



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE.**

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

AUTORES

RAÚL CAMPOVERDE CAMPOVERDE

DIEGO PAÚL SATIÁN ARIAS

**TEMA: “GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA CATASTRAL
RURAL A PARTIR DE DATOS LIDAR, CANTÓN OTAVALO”**

DIRECTOR: ING. EDUARDO KIRBY

CODIRECTOR: ING. PABLO PÉREZ

SANGOLQUÍ

2015

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Ing. Eduardo Kirby

Ing. Pablo Pérez

CERTIFICAN

Que la tesis titulada “GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA CATASTRAL RURAL A PARTIR DE DATOS LiDAR, CANTÓN OTAVALO” ha sido realizada en su totalidad por los Señores: Campoverde Campoverde Raúl y Satián Arias Diego Paúl; y que han cumplido con los requerimientos establecidos para un Proyecto de Tesis como documento previo a la obtención del Título de Ingeniero Geógrafo y del Medio Ambiente.

Sangolquí, 2 de Octubre del 2015

Ing. Eduardo Kirby

Ing. Pablo Pérez

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

RAÚL CAMPOVERDE CAMPOVERDE

DECLARO QUE:

El proyecto de grado titulado “GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA CATASTRAL RURAL A PARTIR DE DATOS LIDAR, CANTÓN OTAVALO”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

Sangolquí, 2 de Octubre del 2015

Raúl Campoverde Campoverde

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

DIEGO PAÚL SATIÁN ARIAS

DECLARO QUE:

El proyecto de grado titulado “GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA CATASTRAL RURAL A PARTIR DE DATOS LIDAR, CANTÓN OTAVALO”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

Sangolquí, 2 de Octubre del 2015

Diego Paúl Satián Arias

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

AUTORIZACIÓN

RAÚL CAMPOVERDE CAMPOVERDE

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado “GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA CATASTRAL RURAL A PARTIR DE DATOS LIDAR, CANTÓN OTAVALO”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 2 de Octubre del 2015

Raúl Campoverde Campoverde

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

AUTORIZACIÓN

DIEGO PAÚL SATIÁN ARIAS

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado “GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA CATASTRAL RURAL A PARTIR DE DATOS LiDAR, CANTÓN OTAVALO”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 2 de Octubre del 2015

Diego Paúl Satián Arias

DEDICATORIA

Con infinito Amor:

A Dios por brindarme cada día la oportunidad de aprender, y llevarme así al éxito reflejado en este proyecto de grado.

Para mis padres Luz y Pedro, por el amor, por el apoyo, la confianza, el respeto, los valores que me han inculcado y su valioso ejemplo de trabajo honrado, a ellos hago parte de este logro, quienes con sus virtudes cada día me han ayudado a forjar este camino.

A mis hermanos César, Mary y Pedro, que siempre me han apoyado, y han sabido reflejar los valores de sencillez, amor de hogar y familia. Gracias por su compañía, su ejemplo y por estar siempre pendientes de mi crecimiento.

A María Belén, que se ha convertido casi en una hermana, con quien he compartido grandes momentos de juegos, travesuras y risas.

A mi novia y siempre mejor Amiga Vane, que me ha acompañado desde hace mucho con sus bromas, su alegría, su sonrisa, su forma de ser tan natural, por ser apoyo y también por compartir la música que se ha convertido en el lenguaje de nuestro cada día.

A mis Amigos Paulinho, Chino, Juanelo, Diego, Stalin, Harry y Raquel que han sido parte de toda esta carrera Universitaria.

DEDICATORIA

Desde el primer momento de mi vida, he podido contar con la ayuda de dos seres de luz, mis padres Diego y Paulina. Dedicado a ellos, quienes con su apoyo, sabiduría, amor y persistencia, no hubiera alcanzado mis sueños y metas.

Únicamente, su conocimiento y amor, me dieron las herramientas indispensables para alcanzar todo lo que me he propuesto. Para mis hermanos, Francis y Emilio, con quienes entre juegos y peleas hemos compartido momentos inolvidables.

Los primeros en iniciar grandes sueños, mis abuelitos Rafael y Eugenia, transmisores de humildad y perseverancia. A mi Papi Lucho y a mi Mami Nelly, que junto con mis tíos, Pili, Chris y Edy, me dieron un segundo hogar.

Como olvidar a mis queridos amigos, para los basketeros, amigos de colegio, y sobre todo a mis colegas hermanos, Raúl, Paúl, Raque, Carito, Harry, Stalin y Henry.

Esto se lo dedico a todos que con su apoyo incondicional me ayudan a crecer y alcanzar mis sueños.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad de las Fuerzas Armadas, en especial a la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente y a su cuerpo docente, de quienes hemos recibido los valores morales y el conocimiento profesional a lo largo de la vida Universitaria.

Al Ing. Eduardo Kirby y al Ing. Pablo Pérez Directores de este proyecto, por su guía y por el tiempo que le han dedicado al desarrollo de esta Tesis, a quienes les atribuimos también el éxito de este tema.

A María Esther, Sarita y Mishell por su apoyo incondicional para alcanzar una de las metas más representativas que la Universidad nos brindó, el salir a otro país en busca de nuevas oportunidades.

A nuestros guías, Dr. Santiago Ormeño, Dr. Andrés Díez y Dr. José Juan Arranz, por recibirnos y compartir con nosotros sus conocimientos, a quienes les hacemos parte de la profundidad de este estudio.

A los colaboradores profesionales, Ing. Rafael Castro de CONSULTGEO, SIGTIERRAS, Ing. Medina y demás personas que nos brindaron su apoyo con insumos, explicaciones y guía para el desarrollo del proyecto.

Índice de Contenido

CAPÍTULO I	1
1.INTRODUCCIÓN	1
1.1.Antecedentes	1
1.2.Área de Estudio	3
1.3.Problemática	4
1.4.Justificación	4
1.5.Objetivos	4
1.6.Metas	5
CAPÍTULO II	6
2.MARCO TEÓRICO	6
2.1.Introducción	6
2.2.Sensores Remotos	6
2.3.Tipos de Sensores	7
2.4.LiDAR.....	8
2.5.Principio del sistema LiDAR.....	10
2.6.Geometrías de escaneo LiDAR	11
2.7.Retornos (Ecos)	12
2.8.Análisis Full - Waveform	15
2.9.Fundamentos de medida con LiDAR	16
2.10.Ortofotos verdaderas (True Orthos).....	17
2.11.Filtrado de datos LiDAR.....	17
2.12.Clasificación de nube de puntos LiDAR	18
2.13.Archivo .las	21
2.14.Ortofotografía.....	22

2.15.Modelos Digitales.....	23
2.16.Modelos Digitales de Terreno (MDT)	24
2.17.Modelos Digitales de Superficie (MDS)	24
2.18.Modelos Digitales de Elevaciones (MDE)	25
2.19.Clasificación Automática Basada en Objetos.....	26
2.19.1.Leyenda Temática para clasificación y cobertura del Suelo	27
2.19.2.Unidad Mínima de Mapeo (UMM)	30
2.20.Posicionamiento GPS	31
2.21.Catastro.....	33
2.22.Evolución del Catastro	34
2.23.Variables Catastrales	35
2.24.Catastro Rural.....	36
2.25.Detección de entidades.....	37
2.26.El Catastro y el Ordenamiento Territorial	37
2.27.Ordenanzas Municipales.....	39
CAPÍTULO III	42
3.METODOLOGÍA	42
3.1.Recopilación de la información	43
3.2.Fase de estudio de la Información LiDAR.....	43
3.3.Análisis, clasificación y depuración de la información LiDAR	45
3.4.Generación de Modelos Digitales del Terreno	52
3.5.Generación de True Orthos	56
3.6.Generación de Cartografía Catastral	57
3.7.Generación del Mapa Cobertura del Suelo	63
3.8.Control de Calidad	74

CAPÍTULO IV.....	78
4.RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	78
4.1.Información Recopilada	78
4.2.Resultados del Análisis de la Información LiDAR	78
4.3.Resultados del Análisis, clasificación y depuración LiDAR.....	87
4.4.Análisis de los Modelos Digitales Resultantes	101
4.5.Resultados de la Generación de True Orthos.....	106
4.6.Obtención de la Cartografía Catastral.....	107
4.7.Resultados del Mapa de Cobertura y Ocupación del Suelo.....	110
4.8.Resultados de la Clasificación por objetos	115
4.9.Resultado del Control de Calidad	117
CAPÍTULO V.....	121
5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	121
5.1.Conclusiones	121
5.2.Recomendaciones	123
BIBLIOGRAFIA.....	125
ANEXOS	130

Índice de Figuras

Figura 1.1. Mapa de ubicación del proyecto	3
Figura 2.1. Espectro Electromagnético	7
Figura 2.2. Longitud de Onda LiDAR	9
Figura 2.3. Escaneo láser del terreno	10
Figura 2.4. Esquema de Funcionamiento LiDAR Aerotransportado	11
Figura 2.5. Geometrías de Escaneo	12
Figura 2.6. Análisis de Retornos	13
Figura 2.7. Esquema de Retornos	14
Figura 2.8. Retornos Independientes	14
Figura 2.9. Señal Full - Waveform	15
Figura 2.10. Perfil de un árbol (Full-Waveform)	15
Figura 2.11. Medida del sensor LiDAR	16
Figura 2.12. Detección de puntos erróneos en los MDS.....	18
Figura 2.13. Cuadro de datos a ser filtrados de la nube de puntos LiDAR ..	18
Figura 2.14. Cuadro de entidades detectadas, proceso de clasificación	19
Figura 2.15. Clasificación automática, software Global Mapper	19
Figura 2.16. Archivo de cabecera de un formato .las, FUSION V.3.46.....	21
Figura 2.17. Proceso fotogramétrico	22
Figura 2.18. Ortofotografía zona de Otavalo	23
Figura 2.19. Modelo digital de terreno	24
Figura 2.20. Modelo digital de superficie	25
Figura 2.21. Modelo digital de elevaciones	25
Figura 2.22. Operaciones a realizar con el MDT y el MDS	26
Figura 2.23. Leyenda temática nivel I y II	27

Figura 2.24. Capas temáticas, CORINE Land Cover.....	28
Figura 2.25. Propuesta de clasificación, mapa de cobertura del suelo	29
Figura 2.26. Generación de cartografía de uso y cobertura del suelo	30
Figura 2.27. Unidad mínima de mapeo.....	31
Figura 2.28. Constelación GPS.....	32
Figura 2.29. Sistema de monitoreo de la constelación GPS.....	33
Figura 2.30. Componentes del Catastro	34
Figura 2.31. Evolución del concepto del Catastro.....	34
Figura 2.32. Organización del Estado Ecuatoriano.....	38
Figura 2.33. Uso de suelo en Otavalo.....	39
Figura 3.1. Metodología general del proyecto.....	42
Figura 3.2. Clasificación de archivos láser.....	44
Figura 3.3. Formato de Grabación	47
Figura 3.4. Herramienta de análisis de cabecera.....	48
Figura 3.5. Parámetros de clasificación automática.....	49
Figura 3.6. Identificación de clases y selección de puntos	50
Figura 3.7. Análisis de perfil.....	50
Figura 3.8. Barra de herramientas LiDAR, Global Mapper	51
Figura 3.9. Depuración de datos LiDAR	52
Figura 3.10. Importar archivos LAS	53
Figura 3.11. Datos láser convertidos a “Shapefile”	53
Figura 3.12. Herramienta de interpolación IDW	54
Figura 3.13. Punto interpolado.....	55
Figura 3.14. Generación de True Orthos	56
Figura 3.15. Herramienta “Apply Color to Lidar Points”	57

Figura 3.16. Absorción de los niveles digitales	58
Figura 3.17. Identificación de predios	58
Figura 3.18. Digitalización de vías	59
Figura 3.19. Digitalización de construcciones	59
Figura 3.20. Creación geodatabase	60
Figura 3.21. Creación de mapas topológicos	61
Figura 3.22. Gap	61
Figura 3.23. Herramienta “Merge”	62
Figura 3.24. Overlap	63
Figura 3.25. Regla topológica “Must not have dangles”	63
Figura 3.26. Selección de la imagen ENVI 5.0	69
Figura 3.27. Algoritmo de segmentación de objetos	70
Figura 3.28. Vista previa de la segmentación	71
Figura 3.29. Proceso de selección de clases	71
Figura 3.30. Selección de muestras para la clasificación	72
Figura 3.31. Método de clasificación	73
Figura 3.32. Productos de la clasificación	73
Figura 3.33. Exportar los productos obtenidos	74
Figura 3.34. Equipo para toma de puntos GPS	76
Figura 3.35 Software de Post-Proceso	77
Figura 3.36 Análisis estadístico en Excel	77
Figura 4.1. Interfaz inicial Global Mapper V.16.1	79
Figura 4.2. Interfaz inicial ENVI 5.2	80
Figura 4.3. Interfaz inicial de FUSION V3.46	81
Figura 4.4. Modelo 3D de ENVI	85

Figura 4.5. Extracción de vectores Global Mapper	85
Figura 4.6. Información bandeada, España	90
Figura 4.7. Archivo con problema de barrido	91
Figura 4.8. Representación porcentual de puntos por retorno, Colombia....	92
Figura 4.9. Representación porcentual de puntos por retorno, Ecuador.....	94
Figura 4.10. Representación porcentual de puntos por retorno, España.....	95
Figura 4.11. Zona de estudio clasificada automáticamente	96
Figura 4.12. Clasificación automática de la nube de puntos	97
Figura 4.13. Clasificación automática zona bandeada.....	98
Figura 4.14. Insumos para clasificación automática	98
Figura 4.15. Clases obtenidas para la nube de puntos.....	99
Figura 4.16. Previo de clasificación automática.....	99
Figura 4.17. Zona de estudio clasificada	100
Figura 4.18. Formato de información láser para interpolar	101
Figura 4.19. Elementos superficiales en formato .shp	102
Figura 4.20. Vista 2D del modelo digital de elevaciones, ArcGIS	102
Figura 4.21. Vista en 3D del modelo digital de elevaciones, ArcGIS	103
Figura 4.22. Vista 2D del modelo digital de elevaciones, Global Mapper ..	103
Figura 4.23. Vista en 3D del MDE, software Global Mapper.....	103
Figura 4.24. Vista 2D del modelo digital de superficies, ArcGIS.....	104
Figura 4.25. Vista 3D del modelo digital de superficies, ArcGIS.....	104
Figura 4.26. Vista 2D del modelo digital de superficies, Global Mapper	105
Figura 4.27. Vista 3D del modelo digital de superficies, Global Mapper	105
Figura 4.28. True Ortho zona 1	106
Figura 4.29. True Ortho zona 2.....	106

Figura 4.30. Representación de predios	107
Figura 4.31. Vías y predios, fusión ortofoto y láser	108
Figura 4.32. Porcentaje de cobertura temática, postclasificación	111
Figura 4.33. Corrección de “Gaps” en polígonos	115
Figura 4.34. Identificación de objetos por características de similitud	116
Figura 4.35. Porcentaje de clases obtenidas	116
Figura 4.36. Productos de la clasificación.....	117
Figura 4.37. Distribución de puntos de muestreo de la zona de estudio....	117
Figura 4.38. Cálculo de errores y escala	120

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Categorías de clasificación de datos LiDAR, ASPRS.....	20
Tabla 2.2. Variables Catastrales	36
Tabla 2.3. Características de la zona urbana ordenanza Municipal.....	40
Tabla 2.4. Características de la zona rural ordenanza Municipal.....	40
Tabla 3.1. Sintaxis de la Herramienta Catalog.....	46
Tabla 3.2. Leyenda Temática, generación Mapa de Cobertura del Suelo ...	65
Tabla 3.3. Leyenda Temática, Mapa de Cobertura del Suelo de Otavalo....	66
Tabla 4.1. Calificación de Software.....	78
Tabla 4.2. Menú de herramientas FUSION.....	81
Tabla 4.3. Visualización de la información.....	82
Tabla 4.4. Productos de cada Software	84
Tabla 4.5. Extensiones Aceptadas.....	86
Tabla 4.6. Densidad de puntos por metro cuadrado	87
Tabla 4.7. Visualización de nube de puntos LiDAR en RGB	89
Tabla 4.8. Número de puntos por retorno recibido.....	92
Tabla 4.9. Análisis de retornos, Colombia	93
Tabla 4.10. Análisis de retornos, Ecuador	94
Tabla 4.11. Análisis de retornos, España	95
Tabla 4.12. Resultados cuantitativos de la clasificación manual.....	100
Tabla 4.13. Diferencia en identificación de objetos, densidad de puntos...	109
Tabla 4.14. Leyenda Temática Mapa de Cobertura del Suelo	111

RESUMEN

En la presente investigación se propuso analizar la calidad de datos LiDAR para su aplicación en proyectos de catastro rural. La evolución en las metodologías de levantamiento de información catastral ha traído consigo, un desarrollo de nuevas tecnologías, como él LiDAR; esto representa para el Ecuador un reto de investigación. Es así que, se estableció una metodología para el análisis de la información láser con fines de uso cartográfico, se realizaron con 3 programas que manejan información LiDAR, una vez evaluado el software apropiado, se realizaron estudios de densidad de puntos por metro cuadrado, análisis de retornos recibidos y clasificaciones automáticas y manuales de la nube de puntos LiDAR. La información analizada presenta una densidad de puntos por metro cuadrado muy baja, 0,20 pts/m², razón por la cual, se optó por combinar la ortofoto y los datos LiDAR para la generación de la cartografía; concluyendo que los datos LiDAR con una densidad de 1 pts/m² o menor, necesitan de otros insumos, como las ortofotos, para que produzcan buenos resultados. Finalmente se obtuvieron como productos: un modelo digital de elevaciones de 5 metros, un modelo digital de superficies de 5 metros, un mapa de cobertura del suelo, un póster, manuales de procesos y la cartografía catastral del lugar de escala 1:5.000.

PALABRAS CLAVES:

- **LiDAR**
- **RETORNOS**
- **NUBE DE PUNTOS**
- **LÁSER**
- **CARTOGRAFÍA CATASTRAL**

ABSTRACT

In this investigation, the main objective was to analyze the quality and precision of the LiDAR data generated by Ecuador, through its project SIGTIERRAS, in order to apply this information on cadastre rural projects. The evolution in the way that the cadastral information is obtained has brought with it, a change in the methodologies and a development in the technologies, like LiDAR; this represents an investigation challenge for Ecuador. So, it was established a methodology to analyzed laser information in order to produce cartography. First, 3 different software were evaluated to determinate which is the most versatile software to work along with the LiDAR information, then was determinate the density of points per square meter, it was analyzed the number of returns received and finally an automatic and a manual classification of the point cloud were made. The density of points per square meter is very low, 0.20 pts/m². Because of the low density in the information, the cartography was generated with the LiDAR data and the ortophotography. In conclusion, if the laser information has 1 pts/m² or less other data must be use, like in this case the ortophotography, in order to have a good interpretation of the elements in the terrain surface. The products obtained were: 1 digital elevation model with a resolution of 5 meters, 1 digital surface model with a resolution of 5 meters, 1 map of ground coverage, 1 poster, 5 users manuals and the cadastral cartography of the zone in 1:5.000 escale.

KEYWORDS:

- **LiDAR**
- **RETURNS**
- **POINT CLOUD**
- **LASER**
- **CADASTRAL CARTOGRAPHY**

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

A lo largo de la historia del registro catastral, las metodologías y técnicas de levantamiento de información han presentado un gran cambio, sobre todo una vertiginosa evolución de las herramientas tecnológicas (software y hardware) utilizadas para los fines de representación de la superficie terrestre.

Es así que, desde el año 1400 A.C. Heródoto hace referencia a las técnicas topográficas del antiguo Egipto, en donde se realizaban replanteos de los terrenos cultivables, luego de las crecidas del Río Nilo, fenómeno que despojaba de sus tierras a los agricultores. Dichos replanteos fueron realizados con la ayuda de técnicos llamados en esa época, estiradores de cuerdas, quienes empleaban cuerdas de longitudes conocidas para la medición del terreno y posteriormente, aquella área era asignada a su antiguo dueño. (Molina Alcázar, 2000)

Las técnicas topográficas, como el uso de los teodolitos que basaban su principio en la medición de ángulos y distancias, abarcó gran parte de la historia al representar el terreno pero, con la aparición de los aviones en 1909 se cambió el paradigma, y es en la Segunda Guerra Mundial donde se da origen a la fotogrametría aérea. (Chuvienco, 1995)

Con este gran salto, la percepción remota inicio una nueva etapa dentro de las ciencias geográficas y del catastro. La capacidad de extraer información de la superficie terrestre y sus elementos mediante sensores montados en plataformas aéreas, hizo que las tareas catastrales sean realizadas con mayor eficacia, ya que se podía analizar áreas mucho más grandes que las acostumbradas.

En 1972 se da el lanzamiento de la misión de observación de la Tierra denominada Landsat (Chuvieco, 1995), misión que abrió paso a una nueva era de recolección de información geográfica, con una mayor cantidad de información que las fotografías aéreas no poseían. Debido a la capacidad de los sensores para capturar información de espacios aún mayores, esta fue una herramienta muy útil para el catastro no únicamente de zonas urbanas, con predios pequeños, si no que abrió el camino para realizar un inventario catastral de bosques, reservas naturales y zonas de agricultura, etc...

Los avances dentro de la teledetección se apegan a la visión de los sistemas catastrales futuros, en donde se dice que: “La tecnología geomática será la herramienta normal para el trabajo catastral.” (Kaufmann & Steudler, 1997)

De esta manera a nivel regional, la Organización de los Estados Americanos (OEA), desarrolló el MuNet (Programa de Municipios Eficientes y Transparentes). El mismo consta de dos fases, la primera inició en el 2005 donde se eligieron los municipios beneficiarios, entre ellos se encontró el municipio de Azogues, ubicado en la provincia de Cañar. Mientras que la segunda fase el proyecto “...entregó un paquete de soluciones municipales para la modernización del catastro en cada uno de los municipios beneficiados.” (OEA, 2015)

En la actualidad, no se trata únicamente de representar los elementos de la superficie de manera plana como hacía un par de años, las tendencias son los modelos en 3 dimensiones, que permiten al usuario de la información sumergirse en una realidad a escala y desde la comodidad de su hogar.

Según Arranz (2013), las técnicas laser, especialmente el LiDAR aerotransportado, presentan grandes ventajas frente a las técnicas fotogramétricas y de teledetección. Permitiendo al usuario obtener modelos digitales de terreno y superficie, modelos de zonas forestales y cálculo de parámetros dasométricos, y lo más novedoso, modelos en 3 dimensiones de ciudades en donde se extraen los edificios, puentes y mobiliario urbano.

1.2. Área de Estudio

El área elegida fue el cantón de Otavalo ubicada en el norte del país, cantón perteneciente a la provincia de Imbabura. Comprende un área total de 579 Km².

Está extensión incluye tanto el área urbana como la rural, por lo cual se eligió un sector de 5 kilómetros cuadrados para el estudio. El sitio de estudio reúne características rurales y urbanas, ya que dentro de la misma se encuentra edificaciones y lugares de vivienda. Dentro de la **Figura 1.1** se detalla la ubicación del área de estudio con respecto al cantón de Otavalo.

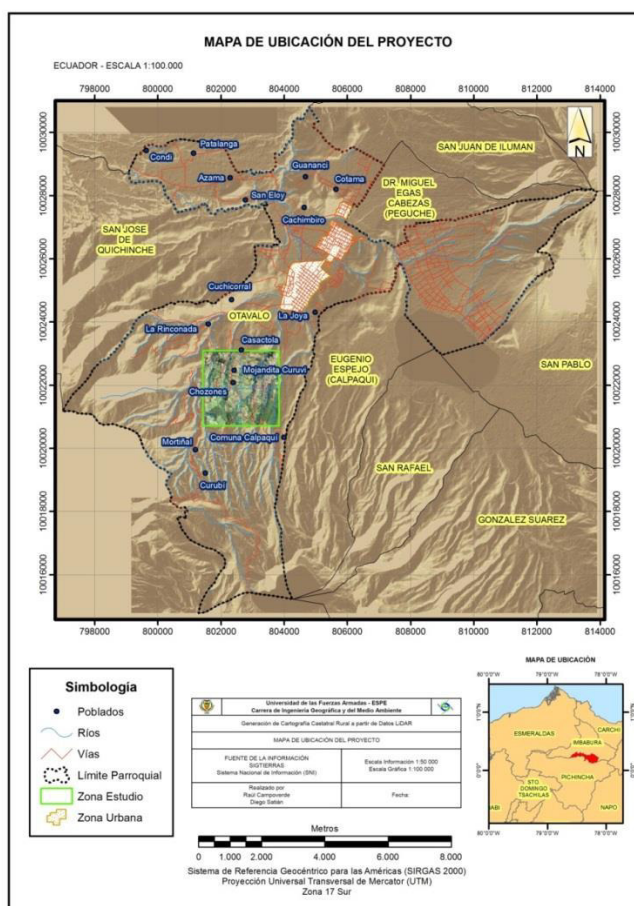


Figura 1.1. Mapa de ubicación del proyecto

1.3. Problemática

No existe una investigación profunda en el tratamiento de datos generados por sensores láser en el país, lo que trae como consecuencia la subutilización de los productos generados en proyectos nacionales. Mientras que en otros países la información obtenida de sensores remotos se la explota en un 100 %, en Ecuador hace falta una guía, de cómo y en qué, utilizar toda la información que posee el país.

1.4. Justificación

El cambio de metodologías en la generación de cartografía catastral, promueve el desarrollo. Por lo mismo, se pretende potenciar metodologías pasadas, con nuevas herramientas que permitan obtener grandes beneficios con análisis mucho más profundos y precisos, de la actual situación del territorio.

1.5. Objetivos

➤ Objetivo General

Analizar la calidad de los datos LiDAR generados en el país, para fines catastrales.

➤ Objetivos Específicos

- Establecer una metodología de análisis de calidad de datos LiDAR para su aplicación en proyectos de cartografía catastral rural.
- Obtener modelos digitales tanto de elevaciones como de superficie, para analizar el terreno y sus elementos en general.
- Generar True-Orthos de la zona elegida como zona de estudio.
- Realizar cartografía catastral rural a partir de los datos LiDAR analizados.
- Generar cartografía de la cobertura del suelo, de la zona de estudio seleccionada.

1.6. Metas

- Un manual de procesos, donde conste la metodología que se debe seguir para el análisis de la calidad de datos LiDAR y su aplicación dentro de proyectos de generación cartográfica para áreas rurales. El mismo que contendrá los modelos cartográficos necesarios para entender los procesos a llevarse a cabo y los resultados de un estudio de caso.
- Dos modelos digitales, uno de elevaciones y otro de superficie, de la zona de estudio.
- Dos True-Orthos que comprenden dos zonas del cantón Otavalo.
- Un plano catastral de la zona rural con escala 1:5.000.
- Un mapa de ocupación de suelo de la zona de estudio.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

El catastro en sí, como una herramienta para realizar la valorización de los bienes inmuebles de la población por parte de los gobiernos locales, trae consigo el establecimiento de modalidades de avalúo donde los sistemas catastrales tradicionales de captura de información como insumo tienen una reputación confiable, basados en técnicas de soporte como la topografía y la fotogrametría. El resultado son campañas largas y costosas de toma de puntos, etc.

La necesidad de los gobiernos locales hoy por hoy, es la valorización mediante técnicas modernas que permitan obtener información en menor tiempo y a costos más bajos, que permitan ahorrarles costos a los municipios y administración pública. E aquí la necesidad de hacer uso del avance de técnicas de captura de información, que proporcionen calidad, precisión y confiabilidad.

El Lidar (Light Detection and Ranging) hoy en día está tomando campo dentro de los sistemas de captura de información remota, donde se aprovecha su capacidad de obtener puntos del terreno con su valor de altura, lo que permitirá a priori obtener los límites de las cubiertas de las edificaciones, los bordes del terreno y densidad de vegetación. Todo esto en función de obtener insumos donde se puedan realizar mediciones y aplicarlo a la valorización catastral.

2.2. Sensores Remotos

➤ Definición

Según Lanero (2012); la Percepción Remota o Teledetección, es la ciencia y arte de obtener información de un objeto sobre la superficie

terrestre sin estar en contacto físico con el mismo, haciendo uso de sistemas de registro de la información del elemento o fenómeno en estudio. El principio básico que proporciona la Teledetección, es la de aquellos métodos que emplean la energía electromagnética reflejada o irradiada por los elementos terrestres.

➤ El Espectro Electromagnético

“El Espectro Electromagnético (EEM) es la distribución de radiación electromagnética según la energía” (Pérez, 2007). Se divide en regiones en función de la longitud de onda, frecuencia y energía. Los objetos sobre la superficie terrestre irradian energía electromagnética de varias longitudes de onda. Dichas ondas son caracterizadas en los Sensores Remotos de acuerdo a su posición, donde la unidad de medida es el micrón ($1\mu m = 10^{-6}m$) (ver Figura 2.1).

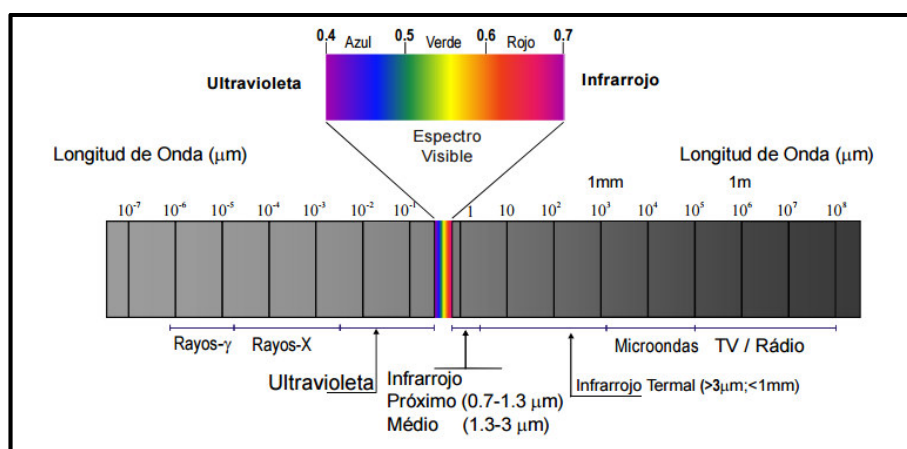


Figura 2.1. Espectro Electromagnético

Fuente. (Pérez, 2007)

2.3. Tipos de Sensores

Según Cortez (2010); Los sensores remotos pueden ser clasificados de acuerdo a diferentes criterios, entre ellos:

- ✓ Banda del Espectro Electromagnético utilizada
- ✓ Fuente emisora de energía
- ✓ Ubicación espacial de la fuente emisora y receptora de energía

- ✓ Información registrada
- ✓ Mecanismos utilizados para captar la información

Haciendo referencia al tema de estudio los clasificaremos de dos maneras, en función de la fuente emisora y por el vehículo que alberga el sistema, de la siguiente manera:

➤ **Sensores Pasivos Aerotransportados**

Los sensores pasivos, hacen referencia a aquellos sistemas que reciben la energía emitida por otra fuente externa (sol) y reflejada por los objetos en la superficie terrestre. La mayoría de ellos lo hacen en longitudes de onda que van desde el visible hasta el infra-rojo lejano o térmico (Molina, Papi, & Villamizar, 2008).

La denominación de aerotransportados la reciben del cuerpo o infraestructura que los alberga, en este caso corresponde a un dispositivo móvil aéreo como un avión, helicóptero o actualmente los UAV.

➤ **Sensores activos aerotransportados**

Los sensores activos, corresponde a aquellos sistemas que poseen una fuente energía propia, es decir operan independientemente de la iluminación de una fuente de energía externa como el sol (Molina *et. al.*, 2008). Estos sensores emiten la energía en dirección al objeto y reciben la energía reflejada.

2.4. LiDAR

➤ **Definición de LiDAR**

LiDAR (Light Detection and Ranging) por su acrónimo en inglés, corresponde a un sistema que emplea la radiación electromagnética en las frecuencias ópticas del visible e infrarrojo cercano y que corresponde a un pulso o rayo de luz que es emitido por un sensor hacia un objeto, el mismo que devuelve una respuesta de dicho rayo, con una variación en la longitud de onda emitida. La función primordial es medir distancias y propiedades del medio recorrido. (Papi, 2008)

Según Molina *et. al.* (2008); las longitudes de onda láser están en el rango de 500 – 1500 nm, pero los valores típicos que utiliza sensor LiDAR están al rango de 800 – 1060 nm, que corresponde a una longitud de onda entre 10000 a 100000 veces más corta que la usada en el radar convencional, lo que permite obtener mayor exactitud y resolución que los sistemas radar al trabajar en longitudes de onda mucho más cortas, ver Figura 2.2. Es por esto que se puede decir que los radares láser son una extensión directa de las técnicas de radar convencional.

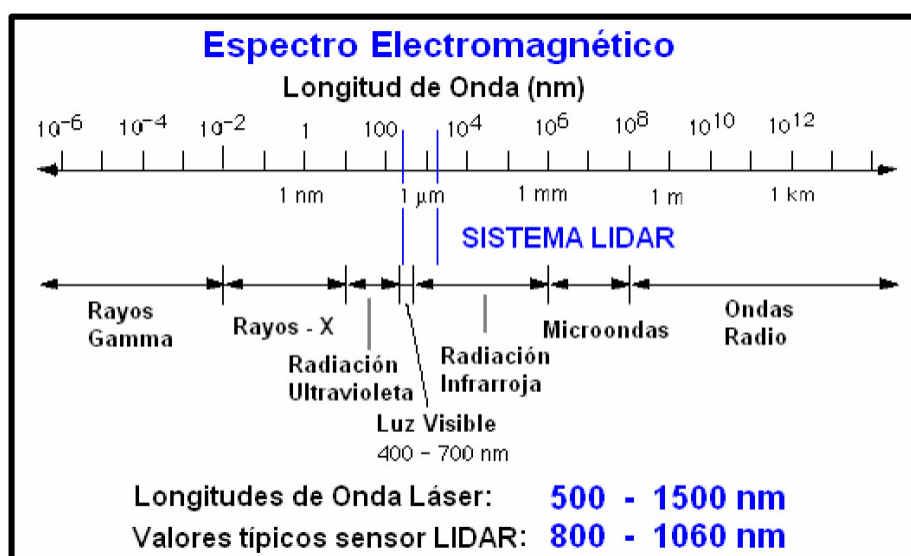


Figura 2.2. Longitud de Onda LiDAR

Fuente. (Molina *et. al.*, 2008)

Arranz (2013); manifiesta, que esta tecnología permite la captura de información de manera discreta, con muy alta resolución de cualquier elemento en tres dimensiones. El producto generado es una nube de puntos que contiene información posicional de elevación y donde se pueden realizar cálculos de medida, obtener información atmosférica, vectorizar entidades, obtener perfiles, trazar dibujos y modelar digitalmente los elementos objetivo, en 2D/3D en una plataforma informática CAD, SIG o BD.

2.5. Principio del sistema LiDAR

Un sistema LiDAR, está compuesto de un sensor activo que es el encargado de emitir el haz de energía láser hacia el objeto del cual se desea obtener información, como lo ilustra la Figura 2.3, en ese momento las propiedades y características del haz cambian y devuelve un reflejo de dicho rayo de manera difusa, el cual es captada por el sensor, que mediante un algoritmo de cálculo lo registra y lo codifica. (Arranz, 2013)

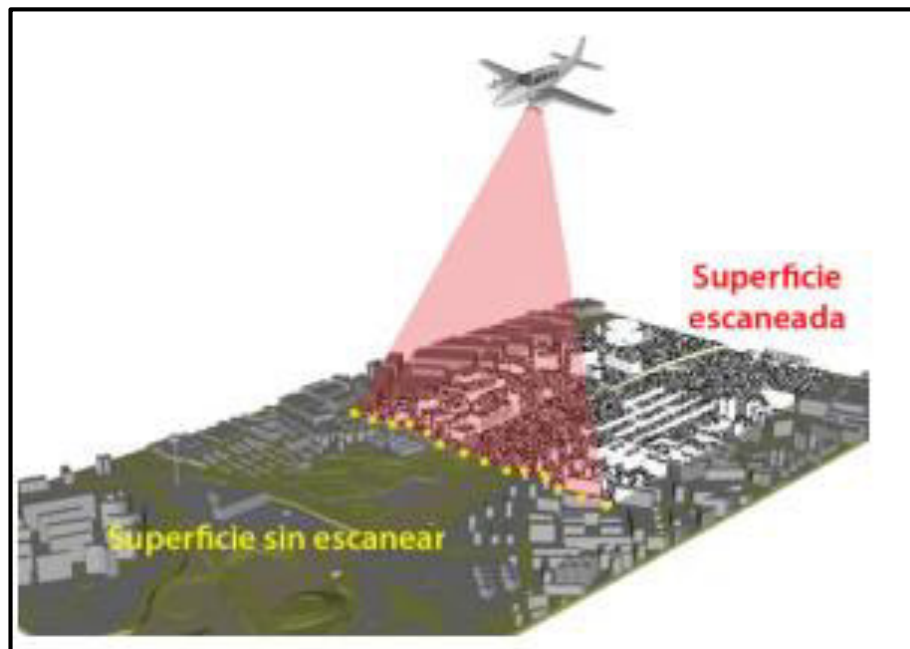


Figura 2.3. Escaneo láser del terreno

Fuente. (Arranz, 2013)

Según Ruiz, Garro y Soto (2014) el sistema LiDAR consta de 5 partes (ver Figura 2.4):

Unidad de Escáner LiDAR: usualmente de micro-pulsos.

Receptor GPS: de alta precisión montado sobre la aeronave con su correspondiente estación terrestre.

Unidad de Medida Inercial (IMU): consta de un Giróscopo y un acelerómetro encargados de corregir las distorsiones por movimientos del avión (alabeo, cabeceo y deriva).

Cámara digital: para fotografías aéreas de gran/medio formato.

Computador de almacenamiento: con alta capacidad de registro de información.

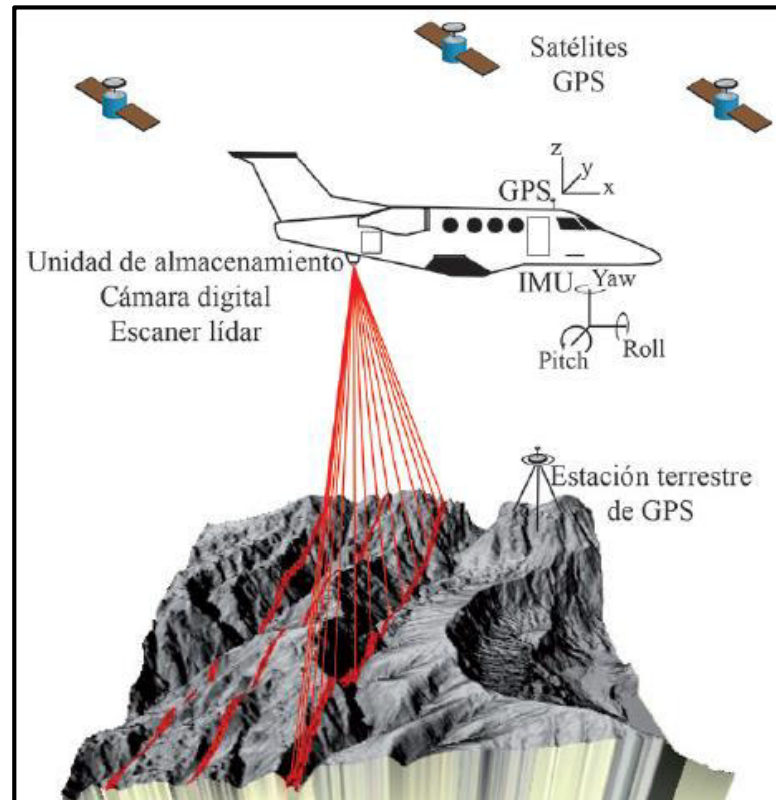


Figura 2.4. Esquema de Funcionamiento LiDAR Aerotransportado

Fuente. (Ruiz, Garro, & Soto, 2014)

2.6. Geometrías de escaneo LiDAR

Según Ruiz *et. al.* (2014), en el viaje de la aeronave sobre el área de estudio en una ruta predeterminada, el rayo láser realiza un escaneo que puede seguir al menos cuatro geometrías: lineal, o de lado a lado, zigzag, elíptica, o Palmer, todo se explica dentro de la Figura 2.5. Esto en función del mecanismo de escaneo que realizan los espejos dentro del sensor:

El mecanismo de espejos oscilantes, realiza un barrido bidireccional y produce un escaneado de forma sinusoidal o en disposición zig-zag. El ejemplo real de su aplicación está en los equipos de Optech y Leica.

El mecanismo de espejos oscilantes presenta un patrón irregular de escaneado una distribución de huellas en líneas paralelas y regulares unidireccionales.

El mecanismo de espejos sobre dos ejes con oscilación, que produce un patrón de escaneo elíptico. Los puntos con este sistema pueden ser medidos dos veces, lo que mejora la redundancia del mecanismo de espejos y permite utilizarlo en vuelos de calibración. TopEye es el ejemplo de sensores LiDAR con este mecanismo.

El mecanismo que usa un espejo con giro de nutación junto con fibras ópticas que producen líneas paralelas y regulares espaciadas. Su característica principal la de tener el ángulo de captura fijo, lo que produce un patrón denso y regular. Además en este sistema el pulso láser no está relacionado con el ángulo de captura y la altura de vuelo.

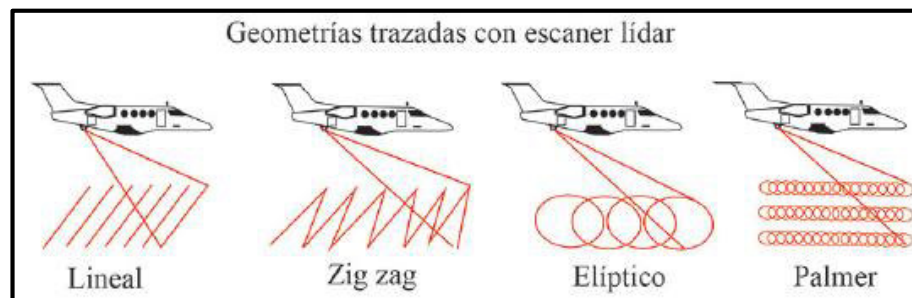


Figura 2.5. Geometrías de Escaneo

Fuente. (Ruiz *et. al.*, 2014)

2.7. Retornos (Ecos)

De acuerdo con Arranz (2013), la naturaleza del pulso láser y el ancho de la huella sobre el terreno, permite obtener varias reflexiones del mismo rayo en diferentes puntos, a esto se le conoce con el nombre de eco o retorno. Se producen cuando las superficies de los objetos no cubren de forma completa el haz de luz, es decir, frente a diferentes choques del haz

de luz con los objetos se producirán en el mismo número los retornos, hasta llegar a la superficie del suelo.

Entendiendo el funcionamiento del equipo LiDAR, se conoce que éste mide el intervalo entre el pulso láser cuando deja la plataforma de la nave, se topa un objeto y se refleja, y luego su retorno al sensor LiDAR. Durante este proceso el escáner pasa midiendo entre 20 000 y 100 000 puntos por segundo, que son almacenados en la memoria de la computadora, y a toda esta información se le conoce como nube de puntos (Ruiz *et. al.*, 2014). Una característica distintiva de los retornos en zonas con vegetación es que estos se pueden producir a diferentes niveles, como se observa en la Figura 2.6, siendo posible que el último retorno se produzca al nivel del terreno.

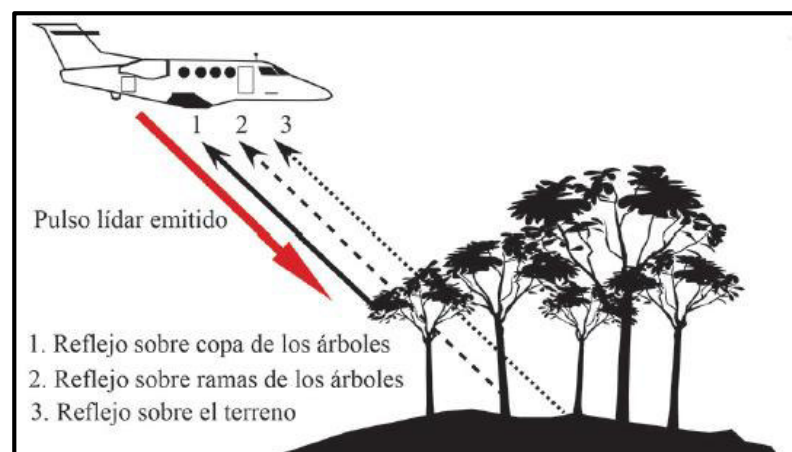


Figura 2.6. Análisis de Retornos

Fuente. (Ruiz *et. al.*, 2014)

Los pulsos láser emitidos desde un sistema LiDAR se reflejan desde objetos sobre, y por encima de la superficie del suelo: vegetación, edificios, puentes y así sucesivamente. Un pulso láser emitido puede regresar al sensor LiDAR como uno o muchas devoluciones. Cualquier pulso láser emitido que encuentre varias superficies de reflejo a medida que viaja hacia el suelo se divide en tantas devoluciones como superficies reflectoras existen. Así como lo demuestra la Figura 2.7.

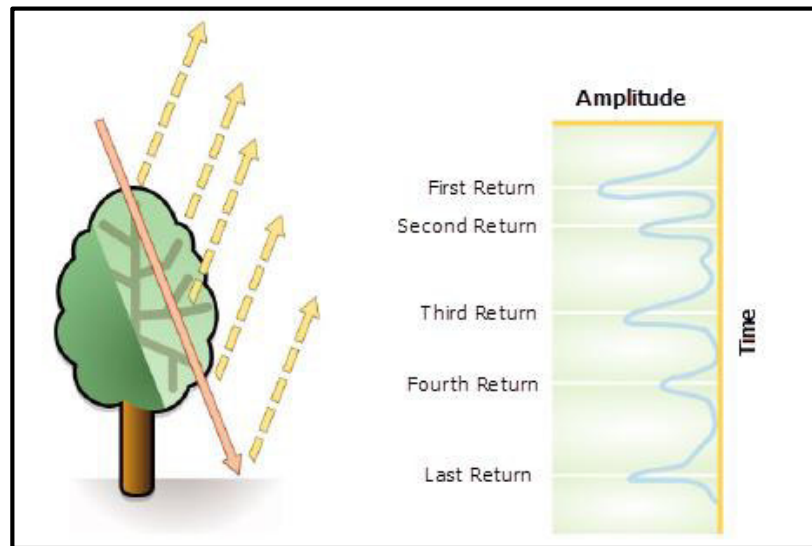


Figura 2.7. Esquema de Retornos

Fuente. (ESRI, 2013)

El primer pulso láser devuelto es el más importante y se asociará con la entidad más alta en el panorama, como una copa de árbol o la parte superior de un edificio, dentro de la Figura 2.8 se ilustra la devolución de la copa de un árbol. La primera devolución también puede representar el suelo, en cuyo caso el sistema LiDAR solo detectará un regreso. Varias devoluciones pueden detectar las elevaciones de varios objetos dentro de la huella láser de un pulso láser saliente. Las devoluciones intermedias, en general, se utilizan para la estructura de la vegetación, y la última devolución para los modelos de terreno de suelo desnudo. (ESRI, 2013)

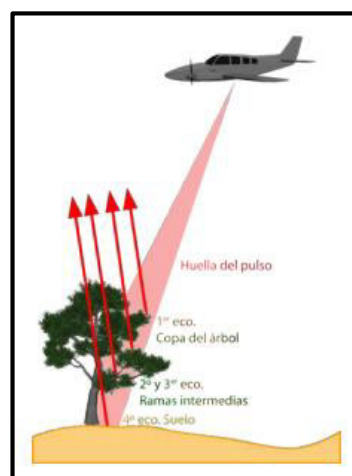


Figura 2.8. Retornos Independientes

Fuente. (Arranz, 2013)

2.8. Análisis Full - Waveform

El análisis full-waveform hace referencia a una operación que según Arranz (2013), permite superar las limitaciones de los sistemas LiDAR basados en pulsos, Figura 2.9, donde se conciben errores en la detección de ciertos retornos (ecos), en el cual se considera errores de posición de hasta 30 cm. Este análisis mejora la precisión, fiabilidad y resolución del registro de varios ecos, inclusive permitirá obtener información sobre la estructura y propiedades físicas de los objetos escaneados, Figura 2.10. De hecho es una aplicación muy útil en análisis de cubierta vegetal, donde se destaca el registro de varios parámetros forestales como el área, el diámetro, la altura, el volumen e inclusive clasificarlos por especies (Arranz, 2013).

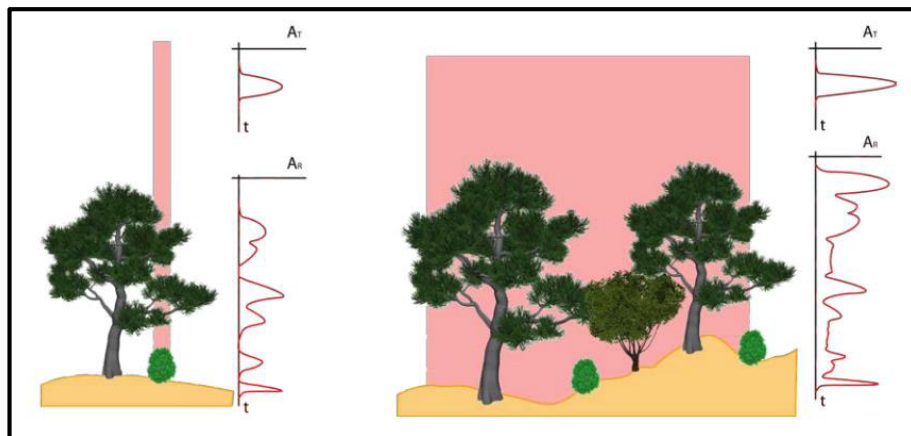


Figura 2.9. Señal Full - Waveform

Fuente. (Arranz, 2013)

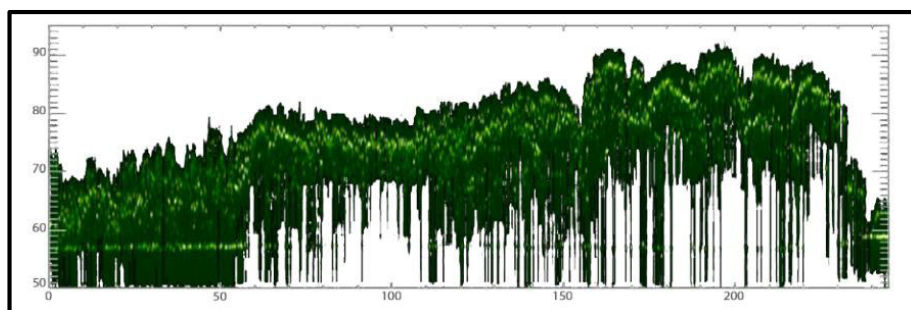


Figura 2.10. Perfil de un árbol (Full-Waveform)

Fuente. (Arranz, 2013)

2.9. Fundamentos de medida con LiDAR

El sensor LiDAR, como tal, opera con el sentido de un sensor activo que emite rayos de luz hacia el objeto de análisis, interactúa con el objeto y cambia sus propiedades y características iniciales al momento del disparo. Estos cambios son devueltos como una respuesta (eco) en dirección al centro de emisión que se halla en el sensor. Los cambios en las propiedades del rayo láser, como su intensidad de color, permiten determinar algunas propiedades o características del objeto escaneado, o en su caso propiedades de la atmosfera o medio atravesado (Papi, 2008).

La medida del sensor en sí, radica en función del tiempo de viaje, dando como resultado una medida de distancia entre el sensor y el objeto analizado representado con la R , que corresponde a la multiplicación de la velocidad de la luz por el tiempo de viaje dividido para dos (ver Figura 2.11), tal como lo representa la siguiente ecuación:

$$R = c * \frac{t}{2} \quad \text{Ec.2.1.}$$

Donde:

$R = \text{distancia sensor objeto}$

$c = \text{Velocidad de la Luz}$

$t = \text{tiempo de viaje del rayo laser}$

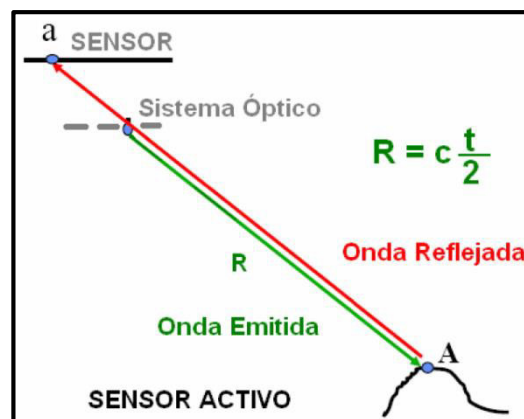


Figura 2.11. Medida del sensor LiDAR

Fuente. (Papi, 2008)

2.10. Ortofotos verdaderas (True Orthos)

Se conoce como orto-foto verdadera al término que refiere una orto-imagen, la cual representa toda su imagen en proyección ortogonal (Santos, 2005). Se destaca de la orto-imagen convencional por la ausencia de los errores comunes ya conocidos, así como el desplazamiento radial; mientras que las Orto-fotografías verdaderas corrigen adicionalmente la situación de los objetos grandes, tanto artificiales como naturales (Vegetación) (Lerma, 2002)

Aunque es un concepto muy reiterativo e incluso un poco utópico, representa el futuro del catastro urbano, puesto que es revolucionario y preciso, que garantiza la captura de toda la información que requiere el Catastro, es decir precisión planimétrica, edificaciones en volumen, actualización rápida, etc.

2.11. Filtrado de datos LiDAR

Según Arranz (2013), el filtrado de datos LiDAR es un paso previo a la clasificación, en el cual se busca descartar o eliminar datos erróneos o redundantes, provocados por el rebote del pulso láser sobre objetos entre el sensor y su viaje a la superficie terrestre como aves o aviones, observar la Figura 2.12. Otro factor puede ser la incorrecta reflexión del haz de luz sobre superficies pulidas, espejos o agua; tal y como ocurre con la señal de los instrumentos GPS/GNSS al que se denomina efecto multi-camino, lo que produciría puntos bajo la superficie del suelo.

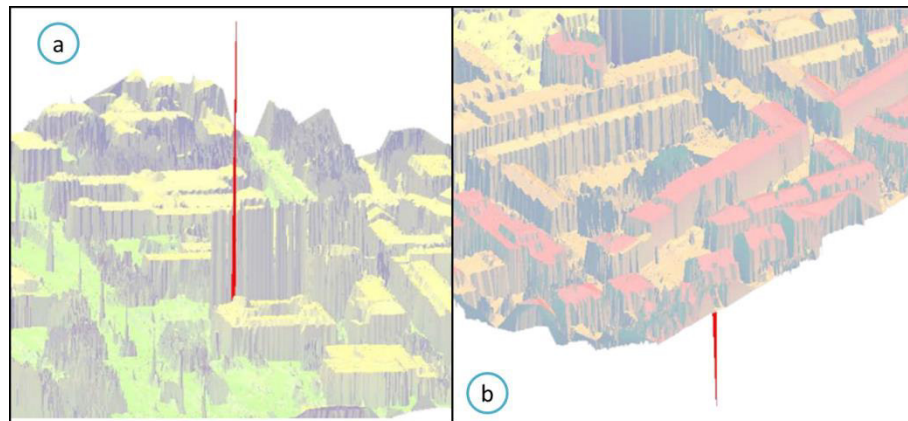


Figura 2.12. Detección de puntos erróneos en los Modelos Digitales de Superficie
 a. Rebote del pulso sobre un objeto ente el sensor y la superficie del suelo
 b. Incorrecta reflexión del haz de luz, superficies pulidas, espejos, superficies de agua

Fuente. (Arranz, 2013)

La Figura 2.13, muestra algunos de los datos, y en su defecto ser eliminados de la nube de puntos. Como se observó en la figura anterior, al generar los MDT utilizando los datos sin ningún tipo de clasificación previa, permite detectar estos datos erróneos y en consecuencia filtrarlos.

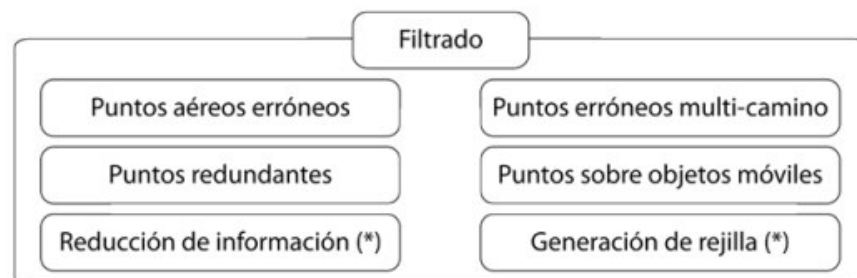


Figura 2.13. Cuadro resumen de los datos a ser filtrados de la nube de puntos LiDAR

Fuente. (Arranz, 2013)

2.12. Clasificación de nube de puntos LiDAR

Albacete (2011), refiere la clasificación de los datos LiDAR como el proceso mediante el cual se almacena por grupos de puntos las diferentes clases o categorías contenidas en la nube de puntos; que de acuerdo al algoritmo usado son correspondientes con la zona de estudio, tales como vegetación alta, media y baja; edificios, tendido eléctrico, etc.

Arranz (2013), sostiene que la clasificación de datos LiDAR es el paso siguiente al filtrado, puesto que luego de eliminar los errores groseros de los datos que salen fuera de la lógica del sitio de análisis, registrará en clases la información de las entidades identificadas en la nube de puntos tal como lo muestra la Figura 2.14:



Figura 2.14. Cuadro resumen de las entidades detectadas en el proceso de clasificación

Fuente. (Arranz, 2013)

El proceso de clasificación de datos LiDAR, implica el uso de algoritmos contenidos en softwares que permiten realizar la detección de entidades en de forma automática, ilustrado en la **Figura 2.15**, obviamente aún no se tiene un programa que realice una clasificación de la nube de puntos en su totalidad, aunque ya lo hacen en un 70 a 80%. Dicho esto se hace indispensable mencionar el uso de las herramientas de clasificación manual, para corregir los errores en el almacenamiento automático de las entidades, siendo este un proceso de percepción visual realizado por el analista.

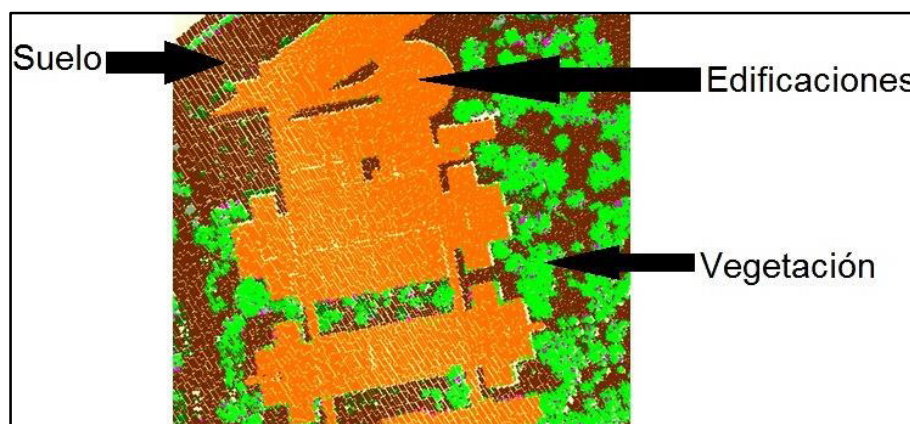


Figura 2.15. Clasificación automática de la nube de puntos, software Global Mapper

Tal como lo menciona Albacete (2011), "... los datos LiDAR pueden contener una o varias clasificaciones previas a la entrega de la información por las entidades responsables, puesto que los datos brutos están agrupados en una sola clase que recoge todas las respuestas de cada pulso".

La mayoría de los software ya tienen establecidas las categorías o clases de clasificación dentro de sus algoritmos, sustentándose en el estándar establecido por la Sociedad Americana de fotogrametría y Percepción Remota/Teledetección ((ASPRS), 2013). Ver la Tabla 2.1.

Tabla 2.1.
Categorías de clasificación de los datos LiDAR adaptado a la ASPRS

VALOR	DESCRIPCIÓN
0	Creados, nunca clasificados
1	Sin clasificar
2	Suelo
3	Vegetación baja
4	Vegetación media
5	Vegetación alta
6	Edificios
7	Puntos bajos (ruido)
8	Nube de puntos
9	Agua
10	Vía de tren
11	Vía
12	Puntos solapados
13	Alambre de protección
14	Alambre conductor de fase
15	Torre de transmisión
16	Alambre conector de estructura
17	Puente
18	Puntos altos (ruido)
19-39	Reservado para ASPRS
40	Punto batimétrico



CONTINÚA

41	Superficie de agua
42	Superficie derivada de agua
43	Objeto sumergido
44	Objetos IOH S-57
45	Sin fondo en el punto batimetrico
46-255	Reservado para ASPRS

Fuente. Global Mapper, 2015

2.13. Archivo .las

De acuerdo a Albacete (2011), corresponde al formato estándar de almacenamiento de la información LiDAR. Corresponde a los datos brutos que se encuentran en un formato binario, el cual en su archivo de cabecera incluye el posicionamiento GPS, datos de orientación inercial x, y, z (INS/IMU); los tiempos de viaje de los puntos, el rango de datos de los pulsos láser y el parámetro de intensidad de cada punto, observar la Figura 2.16. Luego, se procesa como un solo archivo que contiene a la nube de puntos con todos los atributos finales clasificados, almacenados en una base de datos.

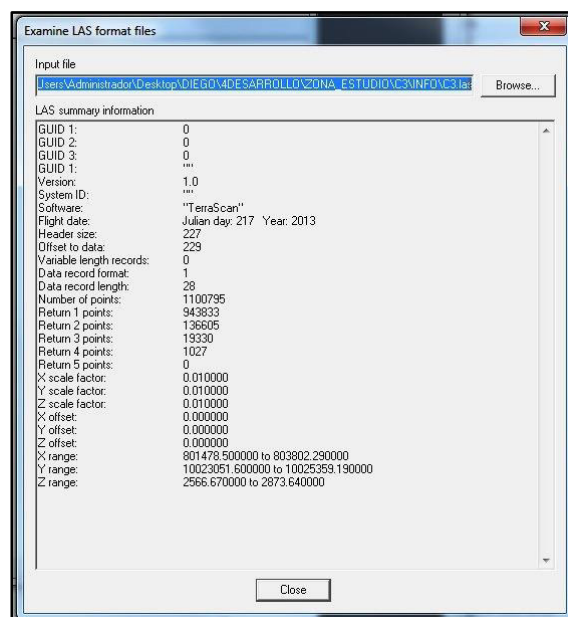


Figura 2.16. Archivo de cabecera de un formato .las, FUSION V.3.46

2.14. Ortofotografía

La adquisición de información del territorio es, hoy en día una tarea que ha evolucionado de manera vertiginosa. Dentro de un periodo de 40 años, los sensores remotos han desarrollado las capacidades tecnológicas necesarias para obtener gran cantidad de información.

La fotogrametría es según Santamería y Sanz (2011): "... la ciencia por medio de la cual a partir de fotografías del terreno, se consigue deducir su planta y su alzado, llegando a formar un plano topográfico del mismo. Estas fotografías pueden tomarse desde tierra o desde el aire...".

De acuerdo con esa definición, se dice que el principal insumo son las fotografías. Pero el instante que los sensores fotográficos, analógicos o digitales, capturan la imagen; se producen errores y "... deformaciones producidas por el relieve del terreno, la falta de verticalidad de la toma fotográfica y las distorsiones propias del objetivo de la cámara empleada". (Consejería del Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015)

Para corregir todos los problemas y distorsiones presentes en las imágenes y fotografías se sigue el procedimiento indicado en la Figura 2.17. Donde se detalla cada uno de los procedimientos de generación de una ortofotografía u ortoimagen.

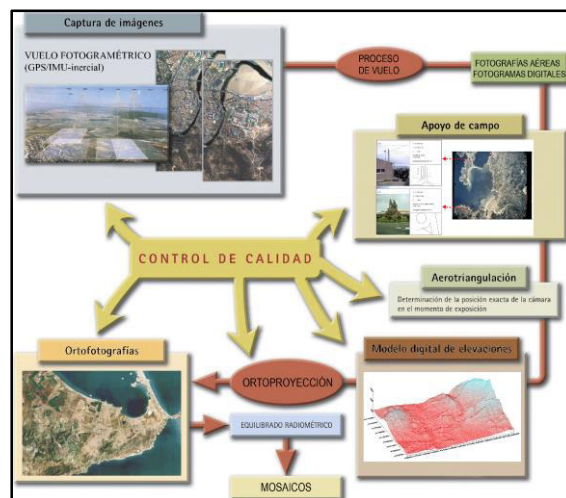


Figura 2.17. Proceso fotogramétrico

Fuente. Instituto Geográfico Nacional de España

Así de esta manera, la ortofotografía, Figura 2.18, queda definida como: “... la representación fotográfica de una zona de la superficie terrestre, en la que todos los elementos presentan la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico, pero con mucha más información que la anterior.”. (IGM, 2006)

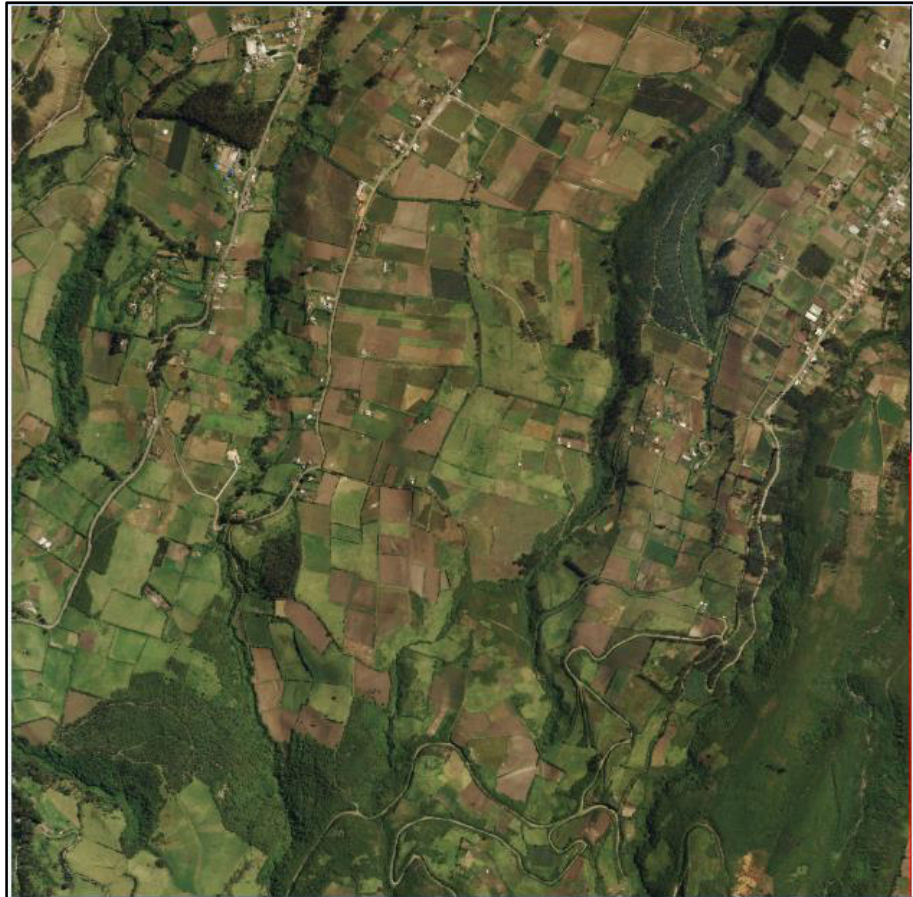


Figura 2.18. Ortofotografía zona de Otavalo
Fuente. SIGTIERRAS

2.15. Modelos Digitales

Para una mejor descripción y entendimiento de la realidad de la superficie terrestre, se han desarrollado algoritmos y modelos de datos, que permitan al usuario ser capaz de observar las características del terreno que lo rodea. Es así que, Miller y Laflamme (1958), científicos del Laboratorio de Fotogrametría del Instituto de Tecnología de Massachussetts (MIT), establecen el uso de los modelos digitales, como herramienta para la

interpretación, observación y análisis del terreno en diferentes áreas. (Felicísimo, s.f.)

De esta manera, se encuentran 3 tipos de modelos digitales: modelos digitales de terreno, de elevaciones y de superficie. Los mismos que son una representación ráster, arreglos matriciales de filas y columnas, de una superficie continua.

En donde la precisión de los datos es determinada básicamente por la distancia entre los puntos de muestra, que en otras palabras se traduce como la resolución de los modelos. (ESRI, 2013)

2.16. Modelos Digitales de Terreno (MDT)

Son modelos de datos ráster, que representan el relieve a nivel del suelo. Describe los accidentes geográficos y todos los elementos que se encuentren sobre la superficie del terreno. Ver Figura 2.19.

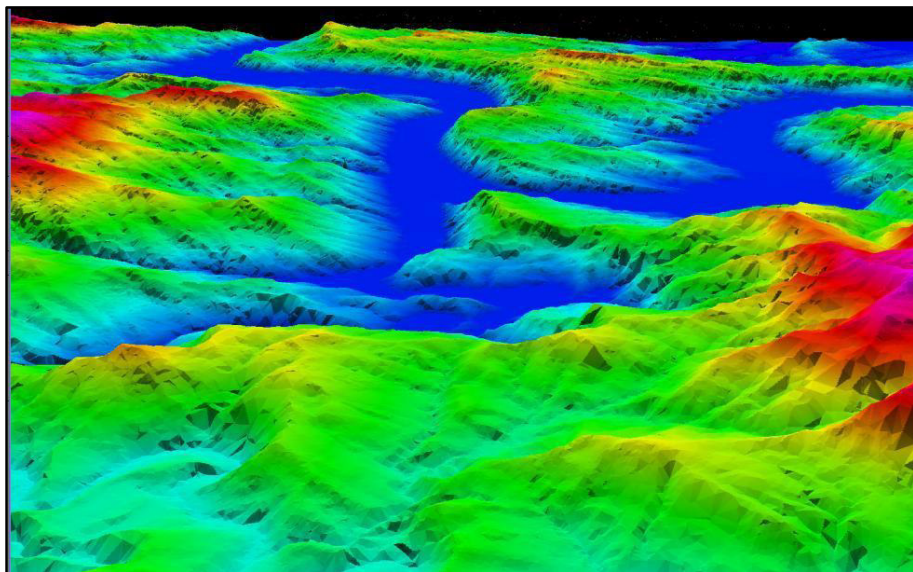


Figura 2.19. Modelo digital de terreno

Fuente. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México

2.17. Modelos Digitales de Superficie (MDS)

En este caso, el modelo ilustrado en la Figura 2.20, representa todos los elementos que se encuentran sobre la superficie del terreno, estos

elementos pueden ser: la copa de los árboles, las edificaciones, el tendido eléctrico, etc...

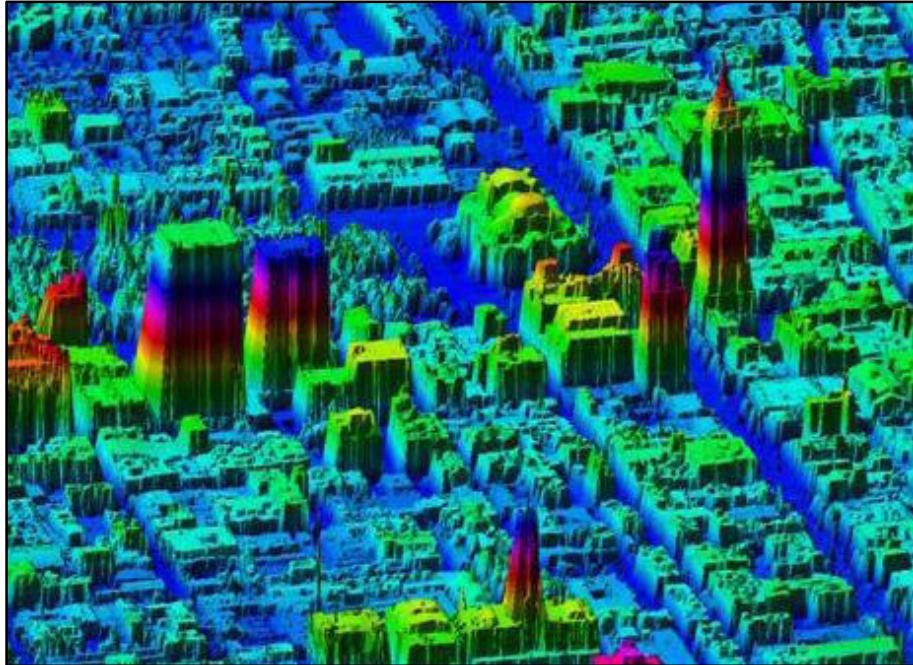


Figura 2.20. Modelo digital de superficie

Fuente. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México

2.18. Modelos Digitales de Elevaciones (MDE)

El Instituto Geográfico Nacional de España (2015), lo define como: "... el conjunto de los modelos digitales de terreno y de los modelos digitales de superficie." Lo que se encuentra ilustrado en la Figura 2.21.

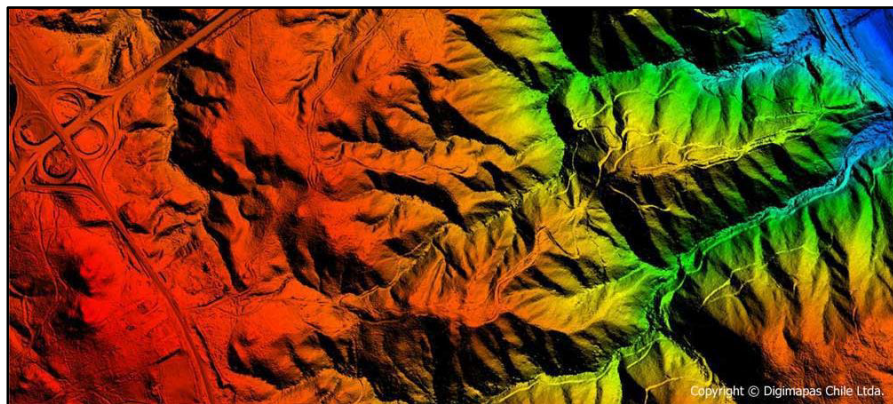


Figura 2.21. Modelo digital de elevaciones

Fuente. Digitmapa, Colombia

A partir de los modelos digitales se pueden obtener diferentes productos, los mismos que se explican a detalle en la Figura 2.22.

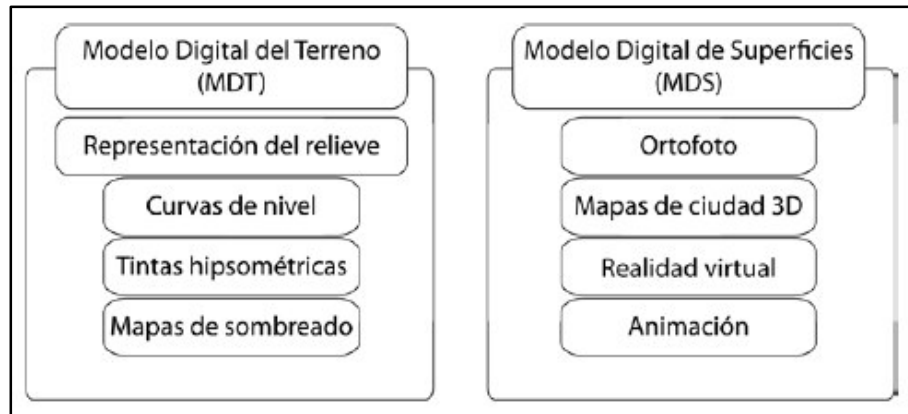


Figura 2.22. Operaciones a realizar con el MDT y el MDS

Fuente. (Arranz, 2013)

2.19. Clasificación Automática Basada en Objetos

La Clasificación Automática Basada en Objetos, es una técnica que busca la discriminación de objetos o segmentos contenidos en la imagen, basados en sus características espectrales, espaciales, contextuales, morfológicas y temporales (Canovas, 2012). Ardila *et. al.* (2005), refiere el fundamento de esta metodología en la percepción humana de la realidad, es decir los algoritmos de segmentación y unión estarán en referencia a la interpretación del operador o analista.

Como se explica en el párrafo anterior, esta clasificación busca la identificación de entidades u objetos, puesto que esta particularidad ofrece la discriminación de mucha más información de las escenas de análisis que las metodologías tradicionales basadas en píxeles (Vidal, Moreno, & Llopis, 2009).

La clasificación por objetos implica procesos de segmentación, unión y clasificación de las entidades identificadas, en los cuales se busca agrupar los píxeles adyacentes con características espectrales similares en regiones homogéneas las cuales se formarán los objetos llamados segmentos. Luego se clasificará por categorías de acuerdo a las entidades extraídas a través

de una etapa que se conoce como fase de entrenamiento, donde se seleccionan muestras que compondrán las clases de la leyenda temática posteriormente.

2.19.1. Leyenda Temática para clasificación y cobertura del Suelo

La leyenda temática corresponde al conjunto de clases y/o categorías que caracterizan al Mapa de Cobertura del suelo. Construido de forma jerárquica por un grupo intergubernamental de expertos sobre cambio climático (IPCC), mediante niveles que se relacionan coherentemente y que contienen información temática del entorno (ver **Figura 2.23**). En su primer nivel se posicionan las clases correspondientes a uso y cobertura del suelo, mientras que los niveles subsiguientes profundizan aún más detalladamente (MAE & MAGAP, 2014).

CÓDIGO NIVEL I	NIVEL I (IPCC)	CODIGO NIVEL II	NIVEL II
1	Bosque	11	Bosque Nativo
		12	Plantación Forestal
2	Tierra Agropecuaria	21	Cultivo Anual
		22	Cultivo Semi-permanente
		23	Cultivo Permanente
		24	Tierras en Transición
		25	Pastizal
		26	Mosaico Agropecuario
3	Vegetación Arbustiva y Herbácea	31	Vegetación Arbustiva
		32	Páramo
		33	Vegetación Herbácea
4	Cuerpo de Agua	41	Natural
		42	Artificial
5	Zonas Antrópicas	51	Área Poblada
		52	Infraestructura
6	Otras tierras	61	Área sin cobertura vegetal
		62	Glaciar
0	Sin información		

Figura 2.23. Leyenda temática nivel I y II

Fuente. (MAE & MAGAP, 2014)

De acuerdo con la EEA (1995), el programa CORINE (Cordination of information on the environment) desarrollado por la Comisión de la Comunidad Europea en el proyecto de cobertura de la Tierra “CORINE Land Cover” en 1990, definió la generación de la capa o leyenda temática a escala

1:100 000 que reúna una colección de clases, para realizar el inventario de la cobertura de la Tierra, en función de describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura del suelo, procedentes de la interpretación de imágenes de satélite, para construir mapas de uso y cobertura. (ver **Figura 2.24**)

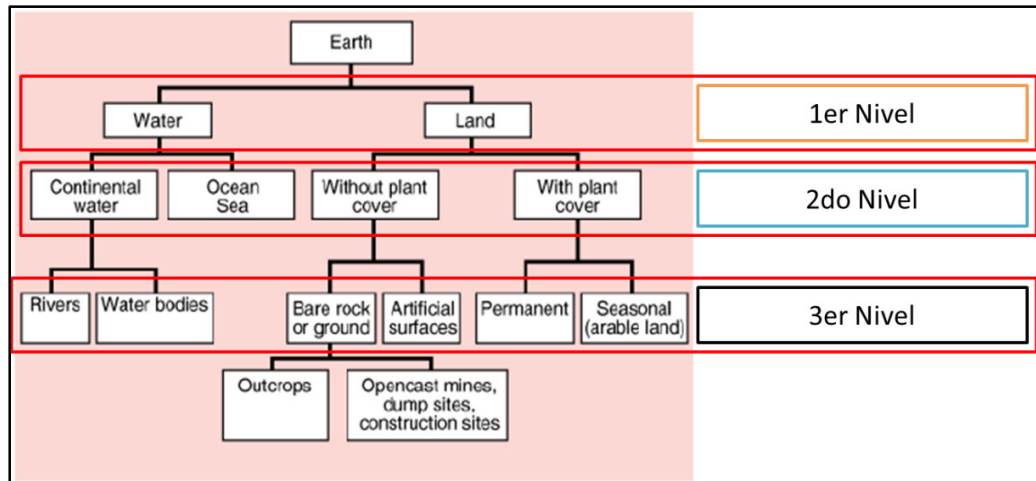


Figura 2.24. Capas temáticas, CORINE Land Cover

Fuente. (EEA, 1995)

Modificada por. Campoverde y Satián (2015)

Laguna (2012), establece sus categorías para la leyenda temática basada en la metodología de clasificación de uso y cobertura del suelo del programa “CORINE Land Cover”; donde propone 5 niveles jerárquicos, 6 categorías generadas para el primer nivel referente a ecosistemas y usos del suelo a nivel nacional, y los niveles subsiguientes que al igual que el MAE (2014), profundizan a detalle y en coherencia las categorías del nivel 1, categorizando coberturas generales, tipos y subtipos, mientras que el último nivel (para este caso nivel VI) describe atributos que refieren el grado de intervención y presencia de árboles. (ver **Figura 2.25** y la **Figura 2.26**)

TERRITORIOS	Nivel I	Nivel II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
	ECOSISTEMAS Y USOS	COBERTURAS	TIPOS	SUBTIPOS	ATRIBUTOS
BOSQUES	Naturales		Latifoliados Mixtos No Inundables	Maduros	considerar intervención
				Secundarios	considerar intervención
			Latifoliados Mixtos Inundables	Maduros	considerar intervención
				Secundarios	considerar intervención
			Latifoliados Homogéneos Inundables	Manglar	considerar intervención
				Orey	considerar intervención
	Plantados		Coníferas		
			Latifoliadas		
	VEGETACIÓN ARBUSTIVA Y HERBACEA	Rastrojos y Arbustos			Con presencia de arboles < 10%
					Con presencia de arboles 10 - 30 %
		Sabanas			Con presencia de arboles < 10%
					Con presencia de arboles 10 - 30 %
	Vegetación Baja Inundable (pantanos y Ciénagas)				
	Páramos				
ÁREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACIÓN	Afloramientos Rocosos, Tierras Desnudas y Degradadas				
	Playas y Arenales Naturales				
	Albinas				
Agropecuario	Cultivos	Cultivos Permanentes	Café	Con presencia de arboles < 10%	
				Con presencia de arboles 10 - 30 %	
				Con presencia de arboles > 30 %	
			Plátano/Banano		
	Cítricos				
	Palma de Coco				
	Cultivos Anuales		Con presencia de arboles < 10%		
			Con presencia de arboles 10 - 30 %		
Pastos		Con presencia de arboles < 10%			
		Con presencia de arboles 10 - 30 %			
		Con presencia de arboles > 30 %			

Figura 2.25. Propuesta de clasificación para generación de cartografía de uso y cobertura del suelo

Fuente. (Laguna, 2012)

TERRITORIOS	Nivel I	Nivel II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
	ECOSISTEMAS Y USOS	COBERTURAS	TIPOS	SUBTIPOS	ATRIBUTOS
		Áreas heterogéneas de producción agropecuaria			Con presencia de arboles < 10%
					Con presencia de arboles 10 - 30 %
					Con presencia de arboles > 30 %
	SUPERFICIES DE AGUA	Ríos			
		Lagos, Lagunas y Embalses			
	ÁREAS CULTURALES	Área Poblada	Urbana		Con presencia de arboles < 10%
					Con presencia de arboles 10 - 30 %
					Con presencia de arboles > 30 %
			Rural		Con presencia de arboles < 10%
					Con presencia de arboles 10 - 30 %
					Con presencia de arboles > 30 %
		Infraestructura			Con presencia de arboles < 10%
					Con presencia de arboles 10 - 30 %
					Con presencia de arboles > 30 %
		Estanques para acuicultura			
		Salitrales			
		Otros Usos (minería, etc.)			
	Con presencia de arboles 10 - 30 %				
	Con presencia de arboles > 30 %				

Figura 2.26. Propuesta de clasificación para generación de cartografía de uso y cobertura del suelo

Fuente: (Laguna, 2012)

2.19.2. Unidad Mínima de Mapeo (UMM)

Cruz (2010), define a la unidad mínima de mapeo como “una entidad espacial u objeto con características biofísicas o de manejo similares y que afectan del suelo que se representará en un mapa”

Mejía y Moncayo (2012), refieren varios autores lo cuales coinciden en la idea del párrafo anterior, que la unidad mínima de mapeo es la menor superficie de representación del terreno en un mapa considerando las condiciones del suelo mediante un levantamiento, sin relacionar su clasificación y dependiendo de la escala. La finalidad es a partir de esa unidad llegar a definir áreas de terreno eficientemente legibles y por consiguiente generalizar hacia áreas más grandes.

Para fines del presente estudio utilizaremos la idea definida por Mejía y Moncayo (2012), la de usar métodos cuantitativos que relacionen la escala de trabajo del mapa, donde para diferentes escalas, estudios anteriores utilizan la UMM de 4x4 mm, tal como se observa en la **Figura 2.27**. En donde

el recuadro de color rojo, indica la unidad mínima de mapeo utilizada en el presente proyecto:

Escala de Trabajo	1 mm igual a	Unidad Mínima Mapeable (4 x 4 mm)
	Metros	m ²
1:1.000	1	16
1:5.000	5	400
1:10.000	10	1.6
1:25.000	25	10.000
1:50.000	50	40.000
1:100.000	100	160.000

Figura 2.27. Unidad mínima de mapeo
Fuente. Moncayo y Mejía (2012)

Así usando la ecuación de UMM, propuesta por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), que empleó en su metodología mediante el Programa de Regulación y administración de Tierras Rurales (PRAT), 2008; se adoptarán los 4 x 4 mm considerados por Moncayo y Mejía (2012) en la tabla anterior, tendremos:

$$UMM = UMV \times Escala \ de \ trabajo$$

$$UMM = (4 \ mm \times 4 \ mm) \times Escala \ de \ Trabajo$$

$$UMM = 1.6 \ mm^2$$

Dónde:

UMV = Unidad Mínima Visible

2.20. Posicionamiento GPS

Según GPS.gov (2013), el sistema de posicionamiento GPS consta de 3 segmentos necesarios para adquirir la información. Los mismos que comprenden: el segmento espacial, el segmento de control de campo y el segmento de usuario.

- **Segmento Espacial.-** comprende una constelación de 24 satélites, transmitiendo señales unidireccionales. Repartidos en 6 órbitas, con 4 satélites en cada una, tal y de la manera que se ilustra en la Figura 2.28. Determinando de esta la posición y hora de cada uno.

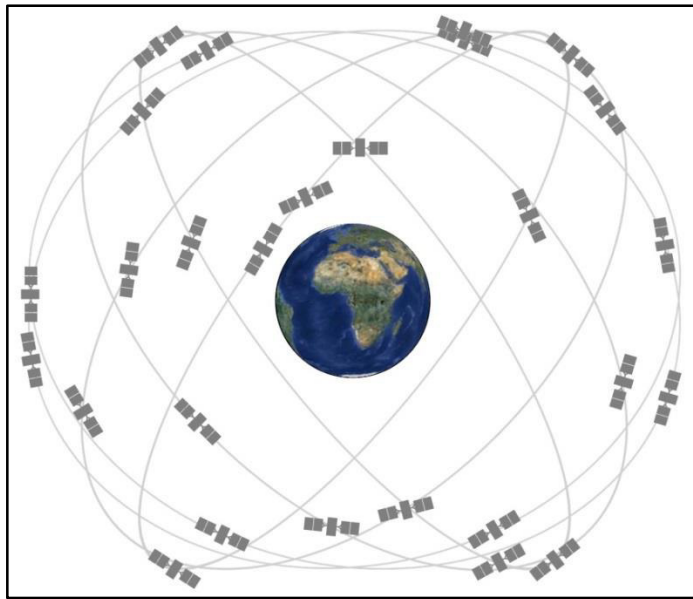


Figura 2.28. Constelación GPS

Fuente. (GPS.gov, 2015)

- **Segmento de Control.-** incluye estaciones de monitoreo ubicadas alrededor del mundo, desde donde se monitorea la transmisión, se realizan análisis y se envían los códigos y la información a las constelaciones. El sistema de monitoreo está constituido por 12 antenas de control, y 16 sitios de monitoreo. Distribución del segmento de control se indica en la Figura 2.29.

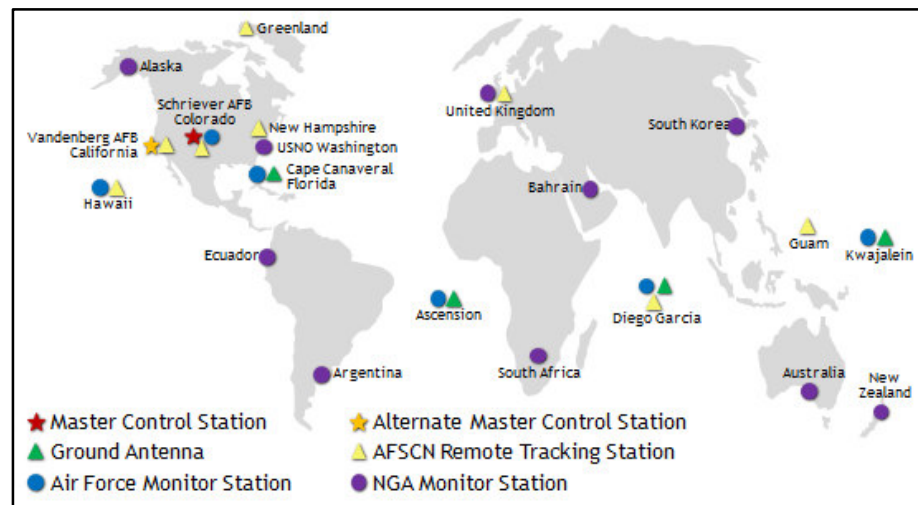


Figura 2.29. Sistema de monitoreo de la constelación GPS

Fuente. (GPS.gov, 2015)

- **Segmento de Usuario.-** dentro de este grupo se encuentran todos los usuarios de la constelación GPS, todos los dispositivos capaces de recibir la señal y posicionar en la superficie terrestre.

2.21. Catastro

Referido al ámbito inmobiliario, Peña (2012) lo define como una herramienta en el inventario de la propiedad o bien inmueble de posesión pública, misma que procura garantizar la ordenación del espacio geográfico con fines de desarrollo.

El objetivo primordial del catastro es proveer a los gobiernos municipales y de ordenamiento del territorio, una base de datos catastral donde se describan las características físicas, jurídicas y económicas de un bien inmueble, lo que en consecuencia convierte al catastro en un documento público donde se representa la malla de la propiedad territorial y el sistema de datos de bienes raíces o tierras (Meza & Bravo, 2009). De este concepto se desprenden los componentes del catastro según se expone en la Figura 2.30 tomado de (Borja, 2014).

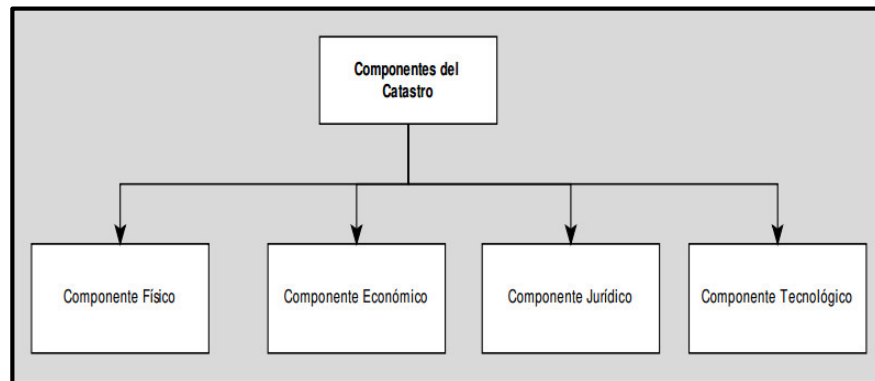


Figura 2.30. Componentes del Catastro

Fuente. (Borja, 2014)

Uno de los procesos asociados a la generación de cartografía catastral es el LiDAR, donde en base a la generación de modelos digitales de superficie y de elevación más precisos, permiten obtener mejores aproximaciones a la realidad de los objetos sobre el territorio. Se podría decir que se encontrarían mejores resultados que en procesos como la fotogrametría u otros métodos.

2.22. Evolución del Catastro

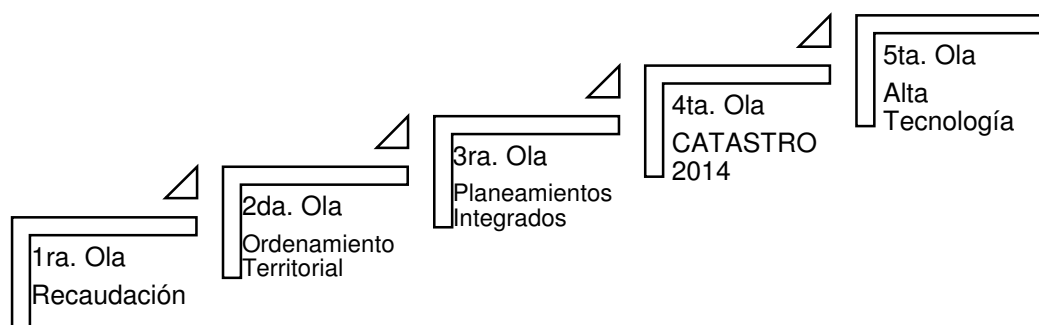


Figura 2.31. Evolución del concepto del Catastro

Fuente. (Erba, 2011)

De esta manera, según Erba (2011) se define la evolución del catastro. Desde la idea de recaudar contribuciones, lo cual se define como catastro físico y económico. Físico porque se inicia con la cartografía catastral y se dan límites a los predios; y por otro lado, económico por la recaudación de los impuestos a los ciudadanos.

Dentro de la segunda ola, se habla del catastro con fines de ordenamiento del territorio. Lo cual hasta hoy en día es de vital importancia y es tema de profundas investigaciones. Nace de esta manera, el catastro jurídico.

De la mano del ordenamiento territorial, viene el concepto de planeamiento, para lo cual se inicia la idea de tener un catastro multifinilar, que es la unificación de las variables y análisis de todo como un conjunto. Se habla de incluir variables ambientales y sociales, que permitan establecer un desarrollo sustentable para las comunidades.

Es así, que en 1998 nace la idea del Catastro 2014, una visión a futuro de lo que representaría el catastro para el desarrollo de los países. Dentro de este documento, originado en el Congreso de Melbourne de la FIG en 1994, se analiza las tendencias del catastro en esa época. El punto más importante del Catastro 2014, fue sembrar ideas fundamentales para el desarrollo de un sistema catastral completo mediante la ayuda de la tecnología y sus adelantos.

La quinta ola finalmente, es el desarrollo de nuevas metodologías para la implementación de sistemas catastrales multifinilar que puedan ser compartidos en la red. Sistemas que tenga acceso cada uno de sus contribuyentes en tiempo real, y que se actualice periódicamente al instante. (Erba, 2011)

2.23. Variables Catastrales

Como se observó anteriormente el catastro aparte de ser físico, es económico, y para esto se deben tomar ciertos aspectos o variables en cuenta, para llegar a un avalúo catastral preciso. En la Tabla 2.2, se observan cuales son estas variables que se toman en cuenta según la Dirección General del Catastro del Gobierno Nacional de España (2004):

Tabla 2.2.
Variables Catastrales

Variables Catastrales	Localización del predio/inmueble
	Circunstancias urbanísticas que afecten el suelo y su aptitud para la producción
	Coste de ejecución material de las construcciones
	Uso, calidad y antigüedad edificatoria
	Gastos de producción
	Actividad o uso del suelo
	Circunstancias y valores del mercado

Fuente. Dirección General del Catastro del Gobierno Nacional de España

2.24. Catastro Rural

En muchos países, conocido como inventario de la propiedad rústica en sus diferentes formas de tenencia de la tierra: ejidos, comunidades, colonias agrícolas y ganaderas, propiedad privada y terrenos de propiedad nacional (Rendón, 2008).

El catastro rural busca prioritariamente obtener información sobre los entes territoriales de la zona no urbana, a saber linderos, uso del suelo, estado legal, en pro de que sean identificadas correctamente las propiedades y que sus poseionarios tengan conocimiento de los procesos de regularización de sus terrenos (SIGTIERRAS, 2015).

Con los estudios catastrales se busca también, conocer el crecimiento poblacional y el desarrollo de las actividades productivas dentro del sector. Las modalidades de obtención de información en el sector rural, son convencionalmente topográficas, pero en la actualidad se está optando por hallar soluciones en los sensores remotos.

Las metodologías de actualización de cartografía, resaltan la técnica LiDAR como una herramienta novedosa para el catastro, ya que su capacidad de detección de información en altura, basada en una buena densidad de puntos/m², facilita los procesos de actualización y por tanto obtención de cartografía urbana y rural a gran escala.

La escala de trabajo en catastro rural corresponde normalmente a 1:5 000, aunque podría llegar a 1:2 500 dependiendo de los insumos que se dispongan para su elaboración (Vaca & Orellana, 2002).

2.25. Detección de entidades

Referido a la actualización cartográfica, el LiDAR promete ser una herramienta útil, puesto que a partir de la nube de puntos se busca obtener Modelos Digitales de Superficie (MDS) de tal resolución, que restados con otros antiguos Modelos, diferentes épocas, deje como resultado la identificación de edificaciones y construcciones que serán resultados a ponerse en comparación (Sánchez & Lerma, 2012).

Para la obtención de cartografía catastral se utilizará como insumos los datos LiDAR y la Ortofoto. Con los datos LiDAR, se clasificará la nube de puntos donde se identificará suelo, vegetación, construcciones en función de las respuestas del pulso. Luego se comparará los objetos obtenidos por LiDAR con los que se muestra en la ortofoto, y de ser el caso se actualizará las zonas de cambio detectadas tomando como base la ortofoto (Sánchez & Lerma, 2012).

2.26. El Catastro y el Ordenamiento Territorial

En el Ecuador, la constitución de la República habla de una organización territorial jerárquica, ver Figura 2.32. Donde cada uno de los estamentos es un Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD). La autonomía que poseen, hace que el Estado central establezca las competencias de cada uno. Y es así, que dentro del capítulo tercero, de la Constitución de la República, desde el artículo 251 al 274 se incluyen las competencias de cada uno de los Gobiernos Autónomos Descentralizados en cada estamento.

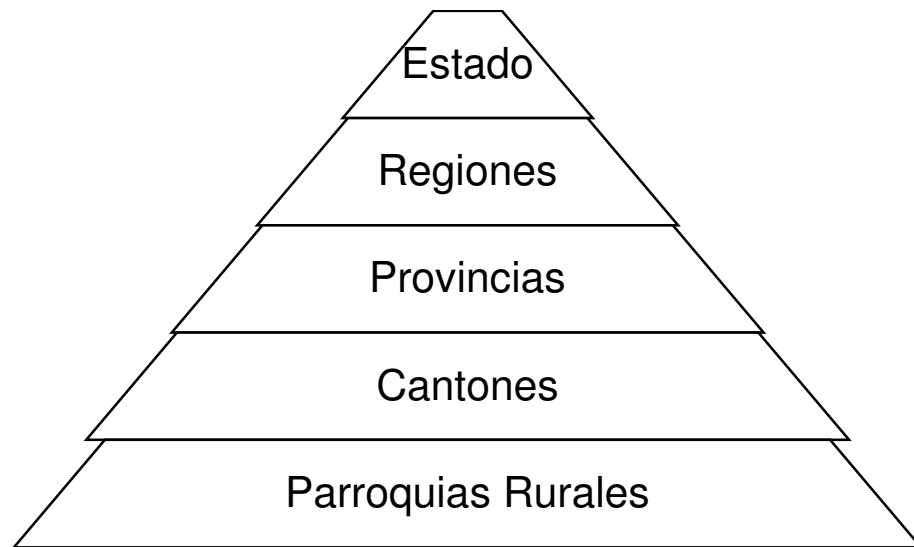


Figura 2.32. Organización del Estado Ecuatoriano

En el estamento Municipal, que corresponde a la jerarquía cantonal, su competencia número 9 dice: “Formar y administrar los catastros inmobiliarios urbanos y rurales.”. (Asamblea Constitucional, 2008)

Es así que, dentro del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Otavalo, en el apartado que corresponde al diagnóstico, realizado en el año 2012, indica la zonificación del uso suelo, indicados dentro de la Figura 2.33, tanto rural como urbano. Además de la clasificación y porcentajes del uso y ocupación de suelo que hasta ese momento se observaron.

USOS	UBICACIÓN
TURISTICO COMERCIAL	Zona 1: ejes de la calle Bolívar, Sucre entre la calle Quito al norte y la calle García Moreno la sur. Eje de la calle Abdón Calderon entre la calle Roca al este y la Modesto Jaramillo al oeste. Los alrededores de la Plaza de Ponchos.
COMERCIAL	Zona 1: ejes de las calles Roca, Modesto Jaramillo y 31 de octubre, desde la calle Quito al norte hasta la García Moreno al sur.
COMERCIAL RESIDENCIAL	Zona 1: eje de la calle Atahualpa y Bolívar, Sucre y Roca desde la calle García Moreno al norte hasta la calle Estevez Mora al sur. Todas las transversales (este-oeste), desde la calle Quito al norte y la Rocafuerte al sur. Zona 2: ejes de la av. Alfonso Cisneros, Paz Ponce de León desde el colegio Otavalo al sur hasta la calle José Troya al norte. Calle Atahualpa y Juan de Albarraçin perímetro de la cdla. Collahuazo. Zona 3: eje de la calle Pedro Hernández de la Reina y Av. Los Corazas
RESIDENCIAL	Zona 1: Santa Anita, Barrio nuevo, el Empedrado, cdla. 31 de octubre La Florida, cdla. 31 de octubre, urb. La Joya, Víctor A. Jaramillo Zona 2: totalidad Zona 3: cdlas. Imbaya, Collahuazo I, IOA, Jaime Pérez, María José, Vitelma Dávila, Yanayacú, CSA. Zona 4: ejes de las calles Pedro Alarcón y Vista Tambo.
RESIDENCIAL AGRICOLA	Zona 1: Rey Loma y parte de Santa Anita Zona 3: Comunidad agricola Cotama, Collahuazo 4, Marco Proaño 2 Zona 4: La Joya, Punyaro, cdlas. Marco Proaño, María Cordovez
AGRICOLA	Zona 4: Imbabuela bajo

Figura 2.33. Uso de suelo en Otavalo

Fuente. Gobierno Autónomo Descentralizado de Otavalo

De acuerdo con eso, la información catastral es de suma importancia, e insumo primordial, para ejecutar los planes de desarrollo y ordenamiento territorial. Porque el catastro de los cantones, contiene información de predios, edificaciones y a partir de eso se puede obtener mapas de uso y cobertura del suelo, que ayuda a conocer la situación actual de la Provincia y proponer los diferentes escenarios. (GAD Otavalo, 2012)

2.27. Ordenanzas Municipales

Gracias a la autonomía que poseen los Gobiernos Municipales, tienen el derecho y obligación para dictar y establecer ordenanzas. Dentro de las cuales, se incluyen ordenanzas para el uso y ocupación del suelo, delimitación de zonas urbanas y rurales, etc...

En el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Otavalo, se encuentra el perfil de ordenanzas. Aquí se expide, "LA ORDENANZA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL URBANO Y RURAL DEL CANTÓN OTAVALO". La misma se divide en dos partes: la primera, comprende el Capítulo I: Sector Urbano, y describe todas las características que se presentan en la Tabla 2.3.

La segunda parte, comprende el Capítulo III: Zona Rural, la misma que describe las características que debe presentar este tipo de zonas. Ver Tabla 2.4.

Tabla 2.3.

Características de la zona urbana ordenanza Municipal

Artículos	Composición
	Clasificación del suelo urbano
	Densidades edificadas y de población
	Categorías de ordenación urbana
	Parámetros de ordenación urbana
	Zonas urbanas

Fuente. (GAD Otavalo, 2012)

Tabla 2.4.

Características de la zona rural ordenanza Municipal

Artículos	Composición	Característica
	Zona agrícola y agroforestería	
Actividades permitidas		
Actividades limitadas		
Actividades prohibidas		
Zonas de conservación		Ubicación
		Actividades permitidas
		Actividades limitadas
		Actividades prohibidas
Zonas de núcleos poblacionales		Ubicación
		Actividades permitidas
		Actividades limitadas
		Actividades prohibidas
Zona de protección de cuerpos de agua		Ubicación
		Actividades permitidas
		Actividades limitadas
		Actividades prohibidas
Zona de protección de bosques		Ubicación

CONTINÚA 

		Actividades permitidas
		Actividades limitadas
		Actividades prohibidas
	Zona de transición y recuperación	Ubicación
		Actividades permitidas
		Actividades limitadas
		Actividades prohibidas
	Zona silvopastoril y agroforestería	Ubicación
		Actividades permitidas
Actividades limitadas		
Actividades prohibidas		

Fuente. (GAD Otavalo, 2012)

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

Dentro del desarrollo del proyecto, fueron necesarios 6 procedimientos, los mismos que se encuentran ilustrados dentro de la Figura 3.1 y de forma ampliada dentro del anexo B. Partiendo del método comparativo, dado que para la presente investigación se disponía de archivos láser generados en diferentes países y con densidades diferentes uno de otro, y se quería determinar los errores, las principales características de dichos datos entre otros. A continuación se detalla cada uno de esos procedimientos:

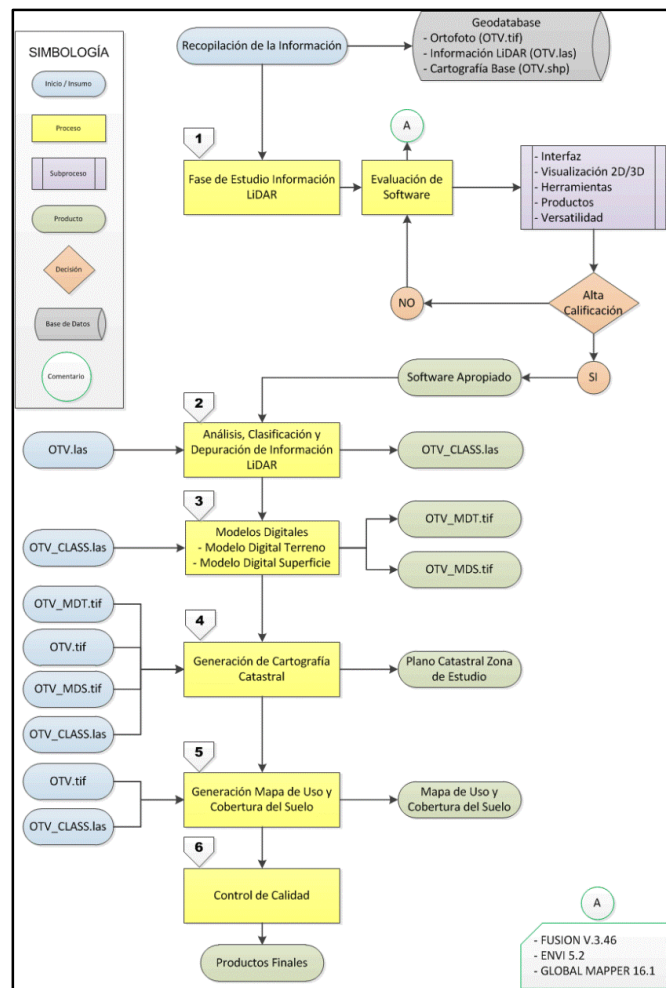


Figura 3.1. Metodología general del proyecto

3.1. Recopilación de la información

Toda la información requerida para el desarrollo del presente proyecto, fue recopilada de organismos oficiales encargados de generar la información geográfica en el Ecuador.

Los dos insumos principales pertenecientes a la zona de estudio (ortofoto y datos LiDAR), se obtuvieron del Proyecto Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica – SIGTIERRAS, proyecto desarrollado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Además de contar con la información provista por la Universidad Politécnica de Madrid, perteneciente al Campus Sur ubicado en la ciudad de Madrid, de un sector levantado mediante técnicas láser; e información de una zona del país de Colombia, la misma que fue provista por la empresa Aeroestudios.

Finalmente, la cartografía básica utilizada se obtuvo del Sistema Nacional de Información (SNI). Dentro del capítulo 4, se detallan cada uno de los archivos recopilados.

3.2. Fase de estudio de la Información LiDAR

Con el objetivo de analizar de manera detallada y minuciosa los datos láser, se compararon 3 programas diferentes; el software FUSION V3.46 (uso libre) y las plataformas GLOBAL MAPPER V16.1 y ENVI 5.2 (uso licenciado). Se estudiaron 5 características de cada software: la interfaz del programa, visualización de la información en 2 y 3 dimensiones, productos generados, herramientas de análisis y manejo de la información, y finalmente, la versatilidad para trabajar con diferentes modelos de datos y extensiones de archivos.

3.2.1. Interfaz

La interfaz, se realizó mediante la ejecución de cada uno de los programas. Una vez abiertas las plataformas, se analizaron: la disposición de herramientas dentro de la ventana de inicio, la interpretación de las

mismas por parte del usuario, si son o no intuitivas, la facilidad de ejecución y uso de las herramientas que brinda cada uno de los programas al usuario.

Se realizaron tareas básicas de apertura de archivos láser y clasificaciones no supervisadas de la nube de puntos; los procedimientos y herramientas utilizadas en este análisis, se explican en el anexo B.

3.2.2. Visualización de Información en 2D y 3D

Aquí se realizó la apertura de archivos láser, dentro de cada uno de los programas y se analizaron: la facilidad de apertura de los archivos, visualización de la nube de puntos y finalmente, opciones de visualización de archivos láser; cuyo procedimiento y resultados se detallan dentro del anexo A y el capítulo 4, respectivamente.

3.2.3. Herramientas

Se ejecutaron tareas de: clasificación automática de la nube de puntos, edición de datos láser y clasificaciones manuales (ver Figura 3.2). Esto permitió observar la capacidad de cada software, y lo que puede hacer o no el usuario. Cada procedimiento, a detalle, se encuentra dentro del anexo A.



Figura 3.2. Clasificación de archivos láser

3.2.4. Productos

Con el objetivo de comprobar y comparar si cada software genera los mismos productos, mediante los algoritmos de cada uno de los programas, se obtuvieron los siguientes productos: modelo digital de elevaciones, modelo digital de superficie y orto-imágenes. El procedimiento puede ser observado en el anexo B mientras que los resultados serán discutidos en el capítulo 4.

3.2.5. Versatilidad

La versatilidad de cada software, está referida a qué tipo de información permite manejar cada uno; esto quiere decir, que si el programa admite ciertas extensiones o formatos de información geográfica, tanto de modelos de datos vectoriales, como ráster.

Se trabajó y manipuló diferentes modelos de datos dentro de cada software; realizando pruebas de edición y manejo de la información; los procedimientos realizados y sus modelos cartográficos, se encuentran representados dentro de los anexos A y B respectivamente.

3.3. Análisis, clasificación y depuración de la información LiDAR

Se realizó un estudio comparativo de 3 zonas: un sector en el país de Colombia, el campus universitario de la Politécnica de Madrid - España y el cantón de Otavalo ubicado en la provincia de Imbabura en Ecuador.

Los 3 archivos fueron capturados mediante la técnica de LiDAR aerotransportado; cada uno con, características diferentes en cuanto a la cantidad de información que contienen.

El análisis realizado, consideró un área referencial de 4 hectáreas en cada una de las zonas, se trataron de igual forma a las 3 muestras dentro de los 3 programas; y como resultado se obtuvo un cuadro comparativo que se lo ilustra dentro del apartado 4.3.1.

Las pruebas comparativas fueron: el análisis de puntos por metro cuadrado y el análisis de puntos por retornos recibidos.

Todos los procedimientos de análisis y clasificación de la información láser se representan mediante sus modelos cartográficos, los mismos que se ilustran dentro del anexo B.

3.3.1. Densidad de puntos por metro cuadrado

El análisis se realizó dentro del software FUSION V3.46, a través de su herramienta “Catalog”, que se encuentra alojada en el archivo descargable LasTools; la misma que permite realizar un análisis exploratorio de los datos obteniendo estadísticos como: valores máximos y mínimos, promedio de puntos por metro cuadrado, desviación estándar y número de puntos clasificados dentro de cada clase establecida por la Asociación Americana de Fotogrametría y Sensores Remotos (ASPRS).

La herramienta “Catalog”, es una herramienta desarrollada para software libre, esta debe ser escrita mediante una sintaxis determinada por los desarrolladores. Dentro de la Tabla 3.1., se explica a detalle la escritura del código necesario para ejecutar la herramienta.

Tabla 3.1.

Sintaxis de la Herramienta Catalog

Código	Explicación
C: \FUSION\catalog.exe	Escribir la ubicación y nombre de la herramienta que se desea utilizar
/density: 3,1,2	Luego, escribir el “switch” a utilizar. En este caso en particular se utilizará el “switch” llamado Density, seguido de sus parámetros: 3 = área del píxel, 1 = mínimo de puntos por píxel, 2 = máximo de puntos por píxel
C: \C3.las	Nombre y ubicación del archivo que se analizará
C: \C3\productos	Nombre y ubicación del archivo de salida

Todo el código debe ser escrito en el editor de texto de Windows, y guardado en formato .bat. (Ver Figura 3.3)

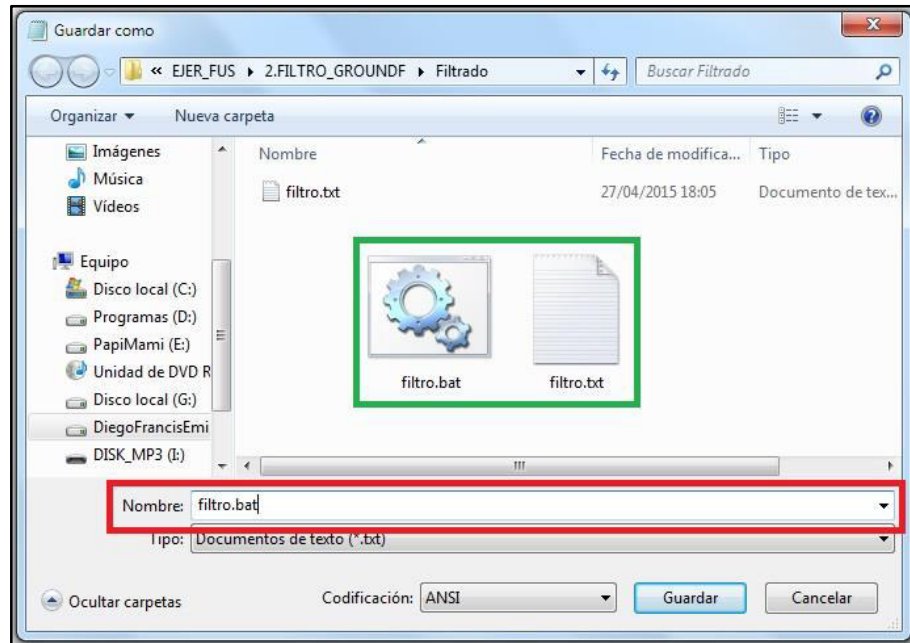


Figura 3.3. Formato de Grabación

En la obtención de la densidad de puntos, el software realiza la división del número total de puntos en el archivo entre el área que comprende dicho archivo. Así por ejemplo: la zona de estudio posee 1' 100 795 puntos y un área de 5,362 Km², o lo que es lo mismo 5' 362 000 m², de donde se obtiene una densidad de 0,20 pts/m² aproximadamente. Además, genera un mapa de intensidad, donde se muestra la distribución de esa densidad en toda el área analizada. Todos los resultados se encuentran ilustrados en el apartado 4.3.1.

3.3.2. Cantidad de puntos por retorno

La obtención de este parámetro, se realizó a través del software FUSION, mediante la herramienta "Examine LAS file header", la misma que analiza la cabecera del archivo láser; muestra la información de la cantidad de puntos totales contenidos en el archivo, las coordenadas de referencia y el número de puntos por retorno recibido. Se debe ingresar al menú "Tools",

submenú “Miscellaneous Utilities” (ver Figura 3.4). Realizado el proceso, se obtienen los resultados ilustrados en el apartado 4.3.2.

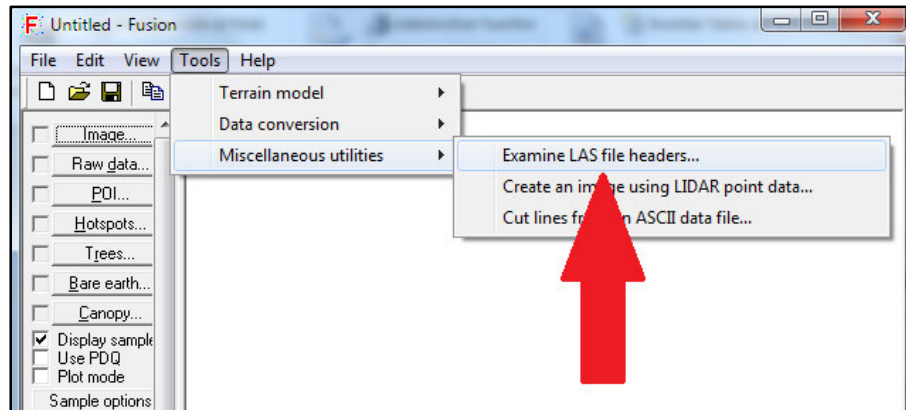


Figura 3.4. Herramienta de análisis de cabecera

3.3.3. Clasificación de la nube de puntos LiDAR

La clasificación de la nube de puntos, fue realizada ejecutando una clasificación automática y una clasificación manual, a partir del manejo de herramientas en el software Global Mapper V16.1; así:

➤ **Clasificación Automática**

Mediante la herramienta “Automatic Classification Ground Points”, alojada en la barra de herramientas del software; se determinaron los 2 parámetros principales ilustrados en la Figura 3.5. El primer recuadro corresponde a la distancia mínima para la clasificación de los puntos, la misma que debe ser fijada de acuerdo a los resultados de análisis de los datos LiDAR; en este caso en particular fue de 5 metros, derivados de la densidad de puntos por metro cuadrado, ya que esto se relaciona intrínsecamente con la resolución espacial de los insumos.

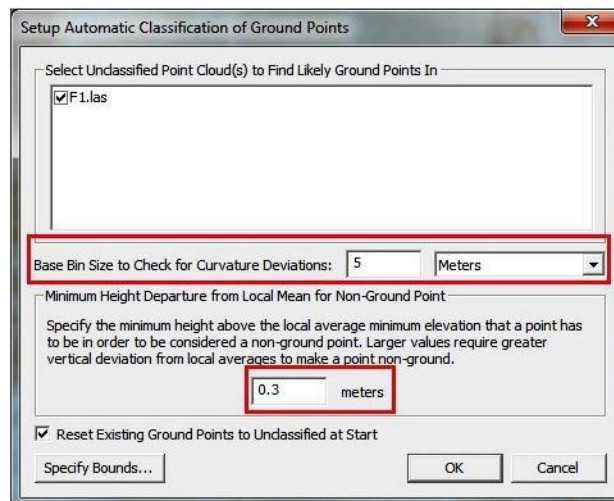


Figura 3.5. Parámetros de clasificación automática

En el segundo recuadro, se introduce la desviación en unidades de longitud, donde se establece que un punto pertenezca o no a la clase de suelo. Cuando el punto sobrepasa la tolerancia establecida por encima o debajo de la media, el punto es clasificado automáticamente como un punto que no pertenece a la clase de suelo. Cuyo resultado se ilustra dentro del apartado 4.3.3.

➤ **Clasificación Manual**

Después de la clasificación automática, al archivo resultante se lo clasificó manualmente, con el objetivo de revisar las clases y obtener mejores resultados.

Primeramente, se identificaron las clases, mediante el uso de la ortofotografía, se seleccionaron los puntos que no fueron clasificados como suelo, y se reclasificaron los puntos de acuerdo a lo identificado en la ortofotografía, tal como lo ilustra la Figura 3.6.

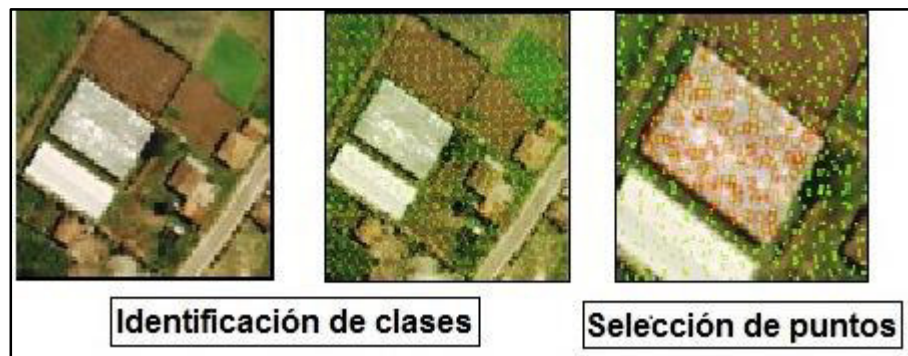


Figura 3.6. Identificación de clases y selección de puntos

Una forma de identificar las clases, es gráficamente mediante la comparación de los datos láser con la ortofotografía; mientras que la otra forma, es mediante el análisis de los perfiles obtenidos al seleccionar una zona, tal y como se muestra dentro de la Figura 3.7; en donde, se analiza la altura de los puntos. De acuerdo a ese análisis se establece y fija la clase a la cual los puntos pertenecen.

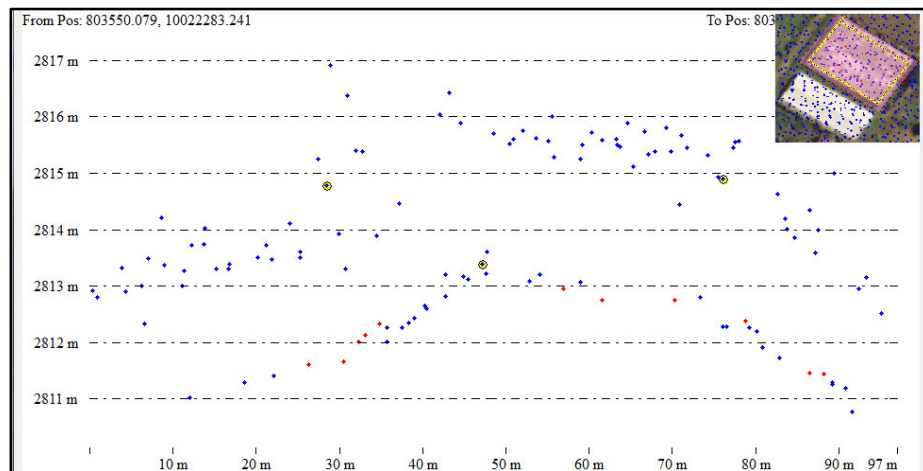


Figura 3.7. Análisis de perfil

Seleccionados los puntos de acuerdo a las clases identificadas, se procede a la reclasificación de los mismos asignándoles diferentes clases, dichas clases se observan en la Figura 3.8. Los resultados del procedimiento se los discute en el apartado 4.3.3.

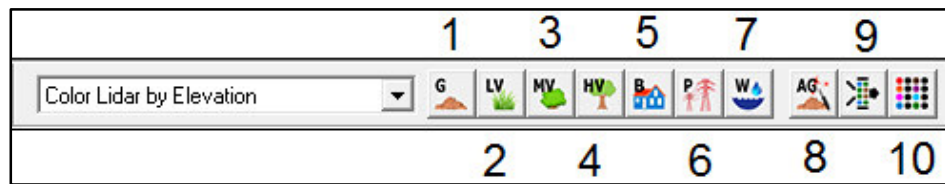


Figura 3.8. Barra de herramientas LiDAR, Global Mapper

Donde:

- 1: Clasificación manual de puntos como suelo
- 2: Clasificación manual de puntos como vegetación baja
- 3: Clasificación manual de puntos como vegetación media
- 4: Clasificación manual de puntos como vegetación alta
- 5: Clasificación manual de puntos como edificaciones
- 6: Clasificación manual de puntos como líneas de alta tensión
- 7: Clasificación manual de puntos como agua
- 8: Clasificación automática de puntos como suelo
- 9: Filtrar información para visualización
- 10: Absorber RGB de la ortofoto por los puntos

3.3.4. Depuración de la nube de puntos LiDAR

Mediante la herramienta del análisis en perfil, se realizó el procedimiento para las zonas en las cuales se confunden las clases; esto quiere decir, en los límites de cada clase, como se ilustra en la Figura 3.9; donde se tomó el filo de una construcción, se seleccionaron los datos que se encuentran en el recuadro rojo, y finalmente, mediante la herramienta “Delete Selected”, marcada en el círculo verde, se procedió a eliminar los puntos.

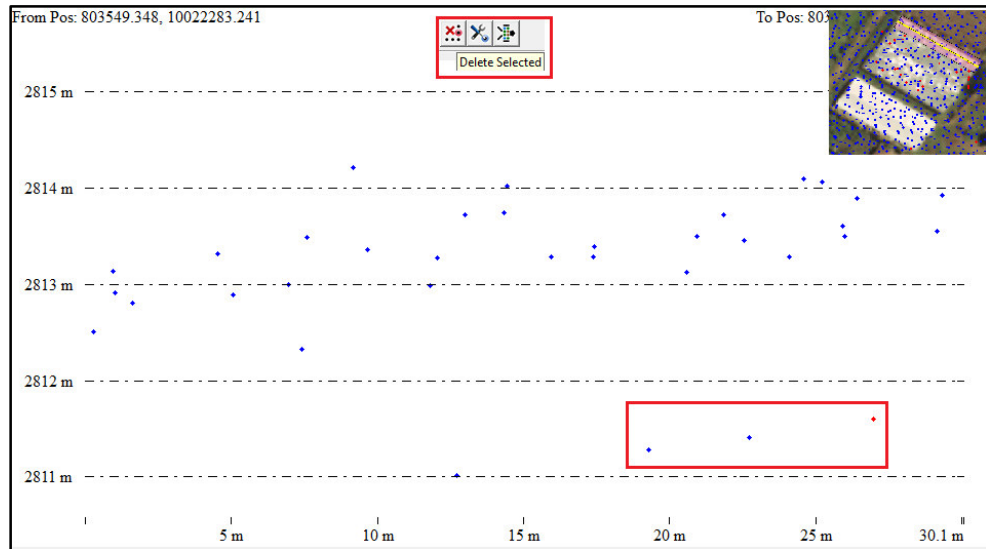


Figura 3.9. Depuración de datos LiDAR

3.4. Generación de Modelos Digitales del Terreno

Los modelos digitales del terreno tanto de superficie, como de elevaciones, fueron realizados mediante el archivo de datos LiDAR previamente clasificado. Además, se manejaron los 3 softwares analizados, ya que cada uno de ellos cuenta con cualidades necesarias para la tarea. A continuación se presentan las herramientas empleadas para la generación de los modelos digitales y sus parámetros de ejecución. (Ver anexo B)

3.4.1. Modelo Digital de Elevaciones

Se generaron los modelos digitales de elevaciones dentro de los programas ArcGIS 10.2 y Global Mapper 16.1.

Para realizar los modelos dentro del software ArcGIS, se debe interpolar el archivo .las y exportarlos a archivos con formato .XYZ con la ayuda de la herramienta “Export data from LAS or LDA files to other formats”, ubicada en el menú “Tools”, submenú “Data conversion” del software FUSION 3.46. (Ver Figura 3.10)

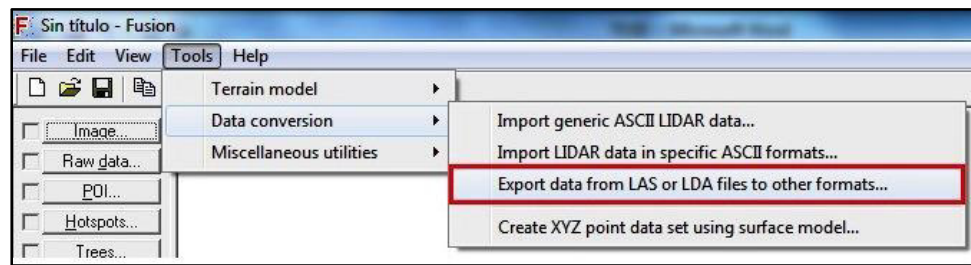


Figura 3.10. Importar archivos LAS

Exportado el archivo, con la ayuda del software ArcGIS y su herramienta “Add XY Data”, ubicada en el menú “File”; elegir la opción “Elevation” dentro del parámetro “Z” de la herramienta, y automáticamente se cargará el archivo láser en formato “Shapefile”. Observar todo el procedimiento en la Figura 3.11.

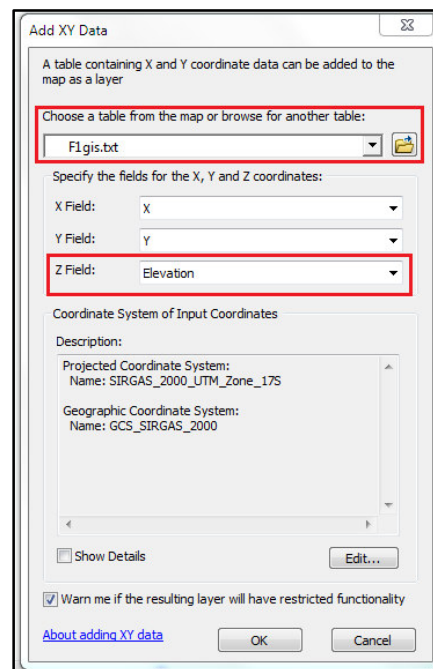


Figura 3.11. Datos láser convertidos a “Shapefile”

Luego de haber cargado el archivo, se aplicó la herramienta de interpolación “IDW”, que según Buján (2014), es el método de interpolación que mejores resultados da, para la generación de modelos digitales cuya ecuación es:

$$Z = \frac{\sum w_i z_i}{\sum w_i} \quad w = \frac{1}{d^k} \quad \text{Ec. 3.1.}$$

La herramienta de interpolación se encuentra alojada dentro del menú “Spatial Analyst”, en la que se ajustaron los parámetros de: potencia, distancia máxima de interpolación, número de puntos utilizados en el procedimiento y las barreras de interpolación. Ver Figura 3.12.

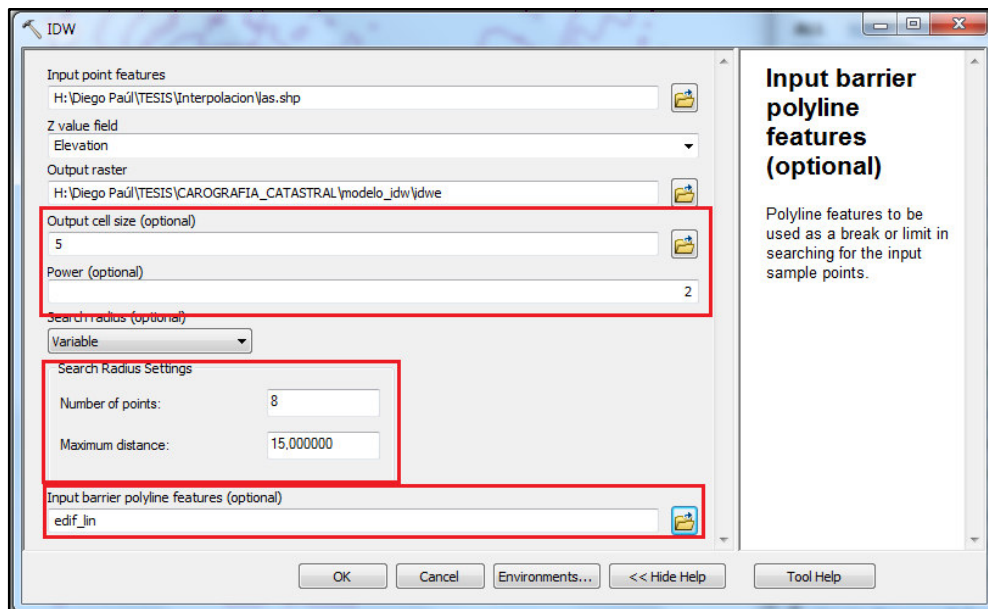


Figura 3.12. Herramienta de interpolación IDW

La potencia viene parametrizada por default en 2, ya que mientras mayor sea el valor de la potencia, la ponderación se ira haciendo cada vez menor y de esa manera, el punto analizado perderá peso dentro de la interpolación. Lo que hará en cada uno de los puntos interpolados, se acerquen cada vez más al valor del punto que se utiliza para la estimación. (ESRI, 2013)

El tamaño de salida de la celda o píxel, se ajustó en 5 metros, establecido luego del análisis de la densidad de puntos por metro cuadrado. Ya que cada celda necesita de al menos 1 punto para interpolar.

Basados en la misma característica de la densidad de puntos, se parametrizaron los valores del número de puntos que se utilizarán en la interpolación, ajustándolos en 8, así como la distancia máxima en 15 metros, tal como se aprecia en la Figura 3.13.



Figura 3.13. Punto interpolado

La distancia de 15 metros se eligió considerando el tamaño del píxel (5 metros), se requiere que los puntos utilizados no se encuentran a más de 3 píxeles del punto interpolado. Finalmente, se ingresó la capa de los límites de interpolación, la misma que corresponde a los elementos como: vegetación alta, vegetación baja y edificaciones; que dentro del modelo digital de elevaciones no se deben tomar en cuenta, ya que son elementos que se encuentran fuera de la altura media del terreno y deben ser representados dentro del modelo digital de superficies. Los resultados se los ilustra en el apartado 4.4.1.

En el software Global Mapper se utilizó la herramienta “Create Elevation Grid”, alojada dentro del menú “Analysis”; dentro de la cual, se ajustó los parámetros de: “Grid Spacing” en 5 metros, ya que de igual forma, se requiere una celda de salida de 5 metros por la densidad de puntos existente en el archivo láser; el otro parámetro fue “Distance Criteria”, donde se utilizó la opción “Loose”, ya que se requiere que todos los valores 0 no se muestren, ni sean utilizados en la generación de los modelos.

Finalmente, ejecutada la herramienta, se obtuvo el modelo digital de elevaciones; los resultados se muestran en el apartado 4.4.1.

3.4.2. Modelo Digital de Superficies

La generación del modelo digital de superficies dentro del software ArcGIS, se realizó de igual manera que en el apartado 3.4.1. Tomando en cuenta todos los puntos del archivo, tanto los clasificados como vegetación alta, vegetación baja y construcciones, como aquellos que pertenecen al

terreno. Se retiró la capa correspondiente a los límites de interpolación, ya que se requiere que el software interpole todos los elementos, se ejecutaron las herramientas como en el caso anterior.

Y de igual forma para el software Global Mapper, se utilizaron los mismos archivos, herramientas y se parametrizó de igual manera. Los modelos de superficies obtenidos con cada uno de los programas se pueden observar en el apartado 4.4.2.

3.5. Generación de True Orthos

Los insumos necesarios que se usaron en la reproducción de True Orthos fueron: una imagen digital rectificada, es decir sin las distorsiones por cabeceo, alabeo y deriva; y también el MDS anteriormente generado. Para ellos se realizó lo siguiente:

- Cargar el MDS: dar clic en Archivo→ Abrir→Ir a la carpeta del archivo MDSZona1.MDT
- En la barra de herramientas, dar clic en la opción “Ortofoto” →, en el cuadro de diálogo cargar la imagen rectificada → señalar el tamaño de pixel y el método de interpolación. (ver figura 3.14)

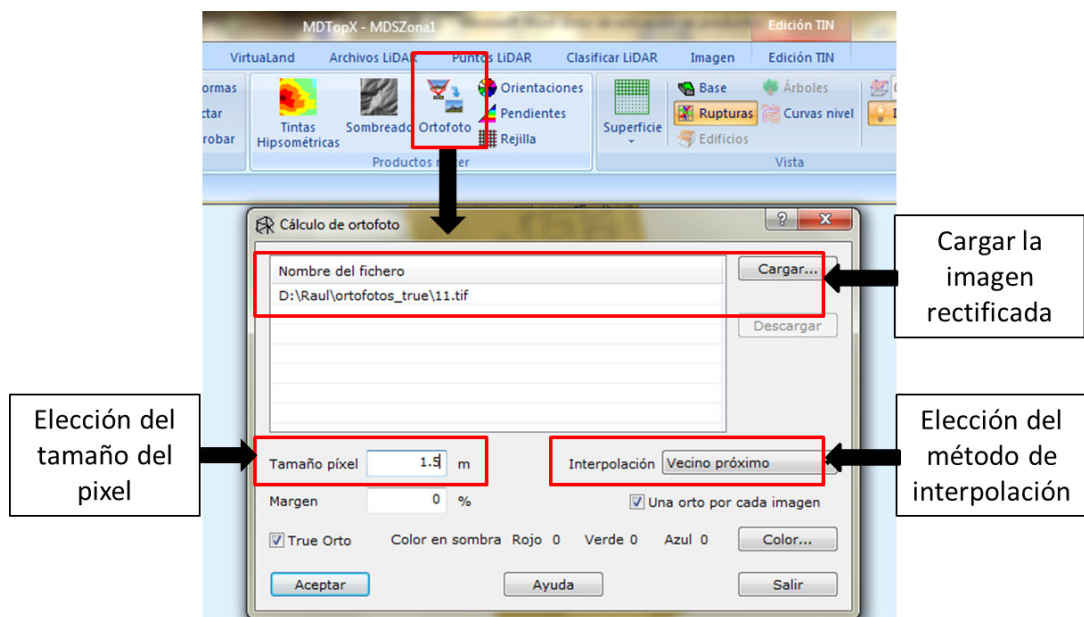


Figura 3.14. Generación de True Orthos

Se realizó el mismo proceso con las dos imágenes puesto que la se quería resaltar la visualización en imagen, ya que el programa de prueba en que se realizó (MDTopX) no permite grabar los resultados. Aun así se tiene los print screen en pantalla que los observaremos en el apartado de resultados correspondiente.

3.6. Generación de Cartografía Catastral

Los insumos principales para la generación de la cartografía catastral fueron: la nube de puntos clasificada y la ortofotografía de la zona de estudio. Todo el proceso, fue constituido por 3 procedimientos que se detallan a continuación:

3.6.1. Absorción de propiedades de la ortofoto

Debido a la baja densidad de puntos por metro cuadrado que posee el archivo LiDAR, se realizó una combinación de insumos (ortofoto y datos láser) para la obtención de la cartografía. Mediante el software Global Mapper 16.1, se utilizó la herramienta “Apply Color to Lidar Points”, ubicada en el extremo derecho de la barra de herramientas LiDAR, tal y como lo ilustra la Figura 3.15.



Figura 3.15. Herramienta “Apply Color to Lidar Points”

Dicha función, permite absorber los niveles digitales de la ortofoto, y de esa manera, la información se transfiere hacia la nube de puntos; obteniendo un producto que aparenta una imagen, pero en realidad representa una nube de puntos densificada, como se observa en la Figura 3.16.

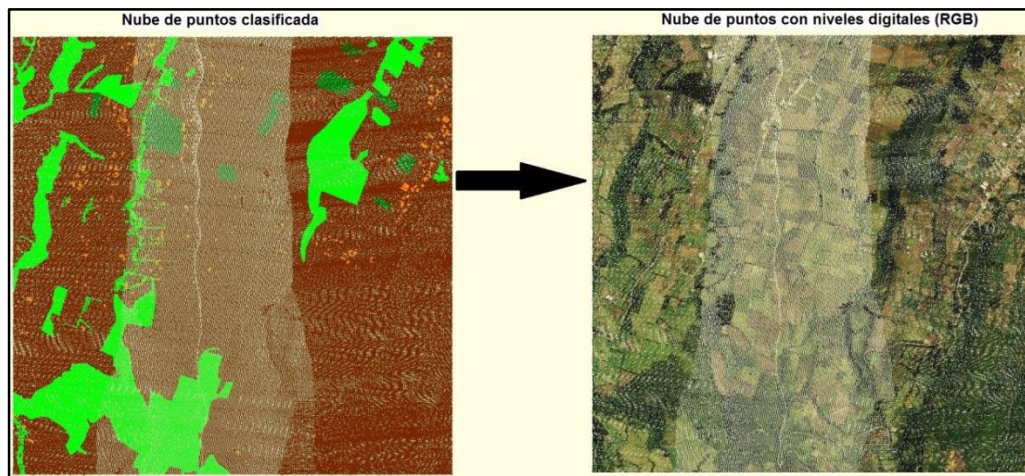


Figura 3.16. Absorción de los niveles digitales

3.6.2. Identificación de Entidades

Una vez obtenidos los niveles digitales de la ortofoto, se identificó las entidades, primero se digitalizaron los predios; representados por las líneas rojas apreciadas en la Figura 3.17.

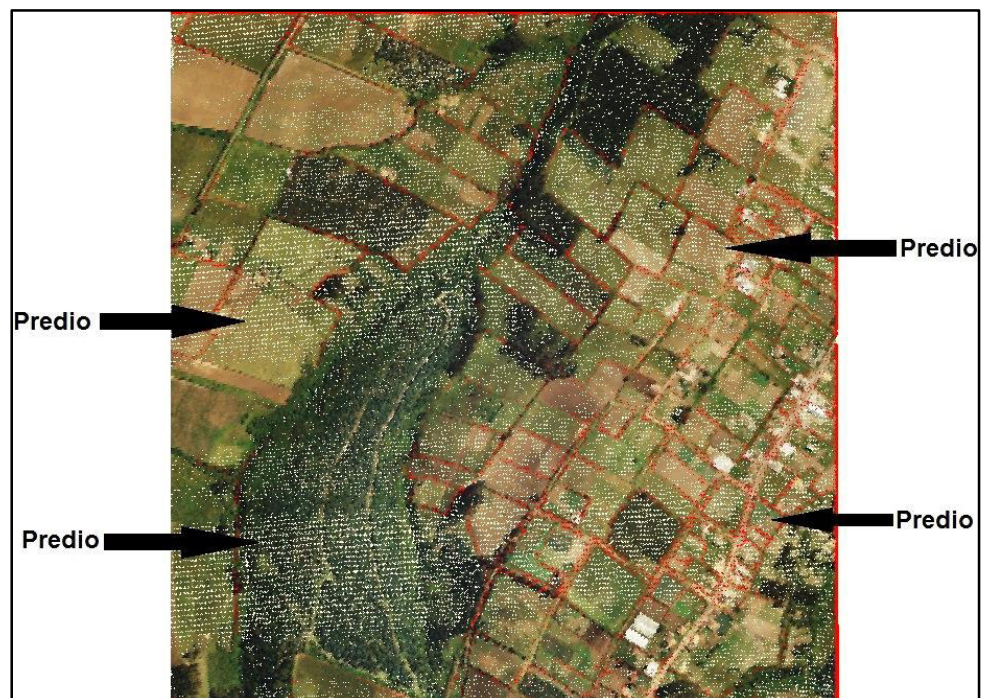


Figura 3.17. Identificación de predios

Las vías fueron representadas considerando el eje vial, siguiendo el punto medio de los espacios dejados por los predios digitalizados; ver Figura 3.18.



Figura 3.18. Digitalización de vías

Las construcciones, fueron señaladas con puntos, un punto por cada construcción del RGB. Ver Figura 3.19.

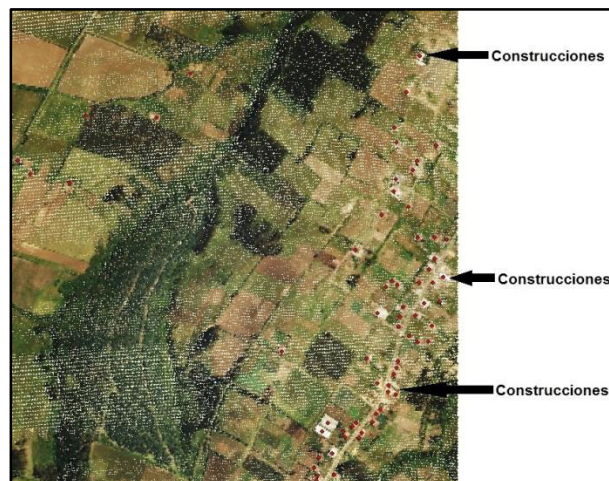


Figura 3.19. Digitalización de construcciones

3.6.3. Corrección Topológica

Obtenidos los vectores de cada una de las entidades reconocidas, predios, vías y construcciones. Primero se creó, en ArcGIS, una

Geodatabase que contiene toda la información generada, observar la Figura 3.20. Se debe elegir la ubicación donde se guardará la geodatabase, dar clic derecho sobre la ubicación, y dirigirse al menú “New”, donde se debe elegir la opción de “File Geodatabase”.

Se crearon además 3 “Features Datasets” (recuadros de color verde), dentro de éstos se ingresaron todos los objetos catastrales digitalizados.

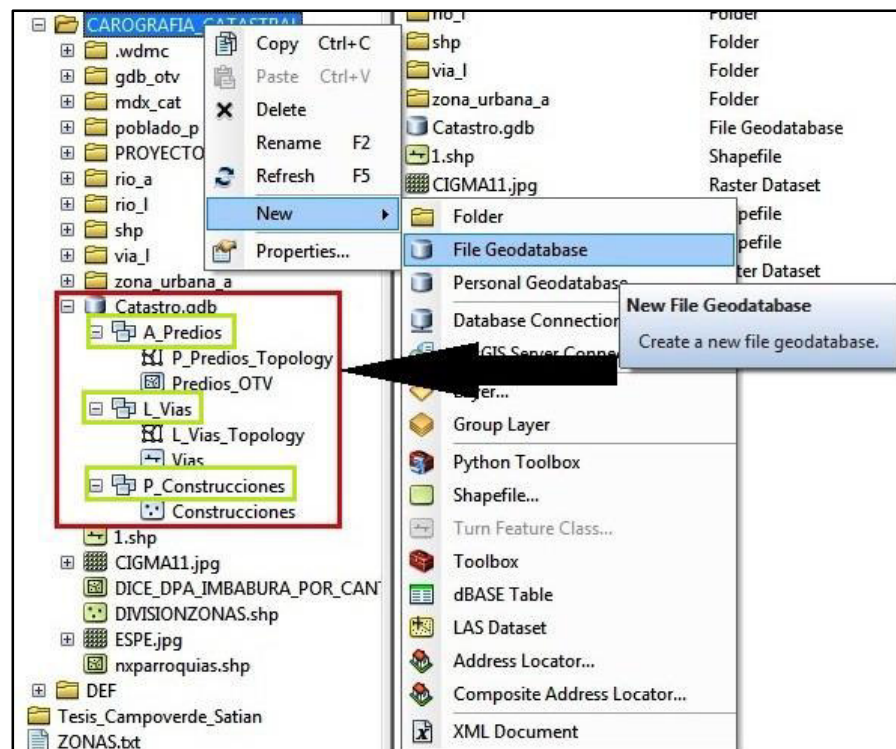


Figura 3.20. Creación geodatabase

Luego, se implantaron las reglas topológicas para cada una de las capas, tanto de predios, vías y construcciones, tal y como se observa en la Figura 3.21.

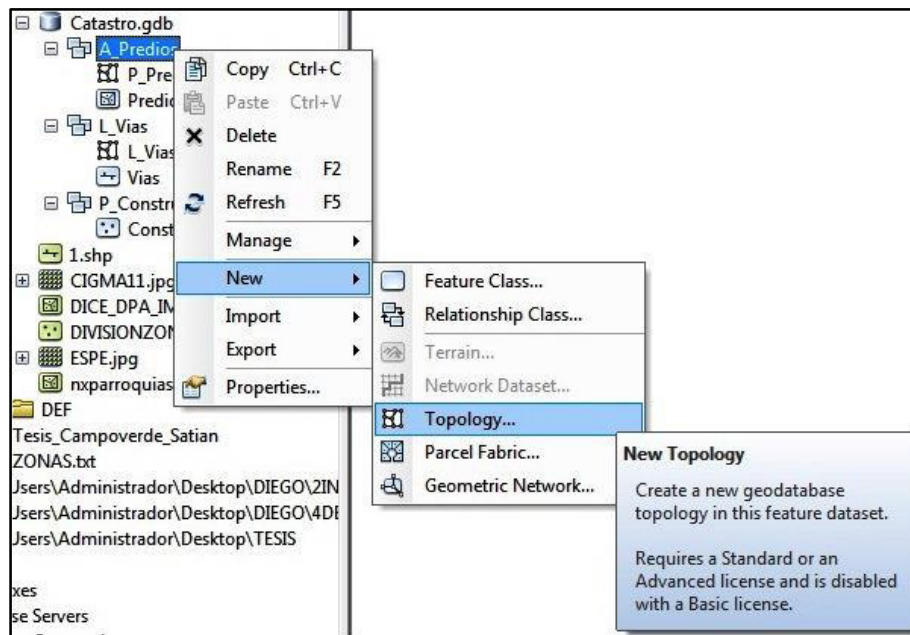


Figura 3.21. Creación de mapas topológicos

La corrección topológica se realizó, para cada una de las entidades, estableciendo diferentes reglas. Es así, que para los predios, se tomaron las siguientes:

➤ **Gap**

Representan los errores, que se realizan al momento de la digitalización, cuando existen huecos o vacíos en los límites de cada uno de los predios, observar la Figura 3.22.

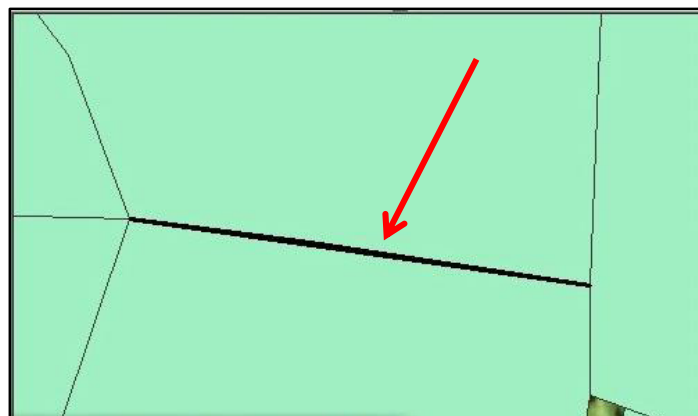


Figura 3.22. Gap

Este tipo de errores, se corrigen mediante la herramienta “Create Feature” y luego se aplica “Merge”, la Figura 3.23 muestra la selección que se debe hacer para la corrección del error.

El recuadro rojo en la Figura 3.23, representa los dos predios aledaños al error, en el ejemplo se unió el pedazo de área al predio número 187, que es aquel predio señalado con color azul.

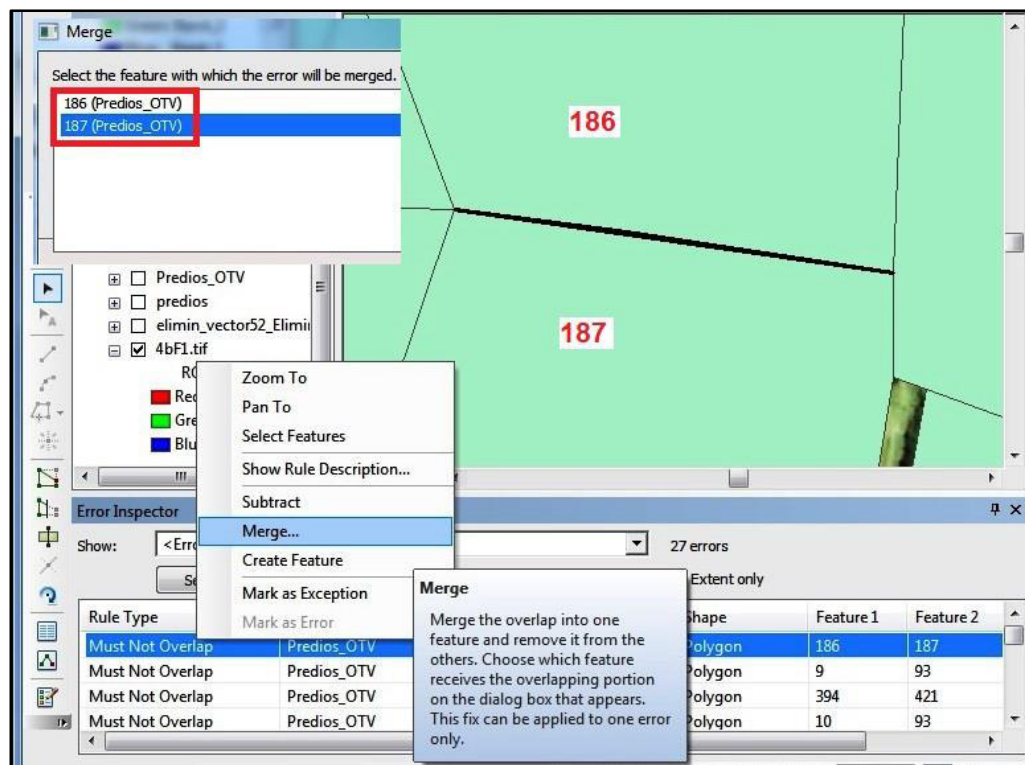


Figura 3.23. Herramienta “Merge”

➤ **Overlap**

Otro error común es el “Overlap”, ya que al momento de digitalizar las entidades, se pueden cometer errores de digitalizar un predio sobre otro. Para este caso se procedió identificando los errores a lo largo de todo el archivo, se eligió el polígono que se encuentra sobre otro, ver Figura 3.24 donde se encuentra representado el polígono sobrepuesto en color rojo.

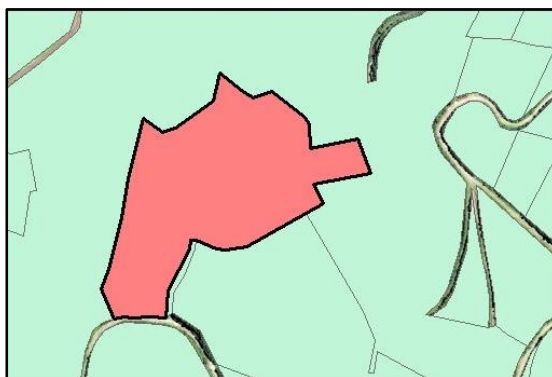


Figura 3.24. Overlap

Su corrección fue realizada con la ayuda de la herramienta “Merge”, que como se explicó párrafos arriba, se encarga de unir un polígono a otro existente. Ver Figura 3.23

Para la corrección topológica de las vías, fueron tomadas las 8 reglas básicas, en la Figura 3.25 se aprecia el error de “Must not have dangles”.

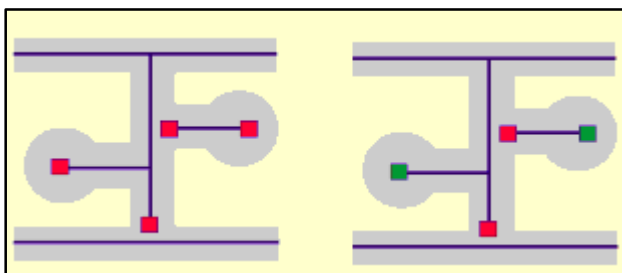


Figura 3.25. Regla topológica “Must not have dangles”

Fuente. (ArcGIS Resources, 2013)

Finalmente, las entidades tipo punto, no se analizaron su topología. La cartografía se la puede visualizar dentro del anexo C y los resultados obtenidos se analizan en el apartado 4.5.

3.7. Generación del Mapa Cobertura del Suelo

En la generación del mapa cobertura del suelo, primero se definió la leyenda temática en base a los parámetros de unidad mínima de mapeo y el análisis de clases temáticas; luego se clasificó la ortofotografía, mediante la metodología basada en objetos.

3.7.1. Definición de la leyenda temática

El análisis para la generación de la leyenda temática se realizó, usando en primera instancia la definición de unidad mínima de mapeo, la cual nos permitirá tener en claro la mínima área de representación de acuerdo a nuestra escala para luego adaptarla a las categorías de clasificación de cobertura vegetal que se han establecido por instituciones encargadas de estudios similares.

Para el presente proyecto usando la figura 2.27 establecimos a la UMM en 1.6 mm^2 para el mapa, y que corresponde a 1.6 hectáreas en la realidad. Matemáticamente se lo realizó de la siguiente manera:

$$UMM = UMV \times Escala \text{ de trabajo}$$

$$UMM = (4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}) \times 10000$$

$$UMM = 1.6 \text{ mm}^2$$

Definida la UMM, se realizó la correspondencia con las categorías o clases que se observaron en la Ortofoto escala 1:5000, correspondiente a una zona rural del cantón Otavalo de 5 Km^2 de área. La resolución teórica de la Ortofoto es de 30 cm, pero en la práctica cabe destacar que la discriminación de objetos depende también de las características espectrales que ofrece y sus relaciones de vecindad con los objetos subsiguientes. Cabe destacar que la clasificación de imágenes por el método de objetos, implica algoritmos de segmentación y unión de los objetos identificados por el software, adaptados a la percepción visual del operador. De acuerdo a esto, se analizó la ventaja de identificar objetos a partir de la UMM no inferior a 4 mm^2 , lo que permitió alcanzar una escala 1:10 000 para generar el Mapa de cobertura del Suelo, con capacidad de visualizar objetos de 1600 m^2 y mayores.

Las categorías o clases que se definieron para la construcción de la leyenda temática se han derivado en referencia a propuestas tales como la leyenda de CORINE Land Cover, Propuesta de Clasificación de cobertura vegetal y uso del suelo FAO-2012, Proyecto "Mapa de cobertura y Uso de la

Tierra del Ecuador Continental 2013-2014, escala 1:100 000, propuesta por el MAE y el MAGAP; observar la Tabla 3.2:

Tabla 3.2
Leyenda Temática para la generación del Mapa de Cobertura del Suelo

Código Nivel I	Nivel I	Nivel II	Código Nivel II
1	Bosque	Bosque Nativo	6
		Plantación Forestal	7
2	Áreas Agropecuarias	Cultivos Anuales	8
		Cultivos permanentes	9
		Pasto Cultivado	10
3	Vegetación Arbustiva y Herbácea	Vegetación Arbustiva y Herbácea	11
4	Zonas Antrópicas	Zonas Pobladas	12
		Suelo Desnudo	13
		Infraestructura Vial	14
5	Otras Tierras	Otras Tierras	15





Fuente. Mapa de deforestación histórico del Ecuador Continental del Ministerio del Ambiente del Ecuador, Protocolo III, 2010.

Modificado por Mejía y Moncayo (2012).






Adaptado por Campoverde y Satián (2015).

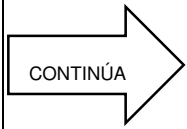
En la tabla anterior, se puede observar que se identificaron 5 categorías de clasificación dentro de la zona de estudio, donde predominan las zonas de Bosque y Agropecuaria y se llegó hasta el nivel dos por la escala de trabajo. Las zonas definidas como antrópicas, tienen la menor densificación, considerando que se trata una zona rural. El suelo desnudo, fue identificable en zonas de preparación para los cultivos, y lugares intervenidos o erosionados. (Ver Tabla 3.3)

Tabla 3.3
Leyenda Temática para el Mapa de Cobertura del Suelo, Cantón Otavalo-Zona Rural

Nivel I	Nivel II	Gráfico
Bosque	Bosque Nativo	
	Plantación Forestal	Sin Foto
Áreas Agropecuarias	Cultivos Anuales	
		
		

CONTINÚA

	
	
	
	
Cultivos Permanentes	



	Pasto Cultivado	
Vegetación Arbustiva y Herbácea	Vegetación Arbustiva	
Zonas Antrópicas	Zonas Pobladas	
	Suelo Desnudo	
	Infraestructura	
Otras Tierras	Otras Tierras	Sin Foto

3.7.2. Clasificación de la imagen por el método de objetos

Usando la herramienta “Feature Extraction” del software ENVI versión 5.1. (Licencia de prueba provista por la empresa consultora, CONSULTGEO), se realizó la clasificación de la imagen. Esta herramienta divide a su algoritmo en 4 etapas:

- Selección de la imagen
- Segmentación
- Selección de Clases
- Exportación de Productos

En esta parte se realiza el despliegue y se eligen las bandas para una mejor visualización de la imagen; en este caso se usó la combinación 1, 2 y 3, correspondientes a las bandas roja, verde y azul que permiten observar la imagen en color verdadero, para ello:

- Desplegar la imagen: File → Open → Seleccionar el archivo de Imagen (seleccionar el archivo OTV.tif) → Abrir
- Seleccionar Bandas: Clic derecho sobre el archivo de imagen → Change RGB Bands → Seleccionar (Band1, Band 2, Band 3). Proceso ilustrado dentro de la Figura 3.26.

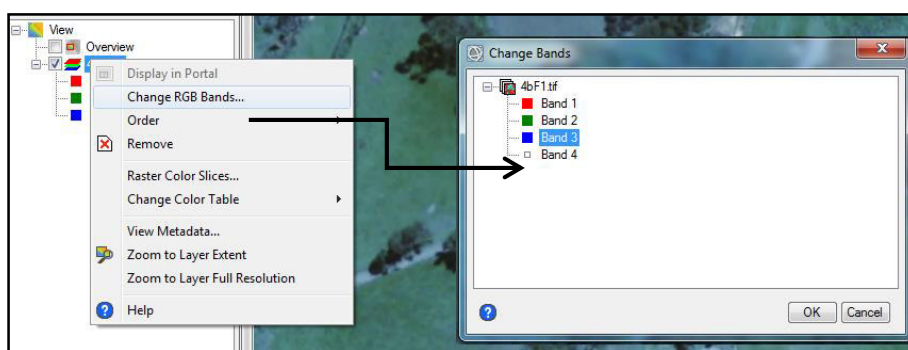


Figura 3.26. Selección de la imagen ENVI 5.0

3.7.3. Segmentación

Es el proceso de fraccionar a la imagen de acuerdo a sus características espectrales, espaciales y/o textura similar; correspondiendo los segmentos generados a la realidad de la zona de estudio. Para su ejecución se utilizó la

herramienta llamada “Example Based Feature Extraction”, tal como se muestra a continuación:

- Extracción de objetos: Toolbox → Feature Extraction → Example Based Feature Extraction Workflow → Data Selection → Raster File: OTV.tif
- Selección de bandas: Data Selection → Custom Bands → Normalizes Difference → Next
- Parámetros de Segmentación: Segment Settings → Algorithm: Edge → Scale Level: 45
- Parámetros de Unión: Merge Settings → Algorithm: Full Lambda Schedule → Scale Level: 85 → Next.(ver Figura 3.27)

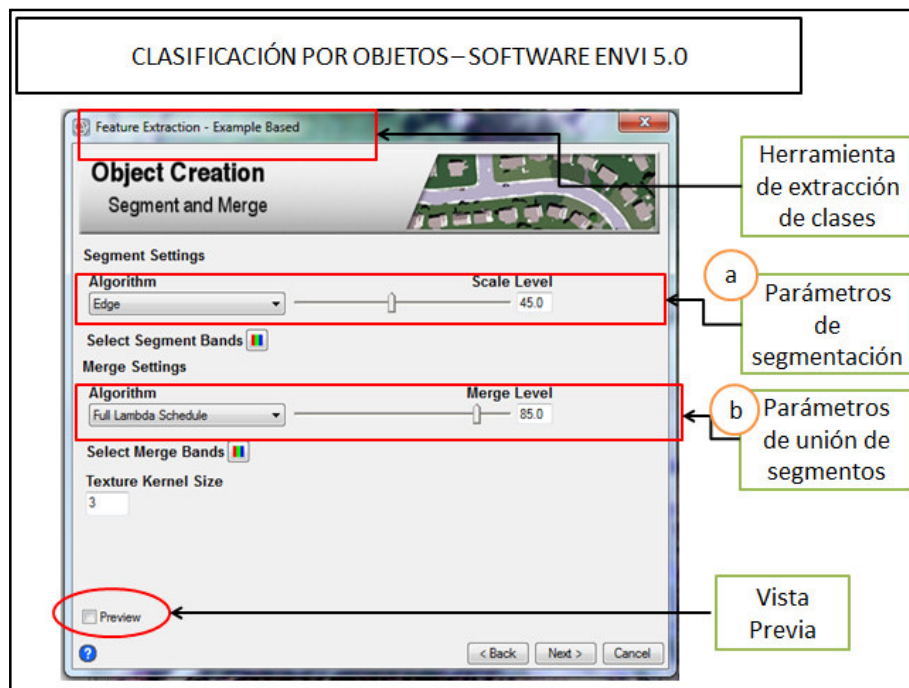


Figura 3.27. Algoritmo de segmentación de objetos

- a. Bordes (mejora la detección de límites)
- b. Full Lambda Schedule (Une los segmentos adyacentes en función del aumento de la medida del merge)

Con la finalidad de obtener una vista a priori de los resultados del proceso de segmentación, la interfaz del flujo de trabajo permite la opción de habilitar la ventana de vista previa (Preview), ubicada en la esquina inferior izquierda. (Ver Figura 3.28)



Figura 3.28. Vista previa de la segmentación

3.7.4. Selección de muestras de entrenamiento

Luego de la segmentación, se seleccionaron varias muestras, que sean representativas, de cada clase identificada en la zona de estudio. Para esto, en la ventana de selección de ejemplos, se añadirá cuantas clases sean necesarias para la clasificación supervisada. El procedimiento a realizar se lo explicará usando la Figura 3.29.

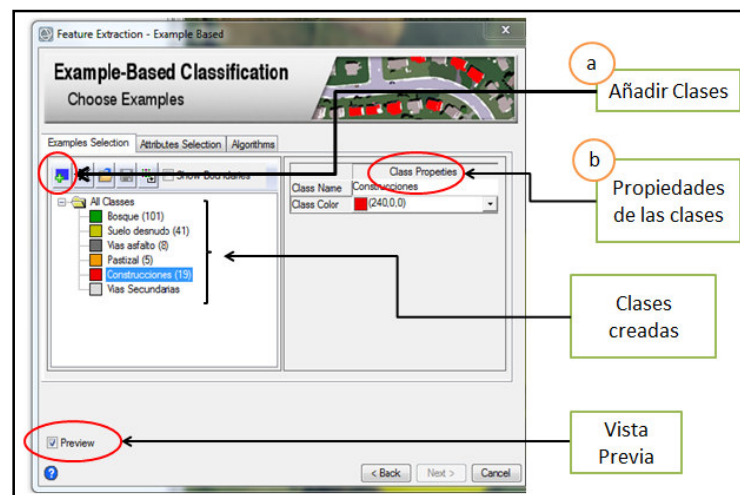


Figura 3.29. Proceso de selección de clases

- Añadir Clases: Add Class→ Añade tantas clases como categorías para la clasificación supervisada necesitamos.
- Propiedades de las Clases: Permite editar los atributos como nombre y color de cada clase

La selección de las muestras se las realiza ubicando el cursor en la imagen, que de acuerdo a la segmentación realizada, mostrará un polígono en color cian; este polígono se almacenará en la clase sobre la cual se esté

trabajando, luego de dar clic sobre el mismo. Para una mejor identificación de las muestras, se puede activar la opción Show Boundaries, que dibujará los límites del polígono generado en la fase de segmentación; dentro de la Figura 3.30 se ilustra el procedimiento.

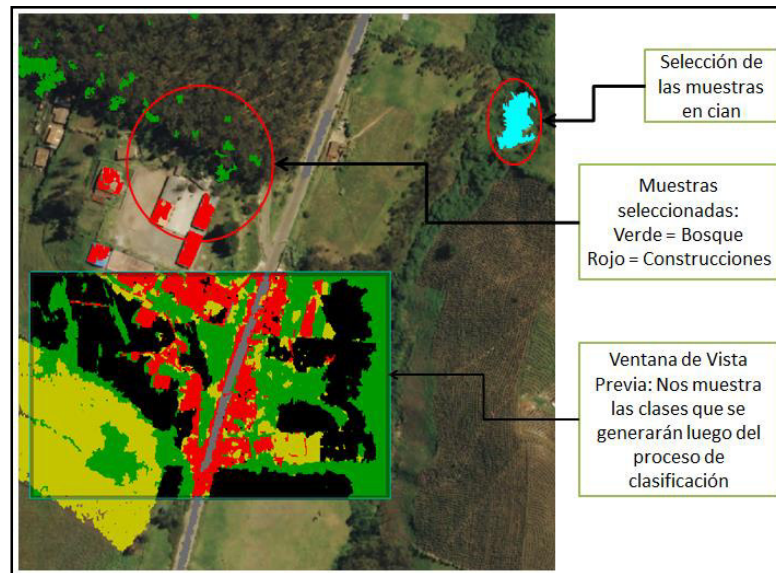


Figura 3.30. Selección de muestras para la clasificación

3.7.5. Método de Clasificación

En esta parte del procedimiento se escogió el método de clasificación supervisada (que ofrece el software ENVI) K Nearest Neighbor (KNN, ya que permite la clasificación de los segmentos en función de su proximidad o vecindad entre las regiones de entrenamiento, además de que luego de las pruebas realizadas es el más eficaz y preciso al momento de distinguir similitudes entre clases. El procedimiento se explica a continuación en la Figura 3.31.

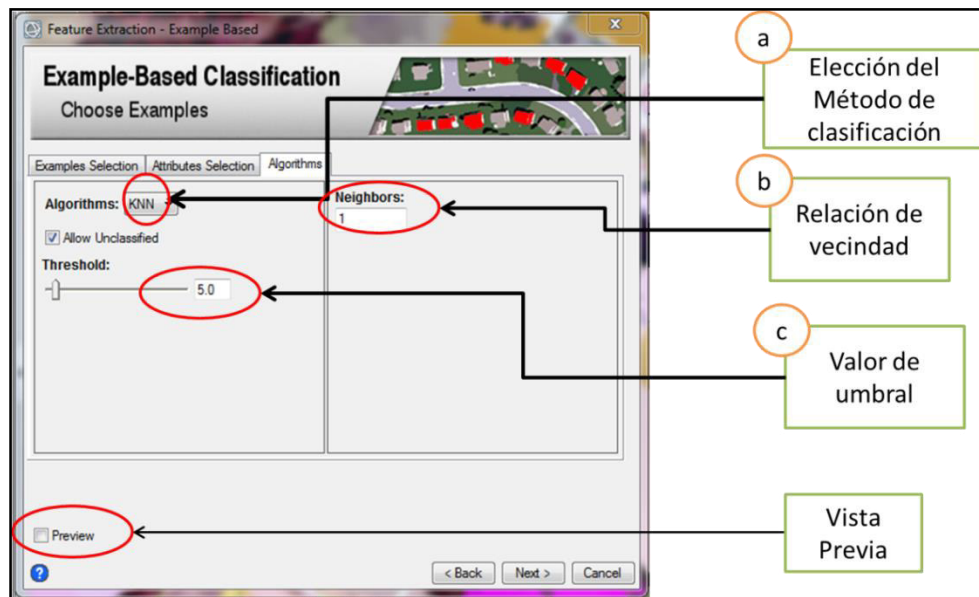


Figura 3.31. Método de clasificación

- Seleccionar en la ventana Algorithms → KNN
- La relación de vecindad debe ser un valor de 1 a 3, puesto que un valor más alto identificara más entidades vecinas que no correspondan a la clase correcta, por lo cual aumentarán los objetos que no tienen relevancia.
- El valor de umbral, es el valor que determinará los segmentos sin clasificar, por lo cual se estableció en 5% que es valor predeterminado.
- Finalmente dar clic en NEXT y finalizará el proceso de clasificación obteniéndose los siguientes resultados: (ver figura #)

Realizados todos los procedimientos anteriores se obtienen | mostrados en la Figura 3.32. Donde se muestran las clases encontradas finales.

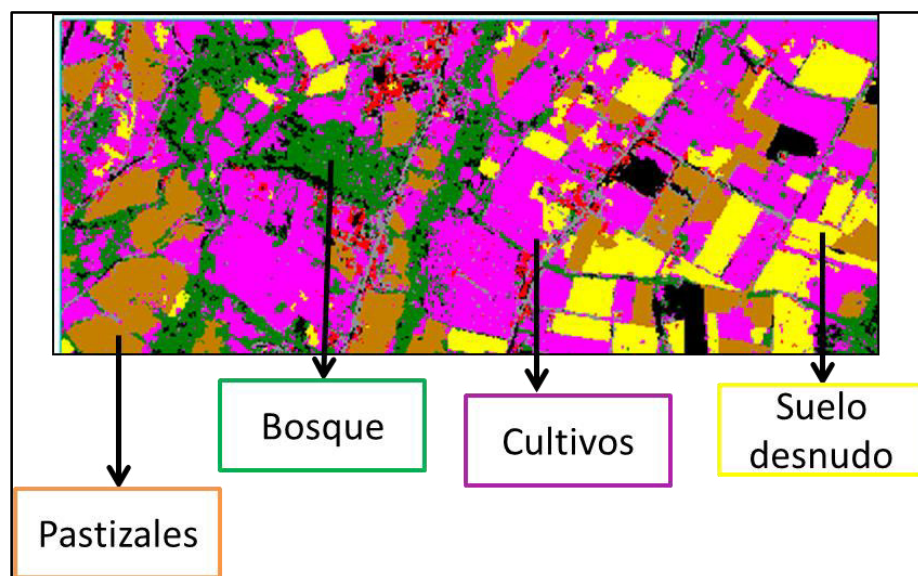


Figura 3.32. Productos de la clasificación

El paso final es exportar los segmentos ya sea en formato vector o ráster, para lo cual basta con elegir la carpeta de destino, como se observa en la Figura 3.33.

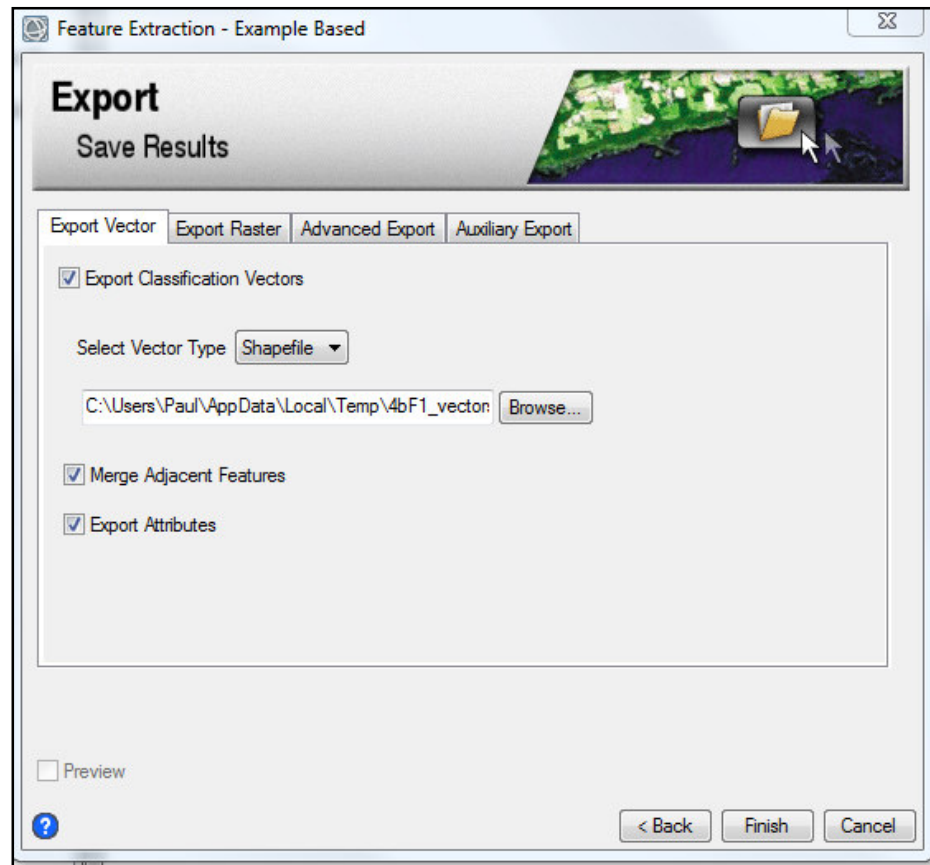


Figura 3.33. Exportar los productos obtenidos

Para un proceso más detallado, dirigirse al anexo, dentro del apartado B, donde se encuentran los modelos cartográficos de cada procedimiento realizado.

3.8. Control de Calidad

En el control de calidad, se buscó encontrar si se cumplía o no con la tolerancia establecida para fines de precisión del presente proyecto, escala cartográfica 1:5000.

Los insumos que se usaron en esta práctica fueron:

- Modelo Digital del Terreno y Ortofotografía de la zona de estudio escala 1:5000, provista por el SIGTIERRAS (2011)
- GPS Trimble de una frecuencia, Navegador Garmin

➤ Software de Procesamiento Leica Geo Office

Primero que todo, se realizó el análisis del método de muestreo, basado en la variable de estudio, el cual fue para una muestra infinita puesto que el insumo de trabajo es una ortofoto que representa información en millones de pixeles. En este caso, se consideró una variable binomial donde se cuenta el número de éxitos en una secuencia de n ensayos, caracterizados por ser dicotómicos; es decir, se evalúa la condición de si cumple, o no con la tolerancia que establece la norma cartográfica para los fines correspondientes. Con el objetivo de evaluar esta condición se estableció un valor de probabilidad del 50% al acierto o no de dicha condición, expresada en la siguiente fórmula:

$$p ; q = 1 - p \quad \text{Ec. 3.2.}$$

$$\text{donde: } p = 0,5$$

$$\therefore q = 0,5$$

Con lo anteriormente dicho, y establecidos los valores de probabilidad, se procedió a determinar la desviación estándar de la población, que posteriormente nos permitió encontrar el tamaño de la muestra. La fórmula para la desviación estándar de una variable binomial la observamos a continuación:

$$\delta = p \times q$$

$$\delta = 0,5 \times 0,5$$

$$\therefore \delta = 0,25$$

Luego se estableció el tamaño de la muestra, donde se realizará las evaluaciones correspondientes. La fórmula para el cálculo del tamaño de una muestra infinita se expresa en la siguiente fórmula:

$$n_{\infty} = \frac{Z_{\alpha/2}^2 * \delta^2}{e^2} \quad \text{Ec. 3.3.}$$

n = tamaño de la muestra

N = población analizada

$e = \text{error esperado}$

$\delta = \text{desviación estándar de la población}$

Cabe destacar que el error esperado debe ser tres veces mejor que el error permitido, con el cual se realizará las comparaciones posteriores; y el nivel de confianza mínimo al 95%.

Calculado el tamaño de la muestra, el siguiente paso fue realizar un aleatorio para escoger los puntos a ser evaluadas, proceso que luego servirá de análisis de las tolerancias para cada uno de los elementos escogidos.

La toma de muestras de puntos se hizo en base a los puntos que mejor se identificaron en la ortofoto y sus correspondientes en el terreno. Al final se realizó el rastreo de 10 puntos con un equipo GPS Trimble A3 de una sola frecuencia, y una colectora R3; con tiempo de grabación cada 5 segundos. El tiempo de rastreo fue de una hora por cada punto, considerando la precisión que queríamos alcanzar, que fue de 50 cm. (Ver Figura 3.34)

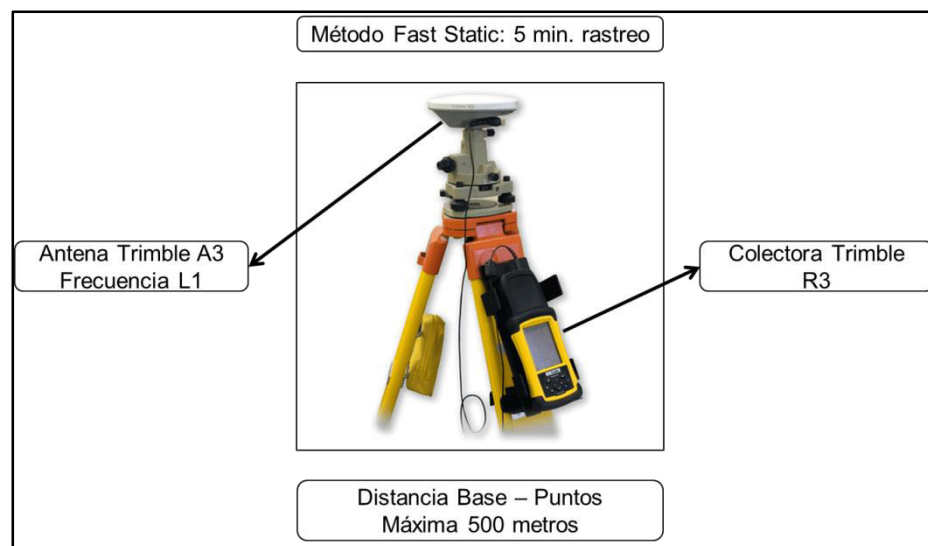


Figura 3.34. Equipo para toma de puntos GPS

El paso siguiente fue realizar el post-proceso de los puntos tomados en campo, en el software Leica Geo Office. (Ver Figura 3.35)



Figura 3.35 Software de Post-Proceso

Terminada la fase pos-proceso de los datos, se realizó el análisis estadístico en base al análisis de datos de estadística descriptiva que ofrece el paquete de office Excel. (Ver Figura 3.36)

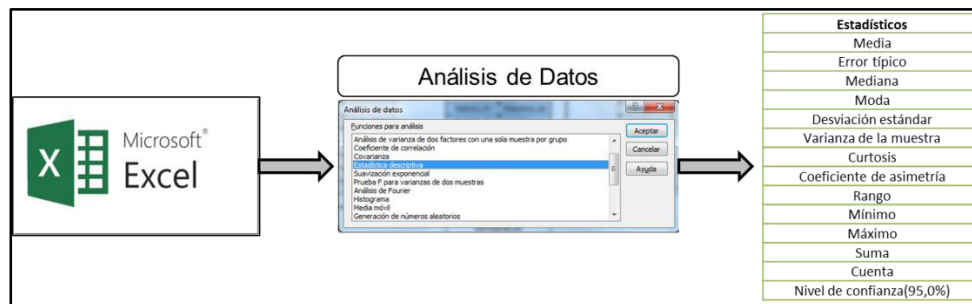


Figura 3.36 Análisis estadístico en Excel

Cabe destacar que el presente proyecto trabajó con un nivel de confianza al 99%, con el objetivo de poder alcanzar las tolerancias propuestas en base a los insumos que se nos entregó.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Información Recopilada

Se recopiló la información láser del Cantón de Otavalo, los mismos que comprenden 145 archivos de formato estándar (.las), cada uno de los archivos abarca una extensión de 5 kilómetros cuadrados y cubren el 98 % de la zona del Cantón.

Además se adquirió, el orto-mosaico del mismo Cantón, con una escala 1: 5 000, resolución espacial de 30 centímetros, resolución espectral de 4 bandas (3 bandas pertenecientes al R, G, B y 1 banda al infrarrojo) y una resolución radiométrica de 8 bits.

La información cartográfica, se obtuvo a escala 1:50 000, se consiguieron coberturas de vías, centros poblados, zonas urbanas, y divisiones políticas oficiales del Ecuador. Los archivos se encuentran en formato estándar shapefile (.shp).

4.2. Resultados del Análisis de la Información LiDAR

En la Tabla 4.1, se aprecian las calificaciones que obtuvo cada uno de los programas. Se calificó cada parámetro sobre un total de 2,5 puntos para obtener una calificación de 10 puntos en total.

Tabla 4.1.

Calificación de Software

	Interfaz	Herramientas	Productos	Versatilidad	TOTAL
ENVI 5.2	2,0	1,5	2,5	1,5	7,5
FUSION V3.42	1,5	2,0	2,0	1,0	6,5
Global Mapper V16.1	2,5	2,0	2,0	2,5	9,0

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis de cada parámetro.

4.2.1. Resultados del Análisis de Interfaz

Cada uno de los programas tiene su estilo para la presentación de barras y herramientas, pero lo que se busca dentro del desarrollo de un software es que las herramientas sean intuitivas, para usuarios con un nivel medio de experticia en el manejo de información geográfica. Es así que dentro de las pruebas realizadas Global Mapper, obtuvo el puntaje total, ya que permite acceder a archivos de manera fácil y sencilla.

Al iniciar el programa, primero despliega 4 botones, observar la Figura 4.1, los mismos que permiten abrir archivos existentes en el ordenador propiedad del usuario (1), descargar información geográfica de servidores de acceso gratuito (2), configurar las proyecciones que se darán a los archivos (3) y en caso de no poseer información, el programa provee de información de prueba al usuario para que pueda explorar las potencialidades del mismo (4).

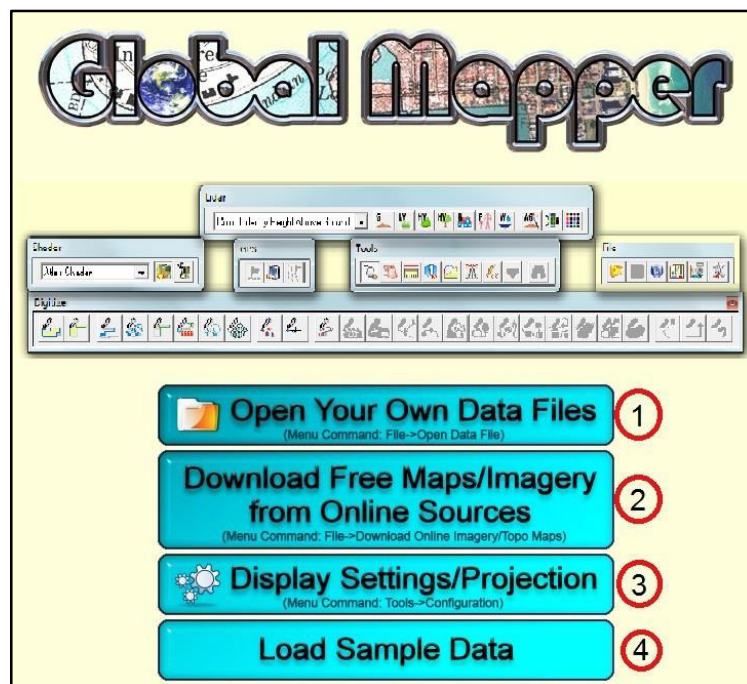


Figura 4.1. Interfaz inicial Global Mapper V.16.1

El segundo en la lista fue ENVI 5.2, es una interfaz bien establecida, pero las herramientas no están a la vista del usuario. Se debe ingresar a diferentes menús y desplegar diferentes ventanas para que las herramientas puedan ser ejecutadas. Es una interfaz, ilustrada en la Figura 4.2, dirigida a un usuario con alta experiencia en el manejo de software de análisis de información geográfica.

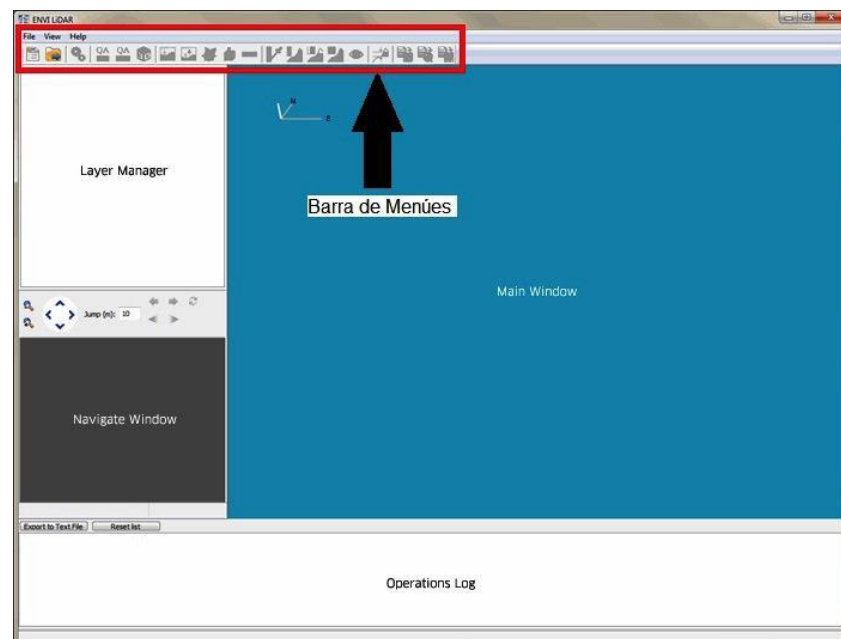
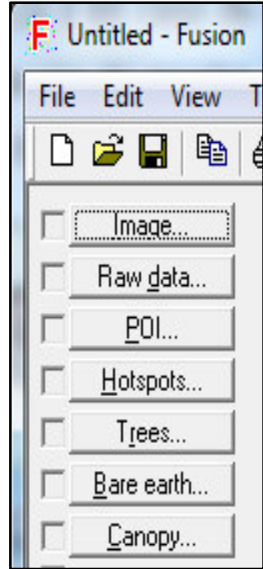


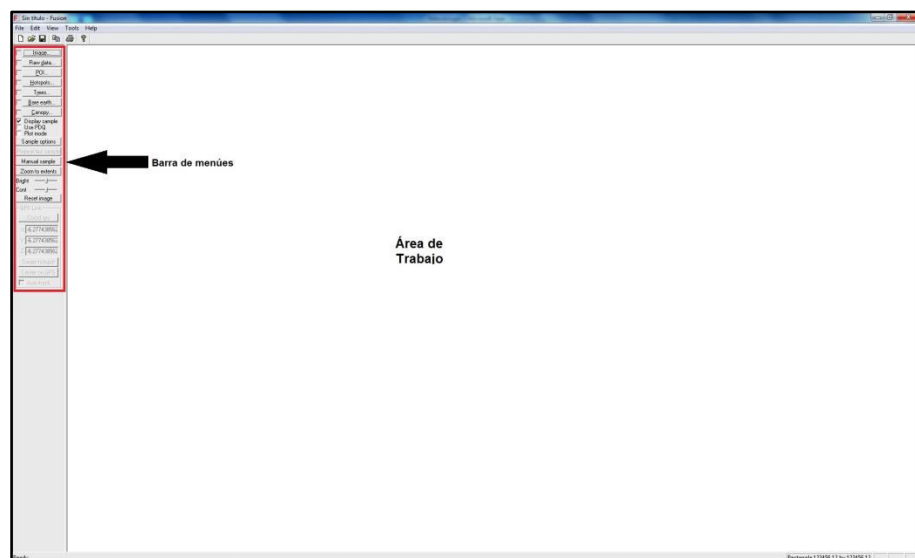
Figura 4.2. Interfaz inicial ENVI 5.2

Finalmente, se encuentra el software FUSION V3.46, al ser un programa desarrollado por un grupo de expertos para una tarea en especial, realizar análisis de cobertura vegetal, utiliza una programación básica no orientada a objetos. Las únicas opciones visibles son las que permiten abrir archivos, además de activar o desactivar la información desplegada. El menú de acciones se muestra dentro de la Tabla 4.2. Por otro lado en la Figura 4.3, se muestra la interfaz del programa.

Tabla 4.2.

Menú de herramientas FUSION

Barra de Herramientas	Descripción
	Abrir Orto-imagen
	Abrir Datos Láser
	Abrir Puntos de Interés
	Abrir Lugares de Interés
	Abrir Cobertura de Vegetación Alta
	Abrir Modelo Digital de Elevaciones
	Abrir Modelo Digital de Copas de Árboles

**Figura 4.3. Interfaz inicial de FUSION V3.46**

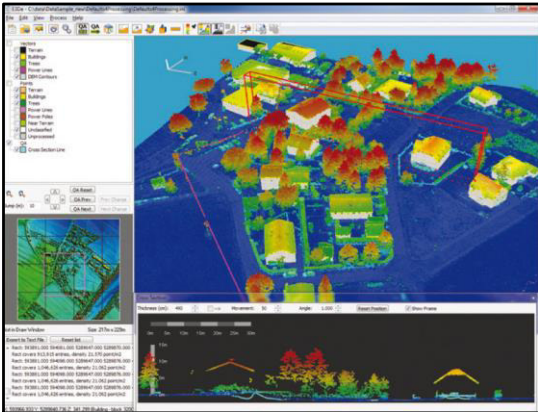

Los mejores resultados, fueron obtenidos por el software Global Mapper V16.1, al mostrar al usuario de manera gráfica todas las herramientas de análisis y procesamiento de la información. No conlleva educación o entrenamiento previo para que el usuario pueda manejar la plataforma y ejecutar procesos.

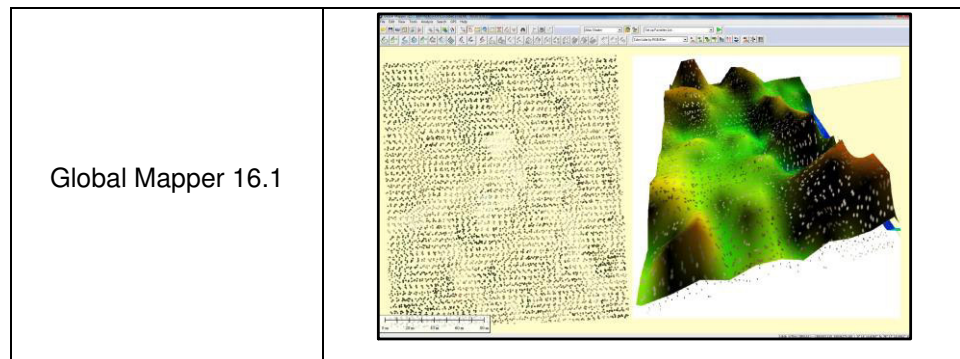
4.2.2. Productos de la Visualización 2D/3D

Cada uno de los programas permite al usuario visualizar los datos láser, tanto en 2 dimensiones como en 3 dimensiones. Cada uno tiene varias formas de visualizar la información así por ejemplo, observar la información de acuerdo a la altura, respecto a los retornos recibidos, etc.

A continuación, en la Tabla 4.3, se aprecia, cómo se pueden visualizar los datos tanto en 2D como en 3D, en cada uno de los programas. No se califica este parámetro, ya que se encuentra evaluada dentro del apartado de herramientas.

Tabla 4.3.
Visualización de la información

	2D	3D
ENVI 5.2		
FUSION 3.46		



4.2.3. Análisis de Herramientas de tratamiento y procesamiento de datos LiDAR

En general dentro de este apartado, los 3 programas presentan herramientas similares para el análisis de los datos. Lo que diferencia a uno y otro, son los parámetros que se pueden modificar dentro de las herramientas para la obtención de mejores resultados.

Para los programas de uso licenciado, todos los procesos realizados son transparentes al usuario, se ejecutan las herramientas y se obtienen los resultados; no se puede manipular el algoritmo programado, ya que todos estos procesos son sujetos a derechos de autor. Lo único que se puede modificar, son los parámetros necesarios para que el algoritmo se ejecute.

Por el contrario el software de uso libre, permite al usuario con conocimientos de programación, llegar a modificar el algoritmo básico de la herramienta; las mismas que vienen comprimidas en un archivo (.zip) llamado LasTools; dentro del cual, los desarrolladores alrededor del mundo, han ido aportando diferentes soluciones para el análisis y procesamiento de datos láser.

La parte negativa para el programa FUSION, es el hecho de que el usuario debe, mediante un comando de sintaxis establecida, programar la herramienta para que se realice la orden. No existen botones que ejecuten los comandos de manera directa, como en las otras 2 plataformas.

Tanto FUSION como Global Mapper, tienen la misma calificación, FUSION porque permite analizar y profundizar el algoritmo de sus

herramientas, un punto muy fuerte y útil al momento de la investigación científica; mientras que Global Mapper a pesar de no dar opción de alterar sus algoritmos, posee mejores herramientas de clasificación de la nube de puntos LiDAR (clasificación automática y clasificación manual) y mejores opciones de visualización que arrojan excelentes resultados en el análisis y procesamiento de la información.

En cuanto que ENVI, este software posee una calificación de 1,5, ya que a pesar de que es un software con un gran alcance, no permite al usuario manipular a información de manera profunda. No posee herramientas de clasificación de la información, tampoco se permite filtrar los archivos. Todo el análisis de los datos se lo realiza mediante la herramienta “Process Data” y directamente se obtienen los resultados.

4.2.4. Evaluación de Productos Generados por cada Software

Los productos que cada uno de los programas genera, se encuentran detallados en la Tabla 4.4; para este análisis se consideraron aquellos productos básicos que se obtiene a partir de datos láser, luego de haber sido procesados.

Tabla 4.4.

Productos de cada Software

SOFTWARE	PRODUCTOS				
	<i>Orto-imagen</i>	<i>Modelo Digital de Elevaciones</i>	<i>Modelo Digital de Superficie</i>	<i>Vectores de Elementos</i>	<i>Modelos 3D de Elementos</i>
ENVI 5.2	X	X	X	X	X
FUSION v.3.42	X	X	X	-	-
Global Mapper v.16.1	X	X	X	X	-

El software ENVI 5.2 obtiene modelos en 3 dimensiones de la información procesada. Como se observa dentro de la Figura 4.4, una cualidad bastante innovadora y que le da una mejor calificación.



Figura 4.4. Modelo 3D de ENVI

La vectorización de identidades, a partir de los datos LiDAR es una herramienta bastante innovadora dentro de los programas. Permiten de manera más eficiente obtener muy buenos resultados al momento de realizar la cartografía de la zona estudiada. (Ver Figura 4.5, ejemplo simulado)

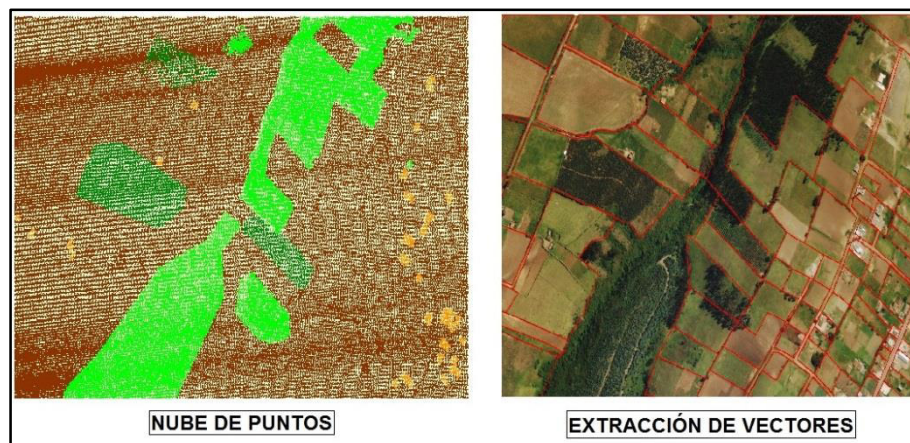


Figura 4.5. Extracción de vectores Global Mapper

A pesar de los excelentes productos obtenidos de cada uno de los programas, es necesario realizar pruebas de exactitud posicional y de precisión, ya que los algoritmos de extracción de polígonos y generación de modelos 3D se encuentran en desarrollo, y la realidad virtual generada, difiere mucho de la realidad en el terreno.

4.2.5. Resultados de Versatilidad

Los resultados de versatilidad, están referidos a los diferentes modelos de información que cada uno de los softwares permite visualizar, analizar y editar o modificar. Es así que dentro de la Tabla 4.5, se encuentra un detalle de las extensiones de archivos que puede manejar cada uno de los programas.

El software que permitió realizar las principales tareas y aceptó una gran cantidad de extensiones de archivos de información geográfica, fue Global Mapper; éste permite visualizar, analizar y editar los archivos en formato vector, ráster e información láser.

Tabla 4.5.

Extensiones Aceptadas

SOFTWARE	EXTENSIONES		
	<i>Archivos Ráster</i>	<i>Archivos Vector</i>	<i>Archivos Láser</i>
ENVI 5.2	.bmp, .jpg, .tif, .pcx, .ppm	.shp	.las
FUSION v.3.42	.bmp, .jpg, .tif, .pcx, .ppm	.shp, .mos, .arc, .gen, .lda, .xyz, .hst	.lda, .las, .laz, .xyz
Global Mapper v.16.1	.tif, .jpg, .ecw, .bmp, .bil, .bin, .bsq, .dat, .img, .gif	.shp, .xyz, .asc, .csv, .xyz, .dgn, .dwg, .vct, .gpx	.las, laz

Mientras que ENVI, únicamente permite trabajar con información láser dentro de su módulo LiDAR; y analizar información ráster, dentro de su módulo de análisis digital de imágenes. Los archivos de tipo vector, permite visualizar y genera los vectores de las edificaciones a partir de los datos

láser; finalmente no deja al usuario editar o analizar la información de tipo vector.

4.3. Resultados del Análisis, clasificación y depuración de información LiDAR

A continuación se muestran los resultados obtenidos a partir del análisis de cada una de las zonas. Se encontró que los datos láser del territorio del Ecuador, son de muy baja densidad, presentando únicamente 0,20 pts/m², mientras que los datos más densos y con una resolución espacial excelente pertenecen al país de Colombia, la misma que posee de 8 a 9 pts/m² en promedio. Finalmente, España posee una densidad promedio de 1,20 pts/m², lo que lo ubica dentro de una posición intermedia.

4.3.1. Resultados del Análisis de densidad de puntos por metro cuadrado (pts/m²)

Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 4.6. Se observa que los datos con una mayor densidad son los generados en el país de Colombia, los cuales superan ampliamente la densidad de puntos de las 2 zonas restantes.

Tabla 4.6.

Densidad de puntos por metro cuadrado

	<i>ENVI 5.2</i> (pts/m ²)	<i>FUSION</i> (pts/m ²)	<i>Global Mapper</i> (pts/m ²)	<i>PROMEDIO</i> (pts/m ²)
Colombia	8,68	9,32	10,60	9,53
Ecuador	0,17	0,17	0,19	0,18
España	0,93	1,00	1,25	1,06

Las diferencias existentes en los archivos analizados, son bastante amplias; lo que se traduce inmediatamente como pérdida de resolución

espacial; ya que en el caso de Colombia, se podrá generar productos con una resolución espacial de aproximadamente 15 centímetros; mientras que en el caso del Ecuador, esta resolución baja drásticamente a productos con píxeles que miden 5 metros.


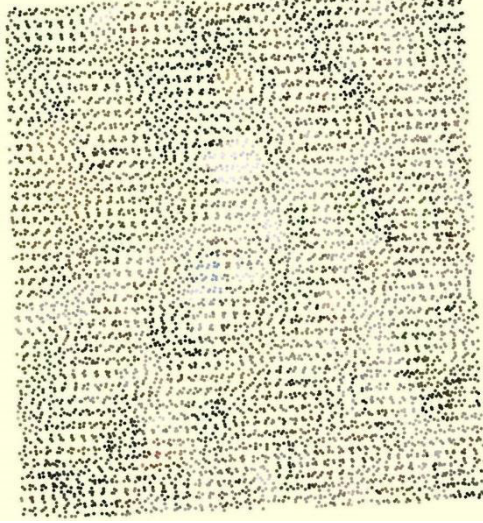
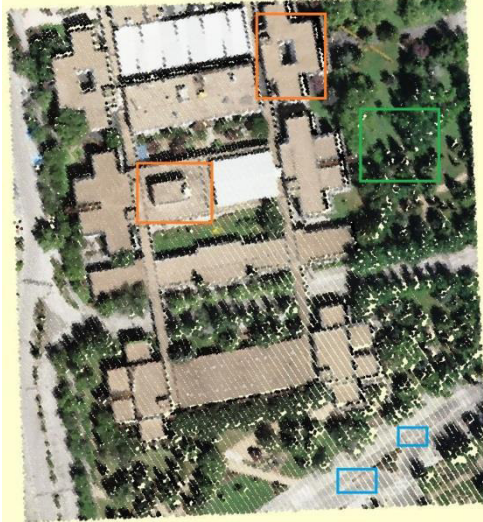
Esto afecta de manera directa, en primer lugar a la visualización de los datos, ya que no se observarán de manera clara los elementos existentes en el terreno; y después, en la obtención de buenos productos al momento de la extracción de polígonos y digitalización de entidades catastrales como: predios, edificios, calles, etc.

Dentro de la Tabla 4.7, se observa cuál fue el resultado de la visualización de las muestras en cada uno de los programas, además de cómo varia el reconocimiento y representación de elementos en el terreno.

Las imágenes que se pueden visualizar dentro de la Tabla 4.7, se representan los puntos LiDAR que han absorbido los niveles digitales de la ortofoto de cada sector. Es así, de esta manera que se pueden discriminar los objetos que cada uno de los sectores posee.

La alta densidad de puntos presente en los archivos de Colombia, hace que se logre reconocer de manera muy clara, los objetos presentes en la superficie terrestre, como: (color naranja), vegetación alta y baja (color verde), suelo desnudo (color azul).

Tabla 4.7.
Visualización de nube de puntos LiDAR en RGB

Colombia	
Ecuador	
España	

El segundo archivo en dar buenos resultados y productos, fueron los datos de España, que a pesar de tener una resolución de 1,06 pts/m², se puede discernir y reconocer diferentes elementos claramente. Entre los elementos reconocidos se encuentran: los edificios (color naranja), la vegetación (color verde) y las vías (color azul).

A pesar de eso, dentro de la imagen de España, se puede observar ciertos espacios sin información representados en la Figura 4.6, que causaría la mala interpretación a escalas grandes, en rangos de 1:1 000 a 1:5 000.



Figura 4.6. Información bandeada, España

Finalmente, los datos de Ecuador, presentan una resolución espacial muy baja, por lo cual, no se logra discernir ningún elemento. Simplemente, se observan puntos muy dispersos por todo el terreno. Se pueden vislumbrar ciertos límites, pero nada concreto.

Otro inconveniente que presentan los archivos de datos LiDAR del Ecuador, es un bandeado en cada una de las escenas capturadas, en la Figura 4.7 se ilustra el problema. El recuadro rojo muestra, cómo el barrido del sensor no es uniforme, lo que hace que la densidad de puntos por metro cuadrado se reduzca y no sea igual en toda la escena.



Figura 4.7. Archivo con problema de barrido

Encontrando una reducción del 70 % en la densidad de puntos por metro cuadrado; la franja que se forma, presenta un valor de 0,08 pts/m² a diferencia del resto de la imagen, que presenta una densidad de 0,26 pts/m².

4.3.2. Resultados del Análisis de puntos por retorno recibido

Se analizó la cantidad de información que se puede recabar de cada uno de los retornos; es por eso que se realizó un conteo de puntos por retorno recibido.

La Tabla 4.8., muestra que el mayor número de puntos se encuentran en el primer retorno, repitiéndose el resultado para las 3 zonas. El análisis

arroja que más del 90 % de los puntos, corresponden a este grupo, por lo que la mayor cantidad de información se encontrará en el retorno número 1.

Tabla 4.8.
Número de puntos por retorno recibido

	Número de puntos por retorno		
	<i>Colombia</i>	<i>Ecuador</i>	<i>España</i>
Retorno 1	377 470	6 885	37 678
Retorno 2	25 518	340	5 185
Retorno 3	840	6	477
Retorno 4	10	0	18
TOTAL PUNTOS	403 838	7 231	43 358

Dentro de la Figura 4.8, se encuentra la representación porcentual de cada uno de las clases en la zona de Colombia. La información presenta únicamente 3 retornos; y dentro de la Tabla 4.9., se observan gráficamente los resultados de cada clase y lo que cada retorno representa.

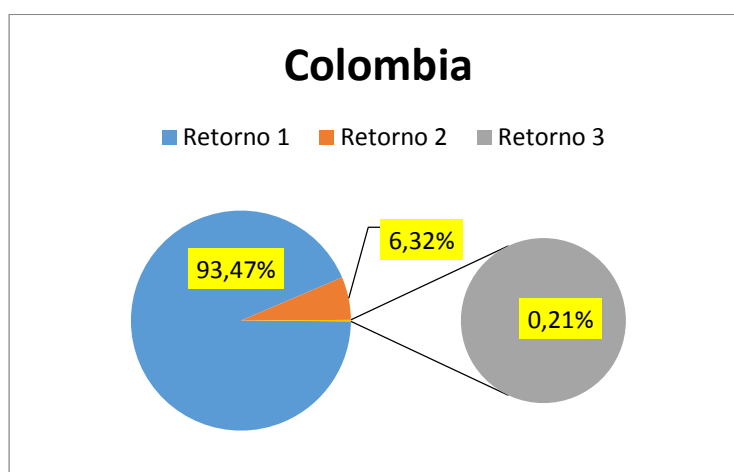


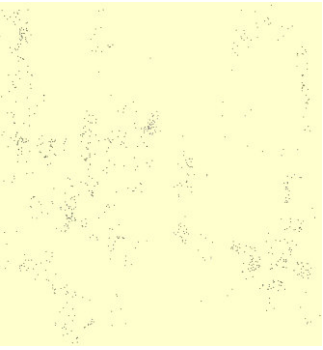


Figura 4.8. Representación porcentual de puntos por retorno, Colombia

Tabla 4.9.
Análisis de retornos, Colombia

<p>Retorno 1: se encuentran todos los elementos, tanto edificaciones, vegetación y suelo.</p>	
<p>Retorno 2: dentro de esta clase básicamente se encuentra la vegetación, ya que los retornos intermedios en su mayoría representan la vegetación y su estructura.</p>	
<p>Retorno 3: no existe gran cantidad de puntos, apenas se encuentran 840 puntos en total.</p>	

De la misma forma, la Figura 4.9 ilustra los resultados porcentuales de la cantidad de puntos presentes en cada retorno dentro de la zona del Ecuador; mientras que en la Tabla 4.10, se presenta el análisis gráfico e interpretación de la información.

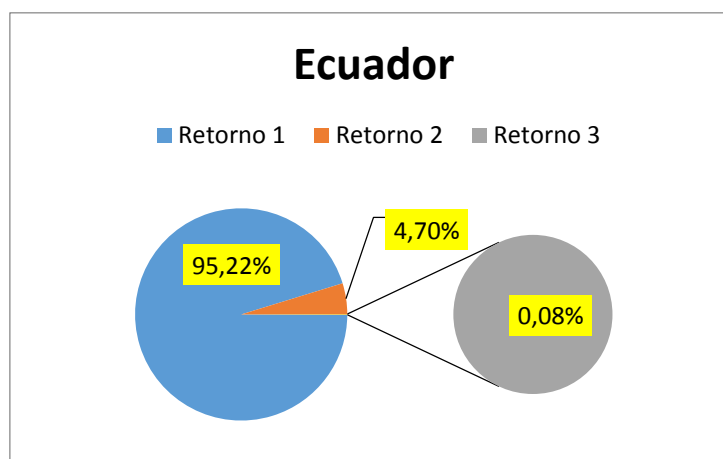
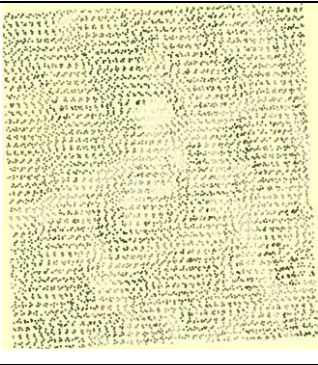
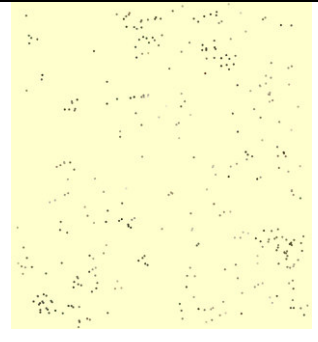
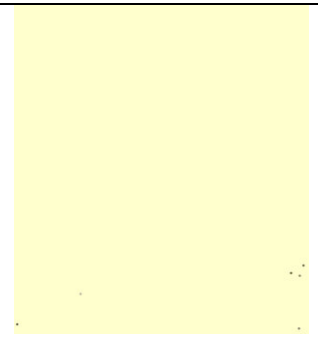


Figura 4.9. Representación porcentual de puntos por retorno, Ecuador

Tabla 4.10
Análisis de retornos, Ecuador

<p>Retorno 1: se encuentran todos los elementos, tanto edificaciones, vegetación y suelo. Por la densidad de puntos, no se pueden identificar los elementos.</p>	
<p>Retorno 2: se encuentra representada la vegetación existente en la zona.</p>	
<p>Retorno 3: existen solamente 6 puntos dentro de este retorno, lo que hace imposible la percepción de los mismos.</p>	

Finalmente, los resultados de la zona de España se presentan porcentualmente en la Figura 4.10 y gráficamente su interpretación, se ilustra en la Tabla 4.11. Notar que dentro de este archivo existe un 4to retorno, el cual contiene un total de 18 puntos, su representación gráfica es irrelevante. El aparecimiento de otro retorno, es debido al sensor que captura dicha información.

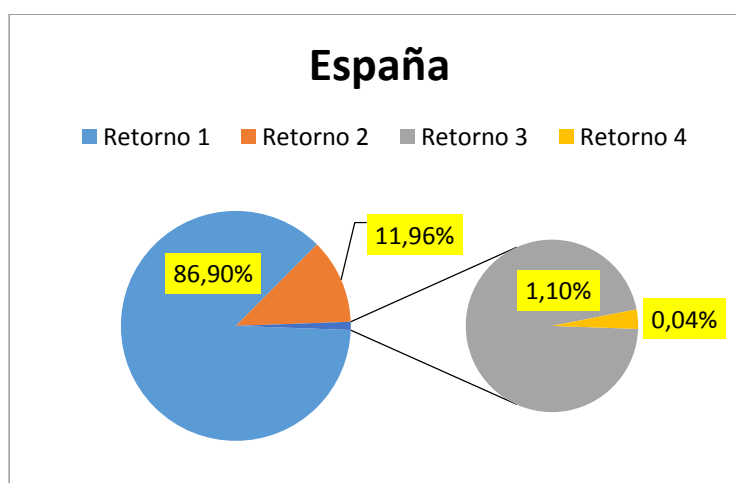


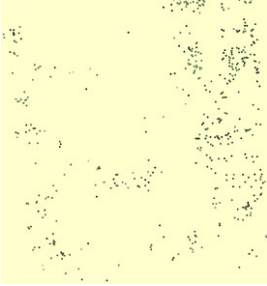


Figura 4.10. Representación porcentual de puntos por retorno, España

Tabla 4.11
Análisis de retornos, España

<p>Retorno 1: se encuentran todos los elementos, tanto edificaciones, vegetación y suelo. Se identifican claramente los elementos.</p>	
<p>Retorno 2: en un 80 %, se ve representada la vegetación de la zona de estudio.</p>	

CONTINÚA

<p>Retorno 3: este retorno representa el suelo y cierta parte de la vegetación, contiene solamente 477 puntos.</p>	
---	--

4.3.3. Productos Obtenidos de la Clasificación y Depuración de la Información LiDAR

El primer procedimiento dentro de este apartado fue la clasificación automática, misma que dio como resultado un archivo que contiene los datos láser donde se visualizan dos clases: suelo (Ground) y puntos de no suelo (Non – ground). La Figura 4.12, ilustra el resultado de la clasificación realizada a la zona de estudio.

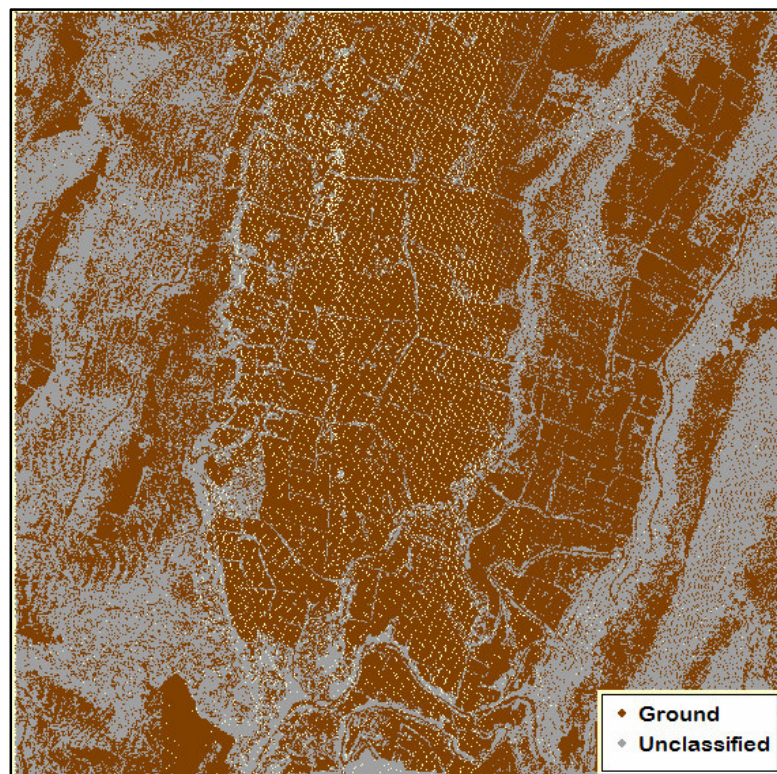


Figura 4.11. Zona de estudio clasificada automáticamente

La clasificación automática se la realiza únicamente para los puntos de suelo, ya que la versión del software no permite clasificar automáticamente

otros elementos; una actualización del mismo permite al usuario obtener una clasificación automática tanto de vegetación, como de edificaciones.

Los tonos cafés, representan los puntos clasificados como suelo, que corresponde al 48,51 % del total de puntos existentes en la zona. Mientras que los tonos en gris, son los puntos correspondientes a la clase de “No suelo”, que son 540 541 puntos, los mismos ocupan el 51,49 % del archivo.

Se vislumbran ciertas entidades, pero no son tan claras; como por ejemplo: los límites de predios y las vías (Figura 4.12). Las vías al estar al nivel del suelo, se clasificaron como suelo, tal y como lo demuestra el recuadro 1, mientras que los límites de los predios existentes, se presentan en el recuadro 2.

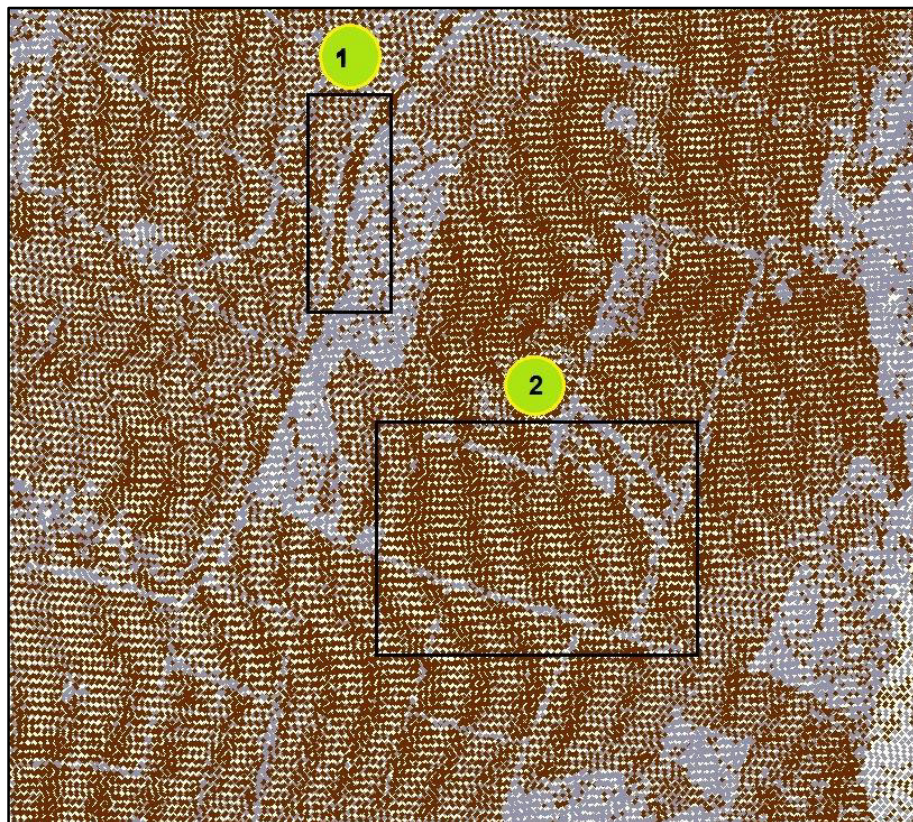


Figura 4.12. Clasificación automática de la nube de puntos

En cuanto al área, que presentó problemas de barrido del sensor y la densidad de puntos por metro cuadrado baja drásticamente, difícilmente se puede definir algún elemento, la información confunde y no presenta límites claros, tal y como se incluye en la Figura 4.13.

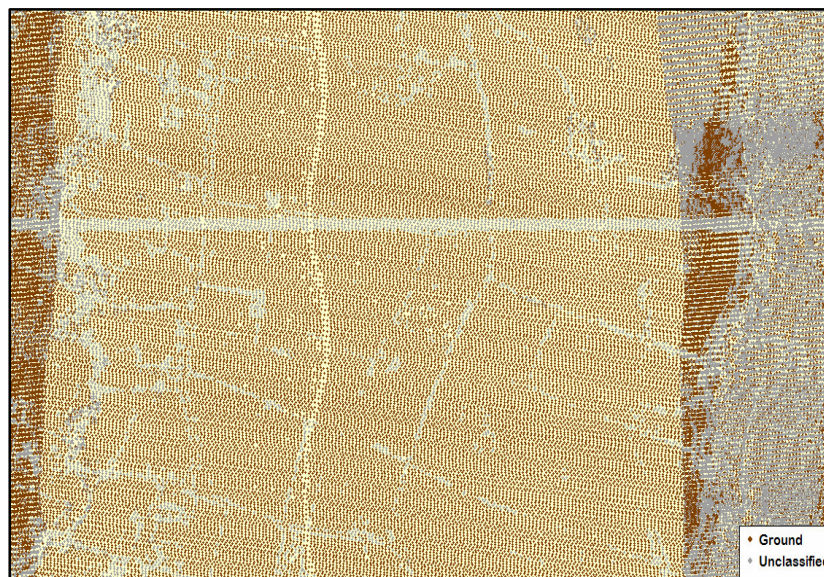


Figura 4.13. Clasificación automática zona bandeada

Una vez realizada la clasificación automática, se procedió con una clasificación manual; la misma que utiliza como insumos principales la información láser y la ortofotografía de la zona. En la Figura 4.14, se explica cómo la ortofotografía ayuda a identificar los elementos del terreno.

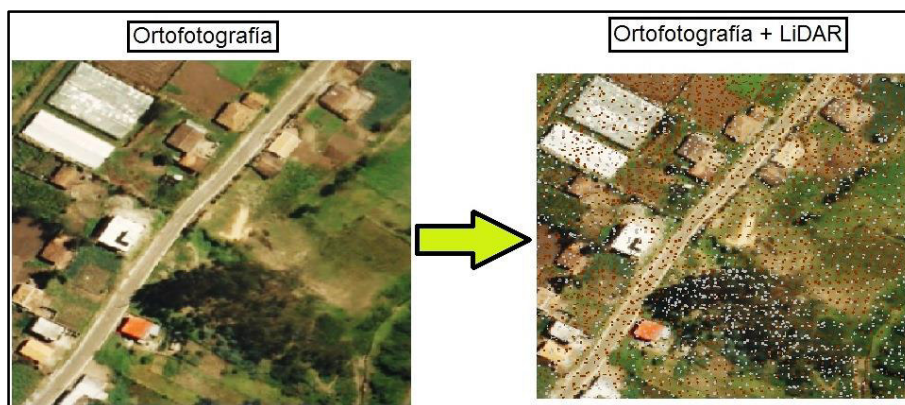


Figura 4.14. Insumos para clasificación automática

Gracias a la resolución espacial de la imagen, la identificación de objetos es óptima y se pueden obtener clases muy bien definidas, es así de esta manera como se llegaron a obtener 4 clases principales (ver Figura 4.15): suelo, vegetación alta (bosques), vegetación baja (zonas de cultivo) y edificios, que corresponden a las edificaciones presentes en la zona.



Figura 4.15. Clases obtenidas para la nube de puntos

Identificadas las clases, se seleccionaron los puntos pertenecientes a cada clase, y se ejecutó el comando de asignación de clase. Como se presenta en Figura 4.16, se asigna un nuevo color a los puntos láser y pasan a crear una clase. De color verde claro se aprecia la clase de vegetación alta que corresponde a los bosques, la clase de edificaciones están pintadas de color naranja, los cultivos que representan la clase de vegetación baja, tienen el color verde oscuro; finalmente, el suelo se presenta en color café.



Figura 4.16. Previo de clasificación automática

Los resultados obtenidos, se presentan en la Figura 4.17, los porcentajes y cantidad de puntos de cada clase en el archivo final son representados en la Tabla 4.12; la clase predominante es el suelo y la de menor porcentaje es la de edificaciones, debido a la zona que se analizó es una zona rural.

Tabla 4.12.

Resultados cuantitativos de la clasificación manual

<i>Código (ASPRS)</i>	<i>Nombre (ASPRS)</i>	<i>Número de Puntos</i>	<i>Porcentaje de cada Clase</i>
2	Suelo	836 990	79,73
3	Vegetación Baja	13 100	1,25
5	Vegetación Alta	190 177	18,12
6	Edificaciones	9 518	0,91
TOTAL		1'049 785	100

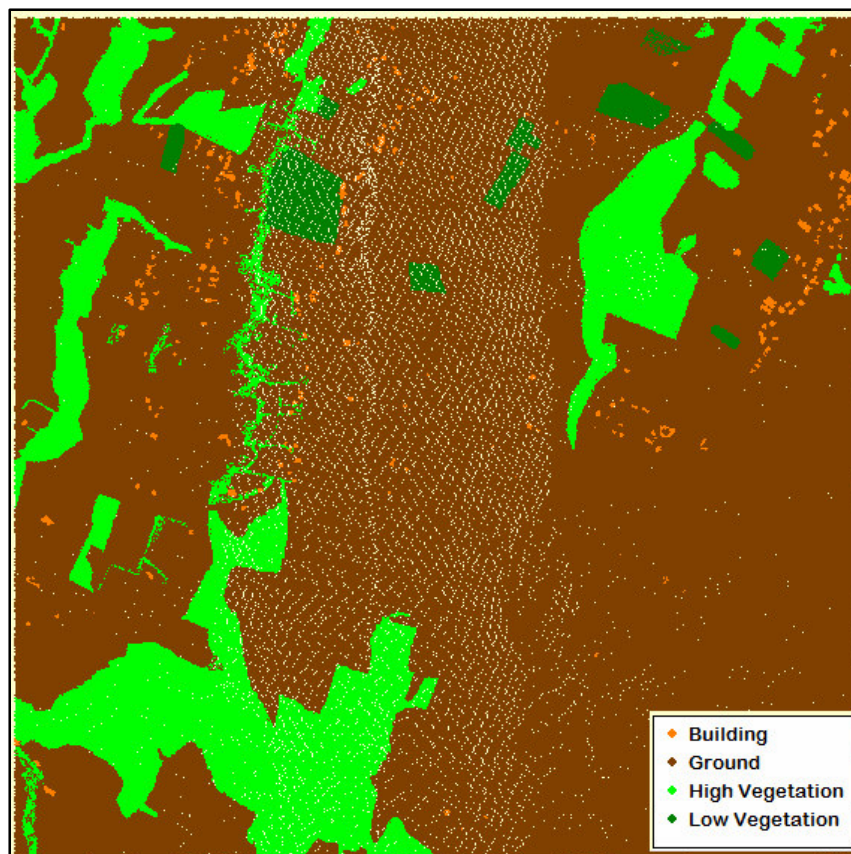


Figura 4.17. Zona de estudio clasificada

4.4. Análisis de los Modelos Digitales Resultantes

Se analizarán los resultados obtenidos tras la generación de los modelos digitales, tanto de elevaciones como de superficie; los mismos que fueron realizados con la información láser previamente clasificada. Se obtuvieron 2 modelos digitales de elevaciones, uno a partir del método de interpolación IDW dentro del software ArcGIS y el otro, dentro del software Global Mapper. También se realizaron 2 modelos digitales de superficies, de igual forma con cada uno de los programas mencionados.

4.4.1. Resultados de los Modelos Digitales de Elevaciones

Dentro del procedimiento de generación de modelos digitales de elevaciones, se obtuvieron 2 archivos exportados desde el software FUSION, los mismos que muestran los datos láser en formato de .txt, observar la Figura 4.18, en donde muestra la estructura de esos datos.

"X"	"Y"	"Elevation"	"Intensity"
803338.820000	10022130.570000	2808.919922	87.000000
803342.870000	10022130.110000	2810.739990	88.000000
803346.920000	10022129.050000	2812.570068	87.000000
803350.970000	10022129.180000	2814.360107	93.000000
803354.980000	10022128.730000	2816.219971	38.000000
803370.920000	10022128.820000	2821.620000	143.000000
803366.730000	10022129.290000	2820.350098	134.000000
803362.580000	10022129.750000	2818.879883	112.000000
803358.440000	10022130.220000	2817.320068	99.000000
803354.360000	10022130.690000	2815.620117	108.000000
803350.270000	10022131.150000	2813.860107	108.000000
803346.200000	10022131.620000	2812.030029	120.000000
803342.140000	10022132.090000	2810.169922	120.000000
803338.040000	10022132.570000	2808.370117	115.000000
803335.690000	10022136.650000	2806.939941	79.000000
803339.800000	10022136.180000	2808.649902	83.000000

Figura 4.18. Formato de información láser para interpolar

La elipse roja muestra las coordenada x, y de los puntos; mientras que la elipse en color verde muestra el valor de altura y la elipse azul presenta los valores de intensidad de cada uno de los puntos.

Uno de los archivos obtenidos, corresponde a la nube de puntos clasificada de toda la zona de estudio. Mientras que el segundo archivo, son únicamente los elementos como: vegetación alta, vegetación baja y

construcciones; que serán la barrera de interpolación para la generación del modelo. La representación de estos elementos se aprecia dentro de la Figura 4.19.

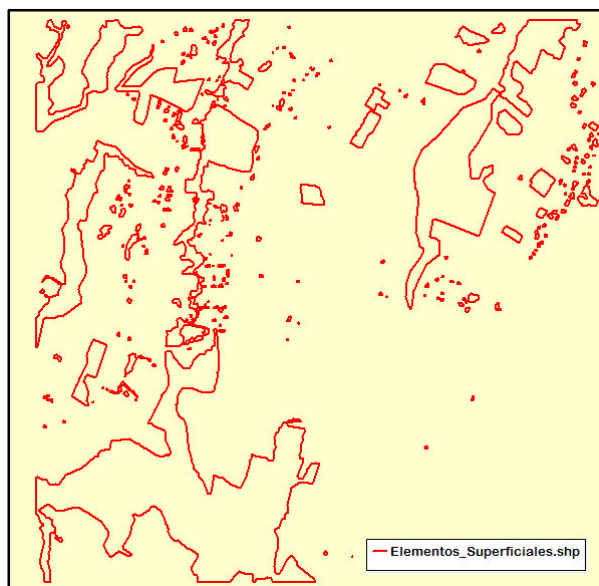


Figura 4.19. Elementos superficiales en formato .shp

Los modelos interpolados se presentan dentro de la Figura 4.20 en 2 dimensiones, y la Figura 4.21 en 3 dimensiones. Dentro de los círculos rojos, se encuentran enmarcados 2 picos, que se traducen como puntos mal clasificados, que corresponderían a ciertos elementos con una altura superior a la altura media del terreno.

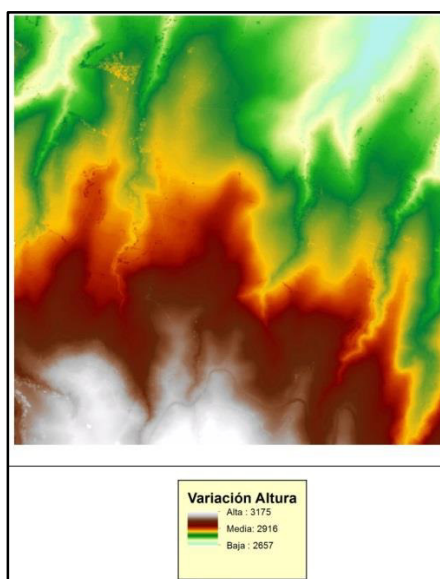


Figura 4.20. Vista 2D del modelo digital de elevaciones, ArcGIS

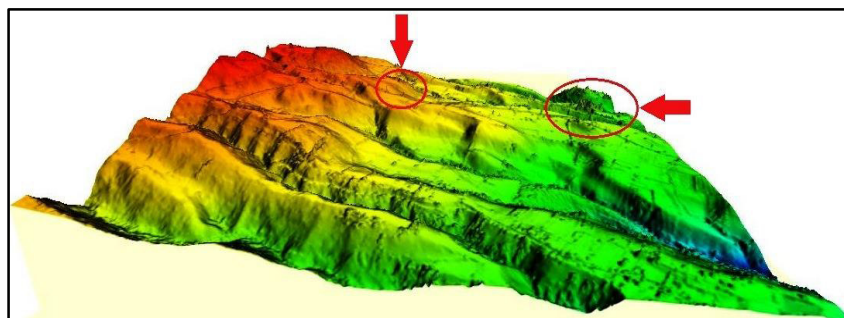


Figura 4.21. Vista en 3D del modelo digital de elevaciones, ArcGIS

El modelo obtenido mediante el Software Global Mapper, se muestra a continuación en la y Figura 4.22 y la Figura 4.23.

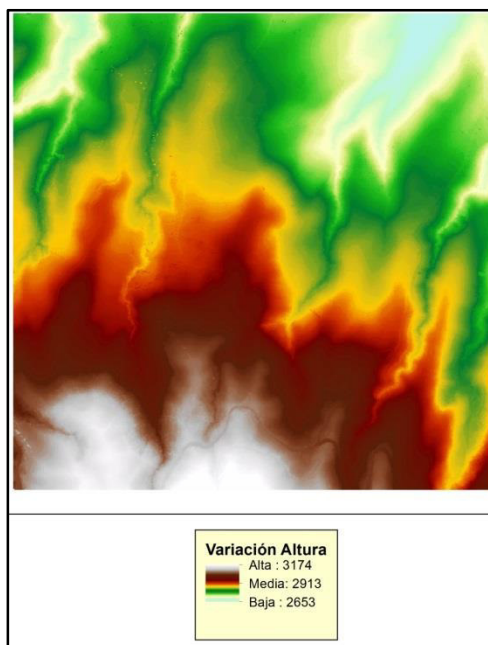


Figura 4.22. Vista 2D del modelo digital de elevaciones, Global Mapper

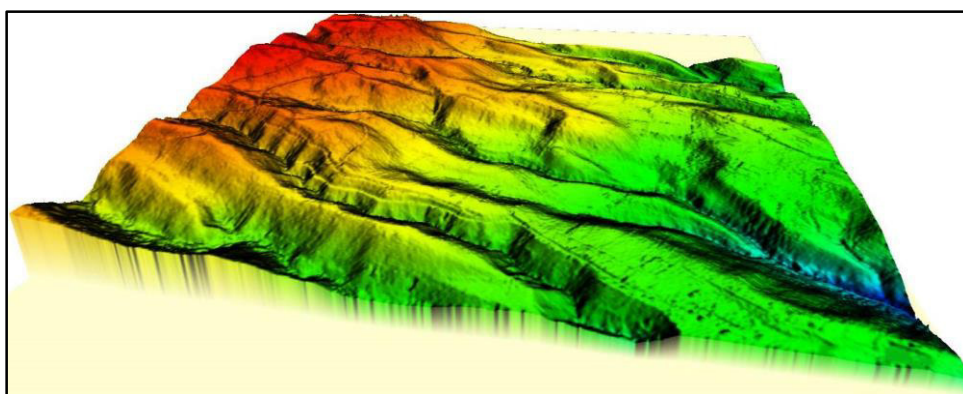


Figura 4.23. Vista en 3D del modelo digital de elevaciones, Global Mapper

4.4.2. Modelos Digitales de Superficies Obtenidos

A continuación, se muestran los modelos digitales de superficies generados dentro del programa ArcGIS, con vistas en 2D y 3D.

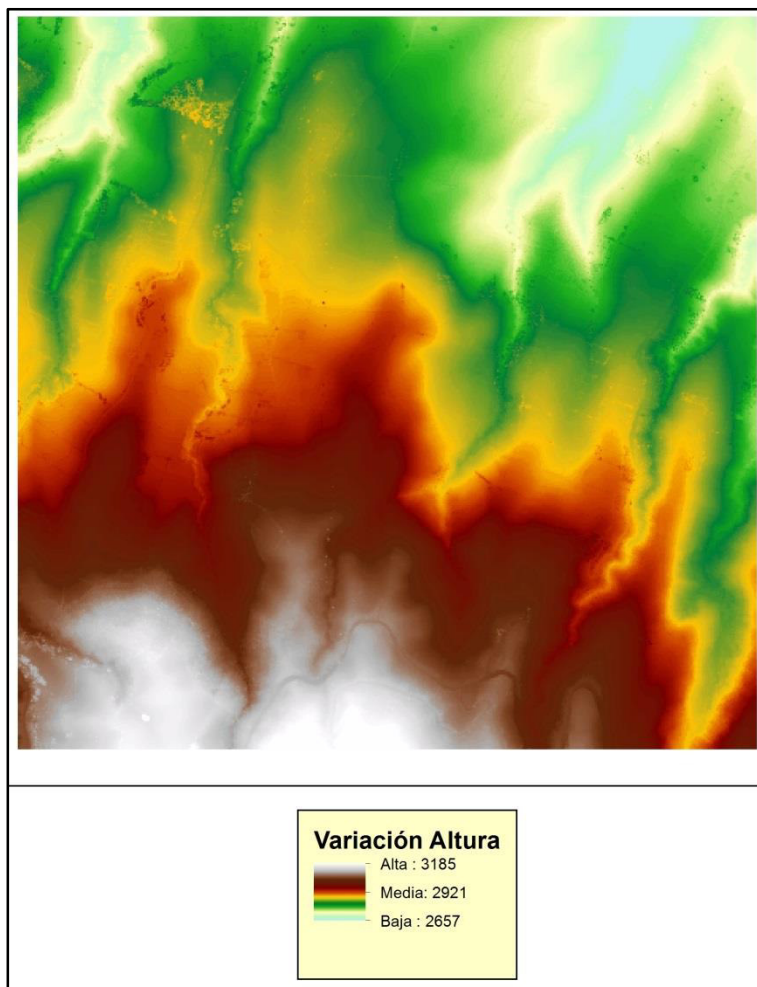


Figura 4.24. Vista 2D del modelo digital de superficies, ArcGIS

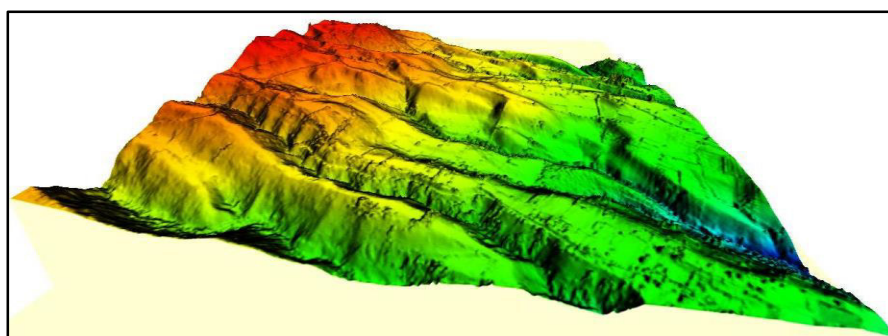


Figura 4.25. Vista 3D del modelo digital de superficies, ArcGIS

Ahora se muestra el modelo digital de superficies, generado a partir del software Global Mapper, de igual manera en vista 2D y 3D.

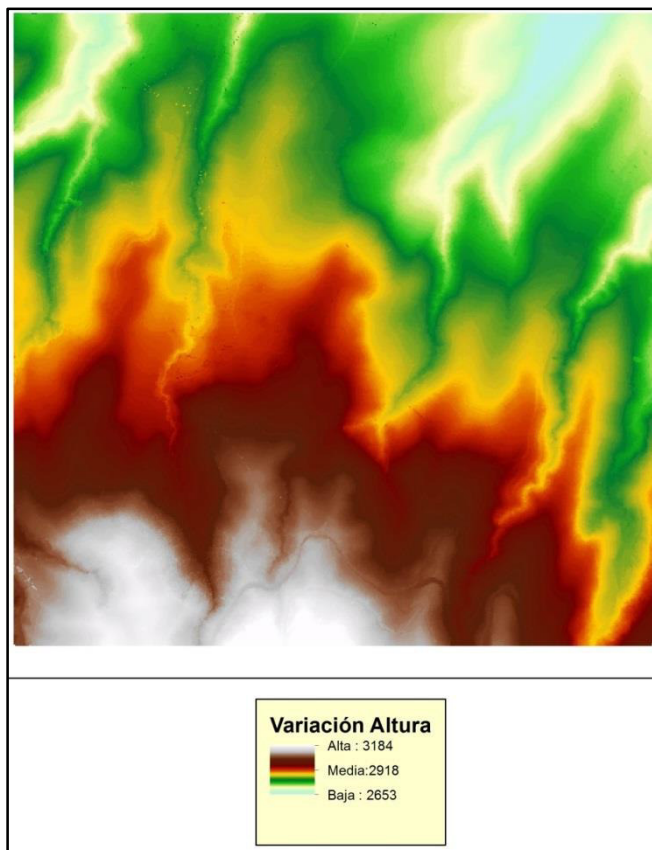


Figura 4.26. Vista 2D del modelo digital de superficies, Global Mapper

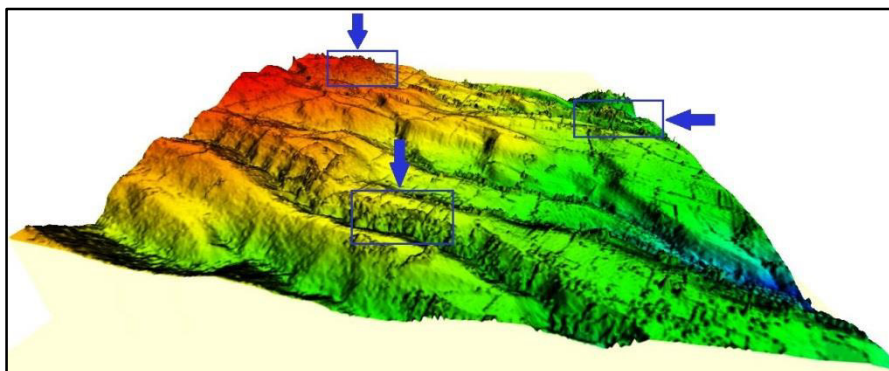


Figura 4.27. Vista 3D del modelo digital de superficies, Global Mapper

Dentro de los recuadros azules, se presentan los elementos de la superficie, para este caso en particular encontramos únicamente el bosque o vegetación alta y las edificaciones del lugar.

4.5. Resultados de la Generación de True Orthos

En la Figura 4.28 y Figura 4.29 se puede observar las true orthos de dos zonas que se las separo así, para tener una mejor visualización de sus resultados. Es necesario hacer la aclaración en que al usar los insumos del SIG TIERRAS (2011) se obtuvo como resultado las mismas ortofotos, puesto que ya lo eran. Es decir tal como se menciona en el apartado 3.5, los insumos fueron ortofotos, más no imágenes.

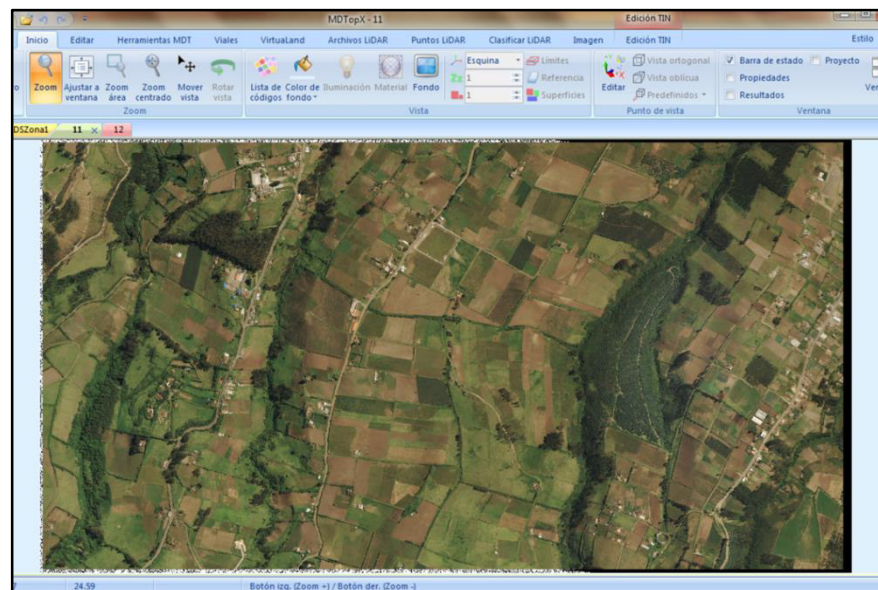


Figura 4.28. True Ortho zona 1

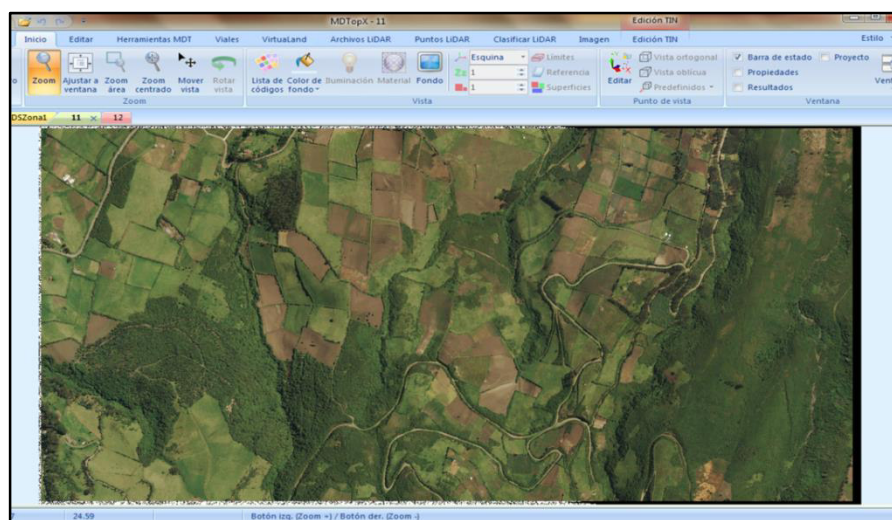


Figura 4.29. True Ortho zona 2

Otro punto a tomar en consideración es que el término True Ortho, que es como lo conciben en España, es el mismo que se considera en nuestro país como ortofoto, pero también es preciso señalar que en España lo usan más, cuando se generan con fines de catastro urbano puesto que tal como lo menciona la teoría, la ortogonalidad y la proyección de la sombra son puntos importantes que permitirán realizar mediciones en edificios, vías, puentes y todos los objetos que contiene una zona de tipo urbana.

4.6. Obtención de la Cartografía Catastral

Toda la información fue digitalizada a una escala 1:5.000, correspondiente a la escala de trabajo rural, a partir del archivo láser, en donde se reconocieron los predios o entidades con un área representativamente mayor a otras, el proceso se lo ilustra dentro de la Figura 4.30.



Figura 4.30. Representación de predios

Se reconocieron 455 predios en toda la zona de estudio, entre los cuales se encuentran las zonas con infraestructura, zonas de cultivos y las zonas de bosques. En la Figura 4.31, se observa la digitalización; el archivo láser presenta los colores de intensidad para observar que se utilizaron los dos archivos (datos LiDAR y ortofotos), ya que cuando se utilizan los dos archivos superpuestos, se logra distinguir, a simple vista, únicamente la ortofoto.

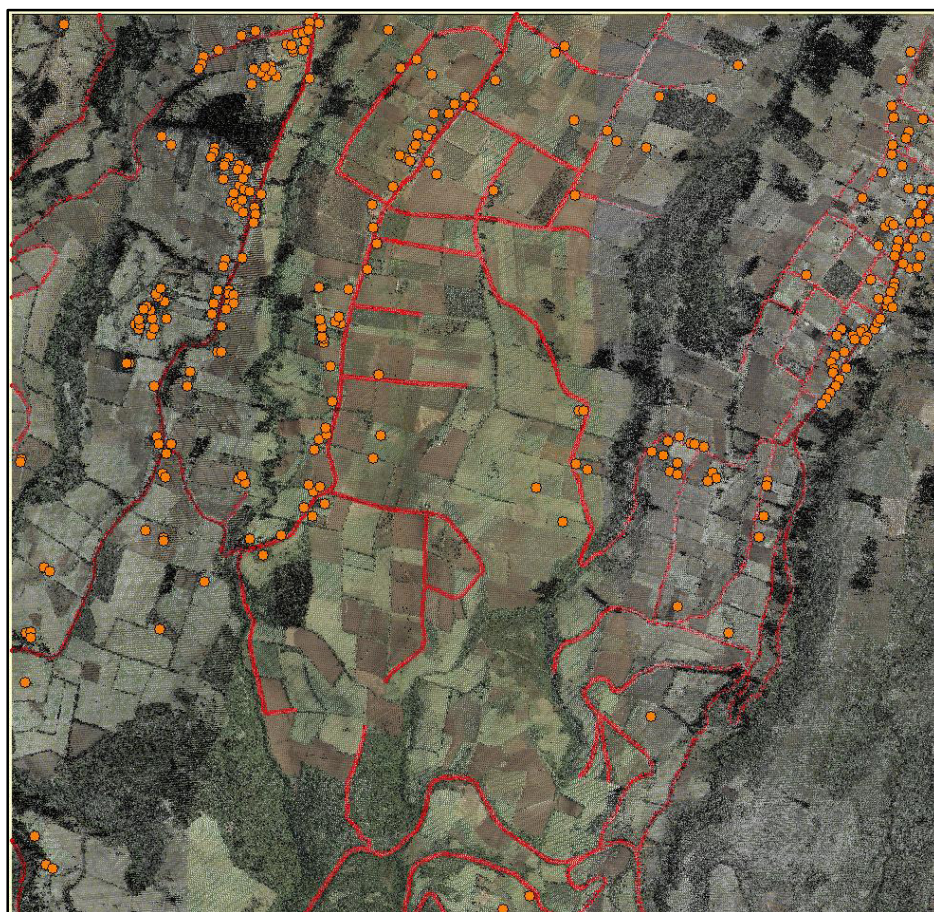


Figura 4.31. Vías y predios, fusión ortofoto y láser





Se ilustra a continuación, como varía el reconocimiento de los elementos en el terreno de acuerdo a la densidad de puntos por metro cuadrado, en la Tabla 4.13 se aprecian los resultados.

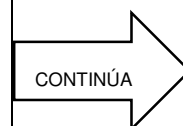
La densidad del archivo de Colombia es de 10 pts/m², la resolución espacial mejora y se logran reconocer en las dos escalas de visualización las construcciones, vías, vegetación alta y el suelo desnudo.

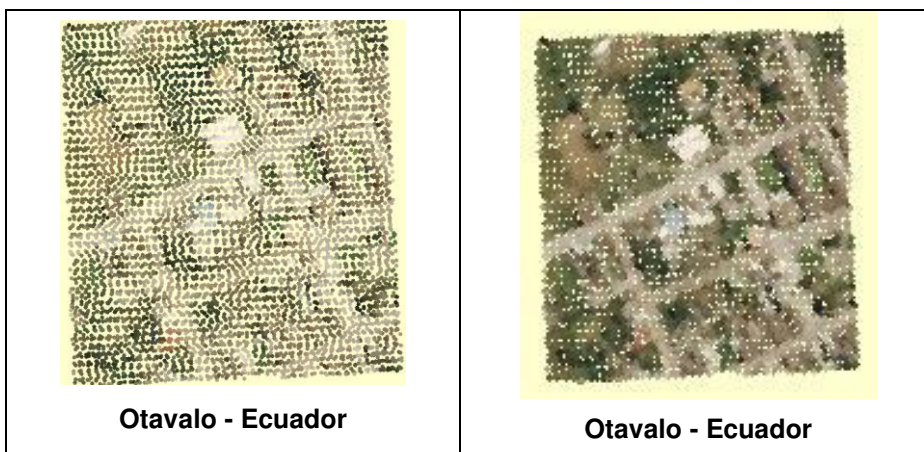
Por otro lado, la densidad del archivo correspondiente a la ciudad de Lago Agrio en Ecuador, es de 5 pts/m², donde fácilmente se pueden visualizar los predios, vegetación alta y las construcciones del lugar en la escala 1:5.000, mientras en escalas mayores, como la visualizada 1:1.000, el reconocimiento de los elementos se vuelve confuso.

Por último, la zona de Otavala en Ecuador, presenta una densidad de 0,20 pts/m²; que en la escala 1:5.000 se pueden reconocer los elementos del terreno como las vías, predios y ciertas construcciones; pero la visualización no es tan clara cuando se trabaja con escalas grandes, de 1:1.000 por ejemplo, tal y como lo ilustran los ejemplos.

Tabla 4.13.
Diferencia en el reconocimiento de elementos de acuerdo a la densidad de puntos

<i>Visualización</i>	
<i>1:1.000</i>	<i>1:5.000</i>
 <p>Área de Colombia</p>	 <p>Área de Colombia</p>
 <p>Lago Agrio - Ecuador</p>	 <p>Lago Agrio - Ecuador</p>





La zona fue dividida en 4 áreas para una mejor representación cartográfica, su división se la realizó de acuerdo a las poblaciones encontradas, las mismas que son: Casactola en la parte noreste, Mojanda Curivi en la parte noroeste y la parte sur de la zona corresponde a la población de Chozones. La cartografía de cada área se la puede apreciar dentro del anexo C.

4.7. Resultados del Mapa de Cobertura y Ocupación del Suelo

Luego de finalizada la clasificación supervisada por el método de objetos, se realizó una post – clasificación utilizando la definición de UMM, que para fines de este proyecto en cuanto a escala del mapa 1:10.000, se la definió en 1600 m². Esta medida, permitió tomar los archivos exportados a formato .shp y en el software Arc GIS realizar la eliminación de todos los polígonos menores a esa área. El resultado de esa operación fue un archivo de polígonos que de los 780 objetos que reconoció en la fase de clasificación generada por el método de objetos, la redujo a 447. Tal como se observa en la Figura 4.32, donde se observa la predominancia del área de pastizales, seguida del área de bosque. Él área de construcciones representa el 1% del total de objetos, lo que se es evidente por la escala de trabajo.

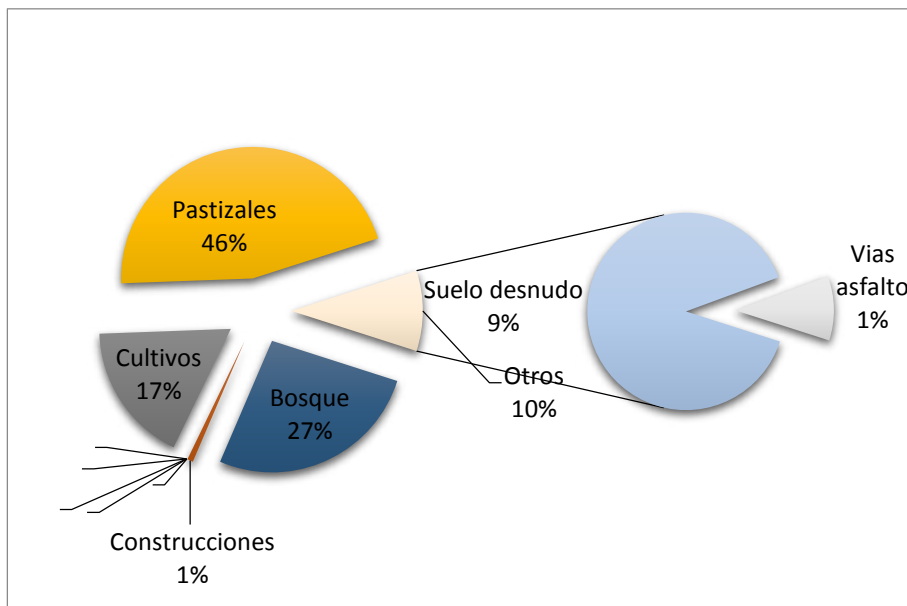



Figura 4.32. Porcentaje de cobertura temática luego de la postclasificación


La construcción de la leyenda temática tal como lo dice la metodología, estuvo basada de acuerdo a la estandarización propuesta por instituciones como el MAGAP, MAE, FAO que son adaptaciones a la metodología de leyenda temática propuesta por el CORINE Land Cover. Luego de hecha la inspección en campo se tuvo las siguientes muestras, y se evidenció las siguientes categorías temáticas: (Ver tabla 4.14)

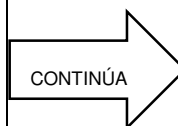
Tabla 4.14






Leyenda Temática para el Mapa de Uso y Cobertura del Suelo, Cantón Otavalo-Zona Rural 14

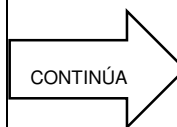
Nivel I	Nivel II	Gráfico
Bosque	Bosque Nativo	
	Plantación Forestal	Sin Foto

CONTINÚA

<p>Áreas Agropecuarias</p>	<p>Cultivos Anuales</p>	
----------------------------	-------------------------	---



		
		
	Cultivos Permanentes	
	Pasto Cultivado	
Vegetación Arbustiva y Herbácea	Vegetación Arbustiva	



Zonas Antrópicas	Zonas Pobladas	
	Suelo Desnudo	
	Infraestructura	
Otras Tierras	Otras Tierras	Sin Foto

En la tabla 4.14 se puede observar 5 categorías de clasificación temática, cada una con sus correspondientes subcategorías de acuerdo al muestro de campo de la siguiente manera: Bosque con dos subtipos, Áreas Agropecuarias con tres subtipos, Vegetación Arbustiva con un subtipo, Zonas Antrópicas con tres subtipos y Otras Tierras que corresponde a las zonas sin información.

Finalmente, y en base a la leyenda temática definida procedente del muestreo, se realizó la catalogación de la información en la base de datos SIG, usando ArcGIs. En esta parte fue necesario hacer correcciones topológicas, puesto que del proceso de clasificación por el método basado en objetos, se obtuvieron polígonos de áreas por debajo del milímetro cuadrado. Quizá estas áreas no son relevantes para la escala de trabajo,

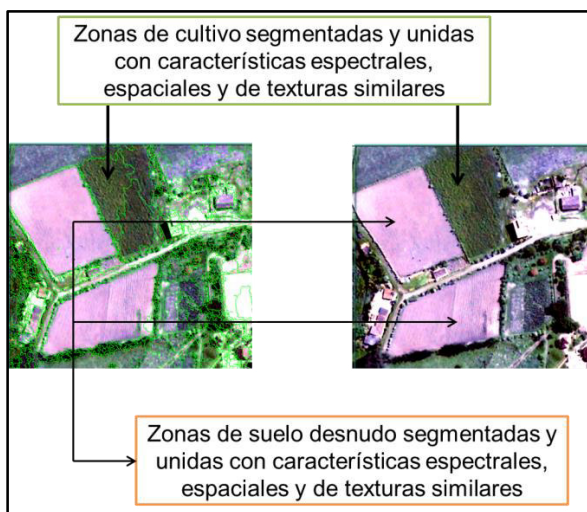


Figura 4.34. Identificación de objetos por características de similitud

A través de la segmentación se obtuvo un total de 780 objetos identificados, de los cuales las categorías clasificadas fueron las siguientes: 167 correspondieron a zonas de pastizales, 58 a vías de asfalto, 105 a suelo desnudo, 69 a construcciones, 120 a zona de cultivos y 261 a bosques; tal como se evidencia en la Figura 4.35 donde el mayor porcentaje está copado por zonas de pastizales.

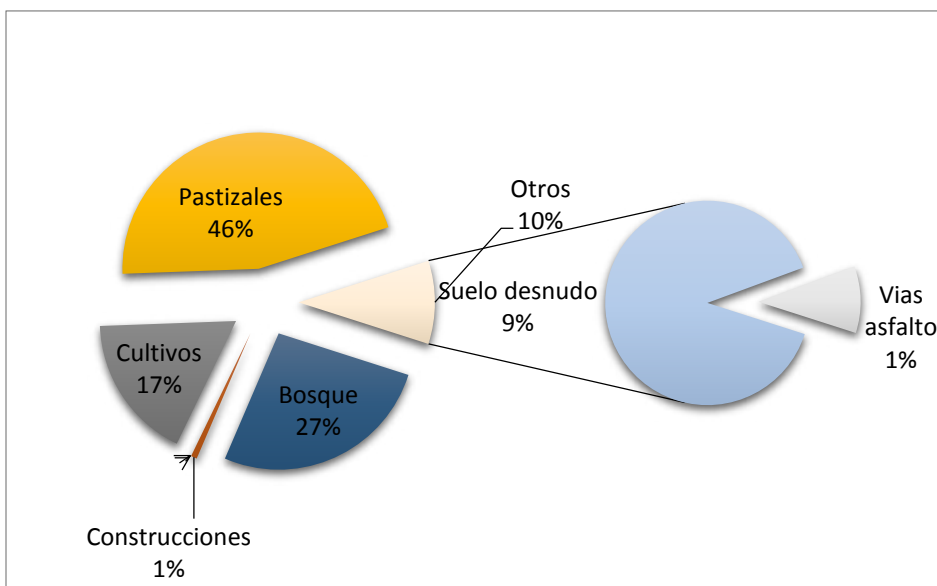


Figura 4.35. Porcentaje de clases obtenidas

Con esto el proceso de clasificación finalizado nos dio como resultado los 6 clases y sus colores correspondientes: Bosque - verde, Suelo desnudo

- amarillo, Pastizales - anaranjado, Vías – plomo, Construcciones – rojo y zonas de cultivos - violeta, tal como se observa en la Figura 4.36.

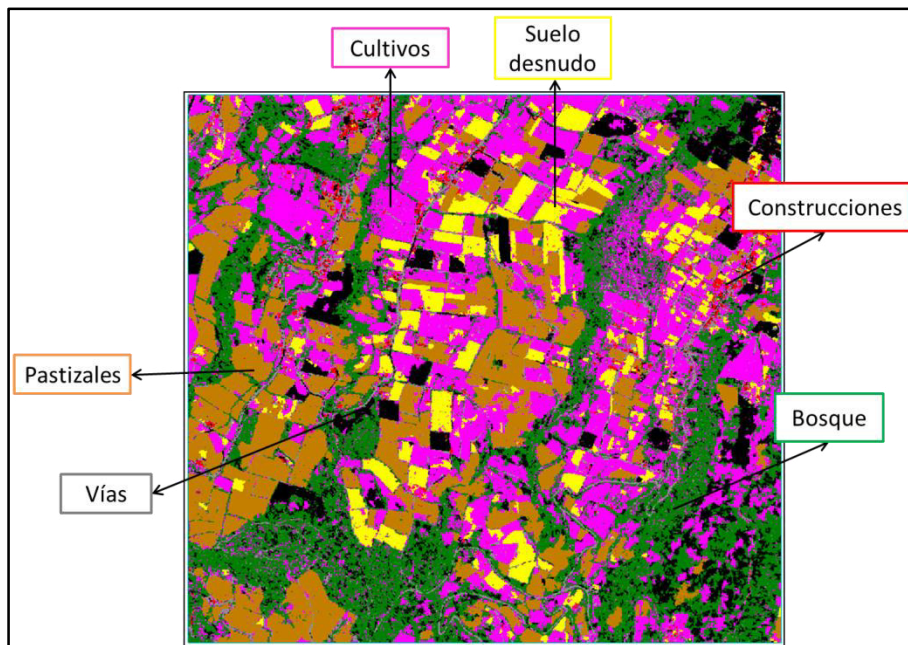


Figura 4.36. Productos de la clasificación

4.9. Resultado del Control de Calidad

Obtenidos los modelos, se procedió a hacer el control calidad sobre ellos, analizando el componente vertical en 10 puntos posicionados alrededor de la zona de estudio como lo observamos en la Figura 4.37.

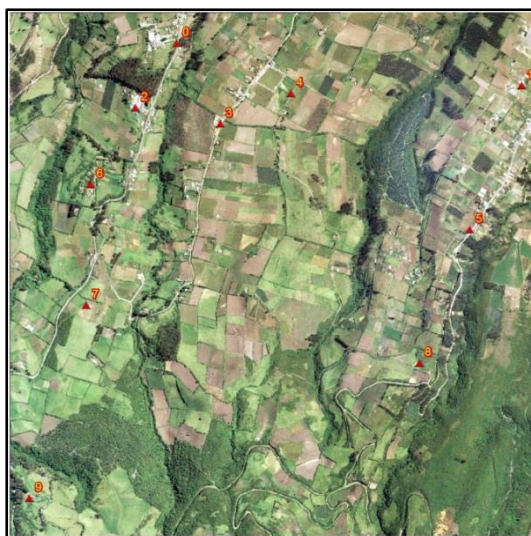


Figura 4.37. Distribución de los puntos de muestreo sobre la zona de estudio

Entre las disposición de los puntos sobre el terreno se tomó en cuenta que sean de fácil acceso y que exista uniformidad. En el rastreo del punto número 7 se rastreó 57 minutos, puesto que las condiciones del terreno impidieron completar la hora como se lo hizo en los otros puntos.

El resultado del post-proceso que se lo hizo en el software Leica Geo Office lo observamos en la tabla 4.15.

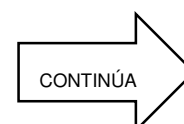
Tabla 4.15
Post-Proceso de los puntos tomados en campo
Puntos GPS

cod	lat	long	he	GRS80 SIRGAS 2000 UTM	
				E	N
0	0,207112457	78,28508144	2804,50	802214,399	10022918
1	0,205409041	78,27148473	2774,04	803729,115	10022729,8
4	0,205100754	78,28058141	2816,14	802715,741	10022695,5
2	0,204536152	78,28671272	2853,20	802032,722	10022632,9
3	0,203905047	78,28337185	2864,18	802404,908	10022563,2
6	0,201481165	78,28848734	2878,76	801835,086	10022294,9
5	0,199693079	78,27352138	2830,96	803502,335	10022097,3
7	0,196680049	78,28864855	2958,31	801817,215	10021763,6
8	0,194377064	78,27551683	2920,16	803280,136	10021509
9	0,18901138	78,29089034	3064,05	801567,615	10020915

Con el objeto de evaluar si cumplían o no con la tolerancia establecida se compararon las coordenadas post-procesadas con las tomadas sobre la ortofoto para posicionamiento y con los modelos digitales para la altimetría, tal y como se observa en las tabla 4.16.

Tabla 4.16
Coordenadas medidas sobre la ortofoto y sobre los modelos digitales

PTS	ARCGIS			
	UTM 17S		MDS	MDT
E	N			
0	802214,34	10022918	2805	2805
1	803729,22	10022729,8	2774	2773
4	802715,21	10022695,5	2816	2815
2	802032,69	10022633,5	2852	2852
3	802404,91	10022564	2863	2863
6	801835,91	10022294,9	2880	2878
5	803502,45	10022097,2	2830	2830
7	801817,02	10021764,5	2957	2957



8	803280,3	10021509,9	2921	2919
9	801567,63	10020916	3065	3063

Los resultados de contrarrestar los puntos post-procesados contra los medidos sobre los productos se observa en la tabla 4.17 y 4.18. Aquí se observa que el 90% cumplen con las tolerancias establecidas, que en X e Y fue de 1m y en altura 1,25 m.

Tabla 4.17.

Diferencia de puntos geoposicionados en planimetría

cod	DIFERENCIA		ERROR (1M)
	E	N	
0	-0,06	-0,03	0,06
1	0,10	0,03	0,11
4	-0,53	-0,02	0,53
2	-0,03	0,60	0,60
3	0,00	0,82	0,82
6	0,82	0,03	0,82
5	0,12	-0,03	0,12
7	-0,20	0,92	0,94
8	0,16	0,96	0,97
9	0,01	0,99	0,99

Tabla 4.18.

Diferencia de puntos geoposicionados en planimetría

cod	DIFERENCIA (1,25)	
	MDS	MDT
0	-0,50	-0,498763
1	0,04	1,0414892
4	0,14	1,1390412
2	1,20	1,1960807
3	1,18	1,1839887
6	-1,24	0,7620233
5	0,96	0,9609721
7	1,31	1,3102561
8	-0,84	1,1604472
9	-0,95	1,0511329

En las tablas anteriores, en rojo observamos que el punto 7 no cumple con la tolerancia de 1,25 m en altimetría, tanto para el MDS como para el MDT. Mientras que en planimetría cumplen todos los puntos.

Finalmente el análisis de resultados en errores y escala los observamos en la Figura 4.38. Donde se aprecia los principales estadísticos así como los errores asociados a las mediciones.

1

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 * \delta^2}{e^2}$$

$$Z_{\alpha/2} = \frac{\sqrt{n} * e^2}{\delta^2}$$

}

2

$$error = \bar{x} \pm z_{\alpha} * \Delta \bar{x}$$

Error Típico

Planimetría		MDS		MDT	
Media	0,60	Media	0,13	Media	0,93
Error típico	0,12	Error típico	0,31	Error típico	0,17
Desviación estándar	0,37	Desviación estándar	0,98	Desviación estándar	0,52
$Z_{\alpha/2}$	0,38	$Z_{\alpha/2}$	1,01	$Z_{\alpha/2}$	0,54
Error	0,60 ± 0,309	Error	0,13 ± 0,31	Error	0,93 ± 0,42
e	2979,94	e	653,33	e	4653,33

Figura 4.38. Cálculo de errores y escala

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se han cumplido a cabalidad todos objetivos propuestos, se obtuvo una metodología de análisis de datos LiDAR y se analizó la calidad de los datos láser, para finalmente generar la cartografía catastral rural.
- Después de analizar las características de cada uno de los programas, se puede decir que el atributo fundamental en cada software debe ser la versatilidad. Ya que, permite al usuario trabajar y manipular varias clases de datos, haciendo que la investigación y sus resultados sean mucho mejores; es por esto que el uso de una plataforma que permita una interacción de recursos vectoriales, ráster y láser, da paso a la generación de importantes y novedosos resultados.
- Se constató que al momento de utilizar información LiDAR, uno de los factores preponderantes es la densidad de puntos por metro cuadrado, mientras mayor sea esa densidad, se podrán representar los elementos de la superficie de una manera más clara y exacta; por el contrario si no existe una alta densidad de puntos, como el caso de la información provista por SIGTIERRAS (0,2 pts/m²), la información LiDAR se debe apoyar en otros insumos, como las ortofotos, para obtener buenos productos.
- El análisis de retornos, permitió comprender cómo se levanta la información láser y qué representa cada uno de los retornos recibidos. De esta manera, se conoce que al menos el 80 % de la información se encuentra dentro del primer retorno, representando las zonas más altas, como las copas de los árboles y la infraestructura, se puede presentar el suelo, siempre y cuando las áreas no posean una cobertura vegetal; el 15 % de la información,

viene contenido en el segundo retorno y generalmente representa la estructura de los elementos, sean estas edificaciones o especies vegetales; mientras que el 5 % restante viene dentro del tercer retorno el mismo que representa muchas veces el suelo.

- La generación de cartografía catastral, no fue posible realizarla con la densidad que poseen los archivos, es así que se decidió utilizar la ortofoto para obtener la cartografía catastral. Si se requiere trabajar con escalas de 1:15.000 hasta 1:5.000 se podría trabajar con información con una densidad menor a 1 pts/m² hasta los 5 pts/m², siempre y cuando este proceso sea respaldado por una ortofoto o imágenes de alta resolución para mejores resultados. Pero si se requiere trabajar con escalas grandes de 1:4.000 hasta 1:1.000 se requerirá una densidad mínima de 5 pts/m².
- A pesar de la baja densidad de puntos por metro cuadrado del archivo, y con la ayuda de la ortofoto, se obtuvo buenos resultados al momento de generar la cartografía catastral para áreas rurales, ya que dentro de estas áreas los predios son grandes y no se necesita de mayor detalle para la delimitación de los mismos. Llegando a obtener productos para escalas pequeñas, hasta un límite de escala de 1:5.000, que es la escala con la cual se generaron los productos.
- De acuerdo a las pruebas realizadas en el análisis de calidad, en la parte correspondiente a la estadística, se concluye que se debe tomar a la variable como binomial, puesto que el foco de análisis es conocer la probabilidad de si se cumple o no con la tolerancia que permite la escala, que para 10 puntos de muestreo, se tuvo el 90% de certeza.
- El mapa de cobertura del suelo para la zona piloto de Otavalo, se considera rural por la evidencia en los porcentajes por categoría resultantes, a saber: el 46% corresponde a pastizales (230 ha), el 27% a bosque (135 ha), el 17% a cultivos (85 ha), el 9% a suelo

desnudo (45 ha) donde se considera también a suelos en preparación para la siembra y el 1% es de uso para fines viales (5 ha), que todavía son empedrados.

5.2. Recomendaciones

- Dentro de cada investigación, es importante que se examinen los programas y herramientas que se utilizarán durante todo el proceso, ya que existen en el mercado varios programas que poseen una gran versatilidad, frente a otros que no brindan al usuario las herramientas necesarias para el análisis a profundidad de la información que se posee, desaprovechando de esa manera los recursos invertidos en la generación de dicha información
- La obtención de datos LiDAR, necesita que se planee muy bien el proceso de levantamiento de la información, tomando en cuenta para qué serán usados los datos, la zona que se representará y la precisión que se requiere alcanzar. De esta manera se evitarán inconvenientes al momento de la generación de los productos, y se explotará de mejor manera la tecnología láser, que como se observó en la investigación tiene un gran potencial para ser usada en varios proyectos de ingeniería.
- Debido a que la nube de puntos LiDAR varía de acuerdo a los parámetros de levantamiento de la información, es necesario realizar una clasificación manual de los datos, ya que los algoritmos de clasificación automática propuestos dentro de los programas, no toman en cuenta dichos parámetros y únicamente se basan en la estadística generada a partir del mismo archivo. Es por eso que se sugiere la reclasificación de los puntos, mediante el análisis de perfiles de alturas o la comprobación gráfica con la ayuda de una ortofotografía.
- Se aconseja el uso de información LiDAR para proyectos de catastro tanto rural como urbano, siempre y cuando se tenga una buena densidad de puntos por metro cuadrado.

- En el proceso de control de calidad, se recomienda estudiar las metodologías NMAS y EMAS, las mismas que son base de muchos estándares para control de calidad en los productos cartográficos y dan fidelidad de ellos. También es necesario hacer énfasis en que para el análisis estadístico, es primordial el uso de un nivel de confianza del 95% como mínimo, y evaluar el error permitido con un error esperado tres veces mejor, lo que permitirá realizar comparaciones coherentes. Al igual que los instrumentos que se usarán en la fase de comprobación, los cuales deben tener un 1/3 del error esperado en precisión.
- En la generación del Mapa de Cobertura y Ocupación del Suelo se recomienda usar la Clasificación Supervisada por el Método de Objetos en el Software ENVI 5.0, puesto que usa segmentaciones en función de las características espectrales, espaciales y/o texturas similares de la imagen, además que semeja muy bien la realidad de la zona de estudio, complementando la técnica de clasificación KNN que ofrece el software donde los segmentos son generalizados a partir la elección de áreas de entrenamiento clasificando los segmentos en función de su proximidad o vecindad entre ellas.
- En la generación de True Orthos, se recomienda el uso del software MDTopX, ya que de acuerdo a las pruebas realizadas representa muy bien los elementos altos, tales como edificios, además de representar muy bien la ortogonalidad de los elementos.

BIBLIOGRAFIA

(ASPRS), T. A. (15 de Julio de 2013). LAS specification version 1.4 - R13. Obtenidodehttp://www.asprs.org/a/society/committees/standards/LAS_1_4_r13.pdf

Albacete, A. S. (2011). *Procesamiento de datos LiDAR con ArcGIS Desktop 10*. Madrid: Universidad Computense de Madrid - Facultad de Geografía e Historia.

Arranz, J. J. (2013). *Diseño, optimización y análisis de sistemas basados en técnicas láser, para el modelado geométrico, registro y documentación, aplicados a entidades de interés patrimonial*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Borja, P. D. (2014). *Propuesta de un modelo de gestión de catastro con herramientas de administración de proyectos PMI*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE".

Canovas, F. (2012). *Análisis de imágenes basado en objetos (OBIA) y aprendizaje automático para la obtención de mapas de coberturas del suelo a partir de imágenes de alta resolución espacial*. Murcia: Departamento de Geografía. Universidad de Murcia.

Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid: Ediciones RIALP, S.A.

Cortez Farfán, A. (3 de Octubre de 2010). *Blog del Ing. Alberto Cortez Farfán*. Obtenido de <http://albertocortezfarfan.blogspot.com/2010/10/apuntes-de-clases-de-teledeteccion.html>

EEA. (1 de Enero de 1995). *Agencia Europea de Medio Ambiente* . Obtenido de <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>

Erba, D. A. (2011). *Catastro Multifinalitario aplicado a la definición de políticas de suelo urbano*. Inglaterra: Lincoln Institute of Land Policy.

- España, I. G. (28 de Julio de 2015). *Centro Nacional de Información Geográfica*. Obtenido de <http://www.ign.es/ign/layoutIn/actividadesFotoTelePNOA.do>
- ESRI. (9 de Noviembre de 2013). *ArcGis 10.1*. Recuperado el 22 de Julio de 2015, de <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//009z0000005n000000>
- ESRI. (9 de Diciembre de 2013). *ArcGIS Resources*. Obtenido de <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//015w00000041000000>
- Felicísimo, Á. M. (s.f.). *El modelo digital de elevaciones*. Madrid: Ángel Manuel Felicísimo.
- IGM, I. G. (6 de Octubre de 2006). *Productos IGM: Ortofotos*. Recuperado el 22 de Julio de 2015, de http://www.igm.gob.ec/work/index.php?option=com_content&view=article&id=43&Itemid=86
- Kaufmann, J., & Steudler, D. (1997). Catastro 2014, una visión para un sistema catastral futuro. En J. Kaufmann, & D. Steudler, *Catastro 2014, una visión para un sistema catastral futuro* (págs. 21-22). Penang: Federación Internacional de Agrimensores.
- Laguna, D. (2012). *Propuesta de clasificación de cobertura vegetal y uso del suelo 2012*. Panamá: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, AUTORIDAD NACIONAL DEL AMBIENTE.
- Lanero, A. (12 de Diciembre de 2012). *Lanero.es*. Obtenido de Lanero.es: http://lanero.es/wordpress/?page_id=44
- Lerma, J. L. (2002). *Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

- MAE, & MAGAP. (2014). *Proyecto para la generación del mapa de cobertura y uso de la Tierra del Ecuador Continental 2013-2014, Escala 1:100000*. Quito: MAE - MAGAP.
- McGaughey, R. (2014). *FUSION/LDV: Software for LIDAR Data Analysis and Visualization*. Estados Unidos: Forest Service of the U.S. Department of Agriculture.
- Meza, A. G., & Bravo, E. F. (2009). *"Diseño de un modelo y propuesta de aplicación en un Sistema piloto para la gestión de la información catastral"*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas "ESP".
- Molina Alcázar, M. (2000). El Catastro y su evolución hasta el siglo XVI. *Castro*, 51-63.
- Molina, S. I., Papi, M. F., & Villamizar, A. G. (2008). Curso de Teledetección aplicada a la observación e información territorial. En F. P. Iñigo Molina Sánchez, *Curso de Teledetección aplicada a la observación e información territorial* (págs. 1-36). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- NASA. (20 de Abril de 2015). *Landsat Science*. Obtenido de http://landsat.gsfc.nasa.gov/?page_id=4071
- OEA. (21 de Abril de 2015). *MuNet Catastro*. Obtenido de MuNet Catastro: <http://portal.oas.org/Portal/Sector/SAP/DepartamentoparalaGesti%C3%B3nP%C3%BAblicaEfectiva/NPA/MuNetCatastro/OASCadastreProjects/tabid/1821/Default.aspx>
- Papi, F. (2008). Módulo 4: Sensores y técnicas avanzadas. En Í. M. Sánchez, & A. V. Francisco Papi Montanel, *Curso de teledetección aplicada a la observación e información territorial* (págs. 1-33). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Peña, X. A. (2012). *Sistema de Información Geográfica aplicado al Catastro Predial del Cantón Paute, ECUADOR*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.

- Pérez, D. J. (2007). *Introducción a los Sensores Remotos - Aplicaciones en Geología*. Buenos Aires: Laboratorio de Tectónica Andina.
- Rendón, J. C. (2008). Programa de Modernización y Actualización del Catastro Rural Nacional. *Hacia el Catastro Rural Nacional*. Mexico.
- Ruiz, P., Garro, J., & Soto, G. (2014). El uso de imágenes LiDAR en Costa Rica: Casos de estudio aplicados en geología, ingeniería y arqueología. *Terra Cognita Consultores S.A.*, 10-14.
- Sánchez, L., & Lerma, G. (2012). Actualización de cartografía catastral urbana mediante LiDAR y SIG. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 53-70.
- Santamaría, J., & Sanz, T. (2011). Fundamentos de Fotogrametría. La Rioja: Universidad de La Rioja - Servicio de Publicaciones.
- Santos, L. J. (2005). Ortofoto verdadera (True-Ortho) y Lidar, el posible futuro de la cartografía catastral urbana. *CT Catastro*, 131-154.
- SIGTIERRAS. (20 de Mayo de 2015). *Programa SIGTIERRAS*. Obtenido de <http://www.sigtierras.gob.ec/>
- Territorio, C. d. (22 de Julio de 2015). *Junta de Andalucía*. Recuperado el 22 de Julio de 2015, de Junta de Andalucía: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.04dc44281e5d53cf8ca78ca731525ea0/?vgnnextoid=c6fd05464ea09110VgnVCM1000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=a76090a63670f210VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextfmt=rediam&lr=lang_es
- Unidos, G. d. (21 de Octubre de 2013). *GPS.gov*. Obtenido de <http://www.gps.gov/multimedia/poster/>
- Vaca, P., & Orellana, C. (2002). Catastro rural en el Ecuador, análisis y propuestas para optimizar su proceso de aplicación. *POST-GRADO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS A LA GESTIÓN TERRITORIAL Y AMBIENTAL*, 1-15.

Vidal, A., Moreno, M. R., & Llopis, M. (2009). Clasificación por objetos en imagen aérea de alta resolución para detección de cambios en zona urbana. *Teledetección: Agua y desarrollo sostenible. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, 549-552.

ANEXOS

ANEXO A

Manuales de Usuario

ANEXO B

Modelos Cartográficos

ANEXO C

Planos Catastrales

ANEXO D

Mapa de Cobertura del Suelo