GPS, etc, costos de procesamiento de las imágenes, permisos de vuelo, todo esto termina elevando los costos de producción de la ortofotografía.

En nuestro país el IGM Instituto Geográfico Militar es el organismo encargado de realizar la fotografía aérea para obtener la ortofotografía nacional. Estas imágenes son tratadas con diferentes procedimientos y presentan gran precisión geométrica y geográfica.

Solo las entidades públicas bajo solicitud de la máxima autoridad tienen acceso sin costo al uso de ciertas ortofotografías las cuales están desactualizadas ya que fueron tomadas varios años atrás, para el uso de usuarios privados tienen un costo que depende del área, este costo es elevado debido a todos los gastos que implica el uso de esta metodología.

Las ortofotografías más actualizadas no están al alcance de los usuarios y son de uso exclusivo del Instituto Geográfico Militar.

Otra forma de obtener ortofotografía aérea es usando técnicas de bajo costo como drones, cometas y globos.

El uso de estas técnicas de fotografía aérea de bajo costo no reemplaza el uso de equipos de precisión en campo, se apoyan en estos para obtener buenos resultados.

La precisión y aplicabilidad de estas técnicas de bajo costo dependerá de los equipos usados en las pruebas.

La principal limitación de estas técnicas de bajo costo es que el área fotografiada abarca unos cuantos metros que en relación es mucho menor a la obtenida con la

ortofotografía tradicional que cubre varios kilómetros cuadrados.

### 3. OBJETIVO GENERAL:

- Evaluar tres alternativas para la obtención de ortofotografía aérea de bajo costo y comparar sus ventajas y desventajas.

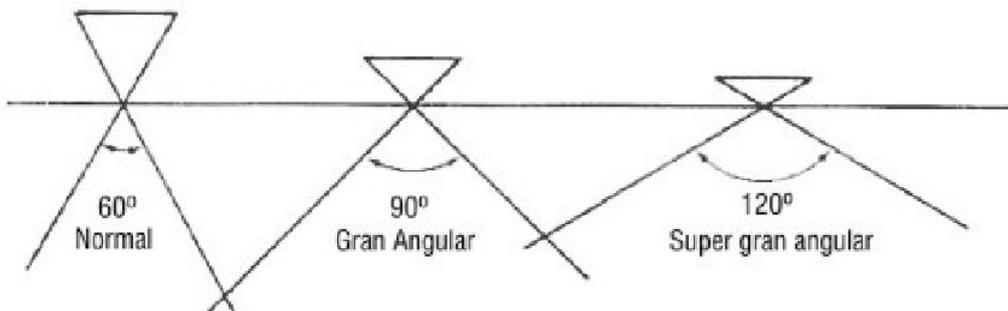
### 4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Investigar las metodologías y técnicas existentes para adquisición de fotografías aéreas de bajo costo.
- Implementar experimentalmente tres diferentes métodos usando globos, cometas y aeronaves no tripuladas (drones).
- Determinar el software y los métodos adecuados para el tratamiento digital de las imágenes y la producción de ortofotografía.
- Evaluar los resultados y determinar las ventajas y desventajas del uso de este tipo de ortofotografía y sus posibles usos en comparación con la ortofotografía tradicional, o imágenes satélites.

### 5. INTRODUCCION TEORICA.

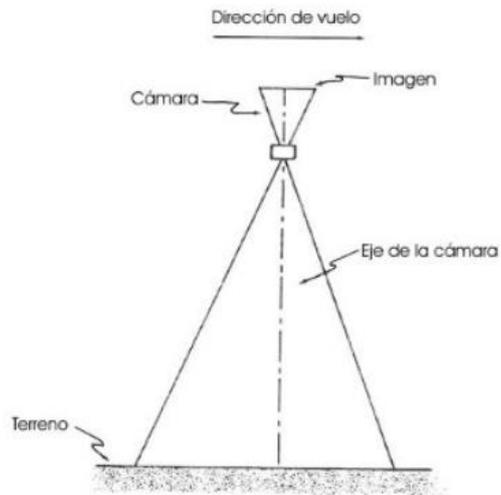
#### 5.1. FOTOGRAFIA AEREA.

Las fotografías aéreas son imágenes de la superficie terrestre captadas desde vehículos voladores, a través de cámaras especiales. Las fotografías aéreas pueden clasificarse de distintas maneras, una de ellas es en función del campo angular del objetivo con que se toman las fotografías. Así, tenemos: normales, gran angulares y súper gran angulares cuyos valores son aproximadamente de 60, 90 y 120° respectivamente. (Sifuentes y Vásquez: 1997).



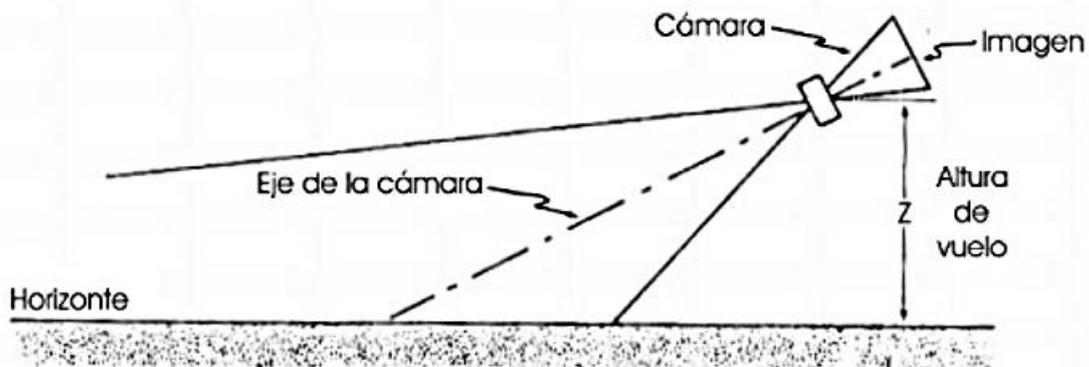
**FIGURA 1. Clasificación de la fotografía aérea en función de su campo angular.**

También pueden clasificarse en función de la inclinación del eje óptico de la cámara con respecto a la vertical. Tendríamos en este caso: verticales, inclinadas y horizontales. Se dice que una fotografía es "vertical" cuando la inclinación con respecto a la dirección de la gravedad es menor de  $3^\circ$ . (Sifuentes y Vásquez: 1997).

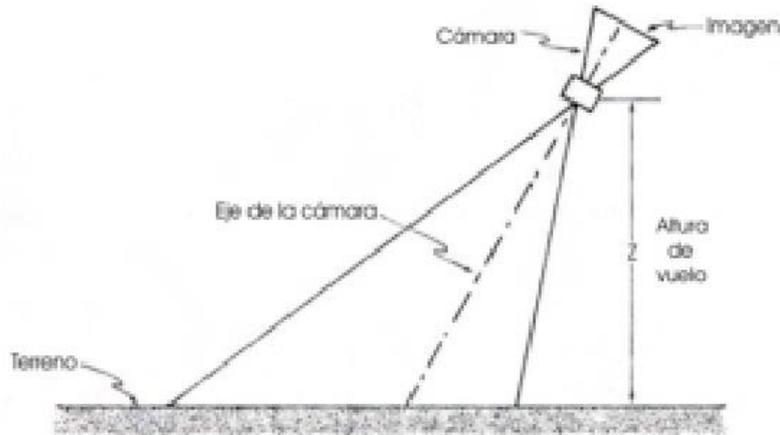


**FIGURA 2. Fotografía vertical.**

Una fotografía inclinada es aquella en la cual el óptico de la cámara es mayor de  $3^\circ$  con respecto a la dirección de la gravedad y se subdivide a su vez en la oblicua alta cuando la fotografía alcanza a registrar el horizonte, y oblicua baja, cuando no alcanza a registrar el horizonte. (Sifuentes y Vásquez: 1997).

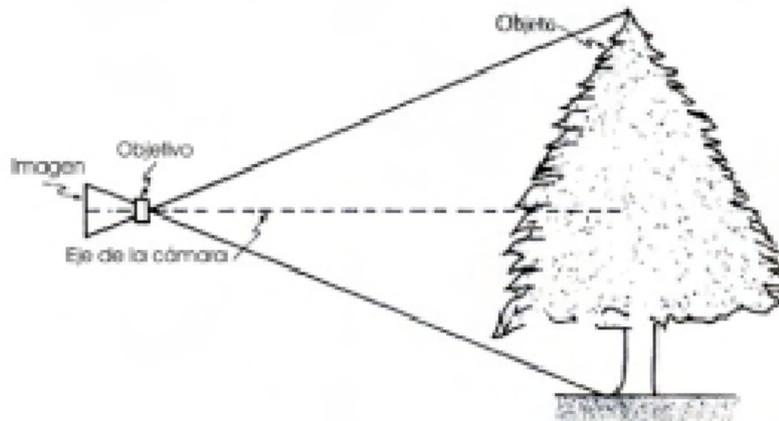


**FIGURA 3. Fotografía oblicua alta.**



**FIGURA 4. Fotografía oblicua baja.**

En el caso de las horizontales el eje óptico de la cámara es paralelo a la superficie de la tierra. (Sifuentes y Vásquez: 1997).



**FIGURA 5. Fotografía horizontal.**

La fotografía aérea vertical constituye una fuente de información valiosísima y casi inagotable. Hay una primera etapa, en la que el observador se limita a reconocer objetos que le son familiares (casas, árboles, puentes, parcelas, caminos, etc.), de la que ya se puede obtener provecho en la revisión de mapas, o en su actualización. Esta fase, en la que el trabajo realizado es solo de comprobación y contraste entre realidades manifestadas en la foto y su existencia en el mapa o en el terreno, puede llamarse de foto identificación o foto lectura, y es ya una aportación notable, pero es sólo el principio de una serie de utilidades de mucho mayor alcance.

La otra gran utilización de la fotografía aérea es la fotogrametría, en donde se trata de realizar una serie sistemática de mediciones que conduzcan a la formación de mapas.

En nuestros días la Fotogrametría es el método topográfico habitual, que si bien no

elimina por completo los trabajos de campo, los reduce en volumen y tiempo, además de mejorar su calidad, hasta extremos que fueron inimaginables en el pasado. Ciencias como la Geomorfología deben su desarrollo actual a la posibilidad de disponer de mapas cuya representación del relieve no es ya convencional, sino real y exacta. (Sifuentes y Vásquez: 1997).

## **5.2. FOTOGRAMETRIA.**

Una herramienta básica para elaborar la cartografía es la fotogrametría. Esta permite medir sobre fotografías con las que se puede determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales a partir de imágenes fotográficas. Si se trabaja con una foto se pueden obtener información en primera instancia de la geometría del objeto, es decir, información bidimensional. Si se trabaja con dos fotos, en la zona común a estas (zona de solape) se podrá tener visión estereoscópica o dicho de otro modo, información tridimensional. Básicamente, es una técnica de medición de coordenadas 3D, que utiliza fotografías u otros sistemas de percepción remota junto con puntos de referencia topográficos sobre el terreno, como medio fundamental para la medición.

El principio en el que se basa la fotogrametría consiste en proyectar en forma ortogonal sobre un plano de referencia, la imagen registrada en una fotografía, que ha sido proyectada sobre el negativo mediante la proyección central, usada por las lentes (Jauregui, 2010).

En fotogrametría se asume que la proyección central es perfecta, lo cual implica que:

- No existe desviación de los rayos de luz que atraviesan los lentes de la cámara.
- La imagen se proyecta sobre una superficie perfectamente plana.
- La relación matemática entre el objeto y su imagen se conoce con el nombre de principio de colinealidad.

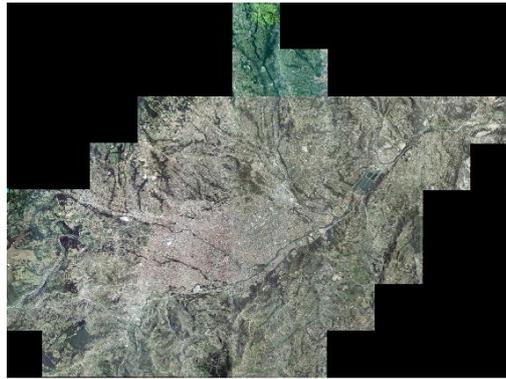
## **5.3. FOTOGRAMETRIA DIGITAL**

La característica fundamental de la fotogrametría digital es la utilización de imágenes en formato digital. La aparición de satélites portadores de sensores de alta resolución, así como el desarrollo de medios aerotransportados para estudios civiles, ha despertado la expectativa de emplear sus imágenes en la reconstrucción de las dinámicas de crecimiento y de transformación interna de las áreas urbanas y rurales. Además, el interés en obtener una representación del terreno cartográfico impulsó el desarrollo de técnicas de fotointerpretación, y teledetección (Camargo, 2011).

Una imagen obtenida a partir de fotografía aérea, a la cual le han sido removidas las principales causas de distorsión geométrica, mediante un procedimiento denominado "ortofoto convencional"; es un proceso que entrega un producto métrico a escala homogénea en toda su extensión, lo que permite percibir los objetos directamente. Los sistemas aerotransportados usualmente pueden utilizarse como una herramienta de trabajo, útil en estudios topográficos, geomorfológicos o morfológicos, botánicos, edafológicos arqueológicos, catastrales, entre otros (Camargo, 2011). Las fotografías

aéreas útiles para cartografía, son verticales (eje de la cámara dirigido directamente hacia el centro de la tierra), y se toman en exposiciones sucesivas a lo largo de una línea de vuelo sobre la zona, con una superposición de un 60%.

Con la fotogrametría digital se produce un cambio en el soporte de la información, ahora está totalmente preparado para el tratamiento informático desde el principio del proceso fotogramétrico. Esto traerá gran número de ventajas, que van relacionadas principalmente con la automatización de las tareas fotogramétricas, disminución del coste de los equipos, no tienen problemas de estabilidad dimensional, no se deterioran, pero también trae aparejadas desventajas como la pérdida de precisión y peor calidad de definición de los elementos que aparecen en los fotogramas. Desventajas que van disminuyéndose progresivamente conforme aumenta la capacidad de los sistemas informáticos junto a una mayor resolución de las imágenes. (Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital, José Luis Lerma García. UPV Valencia Año 2002).

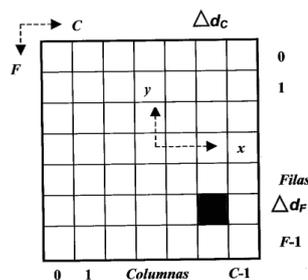


**FIGURA 6. Ortorecto de la Ciudad de Cuenca realizada por el IGM (Instituto Geográfico Militar).**

#### 5.4. IMAGEN DIGITAL.-: PIXEL.

Una imagen digital es una matriz bidimensional de niveles de grises, con elementos de información mínima, que varía en función de la posición (Fila y columna) que adoptan dentro de la matriz. Cada elemento matriz se llama píxel y tiene un tamaño finito de muestreo  $\Delta dF \times \Delta dC$  (normalmente  $\Delta dF = \Delta dC$ ). Por tanto, en una imagen digital se habla de elementos de imagen o píxeles en vez de puntos de imagen. El rango de la matriz oscila entre:

Filas:  $F = 0, 1, 2...F-1$   
Columnas:  $C = 0, 1, 2...C-1$



**FIGURA 7. Imagen digital.**



Las imágenes digitales se forman a partir de un proceso de muestreo o digitalización. En dicho proceso, una pequeña área sensorial (de tamaño mínimo) es capaz de registrar, de modo directo, la información electromagnética correspondiente a un área del terreno. Se trata de adquisición directa por medio de cámaras electrónicas o digitales.

(Apuntes de Fotogrametría III, Juan A. Pérez Álvarez Universidad de Extremadura EUIT Topográfica Mérida. Año 2000).

## 5.5. RESOLUCIÓN.

Una imagen digital presenta distintos tipos de resolución según el parámetro de medida: resolución geométrica, resolución radiométrica y resolución espectral.

**La resolución geométrica** hace referencia al tamaño de la matriz bidimensional (filas x columnas) de la imagen digital. A mayor número de píxeles en la dirección horizontal/vertical, mayor resolución geométrica, mayor definición de imagen y mayor tamaño de almacenamiento.

La precisión geométrica hace referencia a la precisión con la que se posiciona un píxel en la fase de digitalización. Por tanto, la precisión geométrica es función de la precisión del digitalizador. Por precisión geométrica también entendemos la precisión con la que se mide el centroide de un píxel. Esta última acepción oscila considerablemente en función del método de medición (manual o automático) y de correspondencia. Por otro lado hay que resaltar que un píxel no se localiza por sí mismo, de forma individual, sino que se requiere una matriz de píxeles de rango variable según el proceso de fotointerpretación o correspondencia.

**La resolución radiométrica** especifica el número de niveles de gris (o de oscuridad) que se utilizan por banda y viene definida en función del número de dígitos binarios (bits). Así pues, si se dispone de una imagen monocromática con 8 bits la información contenida presenta 256 ( $2^8$ ) niveles de gris, yendo del color negro (valor radiométrico 0) al color blanco (valor radiométrico 255). La información radiométrica contenida en una imagen color (tres bandas espectrales: rojo, verde, azul) o multiespectral (o más de tres bandas espectrales) es múltiplo del número de bandas.

**La resolución espectral** indica el rango de longitudes de onda del espectro electromagnético registrado en la imagen digital. Cuanto mayor es el número de bandas espectrales, mayor precisión se obtiene en la creación de patrones de respuesta espectral, y más fáciles y seguras serán las tareas de reconocimiento geométrico (y sintáctico) de las formas.

(Apuntes de Fotogrametría III, Juan A. Pérez Álvarez Universidad de Extremadura EUIT Topográfica Mérida. Año 2000).

## 5.6. GSD.

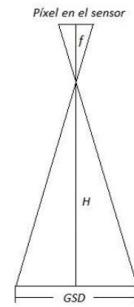
Del Inglés *Ground Sample Distance*, o distancia de muestreo en el terreno. En una foto digital del terreno hecha desde el aire, se trata de la distancia medida entre centros de los píxeles en el terreno.

Dicho de otra forma, si se considera una imagen con un GSD de un metro, un píxel de la imagen se corresponde con una superficie de 1 m<sup>2</sup> (1x1m) en el terreno.

En fotogrametría también se habla del GSD como el campo de vista instantáneo proyectado sobre el terreno (GIFOV\_Ground Instant Field Of View).

Esta magnitud está directamente relacionada con la altura de vuelo y la focal de la cámara por medio de la expresión.

$$GSD = \frac{H \times \text{tamaño píxel}(\text{sensor})}{focal}$$



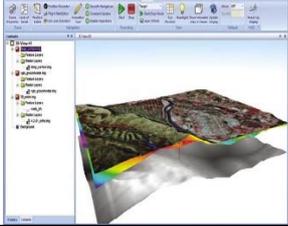
**FIGURA 8. GSD. (Alberto López de la Sierra)**

Tamaño del píxel (cm)	Escala de restitución
50	1/10000
25	1/5000
10	1/1000
7	1/500

**TABLA 1. Correspondencia entre GSD y escala**

## 5.7. FOTOGRAFIA AEREA TRADICIONAL.

La fotografía aérea tradicional se realiza desde aviones tripulados a gran altura, además se usan cámaras especiales, la fotografía obtenida es ortorectificada usando software de costos muy elevados, se toman puntos de control en campo usando equipos GNSS de alta precisión, todo esto implica que la ortofotografía resultante tenga un costo de adquisición muy alto que no está al alcance de cualquier usuario.

	
<p><b>Avión usado para fotografía aérea y levantamientos LIDAR.</b></p>	<p><b>Sistema de sensores digitales para imágenes cartográficas.</b></p>
	
<p><b>ERDAS IMAGINE software completo para el tratamiento avanzado de imágenes orto rectificadas.</b></p>	<p><b>Equipo ProMark 120 con tecnología RTK.</b></p>

**TABLA 2. Ejemplos de equipos usados en la fotografía aérea tradicional.**

## 5.8. FASES DE LA PRODUCCIÓN CARTOGRÁFICA.

Para la generación de un plano a partir de un vuelo fotogramétrico, deben seguirse los siguientes pasos:

- **Realización del vuelo Fotogramétrico.**

En primer lugar hay que diseñar el vuelo fotogramétrico para que cumpla con las especificaciones necesarias para el trabajo a realizar. Habrá que definir las direcciones por donde debe volar el avión, la altura a la que debe volar, la cámara fotográfica que debe utilizar, el tiempo que debe transcurrir entre un disparo y otro, el tipo de película, en qué condiciones meteorológicas, etc.

- **Apoyo de campo.**

Una vez verificado que el vuelo se ha realizado siguiendo las instrucciones dadas, se pasa a la fase de apoyo de campo que, en líneas generales, va a consistir en dar coordenadas X,Y,Z a una serie de puntos identificables en la fotografía, utilizando métodos topográficos, para a partir de ellos poder dar coordenadas (mediante fotogrametría) al resto de los puntos del fotograma.

- **Restitución fotogramétrica.**

A continuación se inicia el proceso fotogramétrico. En primer lugar se realizan una serie de operaciones encaminadas a conseguir obtener la visión estereoscópica del terreno reflejado en las fotografías.

- **Corrección de campo.**

Posteriormente a dar coordenadas (a través de los puntos de apoyo) a cada punto de la misma. Esos procesos se denominan orientación interna, orientación relativa y orientación absoluta.

- **Edición cartográfica.**

Posteriormente se inicia el proceso de restitución propiamente dicha que consistirá en extraer la información contenida en las fotografías y se irá generando el mapa topográfico.

- **Generación de ficheros y dibujos.**

Como producto final se obtendrá un fichero informático con las coordenadas y la codificación de todos los elementos extraídos. El plano generado adolecerá de ciertos errores debido principalmente a dos causas distintas. En primer lugar al tipo de proyección de la fotografía. Como veremos, la foto es una proyección cónica del terreno, lo que provoca que en algunos casos ciertos elementos no sean visibles en la foto al ser ocultados por otros elementos (por ejemplo una acera oculta tras una manzana de casas, fachadas ocultas por los aleros, etc), o por las sombras arrojadas por los elementos. En segundo lugar debido a los errores y/o equivocaciones del operador, que puede introducir tanto en la métrica como en la fotointerpretación de los elementos. En cualquier caso, para que se puedan corregir en el plano definitivo estos errores, es necesario una verificación en campo del plano generado en la restitución.



**FIGURA 9. Levantamiento predial usando ortofotografía realizada por el IGM (Instituto Geográfico Militar).**

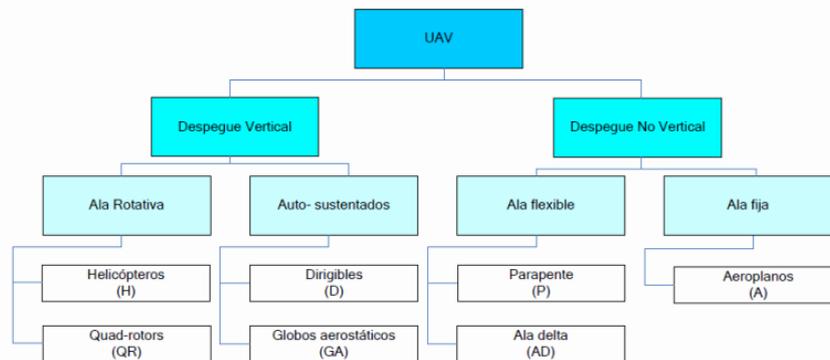
Para conseguir la visión estereoscópica en todo el territorio volado, es necesario que el recubrimiento lateral sea mayor del 50 %, para que en cada foto aparezcan los puntos centrales de las dos contiguas. Son frecuentes los recubrimientos del 60 %. También las pasadas deben solaparse, en este caso no por razones estereoscópicas,

sino como garantía de que ninguna zona del territorio quede sin retratar; este recubrimiento transversal puede ser mucho menor, bastando un solape del 20 %.

## 5.9. LOS VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAV)

El término UAV hace referencia a una serie de vehículos aéreos conocidos por diferentes nombres: Uninhabited Aerial Vehicle, Unmanned Aerial Vehicle, Unmanned Aircraft System (UAS), Remotely Operated Aircraft (ROA), and Remotely Piloted Vehicle (RPV); de acuerdo al Departamento de Defensa de los Estados Unidos (2004) la definición consistente para este término es: Un vehículo aéreo motorizado que no lleva un operador humano, utiliza fuerzas aerodinámicas para proporcionar la elevación del vehículo, puede volar de forma autónoma o ser dirigido por control remoto, puede ser prescindible o recuperable, y puede transportar una carga útil letal o no letal. (Cox et al., 2004, p.3).

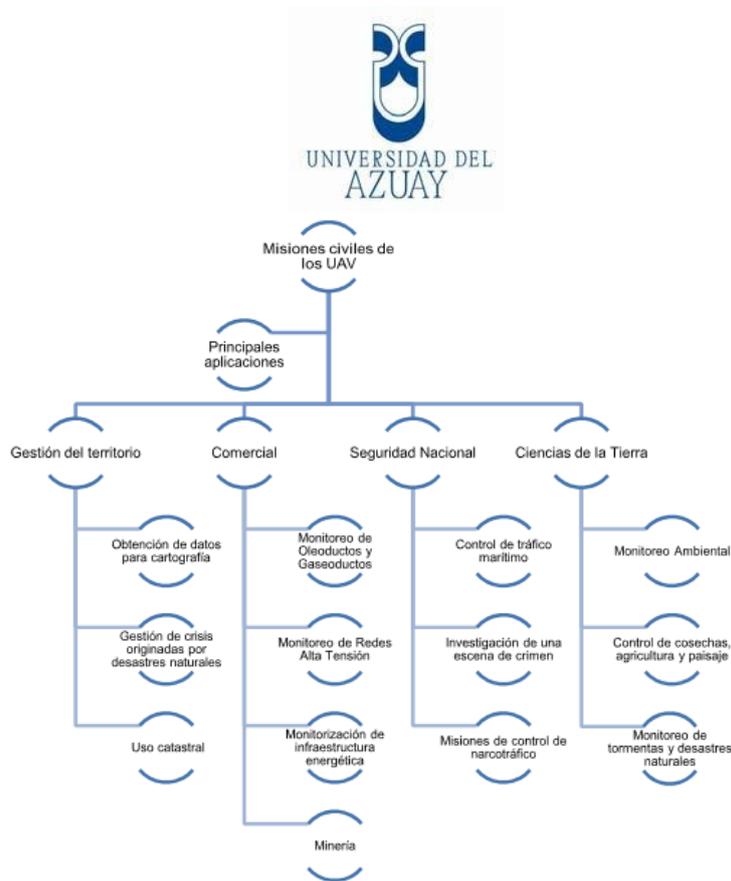
La extensión del concepto de vehículo a sistema, refleja que el UAVS precisa, no solo de la aeronave adecuadamente instrumentada, sino también de una estación en tierra, que complementa la instrumentación y capacidades embarcadas" (Barrientos y Rossi, 2009, p.2). Es necesario aclarar que existen instrumentos que cumplen con la definición de un sistema no tripulado, pero que no se consideran como uno; es así que por ejemplo los globos aerostáticos concuerdan con la definición presentada, pero dada su no controlabilidad, no se consideran como UAVs; al igual que los misiles autopilotados.



**FIGURA 10. Tipos de Aeronave usados en los UAV. (Barrientos y Rossi, 2009).**

Los UAV permiten el desarrollo autónomo o semiautónomo de diferentes tipos de misiones reales, ya sean militares o civiles, lo que ha incentivado la promoción de estos en diferentes medios a la opinión pública general, la misma que comienza a conocer su existencia, motivo por el que se ha incrementado el interés en su estudio en centros investigativos y particulares, medios en los que se comienza a entender su importancia y utilidad.

Entre las principales aplicaciones que se conocen en estos momentos son las descritas a continuación.



**FIGURA 11. Aplicaciones más comunes de los UAV (Barrientos et al., 2009).**

## 6. EQUIPOS Y SOFTWARE UTILIZADOS EN FOTOGRAFIA AEREA DE BAJO COSTO.

En determinados proyectos, los elevados costes que supone el despegue de un avión para la realización de la toma fotográfica hacen descartar esta técnica.

En esos casos los sistemas clásicos en fotografía aérea dejan paso a equipos y software mucho más económicos para obtener ortofotografía.

### 6.1. EQUIPOS AÉREOS QUE SE USAN PARA OBTENER FOTOGRAFÍA AÉREA.

	
<p><b>Aviones de aeromodelismo</b></p>	<p><b>Mini helicópteros</b></p>
	
<p><b>Drones de ala móvil</b></p>	<p><b>Drones de ala Fija</b></p>

	
<b>Cometas</b>	<b>Alas delta</b>
	
<b>Globos aerostáticos tripulados</b>	<b>Globos con helio</b>
	
<b>Parapente</b>	<b>Zeppelines</b>

**TABLA 3. Algunos equipos utilizados en fotografía aérea de bajo costo.**

## 6.2. SOFTWARE FOTOGRAMÉTRICO.

El software fotogramétrico es un paquete especializado en el procesamiento de imágenes, en el caso de los UAVs, la mayor parte cuentan con paquetes de programas que permiten realizar las orientaciones de la imagen prácticamente de forma automática. Estos programas se pueden utilizar además para procesar las fotografías tomadas usando otro tipo de vehículo aéreo como cometas, globos, etc.

Existen diferentes programas a continuación se describen algunos de estos:

<b>AGISOFT PHOTOSCAN</b>		
Software que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D. (AGISOFT, 2015).		
<b>Tipos de licencia, características y precios:</b>		
<b>Característica</b>	<b>Professional Edition</b>	<b>Standard Edition</b>
Triangulación fotogramétrica.	<b>X</b>	<b>X</b>
Generación y edición de nube de puntos.	<b>X</b>	<b>X</b>
Modelo 3D: Generación y	<b>X</b>	<b>X</b>

texturización.		
Composición panorámica esférica.	X	X
Fisheye y soporte de la cámara esférica.	X	
Nube densa de puntos: Clasificación.	X	
DEM: georreferenciación DSM/exportación a DTM.	X	
Georreferenciación y exportación a ortomosaico.	X	
Medidas: distancias, áreas y volúmenes.	X	
Puntos de control de tierra.	X	
Objetivos no codificado Detección automática codificada.	X	
Procesamiento de imágenes multiespectrales.	X	
Modelado 4D para escenas dinámicas.	X	
Scripting Python.	X	
Procesamiento en red.	X	
<b>LICENCIA DE STAND-ALONE</b>	<b>\$ 3.499 USD</b>	<b>\$ 179 USD</b>
<b>LICENCIA PARA LA EDUCACIÓN</b>	<b>\$ 549 USD</b>	<b>\$ 59 USD</b>

### PIX4DMAPPER

Software que procesa automáticamente las imágenes terrestres y aéreas adquiridas por UAV ligero o aeronaves que utilizan su tecnología innovadora basada puramente en contenido de la imagen. Convierte las imágenes en resultados altamente precisos, adaptables y oportunos para una amplia gama de aplicaciones GIS y CAD. (PIX4D, 2015).

#### Características:

- Mide y extrae volúmenes de acopio para la industria minera.
- Crea NDVIs de los sensores multiespectrales para el sector de la agricultura de precisión.
- Genera curvas de nivel y gestionar los cambios ambientales de los recursos naturales.
- Produce mapas y modelos precisos y oportunos para la construcción, el patrimonio cultural o sitios arqueológicos.

#### Tipos de licencia y precios:

PIX4D DISCOVERY MAPPER	PIX4D PRO MAPPER		
Descubrimiento	<b>Licencia por 1 mes</b>	<b>Licencia por 1 año</b>	<b>Licencia permanente</b>
<b>Licencia gratis</b>	<b>\$ 350 USD</b>	<b>\$ 3.500 USD</b>	<b>\$ 8.700</b>
Tecnología de procesamiento de	Licencia durante 30 días	Licencia por 365 días consecutivos.	Licencia permanente

imagen. Procesar y evaluar sus proyectos con resultados de salida limitados.	consecutivos libremente renovable.		incluye soporte técnico gratuito y actualización para el primer año.
Resultados de salida limitados. Apoyo Personal no incluido.	Soporte y actualización incluidos para una sola vez.	Soporte y actualización incluidos para 1 sola vez.	Soporte y actualización incluidos para 1 año desde el 2do año cuesta \$ 870 USD por año.
	Licencia para 2 computadoras.	Licencia para 2 computadoras.	Licencia para 2 computadoras.

**Licencia para educación individual: \$ 1.990 USD.**

**Licencia aula educativa para 25 dispositivos: \$ 6.700 USD.**

### PHOTODELER SCANNER

Crea modelos 3D precisos de alta calidad y mediciones de fotografías. El proceso se llama foto-basado 3d escaneo. Ofrece resultados similares a un escáner láser 3D. Este proceso de digitalización 3D produce una nube de puntos densa (Modelado de Superficies denso, DSM) de fotografías de superficies texturadas de prácticamente cualquier tamaño. (Photodeler, 2015).

Funciones:

- Modelado de Superficies Densa (DSM), digitalización 3D y SmartMatch.
- Obtener mediciones de sus fotos.
- Modelos superficie densa.
- Modelado de objetos - objetos del modelo Pequeñas o grandes escenas.

#### Licencias y precios

**Licencia individual 1 computador:** incluye software, licencia, mantenimiento y actualizaciones para 1 año, **precio \$ 2.495 USD.**

**Actualización PHOTODELER TRADE UP:** actualización de cualquier licencia PHOTODELER al nuevo PHOTODELER SCANNER, **precio \$ 1.495 USD.**

**Actualización PHOTODELER SCANNER:** Actualización desde la versión Photodeler Scanner v6 hasta la última versión Photodeler Scanner, **precio \$ 795 USD.**

### ERDAS LPS

Es uno de los paquetes de herramientas de producción fotogramétrica ofrecidos por la compañía Intergraph, contiene herramientas para la triangulación, generación de modelos de terreno, orthomosaicos y extracción de características 3D. Además, proporciona información exacta de una amplia gama de aplicaciones de imágenes geoespaciales, usando como claves de productividad algoritmos automatizados, rápido procesamiento, y guía de los proyectos de principio a fin. (LPS, 2015).

Funciones:

- Preparación y manejo de proyectos.
- Importar y exportar datos.
- Sistemas de coordenadas.
- Definiciones de cámara.

- Marcado de "tie points".
- Triangulación.
- Elaboración de mosaicos.

### Licencias y precios

**Licencia individual 1 computador:** LPS 9.3 incluye software, licencia, mantenimiento y actualizaciones para 1 año, **precio \$ 10.995 USD.**

### IMAGE MASTER.

Integra perfectamente las imágenes digitales en 3D con datos medidos en equipos topográficos, ya sean estos de imagen, láser scanner, o cámara digital. El software combina una interface de usuario clara y avanzados modelos matemáticos de procesamiento de datos se producen modelos 3D precisos, con una mínima preparación y conocimiento especializado, respaldado por expertos. (Topcon, 2010).

Funciones:

- Combinación y georreferenciación de modelos.
- Paquete de ajuste rápido y sencillo.
- Visualizador Image Master.
- Creación de secciones.
- Creación de contornos.
- Cálculos de área y volumen.
- Medidas de distancia.
- Generación de modelos TIN.
- Renderización de modelos 3D.
- Soporte de orto-imagen y variedad de exportaciones como por ejemplo: DXF, ASCII, VRML.

**Licencia individual 1 computador:** incluye software, licencia, mantenimiento y actualizaciones para 1 año, **precio \$ 9.086 USD.**

### PCI GEOMATICS PROFESSIONAL

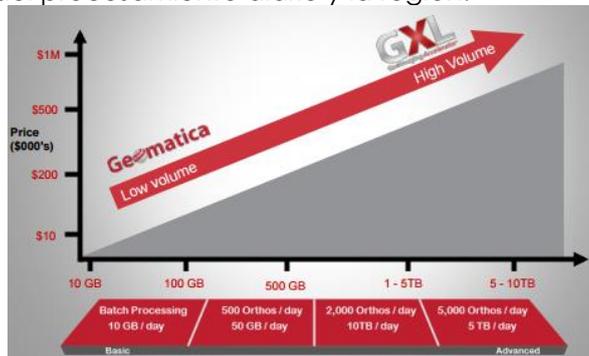
Software de procesamiento de imágenes geoespaciales utilizado por profesionales, investigadores y estudiantes de todo el mundo para el análisis de imágenes rápida y precisa y la producción. Ofrece herramientas de visualización, soporte para los últimos sensores satelitales y aéreas, y más de 550 algoritmos para manipular y extraer información de las imágenes y datos geoespaciales relacionados.

Funciones:

- Orto / mosaico través OrthoEngine, y la capacidad de automatización con API Python de código abierto, y Easi Modeler.
- La producción de mapas de Cartografía.
- 3D generación.
- Herramientas de análisis espacial.
- Herramientas de análisis Radar.
- Orto Satélite.
- Fotografía aérea Ortofotografía.
- Corrección Atmosférica.
- Extracción automática de marcos alemanes.

**Versiones:** PCI GEOMATICS 2014, PCI GEOMATICS 2013, PCI GEOMATICS 2012.

**Precios:** dependen del procesamiento diario y la región.



### UASMaster

UASMaster es una herramienta para procesar completamente los datos adquiridos con sistemas aéreos no tripulados (UAS), este software incluye una tecnología avanzada, creada para brindar resultados de alta calidad, de los datos adquiridos con equipos UAV (INPHO, 2014).

Funciones:

- Creación de imágenes y nubes de puntos densificadas
- Calibración y Georreferenciación fiable y precisa.
- Creación de Ortomosaicos Digitales.

**Licencia individual 1 computador:** incluye software, licencia, mantenimiento, **precio \$ 8.000 USD.**

### MAPKNITTER

MapKnitter es una herramienta de software libre que permite la creación de mapas a partir de fotografías aéreas.

La técnica para cartografiar áreas utilizadas en MapKnitter se conoce como fotogrametría y consiste en medir sobre fotografías.

Funciones:

- Permite a los usuarios trabajar a partir de sus propias imágenes o anotar mapas ya creados.
- Permite crear mapas a partir de cualquier imagen aérea.
- No es necesario registrarse para crear mapas, aunque es recomendable a fin de poder guardarlos.
- Los botones para crear mapas, ya sea de forma anónima o si estamos registrados, se encuentran en la parte superior de la columna izquierda.
- Herramientas libres orientadas a la investigación y exploración del medio ambiente.

**Precio:** Herramienta web libre para hacer mapas de fotografías aéreas con código.

**TABLA 4. Ejemplos de software para procesamiento de fotografía aérea.**

## 6.3. EQUIPO FOTOGRÁFICO CÁMARAS DIGITALES.

El empleo de cámaras digitales aerotransportadas conlleva un proceso productivo puramente digital; dichas cámaras unifican el dominio geométrico clásico de la

fotogrametría y el dominio temático propio de la teledetección; además, están destinadas a cubrir las necesidades topográficas y temáticas para escalas medias y grandes. Las cámaras digitales están destinadas a la toma de imágenes con fines fotogramétricos, para la aplicación de restitución fotogramétrica tradicional (Camargo Santana, 2011).

### Cámaras aéreas usadas en vehículos no tripulados.

En la actualidad, se conocen diferentes tipos de cámaras que pueden colocarse en un vehículo no tripulado, éstos sensores deben cumplir con características y funciones específicas adaptadas para el vuelo de vehículos aéreos, proporcionando los más altos beneficios a la hora de digitalizar las imágenes aéreas.

Para la toma de fotografías aéreas es necesario elegir una cámara que tenga objetivos con bastante gran angular es decir con un ángulo de visión mayor al de la visión humana, que sea además una cámara liviana que pueda ser elevada fácilmente por los equipos seleccionados, se puede elegir modelos que incluyen GPS los cuales georreferencian las imágenes directamente o un modelo sin GPS.

Cámara	Descripción
 <p>Panasonic GX1</p>	Cámara micro cuatro tercios de 16 Mpx. Vídeo en Full HD de 1920x1080 con sonido estéreo y formato AVCHD. Sensor de alta sensibilidad para ajustarse a la normativa de calidad ISO12800.
 <p>GoPro Hero3</p>	La cámara GO PRO Hero, es una opción perfecta para su uso en UAV como cámara principal o como cámara secundaria para combinar, por ejemplo con cámaras termográficas.
 <p>Nikon 1 V1</p>	Compacta y ligera. 10.1Mpx y alta calidad de video HD. Lente Nikkor estabilizada (VR) 10-30mm f/3.5-5.6. Reductor de la vibración (VR) de la imagen.
 <p>Sony Nex5N</p>	16,1 megapíxeles, Full HD AVCHD, 25/50p, 10 fps, pantalla LCD táctil de 7,5 cm, barrido panorámico 3D. Cámara de pequeñas dimensiones, con calidad de imagen réflex.

**TABLA 5. Sensores adaptados en equipos no tripulados. (Camargo Santana, 2011).**

### Cámaras multiespectrales.

Las cámaras multiespectrales son capaces de captar radiación que normalmente no es visible para el ojo humano; debido a su reducido tamaño y peso son idóneas para utilizarlas a bordo de vehículos aéreos no tripulados.

Cámaras multiespectrales presentes en el mercado.

Cámara	Descripción
 <p>Tetracam ADC</p>	Sensor de imagen de 3.2 MP optimizado para captar longitudes de onda de luz visible más largas de 520 nm y de longitudes de onda de infrarrojo cercano hasta 920nm. El sensor de imagen se divide en pequeños filtros ópticos. Cada filtro permite captar por separado bandas de longitudes de onda roja, verde o infrarroja; equivalentes a las bandas TM2, TM3 y TM4 Landsat.
 <p>Tetracam ADC Air</p>	Posee el mismo sensor de imagen que la ADC, a diferencia de que la versión Air está diseñada para ambientes hostiles y trabajos a la interperie.
 <p>Tetracam ADC Lite</p>	Ideal para misiones, en las que el peso es el factor decisivo, versión más ligera (200g menos) del modelo de cámara Tetracam ADC Air.
 <p>ADC micro</p>	Bajo consumo energético, 90 gramos de peso es la cámara más pequeña de Tetracam. 2 GB de almacenamiento estándar (ampliable a 8 GB), posee el mismo sensor descrito para la ADC.

**TABLA 6. Cámaras multiespectrales. (Camargo Santana, 2011).**

#### 6.4. EQUIPOS DE CORRECCIÓN DIFERENCIAL Y GPS.

Para poder obtener una precisión elevada en el control de posición del vehículo aéreo (por debajo de la decena de metros), es necesario disponer de correcciones diferenciales que compensen los errores producidos por la influencia atmosférica o de la zona de operación del equipo.

Para los puntos de control de campo según el grado de precisión que se requiera se puede utilizar GPS navegadores, GPS diferenciales, estación total o equipos RTK.



**FIGURA 12.** De izquierda a derecha GPS navegador Garmin, GPS diferencial Geoexplorer 2008, Equipo RTK Pro Mark 120.

Por otro lado, el aspecto más importante lo constituye el sensor de toma de datos que se embarca en el vehículo aéreo, al respecto existen diferentes sensores que son enfocados a diversas aplicaciones civiles que pueden utilizarse.



**FIGURA 13.** De izquierda a derecha GPS Qstarz BT-Q1300S-45, GPS Qstarz bt-q1000xt, MINI GPS LEZYNE.

#### 6.5. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA COMPUTACIONAL NECESARIOS PARA PODER INSTALAR EL SOFTWARE PARA OBTENER LA ORTOFOTOGRAFIA Y MDS.

Software de procesamiento utilizado para obtener ortofotografía y modelo digital de superficie MDS.

AGISOFT PHOTOSCAN PROFESSIONAL EDITION 1.0.4 BUILD 1845 (64BIT).

Configuración mínima del sistema computacional.

- Windows XP o superior 32 o 64 bit, Mac OS Snow Leopard o superior.
- Procesador Intel Core 2 Duo o equivalente
- 2 Gb de RAM.

Configuración Recomendada del sistema computacional.

- Windows XP 64 bit, Mac OS Snow Leopard o superior.
- Procesador Intel Core i7.
- 12 Gb de RAM.

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS USADOS EN LAS PRUEBAS REALIZADAS PARA LA GENERACION DE FOTOGRAFIA AEREA.

Para esta investigación se decidió probar experimentalmente tres tipos de plataforma: a) Drones de bajo costo (UAV), b) Cometas, y c) Globos de Helio.

### 7.1. DRONES (UAV).

El dron es un vehículo aéreo no tripulado de uso civil y también usado en aplicaciones militares.

Para las pruebas realizadas se utilizó 3 drones de ala móvil dos de estos económicos (Dji Phantom 1, Dji Phantom 2) utilizados generalmente para fotografía convencional en estos fue necesario acoplar un GPS (QSTARZ Q1300S-Qsports) para poder obtener la ubicación de la toma y georreferenciar las fotografías para la creación de ortofotos, el otro dron usado (Aeryon Scout) es muy costoso debido a que viene equipado con más tecnología y software necesario para la creación de ortofotografía y aplicaciones dentro de la Geomática haciendo más fácil el trabajo de campo y oficina.

#### 7.1.1. MATERIALES USADOS EN LAS PRUEBAS CON DRONES.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
 <p><b>Dji Phantom 1+</b> control + 1 batería Tiempo de vuelo por batería 10 minutos sin equipo extra. <b>\$ 500</b></p>	 <p><b>Dji Phantom 2</b> + control+ 1 batería Tiempo de vuelo por batería 15 minutos sin equipo extra <b>\$ 800</b></p>	 <p><b>Aeryon Scout</b> incluye: - Maleta de misiones - vehículo aéreo - hélices para baja y alta altura - 4 baterías para vuelos de 15 minutos cada una. - Estación de comando. - Estación base con antena. - Cámara de 5 megapíxeles GPS incluido. - Seguro de accidentes 1 año. - Incluye software para</p>
 <p>Montura simple antivibración <b>\$ 15</b></p>	 <p>Gimbal DJI Zenmuse <b>\$ 300</b></p>	

 <p>3 baterías extra para Dji Phantom 1 <b>\$ 120</b></p>	 <p>1 Bateria lipo extra para DJI Phantom 2 original, 5200mAh da energía <b>\$115</b></p>	<p>estación de comando permite programar vuelos automáticos, configuraciones de altura y otros parámetros de vuelo, velocidad del viento, aterriza automáticamente en situaciones de emergencia. -Software para descarga de imágenes de la estación base. <b>\$ 105.000</b></p>
 <p>Cámara GoPro Hero 3 12 megapíxeles Cámara de gran angular. <b>\$ 350</b></p>	 <p>Cámara GoPro Hero 3 12 megapíxeles Cámara de gran angular. <b>\$ 350</b></p>	
 <p>Mini GPS marca QSTARZ para deportistas modelo Q1300S-Qsports <b>\$ 140</b></p>	 <p>Mini GPS marca QSTARZ para deportistas modelo Q1300S-Qsports <b>\$ 140</b></p>	
 <p>Computador DELL N4010 procesador CORE I5, 4GB RAM, 500 GB disco duro <b>\$ 700</b></p>	 <p>Computador DELL N4010 procesador CORE I5, 4GB RAM, 500 GB disco duro <b>\$ 700</b></p>	 <p>Computador DELL N4010 procesador CORE I5, 4GB RAM, 500 GB disco duro <b>\$ 700</b></p>
 <p>3D Modeling and Mapping</p> <p>Software Agisoft Photoscan Software Agisoft Lens <b>\$ 3000</b></p>	 <p>3D Modeling and Mapping</p> <p>Software Agisoft Photoscan Software Agisoft Lens <b>\$ 3000</b></p>	 <p>3D Modeling and Mapping</p> <p>Software Agisoft Photoscan Software Agisoft Lens <b>\$ 3000</b></p>
 <p><b>Trimble GeoExplorer 2008</b> <b>\$ 3500</b></p>	 <p><b>Trimble GeoExplorer 2008</b> <b>\$ 3500</b></p>	

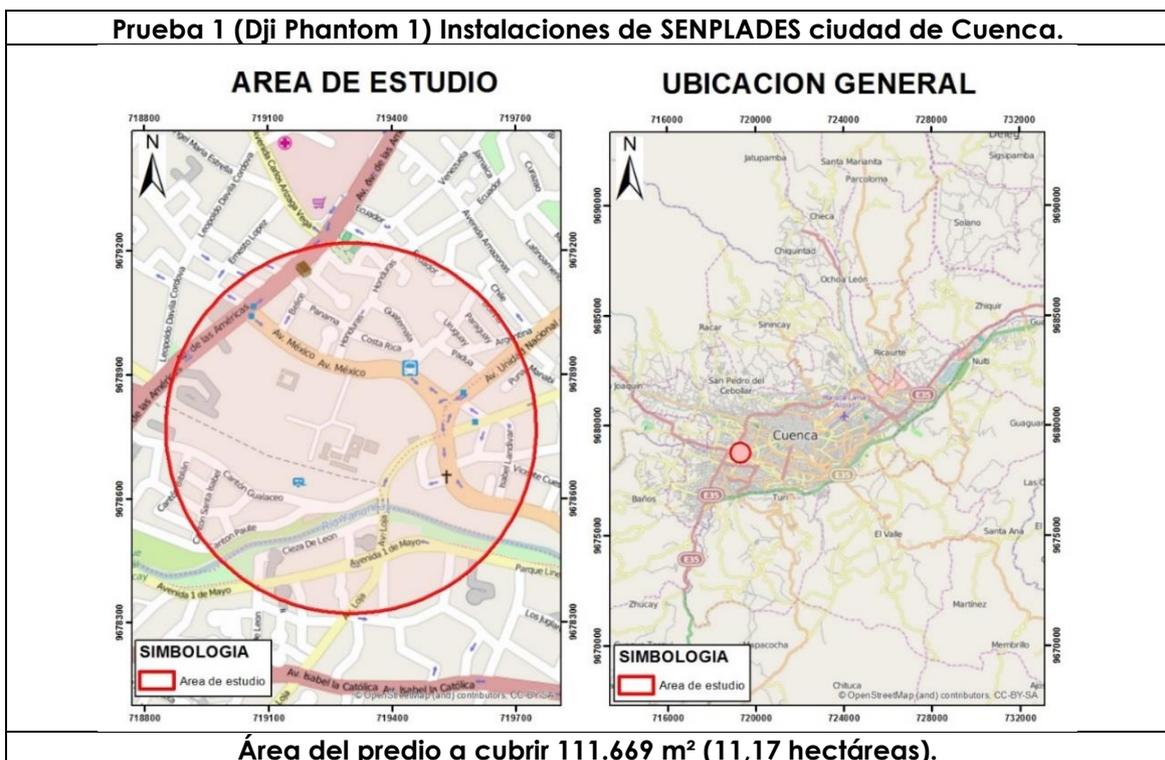
		
Antena de recepción GNSS <b>\$ 800</b>	Antena de recepción GNSS <b>\$ 800</b>	
		
JOSM JAVA OpenStreetMap Editor versión 7480 software libre	JOSM JAVA OpenStreetMap Editor versión 7480 software libre	
<b>TOTAL MATERIALES</b> <b>\$ 9125</b>	<b>TOTAL MATERIALES</b> <b>\$ 9705</b>	<b>TOTAL MATERIALES</b> <b>\$ 108700</b>

**TABLA 7. Materiales usados en las pruebas con drones.**

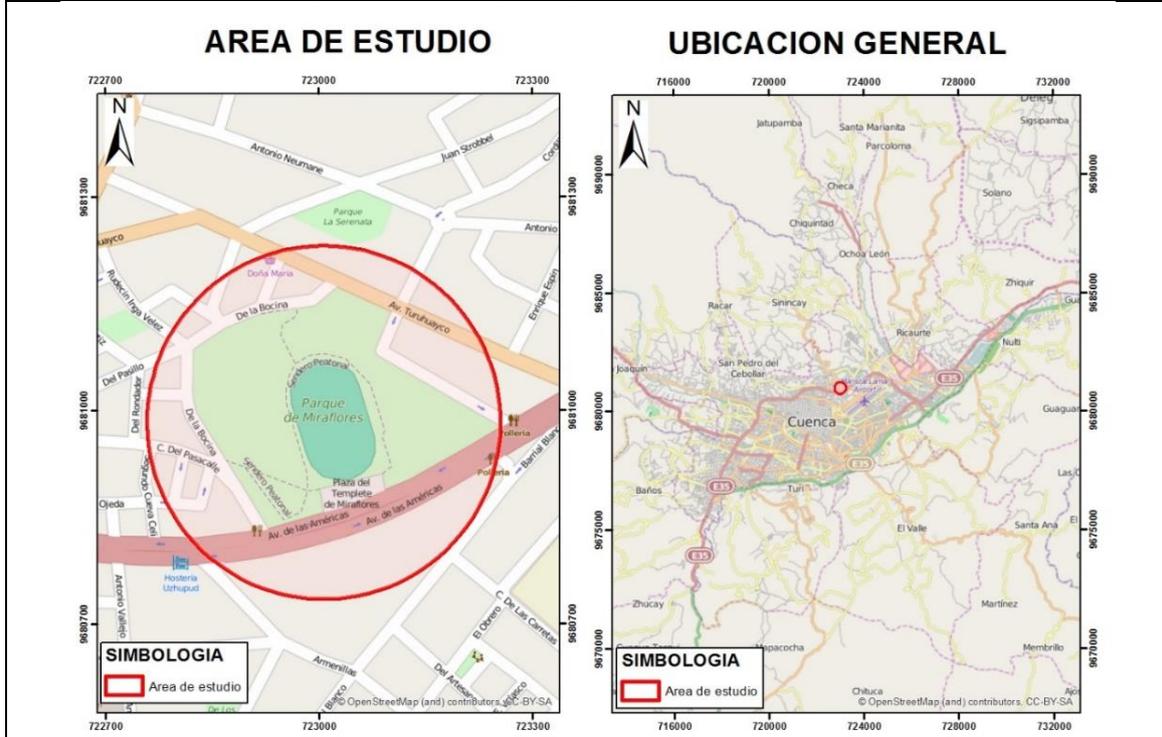
## 7.1.2. METODOLOGÍA.

### 7.1.2.1.- Plan de vuelo.

Primeramente se realiza el diseño del vuelo en función de la de la ubicación o extensión a representar, de la orografía del terreno, de la previsión meteorológica y de la resolución que se pretenda obtener (o la escala).

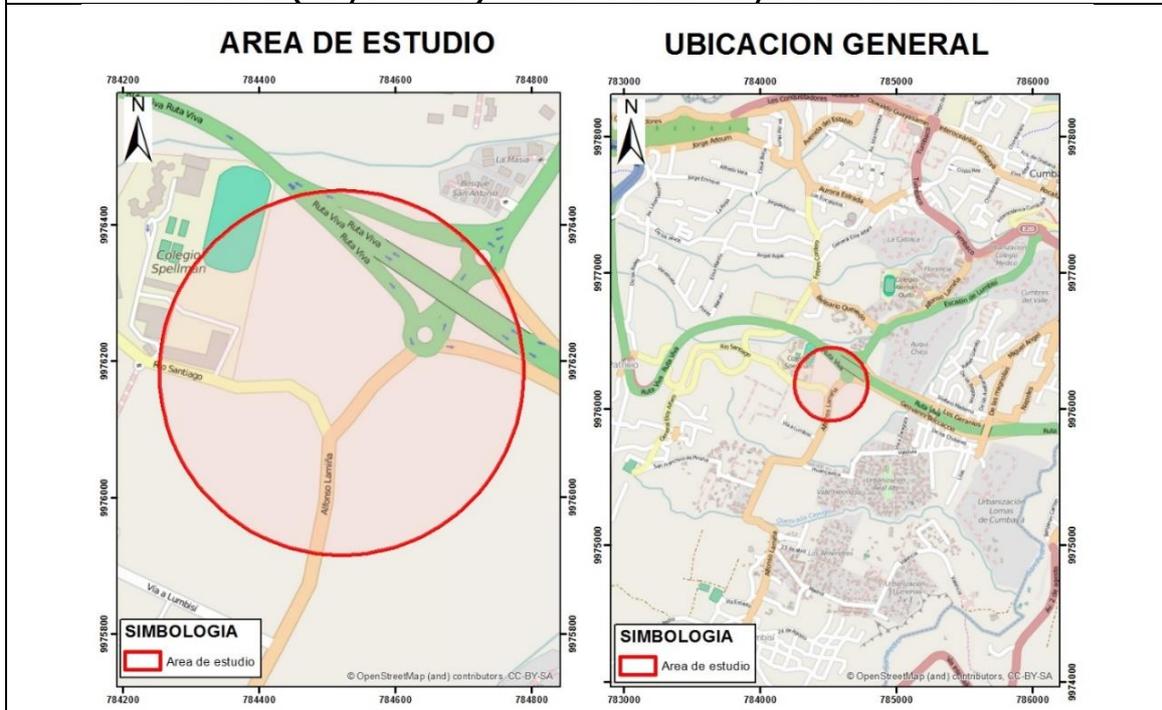


**Prueba 2. (Dji Phantom 2) Parque Miraflores ciudad de Cuenca.**



**Área a cubrir 88.339 m<sup>2</sup> (8,83 hectáreas).**

**Prueba 3. (Aeryon Scout) Predio vía a Cumbaya ciudad de Quito.**



**Área a cubrir 48.909 m<sup>2</sup> (4,89 hectáreas).**

**TABLA 8. Áreas de estudio y ubicación general.**

**Orografía o relieve a representar.**

Las áreas de estudio dentro de las 3 pruebas realizadas se encuentran ubicados en lugares con pendientes muy leves de 0-12 % a las cuales se las describe como pendientes onduladas.

En todas las pruebas se tiene un campo de visión de toda el área a volar.

**Previsión meteorológica y precauciones que se tuvo en cuenta en todas las pruebas con drones.**

- Para obtener imágenes nítidas se escogió días soleados.
- No se realizó los vuelos si existía vientos fuertes ya que estos podían desestabilizar el dron y lo podrían estrellar.
- No se voló en condiciones de lluvia ya que hubiese provocado cortos circuitos que hubiesen dañado el equipo.
- Para el vuelo se colocó el vehículo aéreo sobre una superficie plana y a nivel.
- Desde el lugar en donde se encontró el operador de vuelo se pudo siempre visualizar toda el área que se voló.
- El operador se orientó en el lugar de vuelo y alrededores.
- Se localizó potenciales obstáculos.
- Asegurarse de estar a un mínimo de 5 km de distancia de un aeropuerto.

**GSD (resolución a obtener por pixel y la escala).**

Para las 3 pruebas se decidió obtener una fotografía con un tamaño del pixel (GSD) de 7 cm o inferior a este valor, con el fin de utilizarlas en proyectos cartográficos de mayor detalle utilizando una escala grande 1/500.

Tamaño del píxel (cm)	Escala de restitución
50	1/10000
25	1/5000
10	1/1000
7	1/500

**TABLA 9. Correspondencia entre GSD y escala.**

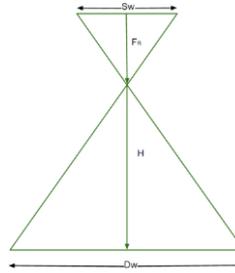
Es posible estimar el tamaño del GSD mediante una fórmula en la que intervienen ciertas variables como los parámetros de la cámara a usar y la altura a la que se pretende volar.

**Sw:** Ancho del sensor de la cámara (mm).

**FR:** Distancia focal de la cámara (mm).

**H:** Altura de vuelo (m).

**imW:** El ancho de la imagen (píxeles).



$$GSD = \frac{Sw * H * 100}{FR * imW}$$

Estimación del tamaño del GSD.		
Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
<p>-Cámara <b>GoPro Hero 3</b> configurada a 7 megapíxeles.</p> <p><b>Sw:</b> 3,5 (mm). <b>FR:</b> 2,77 (mm). <b>H:</b> 100 (m). <b>imW:</b> 3000 (píxeles).</p> $GSD = \frac{Sw * H * 100}{FR * imW}$ <p><b>GSD = 4,21 (cm/píxel)</b></p>	<p>-Vuelo con la primera batería.</p> <p><b>Cámara GoPro Hero 3</b> configurada a 7 megapíxeles.</p> <p><b>Sw:</b> 3,5 (mm). <b>FR:</b> 2,77 (mm). <b>H:</b> 75 (m). <b>imW:</b> 3000 (píxeles).</p> $GSD = \frac{Sw * H * 100}{FR * imW}$ <p><b>GSD = 3,16 (cm/píxel)</b></p> <p>- Vuelo con la segunda batería.</p> <p><b>Cámara GoPro Hero 3</b> configurada a 12 megapíxeles.</p> <p><b>Sw:</b> 3,5 (mm). <b>FR:</b> 2,77 (mm). <b>H:</b> 150 (m). <b>imW:</b> 4000 (píxeles).</p> $GSD = \frac{Sw * H * 100}{FR * imW}$ <p><b>GSD = 4,74 (cm/píxel)</b></p>	<p>-Cámara <b>BOARD_MT9P031_SUNEX</b> configurada a 5 megapíxeles.</p> <p><b>Sw:</b> 5,7 (mm). <b>FR:</b> 7,5 (mm). <b>H:</b> 180 (m). <b>imW:</b> 2592 (píxeles).</p> $GSD = \frac{Sw * H * 100}{FR * imW}$ <p><b>GSD = 5,28 (cm/píxel)</b></p>

**TABLA 10. Estimación del tamaño del GSD.**

Para la prueba 1 y prueba 2 con los drones *Dji Phantom 1* y *Dji Phantom 2* no es posible fijar la altura de vuelo ya que estos drones usados no tienen un software que lo permita, en base a los cálculos de estimación del GSD obtenidos anteriormente en donde se fijaba una altura de vuelo para cada prueba sirvió de base para **estimar** visualmente la altura de vuelo con el fin de obtener los mismos resultados calculados.

En la prueba 3 con el dron Aeryon Scout el software del equipo permite fijar una altura máxima de vuelo que se configuro en 180 metros con el fin de obtener un GSD igual o aproximado al valor estimado.

### 7.1.2.2.- Preparación de los equipos de vuelo.

Se realizaron tres pruebas usando tres drones diferentes: **Prueba 1** (Dji Phantom 1), **prueba 2** (Dji Phantom 2), **prueba 3** (Aeryon scout).

Se preparan, instalan y configuran los equipos que se van a utilizar en cada prueba.

Instalar en el dron los equipos necesarios para realizar la fotografía aérea.		
Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dron Dji Phantom 1.</li> <li>- Cámara GoPro Hero 3.</li> <li>- Mini GPS marca QSTARZ.</li> <li>-Batería.</li> </ul>  <p>El GPS viene con su estuche el cual tiene correas con velcro que permite ajustarlo alrededor del dron.</p> <p>La cámara se ajusta a la montura antivibración colocada en el dron.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dron Dji Phantom 2.</li> <li>- Cámara GoPro Hero 3.</li> <li>- Mini GPS marca QSTARZ.</li> <li>-Batería.</li> </ul>  <p>El GPS viene con su estuche el cual tiene correas con velcro que permite ajustarlo alrededor del dron.</p> <p>La cámara se ajusta al jimbail del dron.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Dron AERYON SCOUT.</li> <li>-Cuerpo del vehículo.</li> <li>-Soportes de aterrizaje.</li> <li>-Hélices.</li> <li>-Baterías.</li> <li>-Cámara integrada de 5 megapíxeles con GPS.</li> </ul>  <p>EL dron viene en su caja desarmado, se lo ensambla para usarlo, todas las piezas se ajustan a presión.</p>
Encender y configurar la cámara para tomar las fotografías.		
Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cámara GoPro Hero 3.</li> <li>- Configurada a 7 megapíxeles con disparo automático cada segundo.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cámara GoPro Hero 3.</li> <li>-Configurada a 7 megapíxeles con disparo automático cada 0.5 segundos en el vuelo con la primera batería.</li> <li>-Configurada a 12 megapíxeles con disparo automático cada 0.5 segundos en el vuelo con la segunda batería.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cámara integrada.</li> <li>-Configurada a 5 megapíxeles con disparo automático cada segundo.</li> </ul> 

		
<b>Encender y configurar el GPS.</b>		
<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mini GPS marca QSTARZ.</li> <li>-GPS liviano y fácil de ajustar al dron.</li> <li>-Se configuro para que tome lectura de coordenadas cada segundo.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mini GPS marca QSTARZ.</li> <li>-GPS liviano y fácil de ajustar al dron.</li> <li>-Se configuro para que tome lectura de coordenadas cada segundo.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-GPS integrado en el sistema Aeryon Scout se enciende junto con el dron.</li> </ul> 
<b>Utilizar cronometro para tener en cuenta el tiempo de vuelo y evitar que se estelle por falta de batería.</b>		
<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo de vuelo de 7 minutos por batería dentro del cual se debía aterrizar y reemplazarla.</li> <li>- Se utilizó 4 baterías para cubrir el área a fotografíar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tiempo de vuelo de 12 minutos por batería dentro del cual se debía aterrizar y reemplazarla.</li> <li>- Se utilizó en esta prueba 2 baterías, con la primera se voló toda el área a baja altura y con la segunda la misma área a mayor altura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No se requiere cronometro ya que la estación de comando calcula el tiempo de vuelo restante.</li> <li>- Vuelo aproximado de 10 minutos por batería se usó 1 sola batería.</li> </ul> 

**TABLA 11. Preparación de los equipos de vuelo.**

### 7.1.2.3.- Apoyo topográfico.

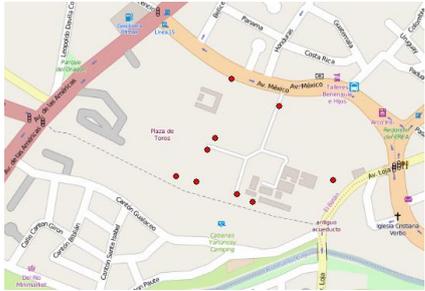
Para la correcta georreferenciación de la ortofotografía a conseguir es necesaria la obtención de posiciones precisas de determinados puntos sobre el terreno. Estos puntos servirán para transformar el modelo fotogramétrico en modelo del terreno.

Las precisiones de los puntos de apoyo van de acuerdo con la escala del producto. Además de obtener la posición de los puntos sobre el terreno, estos también deben identificarse claramente en las fotografías, para poder establecer una correcta correlación.

Dependiendo de la zona de estudio y de la escala, se pueden repartir estratégicamente unas dianas en la zona de trabajo las cuales son indispensables en zonas donde no existe referencias claramente identificables que aparezcan en las fotos o en el caso de no usar dianas escoger elementos fijos en la zona fácilmente visibles para los puntos de apoyo.

Para las pruebas 1 y 2 se escogió elementos repartidos en la zona claramente identificables y se levantó coordenadas usando el GPS diferencial Geoexplorer 2008, los puntos levantados se sometieron a un postproceso posteriormente.

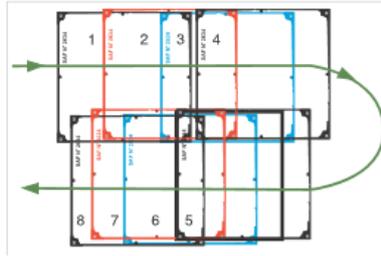
Para la prueba 3 con el dron Aeryon Scout no se utilizó puntos de control de campo el proceso se lo realizó únicamente con las coordenadas de las fotografías tomadas en el vuelo.

<b>Prueba 1 (Dji Phantom 1) Instalaciones de SENPLADES ciudad de Cuenca.</b>	
	
<b>Imágen google Earth</b>	<b>Imágen Open Street Map</b>
<b>Prueba 2. (Dji Phantom 2) Parque Miraflores ciudad de Cuenca.</b>	
	
<b>Imágen google Earth</b>	<b>Imágen Open Street Map</b>
<b>Prueba 3. (Aeryon Scout) Predio vía a Cumbaya ciudad de Quito.</b>	
Para esta prueba se decidió realizar el proceso sin tomar puntos de apoyo en campo.	

**TABLA 12. Distribución de los puntos de apoyo topográfico.**

#### 7.1.2.4.- Vuelo y toma fotográfica.

Luego de la fase anterior, se realizan la toma sucesiva de fotografías aéreas, las cuales conforman las líneas de vuelo. La captura de fotografías aéreas traslapadas no sólo permite cubrir el área de interés, sino que posibilita la obtención de información tridimensional con propósitos cartográficos o de fotointerpretación.



**FIGURA 14. Ejemplo de una línea de vuelo.**

Para las pruebas 1 y 2 con los drones Dji Phantom 1 y Dji Phantom 2 la ruta de vuelo se la realizó manualmente usando en el control o mando de los drones la opción course lock la cual bloquea la rotación del drone, se usó con el fin de que la cámara apunte en la misma dirección y las líneas de vuelo sean rectas ya que estos drones no tienen un software que ejecute el vuelo por waypoints automáticamente, se formaron líneas de vuelo tratando de cubrir toda el área.

Para la prueba 3 con el drone Aeryon Scout este cuenta con software que permite planificar la ruta de vuelo por waypoints se ejecutó la ruta donde se realizó la fotografía en cada punto programado, se pudo además visualizar en la estación de mando en tiempo real toda la información de telemetría, estado del aparato y posición del mismo mediante GPS.

Tras finalizar el vuelo se realizará la descarga de datos de telemetría de vuelo y fotografías para el posterior procesamiento de dicha información.

**Prueba 1 (Dji Phantom 1) Instalaciones de SENPLADES ciudad de Cuenca.**



**Fotografías del vuelo, se usaron 4 baterías del Phantom 1 para cubrir el área, se configuró la cámara a 7 megapíxeles, la altura estimada de vuelo fue de 100 metros de altura, se tomaron 1056 fotografías.**

**Prueba 2. (Dji Phantom 2) Parque Miraflores ciudad de Cuenca.**



**Fotografías del vuelo con la primera batería se configuró la cámara a 7 megapíxeles y se voló a una altura estimada de 70 metros de altura, se tomaron 1621 fotografías.**



**Fotografías del vuelo con la segunda batería se configuró la cámara a 12 megapíxeles y se voló a una altura estimada de 130 metros de altura, se tomaron 671 fotografías.**

**Prueba 3. (Aeryon Scout) Predio vía a Cumbaya ciudad de Quito.**



**Fotografías del vuelo, se utilizó el drone Aeryon Scout cuya cámara es de 5 megapíxeles, la altura de vuelo fue de 180 metros de altura, se tomaron 130 fotografías.**

**TABLA 13. Vuelo y toma fotográfica.**

**7.1.2.5.- Procesado y cálculo.**

Una vez tomadas las fotografías y obtenidas las coordenadas de los puntos de apoyo, se realiza el procesamiento de la información con el fin de obtener el cálculo de los parámetros de orientación de cada una de las fotografías.

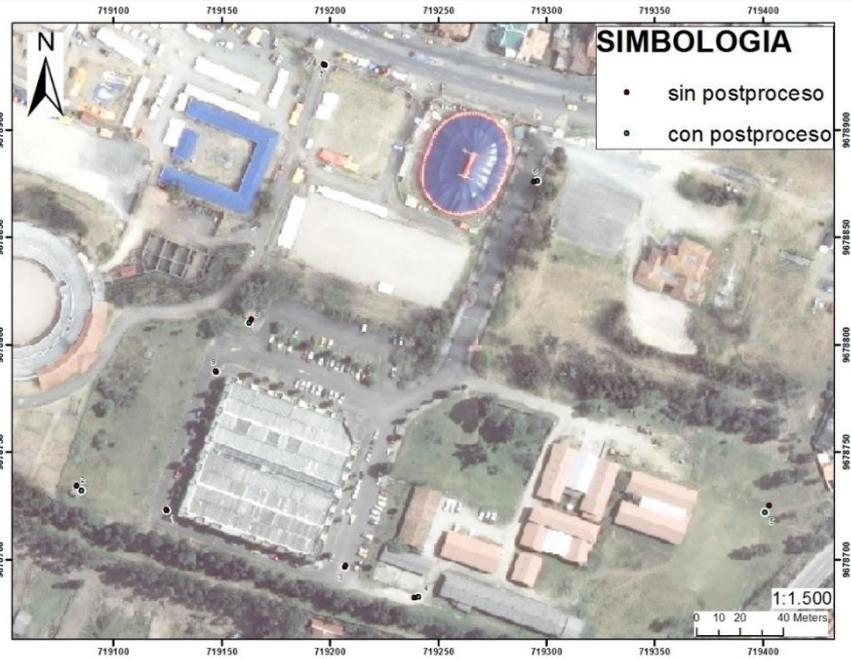
Para la prueba 1 en las instalaciones de SENPLADES en la ciudad de Cuenca y la prueba 2 en el parque de Miraflores de la ciudad de Cuenca, como ya se mencionó en la etapa de apoyo topográfico, se tomaron puntos de control a los cuales se les realizó un postproceso para corregir su posición.

**Postproceso de los puntos de apoyo tomados en campo.-** El postproceso se realiza luego de que un receptor móvil GPS o GPS diferencial guarda las señales de los satélites y posiciones sin corregir, estos datos son cargados en un computador y procesados con el software que viene con el equipo diferencial, se realiza el postproceso de las posiciones con la información de la estación base y el equipo móvil.

Los archivos para la corrección pueden obtenerse por internet, redes lan, etc, el postproceso no permite obtener la posición con precisión en tiempo real, el GPS debe ir conectado a un ordenador que contenga un software capaz de capturar la información tipo "RAW". Esta información es almacenada y posteriormente debe ser procesada y comparada, por medio de un programa, con los ficheros RINEX que

incluyen las correcciones diferenciales.

**Prueba 1 (Dji Phantom 1) Instalaciones de SENPLADES ciudad de Cuenca.**



**Ortofotografía del IGM**

**Prueba 2. (Dji Phantom 2) Parque Miraflores ciudad de Cuenca.**



**Ortofotografía del IGM**

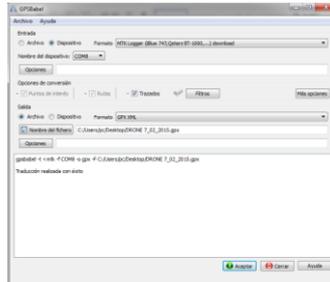
**Prueba 3. (Aeryon Scout) Predio vía a Cumbaya ciudad de Quito.**

Para esta prueba se decidió realizar todo el proceso sin puntos de apoyo en campo.

**TABLA 14. Puntos de apoyo procesados tomados en campo.**

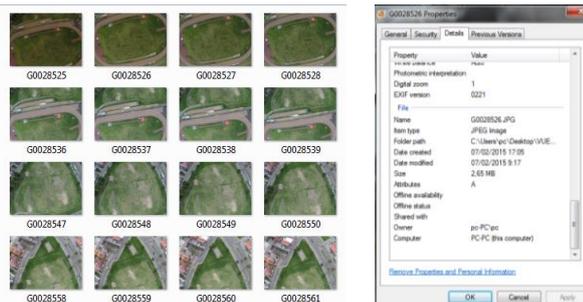
**Georreferenciación de las imágenes.-** Además en las dos pruebas con los drones Dji Phantom y la cámara GO PRO HERO 3 realizadas en la ciudad de Cuenca se ejecutó el siguiente proceso debido a que la cámara usada no georreferencia las imágenes:

- Se usó la ruta del GPS tomada con el mini GPS Qstarz que se acoplo al drone, para esto se descargó estos archivos usando el software GPSBABEL.



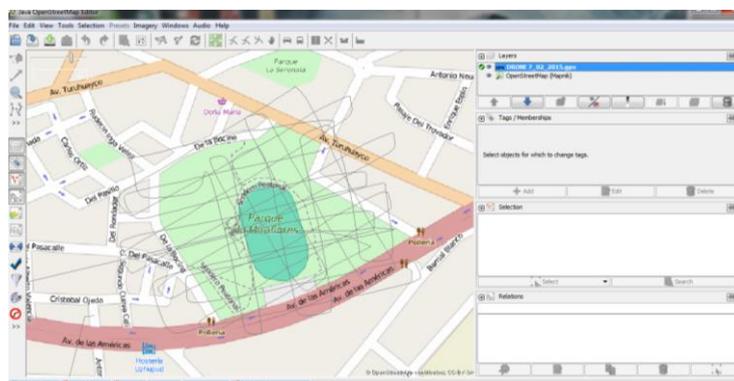
**FIGURA 15. Descarga de información GPS con el software GPSBABEL.**

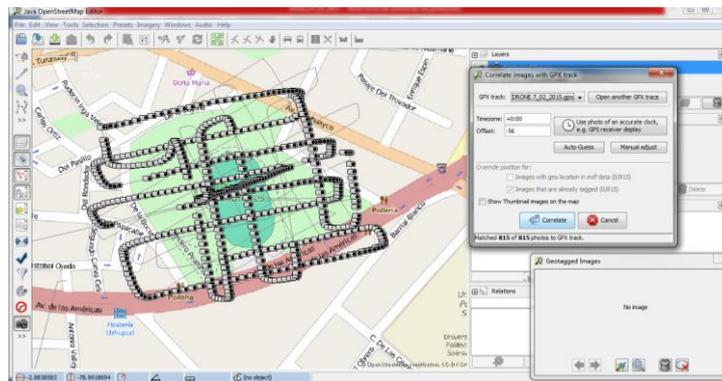
- Se descargó de la cámara GO PRO HERO 3 las fotografías tomadas, las cuales no tienen georreferenciación.



**FIGURA 16. Imágenes descargadas sin georreferenciación.**

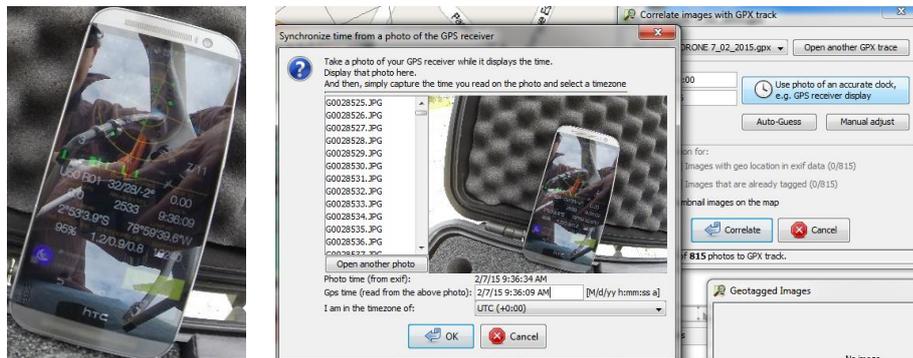
- Para georreferenciar las imágenes se utilizó el software (JOSM) JAVA OPEN STREET MAP.
- En el software JOSM cargamos la ruta GPS y luego importamos las fotografías en la ruta. Estas se ajustan a la ruta de acuerdo a la fecha y hora de la fotografía.





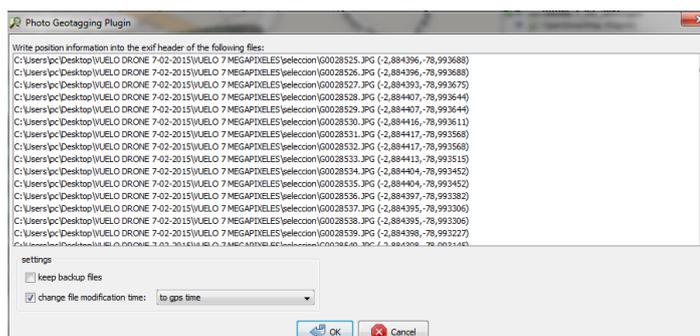
**FIGURA 17. Imágenes cargadas en la ruta GPS con el software JOSM.**

- Ahora se debe correlacionar las imágenes con la ruta GPS para esto tomamos la fotografía de un reloj atómico la cual servirá para ajustar las imágenes con la ruta GPS obtenida, aparece la hora tomada desde el "exif" de la cámara y pide poner la hora del GPS aquí ponemos la hora de la fotografía del reloj atómico, seleccionamos la zona horaria UTC (+0:00). Es recomendable descargarse una aplicación de reloj atómico en el celular con el fin de tomar esta fotografía de la hora ajustada el momento que se va a realizar el vuelo.



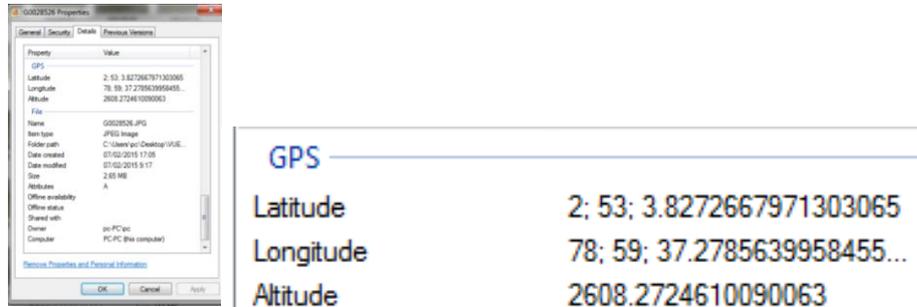
**FIGURA 18. Sincronización del tiempo de las imágenes con el tiempo del receptor GPS.**

- Luego de correlacionar las imágenes con la ruta GPS guardamos estas coordenadas en la cabecera de cada imagen o "exif" y modificamos los archivos al tiempo GPS.



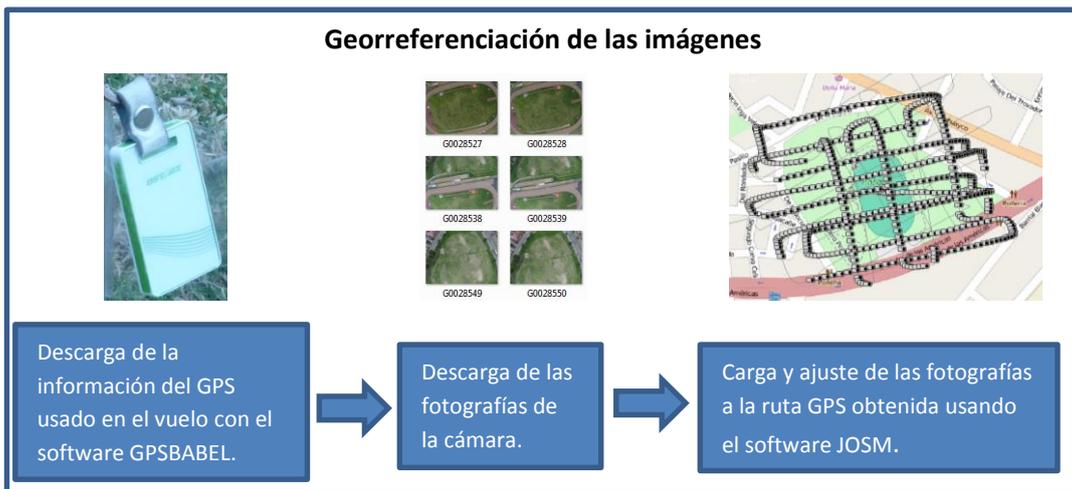
**FIGURA 19. Cambio de información de cabecera o "exif" de cada imagen.**

- Ahora cada imagen se encuentra georreferenciada y están listas para ser procesadas en el programa para generar ortofotografía. Se puede comprobar la georreferenciación mirando las propiedades de las imágenes.



**FIGURA 20. Propiedades de una imagen seleccionada.**

En resumen para las dos pruebas realizadas en la ciudad de Cuenca con los drones DJI Phantom se realizó el siguiente proceso para georreferenciar las imágenes.



**FIGURA 21. Proceso de georreferenciación de las imágenes.**

En la prueba 3 con el drone Aeryon Scout no fue necesario realizar ningún proceso de georreferenciación de las imágenes ya que la cámara de este ya las georreferencia durante el vuelo.

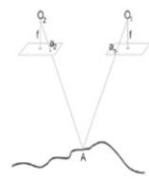


**FIGURA 22. Propiedades de una imagen tomada con el drone Aeryon Scout, las imágenes obtenidas ya están georreferenciadas.**

### Procesamiento de las imágenes y puntos de control en el software para generar la ortofotografía y el modelo digital de superficie MDS.

El siguiente paso consiste en procesar estas fotografías con ayuda de un software fotogramétrico para poder obtener la ortofotografía y el modelo digital de superficie MDS.

El software usado internamente realiza un proceso de cálculo al cual se le denomina Aerotriangulación, y utiliza un modelo matemático basado en ecuaciones de colinealidad que incorpora gran cantidad de redundancias al proceso para poder dar robustez al sistema y poder obtener unos resultados con alta fiabilidad. El resultado de este proceso es la obtención de los parámetros de orientación externa de cada una de las fotografías.



$$\begin{pmatrix} r_x \\ r_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -(F_2)h \\ -(F_2)y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & -B_{11} & -B_{12} & -B_{13} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & -B_{21} & -B_{22} & -B_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dx \\ dy \\ dz \\ dX_0 \\ dY_0 \\ dZ_0 \\ dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix}$$

*Ecuación de colinealidad*

**FIGURA 23. Ecuación de colinealidad.**

Para las tres pruebas se siguió el siguiente proceso con excepción del paso de georreferenciación de la nube de puntos con los puntos de control que no se realizó en la tercera prueba en la ciudad de Quito porque no se contó con los equipos necesarios, se utilizó el software Agisoft Photoscan Profesional 1.0.4 en la actualidad, de gran uso debido a su reducido coste para fines educativos y para la investigación.

A continuación, se explica el flujo de trabajo realizado para la obtención de nubes de puntos topográficas georreferenciadas, ortofotos de alta resolución y modelo digital de superficie.

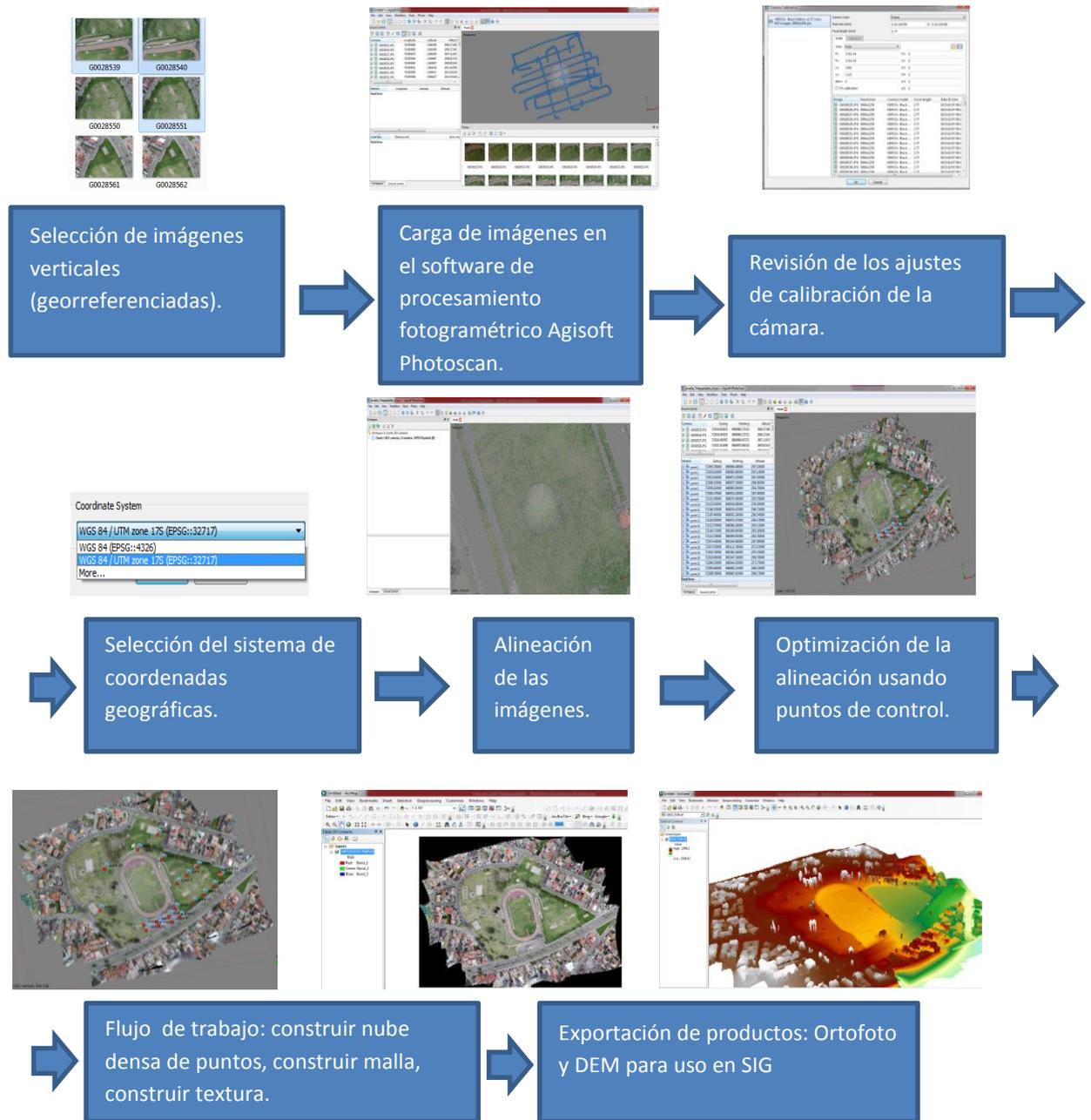
- La primera etapa consiste en la selección de las mejores imágenes verticales tomadas en la etapa de vuelo y toma fotográfica.
- Luego se importan las fotografías al software para el procesamiento.
- Se revisan los ajustes de calibración de la cámara, el software ya cuenta con los parámetros de calibración de las cámaras usadas en estas pruebas.
- Se selecciona el sistema de coordenadas del lugar en donde se realizó la prueba.
- Comienza la primera fase del procesamiento: orientación y alineación de las imágenes. Es imprescindible tener 3 fotografías a distintos ángulos de la misma superficie, para así poder generar la alineación, que supondrá la creación de la nube de puntos a partir de las diferencias de textura.

- Las características de las fotos originales, a partir de las que obtenemos la nube de puntos, en ocasiones deben ser editadas para eliminar algunos elementos exteriores. Otras características de las imágenes (ejemplo. ángulo de incidencia, ruido por vibraciones) podrían tener una influencia en la identificación de texturas, aunque el propio software aplica filtros correctivos automáticos (Agisoft, 2013).
- En la primera fase de alineación (Workflow, Align) existen 2 opciones, en función de que se tengan o no las coordenadas de la cámara desde las cuales se han tomado las fotografías. Para todos los casos se generó una alineación con coordenadas, obteniendo un modelo de nube de puntos con el sistema de coordenadas WGS84 UTM zona 17S o EPSG: 32717. Este proceso, dependiendo del número de imágenes y la potencia del procesador, puede tardar mucho tiempo (ej.: 74 horas con 679 imágenes 4,3 cm/px de resolución y una RAM de 4Gb para el ordenador).
- La segunda fase sirve para georreferenciar la nube de puntos creada a partir de la red de control (GCPs) ubicada en el tramo de estudio. Dentro de la fase de georreferenciación existe una serie de parámetros que debemos definir:
  - (a) Ajustes de los parámetros para los puntos de control (ej. sistema de coordenadas, en nuestro caso, siempre el oficial WGS84 UTM zona 17S o EPSG: 32717.
  - (b) Localización de las marcas (ej. Dianas u objetos visibles en la zona de estudio) por fotografías. Estas dianas u objetos de la zona son los GCPs ubicados en campo, de los cuales tenemos coordenadas muy precisas, como se ha descrito anteriormente. Para generar una geometría correcta en coordenadas reales, se identifican todas las fotos en las que aparezca los mismos objetos o dianas. Este paso es clave en la obtención de la resolución final de la ortofoto, así como de la nube de puntos.
  - (c) Finalmente, importamos las coordenadas x, y, z o las digitamos. Este archivo se genera a partir de las coordenadas de los GCPs tomadas en campo y mediante la utilización del software de postprocesamiento del equipo diferencial usado en gabinete.
- La última fase (ortofotos). Es importante ver los errores (RMSE, errores cuadráticos medios) del modelo de georreferenciación en la fase anterior. Para crear la nube de puntos ya georreferenciada (Workflow build dense cloud) escogemos los parámetros de (a) calidad/densidad que queremos obtener (determinada por el tamaño de píxel y número de imágenes) y (b) el filtro de profundidad que aplica el programa (leve, moderado o agresivo). Para obtener una ortofoto a partir de las fotografías aéreas es obligatorio crear una malla regular (Workflow build mesh), basada en la identificación y regularización de texturas de las imágenes, que permita, entre otros aspectos, la ortorrectificación de las fotografías (Agisoft, 2013). Finalmente, cuando exportamos las ortofotos se tiene la opción de aplicar ciertos factores correctivos de la malla de texturas creadas en el paso previo. Una de ellas es la "enable color correction", que corrige los valores de brillo y

mejora realmente la calidad visual de la ortofoto final, aunque ralentice el tiempo en el proceso de generación y exportación.

- Con los pasos anteriores hemos obtenido la ortofotografía, también podemos obtener la creación de modelos digitales de superficie ya que las nubes de puntos generadas disponen de la información 3D.

Todo el proceso anterior se resume en el siguiente esquema.



**FIGURA 24. Esquema del procesamiento de imágenes y puntos de control para obtener la ortofotografía y modelo digital de superficie.**

## 7.2 COMETAS.

La fotografía aérea desde cometas se conoce mucho más por sus siglas inglesas KAP (Kite Aerial Photography). El invento consiste en una cometa muy similar a la que utilizamos para volar al aire libre con algún soporte o chasis que agarra firmemente la cámara evitando que se caiga.

Las cometas pueden ser de dos tipos, con estructura y sin estructura. La diferencia básica entre ellas es el ángulo de vuelo y las velocidades a las que son capaces de volar.

Últimamente y teniendo en cuenta el factor tiempo y costo, se utiliza cámaras digitales, montadas en cometas para tomar fotografías aéreas de baja altura con una escala mayor para estudios locales, en las que se obtiene una información rápida y precisa en monitoreos de investigación en áreas como la agronomía con el monitoreo continuo de los cultivos, o en las plantaciones de cultivos forestales o agroforestales.

Para las pruebas realizadas se utilizó una cometa con estructura, esta no es una cometa veloz pero si mucho más estable en el vuelo y capaz de volar muy alto, lo que facilito la toma fotográfica. Se realizaron tres pruebas usando la misma cometa ya que en las dos primeras no se obtuvieron buenos resultados para obtener la ortofotografía.

### 7.2.1 MATERIALES USADOS EN LAS PRUEBAS CON COMETAS.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
 <p><b>Dazzle Delta</b> 274,32 cm de ancho 137,16 cm de alto Fácil de volar Fácil de armar Tela de Nylon resistente con marco de fibra de vidrio Cola de 4,5 m <b>\$ 50</b></p>	 <p><b>Dazzle Delta</b> 274,32 cm de ancho 137,16 cm de alto Fácil de volar Fácil de armar Tela de Nylon resistente con marco de fibra de vidrio Cola de 4,5 m <b>\$ 50</b></p>	 <p><b>Dazzle Delta</b> 274,32 cm de ancho 137,16 cm de alto Fácil de volar Fácil de armar Tela de Nylon resistente con marco de fibra de vidrio Cola de 4,5 m <b>\$ 50</b></p>
 <p>Cámara GoPro Hero 3 12 megapíxeles Cámara de gran angular. <b>\$ 350</b></p>	 <p>Cámara GoPro Hero 3 12 megapíxeles Cámara de gran angular. <b>\$ 350</b></p>	 <p>Cámara GoPro Hero 3 12 megapíxeles Cámara de gran angular. <b>\$ 350</b></p>

 <p>Mini GPS marca QSTARZ para deportistas modelo Q1300S-Qsports <b>\$ 140</b></p>	 <p>Mini GPS marca QSTARZ para deportistas modelo Q1300S-Qsports <b>\$ 140</b></p>	 <p>Mini GPS marca QSTARZ para deportistas modelo Q1300S-Qsports <b>\$ 140</b></p>
 <p>305 m de línea de hilo dacron en una bobinadora de aro de 8 pulgadas <b>\$ 30</b></p>	 <p>305 m de línea de hilo dacron en una bobinadora de aro de 8 pulgadas <b>\$ 30</b></p>	 <p>305 m de línea de hilo dacron en una bobinadora de aro de 8 pulgadas <b>\$ 30</b></p>
 <p>Guantes de lona <b>\$5</b></p>	 <p>Guantes de lona <b>\$5</b></p>	 <p>Guantes de lona <b>\$5</b></p>
 <p>Botella de plástico vacía de 2 Lt <b>\$1,5</b></p>	 <p>Botella de plástico vacía de 1 Lt <b>\$1</b></p>	 <p>Botella de plástico vacía de 1 Lt <b>\$1</b></p>
 <p>Paquete de bandas elásticas <b>\$4</b></p>	 <p>Paquete de bandas elásticas <b>\$4</b></p>	 <p>Paquete de bandas elásticas <b>\$4</b></p>
 <p>Mosqueton <b>\$3</b></p>	 <p>Mosqueton <b>\$3</b></p>	 <p>Mosqueton <b>\$3</b></p>

 <p>Computador portátil DELL N4010 procesador CORE I5, 4GB RAM, 500 GB disco duro <b>\$ 700</b></p>	 <p>Computador portátil DELL N4010 procesador CORE I5, 4GB RAM, 500 GB disco duro <b>\$ 700</b></p>	 <p>Computador portátil DELL N4010 procesador CORE I5, 4GB RAM, 500 GB disco duro <b>\$ 700</b></p>
 <p>3D Modeling and Mapping</p> <p>Software Agisoft Photoscan Software Agisoft Lens <b>\$ 3000</b></p>	 <p>3D Modeling and Mapping</p> <p>Software Agisoft Photoscan Software Agisoft Lens <b>\$ 3000</b></p>	 <p>3D Modeling and Mapping</p> <p>Software Agisoft Photoscan Software Agisoft Lens <b>\$ 3000</b></p>
 <p><b>Trimble GeoExplorer 2008</b> <b>\$ 3500</b></p>	 <p><b>Trimble GeoExplorer 2008</b> <b>\$ 3500</b></p>	 <p><b>Trimble GeoExplorer 2008</b> <b>\$ 3500</b></p>
 <p>Antena de recepción GNSS <b>\$ 800</b></p>	 <p>Antena de recepción GNSS <b>\$ 800</b></p>	 <p>Antena de recepción GNSS <b>\$ 800</b></p>
 <p>JOSM JAVA OpenStreetMap Editor versión 7480 software libre</p>	 <p>JOSM JAVA OpenStreetMap Editor versión 7480 software libre</p>	 <p>JOSM JAVA OpenStreetMap Editor versión 7480 software libre</p>
<p><b>TOTAL MATERIALES</b> <b>\$ 8583,5</b></p>	<p><b>TOTAL MATERIALES</b> <b>\$ 8583</b></p>	<p><b>TOTAL MATERIALES</b> <b>\$ 8583</b></p>

**TABLA 15. Materiales usados en las pruebas con cometas.**

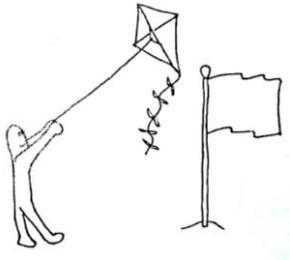
## 7.2.2 METODOLOGÍA.

### 7.2.2.1.- Plan de vuelo.

Se realizó el plan de vuelo en función de la de la ubicación del área a representar, considerando los obstáculos de sus alrededores, la orografía del terreno, y la previsión meteorológica.

**Previsión meteorológica y precauciones que se tuvo en cuenta en las pruebas con cometas.**

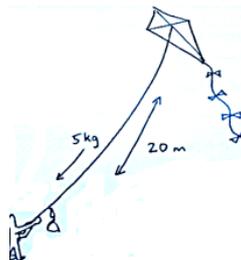
- Para que las imágenes sean nítidas se escogía días soleados.
- No se realizó las pruebas en condiciones de lluvia ya que estas dañarían la cámara y el GPS.
- Desde el lugar en donde se encontró el operador de la cometa se pudo siempre visualizar toda el área que se voló.
- Se escogió una hora del día con más viento.
- Dependiendo la ubicación del área a representar el operador de la cometa se colocó con el viento en contra procurando que la cometa quede sobre el área a fotografiar.
- Para el uso de la cometa se buscó que en el lugar existiesen vientos superiores a 10 kph.
- Se comprobó si en el área existen obstáculos, se debe buscar zonas despejadas para volar con cometas, un lugar alto, una colina despejada es un buen lugar.
- Se buscó apoyarse en imágenes de Google Earth, ortofotos IGM para ayudar en la planificación.
- Se tuvo la precaución de volar la cometa alejada de líneas eléctricas.
- Se debe tener en cuenta la privacidad de otros se debe consultar con las personas que se encuentran viviendo en el área, para el caso de los espacios públicos escogidos no hubo problema.
- Tener suficiente cuerda para conseguir una buena altitud.
- Asegurarse de estar a un mínimo de 5 km de distancia de un aeropuerto.
- Hacer un vuelo de prueba en primer lugar, sin una cámara.
- Cortar un poco de pasto y lanzarlo al aire para mirar la dirección del viento.
- Al utilizar la cometa, se debe estar seguro de que haya al menos 5 kg de fuerza del jalón y dejar escapar 20 metros de cuerda antes de adjuntar la cámara.



**Debe existir suficiente viento que eleve la cometa**



**Mirar la dirección del viento**



**Al menos con 5kg de fuerza de jalón y 20 metros de altura para elevar la cámara.**

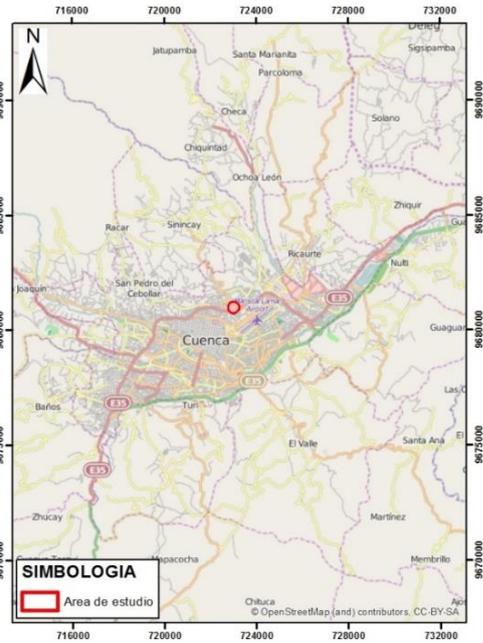
**FIGURA 25. Precauciones en las pruebas con cometas.**

**Prueba 1. Parque Miraflores ciudad de Cuenca.**

**AREA DE ESTUDIO**



**UBICACION GENERAL**



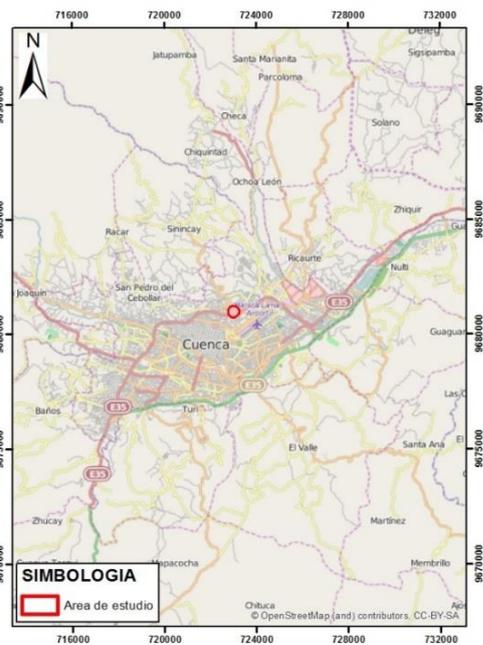
**Área a cubrir 88.339 m<sup>2</sup> (8,83 hectáreas).**

**Prueba 2. Parque Miraflores ciudad de Cuenca.**

**AREA DE ESTUDIO**

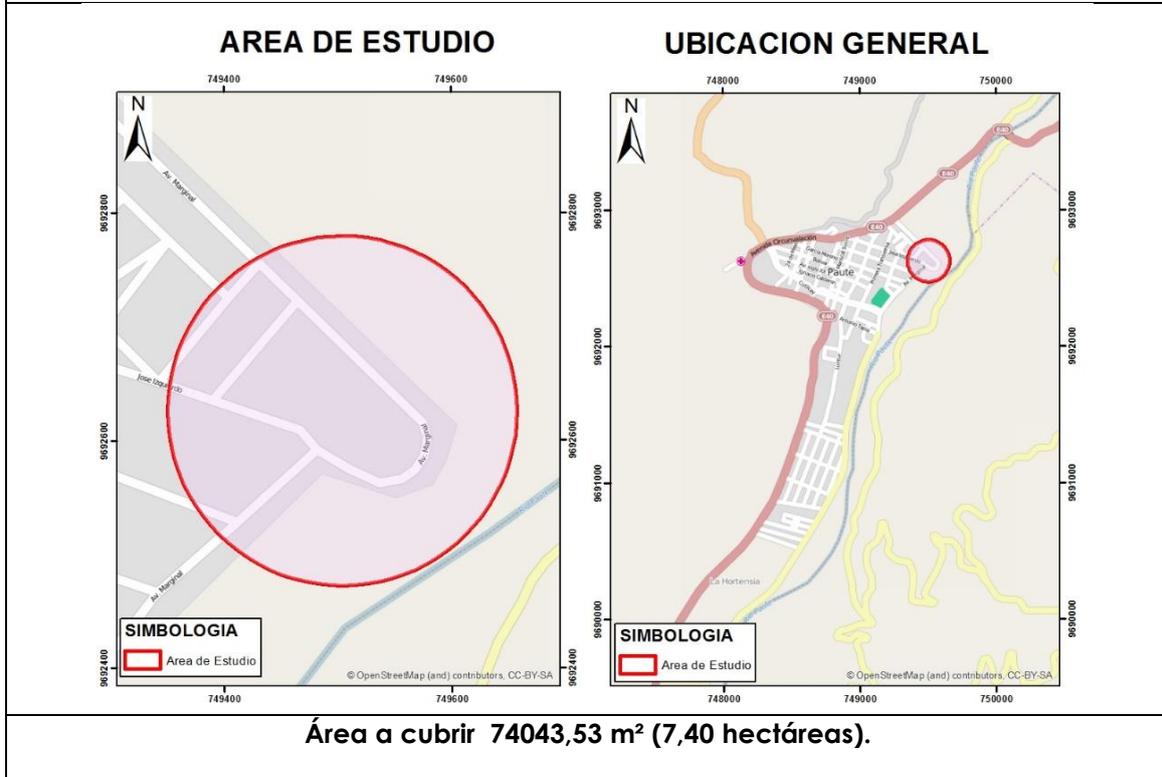


**UBICACION GENERAL**



**Área a cubrir 88.339 m<sup>2</sup> (8,83 hectáreas).**

**Prueba 3. Terminal Terrestre de la ciudad de Paute.**



**TABLA 16. Ubicación y extensión a representar.**

**Orografía o relieve a representar.**

Las áreas de estudio dentro de las 3 pruebas realizadas se encuentran ubicados en lugares con pendientes muy leves de 0-12 % a las cuales se las describe como pendientes onduladas.

En todas las pruebas se tiene un campo de visión de toda el área a volar.

Para las pruebas con cometas no se estimó el GSD debido a que no se puede estimar la altura de vuelo ya que esta dependerá de las condiciones climáticas de viento en el día de la prueba.

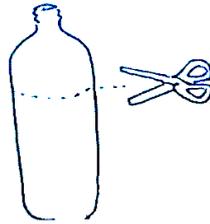
**7.2.2.2.- Preparación de los equipos de vuelo.**

Se construyó la capsula que contendría la cámara la cual se la hizo utilizando una botella de plástico.

La botella servirá de cubierta protectora sencilla que evitara que la lente golpee el suelo, y además protege la cámara de golpes contra paredes, árboles u otros obstáculos.

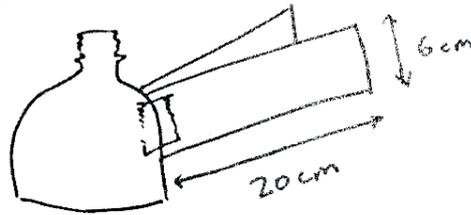
El procedimiento para elaborar la capsula consistió en:

- Cortar una botella de refresco o agua por la mitad.



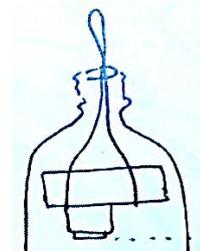
**FIGURA 26. Cortar una botella.**

- Usar el resto de la botella para hacer unas "alas" para estabilizar la cápsula en el viento.
- Realizar unas pequeñas perforaciones en la botella las cuales servirán para colocar las "alas".
- Cortar tiras largas las cuales se doblaran por la mitad y manteniéndolas rectas para formar las alas.



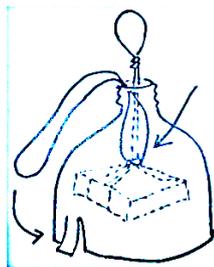
**FIGURA 27. Hacer unas alas con el resto de la botella.**

- Ajustar con las bandas elásticas la cámara y ponerla en el interior de la botella en la parte superior pasando la banda elástica a través del cuello de la botella.



**FIGURA 28. Ajuste de bandas elásticas y cámara a la botella.**

- Cortar en el extremo inferior de la botella formando una pequeña ceja o sujetador el cual servirá para ajustar la banda elástica que contiene la cámara.



**FIGURA 29. Ceja o sujetador para las bandas elásticas.**

- Hacer unas pequeñas perforaciones en el cuello de la botella las cuales servirán para ensartar unos pedazos de hilo formando lazos que servirán de sujetador de la botella con el mosquetón.



**FIGURA 30. Capsula que contendrá la cámara.**

- Colocar el mini GPS usado para estas pruebas en el mosquetón.



**FIGURA 31. Capsula con el GPS y la cámara.**

Preparar las capsulas elaboradas de botellas de plástico utilizadas en las pruebas con cometas.		
Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Botella de 2 litros.</li> <li>- Bandas elásticas.</li> <li>- Pedazos de cuerda para formar lazos.</li> <li>- Cámara Go Pro Hero 3 Black.</li> <li>- Mini GPS marca QSTARZ.</li> <li>- Mosquetón.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Botella de 1 litro.</li> <li>- Bandas elásticas.</li> <li>- Pedazos de cuerda para formar lazos.</li> <li>- Cámara Go Pro Hero 3 Black.</li> <li>- Mini GPS marca QSTARZ.</li> <li>- Mosquetón.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Botella de 1 litro.</li> <li>- Bandas elásticas.</li> <li>- Pedazos de cuerda para formar lazos.</li> <li>- Cámara Go Pro Hero 3 Black.</li> <li>- Mini GPS marca QSTARZ.</li> <li>- Mosquetón.</li> </ul>
		

<b>Encender y configurar la cámara para tomar las fotografías.</b>		
<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>
<p>- Cámara GoPro Hero 3. -Configurada a 12 megapíxeles con disparo automático cada 0,5 segundos.</p>	<p>-Cámara GoPro Hero 3. -Configurada a 12 megapíxeles con disparo automático cada 0,5 segundos.</p>	<p>- Cámara GoPro Hero 3. -Configurada a 12 megapíxeles con disparo automático cada 0,5 segundos.</p>
		
<b>Encender y configurar el GPS.</b>		
<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>
<p>- Mini GPS marca QSTARZ. -GPS liviano y fácil de ajustar a la capsula. -Se configuro para que tome lectura de coordenadas cada segundo.</p>	<p>Mini GPS marca QSTARZ. -GPS liviano y fácil de ajustar a la capsula. -Se configuro para que tome lectura de coordenadas cada segundo.</p>	<p>Mini GPS marca QSTARZ. -GPS liviano y fácil de ajustar a la capsula. -Se configuro para que tome lectura de coordenadas cada segundo.</p>
		

**TABLA 17. Preparación de los equipos de vuelo.**

### 7.2.2.3.- Apoyo topográfico.

Para la correcta georreferenciación de la ortofotografía a conseguir es necesario igual en las pruebas con cometas la obtención de posiciones precisas de determinados puntos sobre el terreno. Estos puntos servirán para transformar el modelo fotogramétrico en modelo del terreno.

Además de obtener la posición de los puntos sobre el terreno, estos también deben identificarse claramente en las fotografías, para poder establecer una correcta correlación.

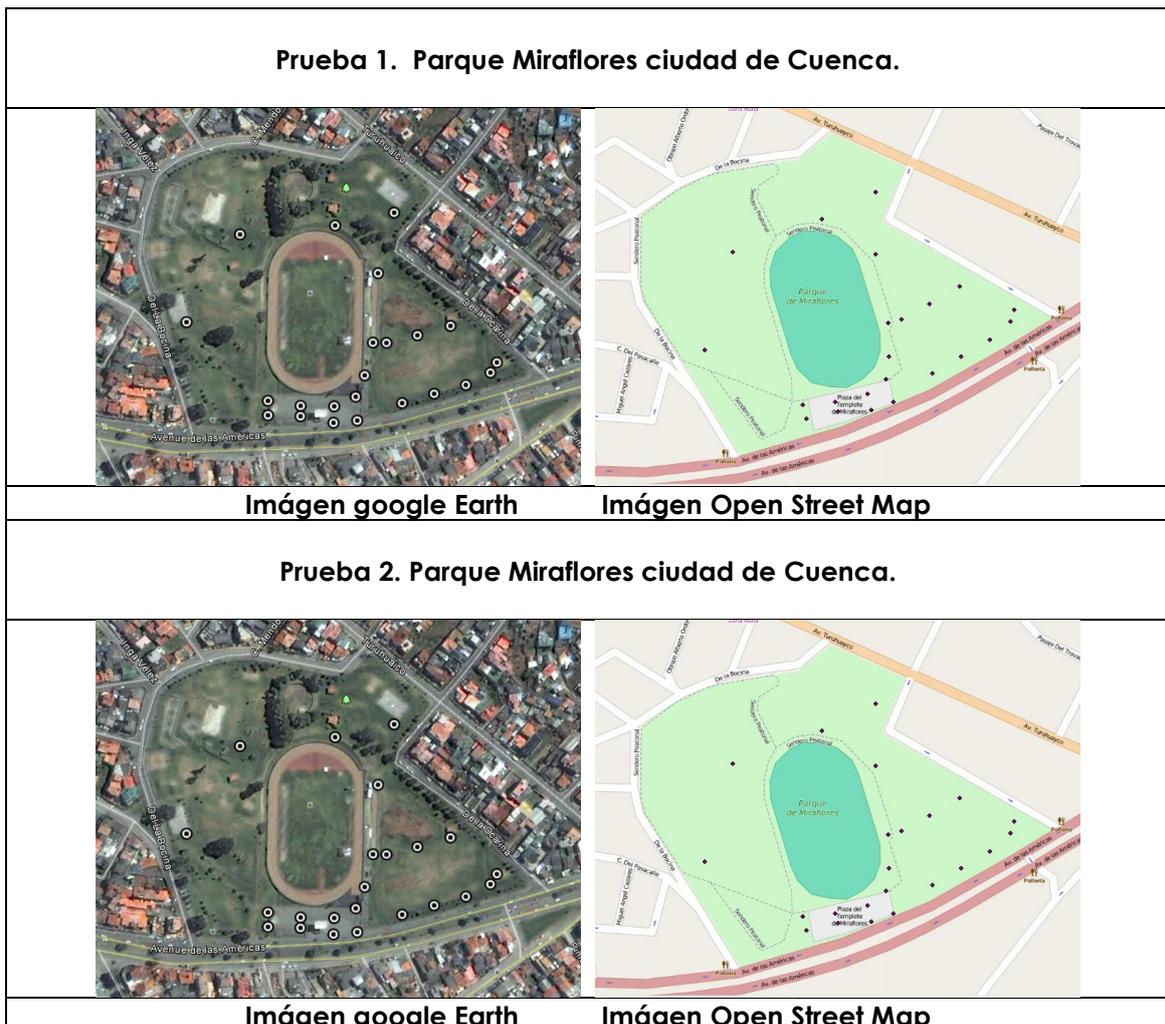
Para las pruebas 1 y 2 con cometas se usaron los mismos puntos de apoyo que se utilizaron para las pruebas con drones en el parque Miraflores, los cuales están

repartidos en la zona y son claramente identificables, además estos puntos ya fueron anteriormente sometidos a un postproceso.

Para la prueba 3 en el terminal terrestre de Paute se escogió elementos fijos en las zonas de estudio fácilmente visibles para los puntos de apoyo, estos puntos fueron luego sometidos también a un postproceso.



**FIGURA 32. Levantamiento usando GPS diferencial en el Terminal de Paute.**



**Prueba 3. Terminal Terrestre de la ciudad de Paute.**



**Imágen google Earth**

**Imágen Open Street Map**

**TABLA 18. Distribución de los puntos de apoyo topográfico.**

**7.2.2.4.- Vuelo y toma fotográfica.**

Luego de la fase anterior, se realizan las fotos aéreas usando la cometa, después de verificar que se cuenta con las condiciones de viento necesarias y que no existen obstáculos en el lugar como tendidos eléctricos, árboles, etc, se eleva primero la cometa y se va soltando la bobinadora con el hilo hasta que la cometa se eleve unos 20 metros aproximadamente, debe estimarse que exista un jalón aproximado de 5 kg para que se pueda elevar la cámara, esta se enciende y configura al igual que el GPS, luego se engancha la botella de plástico que contendrá la cámara y GPS al hilo de la cometa usando el mosquetón. Poco a poco se va soltando la bobinadora con el hilo hasta que la cometa tenga una altura adecuada que cubra el área a fotografiar.

Si no existen obstáculos en el área se puede mover tratando que la cometa cubra un poco más de la superficie. Luego de tomar las fotos necesarias enrollar el hilo hasta alcanzar la botella con la cámara y GPS, soltar el mosquetón para liberar la botella, apagar los equipos y seguir enrollando el hilo hasta bajar totalmente la cometa.

Tras finalizar el vuelo se realizará la descarga de datos GPS y fotografías para el posterior procesamiento de dicha información.

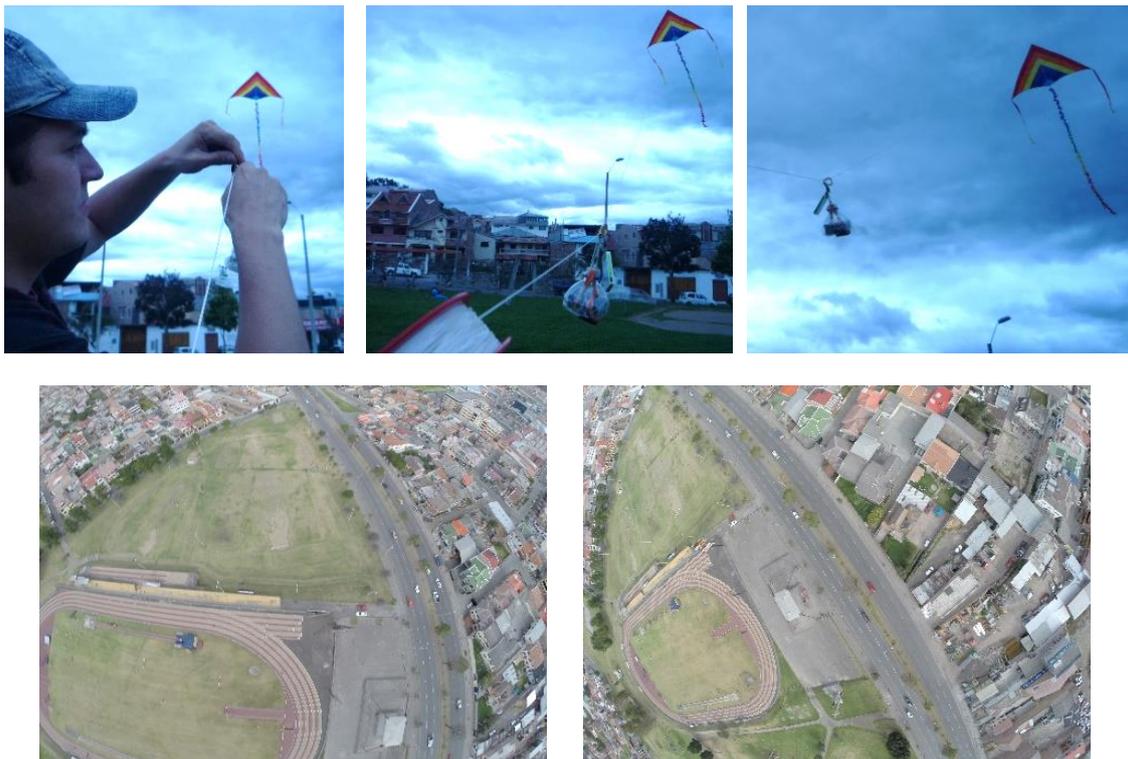
**Prueba 1. Parque Miraflores ciudad de Cuenca.**





Fotografías del primer vuelo usando cometas, las fotografías salieron opacas debido a que la botella que se usó como capsula era muy grande, se configuró la cámara a 12 megapíxeles, hubo un problema de poca batería en el GPS por lo que no se grabó la ruta de vuelo, se tomaron 1990 fotografías, no se procesaron las imágenes debido a su mala calidad.

#### Prueba 2. Parque Miraflores ciudad de Cuenca.



Fotografías del segundo vuelo usando cometas, las fotografías salieron nítidas debido a que la botella que se usó como capsula era pequeña y quedaba a la altura del lente, se configuró la cámara a 12 megapíxeles, hubo problemas en obtener imágenes a una altura continua debido a los continuos cambios en los vientos, las lecturas del GPS dan como resultados valores muy cambiantes en las alturas, se tomaron 679 fotografías de las cuales se escogieron 59 que eran las que salieron verticales.

### Prueba 3. Terminal Terrestre de la ciudad de Paute.



Fotografías del tercer vuelo usando cometas, las fotografías salieron nítidas debido a que la botella que se usó como capsula era pequeña y quedaba a la altura del lente, se configuró la cámara a 12 megapíxeles, se pudo obtener mayor cantidad de imágenes a una altura continua debido a vientos estables, las lecturas del GPS dan resultados valores razonables en las alturas, se tomaron 558 fotografías de las cuales se escogieron 100 que eran las que salieron verticales y a una altura continua.

**TABLA 19. Vuelo y toma fotográfica.**

#### 7.2.2.5.- Procesado y cálculo.

Luego de tomadas las fotografías y procesadas las coordenadas obtenidas de los puntos de apoyo, se realiza el procesamiento de la información con el fin de obtener los parámetros de orientación de cada una de las fotografías.

Para la prueba 1 no se procesó la información debido a que las fotografías obtenidas salieron muy opacas, además que no se las pudo georreferenciar ya que el GPS no tomo las coordenadas ya que se apagó por baja batería.

En la prueba 2 en el parque de Miraflores de la ciudad de Cuenca, se usaron los mismos puntos de control que se usaron para las pruebas con drones en el mismo lugar, a los cuales también ya se les realizó un postproceso para corregir su posición.

Para la prueba 3 en el terminal terrestre de la ciudad de Paute, como ya se mencionó en la etapa de apoyo topográfico, se tomaron puntos de control a los cuales se les realizó un postproceso para corregir su posición.

**Postproceso de los puntos de apoyo tomados en campo.-** El proceso es el mismo descrito en el punto 5.1 de la metodología realizada con drones.

**Prueba 2. Parque Miraflores ciudad de Cuenca.**



**Ortografía del IGM**

**Prueba 3. Terminal terrestre de la ciudad de Paute.**

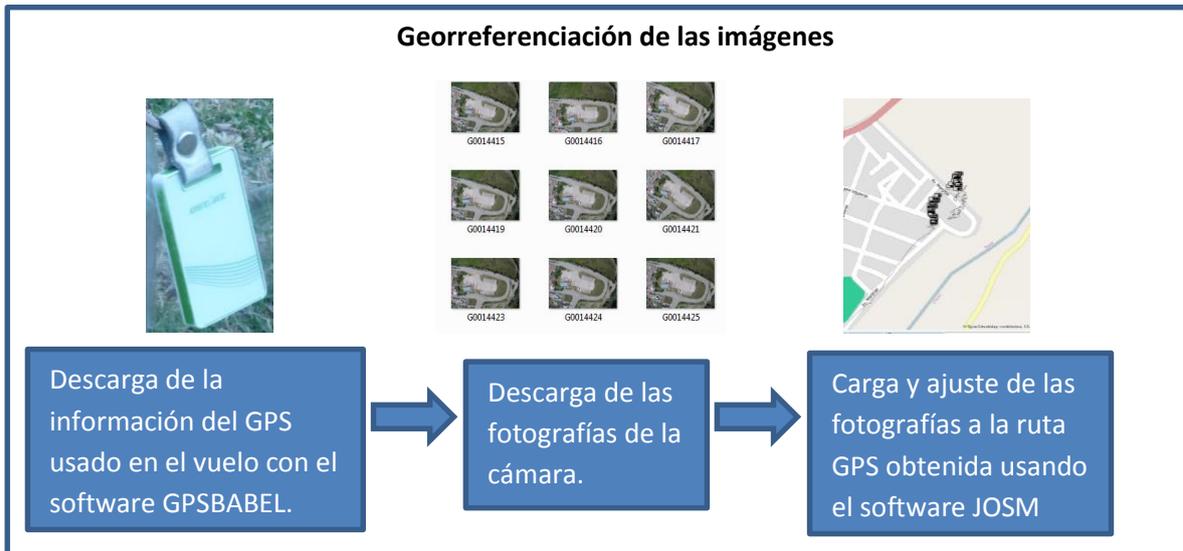


**Ortografía del IGM**

**TABLA 20. Puntos de apoyo procesados tomados en campo.**

**Georreferenciación de las imágenes.**- En las dos pruebas con cometas en las que se procesó la información, se ejecutó los mismos pasos para georreferenciar las imágenes que se utilizó en el punto 5.2 para los drones, debido a que la cámara usada no georreferencia las imágenes.

En resumen se realizó el siguiente proceso para georreferenciar las imágenes.



**FIGURA 33. Proceso de Georreferenciación de las imágenes.**

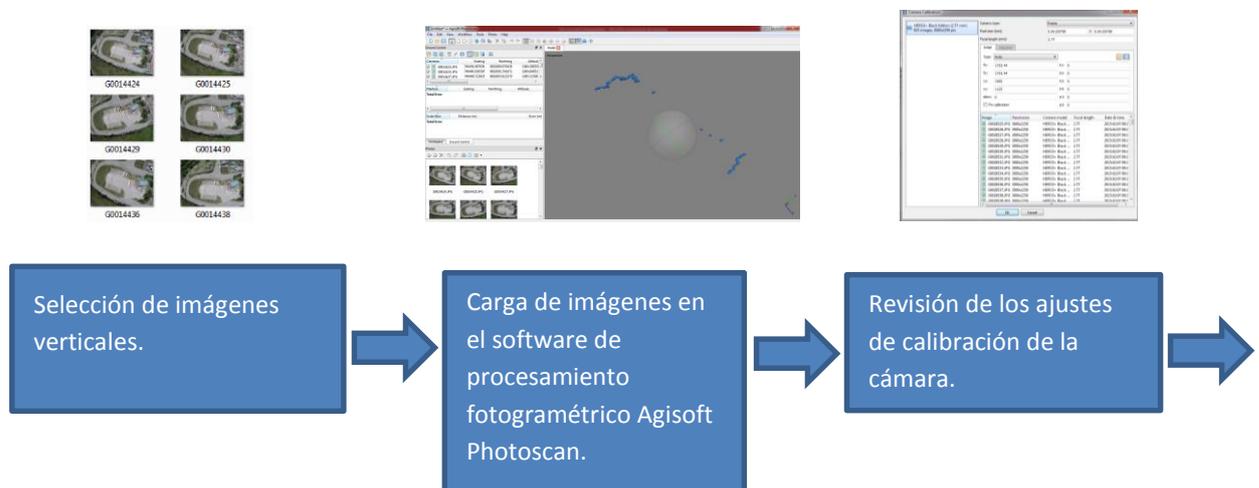
Utilizando la ruta del GPS usado en el vuelo, se ajustó las fotografías a la ruta GPS obtenida y al tiempo GPS utilizando el software JAVA OPEN STREET MAP (JOSM).

**Procesamiento de las imágenes y puntos de control en el software para generar la ortofotografía y el modelo digital de superficie MDS.**

El siguiente paso consiste en procesar estas fotografías con ayuda de un software fotogramétrico para poder obtener la ortofotografía y el modelo digital de superficie.

El procesamiento realizado es el mismo que se hizo en el punto 5.3 para los drones.

Todo el proceso se resume en el siguiente esquema.





**FIGURA 34. Esquema del procesamiento de imágenes y puntos de control para obtener la ortofotografía y modelo digital de superficie.**

### 7.3 GLOBOS CON HELIO.

Las ventajas de este sistema son múltiples: por una parte, está el costo muy reducido comparado con otras técnicas tradicionales. Por otra parte, la altitud de trabajo del globo de helio cautivo es inferior a la posible con los otros medios mencionados. Esto nos permite realizar encuadres que de otra forma serían muy difíciles de obtener. Además, en algunas zonas urbanas, no está permitido volar con vehículos aéreos a baja altura debido al riesgo que ello implica, pero si está permitido la utilización de un globo aerostático de helio cautivo. Otra ventaja del globo cautivo es que es muy poco invasivo comparado con otros sistemas motorizados (tripulados o no): es silencioso, no contamina, y es muy seguro.

### 7.3.1 MATERIALES USADOS EN LA PRUEBA CON GLOBOS DE HELIO.

Prueba 1. Parque Miraflores de la ciudad de Cuenca	
	<p>Tres globos de cloropreno. Cintas para amarrar los globos. Un metro cúbico de helio.</p> <p style="text-align: center;"><b>\$ 70</b></p>
	<p>Cámara GoPro Hero 3 12 megapíxeles Cámara de gran angular.</p> <p style="text-align: center;"><b>\$ 350</b></p>
	<p>Mini GPS marca QSTARZ para deportistas modelo Q1300S-Qsports</p> <p style="text-align: center;"><b>\$ 140</b></p>
	<p>305 m de línea de hilo dacron en una bobinadora de aro de 8 pulgadas</p> <p style="text-align: center;"><b>\$ 30</b></p>
	<p>Guantes de lona</p> <p style="text-align: center;"><b>\$5</b></p>
	<p>Botella de plástico vacía de 1 lt</p> <p style="text-align: center;"><b>\$1</b></p>
	<p>Paquete de bandas elásticas</p> <p style="text-align: center;"><b>\$4</b></p>

	Mosqueton <b>\$3</b>
	Computador portátil DELL N4010 procesador CORE I5, 4GB RAM, 500 GB disco duro <b>\$ 700</b>
	Software Agisoft Photoscan Software Agisoft Lens <b>\$ 3000</b>
	Trimble GeoExplorer 2008 Series <b>\$ 3500</b>
	Antena de recepción GNSS <b>\$ 800</b>
	JOSM JAVA OpenStreetMap Editor versión 7480 software libre <b>\$ 0</b>
<b>TOTAL MATERIALES \$ 8603</b>	

**TABLA 21. Materiales usados en las pruebas con globos.**

### 7.3.2 METODOLOGÍA.

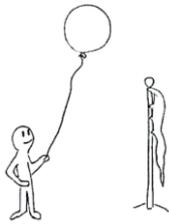
#### 7.3.2.1.- Plan de vuelo.

Se realizó el plan de vuelo en función de la de la ubicación del área a representar, considerando los obstáculos de sus alrededores, la orografía del terreno, y la previsión meteorológica.

#### **Previsión meteorológica y precauciones que se tuvo en cuenta en las pruebas con globos.**

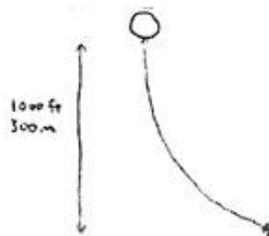
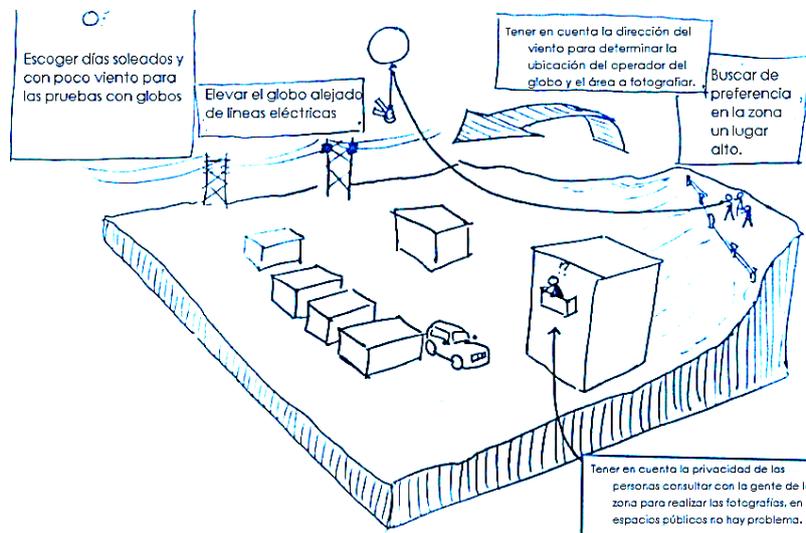
- Cortar un poco de pasto y lanzarlo al aire para mirar la dirección del viento.
- Para que las imágenes sean nítidas se escogía días soleados.
- No se realizó las pruebas en condiciones de lluvia ya que estas dañarían la cámara y el GPS.
- La prueba se realizó en la mañana en una hora de poco viento para que el globo se eleve perpendicular a la zona.
- Tener en cuenta la dirección del viento para determinar la ubicación del

- operador del globo y el área a fotografiar.
- Se comprobó si en el área existen obstáculos, se debe buscar zonas despejadas para volar con globos, buscar de preferencia en la zona un lugar alto.
  - Se debe poder visualizar siempre toda el área a volar.
  - Se buscó apoyarse en imágenes de Google Earth, ortofotos IGM para ayudar en la planificación.
  - Elevar el globo alejado de líneas eléctricas.
  - Tener suficiente cuerda para conseguir una buena altitud.
  - Se debe estar seguro de que haya suficiente cantidad de helio para elevar la cámara y el GPS, es necesario al menos 1 metro cúbico de helio para elevar 1,022 kg, la cámara y el GPS juntos pesan 700 gramos.
  - Tener en cuenta la privacidad de las personas consultar con la gente de la zona para realizar las fotografías, en espacios públicos no hay problema.



**Debe existir poco viento para elevar el globo**

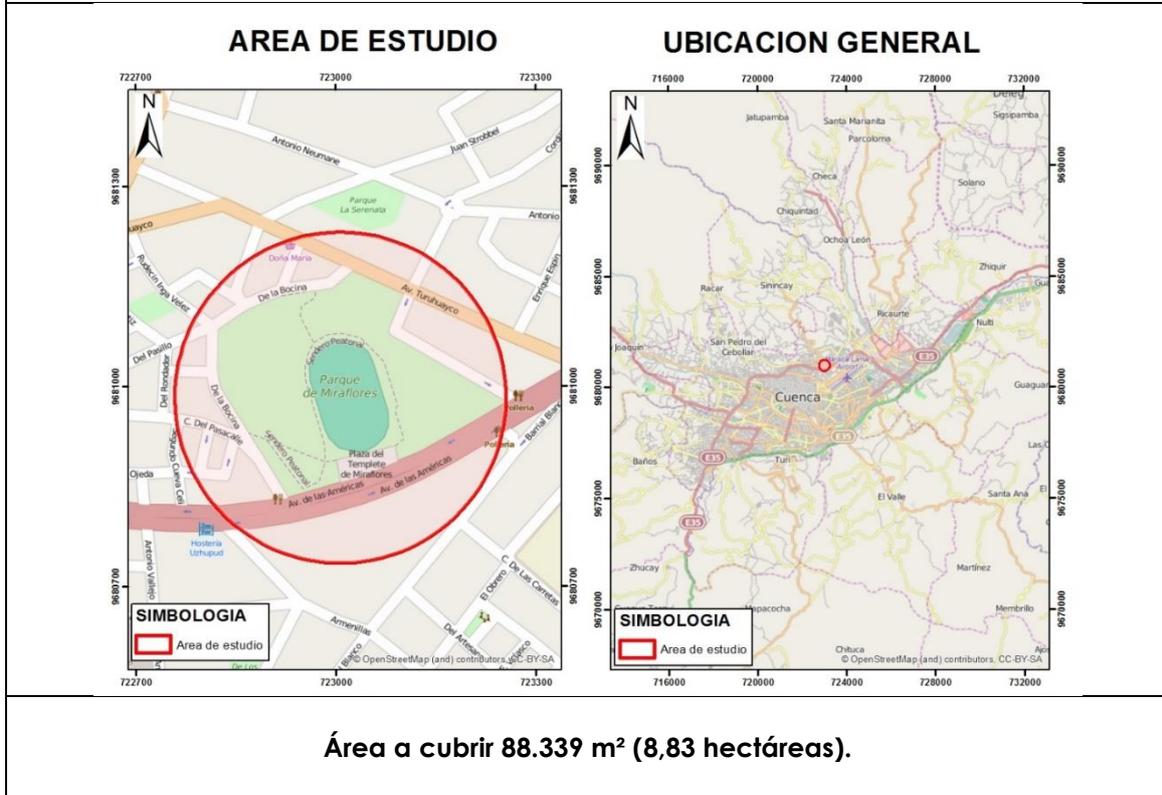
**Mirar la dirección del viento**



**Suficiente cuerda.**

**FIGURA 35. Precauciones en las pruebas con globos.**

**Prueba 1. Parque Miraflores ciudad de Cuenca.**



**TABLA 22. Ubicación y extensión a representar.**

**Orografía o relieve a representar.**

El área de estudio para la prueba realizada con globos de helio se la realizó en el Parque Miraflores este lugar tiene pendientes muy leves de 0-12 % a las cuales se las describe como pendientes onduladas.

En la prueba se tuvo un campo de visión de toda el área a volar.

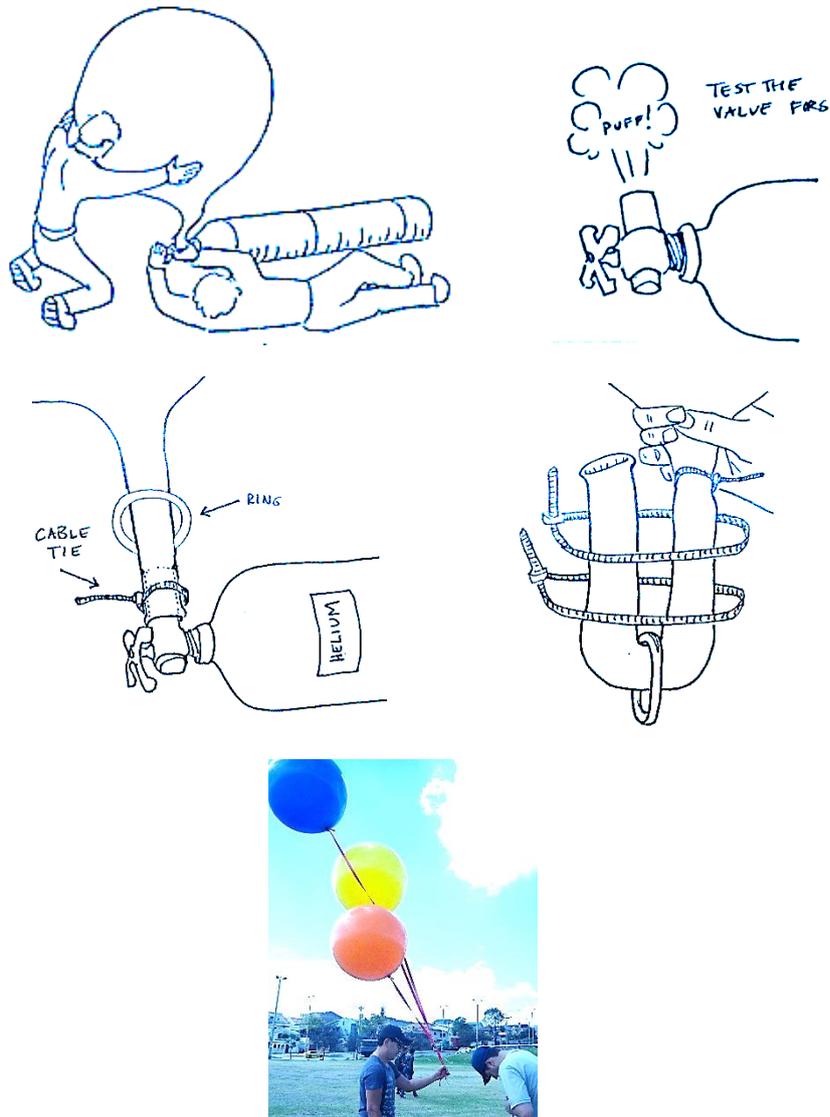
Para las pruebas con globos no se estimó el GSD debido a que no se podía estimar la altura de vuelo ya que esta dependerá de las condiciones climáticas en el día de la prueba.

**7.3.2.2.- Preparación de los equipos de vuelo.**

El primer paso es preparar los globos con helio para poder realizar la fotografía aérea para esto se siguieron los siguientes pasos:

- Se llenaron los globos con helio lentamente ya que este se puede rasgar ya que el helio es un gas frío.
- Se probó la válvula, se puso el tanque en el suelo.
- Se utilizó un regulador para medir la cantidad de helio con la que se inflaba los globos.
- Los tres globos de helio usado contenían 1,3 metros cúbicos de helio lo que era

- suficiente para elevar la cámara y el globo que pesaban 830 gramos.
- Se colocó un anillo de caucho a través del cuello del globo.
  - En el llenado el cuello del globo necesito ser apretado para no dejar escapar el helio, se usó un cable de ajustar.
  - Cuando se finalizó el llenado de helio se cerró con un lazo de cable.
  - Se dobló el cuello del globo sobre sí mismo.
  - Se ajustó dos ataduras más de cables con fuerza.
  - Fijar el anillo a las cintas de amarre.
  - Amarrar los globos entre sí con cintas para globos.



**FIGURA 36. Preparación de los globos de helio para la fotografía aérea.**

Se utilizó la misma capsula elaborada con la botella de plástico en las pruebas anteriores la cual contendrá la cámara y el GPS.

La botella servirá de cubierta protectora que evitara que la lente golpee el suelo, y además protege la cámara de golpes contra paredes, árboles u otros obstáculos.



**FIGURA 37. Preparación de la capsula que contendrá la cámara y el GPS.**

Configuración de la cámara, GoPro Hero 3 black edition configurada a 12 megapíxeles con disparo automático cada 0,5 segundos.



**FIGURA 38. Configuración cámara.**

Configuración del mini GPS marca QSTARZ, GPS liviano y fácil de ajustar a la capsula. Se configuro para que tome lectura de coordenadas cada segundo.



**FIGURA 39. Configuración GPS.**

### **7.3.2.3.- Apoyo topográfico.**

Es necesario igual que en las pruebas anteriores la obtención de posiciones precisas de determinados puntos sobre el terreno. Estos puntos servirán para transformar el modelo fotogramétrico en modelo del terreno.

Además de obtener la posición de los puntos sobre el terreno, estos también deben identificarse claramente en las fotografías, para poder establecer una correcta correlación.

Para las pruebas con globos se usaron los mismos equipos y los mismos puntos de apoyo que se utilizaron para las pruebas con drones y cometas en el parque Miraflores, los cuales están repartidos en la zona y son claramente identificables, además estos puntos ya fueron anteriormente sometidos a un postproceso.

**Prueba 1. Parque Miraflores ciudad de Cuenca.**



**Imágen Google Earth**

**Imágen Open Street Map**

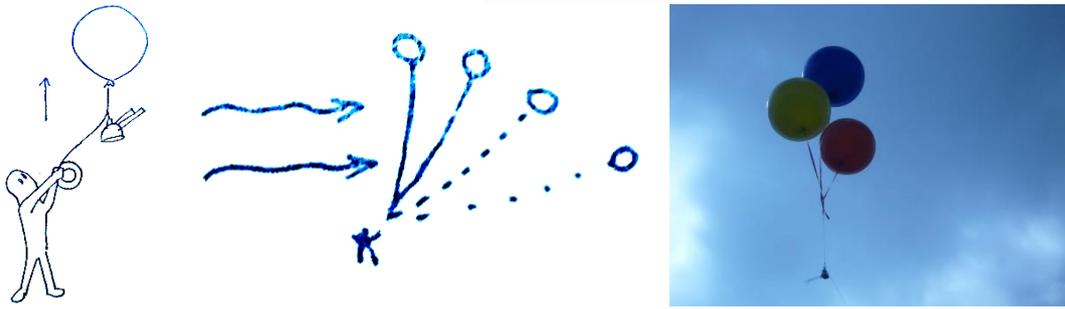
**TABLA 23. Distribución de los puntos de apoyo topográfico.**

**7.3.2.4.- Vuelo y toma fotográfica.**

Luego de la fase anterior se realizan las fotos aéreas usando los globos con helio, luego de haber inflado los globos y amarrarlos con cinta se sujeta la capsula que contiene el GPS y la cámara a la cinta usando un mosquetón de modo que la cámara quede enganchada debajo de los globos y se va soltando la bobinadora con el hilo para que el globo suba lo más rápido que se pueda ya que el viento empujara el globo hacia abajo tan pronto como se deje de elevar.



**FIGURA 40. Sujetar con mosquetón. Enganchar la cámara y GPS debajo de los globos.**



**FIGURA 41. Elevar el globo rápidamente.**

Si no existen obstáculos en el área se puede mover el operador del globo en el área tratando de cubrir un poco más de la superficie. Tener presente la dirección del viento la cual debe estar en contra al operador.



**FIGURA 42. Vuelo y toma fotográfica.**



**FIGURA 43. Fotografías desde globos con helio, 877 fotografías tomadas de las cuales se escogieron 107 para procesar.**

Luego de tomar las fotos necesarias enrollar el hilo hasta alcanzar la botella con la cámara y GPS, soltar el mosquetón para liberar la botella, apagar los equipos y si no se va a realizar más fotografías desinflar los globos. El helio contenido en los globos puede durar hasta dos días luego de los cuales pierde presión del helio y necesitarían ser inflados nuevamente.

Tras finalizar el vuelo se realizará la descarga de datos GPS y fotografías para el posterior procesamiento de dicha información.

### 7.3.2.5.- Procesado y cálculo.

Luego de tomadas las fotografías y procesadas las coordenadas obtenidas de los puntos de apoyo, se realiza el procesamiento de la información con el fin de obtener los parámetros de orientación de cada una de las fotografías.

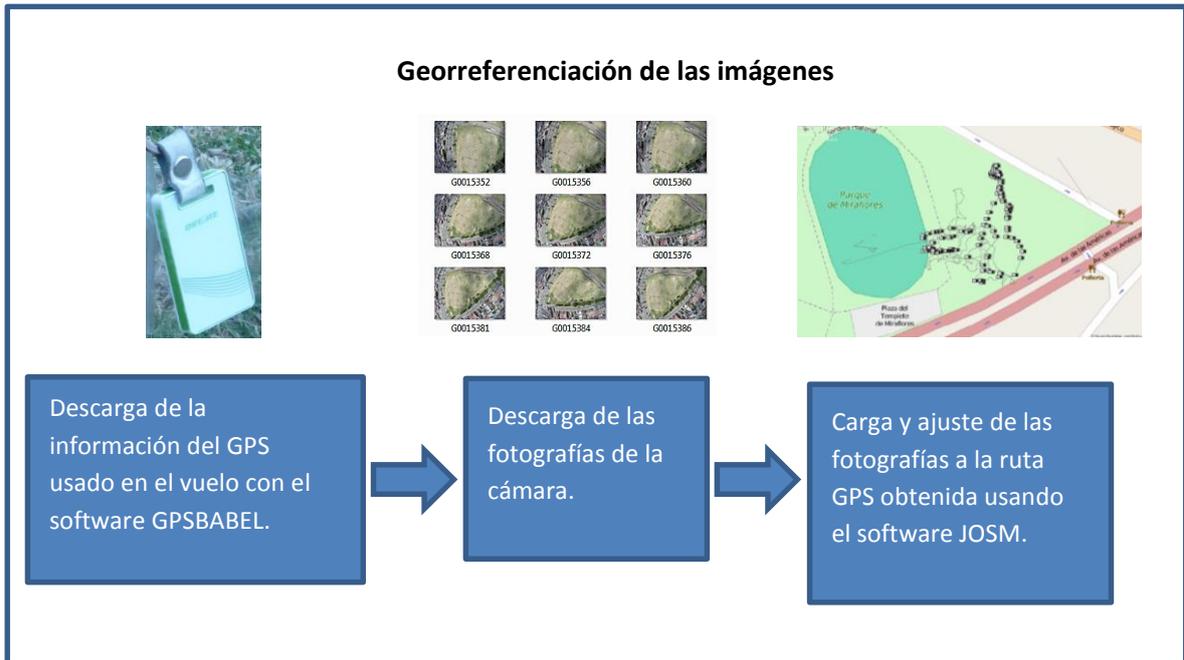
**Postproceso de los puntos de apoyo tomados en campo.-** El proceso es el mismo descrito en el punto 5.1 de la metodología realizada con drones y cometas.



**TABLA 24. Puntos de apoyo procesados tomados en campo.**

**Georreferenciación de las imágenes.-** En la prueba con globos así como en las anteriores pruebas con cometas y drones se realizó el siguiente proceso para georreferenciar las imágenes, el cual está descrito con mayor detalle en el punto 5.2 de georreferenciación de imágenes en las pruebas con drones y cometas.

En resumen se realizó el siguiente proceso para georreferenciar las imágenes.



**FIGURA 44. Georreferenciación de las imágenes.**

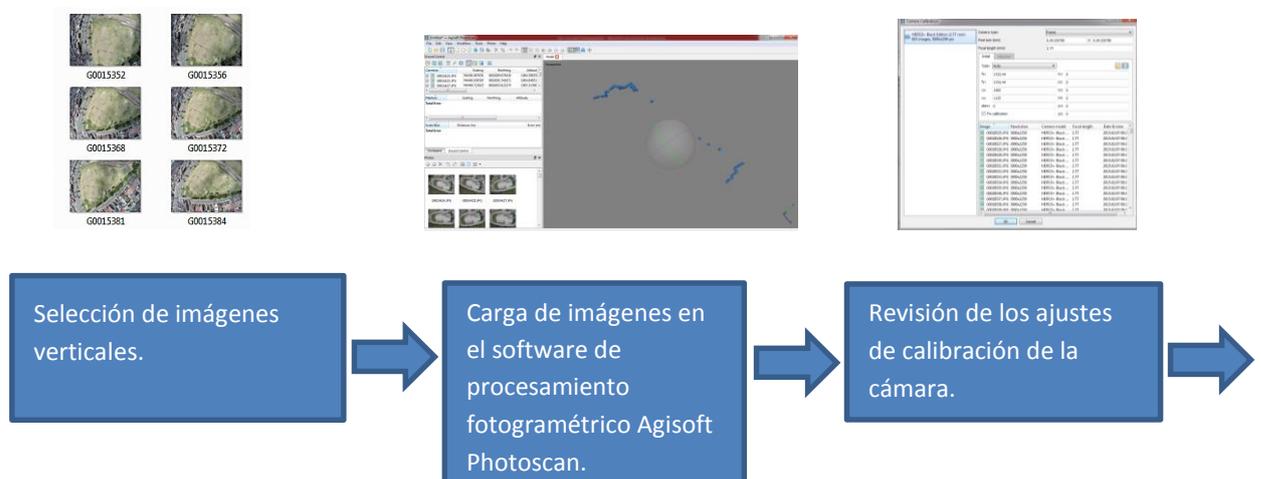
Utilizando la ruta del GPS usado en el vuelo, se ajustó las fotografías a la ruta GPS obtenida y al tiempo GPS utilizando el software JAVA OPEN STREET MAP (JOSM).

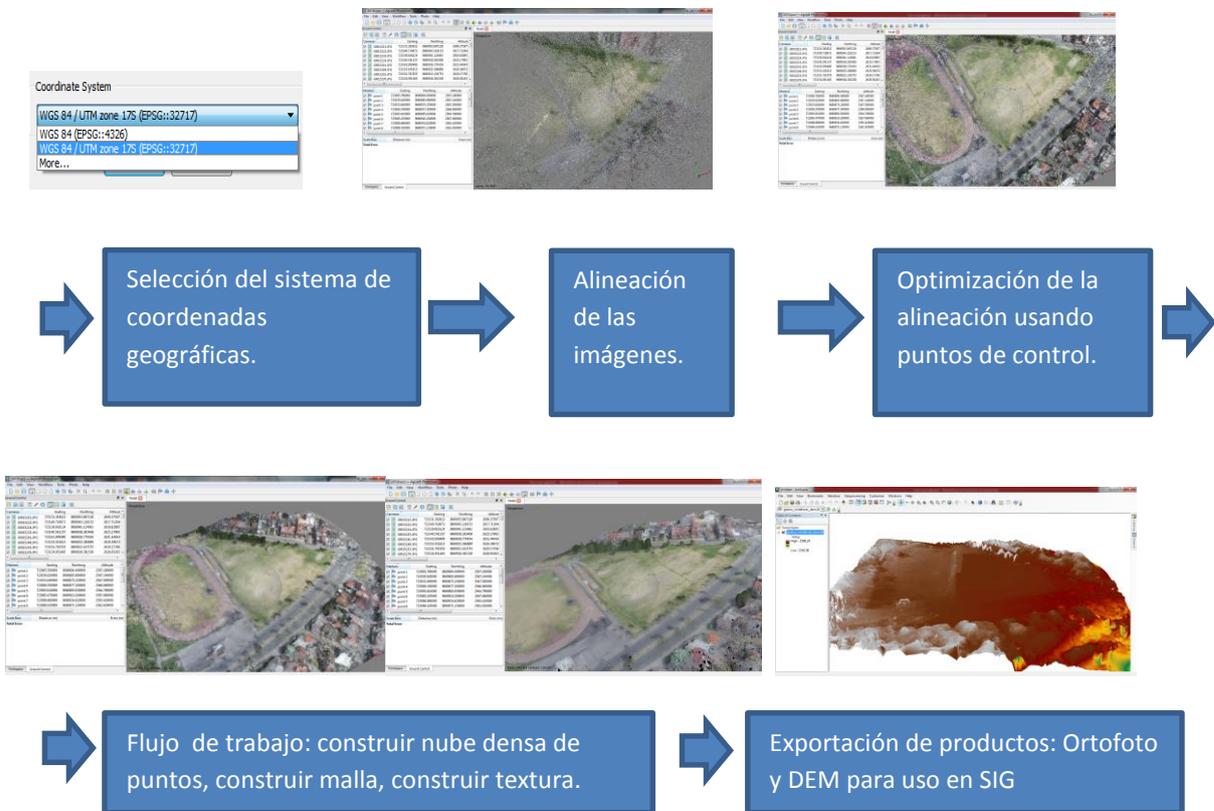
#### **Procesamiento de las imágenes y puntos de control en el software para generar la ortofotografía y el modelo digital de superficie MDS.**

El siguiente paso consiste en procesar estas fotografías con ayuda de un software fotogramétrico para poder obtener la ortofotografía y el modelo digital de superficie, se utilizó el software Agisoft Photoscan Profesional.

El procesamiento realizado es el mismo que se hizo en el punto 5.3 para los drones y cometas.

Todo el proceso se resume en el siguiente esquema.





**FIGURA 45. Esquema del procesamiento de imágenes y puntos de control para obtener la ortofotografía y modelo digital de superficie.**

## 8. RESULTADOS.

Una vez obtenidos los parámetros de orientación externa de cada una de las fotografías y luego de procesarlas con un software fotogramétrico se obtiene como productos el ortomosaico (ortofoto) y el MDS o modelo digital de superficie ahora ya podemos empezar a medir sobre las fotografías.

### 8.1 ORTOFOTOGRAFÍA U ORTOMOSAICO.

Se le conoce también como Ortofoto u Ortoimagen y es el proceso de integración de varias imágenes fotográficas geográficamente corregidas y geo-referenciadas para formar una representación fotográfica continua de una parte de la superficie de la tierra.

### 8.2 MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (MDS).

Proceso mediante el cual se genera una representación espacial de las elevaciones de la superficie terrestre en coordenadas X, Y y Z.

Contiene toda la información geométrica de la zona de estudio. Es un verdadero modelo 3D del terreno y de los edificios que en él pueda haber.

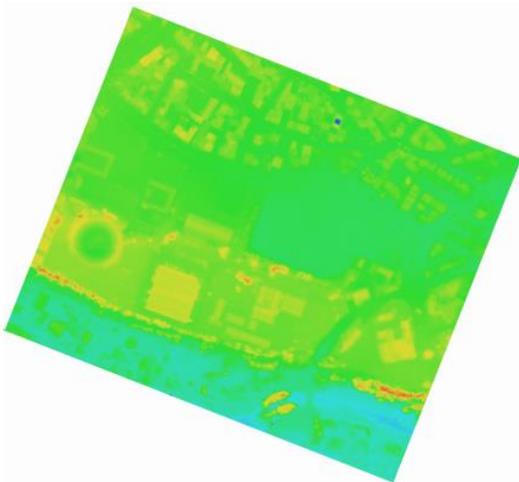
### 8.3 ORTOFOTOS Y MDS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS CON DRONES.

#### Prueba 1 (Dji Phantom 1) Instalaciones de SENPLADES ciudad de Cuenca.



#### ORTOFOTO.

**Número de imágenes usadas:** 679  
**Altura de vuelo promedio:** 100,91 m  
**Resolución en tierra:** 4,39 cm/pixel  
**Área cubierta:** 330.355,0 m<sup>2</sup> ó 33,0355 ha  
**Área utilizable:** 23,14 ha  
**Porcentaje del área utilizable:** 70,05%  
**Error:** 2,4182 pixeles  
**Modelo de la cámara:** HERO3+ Black Edition (2,77 mm)  
**Resolución de las imágenes:** 3000 x 2250  
**Distancia Focal:** 2,77 mm  
**Tamaño del Pixel:** 1,59798 x 1,59798 um



#### MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE

**Resolución:** 17,55 cm/pixel  
**Densidad de puntos:** 32,47 puntos por metro cuadrado



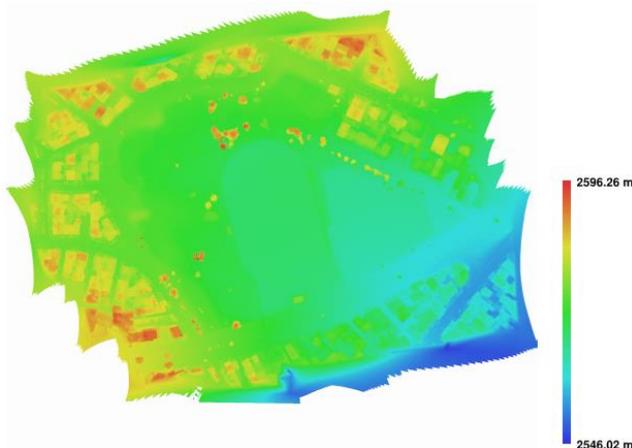
**Prueba 2. (Dji Phantom 2) Parque Miraflores ciudad de Cuenca.**

**Vuelo 1 cámara configurada a 7 megapíxeles**



**ORTOFOTO.**

**Número de imágenes usadas:** 815  
**Altura de vuelo promedio:** 73,31 m  
**Resolución en tierra:** 3,36 cm/píxel  
**Área cubierta:** 238.561,0 m<sup>2</sup> ó 23,8561 ha  
**Área utilizable:** 16,72 ha  
**Porcentaje del área utilizable:** 70,08%  
**Error:** 1,18808 píxeles  
**Modelo de la cámara:** HERO3+ Black Edition (2,77 mm)  
**Resolución de las imágenes:** 3000 x 2250  
**Distancia Focal:** 2,77 mm  
**Tamaño del Pixel:** 1,59798 x 1,59798 um



**MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE**

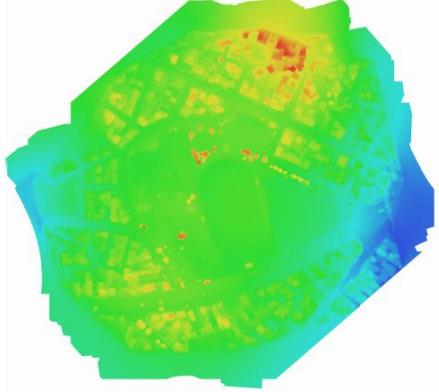
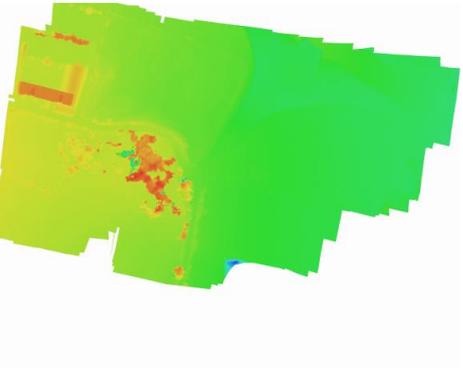
**Resolución:** 13,42 cm/píxel  
**Densidad de puntos:** 55,52 puntos por metro cuadrado

**Vuelo 2 cámara configurada a 12 megapíxeles**



**ORTOFOTO.**

**Número de imágenes usadas:** 413  
**Altura de vuelo promedio:** 139,63 m  
**Resolución en tierra:** 5,84 cm/píxel  
**Área cubierta:** 414.223,0 m<sup>2</sup> ó 41,4223 ha  
**Área utilizable:** 28,63 ha  
**Porcentaje del área utilizable:** 69,12%  
**Error:** 1,18212 píxeles  
**Modelo de la cámara:** HERO3+ Black Edition (2,77 mm)  
**Resolución de las imágenes:** 4000 x 3000  
**Distancia Focal:** 2,77 mm  
**Tamaño del Pixel:** 1,59798 x 1,59798 um

	<p><b>MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE</b></p> <p><b>Resolución:</b> 23,36 cm/píxel  <b>Densidad de puntos:</b> 18,32 puntos por metro cuadrado</p>
<p><b>Prueba 3. (Aeryon Scout) Predio vía a Cumbaya ciudad de Quito.</b></p>	
 <p>AREA UTILIZABLE</p>	<p><b>ORTOFOTO.</b></p> <p><b>Número de imágenes usadas:</b> 110  <b>Altura de vuelo promedio:</b> 184,97 m  <b>Resolución en tierra:</b> 5,22 cm/píxel  <b>Área cubierta:</b> 197.010,0 m<sup>2</sup> ó 19,701 ha  <b>Área utilizable:</b> 17,43 ha  <b>Porcentaje del área utilizable:</b> 88,48%  <b>Error:</b> 0,440089 píxeles  <b>Modelo de la cámara:</b>          BOARD_MT9P031_SUNEX (7.5 mm)  <b>Resolución de las imágenes:</b> 2592 x 1944  <b>Distancia Focal:</b> 7,5 mm  <b>Tamaño del Pixel:</b> 2,2 x 2,2 <math>\mu</math>m</p>
	<p><b>MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE</b></p> <p><b>Resolución:</b> 20,89 cm/píxel  <b>Densidad de puntos:</b> 22,91 puntos por metro cuadrado</p>

**TABLA 25. Ortofotos y MDS obtenidos en las pruebas con drones.**

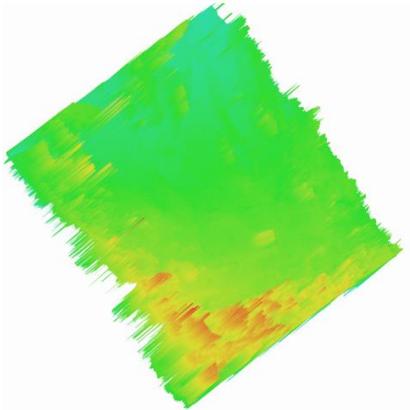
## 8.4 ORTOFOTOS Y MDS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS CON COMETA.

### Prueba 2. Parque Miraflores ciudad de Cuenca.



#### ORTOFOTO.

**Número de imágenes usadas:** 34  
**Altura de vuelo promedio:** 189 m  
**Resolución en tierra:** 5,99 cm/pixel  
**Área cubierta:** 43.597,0 m<sup>2</sup> ó 4,3597 ha  
**Error:** 438,59 píxeles  
**Modelo de la cámara:** HERO3+ Black Edition (2,77 mm)  
**Resolución de las imágenes:** 4000 x 3000  
**Distancia Focal:** 2,77 mm  
**Tamaño del Pixel:** 1,59798 x 1,59798 um



#### MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE

**Resolución:** 5,99 cm/pixel  
**Densidad de puntos:** 278,64 puntos por metro cuadrado

En esta prueba no se obtuvieron buenos resultados:

- Los vientos no eran continuos, por momentos se producían vacíos que hacían descender la cometa y también los vientos fuertes la elevaban mucho, esto producía una continua variación en la altura de vuelo que no

estabilizaba la cometa.

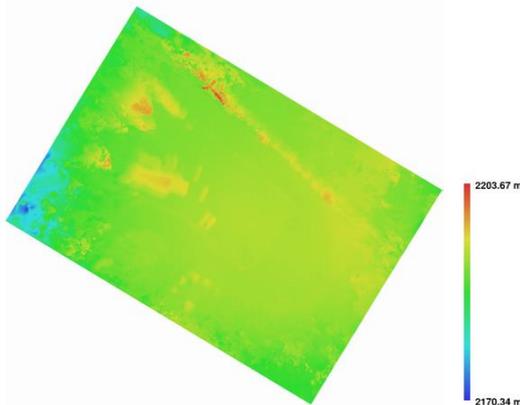
- Los saltos bruscos dieron también como resultado que las coordenadas tomadas por el GPS que estaba junto con la cámara no sean correctas sobre todo en alturas.
- Las fotografías obtenidas luego de ser georreferenciadas con las coordenadas tomadas por el GPS en el aire dieron como resultado una ortofotografía y modelo digital de superficie de mala calidad.
- Los puntos de control tomados en tierra permitieron que la ortofotografía y MDS salgan bien ubicados.
- Los resultados obtenidos en esta prueba no sirven como productos para ser utilizados debido a la distorsión que existe en la ortofoto obtenida.

**Prueba 3. Terminal Terrestre de la ciudad de Paute.**

**ORTOFOTO.**



**Número de imágenes usadas:** 100  
**Altura de vuelo promedio:** 130 m  
**Resolución en tierra:** 4,12 cm/píxel  
**Área cubierta:** 40.853,1 m<sup>2</sup> ó 4,08531 ha  
**Área utilizable:** 2,04 ha  
**Porcentaje del área utilizable:** 49,88%  
**Error:** 39,86 píxeles  
**Modelo de la cámara:** HERO3+ Black Edition (2,77 mm)  
**Resolución de las imágenes:** 4000 x 3000  
**Distancia Focal:** 2,77 mm  
**Tamaño del Pixel:** 1,59798 x 1,59798  $\mu$ m



**MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE**

**Resolución:** 16,46 cm/píxel  
**Densidad de puntos:** 36,89 puntos por metro cuadrado

**TABLA 26. Ortofotos y MDS obtenidos en las pruebas con cometas.**

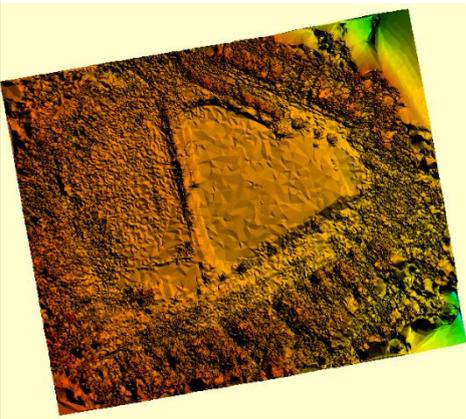
**8.5 ORTOFOTOS Y MODELOS DIGITALES DE SUPERFICIES OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS CON GLOBOS.**

**Prueba 1. Parque Miraflores ciudad de Cuenca.**

**ORTOFOTO.**



**Número de imágenes usadas:** 107  
**Altura de vuelo promedio:** 149 m  
**Resolución en tierra:** 4,70 cm/píxel  
**Área cubierta:** 101.815,0 m<sup>2</sup> ó 10,1815 ha  
**Área utilizable:** 2,48 ha  
**Porcentaje del área utilizable:** 24,36%  
**Error:** 39,72 píxeles  
**Modelo de la cámara:** HERO3+ Black Edition (2,77 mm)  
**Resolución de las imágenes:** 4000 x 3000  
**Distancia Focal:** 2,77 mm  
**Tamaño del Pixel:** 1,59798 x 1,59798  $\mu$ m

	<p><b>MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE</b></p> <p><b>Resolución:</b> 18,78 cm/pixel <b>Densidad de puntos:</b> 28,35 puntos por metro cuadrado</p>
---	--

**TABLA 27. Ortografos y MDS obtenidos en las pruebas con globos de helio.**

## **8.6 PRODUCTOS QUE SE OBTIENEN USANDO TÉCNICAS DE FOTOGRAFÍA AÉREA DE BAJO COSTO.**

- Mosaico de fotografías aéreas sobre el área de interés.
- Modelo digital de superficie (MDS), del cual se deriva las curvas de nivel a pocos centímetros y las secciones o perfiles que se puede obtener del terreno.
- Ortografía aérea de alta resolución.
- Fotografía aérea oblicua o tomas panorámicas.
- Grabación de tomas de vídeo aéreo.

## **8.7 ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS Y CALIDAD FOTOGRAMETRICA DE LAS ORTOFOTOS OBTENIDAS.**

A continuación se analizan las características de la ortografía aérea obtenida luego de las pruebas realizadas usando drones, cometas y globos.

### **8.7.1 Área cubierta y área utilizable.**

Como se puede observar en los resultados obtenidos no toda el área cubierta es utilizable ya que existen distorsiones tanto en la imagen, como errores en los valores del Modelo Digital de Superficie.

A continuación se muestra ejemplos de ortofotos obtenidas con drone, cometa y globo, en donde se puede apreciar el área utilizable y el área con errores.



**FIGURA 46. Ejemplo de ortofoto obtenida en las pruebas con drone.**



**FIGURA 47. Ejemplo de una ortofoto obtenida en las pruebas con cometas.**



**FIGURA 48. Ejemplo de una ortofoto obtenida en las pruebas con globos.**

En las pruebas con drones se puede observar que el porcentaje de área utilizable tiene un promedio del 70% en aquellas pruebas donde se utilizó la cámara GO PRO HERO 3 a pesar de que el software de procesamiento cuenta con los parámetros de calibración de la cámara, esto es debido a que la cámara tiene un efecto de ojo de pez más difícil de eliminar, el cual produce errores en el borde de la ortofoto y MDS obtenido.

En la prueba usando la cámara BOARD\_MT9P031\_SUNEX que viene con el dron Aeryon Scout, no tiene este efecto de ojo de pez, el porcentaje de área utilizable es

de 88,48% mayor al obtenido en las pruebas con la GO PRO HERO 3.

A continuación se muestra un cuadro en donde se resume en porcentaje el área utilizable de ortofotografía según el método de vuelo usado (drone, cometa, globo).

<b>PORCENTAJE DE AREA UTILIZABLE EN LOS PRODUCTOS OBTENIDOS ORTOFOTO Y MDS</b>				
<b>METODO USADO</b>		<b>DRONE</b>	<b>COMETA</b>	<b>GLOBO</b>
<b>PRUEBA 1</b>	CAMARA - GO PRO HERO 3 - 2,77 mm - 7MPX	70,05%	NO SE OBTUVO ORTOFOTO	24,36%
	CAMARA - GO PRO HERO 3 - 2,77 mm - 12MPX	_____		
<b>PRUEBA 2</b>	CAMARA - GO PRO HERO 3 - 2,77 mm - 7MPX	70,08%	ORTOFOTO CON ERRORES EN TODA LA IMAGEN	NO SE REALIZARON MAS PRUEBAS
	CAMARA - GO PRO HERO 3 - 2,77 mm - 12MPX	69,12%		
<b>PRUEBA 3</b>	CAMARA -BOARD_MT9P031_SUNEX - 7,5 mm - 5MPX	88,48%	_____	NO SE REALIZARON MAS PRUEBAS
	CAMARA - GO PRO HERO 3 - 2,77 mm - 12MPX	_____		
<b>PROMEDIO UTILIZABLE EN PORCENTAJE</b>		<b>74,43%</b>	<b>49,88%</b>	<b>24,36%</b>

**TABLA 28. Porcentaje de área utilizable en los productos obtenidos según el método de vuelo usado.**

El drone vuela cubriendo toda la zona a fotografiar a una altura de vuelo constante, por lo que la nube de puntos obtenida casi no presenta errores al igual que la imagen, los errores se pueden observar en un porcentaje muy bajo solo en los extremos de la fotografía.

En el caso de las pruebas con la cometa y los globos de helio, para cubrir toda el área a fotografiar no debe existir obstáculos en tierra para que el operador de estos equipos se pueda movilizar en la zona, deben existir las condiciones de viento adecuadas (vientos más fuertes para el caso de la cometa y poco viento para el caso del globo) que permitan elevar adecuadamente la cámara y obtener la suficiente cantidad de fotografías que cubran el área, además debido a que la altura de vuelo de los equipos es muy variable ya que depende de las condiciones climáticas, el momento de procesar las imágenes se obtiene mayor cantidad de errores en la nube de puntos y en la fotografía siendo el área utilizable mucho menor.

Se debe seleccionar las imágenes tomadas ya que existe gran cantidad de estas que no sirven para el procesamiento. Se descartan muchas más imágenes tomadas desde cometas y globos debido a los movimientos bruscos que sufren estos por consecuencia de los vientos, en los drones en cambio la mayor cantidad de imágenes pueden ser utilizables.

### 8.7.2 Resolución en tierra (GSD) y Georreferenciación.

Ejemplos con drones:



**FIGURA 49.** Ortofoto prueba 1 con dron e y ortofoto IGM.



**FIGURA 50.** Ortofoto prueba 2 con dron e vuelo con la primera batería y ortofoto IGM.



**FIGURA 51.** Ortofoto prueba 2 con dron e vuelo con la segunda batería y ortofoto IGM.



**FIGURA 52.** Ortofoto prueba 3 con drone y la imagen Bing satélite.

Ejemplo con cometa:



**FIGURA 53.** Ortofoto obtenida desde cometa en la prueba 3 y ortofoto IGM.

Ejemplo con globos de helio:



**FIGURA 54.** Ortofoto prueba 1 con globos de helio y ortofoto IGM.

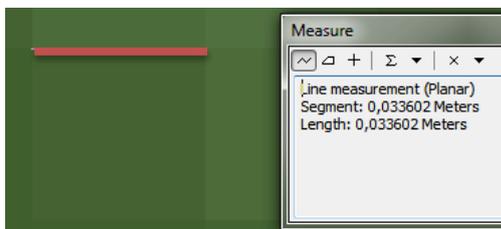
En todos los resultados obtenidos anteriormente el GSD obtenido es inferior a los 6 centímetros por lo que se aprecia con mejor calidad el área fotografiada que en las ortofotos del IGM, en la ortofoto del IGM de la ciudad de Cuenca el GSD es de 70cm y 30 cm en la ortofoto del IGM de la ciudad de Paute, en el lugar donde se realizó la prueba con el Aeryon Scout no se pudo obtener ortofoto pero el resultado se comparó con una imagen Bing Satellite en donde se comprobó un mejor GSD en la ortofoto obtenida con el drone.

RESOLUCION EN TIERRA EN LAS ORTOFOTOS OBTENIDAS									
				ALTURA DE VUELO PROMEDIO(M)			RESOLUCION EN TIERRA GSD (CM)		
PRUEBAS	CAMARA - MEGAPIXELES	DISTANCIA FOCAL	TAMAÑO DE PIXEL	DRONE	COMETA	GLOBO	DRONE	COMETA	GLOBO
PRUEBA 1	GO PRO HERO 3 - 7MPX	2,77 mm	3000 x 2250	100,91	NO SE OBTUVO ORTOFOTO	149	4,39	NO SE OBTUVO ORTOFOTO	4,70
	GO PRO HERO 3 - 12MPX	2,77 mm	4000 x 3000						
PRUEBA 2	GO PRO HERO 3 - 7MPX	2,77 mm	3000 x 2250	73,31	ORTOFOTO CON ERRORES EN TODA LA IMAGEN	NO SE REALIZARON MAS PRUEBAS	3,36	ORTOFOTO CON ERRORES EN TODA LA IMAGEN	NO SE REALIZARON MAS PRUEBAS
	GO PRO HERO 3 - 12MPX	2,77 mm	4000 x 3000	139,63					
PRUEBA 3	BOARD_MT9P031_SUNEX - 5MPX	7,5 mm	2592 x 1944	184,97	130	NO SE REALIZARON MAS PRUEBAS	5,22	4,12	NO SE REALIZARON MAS PRUEBAS
	GO PRO HERO 3 - 12MPX	2,77 mm	4000 x 3000						

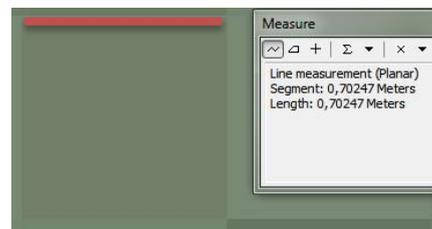
**TABLA 29. Resolución en tierra GSD en las ortofotos obtenidas.**

La tabla anterior muestra los valores de GSD obtenidos en cada prueba realizada, como se puede observar en la obtención de este dato intervienen la distancia focal, el tamaño de pixel y la altura de vuelo.

El valor más bajo de GSD se obtuvo en el la prueba 2 con drone en el vuelo con la primera batería que se realizó en el parque Miraflores de la ciudad de Cuenca, para esto se voló a baja altura, la altura de vuelo promedio fue 73,31 metros, se utilizó una cámara GO PRO HERO 3 con un distancia focal de 2,77mm, se configuró la cámara a 7megapixeles que da un tamaño de pixel de la imagen de 3000 x 2250, todo esto dio como resultado una resolución en tierra o GSD de 3,36 cm, es decir el tamaño del pixel representa 3,36 cm por cada lado.



**GSD DRONE DJI PHANTOM-GOPRO HERO3**



**GSD ORTOFOTO IGM**

**FIGURA 55. Ejemplo del valor de GSD más bajo de la ortofoto obtenida en una prueba realizada con drone comparado con el GSD de la ortofoto del IGM.**

El valor más alto de GSD se obtuvo al procesar la información del vuelo con la



segunda batería ejecutado el mismo día que se realizó la prueba 2 con el drone, la altura promedio fue de 139,63 metros, se utilizó la misma cámara GO PRO HERO 3 que tiene una distancia focal de 2,77mm, para este vuelo se configuró la cámara a 12 megapíxeles que da un tamaño de pixel de la imagen de 4000 x 3000, el resultado fue una resolución en tierra de 5,84 cm.

En las pruebas se puede observar que los datos que más influyen en la obtención del GSD son la altura de vuelo y la distancia focal, más que el tamaño de pixel que viene dado por los megapíxeles de la cámara, un ejemplo claro de esto se puede observar en la prueba realizada con el drone Aeryon Scout, este drone tiene una cámara de 5 megapíxeles que da un tamaño de pixel de la imagen de 2592 x 1944 menor al de las otras pruebas, pero esta cámara tiene una distancia focal de 7,5 mm mucho mayor a la de la GO PRO HERO 3, y a pesar de que el vuelo se realizó a la mayor altura de todas las pruebas con un promedio de 184,97 metros, el GSD obtenido no fue el más alto.

Si se hubiese volado el drone Aeryon Scout a la misma altura promedio de 73,31 metros que es el valor más bajo de vuelo con el drone Dji Phantom 2 y la cámara GO PRO HERO 3, el GSD resultante hubiese sido aún menor a 3,36 cm, con un estimado de 2 cm de resolución en tierra, esto debido a la distancia focal de la cámara del Scout es mucho mayor a la de la GO PRO HERO 3.

En los resultados obtenidos con la cometa y los globos de helio el factor que influyó en el resultado del GSD fue la altura de vuelo, el valor de GSD obtenido de la cometa fue mejor debido a que la prueba fue a menor altura que la prueba con globos de helio, la cámara usada y la configuración fue la misma en ambas pruebas.

En cuanto a la georreferenciación en los 5 resultados obtenidos con la GO PRO HERO 3 se utilizó puntos de control en campo los cuales fueron corregidos diferencialmente y utilizados para el procesamiento, las ortofotos obtenidas como se muestra en las imágenes anteriores se ajustan bastante a las ortofotos del IGM existe muy poco desplazamiento y este se da sobre todo en las esquinas de la ortofoto.

En la prueba realizada con el drone Aeryon Scout no se utilizaron puntos de control de campo pero el resultado obtenido es bastante bueno se ajusta a la imagen Bing Satellite con la que fue comparada, esto es debido a que el GPS integrado dentro de este drone tiene un error inferior a 3 metros.

Ya que la mayoría de pruebas se la realizó usando la cámara GO PRO HERO 3 y para georreferenciar las imágenes se usó un GPS para deportistas QSTARZ que tiene un promedio de error de 10 metros, las ortofotos fueron optimizadas usando puntos de control de tierra, dando buenos resultados, también se realizó una prueba de procesamiento sin puntos de control en la imagen obtenida con la cometa en el terminal de Paute para comparar los resultados, a continuación se muestran las ortofotos obtenidas superpuestas con la ortofoto del IGM.



**FIGURA 56. Ortofotos obtenidas en la prueba usando cometas en el terminal de Paute con y sin puntos de control en tierra, superpuestas sobre la ortofoto del IGM.**

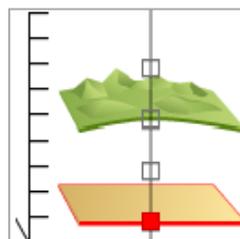
En la ortofoto anterior al procesar las imágenes sin usar puntos de control se obtuvo una ortofoto que pierde la escala real y se encuentra rotada.

Se pudo observar la diferencia que existe entre los dos productos obtenidos y lo importante de usar puntos de control en el procesamiento de estas imágenes.

### 8.7.3 Valores de altitud del Modelo Digital de Superficie (MDS).

Al realizar la fotografía aérea de bajo costo usando las tres plataformas seleccionadas globos de helio, cometas y drones de bajo costo, se utilizó un mini GPS que se montó en cada uno de los equipos obteniéndose coordenadas x, y, z las dos primeras dan la ubicación y la última la altitud a la que volaban los equipos con respecto al nivel del mar, es por esto que fue necesario en el procesamiento utilizar puntos de control de tierra precisos (con postproceso) que corrijan tanto los valores de ubicación como de altitud.

El MDS obtenido sin puntos de control precisos tendría valores de altitud que parten desde la altura promedio a la que voló el equipo con el que se realizó el vuelo y no las reales, es decir se encontraría en el aire como se muestra en la figura 57.



**FIGURA 57. MDS en el aire con respecto a la altura real de tierra.**

Los puntos de control de tierra precisos usados en cada una de las pruebas permitieron corregir estos valores y se pudo obtener también un MDS con alturas reales.

Cameras	Easting	Northing	Altitud
✓ G0028525.JPG	723016.945925	9680988.275331	2608.27246
✓ G0028526.JPG	723016.945925	9680988.275331	2608.27246
✓ G0028527.JPG	723018.400567	9680988.647372	2607.11547
✓ G0028528.JPG	723021.914498	9680987.066328	2609.81543
✓ G0028529.JPG	723021.914498	9680987.066328	2609.81543
✓ G0028530.JPG	723025.546826	9680986.059427	2611.64794
✓ G0028531.JPG	723030.304831	9680986.017232	2612.04126
✓ G0028532.JPG	723030.304831	9680986.017232	2612.04126

→ DATOS DE ALTITUD TOMADOS DESDE LA ALTURA DE VUELO DE LOS EQUIPOS

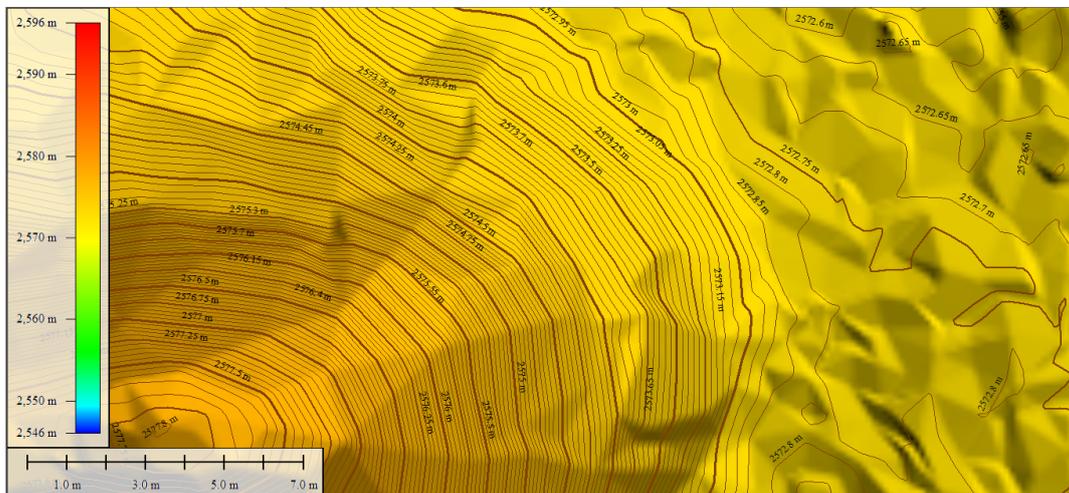
  

Markers	Easting	Northing	Altitude
✓ point 1	723065.760000	9680894.490000	2567.180000
✓ point 2	723030.820000	9680885.990000	2567.140000
✓ point 3	723033.640000	9680875.250000	2567.500000
✓ point 4	723069.550000	9680877.300000	2566.060000
✓ point 5	723093.610000	9680885.930000	2564.790000
✓ point 6	723085.470000	9680910.200000	2567.060000
✓ point 9	723102.590000	9680974.560000	2563.780000
✓ point 10	723135.630000	9680916.080000	2559.390000

→ DATOS DE ALTITUD TOMADOS DE LOS PUNTOS DE CONTROL EN TIERRA PRECISOS

**FIGURA 58. Ejemplos de valores de altitud desde la altura de vuelo de los equipos y los tomados desde los puntos de control de tierra.**

Además debido a la nube densa de puntos obtenida en cada una de las pruebas para formar el MDS de este podemos obtener curvas de nivel con diferencias de centímetros.



**FIGURA 59. Ejemplo de curvas de nivel obtenidas cada 5 centímetros del MDS obtenido en la prueba con dron.**

#### 8.7.4 Muestreo y tipos de muestreo para verificación.

La mayoría del tiempo se asume que la cartografía realizada se ajusta perfectamente a la realidad, olvidando que cualquier tipo de información generada (digital o temática) conlleva un cierto margen de error, por lo mismo, es necesario aplicar algún procedimiento de verificación que permita cuantificar este error, y en función de él,

valorar la calidad final del trabajo (UNIGIS, 2000).

La estimación de la exactitud alcanzada por el mapa puede realizarse por medio de un muestreo del área de estudio, con el fin de obtener las medidas de campo necesarias para verificar los resultados. Mediante una validación rigurosa de los resultados se puede tener un criterio para demostrar la validez del método propuesto en la aplicación (UNIGIS, 2000).

El muestreo compone la columna vertebral del proceso de verificación y sirve para seleccionar una parte del área de estudio, de tal manera que siendo la más pequeña posible represente adecuadamente al conjunto. Existen una serie de factores que definen la calidad de la estimación, que deben ser considerados en la planificación del muestreo, que son: Método de selección de la muestra, Tamaño y distribución y Nivel de confianza otorgado a la estimación (UNIGIS, 2000).

Los métodos más empleados en el proceso de verificación se describen en UNIGIS (2000) y son:

- Aleatorio simple.- Los elementos se eligen de tal forma que todos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados.
- Aleatorio estratificado.- La población se divide en regiones o estratos, considerando una variable auxiliar (pendiente, vías, poblados, barrios, entre otros) para la realización del muestreo.
- Sistemático.- La muestra se distribuye en intervalos regulares a partir de un punto de origen.
- Sistemático no alineado.- Varía aleatoriamente una coordenada en cada fila y columna del muestreo, manteniendo la otra fija.
- Por conglomerados.- Se selecciona una unidad de muestra, o un grupo de observaciones llamadas clusters, es decir, en cada punto a verificar se toman varias muestras de acuerdo a un esquema fijado.

Para realizar el control de calidad se escogió la ortofoto de mejor resolución en tierra obtenida con el dron DJI Phantom 2 que no es un dron fotogramétrico y es de bajo costo, la ortofoto obtenida con la cometa y con el globo, esto con fin de comprobar la calidad de los productos obtenidos con técnicas de bajo costo.

El método de verificación escogido fue el aleatorio simple en donde los elementos se escogen al azar teniendo todos estos la misma probabilidad de ser seleccionados.

El número de muestras planificadas en escritorio fue de 34 para la prueba con dron ya que el área de ortofoto es mucho mayor, para la prueba con cometa el número de muestras fue 8 y para las pruebas usando globos de helio se tomaron 7 muestras, las mismas que se distribuyeron aleatoriamente a lo largo de todo el ortomosaico, identificando los lugares más óptimos para realizar la medición.

**- Toma de datos.**

Luego de definir el número de muestras a tomar, se realizó las salidas de campo para la medición de los segmentos seleccionados en los ortomosaicos.

Para la medición en el terreno se utilizó una cinta de 50 m de largo, y se realizaron muestras de distancias reales en algunos de los lugares.

Datos tomados en el Parque Miraflores de Cuenca	Datos tomados en el terminal de Paute
	
	
	

**TABLA 30. Obtención de medidas de campo.**

**- Determinación de errores.**

Cada una de las muestras de segmentos tomadas en campo se verificó en escritorio,

mediante una digitalización sobre la ortofoto, utilizando las herramientas de realce de contraste y variando el zoom para una mejor visualización, mediante las herramientas de cálculo de ArcGIS 10.1, se obtuvo el valor de la distancia del segmento digitalizado y se realizó la diferencia sobre la medida real en el terreno.

<b>Digitalización sobre la ortofoto obtenida usando drone (GSD de 3,36 cm).</b>

<b>Digitalización sobre la ortofoto obtenida usando cometa (GSD de 4,12 cm).</b>

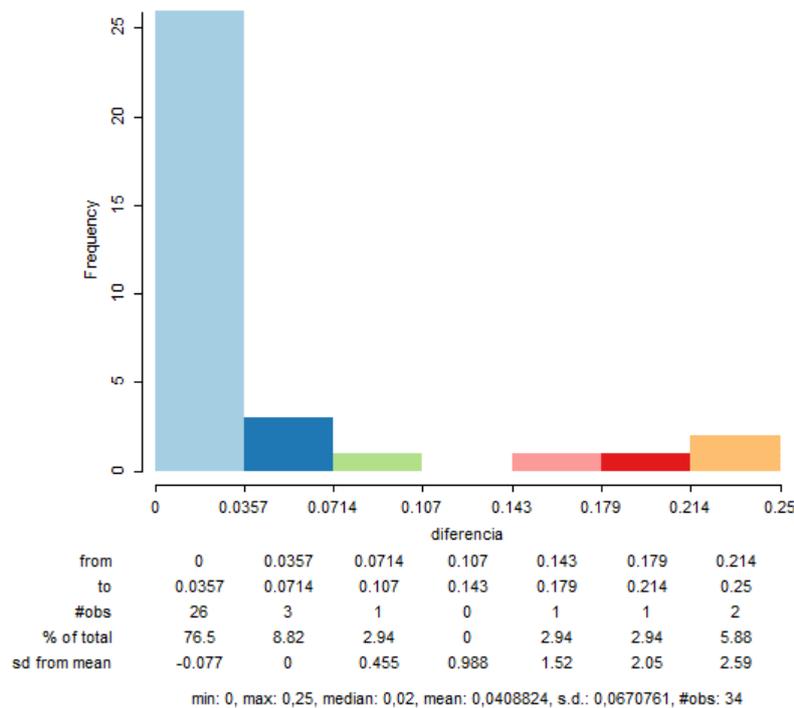
<b>Digitalización sobre la ortofoto obtenida usando globos (GSD de 4,70 cm).</b>


**TABLA 31. Determinación de errores en las imágenes.**

Los datos obtenidos y el análisis fotogramétrico de la ortofoto conseguida usando drone, necesarios para estimar la calidad del producto se muestran a continuación.

Id	DISTANCIA EN ORTOFOTO (m)	DISTANCIA EN TERRENO (m)	DIFERENCIA (m)
1	10,00	10,00	0,00
2	5,20	5,20	0,00
3	35,11	35,10	0,01
4	7,42	7,44	0,02
5	20,07	20,05	0,02
6	30,01	30,05	0,04
7	20,07	20,05	0,02
8	6,80	6,80	0,00
9	4,68	4,70	0,02
10	10,21	10,20	0,01
11	4,71	4,70	0,01
12	34,08	34,05	0,03
13	18,07	18,05	0,02
14	30,03	30,05	0,02
15	18,07	18,05	0,02
16	18,07	18,05	0,02
17	30,03	30,05	0,02
18	4,25	4,25	0,00
19	18,15	18,40	0,25
20	17,15	17,30	0,15
21	9,04	9,08	0,04
22	18,14	18,16	0,02
23	9,04	9,08	0,04
24	18,08	18,10	0,02
25	10,90	11,15	0,25
26	35,60	35,80	0,20
27	4,72	4,70	0,02
28	10,21	10,20	0,01
29	10,30	10,30	0,00
30	4,70	4,70	0,00
31	10,31	10,30	0,01
32	8,32	8,30	0,02
33	6,80	6,80	0,00
34	8,38	8,30	0,08

**TABLA 32. Datos obtenidos en campo en el parque Miraflores y la ortofoto obtenida con drone cuyo GSD es de 3,36cm.**



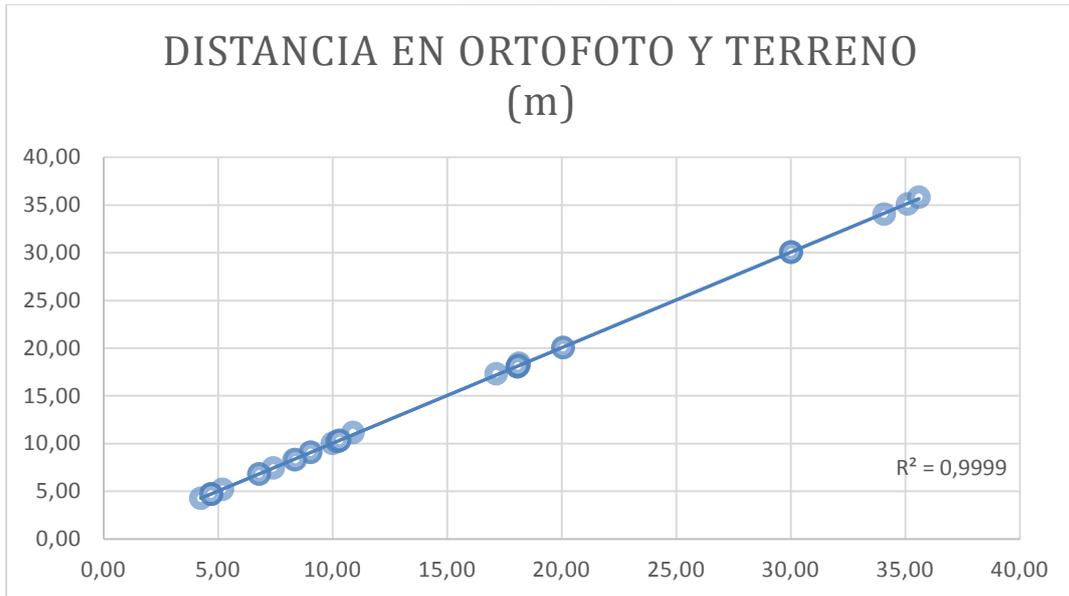
**FIGURA 60. Histograma de la diferencia entre las longitudes tomadas en el terreno y la longitud tomada en la ortofoto obtenida usando drone.**

Se realizó un histograma de frecuencias para los 34 datos dividiendo al histograma en 7 rangos, tomando como variable la diferencia absoluta entre las medidas tomadas en campo y las medidas tomadas en la ortofoto obtenida, se puede apreciar que el 76,5% de los datos que representan 26 observaciones están dentro del rango más bajo de diferencia que va desde 0 – 0,0357 metros, esto indica que este 76,5% de datos tomados casi no presentan error o el error es menor a la media que es de 0,0408824 metros y al GSD obtenido en la ortofoto que es de 0,0336 metros.

Por otro lado el 11,76% que representan las 4 observaciones con diferencias más altas entre las medidas tomadas, esta diferencia va desde 0,143 – 0,25 metros, esto indica que el 11,76% de los datos tomados presentan el mayor error.

El otro 11,76% que representan 4 observaciones, la diferencia va desde 0,0357 – 0,107 metros. La desviación estándar obtenida fue de 0,0671.

Para analizar la dirección e intensidad de la correlación entre las variables se realizó el siguiente grafico de dispersión:



**FIGURA 61. Gráfico de dispersión entre las longitudes tomadas en el terreno y la longitud tomada en la ortofoto obtenida usando drone.**

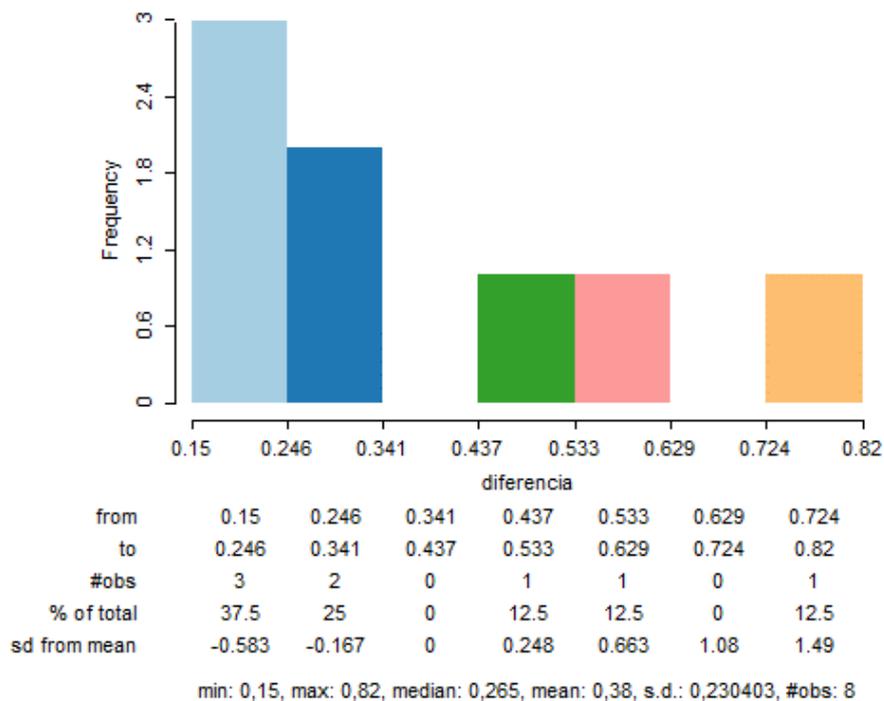
Al analizar las variables podemos ver que la correlación entre las dos variables es positiva, mediante la recta de regresión podemos determinar que es una pendiente positiva fuerte ya que la inclinación es o se acerca mucho a 45 grados.

Existe una correlación muy buena entre las variables el  $R^2$  es 0,9999 por lo que se puede decir que la calidad del modelo es muy bueno ya que un buen modelo se acerca más a la unidad (1).

Los datos obtenidos y el análisis fotogramétrico de la ortofoto conseguida usando cometa, necesarios para estimar la calidad del producto se muestran a continuación.

Id	DISTANCIA EN ORTOFOTO (m)	DISTANCIA EN TERRENO (m)	DIFERENCIA (m)
1	37,06	37,33	0,27
2	40,96	41,78	0,82
3	11,00	11,24	0,24
4	10,60	11,20	0,60
5	24,43	24,58	0,15
6	13,38	13,85	0,47
7	13,62	13,85	0,23
8	19,07	19,33	0,26

**TABLA 33. Datos obtenidos en campo en el terminal de Paute y de la ortofoto obtenida con cometa.**



**FIGURA 62. Histograma de la diferencia entre las longitudes tomadas en el terreno y la longitud tomada en la ortofoto obtenida usando cometa.**

Se realizó un histograma de frecuencias para los 8 datos dividiendo al histograma en 7 rangos, tomando como variable la diferencia absoluta entre las medidas tomadas en campo y las medidas tomadas en la ortofoto obtenida, se puede apreciar que el 37,5% de los datos que representan 3 observaciones están dentro del rango más bajo de diferencias de las medidas que va desde 0,15 – 0,246 metros, esto indica que los valores de diferencia obtenidos presentan errores muy altos en comparación al GSD de la ortofoto obtenida que es de 0,0412 metros.

El 62,5% de los datos que representan 5 observaciones las diferencias se encuentran bajo la media que es 0,38 metros.

El 37,5% de los datos que representan 3 observaciones se encuentran sobre la media de 0,38 metros, llegando los valores de diferencia hasta 0,82 metros.

La desviación estándar obtenida es de 0,230403.

En las pruebas usando cometas el error fotogramétrico es mucho mayor que en las pruebas en las que se usó dron.

Para analizar la dirección e intensidad de la correlación entre las variables se realizó el siguiente grafico de dispersión:



**FIGURA 63. Gráfico de dispersión entre las longitudes tomadas en el terreno y la longitud tomada en la ortofoto obtenida usando cometa.**

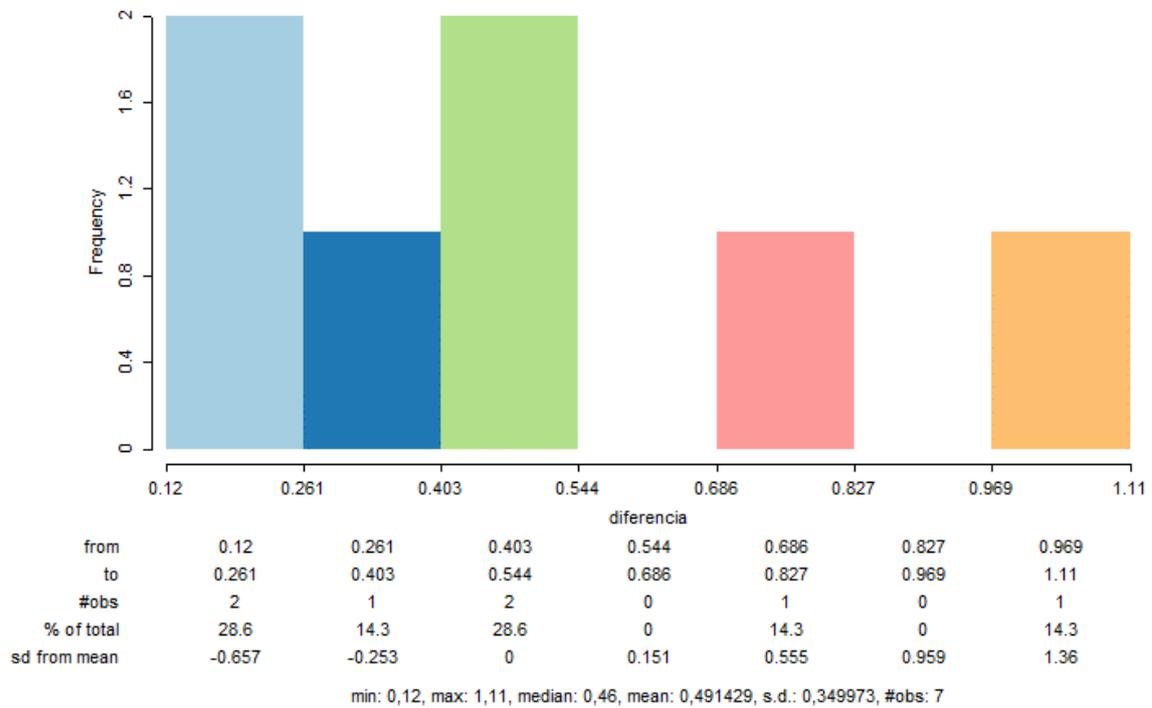
Al analizar las variables podemos ver que la correlación entre las dos variables es positiva, mediante la recta de regresión podemos determinar que es una pendiente positiva fuerte ya que la inclinación es o se acerca mucho a 45 grados.

Existe una correlación buena entre las variables el  $R^2$  es 0,9996 por lo que se puede decir que la calidad del modelo es bueno ya que un buen modelo se acerca más a la unidad (1).

Los datos obtenidos y el análisis fotogramétrico de la ortofoto conseguida usando globos con helio, necesarios para estimar la calidad del producto se muestran a continuación.

Id	DISTANCIA EN ORTOFOTO (m)	DISTANCIA EN TERRENO (m)	DIFERENCIA (m)
1	35,88	35,10	0,78
2	35,94	36,40	0,46
3	7,75	7,44	0,31
4	16,99	18,10	1,11
5	8,90	9,08	0,18
6	17,68	18,16	0,48
7	8,96	9,08	0,12

**TABLA 34. Datos obtenidos en campo en el parque Miraflores y de la ortofoto obtenida usando globos con helio.**



**FIGURA 64. Histograma de la diferencia entre las longitudes tomadas en el terreno y la longitud tomada en la ortofoto obtenida usando globos de helio.**

Se realizó un histograma de frecuencias para los 7 datos dividiendo al histograma en 7 rangos, tomando como variable la diferencia absoluta entre las medidas tomadas en campo y las medidas tomadas en la ortofoto obtenida, se puede apreciar que el 28,6% de los datos que representan 2 observaciones están dentro del rango más bajo de diferencias en las medidas que va desde 0,12 – 0,261 metros, esto indica errores muy altos en comparación al tamaño de GSD conseguido que es de 0,0470 metros.

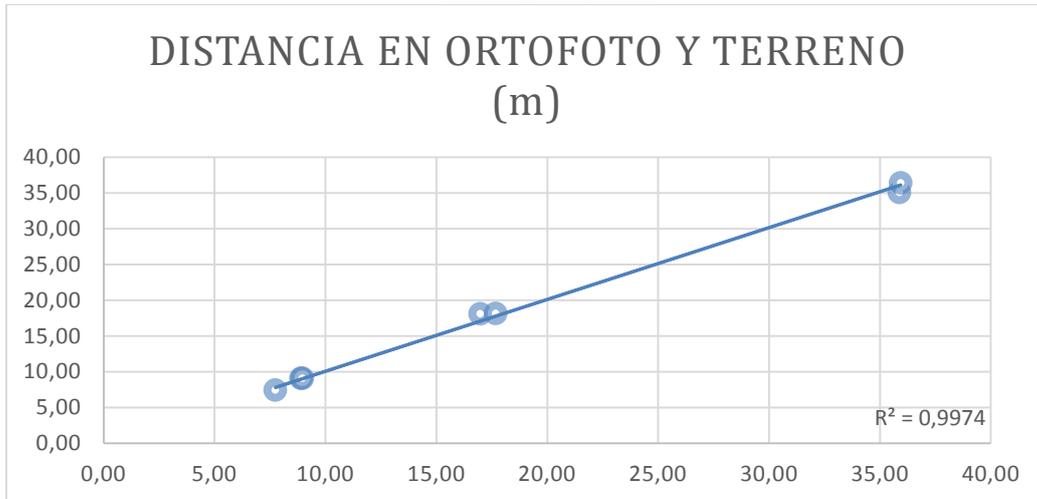
El valor de diferencias más alto se encuentra en el 14,3% de los datos que representan 1 observación cuyas medidas van desde los 0,969 – 1,11 metros. El resto de medidas están entre los rangos 0,261- 0,969.

La media obtenida es de 0,4914 metros la cual se aleja bastante del tamaño del pixel o resolución en tierra GSD.

La desviación estándar obtenida es de 0,230403.

Tanto en las pruebas usando globos de helio como en las pruebas en las que se usó cometas los errores fueron muchos mayores que los obtenidos en las pruebas en las que se usó drone.

Para analizar la dirección e intensidad de la correlación entre las variables se realizó el siguiente grafico de dispersión:



**FIGURA 65. Gráfico de dispersión entre las longitudes tomadas en el terreno y la longitud tomada en la ortofoto obtenida usando globos de helio.**

Al analizar las variables podemos ver que la correlación entre las dos variables es positiva, mediante la recta de regresión podemos determinar que es una pendiente positiva fuerte ya que la inclinación es o se acerca mucho a 45 grados.

Existe una correlación buena entre las variables el  $R^2$  es 0,9974 por lo que se puede decir que la calidad del modelo es bueno ya que un buen modelo se acerca más a la unidad (1).

A continuación se resume los errores entre las 3 plataformas probadas.

<b>TABLA RESUMEN DE COMPARACION DE LOS ERRORES ENTRE LAS PLATAFORMAS PROBADAS</b>			
<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>DRONES</b>	<b>COMETAS</b>	<b>GLOBOS</b>
Porcentaje de área utilizable en la ortofoto.	74,43%	49,88%	24,36%
Resolución en tierra GSD. (m)	0,0336	0,0412	0,047
Error mínimo.(m)	0	0,15	0,12
Error máximo.(m)	0,25	0,82	1,11
Promedio del error.(m)	0,0408	0,38	0,4914
Desviación estándar del error.(m)	0,0671	0,2304	0,349973
Error mínimo cuadrático $R^2$ .	0,9999	0,9996	0,9974
Porcentaje de observaciones con errores menores al promedio y al GSD.	76,50%	0,00%	0,00%

**TABLA 35. Comparación entre los errores en las diferentes plataformas probadas.**

## 8.8 ANALISIS COMPARATIVO ENTRE TECNICAS DE FOTOGRAFIA AEREA DE BAJO COSTO USANDO DRONES, COMETAS, GLOBOS DE HELIO.

CARACTERISTICAS		EQUIPOS USADOS		
		DRONE	COMETA	GLOBOS CON HELIO
1	Necesitan condiciones climáticas de vientos para volar.		X	
2	Necesitan buenas condiciones climáticas con vientos muy leves para volar.	X		X
3	Tiempo de vuelo ilimitado.		X	X
4	Mayor área útil de la ortofotografía obtenida.	X		
5	Mejor resolución en tierra GSD menores a 4 centímetros.	X		
6	Mejor calidad fotogramétrica obtenida	X		
7	Mejor resolución y calidad en Modelo digital de Superficie obtenido.	X		
8	Mayor vibración en el vuelo.		X	X
9	Mayor control y operatividad de los equipos.	X		
10	Menor riesgo de accidentes.	X		
11	Menor costo operativo.		X	
12	Necesita zonas despejadas libres de obstáculos.		X	X
13	La ubicación del operador para obtener el área a fotografiar depende de la dirección del viento.		X	X

14	Se puede planificar el GSD que se quiere obtener.	x		
15	Existen leyes en algunos países que prohíben su uso en ciertas áreas.	x		

**TABLA 36. Comparación entre técnicas de fotografía aérea de bajo costo aplicadas.**

## 8.9 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FOTOGRAFIA AEREA USANDO EQUIPOS DE BAJO COSTO (DRONES, COMETAS, GLOBOS DE HELIO) EN COMPARACION CON LAS TECNICAS TRADICIONALES.

### Ventajas:

- La producción de imágenes se puede adaptar a las necesidades de la zona de estudio.
- Se puede determinar el tiempo de grabación y toma fotográfica.
- Debido a que se vuela a baja altura no existe problemas de distorsión generada por la atmosfera o nubosidades.
- La resolución de las imágenes es muy fina debido a que se toman desde baja altura.
- La resolución del Modelo Digital de Superficie es de pocos centímetros.
- La producción de imágenes y datos es de bajo costo.
- Existe independencia porque la producción está en nuestras manos.
- Es fácil aplicar estas técnicas.
- Se puede adquirir imágenes y video con la frecuencia que los proyectos lo requieran.
- Los resultados se obtienen mucho más rápido que los obtenidos con aviones tripulados o imágenes de satélite.

### Desventajas:

- El área fotografiada es reducida abarca unas pocas hectáreas en comparación con la fotografía aérea y satelital que abarca varios kilómetros cuadrados.
- No se puede obtener imágenes de otras latitudes sin necesidad de trasladarse al lugar.
- No se puede mantener operativo el proceso de fotografía aérea durante los 365 días del año como lo hacen las plataformas satelitales.

## 8.10 APLICACIONES DE LA FOTOGRAFÍA AEREA USANDO EQUIPOS DE BAJO COSTO (DRONES, COMETAS, GLOBOS DE HELIO).

APLICACIONES DE LA FOTOGRAFIA AEREA USANDO EQUIPOS DE BAJO COSTO				
APLICACIONES		EQUIPOS USADOS		
		DRONE	COMETA	GLOBOS CON HELIO
1	Cobertura y análisis del estado forestal	X	X	X
2	Estudio del estado y composición de la vegetación	X	X	X
3	Control y monitoreo de cultivos y planificación de la agricultura	X	X	X
4	Proyectos de cambio climático (sumideros de carbono).	X	X	X
5	Planificación y gestión de cuencas hidrográficas.	X		
6	Ordenación ambiental a nivel comunitario.	X		
7	Planificación ecológica del territorio.	X		
8	Exploración de lugares de difícil acceso.	X		
9	Control a escala centimétrica de áreas de riesgos geológicos.	X		
10	Control y seguimiento de accidentes industriales.	X		
11	Monitorización de explotaciones mineras y su impacto ambiental.	X	X	X
12	Monitoreo, avances e impacto de grandes obras civiles.	X	X	X
13	Obtención del NDVI índice de vegetación de diferencia normalizada.	X	X	X
14	Apoyo en elaboración de catastro y levantamientos prediales.	X		
15	Aplicaciones fotográficas (perspectivas nunca vistas).	X	X	X
16	Aplicaciones al control de calidad del aire.	X		
17	Aplicaciones cartográficas.	X	X	X
18	Aplicaciones hidrológicas.	X		
19	Monitoreo de incendios forestales.	X		
20	Aplicaciones en gestión de patrimonio cultural.	X		
21	Monitoreo y control de seguridad de zonas de peligro.	X		
22	Aplicaciones en arqueología.	X		
23	Aplicaciones al mantenimiento de líneas eléctricas.	X		
24	Aplicaciones al periodismo.	X		
25	Aplicaciones de rescate.	X		
26	Aplicaciones de control urbanístico y tráfico.	X		
27	Aplicaciones de investigación de accidentes de tránsito.	X		

**TABLA 37. Aplicaciones de la fotografía aérea de bajo costo.**

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Los objetivos y metas planteados inicialmente en el proyecto fueron cumplidos con éxito, luego de investigar las metodologías y técnicas existentes para fotografía aérea de bajo costo, se pudo implementar tres métodos seleccionados usando, globos de helio, cometas y drones, se determinó el software y los métodos necesarios para el tratamiento digital de las imágenes obtenidas y se obtuvo como resultados la ortofotografía y modelo digital de superficie MDS de las áreas de estudio seleccionadas.

Se demostró que es posible obtener ortofotos y MDS usando equipos de fotografía aérea de bajo costo (drones económicos no fotogramétricos, cometas y globos con helio).

Es necesario para que los resultados sean buenos en cuanto a la georreferenciación y fotogrametría de la ortofoto, además para corregir las alturas del MDS, se deben utilizar puntos de control en tierra usando equipos de precisión GPS diferencial, estación total, equipos con RTK, dependiendo de la calidad de precisión del equipo usado se obtendrán mejores resultados.

Las ventajas del uso de fotografía aérea de bajo costo en comparación a la obtenida con los métodos tradicionales (aviones tripulados, satélites) son mayores a las desventajas, la principal desventaja es que el área fotografiada es reducida abarca unas pocas hectáreas que en comparación con la fotografía aérea tradicional la cual abarca varios kilómetros cuadrados

Mediante el análisis comparativo de las características que presentan las técnicas usadas en las pruebas usando drones, cometas y globos, se determinó que para fines de fotografía aérea con propósitos cartográficos, el uso del drone para obtener ortofotografía y MDS presenta mayor ventajas significativas en relación a las técnicas en las que se usó cometas y globos con helio, entre las que se destacan: Mejor resolución en tierra GSD, mejor calidad fotogramétrica, mayor control y operatividad del equipo usado (drone), se puede planificar la calidad de resolución en tierra de los resultados que se quieren obtener, menor riesgo de accidentes.

Los resultados obtenidos con drones permiten realizar mapas o proyectos cartográficos desde escalas 1/500 o mayores debido a que se puede obtener ortofotografía con el GSD bajo, debido a que el GSD y los errores fotogramétricos son mayores en las pruebas en las que se usaron cometas y globos con helio, pueden ser usados para proyectos a escalas desde 1/5000 o menores.

El valor a obtener de GSD está directamente relacionada con la altura de vuelo, el tamaño de pixel del sensor y la focal de la cámara.

Mientras mejor sea la distancia focal de la cámara usada, menor la distorsión en las esquinas o el efecto ojo de pez, los resultados de GSD y área utilizable en la ortofoto serían mejores.



Los resultados de la determinación de errores en las Ortofotos ajustada con puntos de control muestran mayor calidad en los productos obtenidos usando como equipo el drone.

El uso de estas técnicas de fotografía aérea de bajo costo probadas en esta tesis no reemplaza el uso de equipos de precisión en campo, se apoyan en estos equipos para mejorar los resultados a obtener.

La distribución de los puntos de apoyo debe realizarse considerando una buena geometría en el plano dando prioridad a las zonas de elevación pronunciada.

Es necesario identificar los objetivos y finalidades del producto cartográfico previo a la definición de los equipos para fotografía aérea a usar, de esta forma se podrá analizar el equipo que mejor se adapte a los requerimientos y necesidades del usuario.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- Aber, J. S., Aber, S. W., Pavri, F., & Sciences, S. (2002). UNMANNED SMALL-FORMAT AERIAL PHOTOGRAPHY FROM KITES FOR ACQUIRING LARGE-SCALE , HIGH-RESOLUTION , MULTIVIEW-ANGLE IMAGERY.
- Baker, A. K. M., Fitzpatrick, R. W., & Koehne, S. R. (2004). HIGH RESOLUTION LOW ALTITUDE AERIAL PHOTOGRAPHY FOR RECORDING TEMPORAL CHANGES IN DYNAMIC SURFICIAL ENVIRONMENTS, 21–25.
- Barrientos, A., & Rossi, C. (n.d.). Introducción.
- Bitelli, G., Girelli, V. A., Tini, M. A., & Vittuari, L. (2002). LOW-HEIGHT AERIAL IMAGERY AND DIGITAL PHOTOGRAMMETRICAL PROCESSING FOR ARCHAEOLOGICAL MAPPING.
- Fotogrametr, D. E., Automatizada, D., Geomorfolog, E. N., Sedimentaria, M. M.-, & Rios, E. N. (2014). AUTOMATIZADA EN GEOMORFOLOGÍA : DINÁMICA MORFO-.
- Generación, T., & Básica, D. E. C. (2014). Departamento de las ciencias de la tierra y de la construcción.
- Henry, J.-B., Malet, J.-P., Maquaire, O., & Grussenmeyer, P. (2002). The use of small-format and low-altitude aerial photos for the realization of high-resolution DEMs in mountainous areas: application to the Super-Sauze earthflow (Alpes-de-Haute-Provence, France). *Earth Surface Processes and Landforms*, 27(12), 1339–1350. Retrieved from <http://doi.wiley.com/10.1002/esp.411>
- in situ. (2002).
- Master, T. F. De. (2011). An ´alisis Fotogram ´etrico de Im ´agenes Adquiridas por un Avi ´on no Tripulado Mois ´es D ´iaz Cabrera Octubre 2011.
- Niethammer, U., Rothmund, S., Schwaderer, U., Zeman, J., & Joswig, M. (2012). Open Source Image-Processing Tools for Low-Cost Uav-Based Landslide Investigations. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-1/, 161–166.
- Ortiz, E., San, D. E., & Moraza, A. M. (2012). Influencia del GSD en la orientación de un bloque fotogramétrico.
- Parte, P. (n.d.). Introducción a la fotogrametría, 1–138.
- Principios y Métodos de la Fotointerpretación.* (n.d.).



- Quilter, M. C., & Anderson, V. A. L. J. O. (2000). Low Altitude/Large Scale Aerial Photographs: A Tool For Range And Resource Managers, (April).
- Regi, S., & Pedro, S. (n.d.). No Title.
- Sani, J., Politécnica, E., Politécnica, E., & Sani, J. C. (2015). VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS – UAV PARA LA ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA Control Horizontal, (July). doi:10.13140/RG.2.1.4226.8320
- Smith, M. J., Chandler, J., & Rose, J. (2009). High spatial resolution data acquisition for the geosciences : kite aerial photography, *161*(August 2008), 155–161. doi:10.1002/esp
- Tarragona, A. D. E. (n.d.). PRODUCCIÓN CARTOGRÁFICA CON UAVs.
- Todos, L. S. De. (n.d.). Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil.
- Valencia, A., & Victoria, Lady. (n.d.). GENERACION DE CARTOGRAFIA BASICA A DETALLE MEDIANTE UNA METODOLOGIA DE TOMA CON AVIONES NO TRIPULADOS ( UAV ´ s ).