ANÁLISIS BASADO EN OBJETOS DE IMÁGENES VEXCEL ULTRACAM D PARA DETECTAR CONJUNTOS RESIDENCIALES EN LOS MUNICIPIOS DE PEREIRA Y DOSQUEBRADAS, CON FINES DE PRE-CENSO CATASTRAL POR PARTE DEL IGAC

PEDRO EMILIO CAICEDO RÍOS

PROYECTO DE GRADO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES

FACULTAD DE INGENIERA Y ARQUITECTURA

MAESTRÍA EN TELEDETECCIÓN

MANIZALES-CALDAS

2016

ANÁLISIS BASADO EN OBJETOS DE IMÁGENES VEXCEL ULTRACAM D PARA DETECTAR CONJUNTOS RESIDENCIALES EN LOS MUNICIPIOS DE PEREIRA Y DOSQUEBRADAS, CON FINES DE PRE-CENSO CATASTRAL POR PARTE DEL IGAC

Proyecto de grado para optar por el título de

MAGISTER EN TELEDETECCIÓN

DIRECTOR DE PROYECTO:

Ing. Ms Héctor Mauricio Ramírez Daza

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

MAESTRÍA EN TELEDETECCIÓN

MANIZALES – CALDAS

2016

A Dios todopoderoso quien me da disposición para todos mis emprendimientos, A Mi esposa Claudia y mis hijos Esteban y Felipe que son las motivaciones de mi vida, A mi padre y mi madre quienes inculcaron en mí el amor por el estudio

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Al Ingeniero Héctor Mauricio Ramírez Daza por su acompañamiento, revisión y recomendaciones durante la investigación y su oportuna gestión para la consecución de recursos tecnológicos y asesoramiento técnico externo.

Al doctor Alexander Ariza Pastrana por su asesoría técnica en el campo de procesamiento espectral de imágenes y manejo de espectrómetro red tide USB650

Al Instituto Geográfico Agustín Codazzi quien me dio la oportunidad de cursar esta maestría en calidad de funcionario becado.

A la empresa PCI Geomatics especialmente al ingeniero Fredy Paya quien apoyo el proceso de investigación con la disposición de la plataforma GXL de PCI Geomatics para procesamiento de grandes cantidades de imágenes y al ingeniero Jean Sebastián Bouffard por su asesoramiento técnico en el manejo de la plataforma GXL y productos de la suite de PCI Geomatics.

Al ingeniero Julio Cesar Cardona Henao por el suministro de información de investigaciones económicas de la cámara colombiana de la construcción capitulo Risaralda.

A mis suegros Pedro Eduardo Moreno y Yolanda Peñaranda quienes cuidaron de mis hijos mientras estuve ausente por requerimiento del proyecto.

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN 1
INTRODUCCIÓN 3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 7
2. ZONA DE ESTUDIO 14
2.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL 14
2.1 DELIMITACIÓN TEMPORAL 16
3.OBJETIVOS ..... **¡Error! Marcador no definido.**
3.1 OBJETIVO GENERAL 17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 17
4. JUSTIFICACIÓN 18
5. MARCO DE REFERENCIA 21
5.1 MARCO TEÓRICO 21
5.1.1 Teledetección (Percepción Remota) 21
5.1.2 Firmas Espectrales 27
5.1.3 Imagen Digital 28
5.1.4 Imágenes Vexcel Ultracam D 31
5.1.5 Espectrómetro red tide USB650 31
5.1.6 Aero-triangulación Digital 35
5.1.7 Clasificación de imágenes 37
5.1.8 Conocimiento A Priori 39
5.1.9 Estrategia De Procesamiento Arriba-Abajo 39
5.1.10 Objetos Primitivos u Objetos de Imagen 40
5.1.11 Regla de análisis basada en objetos 40
5.1.12 Algoritmo De Procesamiento Basado En Objetos 41

5.1.13 Parámetros De Condición 41
5.1.15 Procesos en Segundo plano Windows Server 2008 49
5.1.16 XML 49
5.1.17 Algoritmo de optimización para separación de características 49
5.1.18 Calibración empírica lineal. 51
5.1.19 Catastro 51
5.1.20 Pre-Censo Catastral 53
5.2 ESTADO DEL ARTE 54
6.1 REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE Y ELABORACIÓN DEL MARCO TEÓRICO 62
6.2 ESTUDIO DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE IMÁGENES BASADO EN OBJETOS 62
6.3 SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN REQUERIDA PARA LA INVESTIGACIÓN. 62
6.4 CORRECCIÓN GEOMÉTRICA DE IMÁGENES VEXCEL ULTRACAM D ..63
6.4.1 Preparación de Datos 64
6.4.2 Aero triangulación De Imágenes 67
6.4.3 Ajuste De Bloque De Imágenes Y Colección De Puntos De Control En Terreno Y Amarre 68
6.5 CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA DE IMÁGENES VEXCEL ULTRACAM D 75
6.6 CALCULO DE IMÁGENES DE TEXTURA 86
6.7 MULTIRESOLUCIÓN POR SEGMENTACIÓN 88
6.8 SELECCIÓN DE MUESTRAS DE OBJETOS TIPO TEJADOS, VIAS, PISCINA, ASFALTO, CONCRETO 95
6.9 APLICACIÓN DE ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN DE CARACTERÍSTICAS 102
6.10 DEFINICION DE FUNCIONES DE MEMBRESIA Y VALORES UMBRALES POR CADA CLASE DE OBJETO 110
6.11 ELABORACIÓN DE REGLAS DE ANÁLISIS PARA DETECTAR CONJUNTOS RESIDENCIALES. 112
6.11.1 Algoritmo de asignación de clases 114
6.11.2 Algoritmo de clasificación por funciones de membresía 115

6.11.3 Algoritmo de crecimiento por regiones 117
6.11.4 Algoritmo buscar objetos rodeados por clases 118
6.11.5 Asignación de clase por capa temática 119
6.12 EVALUACIÓN DE EXACTITUD EN LA DETECCIÓN DE CONJUNTOS RESIDENCIALES 120
7. RESULTADOS OBTENIDOS 125
7.1 IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE CONDICIONES ESPECTRALES, GEOMÉTRICAS, DE TEXTURA Y CONTEXTO PARA LAS REGLAS DE ANÁLISIS BASADO EN OBJETOS, QUE PERMITAN DIFERENCIAR CONJUNTOS RESIDENCIALES DE LOS DEMÁS OBJETOS PRESENTES EN LAS IMÁGENES. 125
7.1.1 Parámetros de condiciones geométricas 125
7.1.2 Parámetros de condición espectrales 138
7.1.3 Parámetros de condiciones de textura 151
7.1.4 Parámetros de condiciones contextuales 154
7.2 SEGMENTAR LAS IMÁGENES VEXCEL ULTRACAM D POR NIVELES DE OBJETOS BASÁNDOSE EN CONOCIMIENTO A PRIORI DE ESTOS Y UNA ESTRATEGIA DE PROCESAMIENTO ARRIBA - ABAJO. 157
7. 3 GENERAR REGLAS DE ANÁLISIS BASADAS EN OBJETOS, PARA DETECTAR CONJUNTOS RESIDENCIALES EN LAS ÁREAS DE ESTUDIO CON UN GRADO DE EXACTITUD IGUAL O SUPERIOR AL 80% 161
8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 177
9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 178
10 BIBLIOGRAFÍA 183
11 ANEXOS 188

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de Imágenes por resolución espacial según la NIIRS fuente: (Navulur, 2007) 5
Tabla 2 Presupuesto por Vigencia para Actualización Catastral Colombia IGAC Fuente: Planes de Acción IGAC vigencias 2013, 2014, 2015,2016 (IGAC, 2016)...9
Tabla 3 Estadísticas Catastrales Fuente: Sistema Nacional Catastral vigencia 01-01-2015 (IGAC, 2015).....18
Tabla 4 Censo de Edificaciones Fuente: DANE actualizado 14 agosto 2015 (DANE,2015).....19
Tabla 5 Especificaciones espectrómetro red tide USB650 34
Tabla 6 Medidas contextuales y geométricas Fuente tomado de (Trimble Germany, 2014) 44
Tabla 7 Líneas de vuelo áreas de estudio No 1 y No 2 64
Tabla 8 Líneas de vuelo áreas de estudio No 3.....65
Tabla 9 Parámetros de orto rectificación de imágenes Vexcel Ultracam D 75
Tabla 10 Especificaciones Imagen área de estudio #1 y #2 85
Tabla 11 Especificaciones Imagen área de estudio #3.....85
Tabla 12 Parámetros para el cálculo de imágenes de textura 88
Tabla 13 Cantidad de muestras seleccionadas por clases 101
Tabla 14 Separación de clases optima a partir de características espectrales, texturales y geométricas 103
Tabla 15 medidas espectrales evaluadas por el algoritmo de optimización de características.....106
Tabla 16 medidas de textura evaluada por el algoritmo de optimización de características.....107
Tabla 17 Medidas geométricas evaluadas por el algoritmo de optimización de características.....107
Tabla 18 Listado de relaciones contextuales entre objetos a considerar en las reglas de análisis 108
Tabla 19 Ocurrencia de valores para las muestras de segmentos de clase “Piscina” para el índice de áreas construidas BAI (4). 110
Tabla 20 Proyectos de trabajo clasificación basada en objetos para la investigación 113
Tabla 21 Especificaciones técnicas de los servidores de alto procesamiento empleados en la ejecución de las reglas de análisis 114

Tabla 22 Evaluación de la exactitud en la detección conjuntos residencias construidos en el periodo 2005-2014 ubicados en el área de estudio Fuente: Base de datos georeferenciada de proyectos conjuntos residenciales.....121
Tabla 23 Matriz de confusión para evaluación de la clasificación de las imágenes 122
Tabla 23 Parámetros con mejores resultados para creación de imágenes Vexcel Ultracam D Epipolares usando software GXL de PCI GEOMATICS 126
Tabla 24 Parámetros con mejores resultados para la extracción de modelos digitales de elevación partir de imágenes Vexcel Ultracam D usando software GXL de PCI GEOMATICS 126
Tabla 25 Algoritmos y valores de parámetros utilizados en el software PCI Geomatics para filtrado y depuración de modelo digital de terreno área de estudio no 1 y no 2 129
Tabla 26 Algoritmos y valores de parámetros utilizados en el software PCI Geomatics para filtrado y depuración de modelo digital de terreno área de estudio no 3 parte urbana.....130
Tabla 27 Algoritmos y valores de parámetros utilizados en el software PCI Geomatics para filtrado y depuración de modelo digital de terreno área de estudio no 3 parte urbana.....132
Tabla 28 resolución espectral y centro de banda calculados para el sensor Vexcel Ultracam D fuente: elaboración propia.....139
Tabla 29 Factores de calibración para imágenes de las áreas de estudio no 1, 2, 3 en la parte urbana.....140
Tabla 30 Firmas espectrales de objetos y/o coberturas utilizados para calibración radiométrica de imagen de área de estudio no 3 zona rural 142
Tabla 31 Estadística luego de aplicar calibración radiométrica a la imagen del área de estudio no3 correspondiente al área rural.....142
Tabla 32 Estadísticas por bandas para la imagen de área de estudio No3 parte rural luego de realizar ajuste por valor mínimo para cada banda 143
Tabla 33 Firmas espectrales de objetos y/o coberturas utilizados para calibración radiométrica de imagen de área de estudio no 1, 2 Y 3 zona urbana. 143
Tabla 34 Estadística luego de aplicar calibración radiométrica a la imagen del área de estudio no 3 correspondiente al área urbana. 144
Tabla 35 Estadísticas por bandas para la imagen de área de estudio no 3 parte urbana luego de realizar ajuste por valor mínimo para cada banda 144
Tabla 36 Estadística luego de aplicar calibración radiométrica a la imagen del área de estudio no 1 y no 2 correspondiente al área urbana 145

Tabla 37 Estadística luego de aplicar calibración radiométrica a la imagen del área de estudio no 1 y no 2 correspondiente al área urbana luego de realizar ajuste por valor mínimo para cada banda.....145
Tabla 38 Parámetros de condiciones contextuales.....155
Tabla 39 Parámetros algoritmo de segmentación por multiresolución para las imágenes de las áreas de estudio No1, 2 y 3 parte urbana. 158
Tabla 40 Parámetros para óptimos algoritmo de segmentación por multiresolución para las imágenes de las áreas de estudio No 3 parte rural. 158
Tabla 41 Bandas con su respectivo peso asignado para el algoritmo de multiresolución por segmentación.....158
Tabla 42 Secuencia de aplicación de reglas de análisis de la clasificación basada en objetos 162
Tabla 43 Matriz de confusión resultado de la clasificación basada en objetos 170
Tabla 44 Resultados evaluación de exactitud de la clasificación basada en objetos 170
Tabla 45 Convención de colores para interpretación de resultados de la clasificación basada en objetos 171

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Materiales utilizados para vías privadas conjuntos residenciales fuente: Estudio Acabados de Construcción en Pereira y Dosquebradas Camacol Risaralda (2015) 4
Figura 2 Materiales utilizados para Exteriores/Cubiertas conjuntos residenciales fuente: Estudio Acabados para proyectos de construcción en Pereira y Dosquebradas periodo 2003-2015 Camacol[4] Risaralda 5
Figura 3 Metros cuadrados licenciados para vivienda municipios de Pereira y Dosquebradas Fuente: Información obtenida (Departamento de estudios económicos y urbanos CAMACOL RISARALDA, 2016). 7
Figura 4 Unidades de vivienda licenciadas por estrato en Pereira fuente tomado de (DEPARTAMENTO ESTUDIOS ECONOMICOS Y URBANOS CAMACOL, 2015) 11
Figura 5 Unidades de vivienda licenciadas por estrato en Dosquebradas fuente tomado de (DEPARTAMENTO ESTUDIOS ECONOMICOS Y URBANOS CAMACOL, 2015) 12
Figura 6 Número de Unidades Unifamiliares Vendidas Según Comuna por Año en Pereira Fuente: (DEPARTAMENTO ESTUDIOS ECONOMICOS Y URBANOS CAMACOL, 2015) 12
Figura 7 Sector Cerritos Municipio de Pereira Fuente: Elaboración propia con información IGAC Territorial Risaralda 13
Figura 8 Zona de estudio en los municipios de Pereira y Dosquebradas Fuente: Elaboración propia (2016), con información del IGAC Territorial Risaralda 15
Figura 9 Sistema de teledetección. Fuente: Adaptado (Chuvieco, 1995). Tomado de sitio web Telecentro Regional, Instituto Geográfico Agustín Codazzi http://geoservice.igac.gov.co/contenidos_telecentro/fundamentos_pr-semana1-unidad1/index.php?id=1 consultado el día 9 de noviembre de 2016 23
Figura 10 Onda electromagnética y sus componentes. Tomado de sitio web de organización para temas de tecnología Industrial y Electrotecnia http://www.areatecnologia.com/ consultado el 9 de noviembre de 2016 23
Figura 11 Trasmisión de la radiación electromagnética Fuente: tomado de (Smith, 2004).....24
Figura 12 Absorción y emisión de la radiación electromagnética Fuente: tomado de (Smith, 2004) 25
Figura 13 Reflejo especular y difuso de la radiación electromagnética Fuente: tomado de (Smith, 2001) 26

Figura 14 Relación entre flujos de energía Fuente: tomado de (Chuvieco, 1995) .26
Figura 15 Espectro electromagnético Fuente: tomado de (Smith, 2004) 27
Figura 16 Firmas espectrales del suelo seco, vegetación, agua fuente: tomado de (Smith, 2004) 28
Figura 17 Imagen Digital tomado de Fuente: Tomado de (Smith, 2004) 29
Figura 18 Representación de imagen digital con varias bandas Fuente: tomado de (Perez Gutierrez y Muñoz Nieto, 2006).....31
Figura 19 Especificaciones técnicas sensor vexcel ultracam fuente tomado de (VEXCEL, 2004) 32
Figura 20 Aeronave con sensor Vexcel Ultracam fuente: CIAF IGAC 33
Figura 21 Espectrómetro red tide USB650 34
Figura 22 Toma de imágenes aéreas con solapamiento fuente: (Redweik, 2015)35
Figura 23 Efectos de aleteo, cabeceo y giro lateral en toma de imágenes aéreas fuente: tomado de (http://www.pcigeomatics.com/geomatica-help/common/concepts/exteriororientation_explaineo.html) 36
Figura 24 Edición de regla de análisis en software eCognition fuente: elaboración propia.....41
Figura 25 Calculo de Distancia euclidiana a partir de teorema de Pitágoras fuente tomado de (Wikipedia, 2016) 50
Figura 26 Diagrama de Flujo de Metodología.....61
Figura 27 Distribución de Puntos de Control en Tierra y Puntos de Amarre Fuente: Tomado de (Guía Técnica Corrección Geométrica PCI Geomatics, 2006) 63
Figura 28 Flujo de trabajo para corrección geométrica de imágenes fuente: adaptado de (PCI Geomatics Enterprises, 2016).....64
Figura 29 Datos de calibración sensor Vexcel Ultracam D fuente: tomado de reporte de calibración (IGAC,2013) 66
Figura 30 Estructura de datos archivo de orientación externa fuente: elaboración propia.....66
Figura 31 Bloque de imágenes área de estudio No 1 y No 2 fuente: tomado de software PCI Geomática Focus 67
Figura 32 Bloque de imágenes área de estudio No 3 fuente: elaboración tomada de software PCI Geomática Focus 68
Figura 33 Puntos de control en terreno para área de Estudio #1 y #2 tomado a partir de imágenes de referencia 69
Figura 34 Mosaico de imágenes de referencia ortorectificadas utilizadas para colectar puntos de control en terreno del municipio Pereira 2007 y Dosquebradas año 2010 fuente: elaboración propia.....70
Figura 35 Modelo digital de superficie área de estudio No 1 y 2 71
Figura 36 Modelo digital de superficie área de estudio No 3 72

Figura 37 Modelo digital de terreno área de estudio No 1 y 2 73
Figura 38 Modelo digital de terreno área de estudio No 3 74
Figura 39 Sitios de toma de firmas espectrales en los municipios de Pereira Y Dosquebradas fuente: elaboración propia 77
Figura 40 Firma espectral árbol de guadua representada en niveles de reflectancia y longitud de onda en nanómetros tomado de software Envi Classic 5.0 79
Figura 41 Firma espectral piscina representada en niveles de reflectancia y longitud de onda en nanómetros fuente: tomado de software Envi Classic 5.0 79
Figura 42 Firma espectral asfalto representada en niveles de reflectancia y longitud de onda en nanómetros fuente elaboración propia tomado de software Envi Classic 5.0 80
Figura 43 Teja de eternit desgastada por efecto de la intemperie 80
Figura 44 Firma espectral teja de eternit desgastada representada en niveles de reflectancia fuente elaboración propia tomado de software Envi Classic 5.0 81
Figura 45 Teja de fibrocemento de tonalidad rojiza 81
Figura 46 firma espectral de teja de fibrocemento de tonalidad rojiza fuente elaboración propia tomado de software Envi Classic 5.0.....82
Figura 47 Firma espectral árbol de guadua representada en niveles digitales fuente elaboración propia tomado de software Envi Classic 5.0.....83
Figura 48 Firma espectral piscina representada en niveles digitales fuente elaboración propia tomado de software Envi Classic 5.0.....83
Figura 49 Firma espectral de asfalto representada en niveles digitales fuente elaboración propia tomado de software Envi Classic 5.0.....84
Figura 50 Firma espectral teja de eternit desgastada por efecto de la intemperie.84
Figura 51 Imagen de varianza calculada sobre la banda azul ventana 3 x 3 desplazamientos coocurrencia 1 píxel 86
Figura 52 Imagen de segundo momento angular calculada sobre la banda azul ventana 3 x 3 desplazamientos coocurrencia 1 píxel.....86
Figura 53 Imagen de correlación calculada sobre la banda del infrarrojo cercano ventana 3 x 3 desplazamientos de coocurrencia 1 píxel.....87
Figura 54 Imagen de contraste en banda del infrarrojo cercano ventana 3 x 3 desplazamientos coocurrencia 1 píxel 87
Figura 55 Segmentación multiresolución escala=30, forma= 0.1, compacidad =0.5 89
Figura 56 Segmentación multiresolución escala=30, forma= 0.5, Compacidad =0.9 89
Figura 57 Segmentación multiresolución Escala=30 Forma= 0.5 Compacidad =0.5 90
Figura 58 Imagen a escala 1:25.000 fuente elaboración propia 91

Figura 59 Imagen a escala 1:2.000 fuente elaboración propia 92
Figura 60 Imagen a escala 1:500 fuente elaboración propia 92
Figura 61 Diagrama jerárquico de clases para el análisis basado en objetos de la investigación 93
Figura 62 Esquema de composición conjunto residencial rural 94
Figura 63 Esquema de composición conjunto residencial urbano 94
Figura 64 Altura de Objetos fuente tomado de (eCognition Trimble, 2010) 96
Figura 65 Selección de muestras clase vegetación 96
Figura 66 Selección de segmento de muestra clase piscina 97
Figura 67 Selección de segmento de muestra clase suelo desnudo 97
Figura 68 Selección de segmento de muestra clase cancha de concreto 98
Figura 69 Selección de segmento de muestra clase asfalto 98
Figura 70 Selección de segmento de muestra clase cancha de tenis 99
Figura 71 Selección de segmento de muestra clase cancha sintética 99
Figura 72 Selección de segmento de muestra tejado rosado 100
Figura 73 Selección de segmento de muestra tejado blanco 100
Figura 74 Aplicación de algoritmos de optimización de espacio de características entre clases sombra de construcción y piscina 104
Figura 75 Grafica de comparación entre pareja de clases medida de intensidad (10) fuente elaboración propia adaptado de software eCognition 105
Figura 76 Grafica de comparación entre pareja de clases medida BAI (4) fuente elaboración propia adaptado de software eCognition 105
Figura 77 Grafica de comparación entre pareja de clases medida RATIOROJO/AZUL (4) fuente elaboración propia adaptado de software eCognition 105
Figura 78 Grafica de comparación entre pareja de clases medida Ratiorojo_verde (9) fuente elaboración propia adaptado de software eCognition 105
Figura 79 Construcción en forma de manzana formada por agrupación de segmentos hacia un nivel superior fuente: elaboración propia 109
Figura 80 Segmentos correspondientes a cada uno de los tejados existentes en la manzana catastral fuente: elaboración propia 109
Figura 81 Función de membresía del índice de áreas construidas BAI (4) para la clase “Piscina” 111
Figura 82 Comparación de segmentos de muestra área de estudio #1 VEGETACION versus SOMBRA_CONSTRUCCION 112
Figura 83 Comparación de segmentos de muestra área de estudio #1 VEGETACIÓN versus SOMBRA_CONSTRUCCION 112
Figura 84 Esquema básico del proceso de clasificación basado en objetos usado por (Navulur, 2007) 113

Figura 85 Imagen antes de aplicar regla de análisis para clasificar vegetación ..115
Figura 86 Imagen después de aplicar regla de análisis para clasificar vegetación 115
Figura 87 Imagen antes de aplicar algoritmo. 116
Figura 88 Imagen después de aplicar algoritmo 116
Figura 89 Segmentos clasificados como vías sin aplicar el algoritmo 117
Figura 90 Objeto vía publica conformado por segmentos agrupados por el algoritmo de crecimiento por regiones 117
Figura 91 Imagen con efecto de sombra por diseño de tejado 118
Figura 92 Imagen clasificada antes de aplicar algoritmo buscar objetos rodeados por clases 118
Figura 93 Imagen después de aplicar algoritmo 119
Figura 94 Imagen antes de aplicar algoritmo de asignación de clases por capa temática segmento clasificado como asfalto (gris claro) 119
Figura 95 Imagen reclasificada con objetos de clase “Vía Publica” (color gris oscuro) después de aplicar algoritmo de asignación de clases por capa temática 120
Figura 96 Selección de muestra clase “CONCRETO ZONA DURA” locación plaza cívica ciudad victoria Pereira-Colombia 123
Figura 97 Ubicación de conjuntos residencias construidos en el periodo 2005-2014 ubicados en el área de estudio Fuente: Base de datos georeferenciada elaborada para evaluación del proyecto 124
Figura 98 Selección de pares de imágenes Vexcel Ultracam con solapamiento longitudinal 60%..... 127
Figura 99 Selección de pares de imágenes Vexcel Ultracam con solapamiento longitudinal (60%) y transversal (40%) 127
Figura 100 Imagen orto rectificada área de condominio rural 128
Figura 101 Modelo digital de superficie área de condominio rural utilizando solapamiento transversal y longitudinal de imágenes Vexcel Ultracam D 128
Figura 102 Modelo digital de superficie área de condominio rural utilizando solapamiento longitudinal del 60% de imágenes Vexcel Ultracam D..... 129
Figura 103 Edición modelo digital de superficie área de estudio no 1 131
Figura 104 Aplicación de filtrado de objetos de tamaño de hasta 250 píxeles y 35% de pendiente en modelo de superficie del área de estudio no1..... 131
Figura 105 Parámetros de condiciones geométricas para una manzana de conjunto residencial 133
Figura 106 Procedimiento para determinar longitud mínima de manzana para parámetro de condición geométrico en condición contextual 134
Figura 107 Imagen ortorectificadas área de estudio no 2 136

Figura 108 modelo de elevación normalizado para el área de estudio no 2 136
Figura 109 Conjunto residencial en el área de estudio no 2 con el valor más bajo de MDSNORMALIZADO (21) de las 3 áreas de estudio 137
Figura 110 Conjunto residencial en el área de estudio no 2 con el valor más bajo de MDSNORMALIZADO (21) de las 3 áreas de estudio. 137
Figura 111 Cálculo de valor medio de modelo de elevación normalizado a partir del área de vista actual para el conjunto residencial.....138
Figura 112 Imagen área de estudio No 3 parte rural 141
Figura 113 Imagen área de estudio No 3 parte urbana 141
Figura 114 Función de membresía para el ratio entre bandas roja y azul (7) en tejados de tonalidad roja, rosados, cafés.....147
Figura 115 Función de membresía para el ratio entre bandas roja y azul (7) en tejados de tonalidad roja, rosados, cafés.....148
Figura 116 Función de membresía para índice de áreas construidas para objetos de asfalto/concreto.....149
Figura 117 Función de membresía para índice ratio de agua asfalto/concreto ...149
Figura 118 Función de membresía para índice de áreas construidas para piscinas 150
Figura 119 Función de membresía para índice ratio de agua para piscinas.....150
Figura 120 Función de membresía para índice ratio rojo / verde para piscinas...151
Figura 121 Conjunto residencial con vías privadas en baldos de adoquín 152
Figura 122 Función de membresía para segundo momento angular en la banda azul 153
Figura 123 Función de membresía para segundo momento angular en la banda de infrarrojo cercano 153
Figura 124 Función de membresía para segundo momento angular en la banda de roja.....154
Figura 125 Imagen sin segmentar por nivel ortorectificada área de estudio no 3 parte urbana.....159
Figura 126 Imagen segmentada por nivel con vegetación clasificada 160
Figura 127 Imagen segmentada en vegetación y construcciones 160
Figura 128 Imagen área de estudio No 3 segmentada en vegetación (color verde), construcciones (color purpura) y objetos a nivel del suelo (color café).....161
Figura 129 Ubicación de Conjunto residencial san felipe Pereira-Colombia.....167
Figura 130 Imagen clasificada con subclases correspondientes a Conjunto Residencial 168
Figura 131 Imagen clasificada denotando presencial de Conjunto Residencial ..168
Figura 132 Vista aérea de barrio cuba Pereira-Colombia.....169
Figura 133 Vista aérea de barrio cuba Pereira-Colombia clasificada 169

Figura 134 Imagen centro comercial izquierda sin clasificar, derecha clasificada 172
Figura 135 Comparativo de imagen de área rural izquierda sin clasificar derecha clasificada caso falso positivo zonas de alta pendiente suelo rural. 172
Figura 136 Resultados de clasificación basada en objetos para el área de estudio no 1 (color amarillo representan conjuntos residenciales detectados, cruz roja ubicación conjuntos residenciales base datos geográfica) 173
Figura 137 Resultados de clasificación basada en objetos para el área de estudio no 2 (color amarillo representan conjuntos residenciales detectados, cruz roja ubicación conjuntos residenciales base datos geográfica) 174
Figura 138 Resultados de clasificación basada en objetos para el área de estudio no 3 (color amarillo representan conjuntos residenciales detectados, cruz roja ubicación conjuntos residenciales base datos geográfica) 175
Figura 139 Resultados de clasificación basada en objetos para el área de estudio no 3 parte rural (color amarillo representan conjuntos residenciales detectados, cruz roja ubicación conjuntos residenciales base datos geográfica).....176

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO 1 CRONOGRAMA DEL PROYECTO 188
ANEXO 2 ORTOFOTOS DE AREAS DE ESTUDIO.....190
ANEXO 3 CALCULO DE CENTRO DE BANDA (FWHM) Y RESOLUCION ESPECTRAL PARA BANDAS AZUL, VERDE , ROJO E INFRARROJO CERCANO A PARTIR DE DETERMINACION INSTRUMENTAL.....192
ANEXO 4 MEJORES MEDIDAS DE SEPARACION POR PAREJA DE CLASES 196
ANEXO 5 LISTADO DE CONJUNTOS RESIDENCIALES 197

RESUMEN

Este documento detalla una investigación que realizó un análisis basado en objetos para detectar conjuntos residenciales sobre tres áreas de estudios en los municipios de Pereira y Dosquebradas (Departamento de Risaralda) que han tenido un desarrollo urbanístico importante durante el periodo 2005-2014, principalmente de conjuntos residenciales. El análisis se abordó desde una perspectiva de conocimiento *a* priori de las áreas de estudio y bajo una estrategia de procesamiento arriba-abajo a partir de la cual se realizó la segmentación de imágenes tomadas el 29 de enero y 12 de mayo de 2015 por el sensor aerotransportado Vexcel Ultracam D del IGAC[1.]. Durante la investigación se identificaron parámetros de condiciones espectrales, geométricas, de textura y contexto, que permitieron diferenciar conjuntos residenciales de los demás objetos presentes en las imágenes. Se procesaron en total 251 imágenes (pares estereoscópicos) a partir de las cuales se derivaron modelos digitales de superficie (MDS) de las zonas de estudio, sobre los que se aplicó diferentes filtros de pendiente y remoción de imperfecciones a fin de obtener modelos digitales de terreno (MDT), lo que permitió conocer información de altura de objetos. Se aplicó el algoritmo de modelo empírico lineal para la calibración radiométrica de las imágenes que requirió colectar sobre la zona de estudio firmas espectrales de diferentes coberturas tales como: suelo desnudo, cuerpos de agua (piscinas), vegetación, césped y elementos antrópicos ej. Vías en asfalto y concreto, tejas (asbesto, barro, española, fibrocemento, zinc, termo acústica) entre otros. Para posteriormente cotejarse con los valores en niveles digitales localizados en la matriz de las imágenes sobre los mismos píxeles de donde se obtuvo o se conoce el valor de reflectancia. A partir de allí se calcularon diferentes índices espectrales para ser comparados dentro de la clasificación. Adicionalmente, se calcularon las medidas de textura basadas en el trabajo de (Haralick et al., 1973), también se

1 Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Colombia

definieron relaciones contextuales entre los diferentes objetos. Finalmente se elaboraron reglas de análisis basado en objetos que detectaron conjuntos residenciales con una exactitud del 82.85% en la zona de estudio.

PALABRAS CLAVES: Imágenes Vexcel Ultracam D, objetos, espectral, textura, geometría, relaciones contextuales, reflectancia.

INTRODUCCIÓN

El análisis de imágenes basado en objetos busca que los computadores imiten lo más cercanamente posible el acto de interpretación de imágenes realizado por el cerebro humano, asumiendo que un sistema de visión humano a partir de un conocimiento previo de características, identifica fácilmente objetos discriminándolos con respecto a su entorno dentro de una imagen digital (Navulur, 2007).

En las imágenes Vexcel Ultracam D de los municipio de Pereira y Dosquebradas pueden observarse aspectos recurrentes en las áreas donde existen los conjuntos residenciales tales como: vías internas a base de asfalto, concreto y baldosa adoquín (Figura 1) que no están demarcadas dentro del vector de nomenclatura vial pública, existencia de piscinas, tejados hechos de materiales predominantemente a base de fibrocemento, arcilla, policarbonato (Figura 2) entre otros, amplias zonas verdes, así como una diferencia de altura constante entre el terreno y el techo de las viviendas (dada la homogeneidad en el diseño arquitectónico de las unidades de construcción) canchas de tenis, sintéticas y de concreto, entre otras muchas características, por tal razón los sitios donde todos o algunos de los objetos mencionados anteriormente coexistan espacialmente muy cercanamente tendrían una alta posibilidad de conformar un conjunto residencial.

Actualmente las imágenes del sensor Vexcel Ultracam D tomadas desde el avión del IGAC son uno de los principales insumos de trabajo en las oficinas territoriales de la entidad para la realización de la gestión catastral. Dependiendo de la escala y el objetivo de la misión, pueden alcanzar resoluciones entre los 7 a 30 centímetros, lo que propicia escenarios ideales para realizar análisis basados en objetos sobre las mismas.

Al procesar digitalmente las imágenes Vexcel Ultracam D en pares estereoscópicos se obtiene información tal como: modelos digitales de elevación

MDS[2], MDT[3] que permiten considerar forma y altura de objetos, medidas de textura para conocer patrones de distribución espacial de píxeles (Haralick, Shanmugam, y Dinstein, 1973), reflectancia de los objetos y coberturas a partir del cotejamiento con bibliotecas espectrales de referencia. El precenso catastral de conjuntos residenciales en los municipios de Colombia puede realizarse aplicando análisis basado en objetos sobre imágenes denominadas de muy alta resolución (Tabla 1).

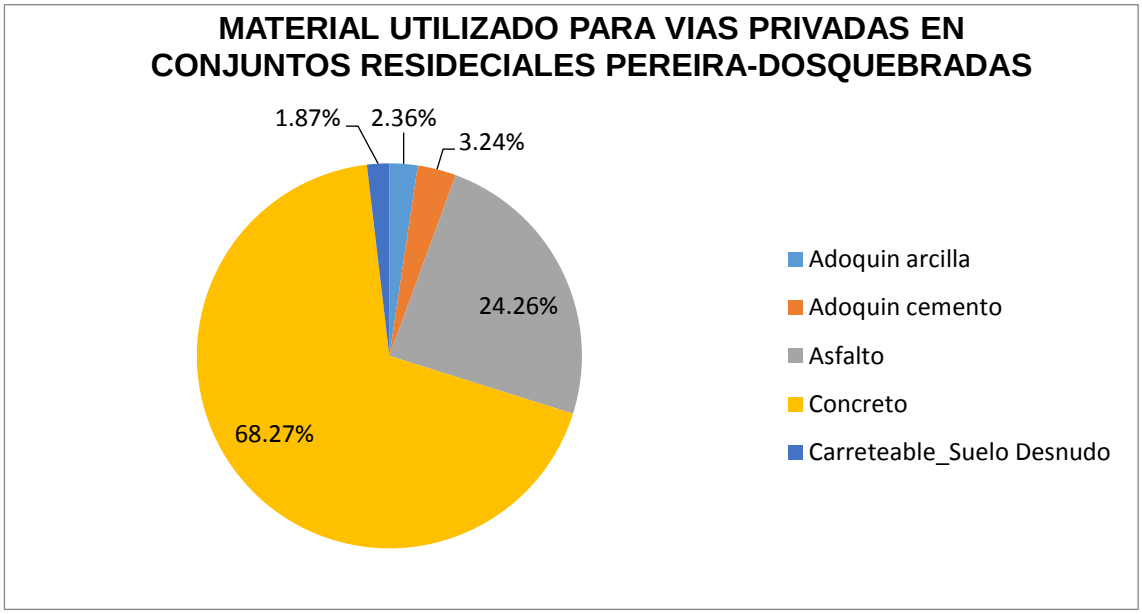


Figura 1 Materiales utilizados para vías privadas conjuntos residenciales fuente: Estudio Acabados de Construcción en Pereira y Dosquebradas Camacol[4] Risaralda (2015)

2 Se entiende como modelo digital de superficie (MDS) al modelo de elevaciones que considera todos los puntos sobre la superficie por ejemplo los correspondientes a edificios, arboles puentes, etc.
3 Se entiende como modelo digital de terreno (MDT) al modelo de elevaciones que considera los puntos a nivel del suelo únicamente.
4 *Cámara colombiana de la construcción

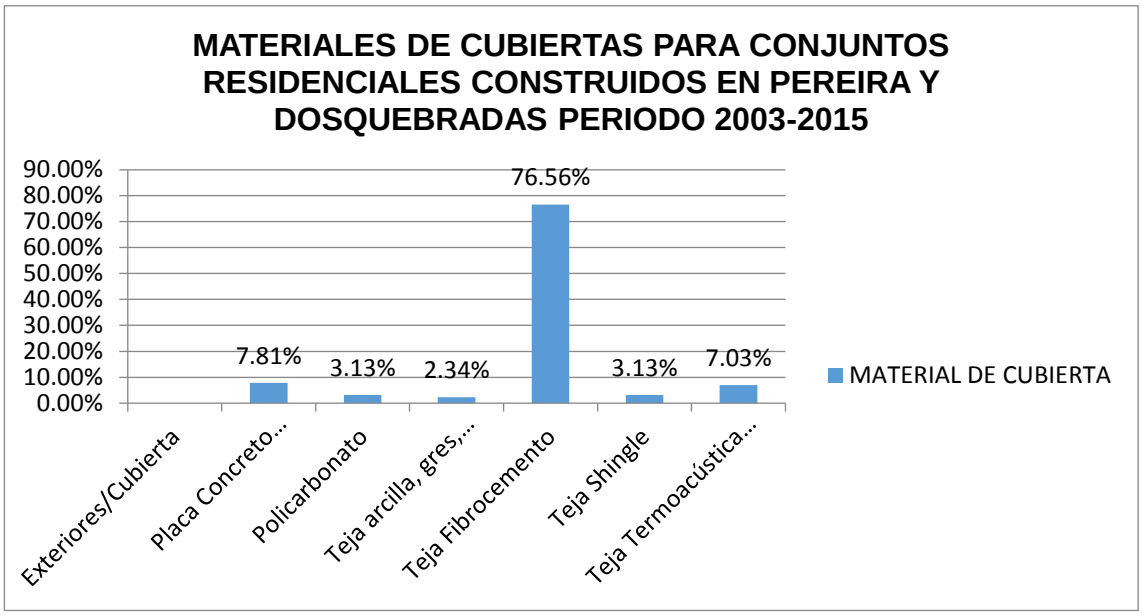


Figura 2 Materiales utilizados para Exteriores/Cubiertas conjuntos residenciales fuente: Estudio Acabados para proyectos de construcción en Pereira y Dosquebradas periodo 2003-2015 Camacol[4] Risaralda

Para ello inicialmente debe definirse un desarrollo metodológico que identifique parámetros de condiciones espectrales, texturales, geométricos, contextuales y criterios de segmentación (compacidad, forma, bandas de imágenes a utilizar), que se implementen sobre unas reglas de procesamiento automatizado basado en objetos cuyo resultado sea la demarcación de las áreas sobre las imágenes donde existan conjuntos residenciales.

Tabla 1 Clasificación de Imágenes por resolución espacial según la NIIRS[5] fuente: (Navulur, 2007)

Tamaño GSD[6]	Clasificación de Imágenes
GSD => 30 metros	Baja Resolución

5* The National Imagery Interpretability Rating Scale
6* Espacio de terreno cubierto por un píxel

2 => GSD <= 30 metros	Media Resolución
0.5=>GSD<=2 metros	Alta Resolución
GSD <= 0.5 metros	Muy Alta Resolución

Si bien diversos autores han abordado el problema de la detección de construcciones utilizando tanto el enfoque de clasificación de imágenes basado en píxeles (Ouma , Tateishi, y Sri-Sumantyo, 2010) como el de basado en objetos (Heinrich y Araújo, 2010; Vijjapu,2013; Benarchid et al., 2013), entre otros; esta investigación es novedosa ya que se centró en estudiar las características espectrales, de textura, geométricas y contextuales en las imágenes Vexcel Ultracam D de muy alta resolución para detectar un tipo particular de construcción denominado conjunto residencial, con base en una información contextual derivada de estudios económicos sobre construcciones en los municipios de Pereira y Dosquebradas elaborados por Cámara Colombiana de la Construcción CAMACOL capitulo Risaralda, información temática catastral del IGAC Territorial Risaralda y apreciaciones del investigador.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La realización de procesos de actualización catastral permanente está demandando cada vez mayor esfuerzo en dinero y tiempo para las ciudades capitales y áreas metropolitanas de Colombia donde el Instituto Geográfico Agustín Codazzi se desempeña como autoridad catastral como en el caso de los municipios de Pereira y Dosquebradas. Esto motivado principalmente por la creciente dinámica de la construcción de viviendas que han experimentado dichos municipios en la última década (Figura 3).

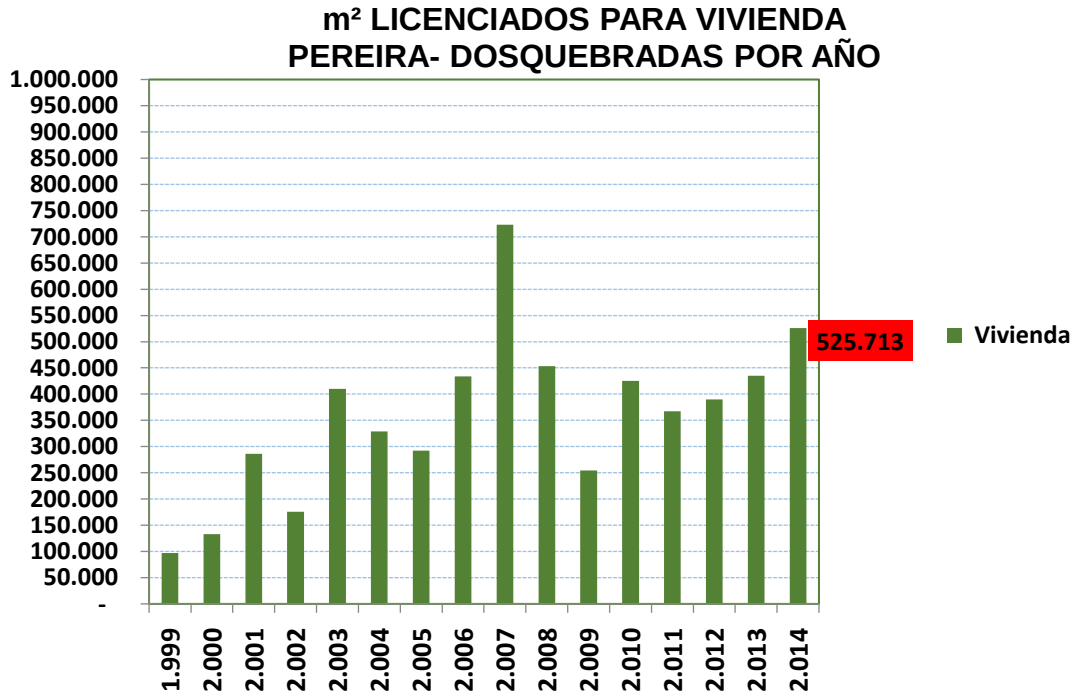


Figura 3 Metros cuadrados licenciados para vivienda municipios de Pereira y Dosquebradas Fuente: Información obtenida (Departamento de estudios económicos y urbanos CAMACOL RISARALDA, 2016).

Lo expuesto anteriormente implica que la base de datos catastral de dichos municipios esté expuesta a presentar un grado considerable de desactualización

año tras año. Esto acarrea consigo varios inconvenientes, entre los que se pueden contar por ejemplo:

- Detrimento patrimonial a razón de que la información catastral constituye base gravable para el recaudo de impuestos por parte de sus tesorerías.

- perjuicio a las transacciones de compra y venta de propiedad inmobiliaria en razón a que las certificaciones catastrales que estas demandan no presentan datos vigentes o lo que es aún peor presentan omisiones de los mismos dentro de la base de datos catastral.

La correcta ejecución de un proceso de actualización catastral permanente está condicionada a la disponibilidad de presupuesto suficiente para la contratación de personal que ejecute las labores de preparación, recolección y procesamiento de información catastral, este escenario no es la norma sino la excepción en el cotidiano que hacer del IGAC que viene experimentando una constante y considerable reducción en el presupuesto nacional asignado para tal fin, año tras año (Tabla 2).

El pre-censo es la actividad fundamental dentro de un proceso de actualización catastral, ya que identifica claramente que sectores dentro de un municipio son los que han presentado mayor variación en sus atributos catastrales y por ende constituyen la mayor representatividad de la información a actualizar. De esta manera se facilita toma de algunas decisiones como a que zonas por aumento de áreas construidas en el municipio debe destinarse mayor prioridad de reconocimiento catastral

Tabla 2 Presupuesto por Vigencia para Actualización Catastral Colombia IGAC Fuente: Planes de Acción IGAC vigencias 2013, 2014, 2015,2016 (IGAC, 2016)

Vigencia / Concepto	2013	2014	2015	2016
Actualización Catastral Colombia	66.762.000.000	45.880.000.000	29.561.470.000	22.804.953.515

En la actualidad, el pre-censo catastral es realizado por personal con experiencia en reconocimiento predial que realiza desplazamientos a ciertos sectores del municipio a censar, donde se presume se ha presentado una considerable variabilidad en sus atributos catastrales (áreas de terreno, áreas construidas, cambios de destino y/o uso del predio) para ello se basan principalmente en la consulta de licencias de construcción emitidas por las curadurías urbanas, revistas de actividad inmobiliaria, información de planes de vivienda registrados en la secretaria de planeación del municipio a censar y la propia experiencia del reconocedor predial.

El alistamiento y revisión de esta información es una actividad que demanda una buena cantidad de tiempo para ser consolidada, por cuanto procede de diferentes fuentes y estas a su vez se presentan en diferentes formatos; así mismo implica gran dependencia para el IGAC de información proveniente de terceros, fuertemente condicionada a plazos de entrega e integridad de la misma.

Uno de los objetivos de alto valor dentro del pre-censo catastral es la identificación de nuevos desarrollos urbanísticos licenciados por las curadurías y secretarias de planeación de los municipios, tanto en suelo urbano como rural, conocidos como conjuntos residenciales, que suelen conocerse con varios nombre como: conjunto

cerrado, condominio o urbanización entre otras, y que no se encuentran incorporados en la base predial.

En primer lugar porque estos desarrollos están conformados por varios predios que tienen idénticas características de construcción, calificación de acabados y áreas de terreno común que minimizan mucho la labor de reconocimiento, ya que obviamente se reduce el número de mediciones catastrales al haber una homogeneidad en los predios.

En segunda instancia representan áreas considerables de terreno que son evaluadas por los investigadores de zonas físicas y económicas para determinar el nuevo precio de metro cuadrado de terreno y construcción para el nuevo espacio construido y sus alrededores.

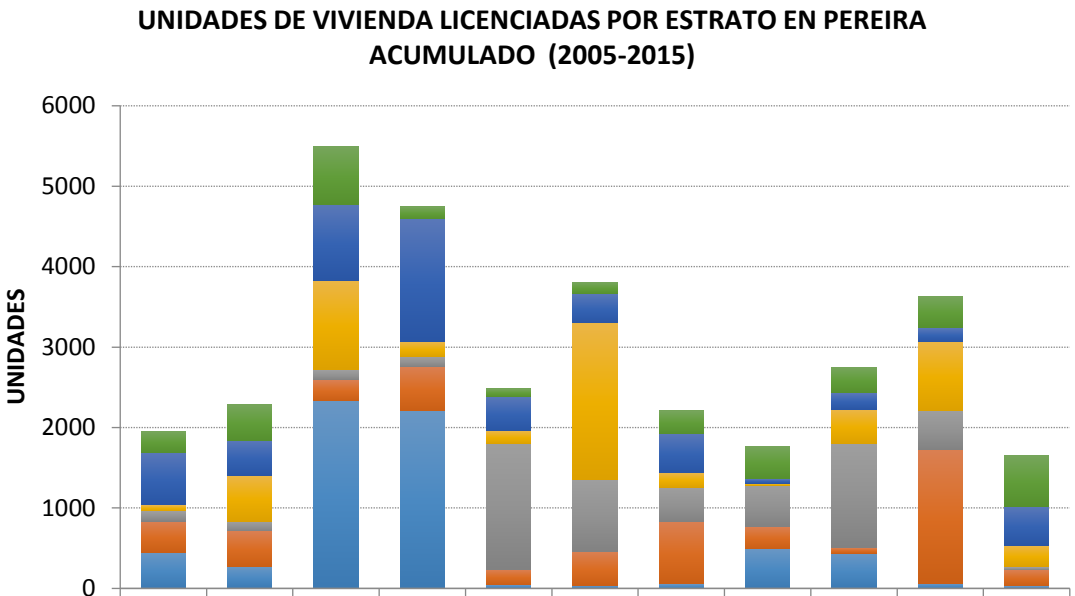
La actividad de pre-censo catastral en los municipios de Pereira y Dosquebradas no es ajena a esta problemática, dentro de la misma presenta matices que constituyen un grave riesgo para el mantenimiento óptimo de la gestión catastral realizada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

En Pereira (Figura 4) y Dosquebradas (Figura 5) durante el periodo 2005-2014 ha existido una dinámica alta y casi constante en la concesión de licencias para construcción de unidades de vivienda en conjunto residencial, además de disponer de una buena cantidad de suelo, tanto urbano como rural, para llevar a cabo esta clase de proyectos urbanísticos.

Un caso muy representativo que se da tanto en la ciudad de Pereira como en otras ciudades principales, es el de nuevos desarrollos urbanísticos especialmente en el suelo rural, en locaciones circundantes al perímetro urbano de los municipios donde se otorgan licencias de parcelación y se levantan ostentosas construcciones conocidas como casas fincas o viviendas en condominio, pertenecientes a ciudadanos muy adinerados que buscan establecer su lugar de

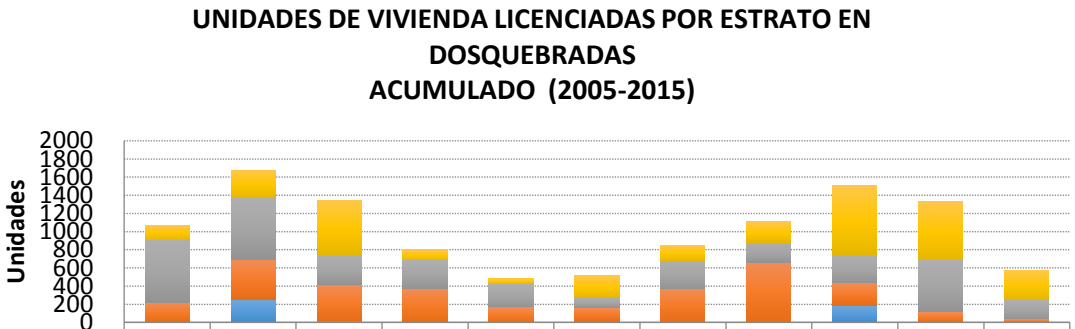
residencia y descanso lejos del caos urbano de las ciudades, tal es el caso de la comuna cerritos en el municipio de Pereira (Figura 6 y 7).

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi no ha recurrido al análisis de imágenes de alta resolución basado en objetos como alternativa para recaudar información dentro de un proceso de precenso catastral. Por lo que su implementación significaría un considerable mejoramiento en la etapa de precenso dentro de los procesos de actualización catastral, impactando positivamente en la calidad y tiempo de entrega del mismo.



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
TOTAL	1952	2286	5495	4747	2485	3808	2208	1770	2751	3628	1655
6	258	442	727	154	100	147	283	404	317	389	634
5	656	436	936	1527	424	361	487	59	207	169	482
4	75	571	1114	185	162	1943	178	23	424	859	270
3	127	123	126	122	1560	898	428	512	1293	490	36
2	385	442	256	550	191	420	774	280	72	1656	202
1	451	272	2336	2209	48	39	58	492	438	65	31

Figura 4 Unidades de vivienda licenciadas por estrato en Pereira fuente tomado de (DEPARTAMENTO ESTUDIOS ECONOMICOS Y URBANOS CAMACOL, 2015)



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
TOTAL	1071	1677	1347	800	484	512	850	1107	1511	1327	575
4	163	303	606	112	55	239	170	223	770	639	322
3	691	682	319	311	259	107	310	225	304	573	215
2	204	438	401	372	165	151	359	654	247	104	35
1	13	254	21	5	5	15	11	5	190	11	3

Figura 5 Unidades de vivienda licenciadas por estrato en Dosquebradas fuente tomado de (DEPARTAMENTO ESTUDIOS ECONOMICOS Y URBANOS CAMACOL, 2015)

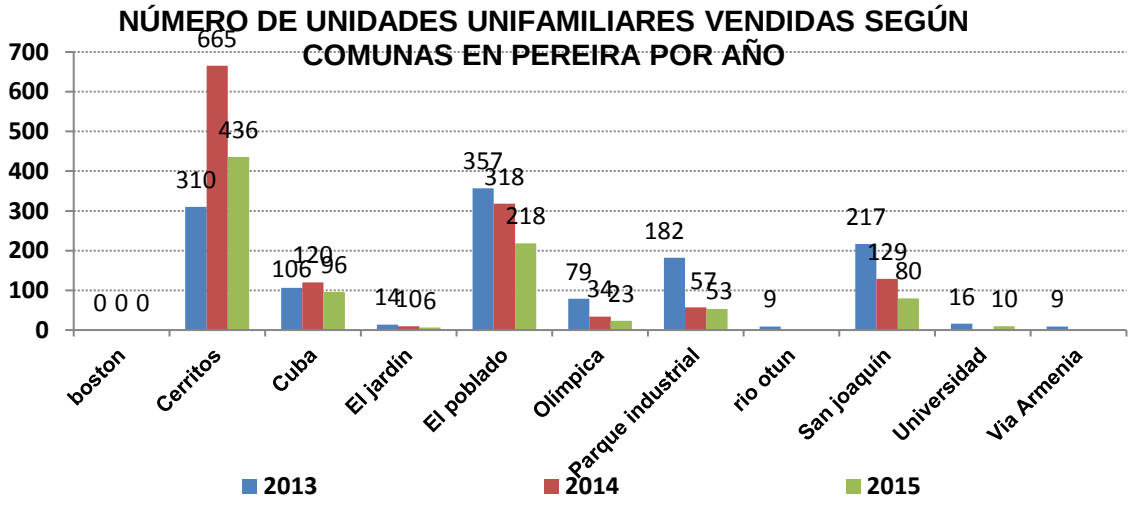


Figura 6 Número de Unidades Unifamiliares Vendidas Según Comuna por Año en Pereira Fuente: (DEPARTAMENTO ESTUDIOS ECONOMICOS Y URBANOS CAMACOL, 2015)

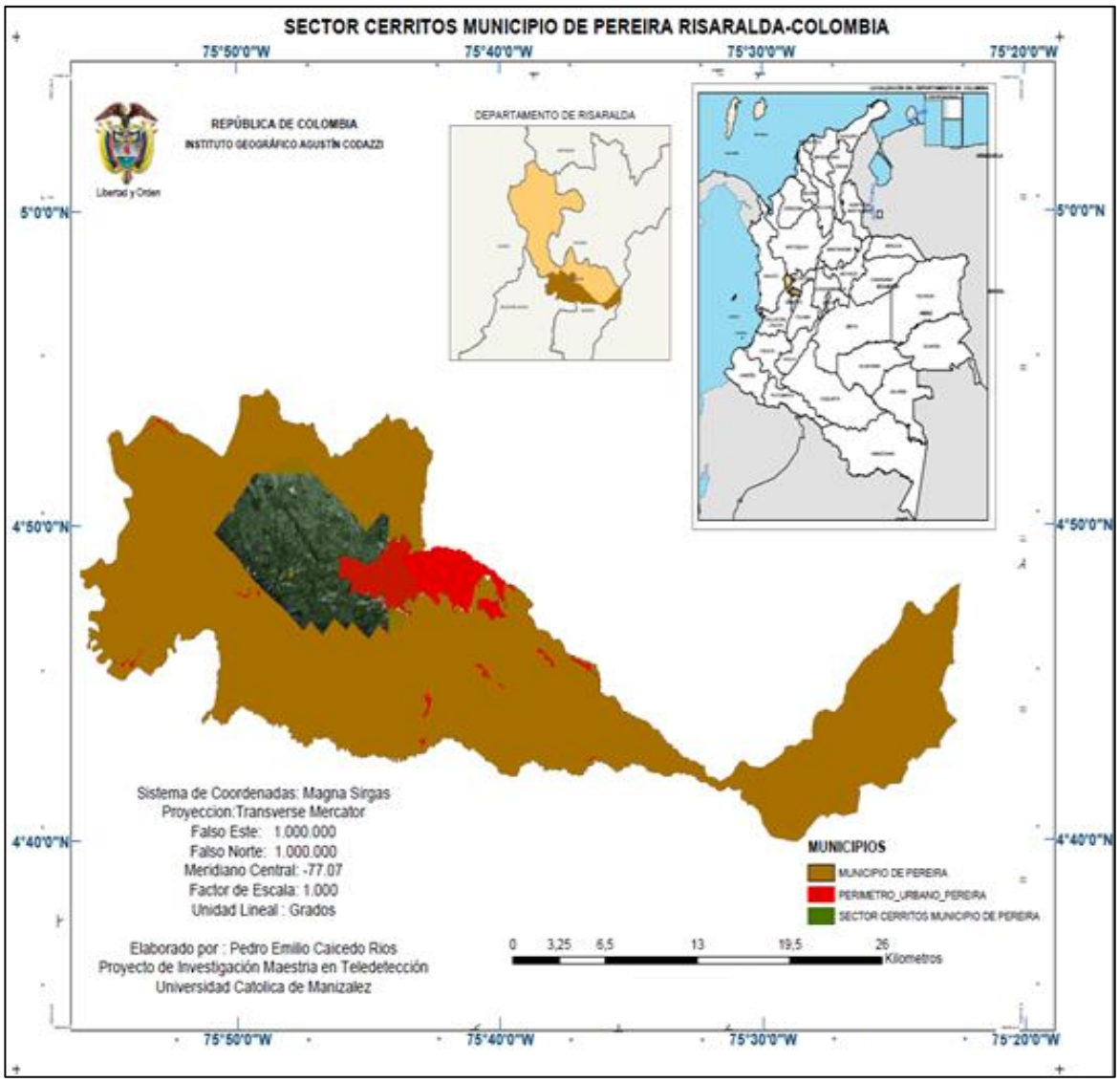


Figura 7 Sector Cerritos Municipio de Pereira Fuente: Elaboración propia con información IGAC Territorial Risaralda

De acuerdo a lo planteado anteriormente, es preciso cuestionarse acerca de lo siguiente: ¿Cómo puede integrarse en un análisis de imágenes Vexcel Ultracam D el conocimiento a priori de los objetos para detectar conjuntos residenciales en el municipio de Pereira y Dosquebradas con un grado de exactitud igual o superior al 80%?

2. ZONA DE ESTUDIO

2.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL

La zona de estudio está localizada en los municipios de Pereira y Dosquebradas en el Departamento de Risaralda, sobre el centro occidente de la República de Colombia. (Figura 8) Su centro de coordenadas está en los 4° 47’ 42.88” Norte y 75° 42’ 40,072” Occidente para el Datum de origen Magna Colombia Oeste, con una altitud promedio de 1.450 metros sobre el nivel del mar que le permite contar con temperaturas que pueden ir desde los 16° a los 26° grados centígrados la mayor parte del tiempo.

La extensión total de la zona de estudio es de 111.74 Km^2, de la cual el 72.08 Km^2 corresponde al área rural del municipio de Pereira y 21.90 Km^2 a su parte urbana. Para el municipio de Dosquebradas la proporción es de 8.18 Km^2 para la parte rural y 9.58 Km^2 en la parte urbana.

El Municipio de Pereira tiene un total de 170.402 predios de los cuales 140.750 son urbanos y el Municipio de Dosquebradas 64.524 predios de los cuales 60.264 son urbanos (INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI, 2016).

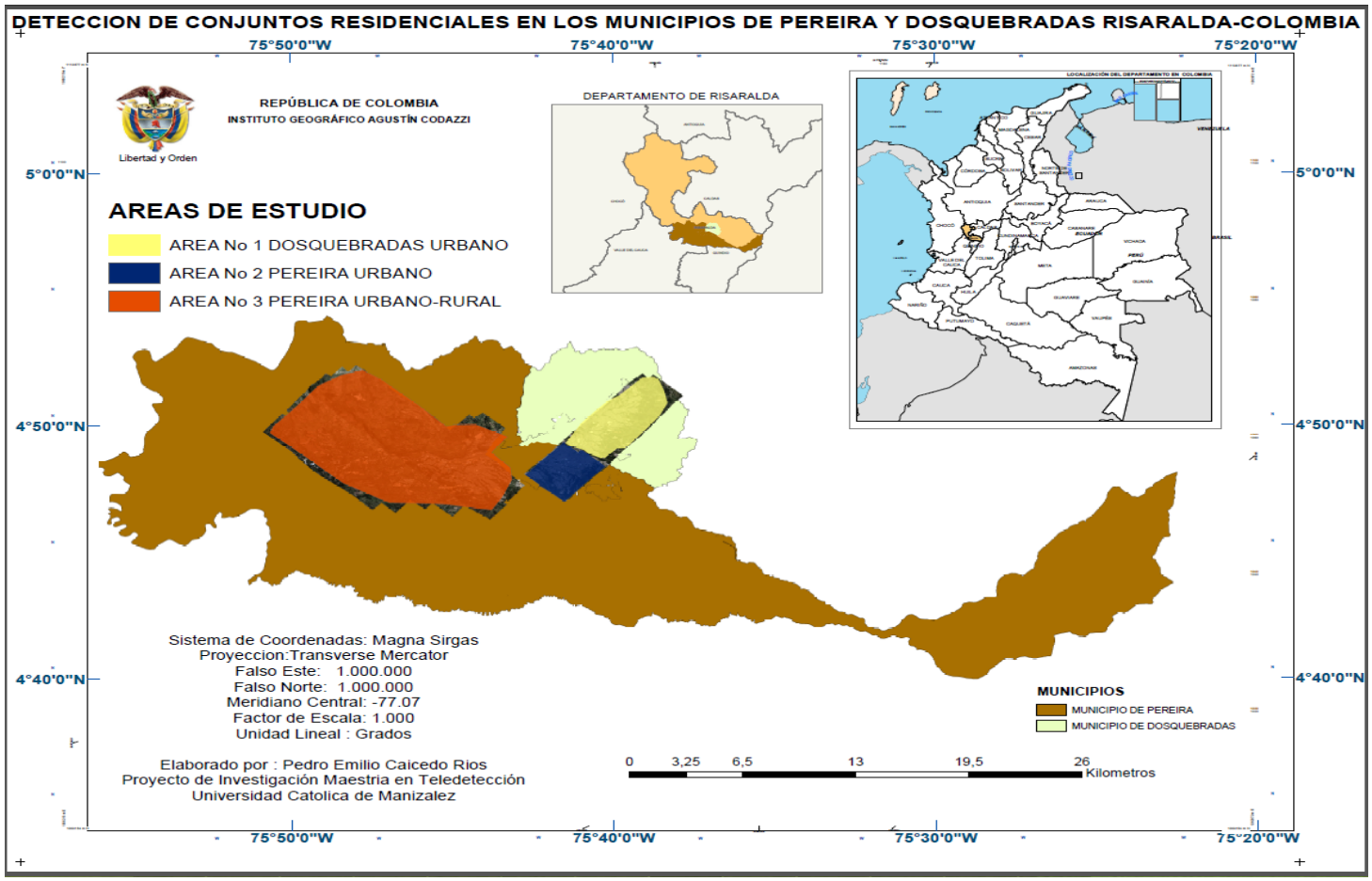


Figura 8 Zona de estudio en los municipios de Pereira y Dosquebradas Fuente: Elaboración propia (2016), con información del IGAC Territorial Risaralda

2.1 DELIMITACIÓN TEMPORAL

El análisis basado en objetos se realizó procesando imágenes digitales del sensor Vexcel Ultracam D, tomadas el 29 de enero y 12 de mayo de 2015 en el horario entre las 11:00 am y las 2:00 pm.

A partir de la aplicación de las reglas de análisis sobre las imágenes se demarcaron los conjuntos residenciales detectados, para verificar si cumplían con el criterio de haber sido construidos en el periodo 2005-2014 fueron cotejados contra una base de datos geográfica de conjuntos residenciales de los municipios de Pereira y Dosquebradas. Esta fue desarrollada para la investigación con base en la información alfanumérica de CAMACOL[7] (Departamento de estudios económicos y urbanos CAMACOL RISARALDA, 2016) consultas al Sistema Nacional Catastral y visitas a sitios web de constructoras definiendo de forma precisa tanto localización como fecha de terminación exacta.

7* Cámara colombiana de la construcción

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar imágenes Vexcel Ultracam D basándose en objetos para detectar conjuntos residenciales construidos durante el periodo 2005-2014 en los municipios de Pereira y Dosquebradas, con fines de pre-censo catastral por parte del IGAC.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar los parámetros de condiciones espectrales, geométricas, de textura y contexto para las reglas de análisis basado en objetos, que permitan diferenciar conjuntos residenciales de los demás objetos presentes en las imágenes.

Segmentar las imágenes Vexcel Ultracam D por niveles de objetos basándose en conocimiento a priori de estos y una estrategia de procesamiento arriba - abajo.

Generar reglas de análisis basadas en objetos para detectar conjuntos residenciales en las áreas de estudio, con un grado de exactitud igual o superior al 80%.

4. JUSTIFICACIÓN

La información catastral tiene múltiples propósitos y constituye un elemento fundamental para adelantar procesos de planificación territorial, gestión en la atención y prevención de desastres, diseño e implementación de obras de infraestructura, entre otros proyectos de impacto masivo.

Mantener la información catastral lo más actualizada posible asegura que las iniciativas mencionadas anteriormente tengan éxito.

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi no ejerce autoridad catastral sobre las tres principales ciudades del país en su orden Bogotá, Medellín y Cali, por tal razón las ciudades colombianas más relevantes catastralmente por su número de predios y total de área construida son en su orden:

Tabla 3 Estadísticas Catastrales Fuente: Sistema Nacional Catastral vigencia 01-01-2015 (IGAC, 2015)

Ciudad	Nro. Total de Predios	Total Área Construida en M^2
Barranquilla	321.932	33.904.958
Cartagena	250.770	21.667.188
Cúcuta	214.231	19.376.056
Bucaramanga	161.919	17.763.718
Pereira	140.399	12.607.714

)

Los municipios de Pereira y Dosquebradas constituyen un escenario de estudio bastante representativo para el IGAC, igualmente, poseen cifras muy altas de área construida, obra nueva licenciada y proyectos culminados (Tabla 4).

Con el objetivo de recaudar la mayor cantidad de información posible para fines catastrales es indispensable para el Instituto Geográfico Agustín Codazzi recurrir a la aplicación nuevas tecnologías para el procesamiento de imágenes de alta resolución, como las del sensor Vexcel Ultracam D, de esta manera se podrá disminuir personal externo requerido a contratar, buscando compensar en cierta proporción la paulatina disminución en la asignación presupuestal al IGAC por parte del gobierno central.

Tabla 4 Censo de Edificaciones Fuente: DANE actualizado 14 agosto 2015 (DANE[8],2015)

Ciudad	Área Construida M2 Licenciada (2007 III Semestre -2015 I Semestre) Obra Nueva No Vis[9]	Área Construida M^2 Licenciada (2007 IIISEM-2015 I Semestre) Obra Nueva Vis	Área Construida M2 Licenciada (2007 III SEM-2015 I Semestre) Obra Nueva
Bogotá	22.082.900	10.286.156	32.369.056
Medellín	12.694.848	4.067.878	16.762.726
Cali	5.098.759	2.623.567	7.722.326
Bucaramanga	5.346.668	1.491.828	6.838.496
Barranquilla	3.681.934	1.159.483	4.841.417

8* Departamento Administrativo Nacional de Estadística
9* Vivienda de Interés Social

Cúcuta	1.886.617	1.699.161	3.585.778
Pereira-Dosquebradas	1.855.305	905.096	2.760.401
Ibagué	1.436.581	996.791	2.433.372
Cartagena	1.895.663	407.539	2.303.202
Manizales	1.123.330	566.909	1.690.239

Esta investigación impactará positivamente en la reducción del tiempo de ejecución de los procesos de actualización permanente en los municipios de Pereira y Dosquebradas ya que disminuirá el tiempo de obtención del plano de sitios con aumento en áreas construidas producto de nuevos conjuntos residenciales, se espera que una vez estén implementados los resultados de la investigación el tiempo de obtención pase meses a horas, lo que a su vez permitirá que se pueda realizar una mejor estimación y uso de los recursos humanos, físicos y económicos, destinando mayor tiempo a la actividad de reconocimiento en campo dada la mayor anticipación con la que se puede señalar los lugares a visitar.

Así mismo, se espera que sirva como referencia para realizar esta clase de análisis en las demás ciudades de Colombia que se encuentren bajo la autoridad catastral tanto del IGAC como de cualquier catastro descentralizado (Bogotá, Medellín, Cali).

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1 MARCO TEÓRICO

5.1.1 Teledetección (Percepción Remota)

Chuvieco (1995) Coincide con otros autores en afirmar que la teledetección es una técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. Lira (2010) afirma que la percepción remota hace uso de la radiación electromagnética que interactúa con una escena bajo observación permitiendo estudiar su comportamiento en diferentes condiciones. Pérez y Muñoz (2006) definen la teledetección como una técnica que tiene por objeto la captura, tratamiento y análisis de imágenes digitales tomadas desde satélites artificiales, reconociendo también dentro de este ámbito el conocimiento originado por la fotogrametría.

Un sistema de teledetección (Figura 9) según Chuvieco (1995) está conformado por los siguientes elementos:

- Fuente de Energía: Se denomina así al emisor de radiación electromagnética que utiliza el sistema. Puede ser externo al sensor caracterizando al sistema como pasivo (energía solar), o corresponder a un haz energético propio del sensor convirtiéndolo en un sistema activo de teledetección.
- Cubierta Terrestre: Hace referencia a todos los objetos o cuerpos que se encuentra sobre la superficie de la tierra por ejemplo la vegetación, ríos,

lagos, mares, las construcciones, el suelo y demás elementos de origen antrópico[10].

- Sensor: Es el aparato encargado de captar la energía reflejada por la cubierta terrestre (incluye la plataforma que lo transporta), al tiempo almacena y codifica los datos para enviarlos al sistema de recepción.
- Sistema de Recepción: Es el responsable de recibir y procesar los datos provenientes desde la plataforma del sensor. También lleva a cabo procesos más especializados como correcciones geométricas y radiométricas. Así como de compresión de grandes volúmenes de datos para facilitar el intercambio de la información capturada.
- Interprete: Es la persona capacitada en el procesamiento de imágenes digitales que desarrolla los procesos técnicos y de investigación. Esta persona se encarga de convertir los datos en información temática, análoga o digital, para ser distribuida y desarrollar aplicaciones concretas según el interés de los usuarios.
- Usuario final: Es quien recibe y utiliza el producto obtenido de la imagen digital interpretada, con el propósito de realizar actividades de gestión, planeación, investigación y desarrollo en ciencias ambientales o áreas afines.

Anteriormente se mencionó que la teledetección hace uso de la energía en forma de radiación electromagnética emitida por la materia, el fundamento físico para comprender este fenómeno es la teoría ondulatoria, que determina que la radiación electromagnética se trasmite de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo, a la velocidad de la luz y agrupando dos campos de fuerza ortogonales entre sí: eléctrico y magnético. (Figura 10)

10 *Refiere a todo aquello construido o elaborado por actividad humana

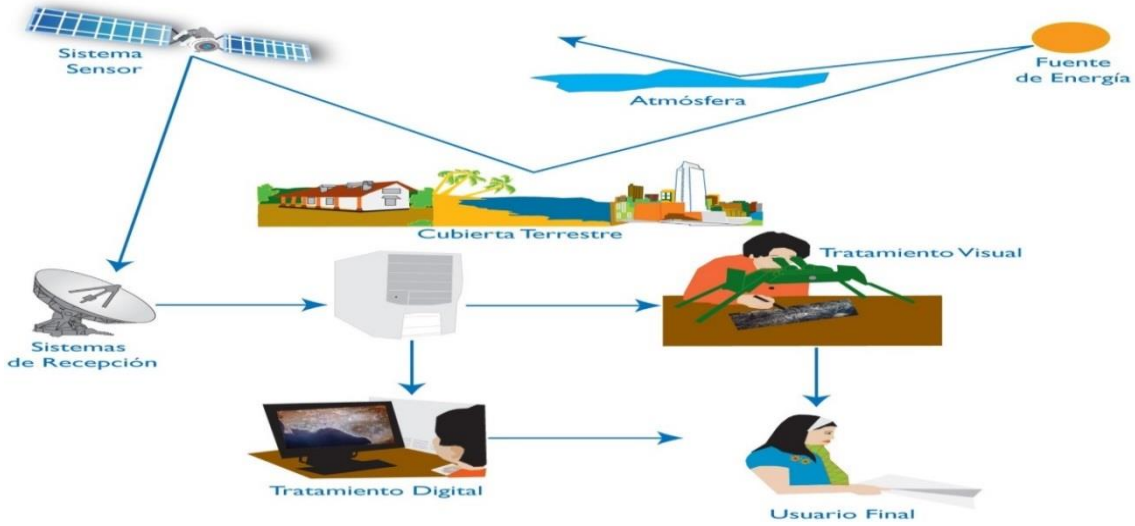


Figura 9 Sistema de teledetección. Fuente: Adaptado (Chuvieco, 1995). Tomado de sitio web Telecentro Regional, Instituto Geográfico Agustín Codazzi http://geoservice.igac.gov.co/contenidos_telecentro/fundamentos_pr-semana1-unidad1/index.php?id=1 consultado el día 9 de noviembre de 2016

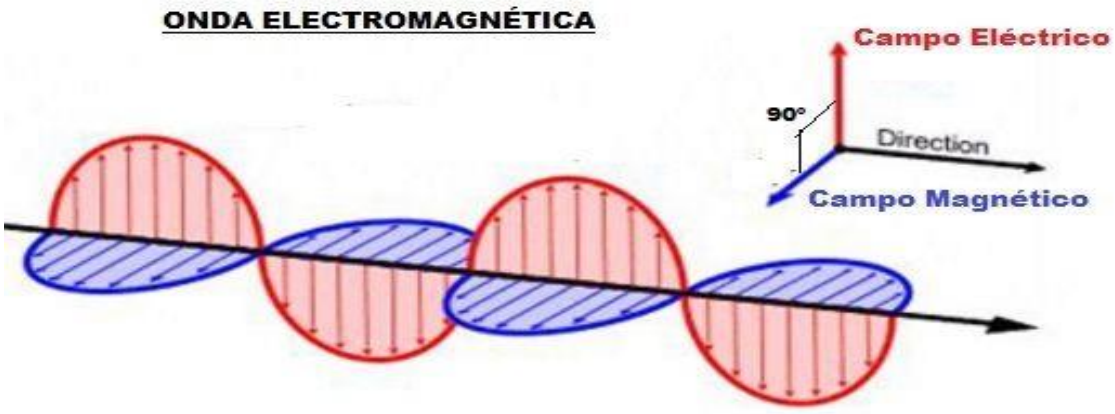


Figura 10 Onda electromagnética y sus componentes. Tomado de sitio web de organización para temas de tecnología Industrial y Electrotecnia http://www.areatecnologia.com/ consultado el 9 de noviembre de 2016

En términos matemáticos se reduce a esta simple ecuación:

$$c = \lambda * f \qquad (1)$$

Donde c corresponde a la velocidad de la luz (3x 10^8 m/s), λ expresa la longitud de onda y f la frecuencia (Hercios, ciclos por segundo). Por tanto las magnitudes de frecuencia y longitud de onda son inversamente proporcionales por lo que con sólo indicar una de las dos magnitudes se puede discriminar el tipo de energía al que se hace mención

Las interacciones fundamentales entre la materia y la radiación electromagnética pueden describirse así: Inicialmente esta pasa o se trasmite a través de un material con leves variaciones en intensidad tal como se indica en la figura (11).

A su vez los materiales pueden absorber radiación electromagnética en función de su longitud de onda, la radiación absorbida es transformada a energía calórica (Figura 12), la cual aumenta la temperatura del material. Una parte de la energía calórica puede emitirse como radiación electromagnética a determinada longitud de onda dependiendo de la temperatura del material (Smith, 2004).

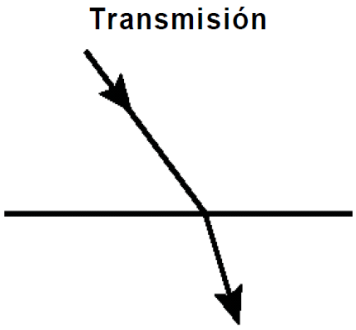


Figura 11 Trasmisión de la radiación electromagnética Fuente: tomado de (Smith, 2004)

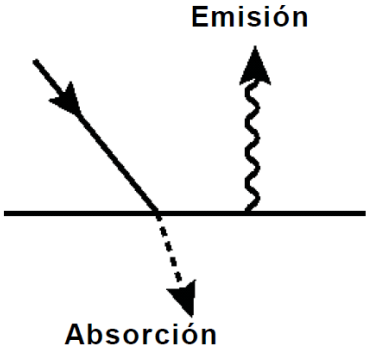


Figura 12 Absorción y emisión de la radiación electromagnética Fuente: tomado de (Smith, 2004)

Si la superficie sobre la que se refleja la radiación electromagnética es suave en comparación a la longitud de onda de la energía incidente, el reflejo especular ocurre entonces la mayor parte de la energía es reflejada en la misma dirección del ángulo incidente con respecto a la superficie. Mayor rugosidad en la superficie causa dispersión, o reflejo difuso (Figura 13).

No obstante sin importar las condiciones de intensidad de energía y rugosidad de la superficie de reflexión, este fenómeno cumple y responde a la ley de conservación de energía en el entendido que esta nunca se pierde, solo se transforma.

$$Ø_i = Ø_r + Ø_t + Ø_a \qquad (2)$$

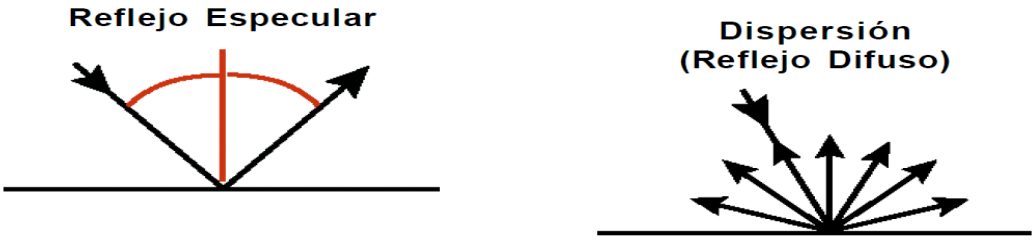


Figura 13 Reflejo especular y difuso de la radiación electromagnética Fuente: tomado de (Smith, 2001)

Donde:

$Ø_{i=}$ Energía Incidente

$Ø_{r}$ = Energía reflejada

$Ø_{t}$ = Energía trasmitida

$Ø_{a=}$ Energía Absorbida

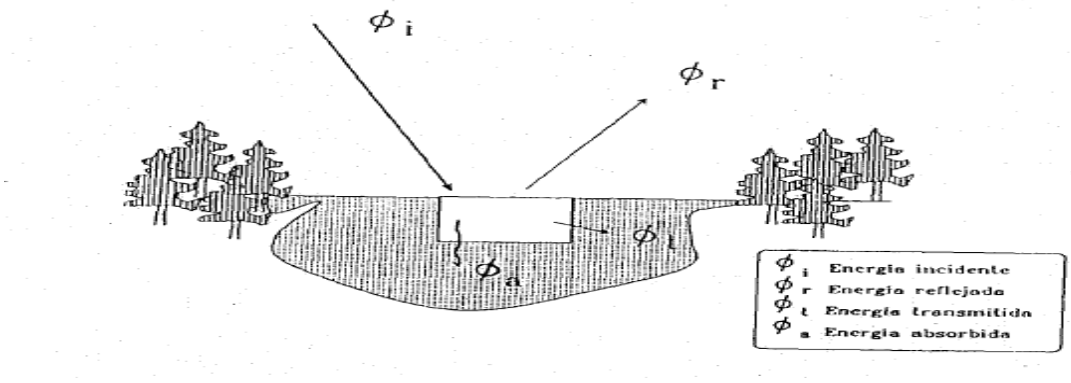


Figura 14 Relación entre flujos de energía Fuente: tomado de (Chuvieco, 1995)

La figura (15) presenta el espectro electromagnético donde solo la franja comprendida entre 0.4 y 0.7 micrómetros puede ser visible para el ojo humano. Las demás longitudes de onda solo pueden ser percibidas por sensores diseñados para la captura y procesamiento de cada una de estas.

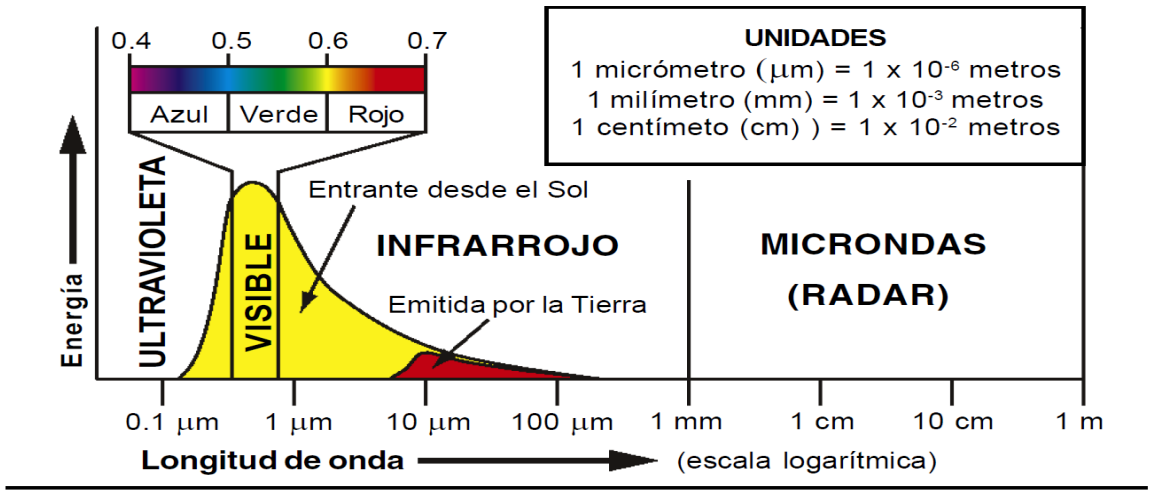


Figura 15 Espectro electromagnético Fuente: tomado de (Smith, 2004)

5.1.2 Firmas Espectrales

Todos los materiales en la superficie terrestre poseen una propiedad denominada reflectancia espectral ρ cuantificada como la razón de energía reflejada y la energía incidente como una función de la longitud de onda (Lira, 2010).

$$\rho = \frac{\text{ør}}{\text{øi}} \qquad (3)$$

La reflectancia espectral puede ser medida en campo o en laboratorio y utilizarse como criterio de clasificación a través del cálculo de índices espectrales en la interpretación de imágenes. El valor de reflectancia de un material específico (suelo, agua, vegetación) a lo largo del espectro describe una función de dos dimensiones que es denominada firma espectral (Chuvieco, 1995).

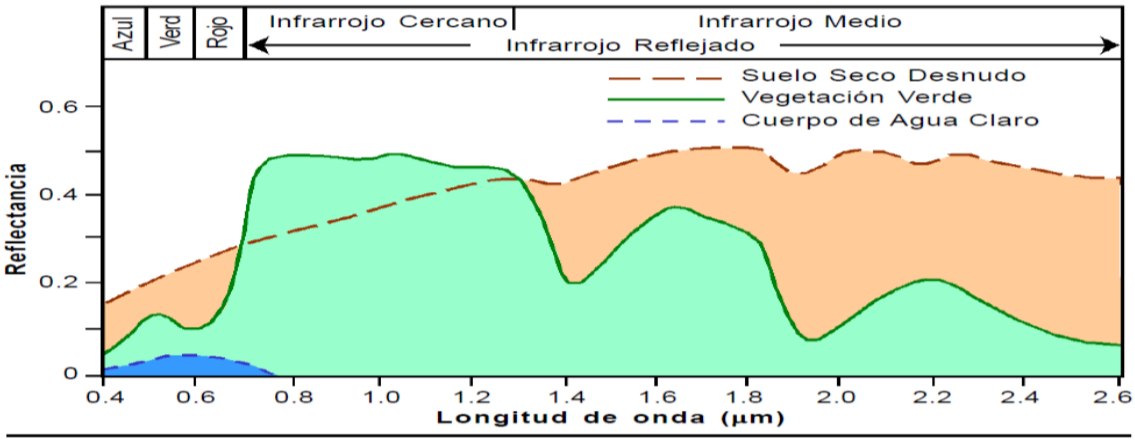


Figura 16 Firmas espectrales del suelo seco, vegetación, agua fuente: tomado de (Smith, 2004)

5.1.3 Imagen Digital

La energía electromagnética que retorna desde la superficie terrestre es captada por una serie de sensores electrónicos que registran una señal eléctrica con una fuerza proporcional a la cantidad de energía recibida, para posteriormente representarla como una serie de números (Smith, 2004). Una imagen digital entonces es una grilla rectangular de dos dimensiones que contiene valores numéricos que representan el promedio de luminosidad para una porción de superficie en un determinado rango espectral (Figura 17).

Una imagen digital no solo representa la distribución espacial de las propiedades físicas de una escena observada a distancia, sino también en forma implícita o explícita, la respuesta limitada del dispositivo sensor y las interferencias presentadas durante la toma de las imágenes (Lira, 2010). Una imagen tiene asociada hasta 5 clases de resoluciones a saber:

- Resolución espacial: Este concepto señala el objeto más pequeño que puede reconocerse sobre la imagen. Las unidades de longitud en la imagen se especifican en milímetros y en la superficie en metros (Chuvieco, 1995). Tamaño del píxel sobre el terreno.

- Resolución radiométrica: Indica la capacidad de registrar y diferenciar niveles de radiancia por un detector individual del sensor que capta la energía recibida para un determinado rango espectral. Dicho niveles de radiancia son discretizados con valores enteros que van desde cero (0) hasta 2^8, 2^{12}, 2^{16}, 2^{32} cuyos exponentes expresan la resolución radiométrica del sensor en unidades de bits (Smith, 2004).

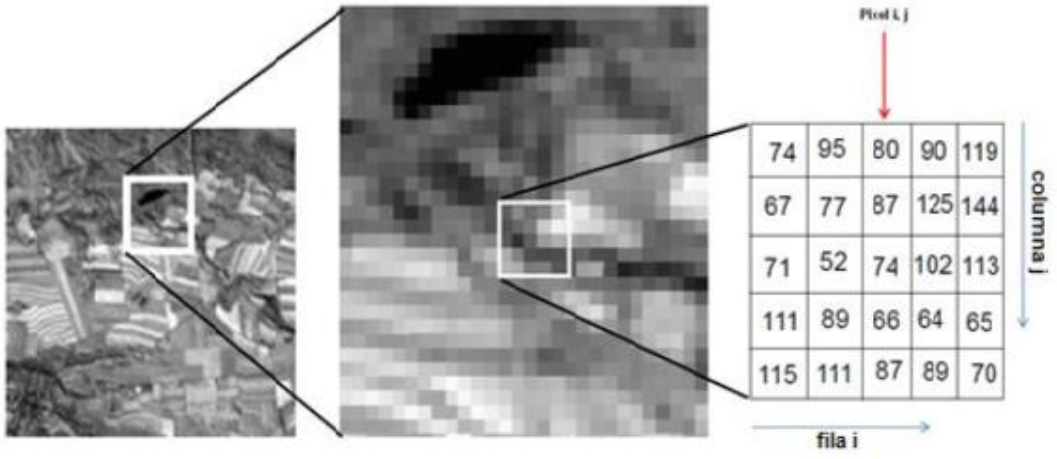


Figura 17 Imagen Digital tomado de Fuente: Tomado de (Smith, 2004)

- Resolución espectral: Indica el número y anchura de bandas espectrales[11] que puede discriminar el sensor. Por cuanto a mayor sea el número de bandas que proporcione un sensor mayor será su resolución espectral (Perez y Muñoz, 2006).
- Resolución Temporal: Especifica el tiempo de paso de un sensor sobre la vertical de un punto. Con lo que es posible obtener la periodicidad de adquisición de una imagen sobre determinada zona (Perez y Muñoz, 2006). La fotografía área permite conseguir resoluciones temporales muy altas, dadas las condiciones de toma que ofrecen los planes de aeronavegación en términos de líneas de vuelo y superposición de marco de imágenes.
- Resolución Angular: Es la capacidad que tiene un sensor para tomar imágenes oblicuas. Esta característica posibilita la generación de imágenes estereoscópicas que permiten obtener una representación del relieve mediante modelos digitales de elevación.

Lo más conveniente es que dichas bandas sean lo más estrechas posibles para recoger información de regiones coherentes del espectro (Chuvieco, 1995) (Figura 15). En la actualidad existe oferta de sensores para imágenes aéreas que ofrecen la posibilidad de captar información hiperespectral[12] usando plataformas UAV[13]. Un típico sensor de fotografía aérea como por ejemplo Vexcel Ultracam D ofrece la captura de 3 bandas en el espectro visible (rojo, verde, azul), una banda en el infrarrojo cercano y una pancromática (Figura 21).

11 *Intervalo del espectro electromagnético
12 *Información referente a respuesta espectral en imágenes con 20 o más de bandas
13 *Siglas en ingles que definen vehículo aéreo no tripulado

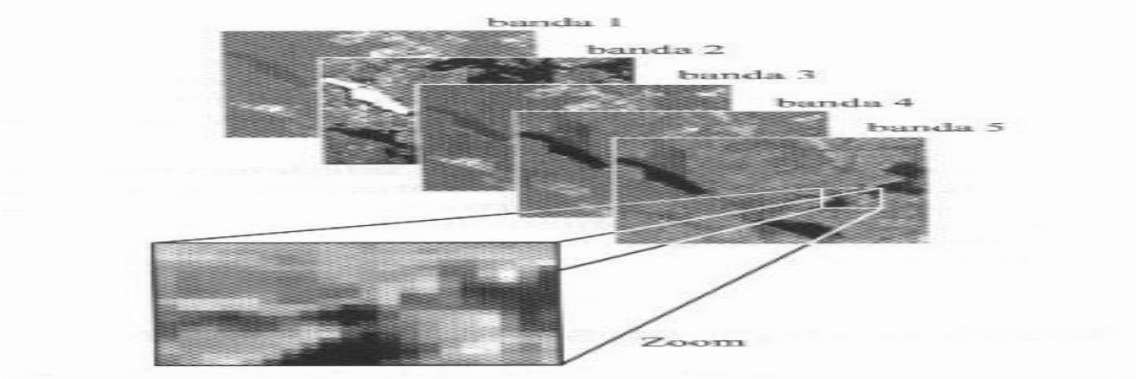


Figura 18 Representación de imagen digital con varias bandas Fuente: tomado de (Perez Gutierrez y Muñoz Nieto, 2006)

5.1.4 Imágenes Vexcel Ultracam D

El IGAC cuenta con el sensor Vexcel Ultracam D (Figura 19) que es transportado en la aeronave de la entidad (Figura 20). Las imágenes obtenidas por este son utilizadas para labores de restitución fotogramétrica a fin de generar cartografía básica. Estás se componen de tres bandas en el rango del visible (Azul, Verde, Rojo) y la banda del infrarrojo cercano nir[14] (Figura 19), que para el momento en la subdirección de catastro no está siendo utilizada a fin de generar alguna clase de información o producto. Para esta investigación es de vital importancia los datos que se encuentran en dicha banda puesto que a partir de la definición y cálculo de índices espectrales sobre esta, entre otras cosas se puede diferenciar la vegetación de tipo arbórea que suele confundirse con las construcciones si se evalúa únicamente información de altura de los objetos.

5.1.5 Espectrómetro red tide USB650

El IGAC dispone de 5 espectrómetros red tid USB650 (Figura 21) destinados para la captura de firmas espectrales de coberturas y objetos con las especificaciones

14 *nir siglas en inglés para near infrrared (infrarrojo cercano)

definidas en (tabla 5). La información espectral capturada por estos dispositivos se procesa con el software spectroscopy Ocean View.

Image Product Specification	
Image format	Analogous to an aerial film image at a format of 23 cm x 15 cm
Image data formats	JPEG; TIFF with options for 8 and 16 bits, scan-line, stripped or tiled
Image format (Level 2)	Full resolution panchromatic, separate color channels at color resolution
Image format (Level 3)	Full resolution (fused) R, G, B, Near-IR channels, planar or pixel-interleaved

Digital Camera Sensor Unit (SU)	
Panchromatic image size	11500 * 7500 pixels
Panchromatic physical pixel (detector) size	9 µm
Physical format of the focal plane	103.5 mm * 67.5 mm
Panchromatic lens focal distance	100 mm
Lens aperture	f= 1/5.6
Field-of-view, cross-track (along-track)	55° (37°)
Color (multi-spectral capability)	4 channels -- RGB & NIR
Color image size (Level 2)	3680 * 2400 pixels
Color physical pixel (detector) size	9 µm
Color lens focal distance	28 mm
Color lens aperture	f = 1/4.0
Color field of view, cross-track (along-track)	61° (42°)
Shutter speed options	1/500 to 1/60 second
Forward-motion compensation (FMC)	TDI-controlled
Maximum FMC-capability	50 pixels
Smallest pixels on the ground at flying height of 300 m (1000 feet)	3 cm (1.1 inch)
Frame rate per second (minimum inter-image interval)	> 1 frame per second
Analog-to-digital conversion at	14 bits
Radiometric resolution in each color channel	better than 12 bit
Physical dimensions of the camera unit	45cm x 45cm x 60 cm
Weight	~45 kg
Power consumption at full performance	150 W

Storage and Computing Unit (SCU)	
In-flight storage capacity	1.5 TB (including mirrored data)
Capacity to collect in-flight uncompressed frames	2692
Storage and computing configuration	Parallel arrangement with multiple CPUs and disks
Data redundancy	Dual disk sets on-board containing mirror images
Data transfer into office environment	Removable, dual use as office post-processor
Physical dimensions	40cm x 55cm x 65 cm
Weight	~ 65 kg
Power consumption at full performance	700 W

Operational Specification	
Max. image collection period: 70% forward overlap, 20 cm GSD (film scale 1:10,000)	~5 hours
Data download from aircraft (for 2692 images)	< 55 minutes (using Mobile Storage Unit)
Data transfer to office	By Mobile Storage Unit (MSU), external disk, or physical transfer of SCU
Post-processing system	Using the SCU or in office network environment
Mounting of the camera	Using adapter ring for current film camera mount, or manual mount
Flight planning support	Compatible with IGI's CCNS, TrackAir and similar systems
Exposure triggering	Manually, automatically, or from external flight management system
Exterior orientation support	Compatible with IGI's Aero-Control, Applanix POS and similar systems
Photogrammetric Production	Compatible with major photogrammetry software suppliers
Image geometric accuracy	< ± 2 µm

Figura 19 Especificaciones técnicas sensor vexcel ultracam fuente tomado de (VEXCEL, 2004)

Figura 20 Aeronave con sensor Vexcel Ultracam fuente: CIAF IGAC

Tabla 5 Especificaciones espectrómetro red tide USB650

Especificación	Valor
Dimensiones	89.1 mm X 63.3 mm X 34.4 mm
Peso	190 gramos
Consumo de Energía	90 Micro amperios 5 Voltios
Detector	Array CCD 2048 elementos lineales
Rango de Detección	350 – 1100 nanómetros
Apertura de entrada	25 micrómetros fenda larga
Longitud focal	42 mm entrada ; 68 mm salida
Resolución óptica	~ 2. 0 nm ancho a media altura
Interfaces	USB 2.0, 480 Mbps (compatible para USB 1.1)

Figura 21 Espectrómetro red tide USB650

5.1.6 Aero-triangulación Digital

Es el proceso de establecer una relación matemática entre las imágenes contenidas en un proyecto, la cámara/sensor y el terreno. Se densifica el control horizontal y vertical a partir de puntos determinados en terreno durante una actividad conocida como foto control (GEOESPACIALES, 2014). Como resultado de este proceso se determinan las coordenadas de los objetos presentes en las aerofotografías con el objetivo de generar un modelo espacial del terreno a escala.

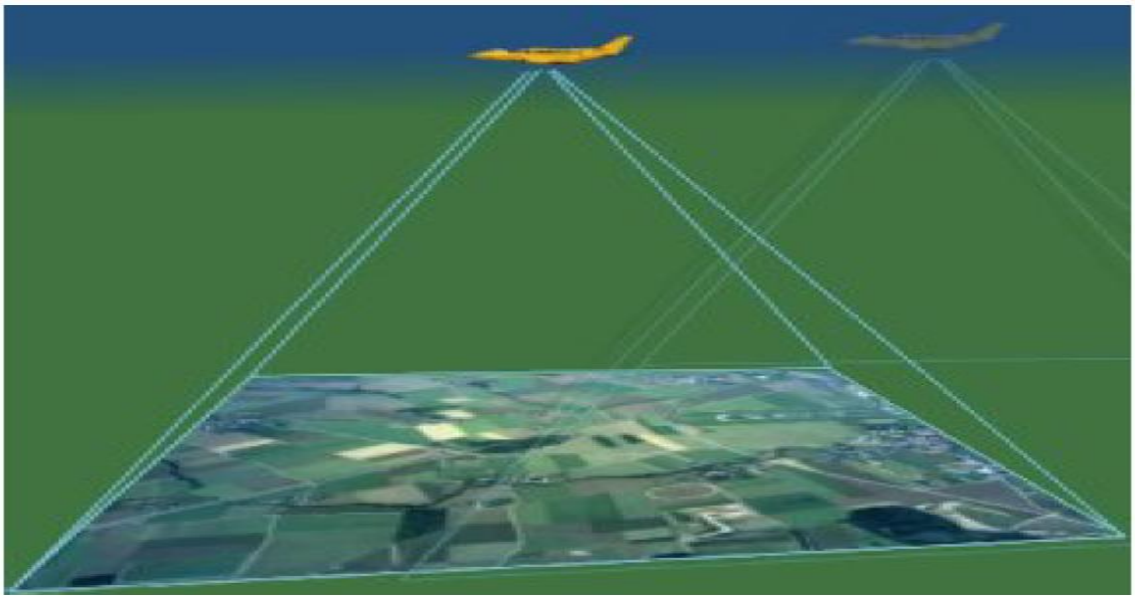


Figura 22 Toma de imágenes aéreas con solapamiento fuente: (Redweik, 2015)

Los siguientes son los datos requeridos para el proceso de Aero-triangulación:

- Aerofotografías digitales en formato *.TIFF
- Certificado de calibración de la cámara
- Esquema de vuelo
- Coordenadas (X, Y, Z, omega, phi, kappa) de los fotocentros (centro de las aerofotografías)

- Listado de coordenadas de los puntos de control (X, Y, Z)
- Identificación de los puntos de control sobre las fotos y descripciones de los mismos

Los datos de coordenadas para cada fotocentro de imagen son obtenidos a partir de la unidad de medición inercial que se encuentra al interior de la aeronave. Los valores omega, phi, kappa corresponden a los ángulos por efectos de aleteo, cabeceo y giro lateral al momento de la toma (Figura 23).

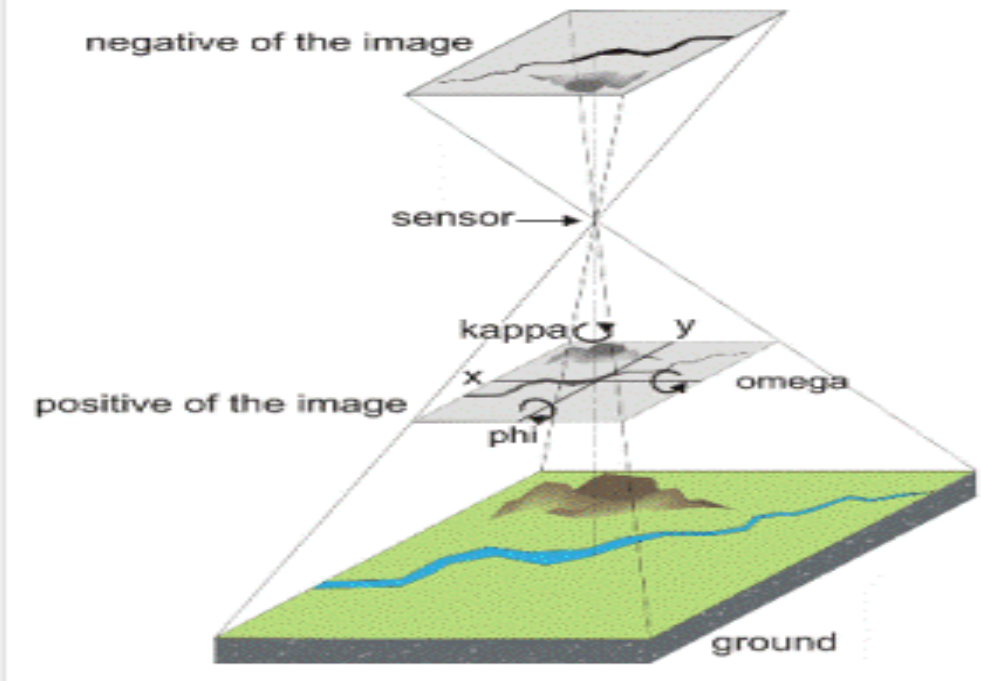


Figura 23 Efectos de aleteo, cabeceo y giro lateral en toma de imágenes aéreas fuente: tomado de (http://www.pcigeomatics.com/geomatica-help/common/concepts/exteriororientation_explaineo.html)

5.1.7 Clasificación de imágenes

Chuvieco (1995) señala que la clasificación supone la fase culminante del tratamiento de una imagen. Los niveles digitales captados por el sensor “solo adquieren sentido cuando son categorizables de tal forma que permita obtener conocimiento de algún territorio, los niveles digitales deben considerarse como medidas relativas, dado que no pueden traducirse exactamente en magnitudes físicas, sino valorarse en forma ordinal para una imagen determinada”. Es decir, no es posible conocer con absoluta precisión el valor de reflectancia que corresponde a cada nivel digital de un píxel, pero si puede afirmar que cuanto mayor sea su valor mayor será la reflectancia de la porción de terreno que representa.

Lira (2010) afirma que en una clasificación de imágenes se parte del supuesto de que diferentes objetos están caracterizados por respuestas espectrales variadas y que una clase de objetos tiene asociada una respuesta espectral promedio denominada firma. Por tanto es factible, segmentar una imagen donde cada región represente una clase espectral formada por objetos de propiedades espectrales similares. La clasificación puede llevarse a cabo de manera puntual, considerando únicamente las propiedades de cada píxel, o en forma contextual, donde un píxel es clasificado con base al contexto espectral donde se encuentra. La clasificación de imágenes puede realizarse bajo un esquema booleano, es decir un píxel pertenece o no a determinada clase o través de una función de membresía que determina la probabilidad de pertenencia de un píxel a una o varias clases. En la actualidad existen varios métodos de clasificación de imágenes agrupados principalmente en tres categorías supervisados, no supervisados y basado en objetos. Los métodos supervisados suponen un cierto conocimiento previo del área de estudio, dado que el intérprete debe delimitar áreas de prueba sobre la

imagen que se consideren suficientemente representativas de las categorías a clasificar (Chuvieco, 1995). Posteriormente el computador calcula estadísticas elementales de cada categoría: media, mediana, desviación estándar, varianza entre otras por cada una de las bandas, dichas medidas constituyen una caracterización categórica a partir de las cual se clasificaran todos los píxeles de la imagen. Por su parte los métodos de clasificación no supervisada parten de la premisa que los niveles digitales forman conglomerados lo suficientemente nítidos para ser atribuidos a una categoría o clase de píxeles. Se componen básicamente de tres pasos:

- Selección de variables que intervienen en el análisis
- Definición de criterios para medir la separación entre clases o categorías de píxeles
- Selección uno o varios criterios para agrupar píxeles con similitud en las medidas

A comienzos del siglo XXI surge una novedosa metodología de clasificación para analizar tanto imágenes satelitales como aéreas que fue desarrollada por (Blaschke, Lang, y Hay , 2008). Bajo este enfoque la clasificación se realiza por conjuntos de píxeles y no por píxel individual, los objetos se forman a partir de grupos píxeles que tienen similares medidas espectrales, texturales, contextuales y geométricas. Dichos objetos pueden corresponder o no a entidades del mundo real, precisamente es a través de un proceso iterativo con el que se logra el reconocimiento y/o extracción de objetos reales en una imagen pasando por una serie de abstracciones lógicas. El punto de partida del análisis basado en objetos es la segmentación que divide una imagen en objetos primitivos (Benz, Hofmann, Willhauck, Lingenfelder, y Heynen, 2003) o sea grupo de píxeles que no necesariamente corresponden a objetos reales.

5.1.8 Conocimiento A Priori

Dentro de la terminología del análisis basado en objetos el conocimiento a priori es el nivel de referencia que tiene el intérprete sobre la imagen. En el caso del análisis basado en objetos la interpretación se hace a través de un software procesador de reglas de análisis definidas a partir del conocimiento previo de los objetos que se pretenden detectar y las características que permiten diferenciarlos de su entorno desde una perspectiva de visión humana, pero que deben traducirse a medidas espectrales, texturales, geométricas y contextuales que pueda evaluar la computadora para asimilar el nivel de abstracción humana.

5.1.9 Estrategia De Procesamiento Arriba-Abajo

Es uno de los dos enfoques de procesamiento para el análisis basado en objetos, consiste básicamente en comenzar a dividir la imagen en objetos de gran tamaño conceptos abstractos u objetos primitivos (Benz, Hofmann, Willhauck, Lingenfelder, y Heynen, 2003) algunas veces en forma sucesiva hasta alcanzar objetos de menor tamaño que correspondan a entidades físicas del mundo real. Cada iteración de procesamiento puede o no dar lugar a un nivel de objetos diferente, sobre dicho nivel se puede ejecutar reglas de análisis y su operación puede propagarse a niveles inferiores.

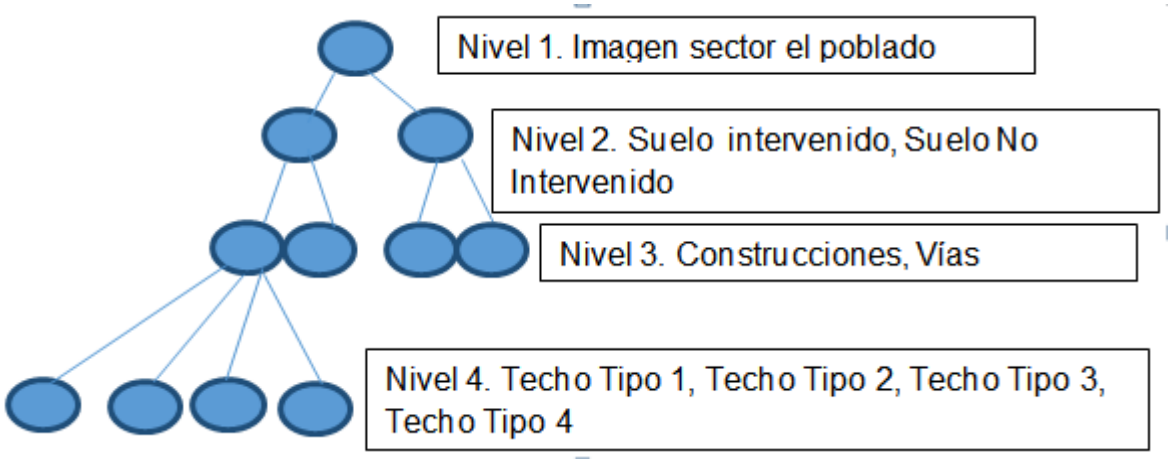


Figura 25 Procesamiento por niveles de objetos

5.1.10 Objetos Primitivos u Objetos de Imagen

Son píxeles que se agrupan por cuanto presentan valores similares en una o varias medidas espectrales, texturales, geométricas y contextuales pueden o no corresponder a entidades físicas, pero su principal objetivo es restringir el número de datos (píxeles) sobre el que se debe o no aplicar las sucesivas reglas de análisis.

5.1.11 Regla de análisis basada en objetos

Es un proceso aplicado sobre un nivel específico de objetos de imagen, con la posibilidad o no de filtrar la clase de objetos a procesar y estableciendo medidas espectrales, texturales, geométricas y contextuales para evaluar valores umbrales en el marco de ejecución de un algoritmo de procesamiento basado en objetos (pareja medida-valor originan parámetro de condición).

5.1.12 Algoritmo De Procesamiento Basado En Objetos

Estos algoritmos permiten la creación actualización o eliminación de objetos a partir de la evaluación de las diferentes medidas, se encuentran agrupados en las siguientes categorías: procesamiento de relaciones entre objetos, segmentación de objetos, clasificación básica de objetos, clasificación avanzada de objetos, operación de variables de objetos, reorganización básica y avanzada de objetos, reorganización basada en píxeles, operación sobre capa de imágenes.

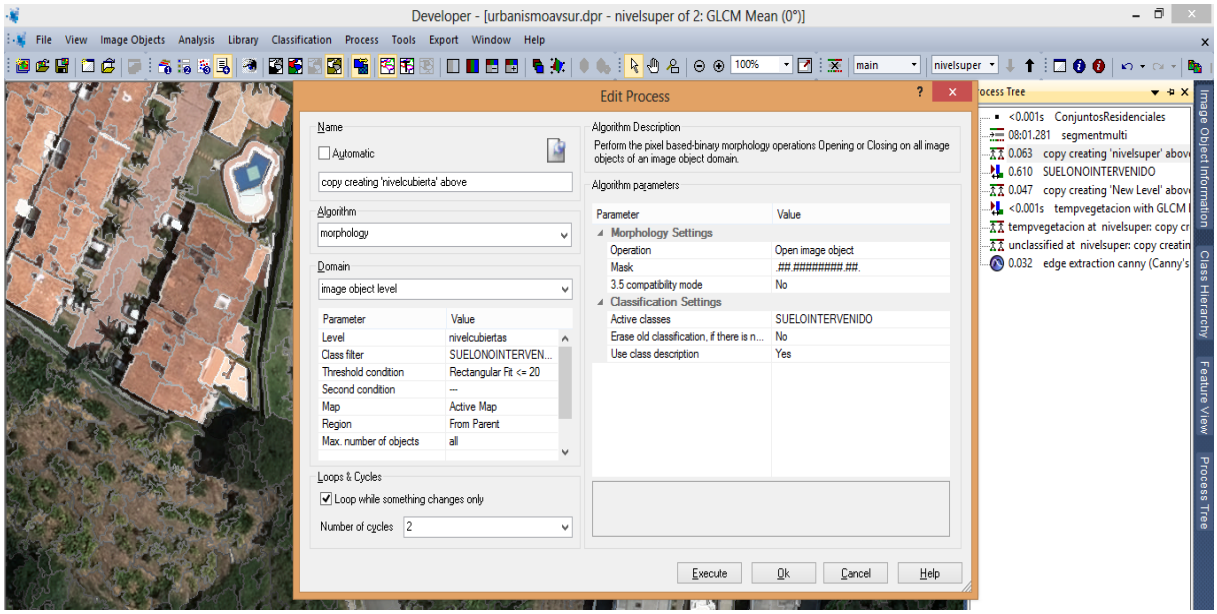


Figura 24 Edición de regla de análisis en software eCognition fuente: elaboración propia

5.1.13 Parámetros De Condición

Hacen referencia a la evaluación de una determinada medida con su respectivo valor sobre los píxeles agrupados en el nivel de objeto a procesar, las medidas están agrupadas en 4 categorías:

Medidas Espectrales (evaluadas durante la investigación)

Índices de áreas construidas (Mhangara p. , Odindi, Kleyn, y Remas, 2010)

$$\text{BAI} = \frac{\text{banda azul} - \text{banda infrarrojo cercano}}{\text{banda azul} + \text{banda infrarrojo cercano}} \quad (4)$$

Índice de agua de diferencia normalizada (Navulur, 2007)

$$\text{NDWI} = \frac{\text{banda verde} - \text{banda infrarrojo cercano}}{\text{banda verde} + \text{banda infrarrojo cercano}} \quad (5)$$

Índice de vegetación de diferencia normalizada (Tucker, 1979)

$$\text{NVDI} = \frac{(\text{banda infrarrojo cercano} - \text{banda roja}))}{(\text{banda infrarrojo cercano} + \text{banda roja}))} \quad (6)$$

Ratio banda roja/banda azul (Vijjapu, 2013)

$$\text{Ratiorojo_azul} = \frac{\text{banda roja}}{\text{banda azul}} \quad (7)$$

Ratio banda infrarrojo cercano/banda azul (Vijjapu, 2013)

$$\text{Rationir_azul} = \frac{\text{banda infrarrojo cercano}}{\text{banda azul}} \quad (8)$$

Ratio banda roja / banda verde (Vijjapu, 2013)

$$\text{Ratiorojo_verde} = \frac{\text{banda roja}}{\text{banda verde}} \quad (9)$$

Intensidad (Vijjapu, 2013)

$$\text{Intensidad} = \frac{\text{bandas (azul} + \text{verde} + \text{rojo} + \text{infarrojo cercano)}}{4} \quad (10)$$

Intensidad 2 (Vijjapu, 2013)

$$\text{Intensidad2} = \frac{\text{bandas (verde} + \text{rojo} + \text{infrarrojo cercano)}}{4} \quad (11)$$

Índice de ratio de agua (Navulur, 2007)

$$\text{WRI} = \frac{\text{bandas (Azul} + \text{verde} + \text{rojo} + \text{nir)}}{4} \quad (12)$$

Medidas de Textura propuestas por (Haralick, Shanmugam, y Dinstein, 1973)

$$\text{media} = \sum_{i,j=0}^{N-1} ip(i,j) \quad (13)$$

$$\text{contraste} = \sum_{i,j=0}^{N-1} i\, p(i,j)(i-j)^2 \quad (14)$$

$$\text{varianza} = \sum_{i,j=0}^{N-1} i\, p(i,j)(i-\text{media})^2 \quad (15)$$

$$\text{segundo momento angular} = \sum_{i,j=0}^{N-1} i[p(i,j)]^2 \quad (16)$$

$$\text{correlacion} = \sum_{i,j=0}^{N-1} i\, p(i,j) \left(\frac{(i - \text{media})(j - \text{media})}{\sqrt{\text{varianzai} * \text{varianzaj}}} \right) \quad (17)$$

Tabla 6 Medidas contextuales y geométricas Fuente tomado de (Trimble Germany, 2014)

Geométricas	
Longitud	La longitud combinada de todos los límites del objeto de imagen, incluyendo los límites de los espacios no clasificados
Compacidad	Una medida que indica la compacidad del objeto de imagen. Un círculo es la forma más compacta con un valor de 1 / pi. El valor de la compacidad de un cuadrado es $\frac{\sqrt{pi}}{2}$
Convexidad	Los objetos de imagen son convexos o cóncavos. Este atributo mide la convexidad del polígono. El valor de la convexidad de un polígono convexo sin agujeros es de 1,0, mientras que el valor para un polígono cóncavo es menor que 1,0. Convexidad = longitud

	del casco convexo / Longitud
Redondez	Una medida de forma que compara el área del objeto de imagen al cuadrado del diámetro máximo del polígono. El "diámetro máximo" es la longitud del eje mayor de un cuadro delimitador que encierra el objeto de imagen. El valor de la redondez de un círculo es 1, y el valor de un cuadrado es 4 / pi. Redondez = 4 * (Zona) / (pi * Major_Length2)
Índice de Forma	Una medida de forma que compara el área del objeto de imagen con respecto al perímetro total. El valor del factor de forma de un círculo es 1, y el valor de un cuadrado es pi / 4. Índice de Forma = 4 * pi * (Zona) / (perímetro total) 2
Elongación	Una medida de la forma que indica la relación del eje mayor del objeto de imagen al eje menor del mismo. Los ejes mayor y menor se derivan de un cuadro delimitador orientado que contiene el polígono. El valor de alargamiento de un cuadrado es 1,0, y el valor para un rectángulo es mayor que 1,0. Elongación = Longitud Mayor / Longitud Menor
Encaje Rectangular	Una medida de forma que indica que

	tan bien es descrito por un rectángulo el objeto de imagen. Este atributo compara el área del polígono al área del cuadro delimitador orientado que encierra el polígono. El valor de ajuste rectangular para un rectángulo es 1,0, y el valor de una forma no rectangular es menor que 1,0. Encaje Rectangular = Area_objeto Imagen / (Longitud Mayor * Longitud Menor)
Dirección principal	El ángulo subtendido por el eje mayor del objeto de imagen y el eje x en grados. El valor de la dirección principal varía de 0 a 180 grados. 90 grados es Norte / Sur, y de 0 a 180 grados es este / oeste.
Longitud Mayor	La longitud del eje mayor de un cuadro delimitador orientado que encierra el objeto de imagen. Los valores son las unidades de mapa del tamaño de píxel.
Longitud Menor	La longitud del eje menor de un cuadro delimitador orientado encierra el objeto de imagen. Los valores son las unidades de mapa del tamaño de píxel. Si la imagen no está georeferenciada, a continuación se presentan unidades de píxel.
Número de Agujeros	El número de agujeros en el objeto de

	imagen. Valor entero.
Área agujeros / Area_Solida	La proporción de la superficie total del objeto de imagen a la zona del contorno exterior del mismo. El valor de la relación sólida agujero para un objeto de imagen sin agujeros es de 1.0. área agujeros / área Solida = Área / zona de contorno exterior
Contextuales	
Relación a objetos vecinos	Se usa para describir la relación de un objeto de imagen con otros objetos de imagen en una clase dada y en su mismo nivel.
Relación a subobjeto	Se usa para describir la relación de un objeto de imagen con otros objetos del mismo o inferior nivel. Puede usarse para evaluar la información en subes cala ya que al descender de nivel la resolución de los objetos de imagen incrementa
Relación a superobjeto	Se usa para describir la relación de un objeto de imagen con otros objetos de superior nivel para una clase dada.
Relación a clasificación	Se utiliza para obtener información acerca de la actual o potencial clasificación de un objeto de imagen.
Detección de Bordes	La información generada a partir de

	filtros de convolución para detectar bordes puede ser considerada como información de contexto, por cuanto un borde describe un cambio abrupto en una región de píxeles del que se puede inferir la presencia de más de un objeto. Entre los métodos más conocidos están Sobel, Gabor, Canny.
Tratamiento de sombras - contraste de bordes hacia objetos vecinos - diferencia media a objetos vecinos.	La detección de sombras es también muy útil para la confirmación o descarte de presencia de objetos. Por ejemplo una sombra con ancho considerable y un alto mínimo podría significar la presencia de una construcción de gran altura compartiendo borde con la sombra.

5.1.14 Segmentación Multiresolución De Imágenes

Este algoritmo minimiza localmente la heterogeneidad media de objetos en una imagen para una resolución dada. Puede ser ejecutada inicialmente a nivel de píxeles o sobre niveles de objetos de imagen presentes. El procedimiento comienza con objetos de tamaño de un píxel y repetidamente va fusionando píxeles en varios bucles más píxeles objetos de imagen siempre y cuando no se supere el umbral de homogeneidad. Este criterio de homogeneidad es definido como una combinación de homogeneidad espectral y de geometría, termina siendo influenciado por la modificación del parámetro de escala que define que tan grandes o pequeños resultan los objetos de imagen (Trimble Germany, 2014)

5.1.15 Procesos en Segundo plano Windows Server 2008

Los procesos computaciones en el sistema operativo Windows server 2008 pueden administrarse de tal forma que utilicen determinados recursos de memoria y disco con mayor prioridad unos que otros de acuerdo a intereses específicos. Dicho sistema operativo permite el trabajo en diferentes planos de proceso permitiendo por ejemplo la ejecución en segundo plano de una aplicación con el mínimo uso de memoria y procesador requerido. También crear varias instancias del mismo proceso sin producir ninguna clase de bloqueo por el uso del procesador o la memoria.

5.1.16 XML

Es un lenguaje de marcado extensible utilizado como estándar de la industria de software ya que permite la lectura, almacenamiento e intercambio de información en distintas plataformas de sistemas operativos (Windows, Linux, Macintosh entre otras). En el campo de la geomática se ha extendido ampliamente su uso e inclusive existe una extensión para datos geográficos denominado lenguaje de marcado geográfico GML.

5.1.17 Algoritmo de optimización para separación de características

Es un algoritmo que busca la mejor combinación de descriptores, medidas y/o características para la separación y clasificación de un número seleccionado de clases usando el método de vecino cercano. El algoritmo a partir de muestras de segmentos u objetos para cada clase calcula distancias euclidianas en un espacio cuya dimensión está dada por las características evaluadas.

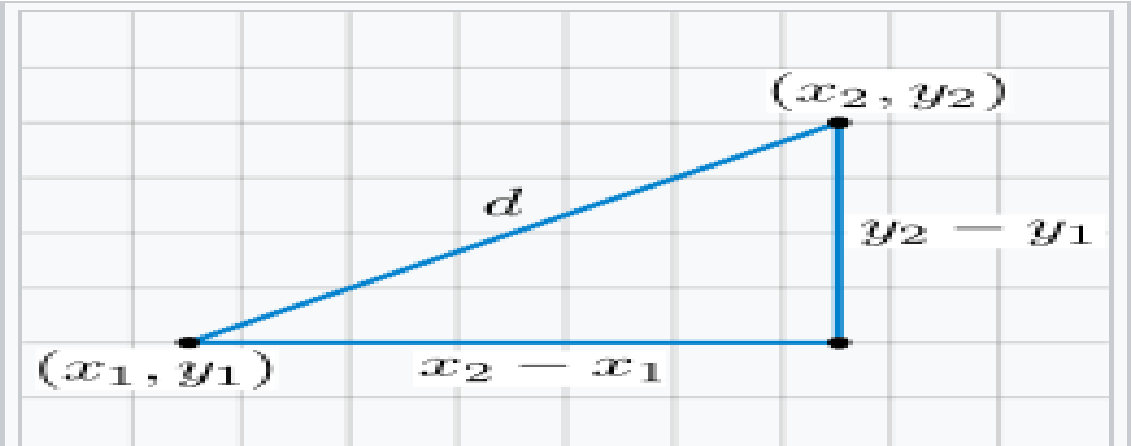


Figura 25 Calculo de Distancia euclidiana a partir de teorema de Pitágoras fuente tomado de (Wikipedia, 2016)

Donde 'X' corresponde a la característica a cuantifica ej.: media de la banda roja y 'Y' el valor para esa característica la distancia euclidiana d_E viene dada por la siguiente ecuación:

$$\mathrm{dE(x,y)} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \tag{18}$$

El cálculo de las distancias d_{ij} de una clase i a una clase j se realiza tomando cada muestra de la clase i y buscando la muestra de la clase j para la característica especifica que tenga la distancia euclidiana más corta es decir su vecino más cercano. Paso seguido se toma cada muestra de la clase j y se busca la muestra de la clase i con la que tenga la menor distancia euclidiana. Los resultados obtenidos se suman y dividen sobre el número de combinaciones para obtener la distancia euclidiana promedio. Para encontrar la mejor combinación de características el algoritmo computa las distancias de separaciones para cada

característica en la respectiva clase y selecciona la más alta (Trimble Germany, 2014).

5.1.18 Calibración empírica lineal.

El método de corrección empírica lineal obliga a que los valores de radiancia expresados de niveles digitales de la imagen concuerden con los valores de reflectancia de los espectros tomados en campo. Dos o más objetos en el terreno son identificados y su valor de reflectancia medidos en campo, considerando tener al menos uno que se encuentre en un área muy clara y otro en una muy oscura. Esos mismos objetos deben identificarse en la imagen para extraer un espectro promedio en niveles digitales, para posteriormente aplicar un regresión lineal entre los valores de reflectancia y los de radiancia (expresados en niveles digitales) determinando una transformación de valores de radiancia a reflectancia aparente por cada píxel en cada banda de la imagen (HARRIS GEOSPATIAL SOLUTIONS, 2016).

5.1.19 Catastro

El inventario o censo, debidamente actualizado y clasificado, de los bienes inmuebles pertenecientes al Estado y a los particulares, con el objeto de lograr su correcta identificación física, jurídica, fiscal y económica es denominado catastro (INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI COLOMBIA, 2010).

El catastro de bienes inmuebles ha venido siendo el responsable de determinar la radiografía predial en el territorio y reflejarla en sus bases de datos. Sus propósitos son: contribuir con la seguridad jurídica de los derechos reales, particularmente

dominio o propiedad; coadyuvar al fortalecimiento de los fiscos locales; y facilitar la toma de decisiones públicas y privadas, particularmente para la planeación del territorio (IGAC, 2012).

En Colombia se han establecido de tiempo atrás los procesos de formación, actualización de la formación y conservación catastral, para levantar, renovar y mantener el censo o inventario de los inmuebles pertenecientes al Estado y a los particulares, en sus elementos físico, jurídico y económico.

Se entiende por actualización catastral permanente el conjunto de actividades destinadas a renovar “continuamente” los datos del censo o inventario catastral en sus aspectos físico, jurídico y económico, conforme con la “dinámica inmobiliaria”. Dinámica inmobiliaria que refiere a las transformaciones que experimentan los bienes inmuebles en sus elementos físico y jurídico o a las transacciones que sobre ellos se realizan o asocian.

La dinámica inmobiliaria física o constructiva atañe a las transformaciones que van experimentando los bienes inmuebles en un espacio geográfico determinado, en otros términos, los cambios o variaciones que se van dando en el elemento físico del Catastro.

Estas transformaciones generalmente tienen lugar cuando se ejecutan actos materiales sobre los predios; pueden ir desde un aumento en la construcción (expresado en metros cuadrados), con o sin licencia, como sucede con los típicos casos de autoconstrucción, hasta los desarrollos urbanísticos formales de quienes como titulares del derecho real de dominio y a partir de la norma urbana o de uso del suelo, tornan efectivos sus derechos de urbanizar y edificar, siguiendo todos los protocolos legal y reglamentariamente establecidos.

5.1.20 Pre-Censo Catastral

El pre-censo catastral corresponde a la inspección de todos los predios de una unidad orgánica catastral o parte de esta, para encontrar diferencias entre la información de la base de datos catastral, gráfica y alfanumérica, y la realidad observada (nuevos desarrollos, mayores áreas construidas, cambios de uso o de destino económico, demoliciones, avances de obra, etc.). Inspección, que como se anotó, permitirá validar o desechar adicionalmente marcas de predios que se dieron como consecuencia del diagnóstico de base de datos y análisis de otras fuentes de información.

Agotadas las labores de diagnóstico de base de datos, análisis de otras fuentes de información y pre-censo o pre-reconocimiento, se generarán marcas definitivas en la base de datos del Catastro de los predios que han de reconocerse predialmente.

Con estas marcas debidamente georeferenciadas, se prepararán los operativos de campo del reconocimiento predial. Las marcas deben clasificarse para facilitar la labor del reconocedor, sin perjuicio que este detecte y recoja información adicional cuando esté adelantando el trabajo de campo. Se sugiere, en consecuencia, la codificación de las posibles marcas.

5.1.21 Manzana catastral

Es una área conformada por varias edificaciones ubicadas de forma contigua se delimita por calles, avenidas o carreras en la parte urbana. Para el caso rural se caracteriza por tener una disposición dispersa de edificaciones y se encuentra delimitada más propiamente por drenajes, senderos artificiales, caminos o vías públicas (INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI COLOMBIA, 2010)

5.2 ESTADO DEL ARTE

Haralick y colaboradores (1973) proponen una metodología para la segmentación de imágenes basado en la determinación de relaciones espaciales de los píxeles con su entorno, representadas como medidas estadísticas de segundo orden (Ej. entropía, disimilaridad, segundo momento angular, correlación, media, varianza, contraste entre otras) que contribuyan a la diferenciación de patrones de textura que conlleven a identificar objetos específicos dentro de una imagen.

Desde un principio la investigación relacionada con el procesamiento de imágenes siempre se ha enfocado en encontrar la similitud con la forma en que el ojo humano y el cerebro interpretan las señales visuales.

Existen tres tipos de patrones que el sistema de visión humano utiliza para la diferenciación de objetos, a saber: Los relacionados con el comportamiento espectral, las texturas y el contexto que rodea dichos objetos. El comportamiento espectral de un objeto hace referencia a la variación promedio de las tonalidades de gris en las bandas del visible e infrarrojo del espectro electromagnético. “Las texturas dentro de una imagen hacen referencia a la distribución espacial de variaciones de tonos dentro de una banda” (Haralick, Shanmugam, y Dinstein, 1973). “Por su parte el contexto hace referencia a bloques de datos gráficos circundantes al área visual que está siendo analizada” (Haralick, et al., 1973)

Shackelford y Davis (2003) proponen un método de clasificación basado en valores de membresía conjuntamente con lógica difusa para parejas de clases que presentan altos niveles de confusión en una típica escena urbana como es el caso de las construcciones y las vías hechas con asfalto, además de clasificar árboles y césped por separado. Un conjunto de datos de una imagen IKONOS provenientes de las bandas pancromática y del rango espectral visible son analizados para dos

localidades urbanas Columbia y Springfield en el estado Norteamericano de Misuri. Inicialmente realizaron una clasificación tradicional de máxima probabilidad donde alcanzaron un exactitud del 79% presentando los mayores porcentajes de confusión las construcciones y vías hechas a base de asfalto dado su similar comportamiento espectral. Durante la investigación una serie de diferentes medidas de textura fueron calculadas al tiempo que una medida de longitud contextual denominada longitud/anchura se desarrolló. Estas medidas espaciales se utilizaron para aumentar la discriminación entre las clases espectralmente similares, produciendo de este modo mayor precisión en los mapas de cobertura para el sector urbano. Por último, un enfoque de clasificación difusa utiliza tanto información espectral como espacial fue probado. Esta técnica mostro un aumento en la discriminación de clases espectralmente similares de cobertura del suelo urbano del orden de 8% con respecto al método de clasificación de máxima probabilidad.

Benz y colaboradores (2003) afirman que el enfoque orientado a objetos puede contribuir a potenciar el análisis automático y semiautomático para la mayoría de aplicaciones de teledetección. Siempre y cuando se use en forma sinérgica con los métodos basados en píxeles o procesamiento estadístico de señales para obtener variados contenidos de información. Dentro del estudio detallaron estrategias para combinar la implementación de análisis de imágenes orientados a objetos con métodos basados en lógica difusa constituyendo adecuadamente un sistema de conocimiento experto. Hacen especial hincapié en la diferencia entre el concepto de primitivas de objetos[15] y objetos reales especificando las consideraciones necesarias de conformidad al nivel de escala en el que se pretender realizar la clasificación de imágenes.

15 *Concepto que señala que un grupo de píxeles no necesariamente corresponde a un objeto de la vida real

Heinrich y Garcia (2009) presentaron una clasificación basada en objetos para la detección de asentamientos informales utilizando una imagen del sensor QuickBird II. El área de estudio fue la favela paraisópolis, la segunda más grande de São Paulo. Realizando una clasificación de coberturas terrestres aislaron las áreas donde existían dichos asentamientos informales urbanos. Como resultado de este trabajo se definieron funciones de membresía a clases de píxeles en base a juicios cognitivos producto de la interpretación visual de los asentamientos informales en la Imagen.

En un estudio realizado por Heinrich y Araújo (2010) tomaron como referencia dos escenas del sensor QuickBird de los años 2002 y 2004 para la ciudad de belo horizonte, Brasil, utilizan técnicas de clasificación de imágenes basada en objetos, consideraciones geológicas, geotécnicas y datos de legislación urbana implementados sobre un sistema de información geográfica. Ambas escenas fueron ortorectificadas usando un modelo de ajuste geométrico riguroso. La información espacial fue generada considerando cambios en áreas de coberturas entre los dos periodos de tiempo, entregando información con respecto a uso del suelo, ocupación irregular de la tierra, áreas con alto riesgo de erosión y deslizamientos, así como un análisis de daños potenciales a la población y sus propiedades.

Brasil como la mayoría de países en desarrollo demanda gran cantidad de herramientas tecnológicas que le permitan monitorear, analizar e intervenir en el proceso de planeación de sus ciudades. Especialmente regiones metropolitanas como Belo Horizonte y más puntualmente su capital minas giráis. Con el advenimiento de sistemas de satélite de alta resolución como QuickBird y técnicas de clasificación de imágenes basadas en objetos se vienen proporcionando procedimientos eficientes para el análisis y mapeo del uso del suelo. Este nuevo paradigma de clasificación de imágenes utilizo relaciones de contexto, jerarquías y lógica difusa. Este análisis multitemporal a su vez incorporo datos vectoriales

auxiliares que permitieron generar información espacial para inferir aspectos subsidiarios de la planificación urbana.

Wuest y Zhang (2009) presentaron un método para la segmentación de cobertura de suelo mediante ratios de bandas del visible e infrarrojo cercano y lógica difusa basados en medidas de comparación. Utilizando un algoritmo de refinamiento en la división y unión basada en regiones denominado algoritmo difuso para la jerarquización de relación de bandas. En este enfoque, el desarrollo de descripción para clases y comparación de regiones se determina de forma dinámica, en contraste con el desarrollo de la clase estática a través de relación de bandas. La Teoría difusa de resonancia adaptativa se emplea para la clasificación dinámica debido a sus capacidades de auto-organización no supervisada y la capacidad para estimar las clases sin parámetros iniciales. La hipótesis de este enfoque es proveer segmentación de cobertura de suelo a una gama más amplia de escenas de imagen de satélite.

Mhangara y colaboradores (2010) proponen el uso de varios indices espectrales calculados sobre las bandas verde,rojo e infrarrojo cercano junto al segundo momento angular sobre la banda azul y densidad geometrica de los segmentos surgidos a partir de la aplicación del algoritmo de segmentación por multiresolución. Con el objetivo de extraer vias asfaltadas en una imagen aerea de la ciudad de Cape Town, South África. Utilizando el índice de áreas construidas BAI (4) para detectar superficies de asfalto y/o concreto junto a el índice de agua de diferencia normalizada NDWI(5) para clasificar segmentos correspondientes a cuerpos de agua.

Ouma y colaboradores (2010) proponen una metodología de trabajo para la detección automática de construcciones cuya área de estudio fue un recorte de 1024 x 1024 píxeles de la imagen del sensor QuickBird para el casco urbano de la ciudad de Chiba, Japón. La imagen está compuesta por las respectivas bandas

del espectro visible (Azul, Verde, Rojo) banda de infrarrojo cercano y banda pancromática a las cuales se les aplico un procesamiento de remuestreo para que tuviesen una resolución espacial de 1 metro. Se tomó la banda pancromática y se le calcularon 14 descriptores de textura (Haralick,et al., 1973) que fueron sometidos posteriormente a un proceso de optimización de análisis de componentes principales para pasar de 14 a 3 bandas generadas. Para la banda pancromática también se aplica la transformada de wavelets de donde se obtienen dos imágenes sobre los que se calcula una matriz de ocurrencia de grises que permite diferenciar correctamente los bordes de los objetos presentes en la imagen y más específicamente las construcciones. Las bandas resultantes de los anteriores procesamientos junto con las iniciales del visible y los píxeles de muestra son ingresadas a un clasificador de máxima probabilidad para ser entrenado en el reconocimiento de las siguientes clases de objetos:

- Construcciones Residenciales
- Construcciones Comerciales/Industriales
- Parqueaderos
- Vías
- Zonas Verdes

Vijjapu (2013) realiza un análisis basado en objetos de una imagen IKONOS de la ciudad de Dehradun, India adquirida en el 2008 que cubre una extensión 27.486.360 m^2 , compuesta por 5 bandas 3 en el visible (resolución 4 metros) , una infrarroja (resolución 4 metros.) y una pancromática (1 metro). Las bandas del visible son fusionadas con la pancromática con el fin de tener una imagen multiespectral de un (1) metro de resolución espacial.

Esta imagen es subdividida en escenas de 500 X 500 píxeles con el fin de facilitar su procesamiento, inicialmente a cada escena se le aplica segmentación multiresolución realizando sucesivos experimentos para obtener los valores de

parámetros de forma, color, suavidad y compacidad que generen segmentos con la forma más similar a las construcciones. Una vez se obtienen dichos segmentos se aplican filtros de canny[16] para resaltar los bordes de las construcciones. A fin de ir diferenciando otros objetos como césped, arboles, suelo, agua y vías de las construcciones se calcularon diferentes índices como vegetación normalizada, diferenciador vegetación de agua y ratios entre las diversas bandas. Finalmente se extraen objetos de tipo construcción aplicando funciones de valor de membresía basando principalmente en parámetros de índice de forma y densidad.

Benarchid y colaboradores (2013) realizan una extracción automática de construcciones en la ciudad de Tetuán, México usando un enfoque basado en objetos junto con información de sombras de imágenes multiespectrales de alta resolución. La clasificación basada en objetos tiene la siguiente secuencia, se realiza una segmentación de grupos de píxeles por cambio de media para posteriormente seleccionar unas construcciones de muestras que serán analizadas por un algoritmo de máquina de soporte vectorial con el fin de reconocer patrones. Plantean una fórmula para definir áreas de sombra basada en medición de invariancia donde conociendo el ángulo de azimut solar se logra descartar o confirmar la presencia de construcciones determinado si comparten bordes.

Kovacs y Sziranyi (2013) Proponen un método para la detección de construcciones en imágenes aéreas, calculando puntos de gradiente a través de un algoritmo para detección de bordes y esquinas que desarrollaron en una investigación anterior. Esto permite definir la orientación principal de puntos característicos analizando el valor de sus gradientes locales dichos puntos dibujan contornos que describen las formas de las construcciones y permiten una diferenciación muy clara con los demás objetos presentes como calles y árboles.

16 *Filtro de canny algoritmo para la detección de bordes en las imágenes.

Arvor y colaboradores (2013) realizan una evaluación de dos métodos para seleccionar el conjunto de características (espectrales, texturales, contextuales) óptimo para obtener la mejor clasificación de una imagen de la isla francesa de reunión en el océano indico, separándola en dos clases urbano y no urbano. La información base utilizada es una mapa de coberturas generado mediante un previo análisis basado en objetos. El primer método de optimización de características es el de separabilidad y umbral propuesto por (Nussbaum, Niemeyer, y Canty, 2006). Basado en el cálculo de la distancia Jeffries-Matusita (JM) que mide la distancia de separabilidad entre dos clases para una característica específica (Ej. Índice normalizado de vegetación NVDI[17]). El segundo método es el de extracción recursiva de características apoyada en máquinas de soporte vectorial. Este algoritmo fue propuesto por (Guyon, Weston, Barnhill, y Vapnik, 2002) y permite generar un ranking de características a partir de la aplicación de un kernel lineal sobre muestras de datos. Los dos métodos presentan listas de características ordenadas a partir del criterio de separabilidad entre la clase urbana y no urbana ordenadamente de mayor a menor. En ambos enfoques se va evaluando la clasificación empezando por la primera característica del ranking, luego las dos mejores posteriormente las 3 primeras y así sucesivamente, hasta cuando se pueda observar que se pierde una tendencia en la obtención de un mayor grado de exactitud. Este estudio demostró que con un conjunto menor a 9 características tanto el clasificador basado en reglas como el de máquina de soporte vectorial identificaría tanto el suelo urbano como el no urbano con una exactitud superior al 92%

17 *Siglas en inglés para índice normalizado de vegetación

6. MARCO METODOLÓGICO

El desarrollo metodológico dentro de la investigación se define como de tipo cuantitativo experimental, se esquematiza por un flujo de procesos (Figura 26) que implica entrada y procesamiento de datos para posteriormente generar información de productos concretos por ejemplo imágenes, modelos digitales, listados entre otros.

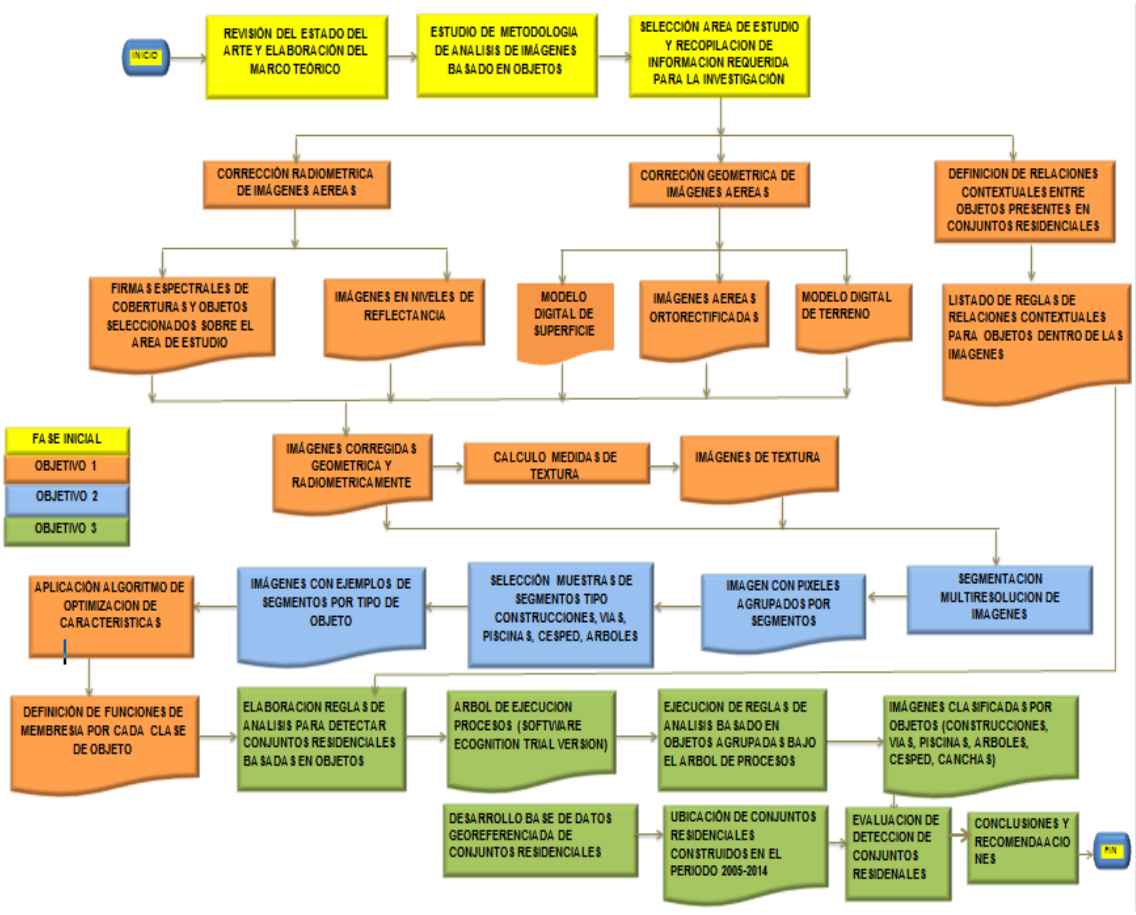


Figura 26 Diagrama de Flujo de Metodología

6.1 REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE Y ELABORACIÓN DEL MARCO TEÓRICO

Como paso previo al desarrollo de la investigación se realizó la consulta y lectura de varios artículos científicos, donde se exponía el desarrollo de investigaciones que buscaban principalmente la detección de construcciones en imágenes bajo diferentes enfoques de clasificación tanto basados en píxeles como basado en objetos.

Se optó por el enfoque del análisis de imágenes basado en objetos ya que de acuerdo a los trabajos de investigación consultados ha proporcionado excelentes resultados en el reconocimiento y extracción de objetos, ofreciendo una perspectiva de comprensión de las imágenes a partir de las relaciones existentes entre los objetos presentes en las mismas y sus propios atributos (espectrales, texturales, contextuales, geométricos).

6.2 ESTUDIO DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE IMÁGENES BASADO EN OBJETOS

El estudio de la metodología de análisis de imágenes basado en objetos se realizó siguiendo los conceptos, técnicas y explicaciones del libro de (Navulur, 2007) para análisis multiespectrales, que viene acompañado de variadas ilustraciones y ejemplos de proyectos de procesamiento de imágenes basado en reglas de análisis sobre objetos realizado en el software eCognition de trimble.

6.3 SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN REQUERIDA PARA LA INVESTIGACIÓN.

Para la investigación se procesaron 251 imágenes Vexcel Ultracam D,

correspondientes a 3 áreas de estudio ubicadas en los municipios de Pereira y Dosquebradas en el departamento de Risaralda Colombia, tomadas el 29 de enero y 12 de mayo de 2015 en 9 líneas de vuelo en el horario comprendido entre 11:00 am y 2 p.m. Dichas imágenes no se encontraban corregidas ni geométrica ni radiométricamente, la corrección geométrica se realizó colectando puntos de control de terreno a partir de dos imágenes de referencia orto-rectificadas de los municipios de Pereira (2007) y Dosquebradas (2009). Esta labor se realizó acatando lo definido por la guía técnica de corrección geométrica del software PCI Geomatics (PCI Geomatics Enterprises, 2016), donde se señala se deben colectar como mínimo 3 puntos de control de terreno cada 5 modelos estereoscópicos e igual o mayor número de puntos de amarre en aquellas zonas donde se presente el solapamiento entre imágenes.

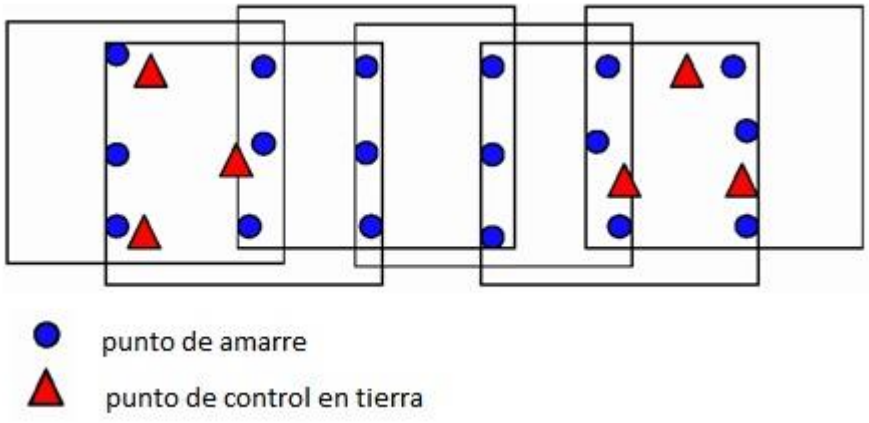


Figura 27 Distribución de Puntos de Control en Tierra y Puntos de Amarre Fuente: Tomado de (Guía Técnica Corrección Geométrica PCI Geomatics, 2006)

6.4 CORRECCIÓN GEOMÉTRICA DE IMÁGENES VEXCEL ULTRACAM D

La corrección geométrica de las imágenes Vexcel Ultracam D se hizo conforme el

flujo de trabajo propuesto por la guía de entrenamiento de la solución geo procesamiento GXL (PCI Geomatics Enterprises, 2016) utilizada para tal labor.

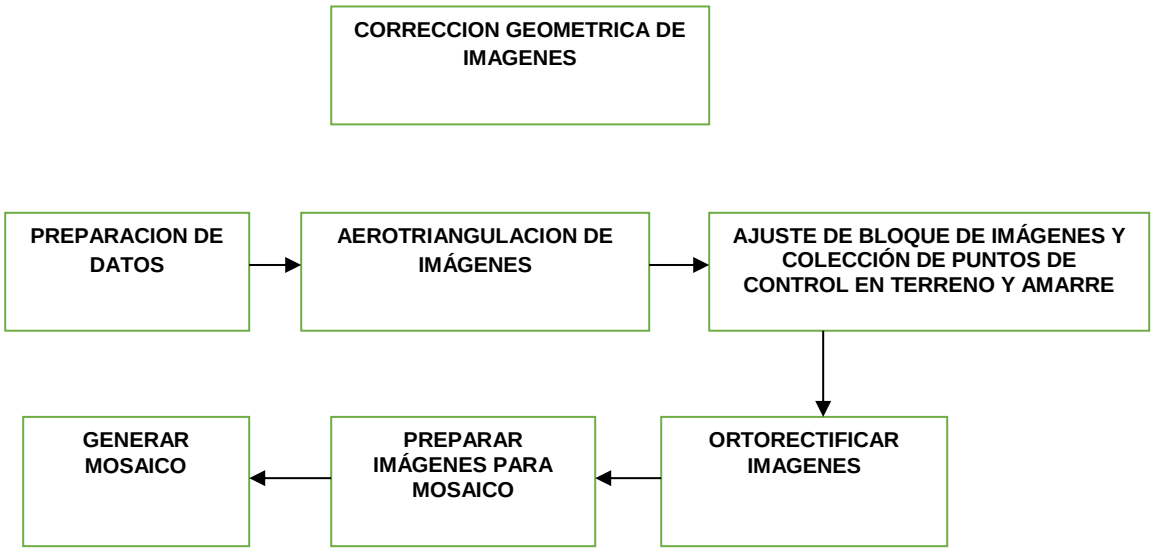


Figura 28 Flujo de trabajo para corrección geométrica de imágenes fuente: adaptado de (PCI Geomatics Enterprises, 2016)

.

Conforme las líneas de vuelo y la distribución de los pares estereoscópicos de imágenes correspondientes se definieron dos trabajos de procesamiento para el proceso de corrección geométrica así:

Área de Estudio No 1. Y No 2.

Tabla 7 Líneas de vuelo áreas de estudio No 1 y No 2

Línea de vuelo	Rumbo	Municipio	Código DANE	Fecha de Toma	Nro. Imagen Inicial	Nro. Imagen Final
F15	SurOriente – NorOriente	Pereira-Dosquebradas	66001	12-05-2015	267	289

F14	NorOriente-SurOriente	Pereira-Dosquebradas	66001	12-05-2015	297	318

Área de Estudio No 3

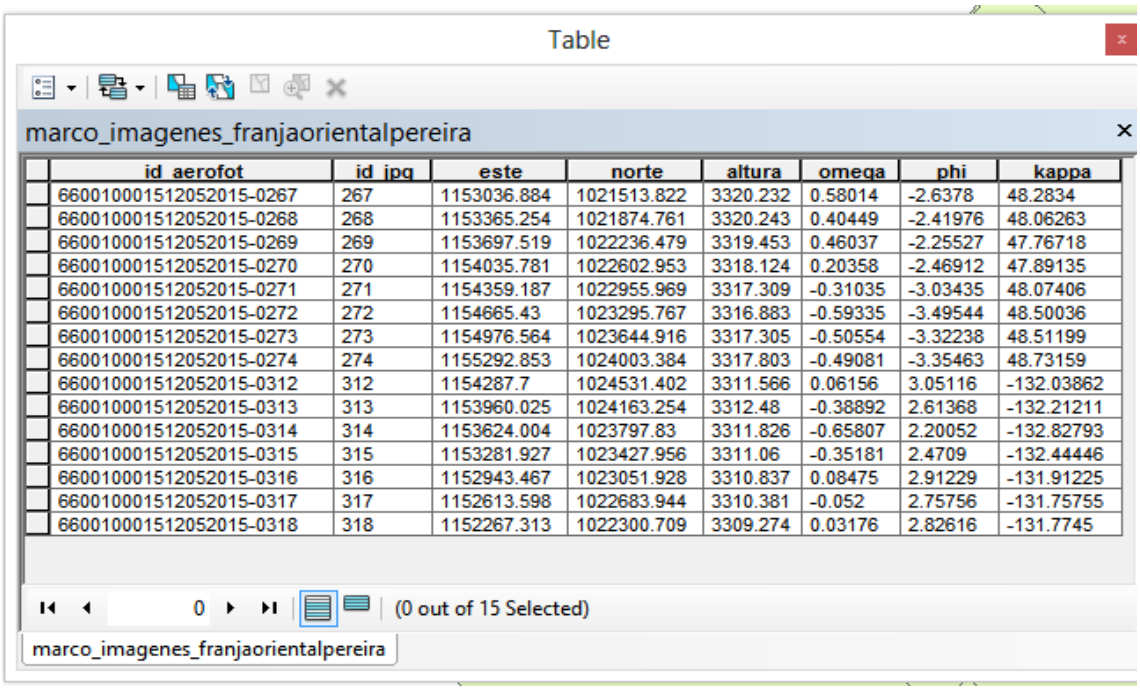
Tabla 8 Líneas de vuelo áreas de estudio No 3

Línea de vuelo	Rumbo	Municipio	Código DANE	Fecha de Toma	Nro. Imagen Inicial	Nro. Imagen Final
F9	Occidente-Oriente	Pereira	66001	29-01-2015	1225	1232
F8	Occidente-Oriente	Pereira	66001	29-01-2015	1136	1141
F7	Noroccidente – Suroccidente	Pereira	66001	29-01-2015	672	702
F6	Suroccidente-Noroccidente	Pereira	66001	29-01-2015	731	761
F5	Suroccidente-Noroccidente	Pereira	66001	29-01-2015	824	855
F4	Noroccidente – Suroccidente	Pereira	66001	29-01-2015	878	906
F3	Suroccidente-Noroccidente	Pereira	66001	29-01-2015	945	967
F2	Noroccidente – Suroccidente	Pereira	66001	29-01-2015	1010	1032
F1	Suroccidente-Noroccidente	Pereira	66001	29-01-2015	1077	1098

Con los respectivos datos de orientación interna y externa definidos en las figuras (28 y 29) respectivamente:

Image Format	long track	67.5mm	7500 pixel
	cross track	103.5mm	11500 pixel
Image Extent		(-33.75, -51.75)mm	(33.75, 51.75)mm
Pixel Size		9.000µm*9.000µm	
Focal Length	ck	105.200mm	± 0.002mm
Principal Point	X_ppa	0.000 mm	± 0.002mm
(Level 2)	Y_ppa	0.270 mm	± 0.002mm
Lens Distortion	Remaining Distortion less than 0.002mm		

Figura 29 Datos de calibración sensor Vexcel Ultracam D fuente: tomado de reporte de calibración (IGAC,2013)



id_aerofot	id_jpg	este	norte	altura	omega	phi	kappa
660010001512052015-0267	267	1153036.884	1021513.822	3320.232	0.58014	-2.6378	48.2834
660010001512052015-0268	268	1153365.254	1021874.761	3320.243	0.40449	-2.41976	48.06263
660010001512052015-0269	269	1153697.519	1022236.479	3319.453	0.46037	-2.25527	47.76718
660010001512052015-0270	270	1154035.781	1022602.953	3318.124	0.20358	-2.46912	47.89135
660010001512052015-0271	271	1154359.187	1022955.969	3317.309	-0.31035	-3.03435	48.07406
660010001512052015-0272	272	1154665.43	1023295.767	3316.883	-0.59335	-3.49544	48.50036
660010001512052015-0273	273	1154976.564	1023644.916	3317.305	-0.50554	-3.32238	48.51199
660010001512052015-0274	274	1155292.853	1024003.384	3317.803	-0.49081	-3.35463	48.73159
660010001512052015-0312	312	1154287.7	1024531.402	3311.566	0.06156	3.05116	-132.03862
660010001512052015-0313	313	1153960.025	1024163.254	3312.48	-0.38892	2.61368	-132.21211
660010001512052015-0314	314	1153624.004	1023797.83	3311.826	-0.65807	2.20052	-132.82793
660010001512052015-0315	315	1153281.927	1023427.956	3311.06	-0.35181	2.4709	-132.44446
660010001512052015-0316	316	1152943.467	1023051.928	3310.837	0.08475	2.91229	-131.91225
660010001512052015-0317	317	1152613.598	1022683.944	3310.381	-0.052	2.75756	-131.75755
660010001512052015-0318	318	1152267.313	1022300.709	3309.274	0.03176	2.82616	-131.7745

Figura 30 Estructura de datos archivo de orientación externa fuente: elaboración propia

6.4.2 Aero triangulación De Imágenes

Una vez definidos los dos trabajos de procesamiento con sus correspondientes imágenes, datos de orientación interna y externa (Figuras 31 y 32) se procedió a realizar el proceso de aero triangulación que entrega como resultado los bloques de imágenes de conformidad a la dirección de las líneas de vuelo.

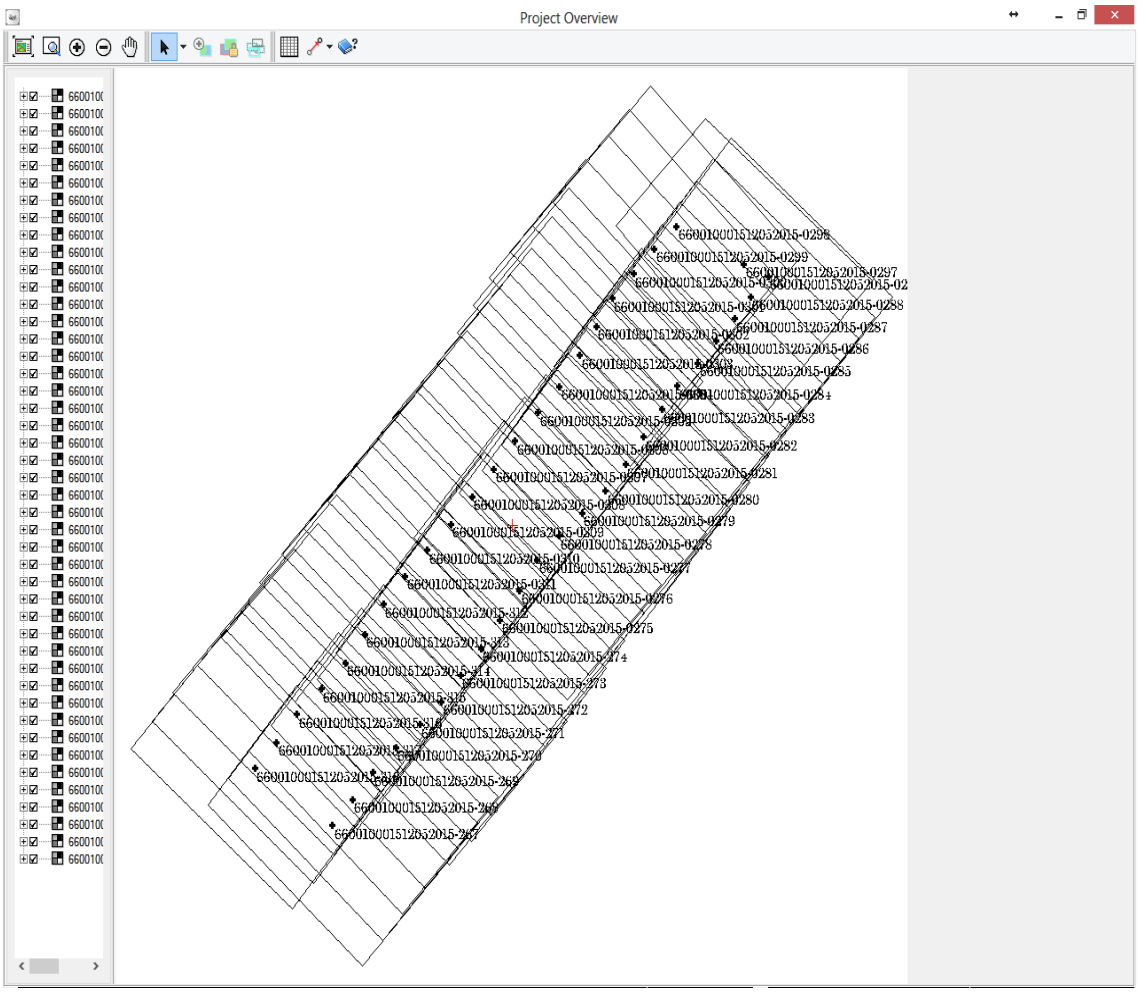


Figura 31 Bloque de imágenes área de estudio No 1 y No 2 fuente: tomado de software PCI Geomática Focus

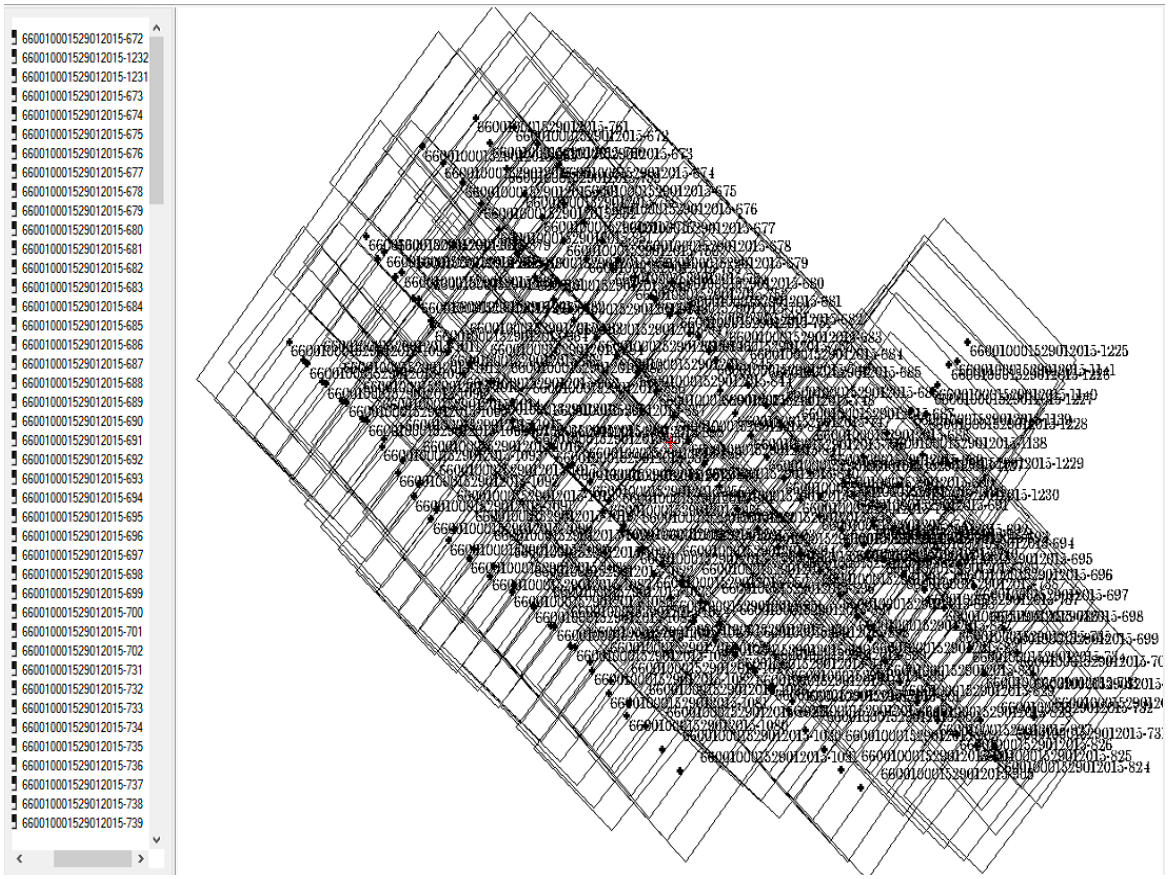


Figura 32 Bloque de imágenes área de estudio No 3 fuente: elaboración tomada de software PCI Geomática Focus

6.4.3 Ajuste De Bloque De Imágenes Y Colección De Puntos De Control En Terreno Y Amarre

Para el área de estudio #1 y #2 (Figura 33) se establecieron 28 puntos de control en terreno tomados a partir del mosaico de imágenes ortorectificadas del Municipio de Pereira 2007 y Dosquebradas 2010 (Figura 34) respectivamente con un error medio cuadrático en X=0.302 mts, Y=0.281 mts . A su vez se establecieron 10 puntos de amarre manualmente y a partir de estos se colectaron

automática de 300 puntos[18] con un error medio cuadrático en X=0.010, Y=0.009, Z=0.026. Exactitud aceptable si se considera que la resolución de la imagen es de 30 cms por píxel de conformidad con lo especificado en el instructivo de aerotriangulación digital del IGAC (GEOESPACIALES, 2014)

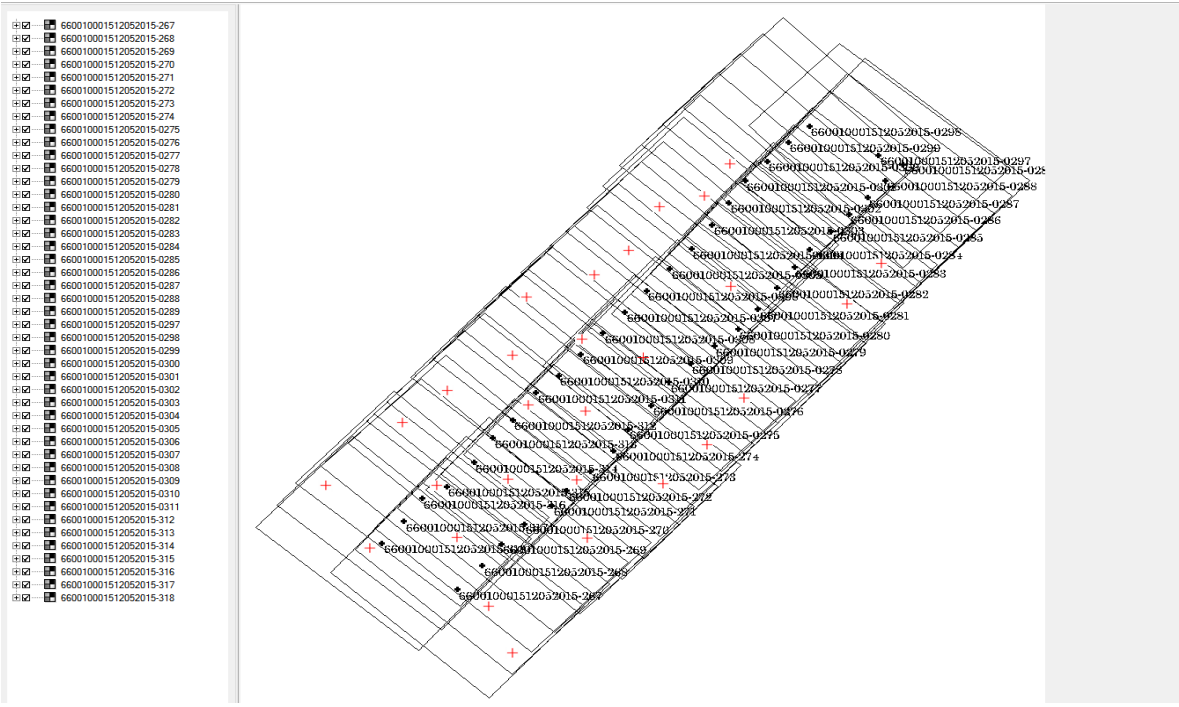


Figura 33 Puntos de control en terreno para área de Estudio #1 y #2 tomado a partir de imágenes de referencia

En el caso del área de estudio #3 se establecieron 32 puntos de control en terreno a partir de la imagen ortorectificada del municipio de Pereira tomada en el 2007 con un error medio cuadratico en X = 0.377 mts, Y=0.375 mts. Al tiempo se

18 * Punto cuyas coordenadas terrestres no son conocidas, pero puede ser reconocido visualmente en el área de traslapo entre dos imágenes (punto homólogo

establecieron 20 puntos de amarre manual a partir de los cuales se colectaron automatica 7594 puntos con un error medio cuadrático en X=0.135 mts, Y=0.144 mts, Z=0.293 mts .

Como resultado de este procesamiento se generaron los modelos digitales de superficie para las áreas de estudios (Figura 35 y 36)

Sobre los modelos digitales de superficie se aplicaron sucesivos filtros de remoción de objetos con pendientes del orden del 30%,20% 10% y 5%. Se removieron imperfecciones con tamaño minino de 7 píxeles y gradientes hasta el 5% para obtener modelo digitales del terreno para las mismas áreas de estudio (Figuras 37 y 38).

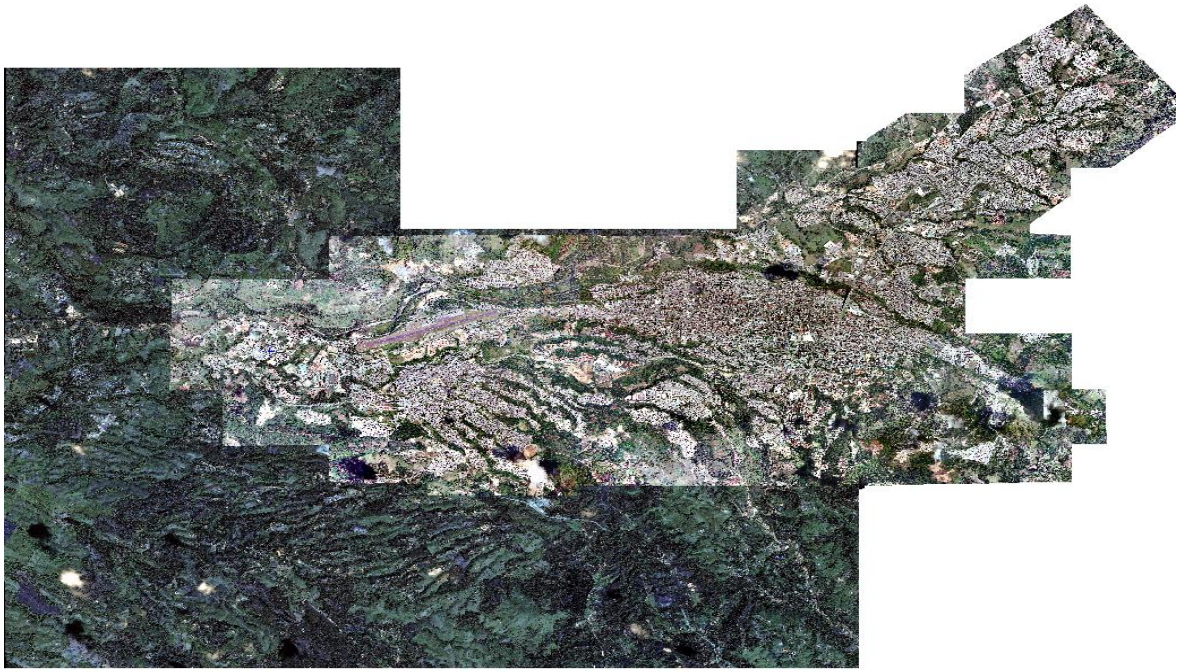


Figura 34 Mosaico de imágenes de referencia ortorectificadas utilizadas para colectar puntos de control en terreno del municipio Pereira 2007 y Dosquebradas año 2010 fuente: elaboración propia

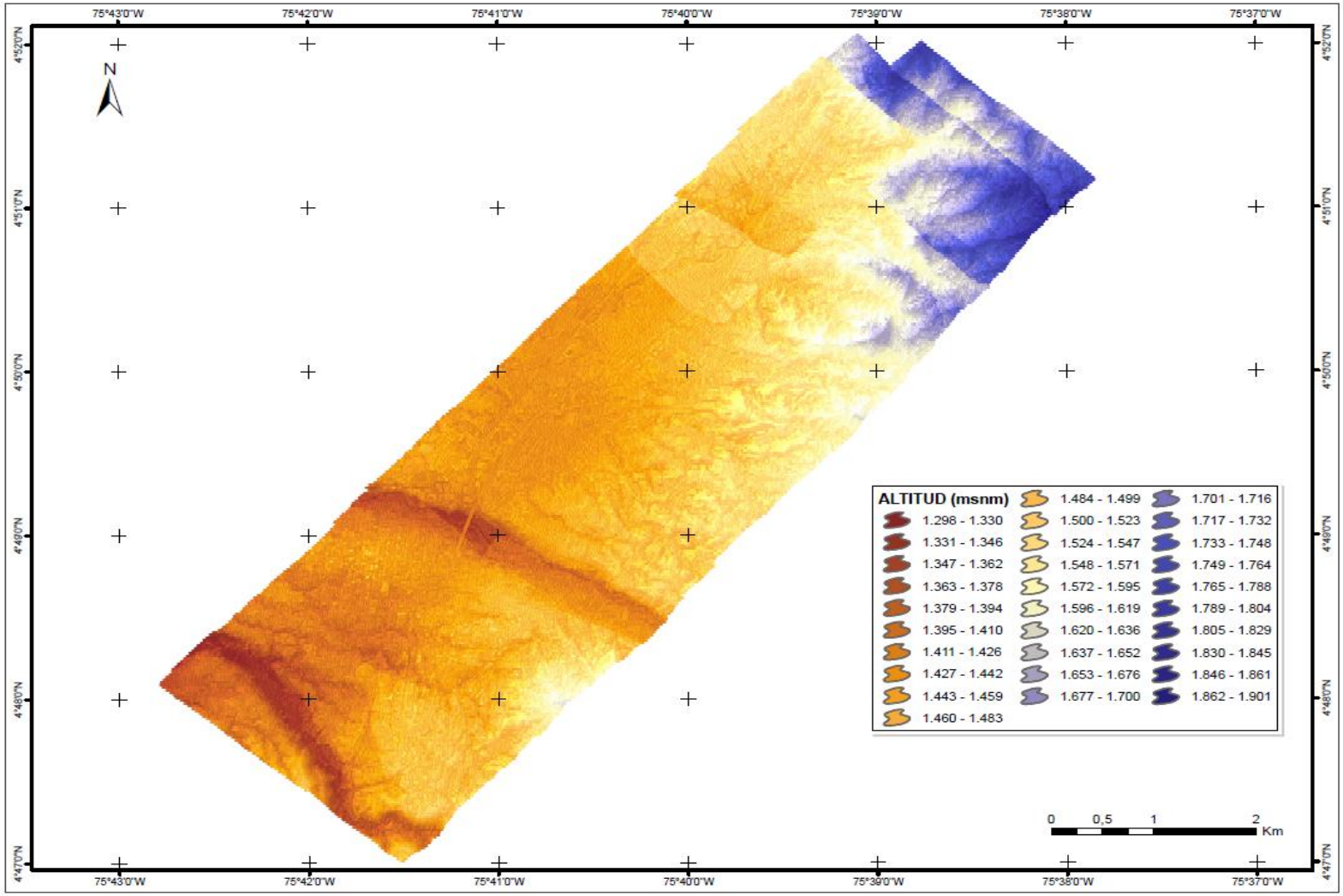


Figura 35 Modelo digital de superficie área de estudio No 1 y 2

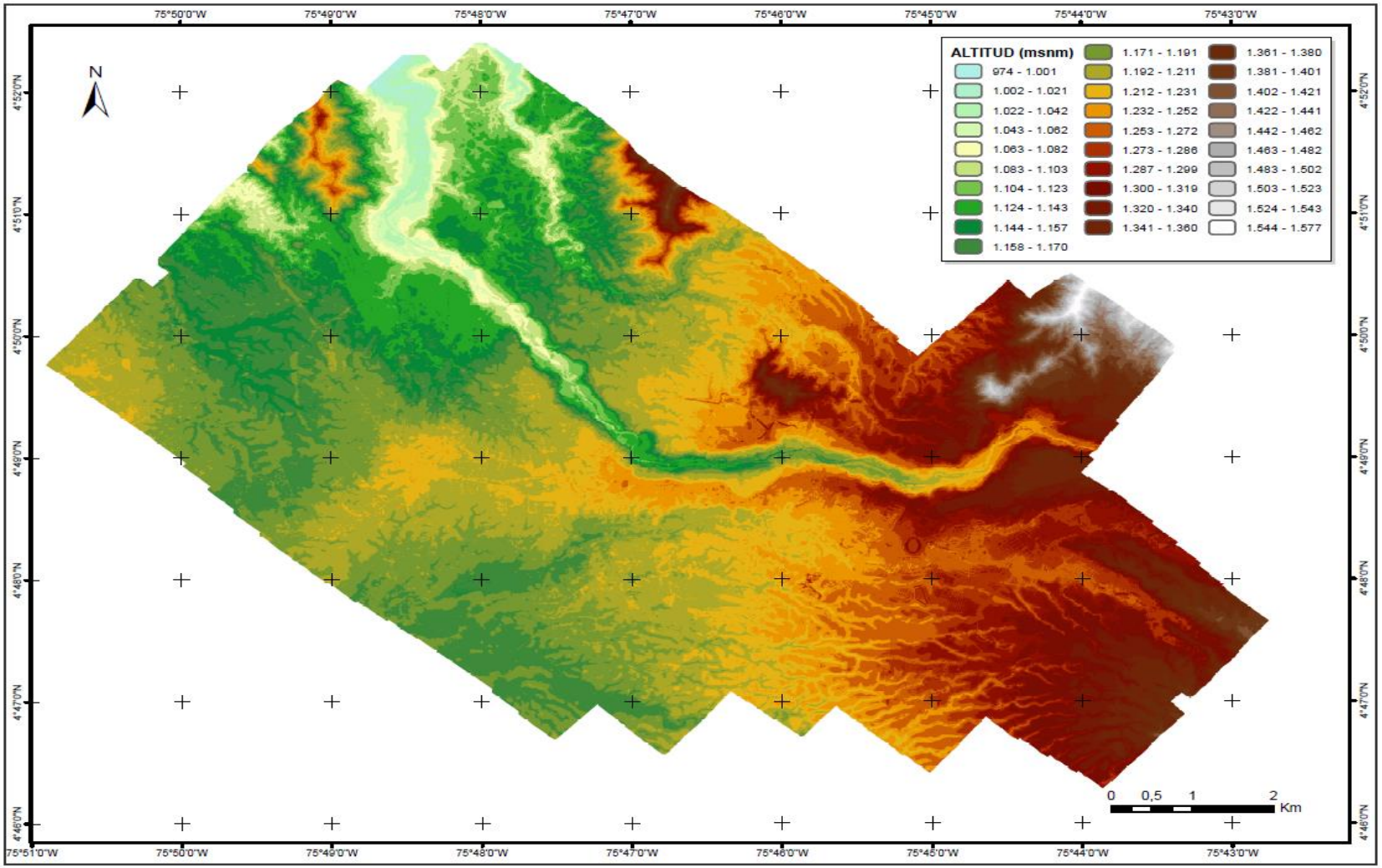


Figura 36 Modelo digital de superficie área de estudio No 3

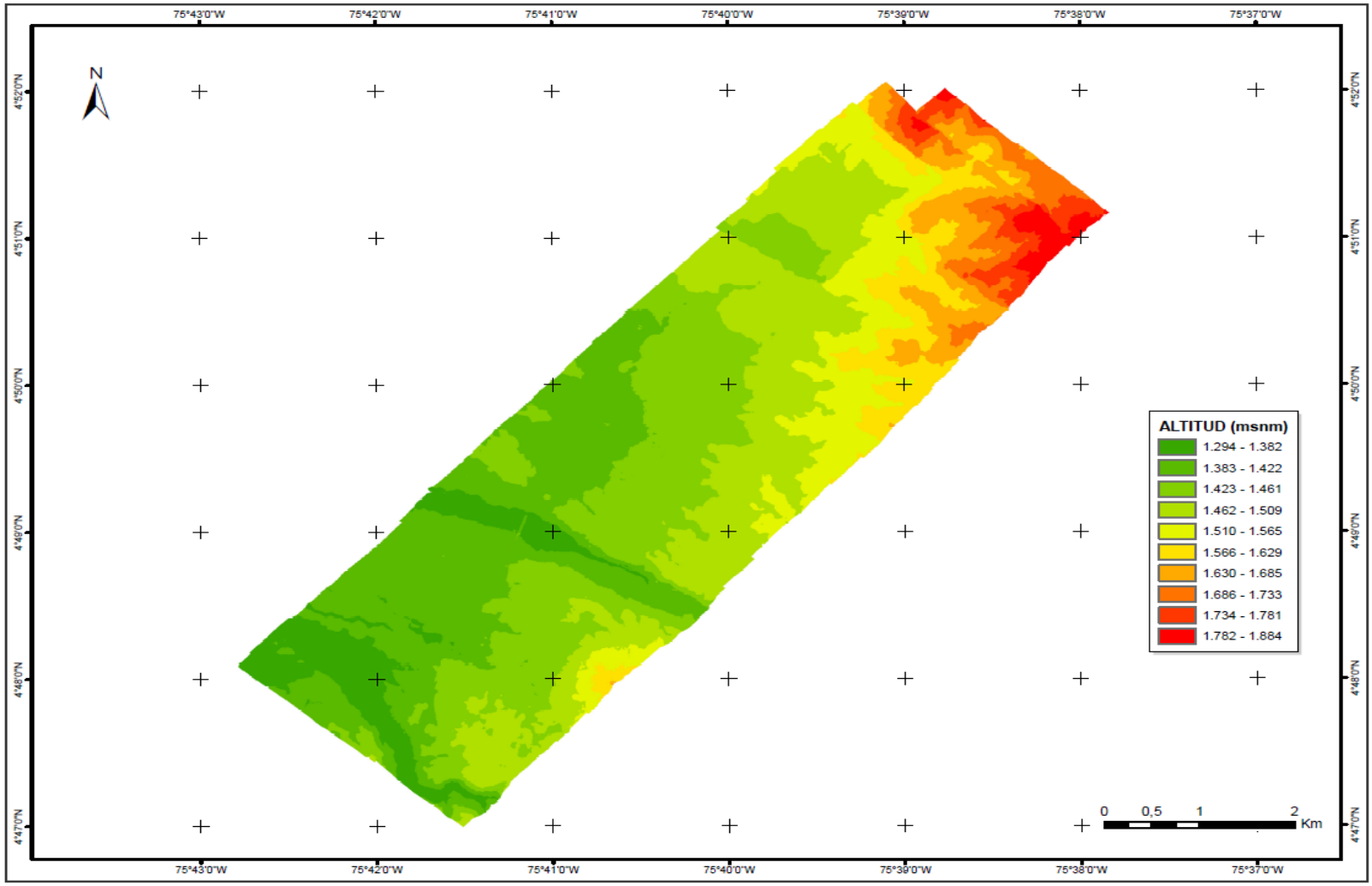


Figura 37 Modelo digital de terreno área de estudio No 1 y 2

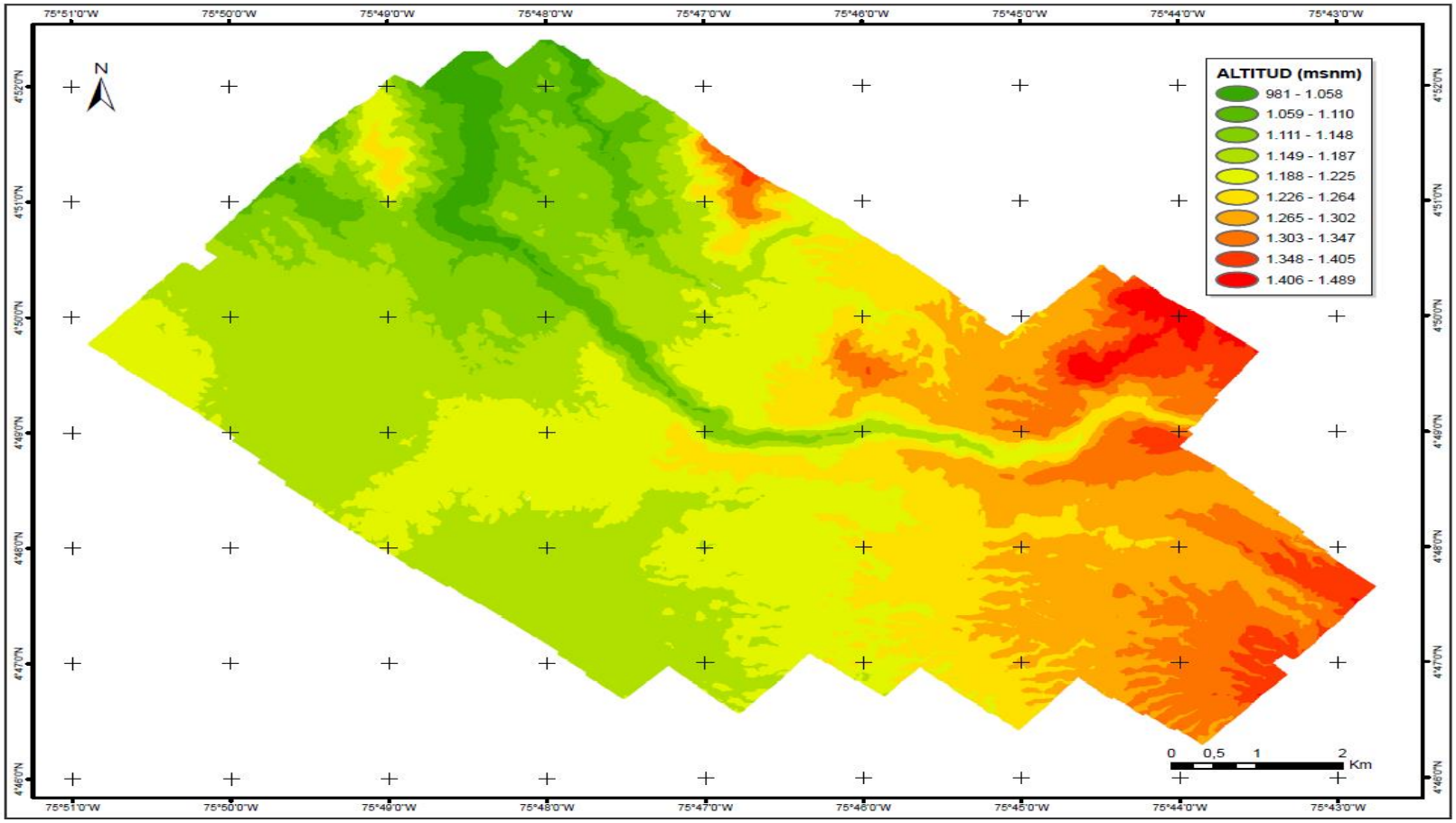


Figura 38 Modelo digital de terreno área de estudio No 3

6.4.3 ORTORECTIFICACIÓN Y GENERACIÓN DE MOSAICO DE IMÁGENES

Después de obtener los modelos digitales de terreno y el respectivo bloque de imágenes para cada una de las áreas de estudio se procede a orto rectificar las imágenes bajo los siguientes parámetros:

Tabla 9 Parámetros de orto rectificación de imágenes Vexcel Ultracam D

Característica	Especificación
Canales (Bandas) de Entrada:	Azul, Verde, Rojo e Infrarrojo cercano (nir)
Orto-Generación a partir del modelo digital del terreno	Figuras (37 y 38)
Intervalo de remuestreo	cada dos píxeles
Tipo de remuestreo	cubico

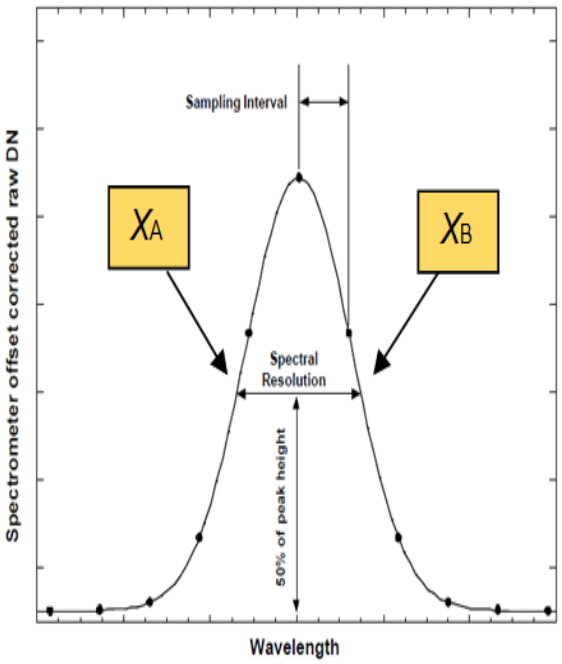
De donde se obtienen los mosaicos de imágenes ortorectificadas correspondientes a cada una de las áreas de estudio (Anexo 2)

6.5 CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA DE IMÁGENES VEXCEL ULTRACAM D

A partir de los datos de radiancia en el rango espectral comprendido entre los 380 y 980 nanómetros consignados en el reporte de calibración del año 2013 para el sensor Vexcel Ultracam D del IGAC (Vexcel Imaging Company, 2013). Se

procedió a calcular el ancho a media altura espectral (FWHM[19]) mediante el enfoque de determinación instrumental

Donde X_A y X_B representan los valores de longitud de onda más cercanos tanto por izquierda como derecha al valor de radiancia media calculada para cada banda del sensor. Para el enfoque de determinación instrumental el comportamiento de la radiancia en un rango espectral es asimilado a una distribución normal (Figura 38), el cálculo detallado para cada banda se encuentra en (Anexo 2). Aplicadas las ecuaciones (19) Y (20) se obtienen los valores para determinar el ancho a media altura espectral FHWM o centro para cada banda así:



$$Y_{media} = \frac{Y_{max} + Y_{min}}{2}$$

$$X_A = \frac{(Y_{media} - Y_0)(X_1 - X_0)}{(Y_1 - Y_0)} + X_0$$

$$X_B = \frac{(Y_{media} - Y_0')(X_1' - X_0')}{(Y_1' - Y_0')} + X_0'$$

Figura 38 Determinación instrumental del ancho a media altura espectral fuente tomado de (Ariza, 2015)

19 * Anchura a media altura que presenta un determinado pico de emisión de reflectancia para determinada banda

$$\text{resolución_espectral} = \text{XB} - \text{XA} \quad (19)$$

$$\text{FWHM} = \text{X}_\text{A} + \left(\frac{\text{resolución_espectral}}{2}\right) \quad (20)$$

Se programó y ejecuto una campaña de campo para recolectar firmas espectrales de coberturas y objetos cuya presencia era recurrente en los lugares donde existían conjuntos residenciales y se permitió la entrada, tanto en suelo urbano como rural inferidas a partir de la interpretación visual de las imágenes y los datos consignados en el estudio de acabados (Departamento de estudios económicos y urbanos CAMACOL RISARALDA, 2016)

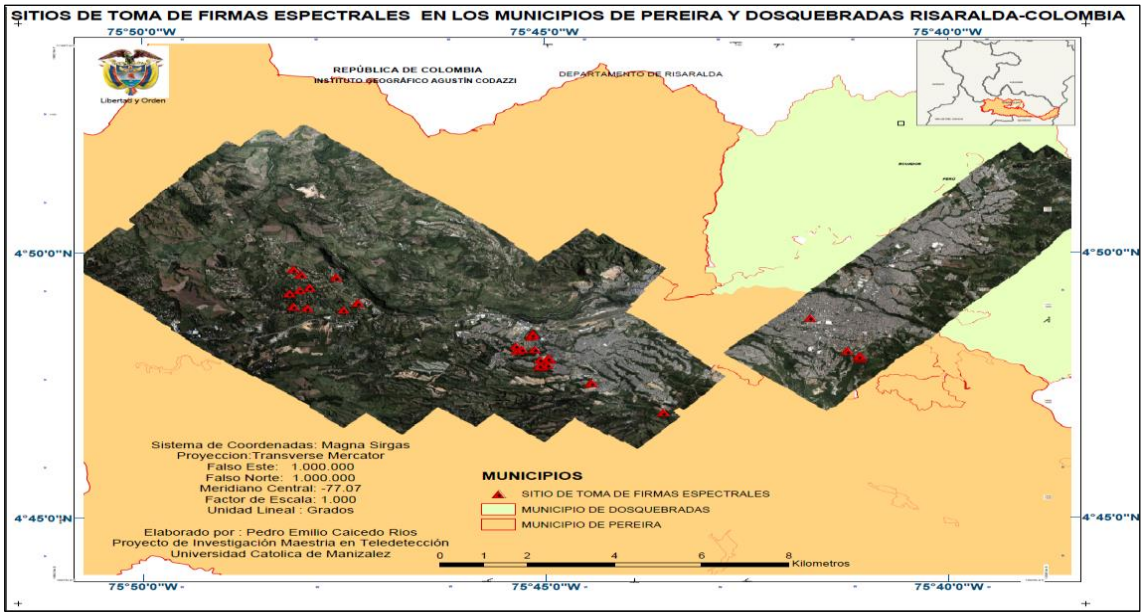


Figura 39 Sitios de toma de firmas espectrales en los municipios de Pereira Y Dosquebradas fuente: elaboración propia

La captura de las firmas espectrales se realizó en el horario comprendido entre las 11:00 am y las 2:00 pm, intentando reproducir las condiciones de iluminación

solar existentes al momento de realizarse la toma de las imágenes áreas objeto de estudio. Las firmas espectrales recolectadas pertenecían a las siguientes coberturas

- Suelo desnudo
- Árbol de Guadua (Figura 40)
- Pasto Indial
- Césped

Y para los materiales antrópicos:

- Piscina (Figura 41)
- Asfalto (Figura 42)
- Concreto
- Teja de fibrocemento gris (Figuras 43 y 44)
- Teja de fibrocemento gris (Figuras 45 y 46)
- Teja de barro
- Teja termo acústica
- Cancha Sintética
- Cancha de tenis en polvo de ladrillo

En total se tomaron 186 de firmas espectrales tanto de coberturas como de materiales antrópicos, cuyos datos fueron revisados para determinar cuáles eran aptos para utilizarse en la calibración radiométrica de las imágenes, teniendo en cuenta la calidad de los datos afectada en ocasiones por sobresaturación del espectrómetro usado y para el caso de las firmas de coberturas su concordancia con las firmas tipo mostradas en (Chuvieco, 1995). Algunas firmas espectrales obtenidas se muestran a continuación:

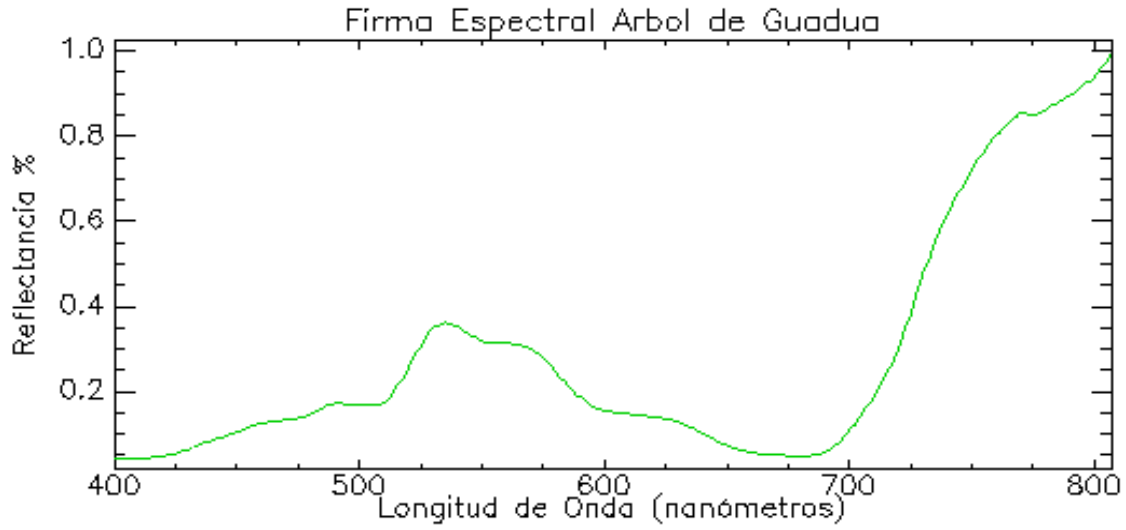


Figura 40 Firma espectral árbol de guadua representada en niveles de reflectancia y longitud de onda en nanómetros tomado de software Envi Classic 5.0

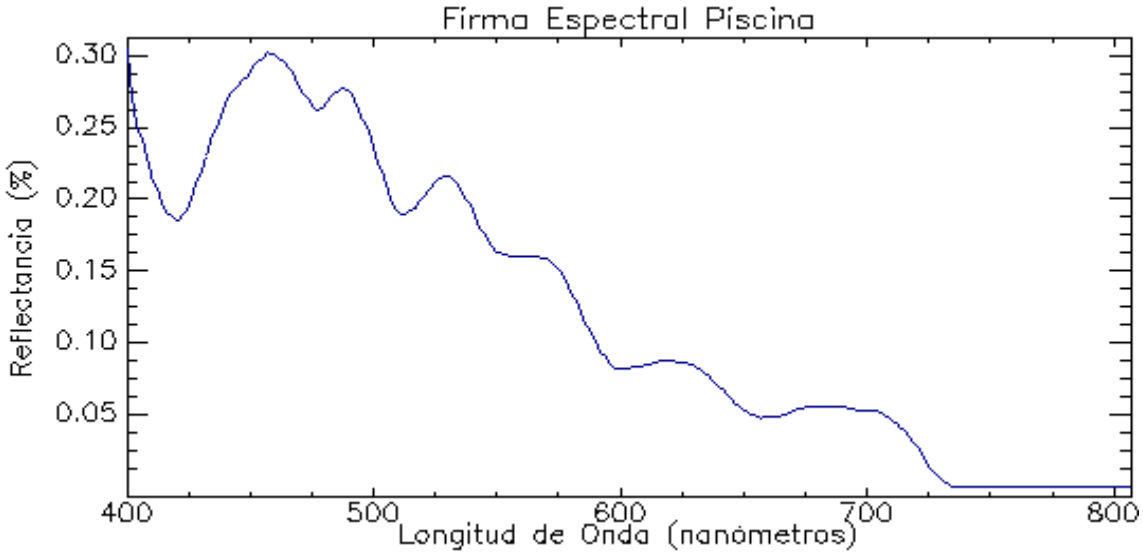


Figura 41 Firma espectral piscina representada en niveles de reflectancia y longitud de onda en nanómetros fuente: tomado de software Envi Classic 5.0

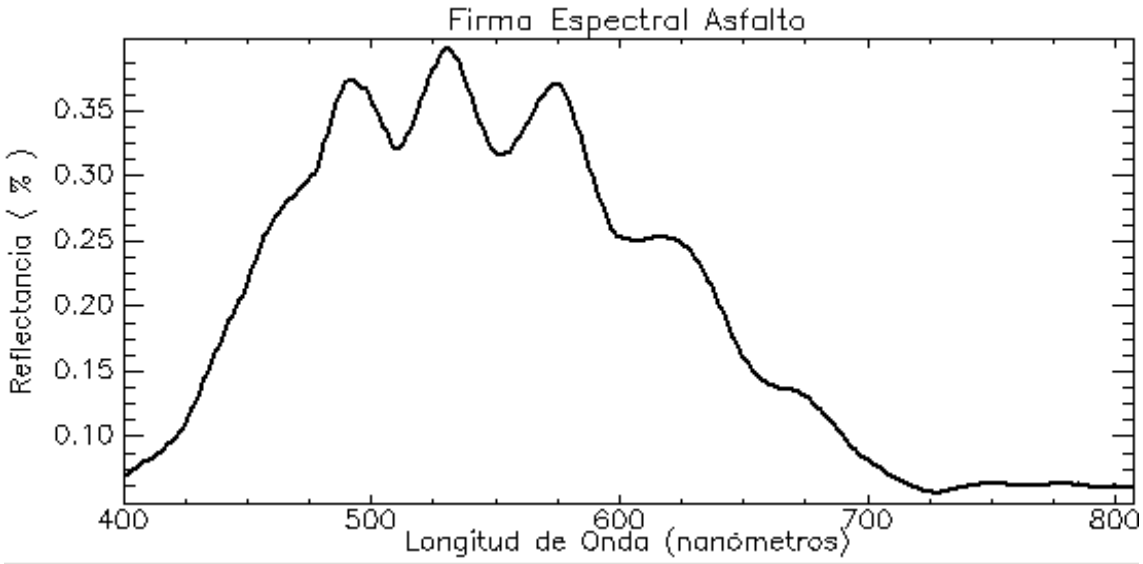


Figura 42 Firma espectral asfalto representada en niveles de reflectancia y longitud de onda en nanómetros fuente elaboración propia tomado de software Envi Classic 5.0

Figura 43 Teja de eternit desgastada por efecto de la intemperie

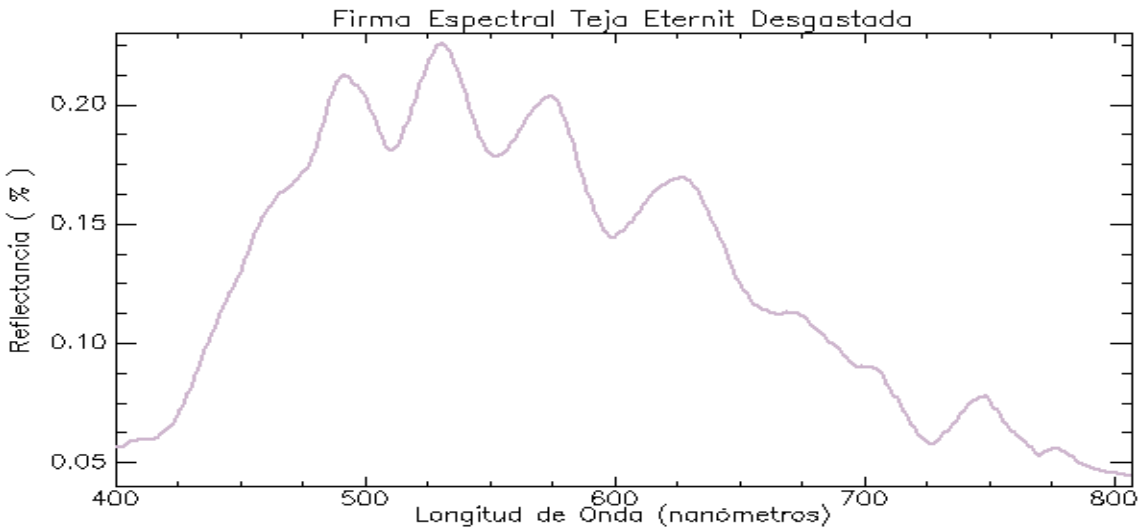


Figura 44 Firma espectral teja de eternit desgastada representada en niveles de reflectancia fuente elaboración propia tomado de software Envi Classic 5.0

Figura 45 Teja de fibrocemento de tonalidad rojiza

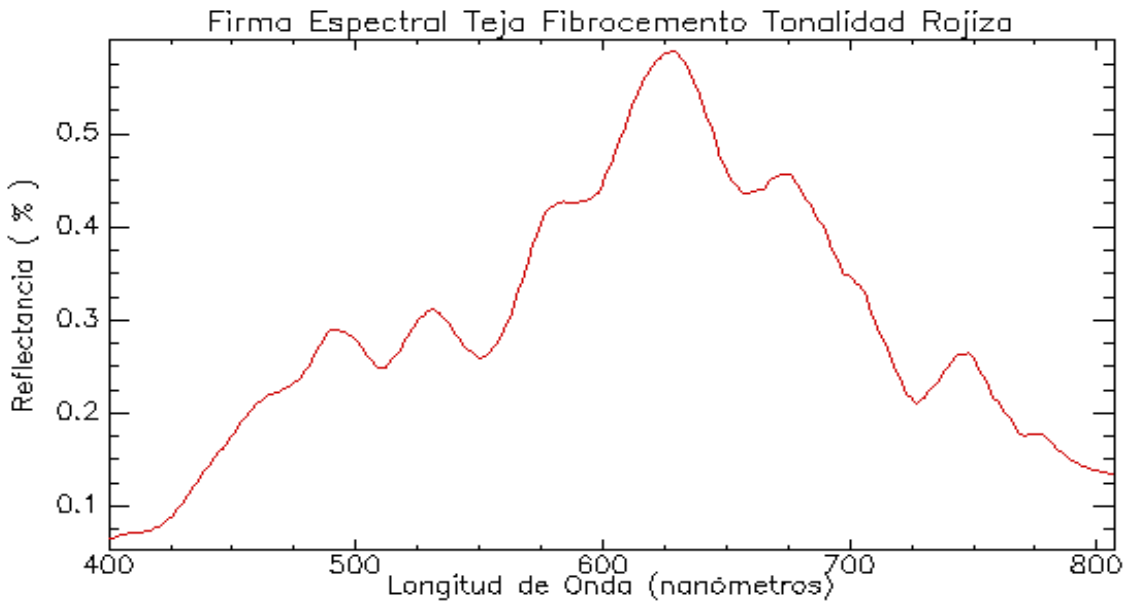


Figura 46 firma espectral de teja de fibrocemento de tonalidad rojiza fuente elaboración propia tomado de software Envi Classic 5.0

Se procuró para la mayorías de los casos que las áreas donde se colectaron las firmas espectrales en un radio de mínimo 3 metros cuadrados fuesen espacios homogéneos de la cobertura objetivo, para reducir a lo más mínimo el margen de error al obtener firma espectral en niveles digitales de la correspondiente cobertura objetivo dentro de la imagen ortorectificada. Esto en razón que las coordenadas registradas por el dispositivo GPS utilizado durante la campaña no ofrecían una alta precisión.

Para el caso de los tejados a partir de la información de materiales compuestos utilizados tanto en conjuntos residenciales (Departamento de estudios económicos y urbanos CAMACOL RISARALDA, 2016) como en construcciones tradicionales (INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI, 2016), se determinaron ubicaciones en las imágenes de píxeles correspondientes a los materiales de tejados de donde se extrajeron firmas espectrales expresadas en niveles digitales.

Para cada una de las firmas espectrales recolectadas y expresadas en niveles de reflectancia se extrajo de las imágenes su correspondiente firma en niveles digitales así:

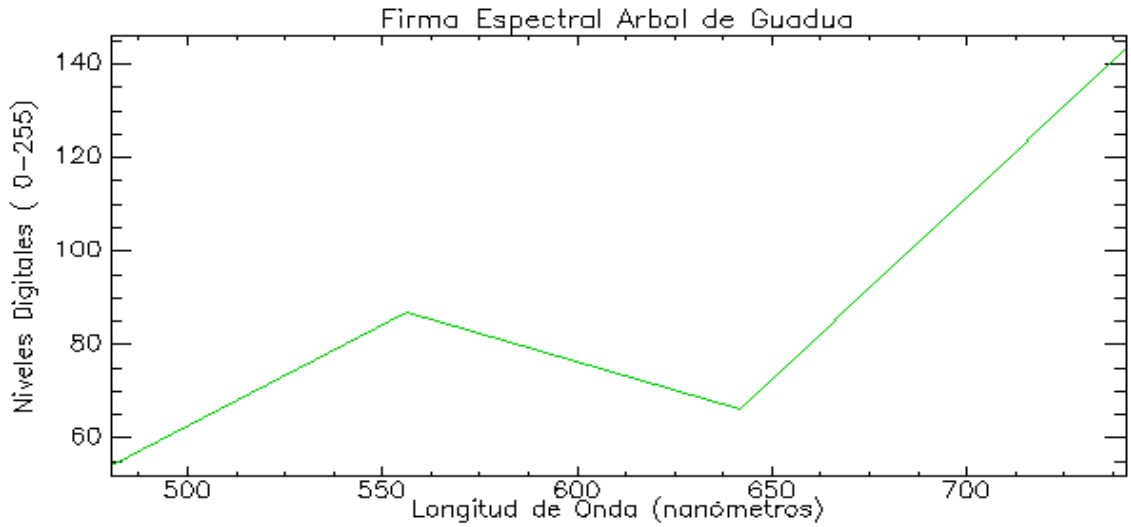


Figura 47 Firma espectral árbol de guadua representada en niveles digitales fuente elaboración propia tomado de software Envi Classic 5.0

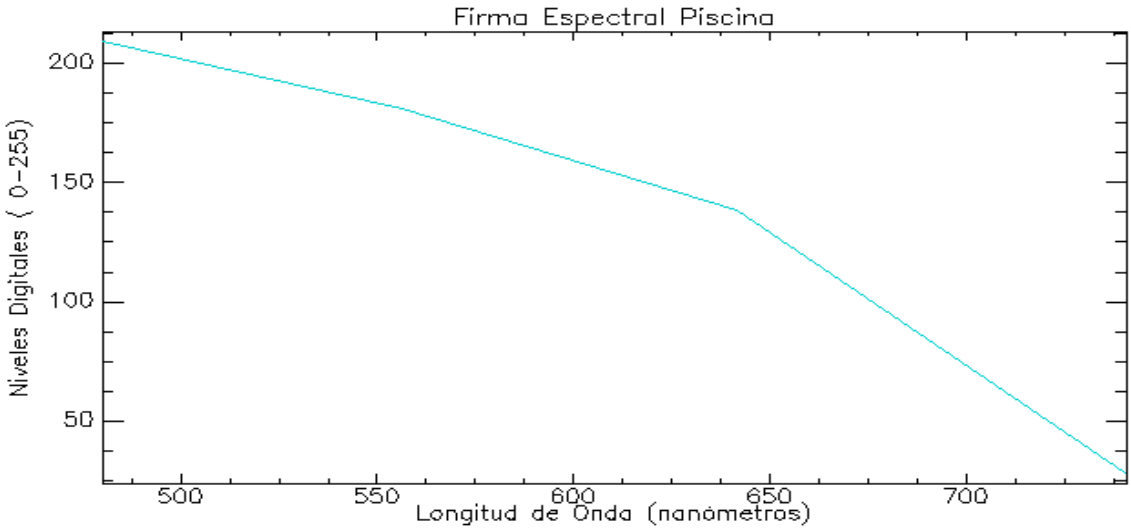


Figura 48 Firma espectral piscina representada en niveles digitales fuente elaboración propia tomado de software Envi Classic 5.0

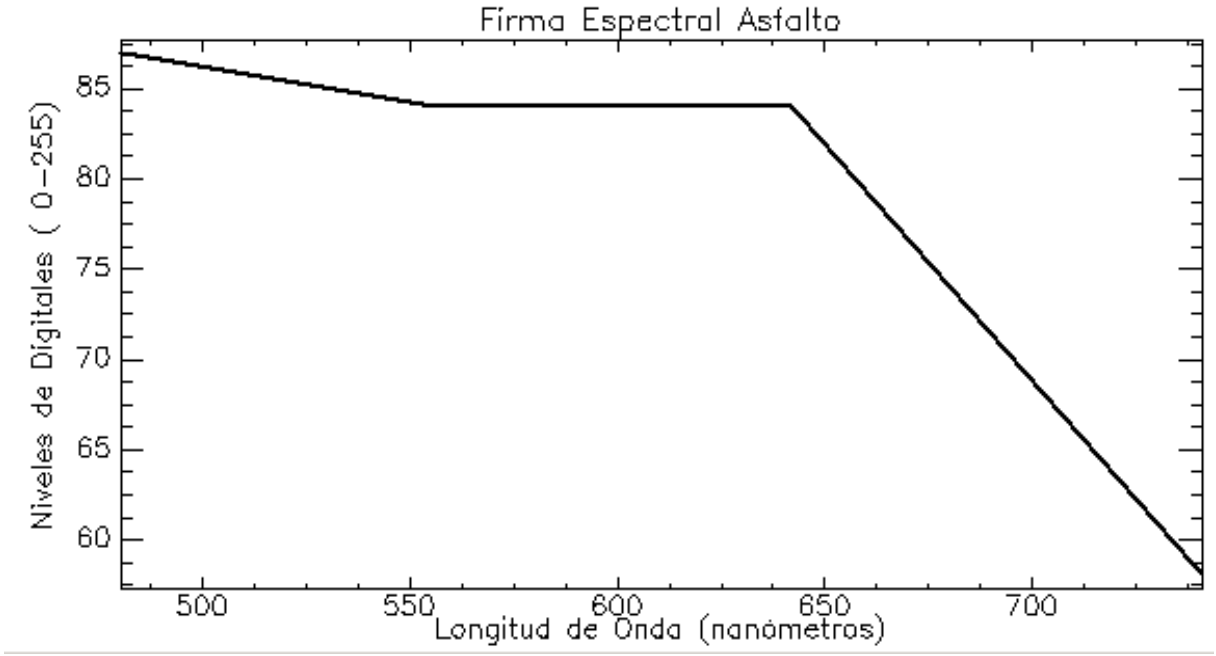


Figura 49 Firma espectral de asfalto representada en niveles digitales fuente elaboración propia tomado de software Envi Classic 5.0

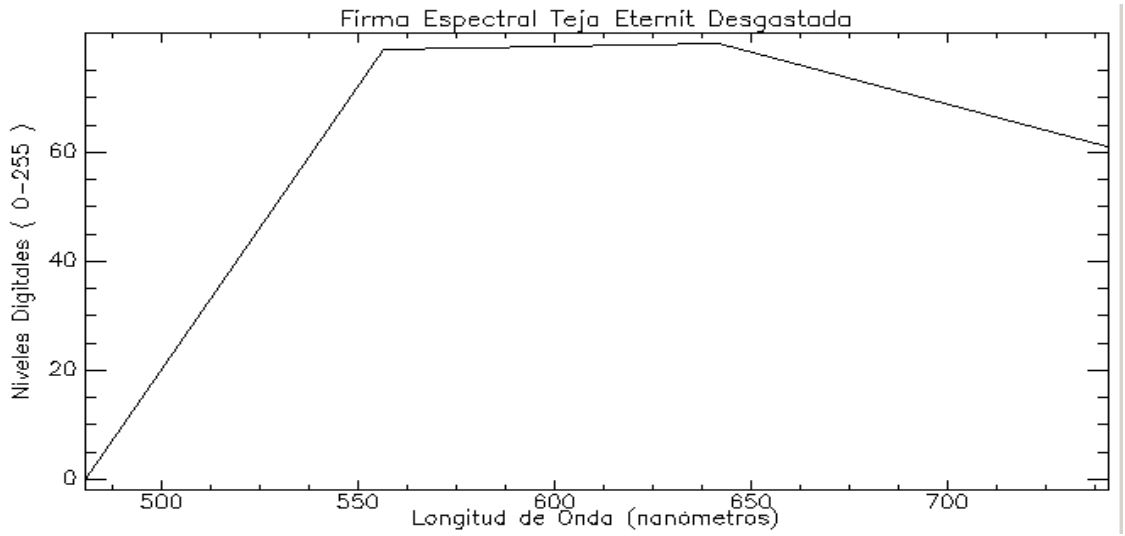


Figura 50 Firma espectral teja de eternit desgastada por efecto de la intemperie

Teniendo esta correspondencia entre firmas espectrales expresadas en niveles digitales y de reflectancia se procedió a aplicar un proceso de calibración radiométrica utilizando el método empírico lineal sobre las dos imágenes

corregidas geométricamente una correspondiente a las áreas de estudio No 1 y No 2 y la otra correspondiente al área de estudio No 3 mediante la opción de calibración radiométrica por método empírico lineal del software ENVI versión 5.0 para 64 bits.

Al finalizar del proceso de corrección geométrica y radiométrica se obtienen dos imágenes con las características descritas en la Tabla 10 y 11:

Tabla 10 Especificaciones Imagen área de estudio #1 y #2

Tipo de Resolución	Valor
Espacial	30 cms
Radiométrica	256 niveles de gris para las banda azul, verde, roja, infrarrojo cercano ; valores entre 0–1 para bandas azul, verde, rojo, nir (imágenes en niveles de reflectancia)
Espectral	8 bandas
Temporal	12 de mayo de 2015

Tabla 11 Especificaciones Imagen área de estudio #3

Tipo de Resolución	Valor
Espacial	30 cms
Radiométrica	256 niveles de gris para las banda azul, verde, roja, infrarrojo; valores entre 0 – 1 para bandas azul ,verde, rojo ,nir (imágenes en niveles de reflectancia)
Espectral	8 bandas
Temporal	29 de enero de 2015

6.6 CALCULO DE IMÁGENES DE TEXTURA

Sobre las imágenes corregidas geométricamente expresadas en niveles digitales se realizó el cálculo de las medidas de textura como varianza (Figura 51), contraste (Figura 52), correlación (Figura 53) y segundo momento angular (Figura 54) para cada una de las bandas espectrales.

Figura 51 Imagen de varianza calculada sobre la banda azul ventana 3 x 3 desplazamientos coocurrencia 1 píxel

Figura 52 Imagen de segundo momento angular calculada sobre la banda azul ventana 3 x 3 desplazamientos coocurrencia 1 píxel

Figura 53 Imagen de correlación calculada sobre la banda del infrarrojo cercano ventana 3 x 3 desplazamientos de coocurrencia 1 píxel

Los parámetros de tamaño de ventana, desplazamiento de cálculo de coocurrencia y niveles digitales de las imágenes resultantes se presentan en la tabla 12

Figura 54 Imagen de contraste en banda del infrarrojo cercano ventana 3 x 3 desplazamientos coocurrencia 1 píxel

Tabla 12 Parámetros para el cálculo de imágenes de textura

Parámetro	Valor
Ventana de procesamiento	3 X 3
Desplazamiento de coocurrencia	1
Niveles de cuantización en escala de grises	8
Parámetro	Valor
Ventana de procesamiento	9X9
Desplazamiento de coocurrencia	3
Niveles de cuantización en escala de grises	8
Parámetro	Valor
Ventana de procesamiento	25X25
Desplazamiento de coocurrencia	5
Niveles de cuantización en escala de grises	8

6.7 MULTIRESOLUCIÓN POR SEGMENTACIÓN

Se inicializo aplicando a cada imagen una segmentación multiresolución usando los parámetros de escala, compacidad y forma propuestos por Benarchid (2013) y Vijjapu (2013). Posteriormente se experimentó con diferentes valores de parámetros para la escala compacidad y forma hasta alcanzar segmentos de tejados en conjuntos residenciales lo más homogéneos posible a nivel de color y forma preferiblemente rectangular (Figuras 55, 56 y 57).

Figura 55 Segmentación multiresolución escala=30, forma= 0.1, compacidad =0.5

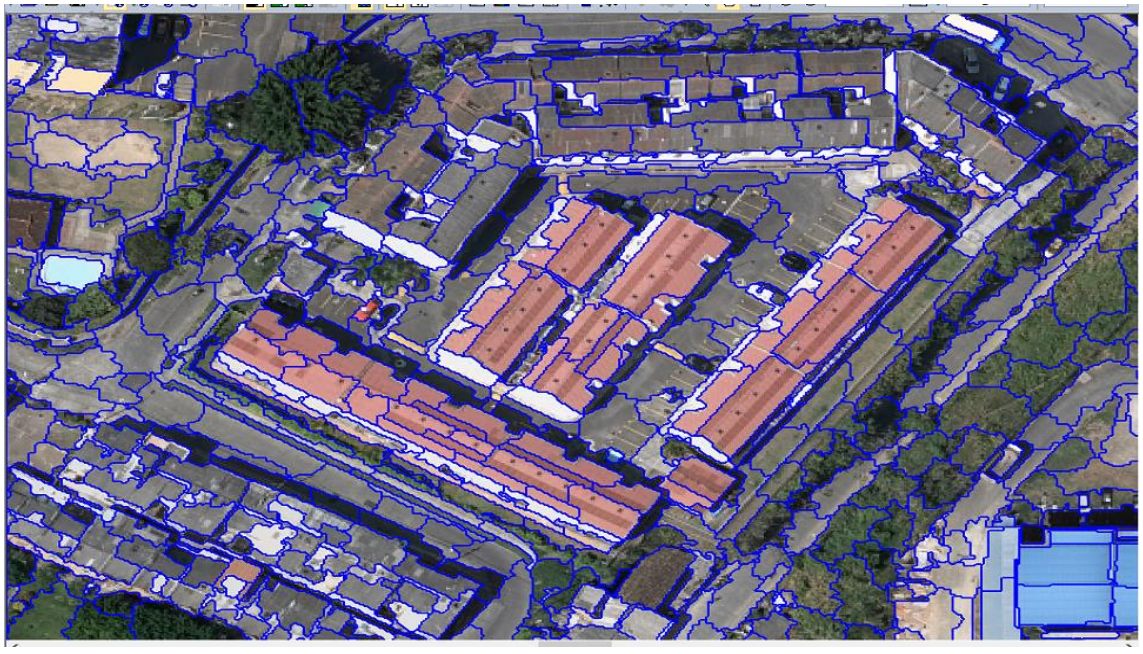


Figura 56 Segmentación multiresolución escala=30, forma= 0.5, Compacidad =0.9

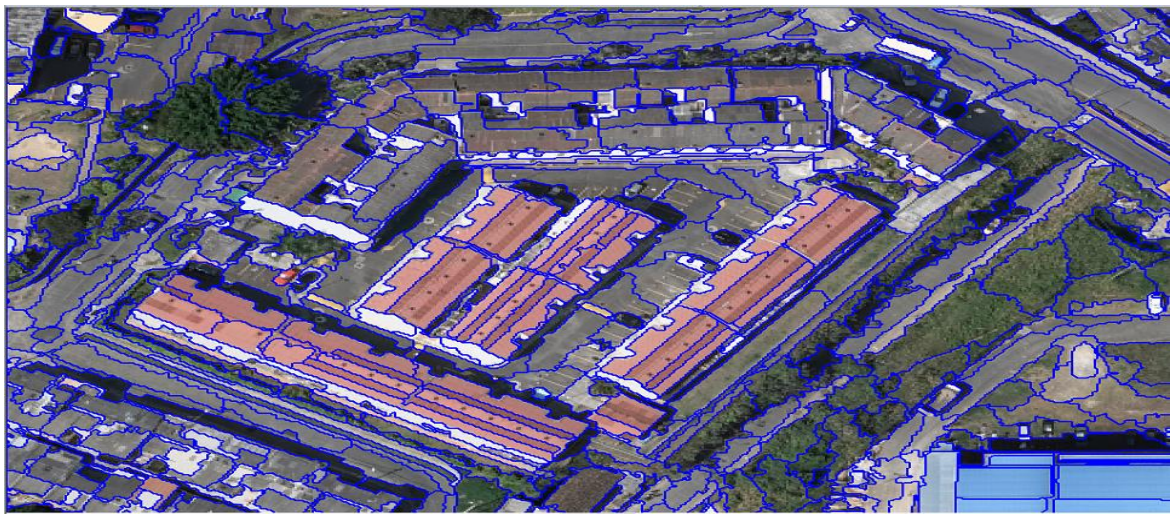


Figura 57 Segmentación multiresolución Escala=30 Forma= 0.5 Compacidad =0.5

Una vez alcanzado este nivel de objetos inicial se siguió una estrategia de procesamiento arriba-abajo que estableciera una diferencia de segmentos que correspondan a objetos y coberturas que estén por encima del suelo (áreas construidas, arboles) de aquellos a nivel del suelo ej. Vías, piscinas, suelo desnudo, canchas de concreto, canchas sintéticas a través de la diferencia para cada segmento de su valor medio en el modelo digital de superficie – valor medio del segmento en el modelo digital de terreno, este concepto es conocido como modelo digital de superficie normalizado.

$$\mathrm{MDSNORMALIZADO} = \mathrm{MDS} - \mathrm{MDT} \qquad (21)$$

La segmentación por niveles es un concepto que puede explicarse mejor al apreciar la misma imagen en varias escalas.

A escala 1:25.000 (Figura 58) en la imagen pueden distinguirse básicamente dos grandes zonas una correspondiente a suelo no intervenido formado

presuntamente por vegetación arbórea y otro suelo intervenido conformado por elementos antrópicos como vías y construcciones.

Figura 58 Imagen a escala 1:25.000 fuente elaboración propia

A escala 1:2000 (Figura 59) la imagen es más generosa en la entrega de información y es posible observar que existen construcciones que poseen tejados o cubiertas de colores predominantes como el gris, café, rosado y blanco que las vías tienen una tonalidad gris y la vegetación existente puede ser muy densa en forma de bosque o menos densa en forma de césped.

A escala 1:500 (Figura 60) en la imagen se puede determinar que las vías están hechas de asfalto o concreto y que existe proximidad de piscinas a ciertas construcciones. A partir de este razonamiento se diseñó el diagrama de clases de la clasificación basada en objetos para la investigación (Figura 61).

La diferenciación de coberturas se realizó apoyándose en el cálculo de índices espectrales de vegetación normalizada, índices de agua-vegetación, proporción normalizada de vegetación y banda del verde entre otros usados en Vijjapu (2013) y (Mhangara et al., 2013), que permitieron ir clasificando segmentos en categorías como piscina, suelo desnudo, vegetación, concreto, asfalto conforme metodología de análisis basado en objetos.

Figura 59 Imagen a escala 1:2.000 fuente elaboración propia

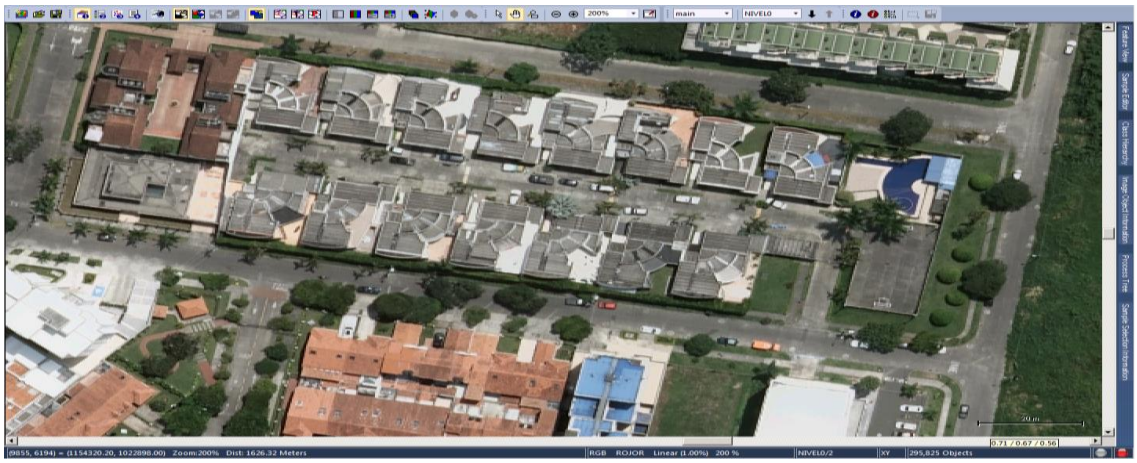


Figura 60 Imagen a escala 1:500 fuente elaboración propia

Se partió del conocimiento a priori de los esquema de composición prototipo superobjeto - subobjeto de un conjunto residencial rural (Figura 62) y urbano (Figura 63), donde se plantea que este debe está formado por viviendas o torres de apartamentos contiguas con las mismas características de cubierta, vías internas hechas de un material como asfalto, concreto, baldosa en adoquín y espacios comunes para la recreación Ej. Piscinas, Canchas.

El esquema de composición superobjeto - subobjeto en la parte rural está dado básicamente por una secuencia de lotes intervenidos con una vivienda que en la gran mayoría de los casos usa teja de barro como cubierta según datos consignados en el estudio de acabados (Departamento de estudios económicos y urbanos CAMACOL RISARALDA, 2016), presenta una alta posibilidad de existencia de una piscina por cada unidad de loteo con sus respectivas vías internas y rodeadas predominantemente de vegetación.

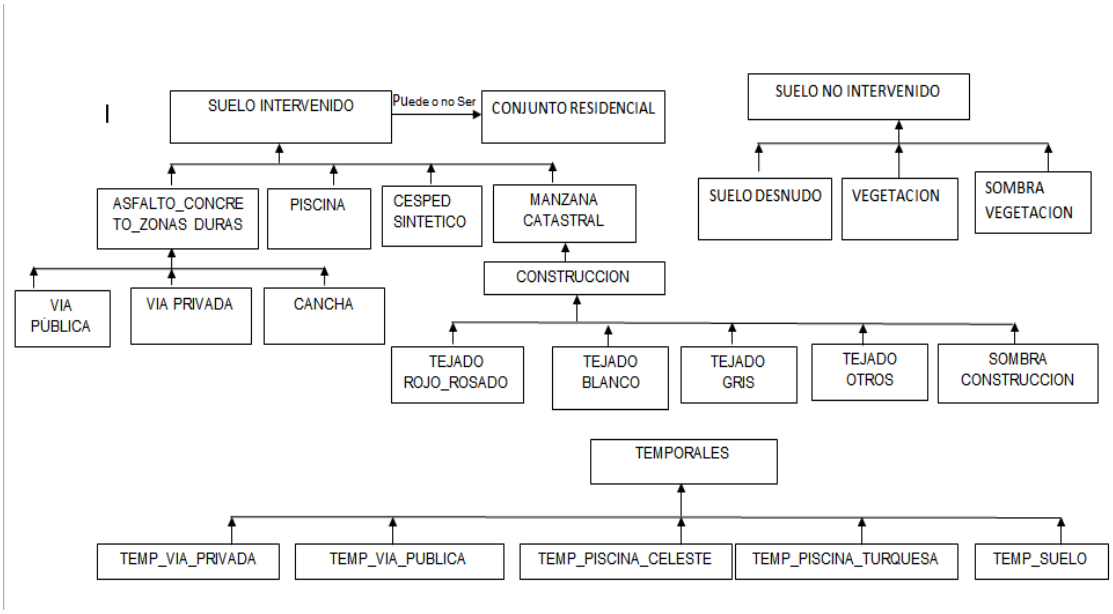


Figura 61 Diagrama jerárquico de clases para el análisis basado en objetos de la investigación

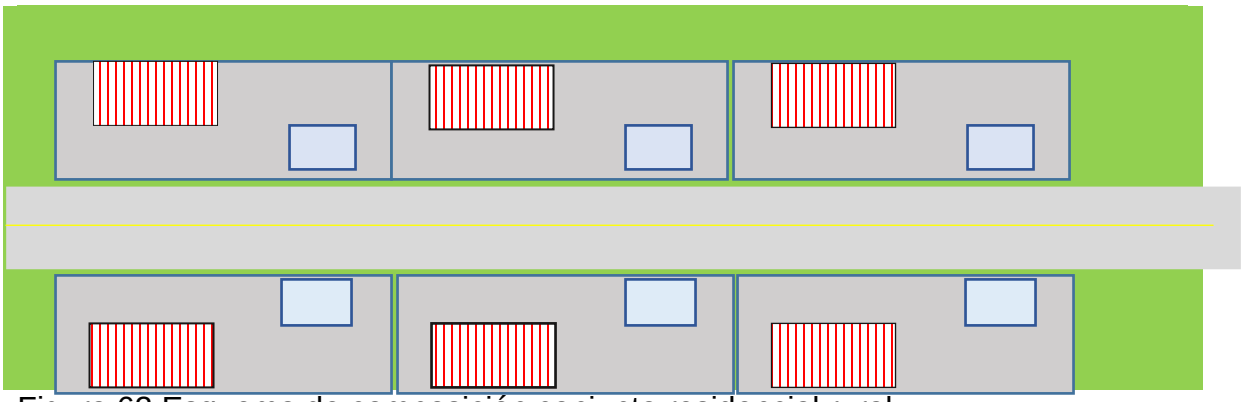


Figura 62 Esquema de composición conjunto residencial rural

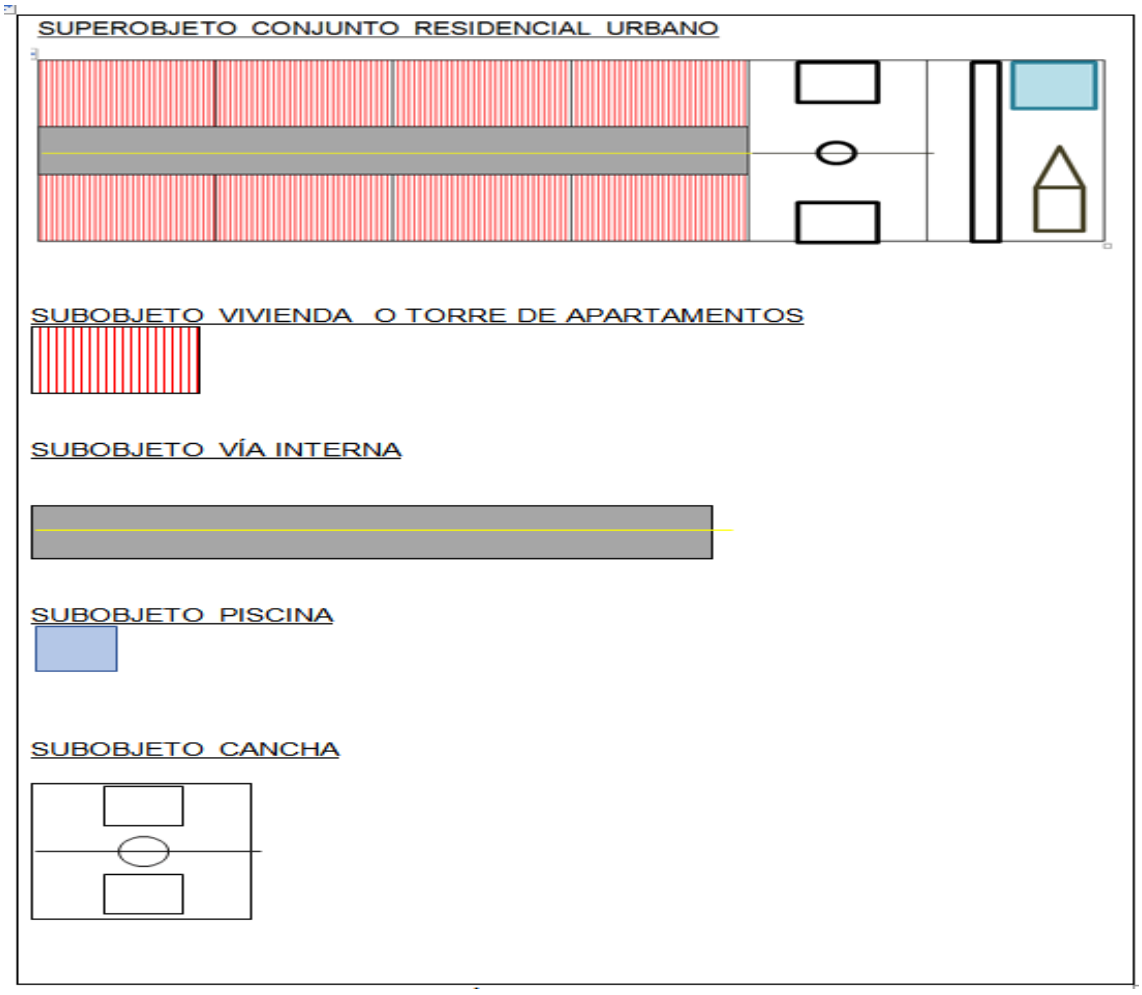


Figura 63 Esquema de composición conjunto residencial urbano

6.8 SELECCIÓN DE MUESTRAS DE OBJETOS TIPO TEJADOS, VIAS, PISCINA, ASFALTO, CONCRETO.

Una vez las imágenes fueron segmentadas por el algoritmo de multiresolución usando los parámetros obtenidos a partir de experimentación en la fase anterior, se procedió a seleccionar muestras de segmentos diferenciando aquellos que pertenecen a clases o categorías que están a nivel del suelo de los que están por encima del mismo así.

Nivel del Suelo

- Piscina
- Suelo Desnudo
- Asfalto/ Concreto
- Cancha de Tenis
- Césped Sintético

Sobre el Suelo

- Tejado Gris Oscuro
- Tejado blanco
- Tejado Rosado o Rojo
- Tejado Gris Claro
- Tejados de otros colores

Y la clase sombras que podría estar a nivel o sobre el suelo. Esta diferenciación fue posible gracias a la información de altura de objetos obtenida a partir de la normalización de los modelos digitales de elevación (MDS-MDT)

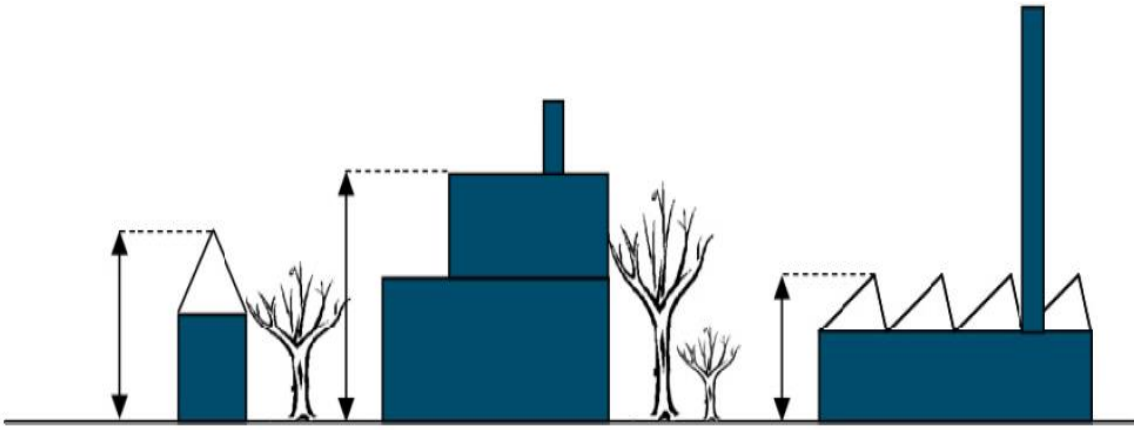


Figura 64 Altura de Objetos fuente tomado de (eCognition Trimble, 2010)

La selección de segmentos muestras siguió los criterios establecidos por (Blaschke, Lang, y Hay , 2008) y de conformidad a lo experimentado por (Arvor D., 2013). En términos prácticos deben escogerse aquellos segmentos que estén conformados inequívocamente por píxeles que pertenezcan a solo una clase así:

Posteriormente se hizo lo mismo para las demás clases definidas en el diagrama de clases (Figura 60) como se me ilustra en las figuras (65 a 71).

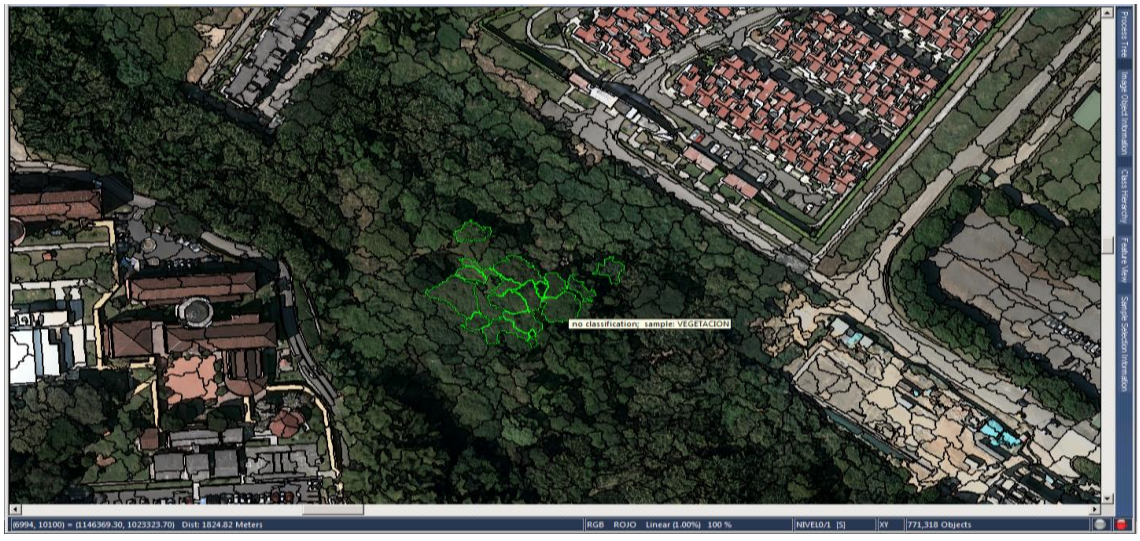


Figura 65 Selección de muestras clase vegetación

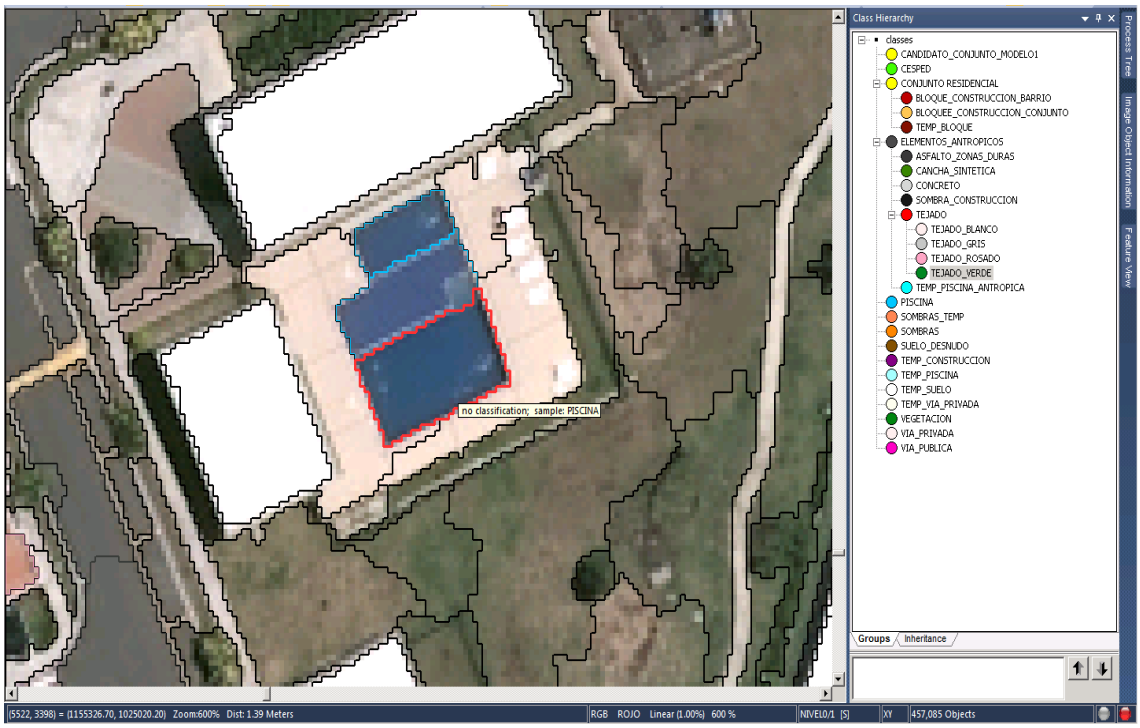


Figura 66 Selección de segmento de muestra clase piscina

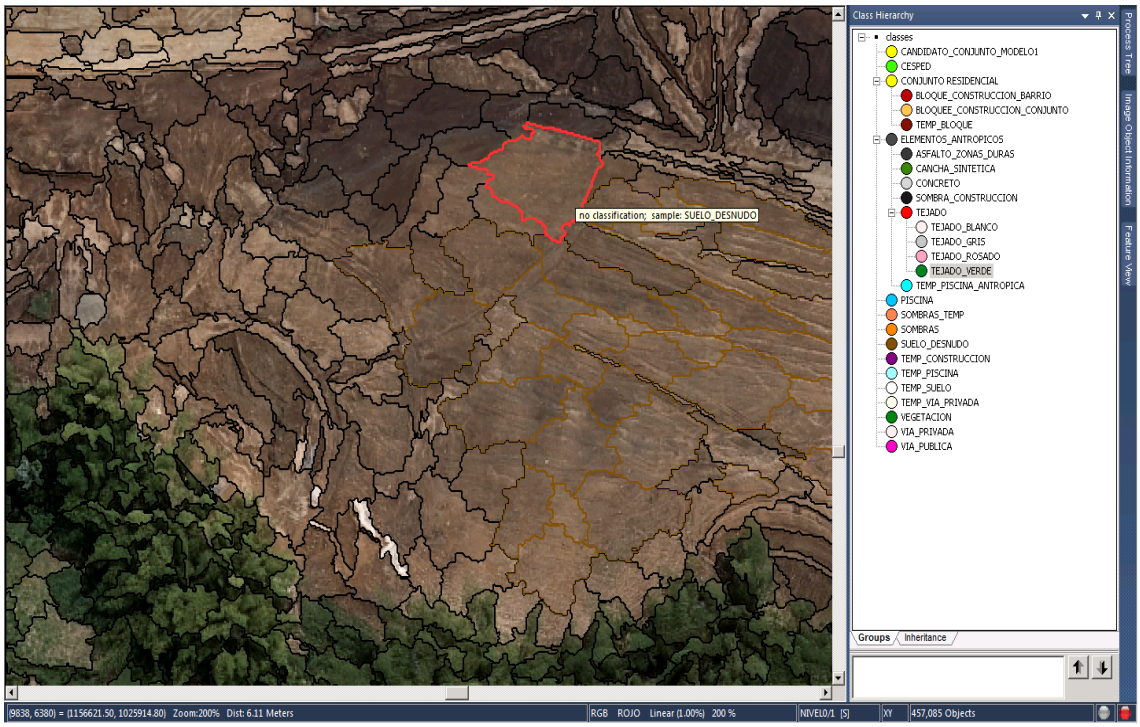


Figura 67 Selección de segmento de muestra clase suelo desnudo

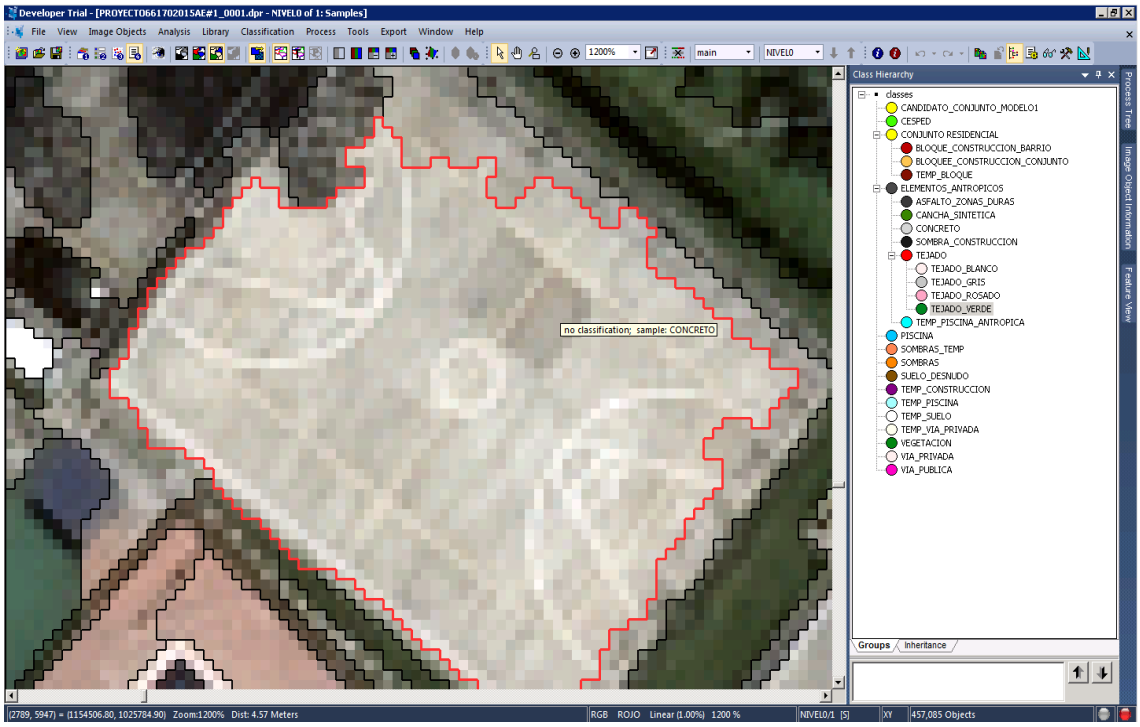


Figura 68 Selección de segmento de muestra clase cancha de concreto

Figura 69 Selección de segmento de muestra clase asfalto

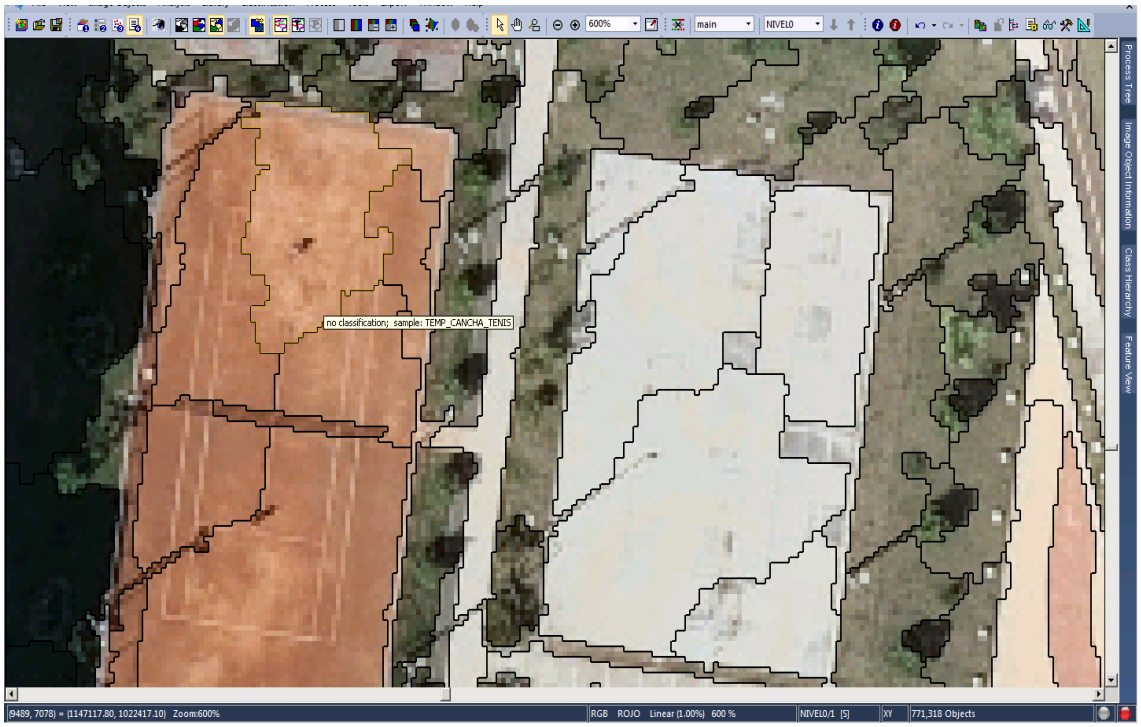


Figura 70 Selección de segmento de muestra clase cancha de tenis

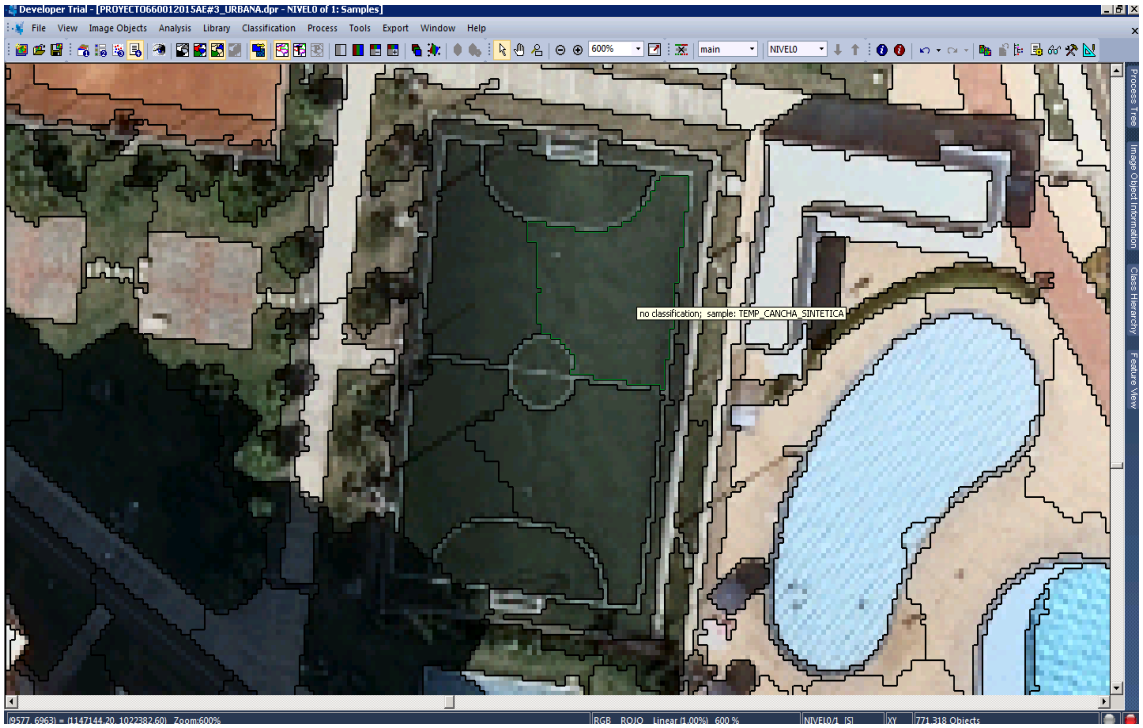


Figura 71 Selección de segmento de muestra clase cancha sintética

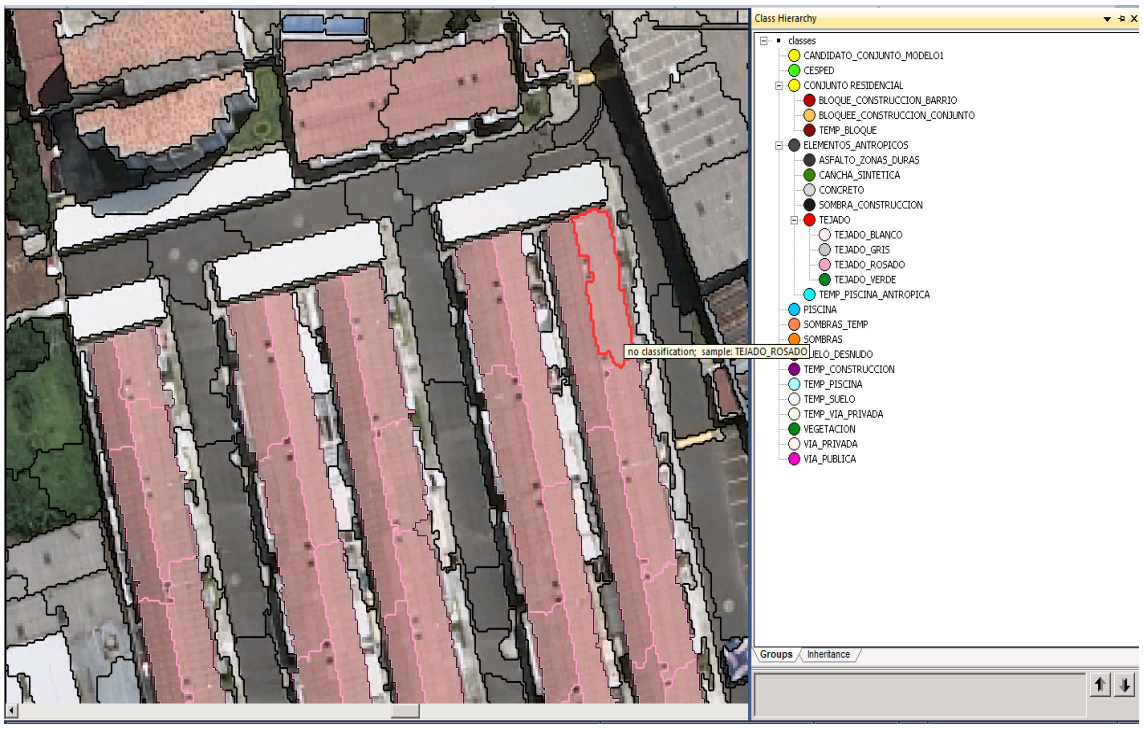


Figura 72 Selección de segmento de muestra tejado rosado

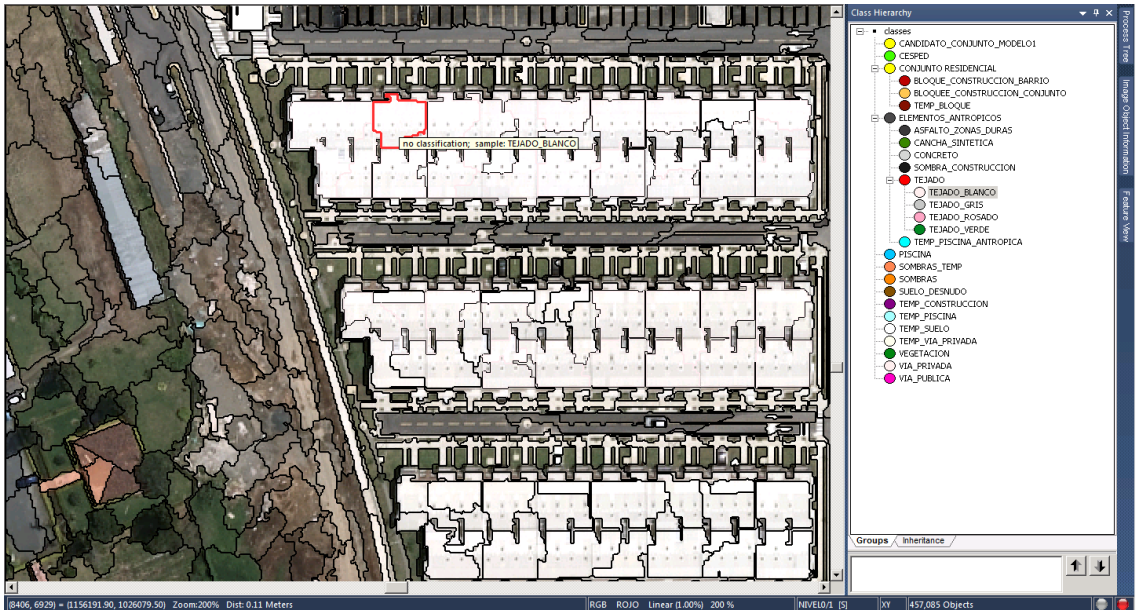


Figura 73 Selección de segmento de muestra tejado blanco

De forma coherente con la estrategia de procesamiento arriba-abajo y el conocimiento a priori del área de estudio se comenzó por seleccionar segmentos de píxeles que correspondían a la clase vegetación tanto arbórea como césped para lo cual se experimentó principalmente con los índices de vegetación y medidas de textura usada por (Vijjapu, 2013) y otros índices disponibles para tal fin (IDB PROJECT, 2016) como el NDVI (3) para las bandas verde y roja.

$$\mathrm{GRNVDI} = \frac{\mathrm{bandas}(\ \mathrm{infrrarojocercano} - (\mathrm{verde} + \mathrm{rojo})}{\mathrm{bandas}(\ \mathrm{infrrarojocercano} + (\mathrm{verde} + \mathrm{rojo})} \qquad (22)$$

Esto a fin de evitar confusión con la clase vegetación dado que los árboles son objetos que se encuentran sobre el nivel del suelo. Varios trabajos (Vijjapu, 2013), (Paidamwoyo Mhangara, 2010) coinciden en que el índice normalizado de vegetación NVDI (3) es la medida más apropiada para diferenciar segmentos pertenecientes a la clase vegetación. También se evaluó NVDI_D (23) en valores de niveles digitales

$$\mathrm{NVDI_D} = \frac{\mathrm{bandas}(\mathrm{infrarrojo\ cercano} - \mathrm{rojo})}{\mathrm{bandas}(\mathrm{infrarrojo\ cercano} + \mathrm{rojo})} \qquad (23)$$

La tabla 13 especifica la cantidad de segmentos tomados como muestras para cada una de las clases definidas en el diagrama de clasificación figura (65).

Tabla 13 Cantidad de muestras seleccionadas por clases

	CANTIDAD DE SEGMENTOS POR MUESTRA	

CLASE	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	No 7	TOTAL
NIVEL DEL SUELO								
ASFALTO_CONCRETO_ZONAS_DURA	62	82	152	252	134	420	380	1482
SUELO DESNUDO	40	60	132	123	34	40	50	479
CANCHA_TENIS	50	26	32	35	15	50	25	233
CESPED SINTETICO	32	42	22	45	10	30	20	201
SOMBRAS_CONSTRUCCION	42	17	40	60	20	40	80	299
PISCINA	17	37	32	42	40	100	80	348
VEGETACION	40	37	110	62	90	200	150	689
SOMBRAS_VEGETACION	12	17	32	120	35	80	60	356
SOBRE EL SUELO								
TEJADO GRIS	80	113	212	424	452	410	353	2044
TEJADO ROJO_ROSADO	79	114	194	326	220	350	420	1703
TEJADO BLANCO	85	68	111	224	98	225	400	1211
TOTAL SEGMENTOS MUESTRADOS								9597

6.9 APLICACIÓN DE ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN DE CARACTERÍSTICAS

Las medidas espectrales y de textura que ofrecieron mejor separación entre las diferentes parejas de clases de los segmentos tomados como muestra al aplicarse

el algoritmo de optimización de espacio de características luego de finalizar la etapa de experimentación se registraron bajo la estructura descrita en la tabla 14, los resultados obtenidos pueden verse en el Anexo 4.

La determinación de los valores para dichas medidas se realizó a partir del cálculo de sus funciones de membresía tal como se define en 6.10 o por valores umbrales de mucha notoriedad al observar las gráficas comparativas del editor de muestras del software eCognition (Figuras 75, 76, 77,78)

Tabla 14 Separación de clases optima a partir de características espectrales, texturales y geométricas

CLASE	ASFALTO_CONCRETO_ZONAS_DURA	SUELO DESNUDO	CANCHA TENIS	CESPED SINTETICO	SOMBRAS_CONSTRUCCION	PISCINA
ASFALTO_CONCRETO_ZONAS_DURA	MEJORES CARACTERISTICAS PARA SEPARACION ENTRE PAREJAS DE CLASES					
SUELO DESNUDO						
CANCHA_TENIS						
CESPED SINTETICO						
SOMBRAS_CONSTRUCCION						
PISCINA						

Adicionalmente las medidas señaladas como las que ofrecen la mejor separación por el algoritmo de optimización de espacio de características, debieron presentar

un solapamiento menor a 0.1 para cada medida evaluada por pareja de clases a fin de garantizar una separabilidad suficiente pensando en obtener la mejor clasificación al incorporarla en una regla de análisis basada en objetos:

Esto atendiendo lo señalado por (Navulur, 2007) y (Blaschke, Lang, y Hay , 2008) quienes coinciden en afirmar que la clasificación ideal para un objeto debe darse usando la menor cantidad de características y/o medidas posibles

Siendo la pareja de clases evaluada "Piscina" versus "Sombra de construcción" (Figura 74).

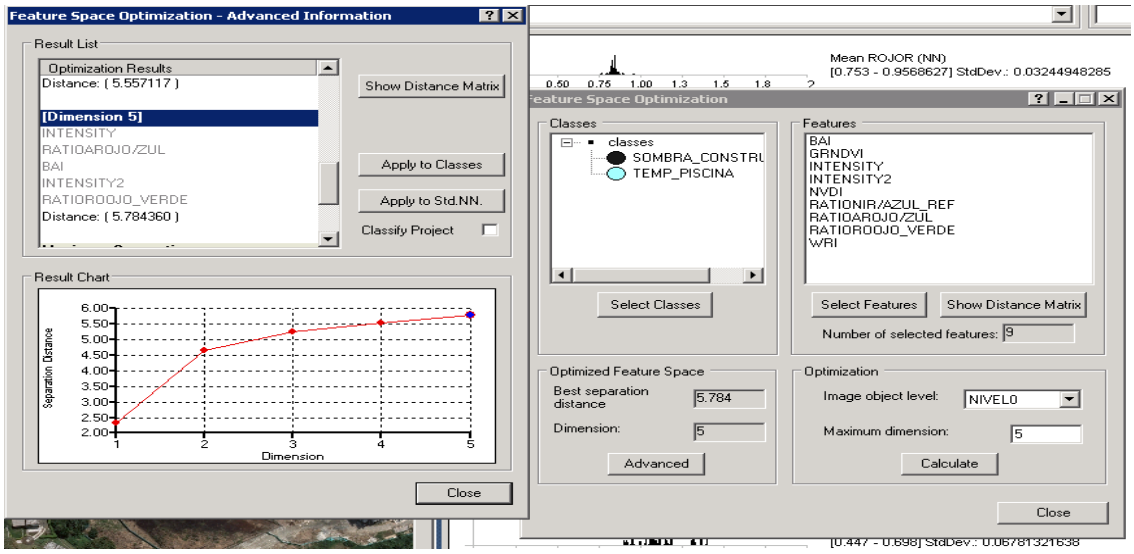


Figura 74 Aplicación de algoritmos de optimización de espacio de características entre clases sombra de construcción y piscina

El índice de INTENSIDAD (10) (Figura 75) (cumple)

El índice de áreas construidas o BAI (4) (Figura 76) (cumple)

El ratio entre las banda roja y del azul en niveles de reflectancia (7) (Figura 77) (cumple).El ratio entre las bandas roja y verde en niveles de reflectancia (no cumple) (Figura 78|).

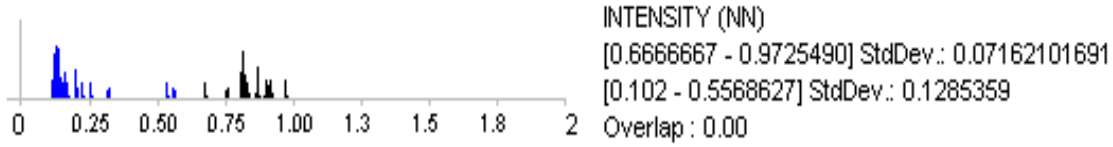


Figura 75 Grafica de comparación entre pareja de clases medida de intensidad (10) fuente elaboración propia adaptado de software eCognition

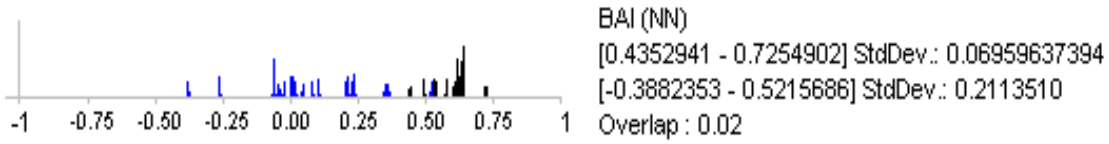


Figura 76 Grafica de comparación entre pareja de clases medida BAI (4) fuente elaboración propia adaptado de software eCognition

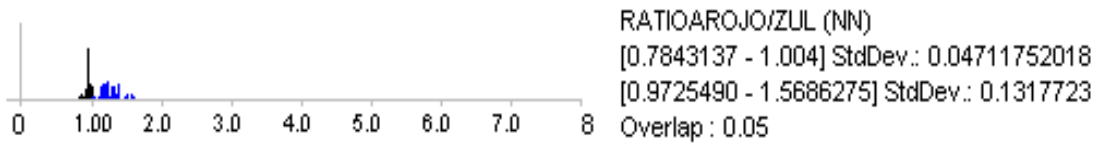


Figura 77 Grafica de comparación entre pareja de clases medida RATIOROJO/AZUL (4) fuente elaboración propia adaptado de software eCognition

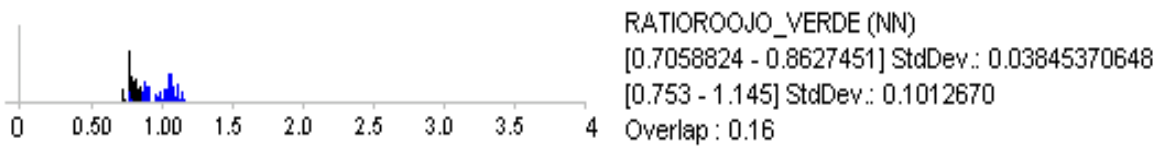


Figura 78 Grafica de comparación entre pareja de clases medida Ratiorojo_verde (9) fuente elaboración propia adaptado de software eCognition

Las medidas que se evaluaron para cada uno de los segmentos fueron las siguientes:

Tabla 15 medidas espectrales evaluadas por el algoritmo de optimización de características

Medidas Espectrales	
Índice de áreas construidas	BAI (4)
Índice de agua normalizado	NDWI (5)
Ratio banda roja/banda azul (niveles de reflectancia)	Ratiorojo_azul (7),
Ratio banda infrarrojo cercano/banda azul (niveles de reflectancia)	Rationir_azul (8),
Ratio banda rojo/verde (niveles de reflectancia)	Ratiorojo_verde (9)
Intensidad (intensidad en todo el espectro en niveles de reflectancia)	Intensidad (10)
Intensidad media2 (intensidad en todo el espectro en niveles de reflectancia)	Intensidad2 (11)
Índice de ratio de agua (en niveles de reflectancia)	WRI (12)

Índice normalizado de vegetación rojo verde	GRNVDI (22)
Índice normalizado de vegetación (evaluado en niveles digitales)	NVDI_D (23)

Tabla 16 medidas de textura evaluada por el algoritmo de optimización de características

Medidas de Textura para cada banda	
Media	(13)
Contraste	(14)
Varianza	(15)
Segundo momento angular	(16)
Correlación	(17)

Tabla 17 Medidas geométricas evaluadas por el algoritmo de optimización de características

Geométricas	
MDSNORMALIZADO	Definido en ecuación (21)
Área	Definidas en tabla 6
Longitud	

Encaje rectangular	
Índice de forma	
Densidad	
Redondez	
Asimetría	

Tabla 18 Listado de relaciones contextuales entre objetos a considerar en las reglas de análisis

Relaciones contextuales	Tipo de relación
Medida en metros de borde compartido con segmento clasificado como construcción	Relación a objetos vecinos
Medida en metros de borde compartido con segmento clasificado como vía publica	Relación a objetos vecinos
Medida en metros de distancia con objetos vía privada	Relación a objetos vecinos
Medida de distancia a objetos clasificado como piscina	Relación a objetos vecinos
Desviación estándar de altura de segmentos MDSNORMALIZADO (22) clasificados como tejados con respecto al segmento unificado de construcción denominado manzana catastral ver (Figuras 79 y 80)	Relación objeto a subobjeto
Medida de varianza de intensidad (15) para tejado que componen el objeto manzana catastral	Relación objeto a subobjeto

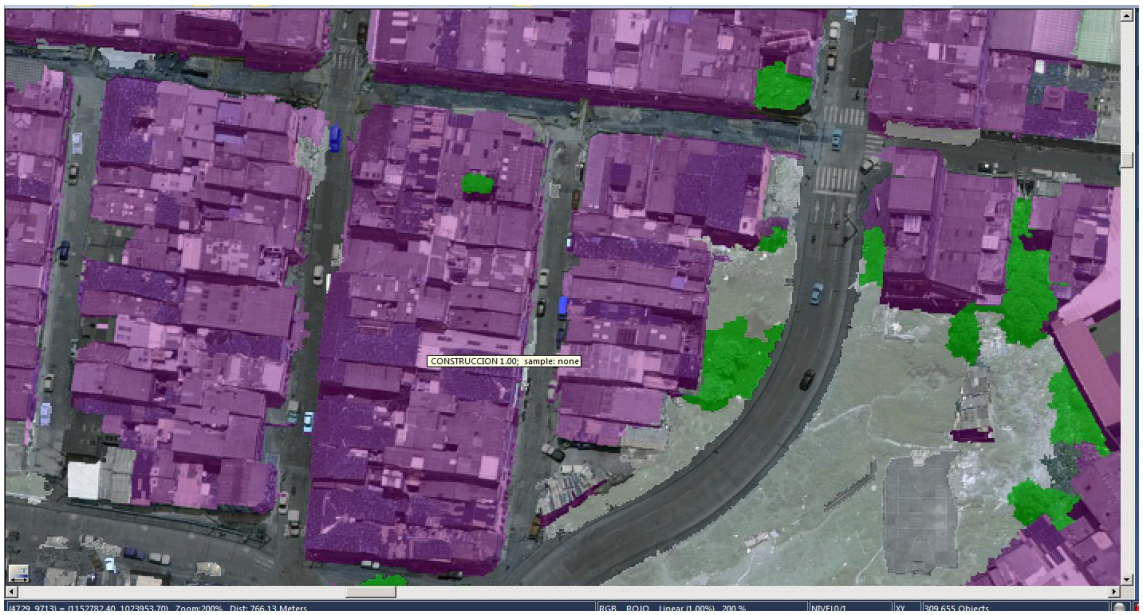


Figura 79 Construcción en forma de manzana formada por agrupación de segmentos hacia un nivel superior fuente: elaboración propia

Figura 80 Segmentos correspondientes a cada uno de los tejados existentes en la manzana catastral fuente: elaboración propia

La aplicación de este algoritmo en esta sección se realizó considerando el desarrollo metodológico y conclusiones de la investigación de (Arvor D., 2013) y lo planteado en el libro de (Navulur, 2007).

6.10 DEFINICION DE FUNCIONES DE MEMBRESIA Y VALORES UMBRALES POR CADA CLASE DE OBJETO

Las funciones de mebresía describen el comportamiento de una medida (espectral,textural, geométrica) en terminos de la pareja (valor, % probabilidad de pertenecer a una clase). En este trabajo de investigación se determinó las mejores medidas para clasificar cada una de las clases en la forma descrita en la sección 6.9. Adicionalmente se elaboró un tabla de frecuencias por cada una de las muestras y su correspondiente medida para determinar probabilidad de ocurrencia y en base a esto definir las respectivas funciones de membresía, tal como se ilustra a continuación para la clase “Piscina” y el índice de áreas construidas BAI (4) .

Tabla 19 Ocurrencia de valores para las muestras de segmentos de clase “Piscina” para el índice de áreas construidas BAI (4).

VALOR	PROBABILIDAD	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	No 7	FRECUENCIA
0.36	0	0		0	0	0.000	0.00	0	0
0.37	0.57142857	0		1	1	0.000	1.00	1	4
0.38	0.57142857	0		1	1	0.000	1.00	1	4
0.39	0.57142857	0		1	1	0.000	1.00	1	4
0.4	0.57142857	0		1	0	1.000	1.00	1	4
0.41	0.57142857	0		1	0	1.000	1.00	1	4
0.42	0.57142857	0		1	0	1.000	1.00	1	4
0.43	0.71428571	1		1	0	1.000	1.00	1	5
0.44	0.85714286	1		1	1	1.000	1.00	1	6
0.45	0.85714286	1		1	1	1.000	1.00	1	6
0.46	0.85714286	1		1	1	1.000	1.00	1	6

Los valores de la tabla 19 dan como resultado la función de membresía de la (Figura 81).

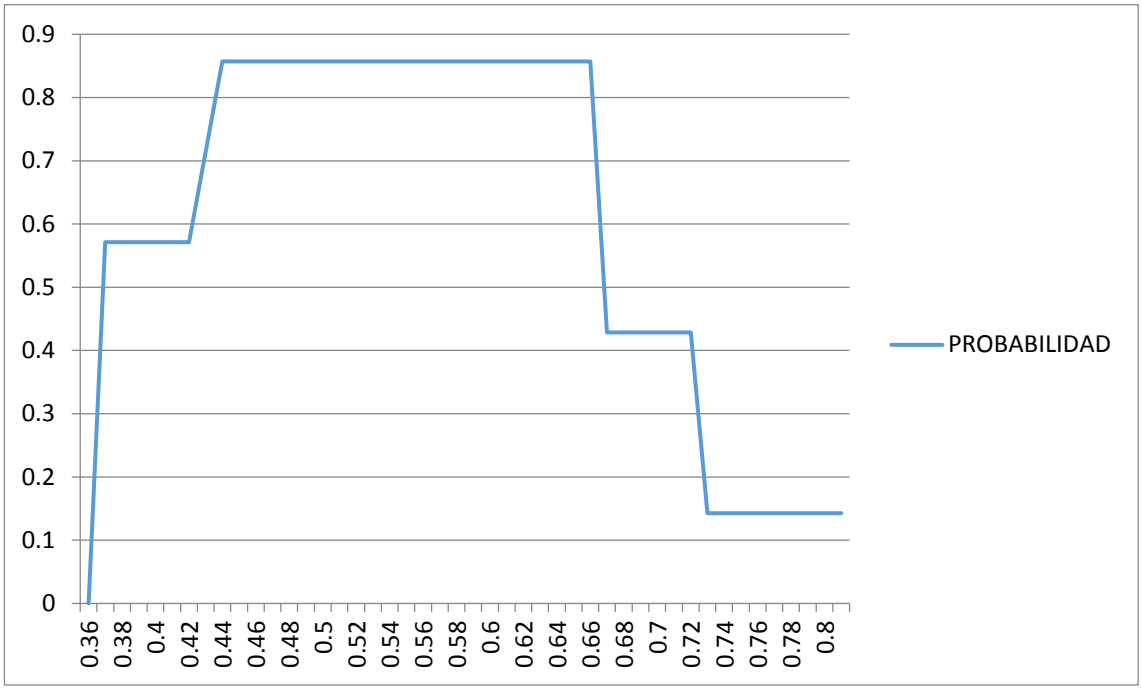


Figura 81 Función de membresía del índice de áreas construidas BAI (4) para la clase “Piscina”

Las funciones de membresía sirvieron para evaluar los segmentos candidatos a ser clasificado para algunas de las clases definidas en la investigación (Figura 61), identificándolos como no pertenecientes a dichas clases en caso de que el valor de la medida evaluada en la función de membresía tuviese una probabilidad de ocurrencia inferior al 50%. Para algunas medidas de ciertas clases como el caso de la “Vegetación” y su índice normalizado no se requirió definir una función de membresía ya que se observó en todas las muestras un valor umbral que imposibilitaba la confusión con otras clases.

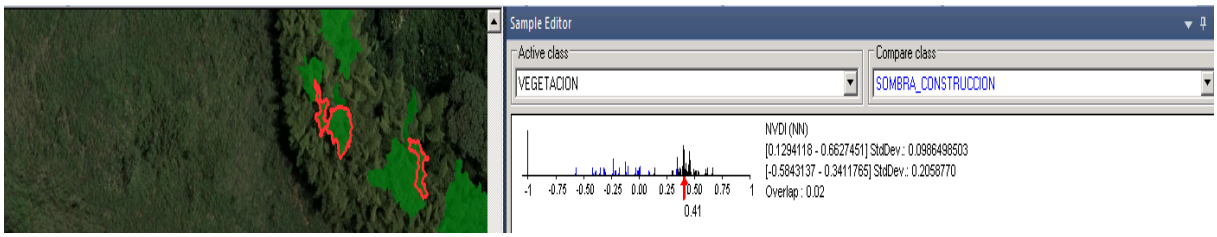


Figura 82 Comparación de segmentos de muestra área de estudio #1 VEGETACION versus SOMBRA_CONSTRUCCION

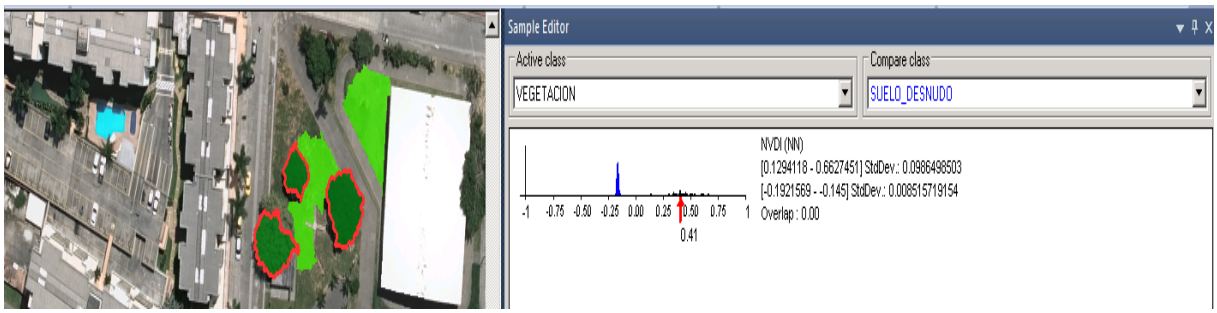


Figura 83 Comparación de segmentos de muestra área de estudio #1 VEGETACIÓN versus SOMBRA_CONSTRUCCION

6.11 ELABORACIÓN DE REGLAS DE ANÁLISIS PARA DETECTAR CONJUNTOS RESIDENCIALES.

Como se mencionaba anteriormente las reglas de análisis permiten la creación, actualización y eliminación de objetos a partir su aplicación y evaluación sobre segmentos obtenidos a partir del algoritmo de multiresolución por segmentación o la misma ejecución de reglas de análisis previas, simultáneamente estos segmentos terminan siendo clasificados bajo ciertas categorías y/o asignados a una clase.

El proceso de clasificación basada en objetos siguió el enfoque propuesto por (Navulur, 2007) que se explica más claramente mediante el siguiente esquema.

Las reglas de clasificación basada en objetos fueron implementadas sobre el software eCognition Developer 9.0 versión trial agrupado en 4 proyectos de trabajo (Tabla 20):

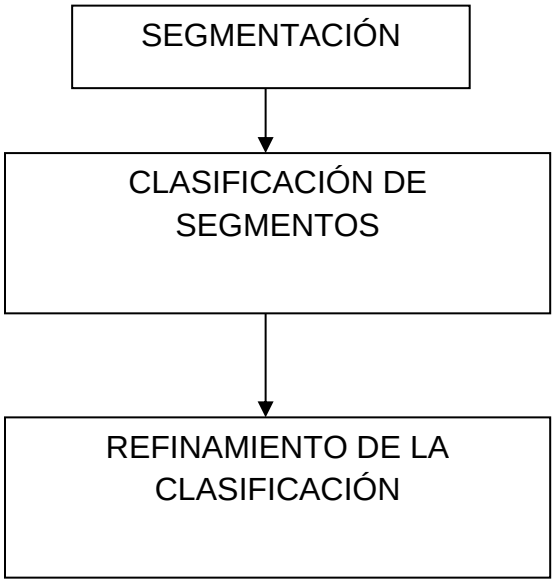


Figura 84 Esquema básico del proceso de clasificación basado en objetos usado por (Navulur, 2007)

Tabla 20 Proyectos de trabajo clasificación basada en objetos para la investigación

Nombre proyecto	Área de Estudio	Tamaño Imagen (pixeles)
PROYECTO660012015AE#1_0001	No 1	17780X18637
PROYECTO660012015AE#2_0001	No 2	14876X13013
PROYECTO660012015AE#3_URBANA	No 3 parte urbana	23957X19465
PROYECTO660012015AE#3_RURAL	No 4 parte rural	36577X37219

Estas se ejecutaron sobre dos servidores de alto procesamiento cuyas características son descritas en la tabla 21.

Tabla 21 Especificaciones técnicas de los servidores de alto procesamiento empleados en la ejecución de las reglas de análisis

Modelo No 1	SERVIDOR BLADE POWER EDGE DELL R510
Procesador	Intel Xeon X5670 Velocidad:2.93 Gigahercio 6 núcleos
Memoria RAM	16 Giga bytes
Disco Duro	500 Gigabytes
Tarjeta de Video	Nvidia Geforce GT 720
Sistema Operativo	Windows Server 2008 R2 Enterprise
Modelo No 2	SERVIDOR Hewlert Packard StorageWorks
Procesador	Intel Xeon ® E5520 velocidad 2.27 Gigahercio 8 núcleos
Memoria RAM	12 Giga bytes
Disco Duro	4 Terabytes
Tarjeta de Video	Tarjeta ATI
Sistema Operativo	Windows Storage Server Standard

Los algoritmos utilizados para la clasificación de segmentos fueron los siguientes:

6.11.1 Algoritmo de asignación de clases

El algoritmo de asignación de clases se utilizó principalmente para aquellos segmento que podían clasificarse a partir de máximos dos medidas y su correspondiente umbral como fue el caso de aquellos pertenecientes a la clase “Vegetación” que podían ser clasificados a partir de la evaluación del índice normalizado de vegetación (Figuras 85 y 86).

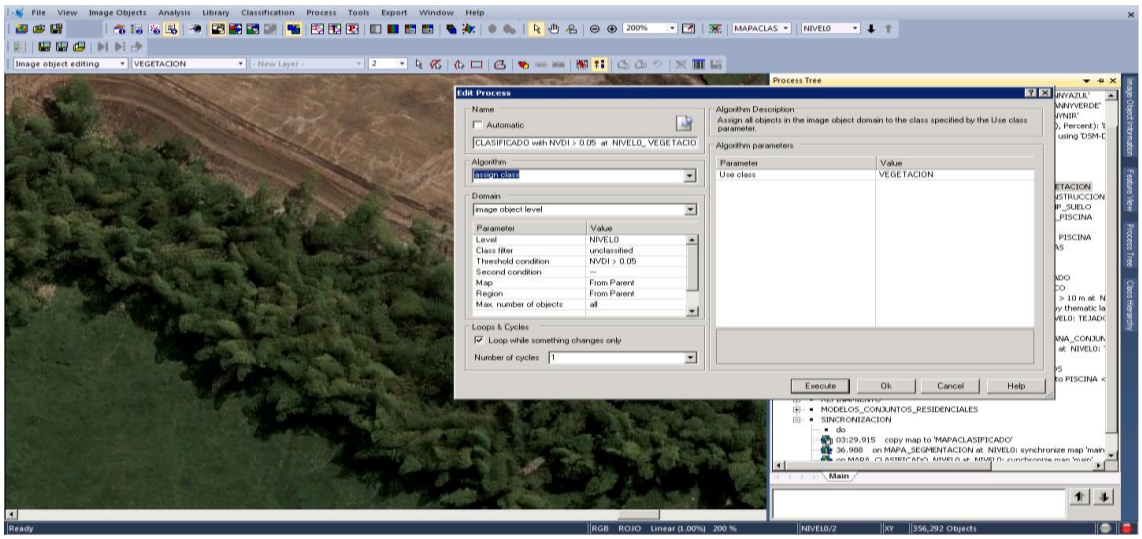


Figura 85 Imagen antes de aplicar regla de análisis para clasificar vegetación

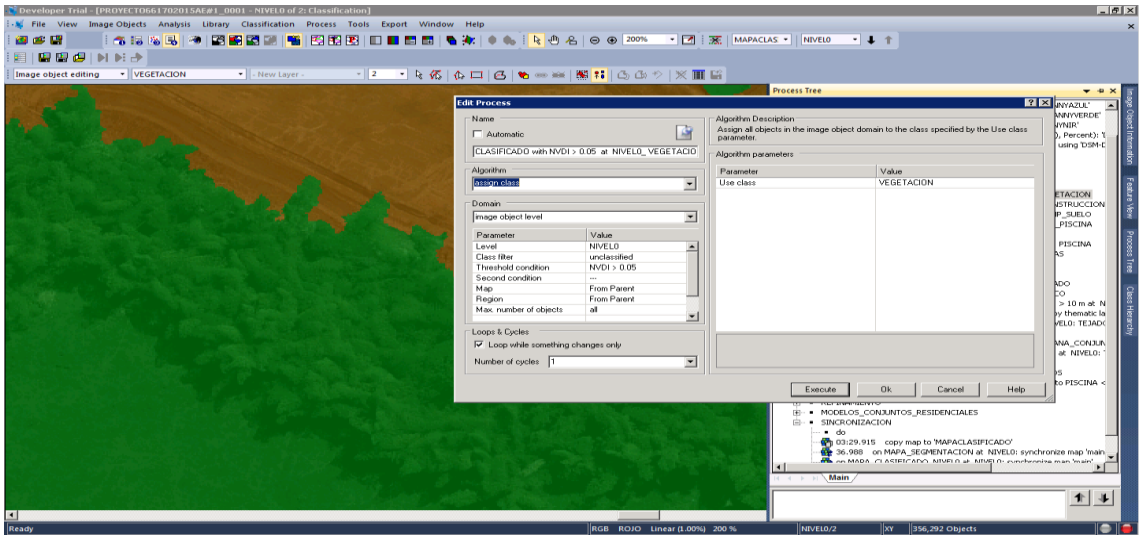


Figura 86 Imagen después de aplicar regla de análisis para clasificar vegetación

6.11.2 Algoritmo de clasificación por funciones de membresía

El algoritmo de clasificación por funciones de membresía se utilizó para aquellos segmentos que solo podían categorizarse por la evaluación de las funciones de membresía obtenidas durante la fase recolección de muestras y aplicación del algoritmo de optimización de características. Como fue el caso de los tejados de

tonalidad roja, rosada y café correspondientes a los materiales de arcilla, fibrocemento y barro respectivamente (Figuras 87 y 88), (rosado=tejados rosados, azul=piscina, negro=asfalto, café=objetos a nivel de suelo)

.

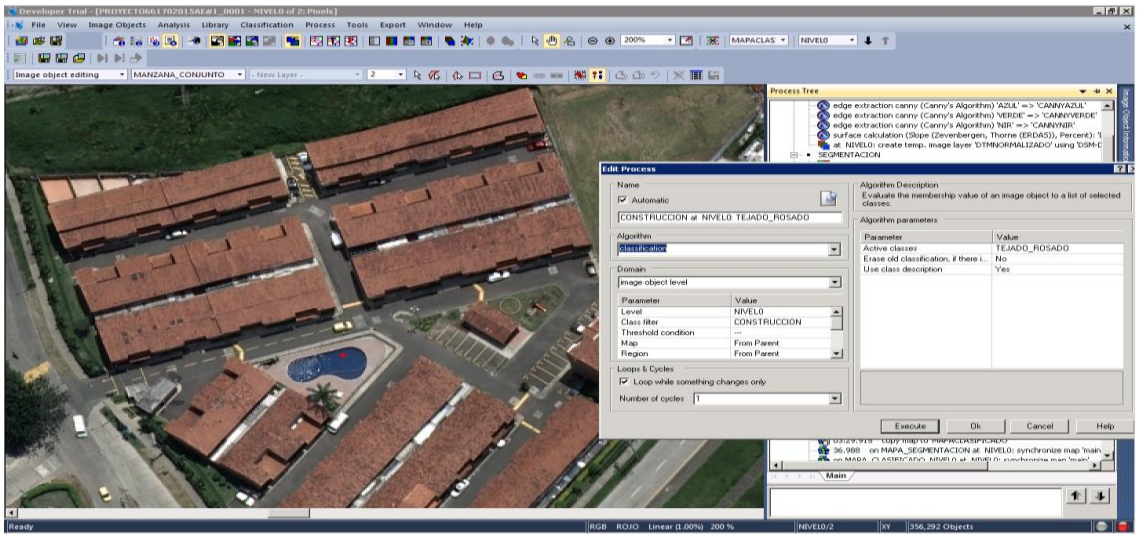


Figura 87 Imagen antes de aplicar algoritmo.

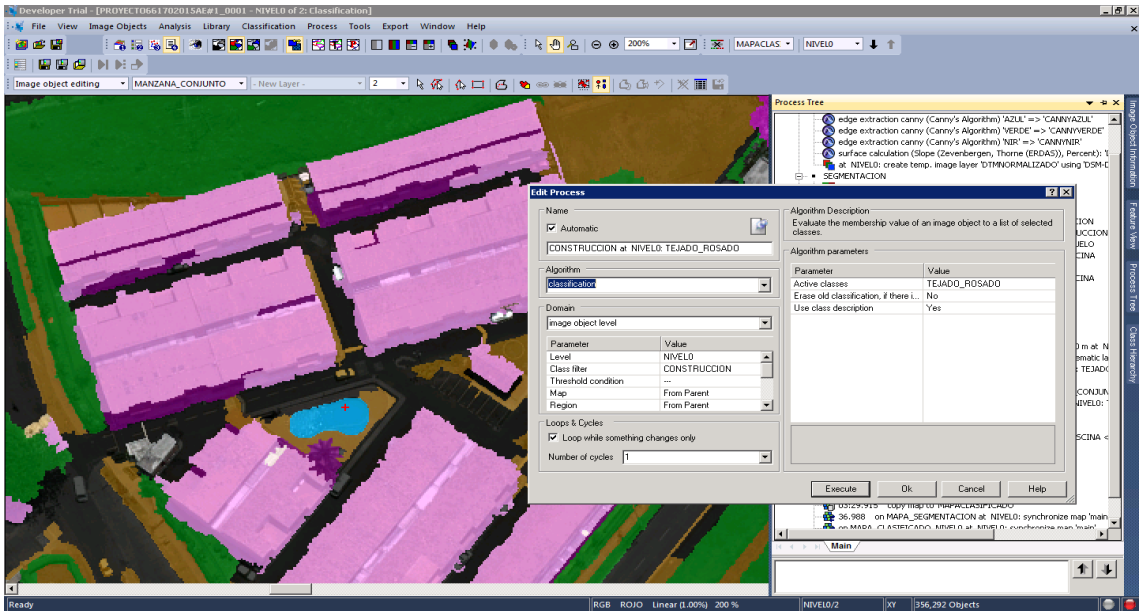


Figura 88 Imagen después de aplicar algoritmo

6.11.3 Algoritmo de crecimiento por regiones

Este algoritmo se utilizó para agrupar segmentos que previamente hubiesen sido clasificados bajo una misma categoría o clase que estuviesen contiguos espacialmente es decir que compartieran bordes. En el proceso de clasificación se utilizó por ejemplo para el caso de conformación de vías y manzanas catastrales (Figuras 89 y 90).

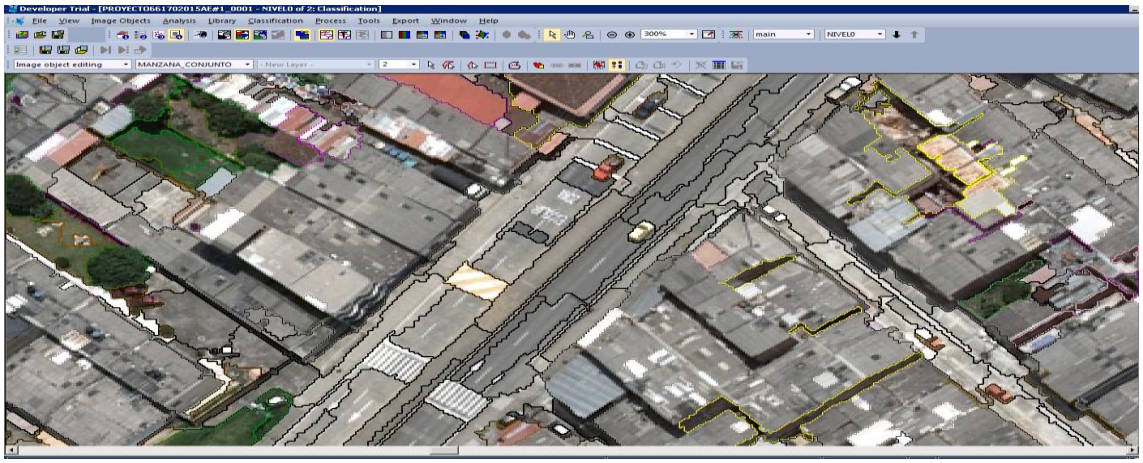


Figura 89 Segmentos clasificados como vías sin aplicar el algoritmo

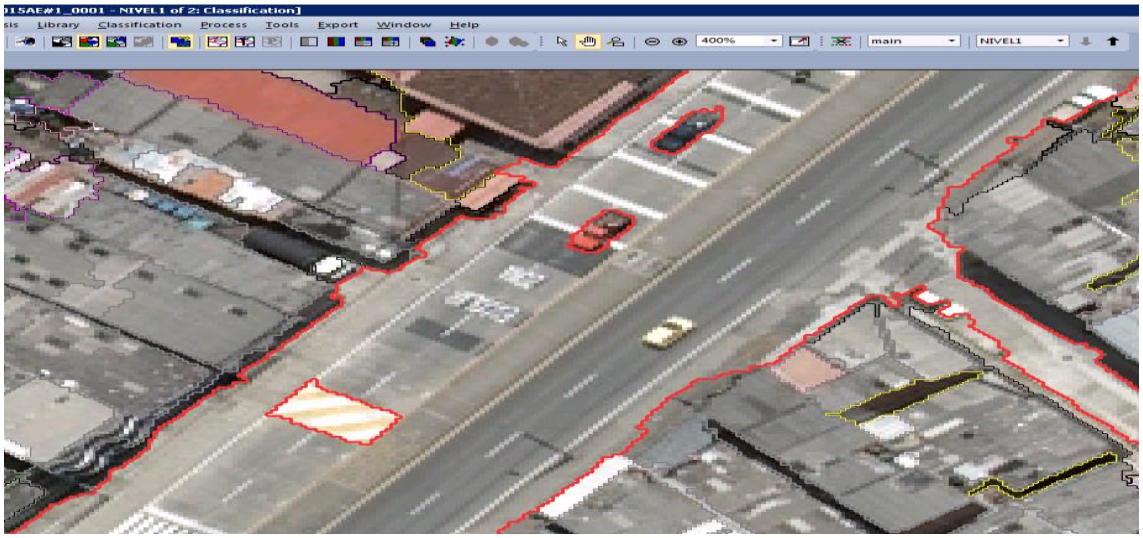


Figura 90 Objeto vía publica conformado por segmentos agrupados por el algoritmo de crecimiento por regiones

6.11.4 Algoritmo buscar objetos rodeados por clases

Este algoritmo fue utilizado principalmente para refinar la forma de tejados que por razones de diseño o diferencia de alturas presentan discontinuidades, como en el caso de los efectos por sombras (Figuras 91,92 y 93), clases (amarillo=tejado a base de barro; purpura=otros tejados, negros=sombras de construcción)

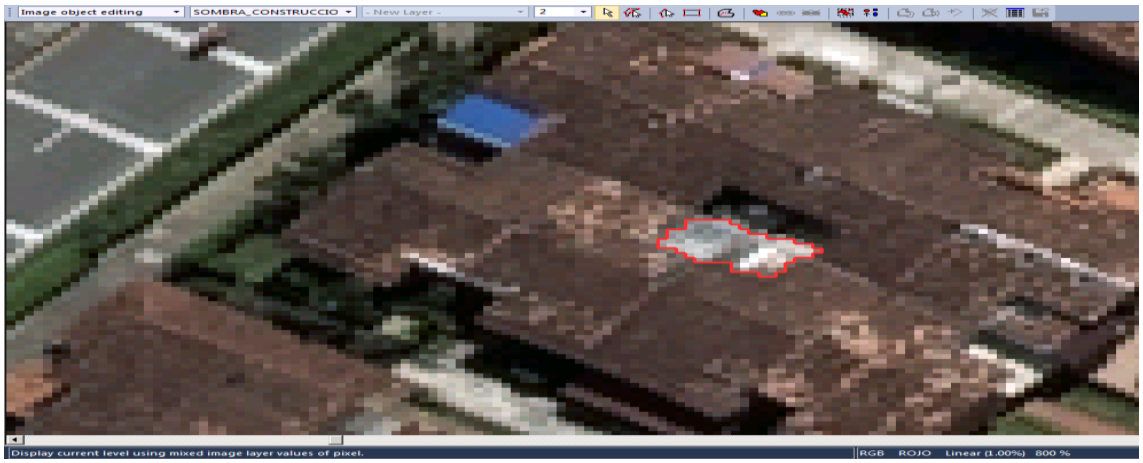


Figura 91 Imagen con efecto de sombra por diseño de tejado

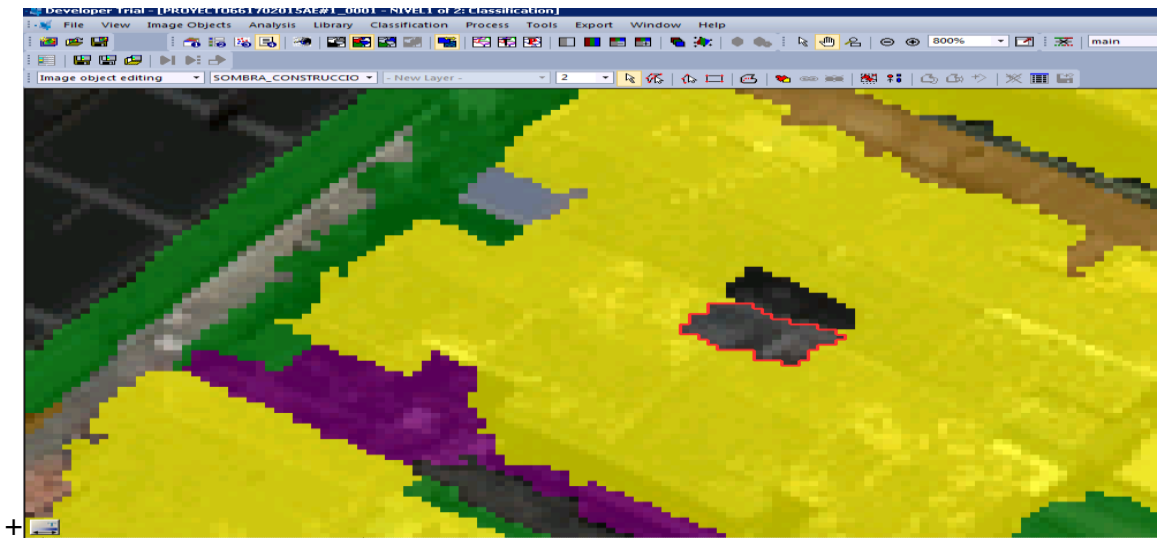


Figura 92 Imagen clasificada antes de aplicar algoritmo buscar objetos rodeados por clases

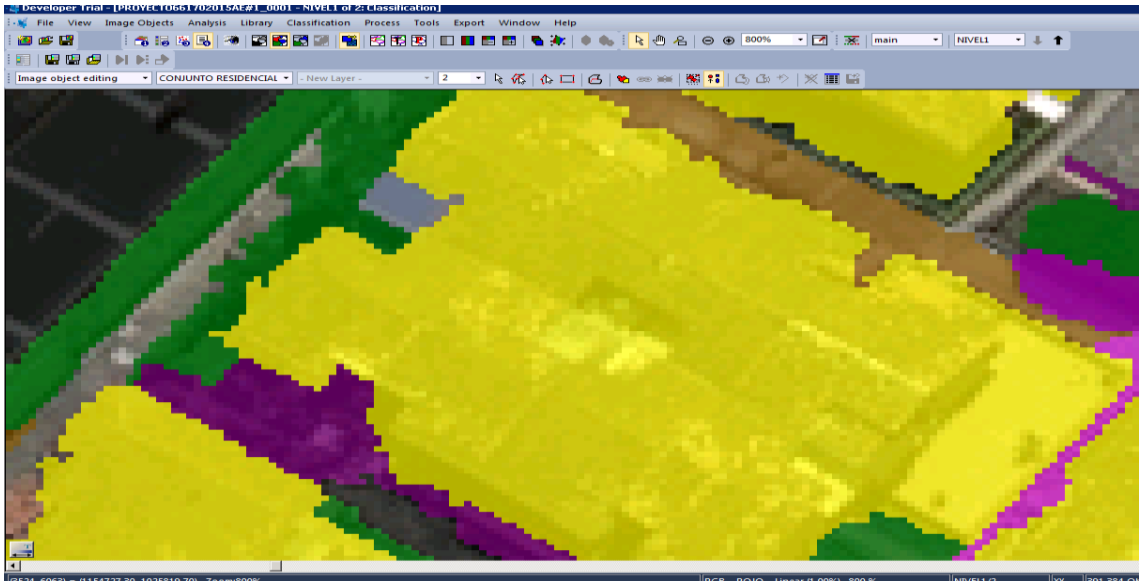


Figura 93 Imagen después de aplicar algoritmo

6.11.5 Asignación de clase por capa temática

Este algoritmo fue usado para reclasificar objetos de clase “Asfalto y/o zonas duras” como “Vías públicas” verificando si se interceptaban con el vector de nomenclatura vial pública para los municipios de Pereira y Dosquebradas.

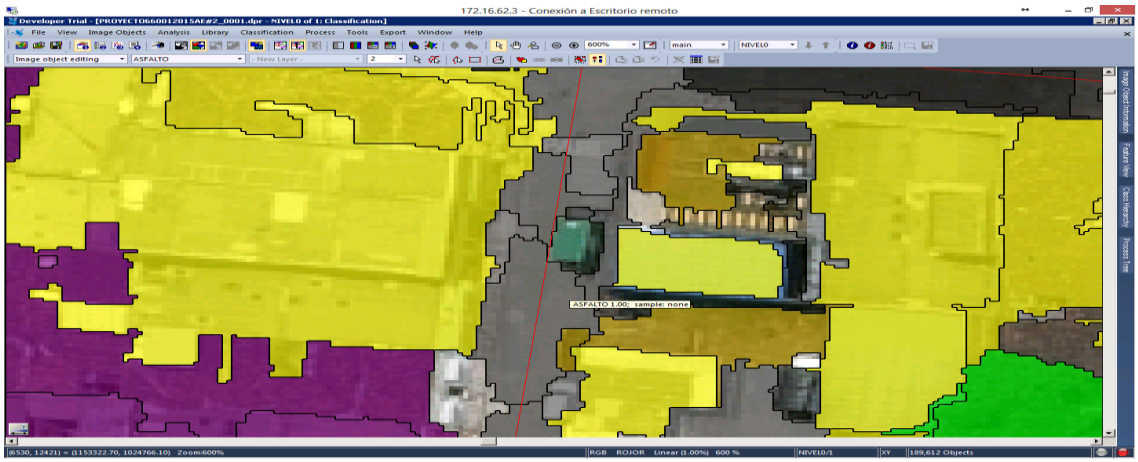


Figura 94 Imagen antes de aplicar algoritmo de asignación de clases por capa temática segmento clasificado como asfalto (gris claro)

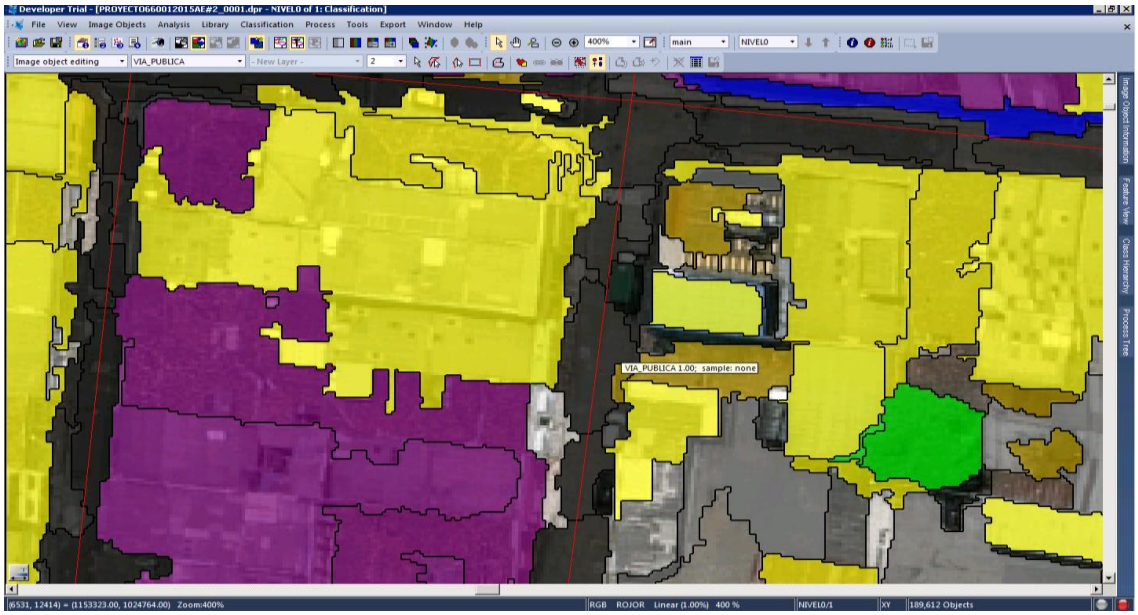


Figura 95 Imagen reclasificada con objetos de clase “Vía Publica” (color gris oscuro) después de aplicar algoritmo de asignación de clases por capa temática

6.12 EVALUACIÓN DE EXACTITUD EN LA DETECCIÓN DE CONJUNTOS RESIDENCIALES

La evaluación de exactitud en la detección de conjuntos residenciales se realizó en forma manual cotejando las áreas demarcadas con color amarillo luego de finalizar la ejecución de reglas de clasificación basada en objetos contra una base de datos geográfica con la ubicación de conjuntos residenciales construidos en el periodo 2005-2014, desarrollada para la evaluación de la clasificación a partir de consultas al sistema nacional catastral (INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI, 2016) y el estudio de acabados de construcciones . Son un total de 140 conjuntos residenciales ubicados dentro de las 3 áreas de estudio (Tabla 22) (Figura 96). La base datos no incluye un tipo específico de conjuntos residenciales formados por una única torre de apartamentos con parqueados internos la

mayoría de las veces a nivel de sótanos, con áreas comunes como gimnasios y salones sociales no apreciables desde una perspectiva aérea.

La geometría que contiene la ubicación de los conjuntos residenciales es de tipo punto y se localizó en el punto más central del mismo, esto con el fin de facilitar el conteo de los conjuntos detectados exitosamente en una escala pequeña dada la considerable extensión de las áreas de estudio.

Tabla 22 Evaluación de la exactitud en la detección conjuntos residencias construidos en el periodo 2005-2014 ubicados en el área de estudio Fuente: Base de datos georeferenciada de proyectos conjuntos residenciales

AREA DE ESTUDIO	Conjunto Residencial		Exactitud en la imagen %
	Número de conjuntos residenciales ubicados en el área	Número de conjuntos residenciales detectado por reglas de análisis	
	Cantidad total de puntos georefenciados correspondientes a cada uno de los conjuntos residenciales ubicados en la respectiva área de estudio	Cantidad de polígonos pertenecientes a conjuntos residenciales denotadas por un polígono amarillo	= Total conjuntos residenciales en área de estudio/ Total conjuntos detectados por reglas de análisis X 100

	denotados por un cruz roja		
Total	Total conjuntos residenciales ubicados en las 3 areas de estudio	Total de conjuntos residenciales detectados por reglas de análisis basado en objetos	=Total de conjuntos residenciales ubicados en las 3 áreas de estudio /Total de conjuntos residenciales detectados por reglas de análisis basado en objetos

En total son 140 conjuntos residenciales cuya relación puede verse en el Anexo 5, la evaluación de la exactitud de la clasificación basada en objetos de cada una de las imágenes se llevó a cabo mediante la elaboración y diligenciamiento de una matriz de confusión con las clases de nivel superior mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 23 Matriz de confusión para evaluación de la clasificación de las imágenes

	CONJUNTO RESIDENCIAL	CONSTRUCCIONES	VIAS PUBLICAS	VEGETACION	ZONAS DURAS	TOTAL MAPA
CONJUNTO RESIDENCIAL						
CONSTRUCCIONES						
VIAS PUBLICAS						
VEGETACION						
ZONAS DURAS						
TOTAL CAMPO						

Siguiendo lo sugerido por (Congalton y Green, 2009) se tomaron 50 muestras de cada clase especificada en la tabla 23, correspondientes a locaciones dentro de la zonas de estudio Figura 8 imágenes incluidas en el ANEXO 1. Para la clase conjuntos residenciales se contó con 140 muestras correspondientes a las ubicaciones de los mismos dentro de las zonas de estudios (Figura 96).

El proceso de selección y georeferenciación de muestras para diligenciar la matriz de confusión por cada clase se realizó manualmente sobre cada una de las imágenes y para cada clase especifica tal como indica la siguiente figura

.

Figura 96 Selección de muestra clase “CONCRETO ZONA DURA” locación plaza cívica ciudad victoria Pereira-Colombia

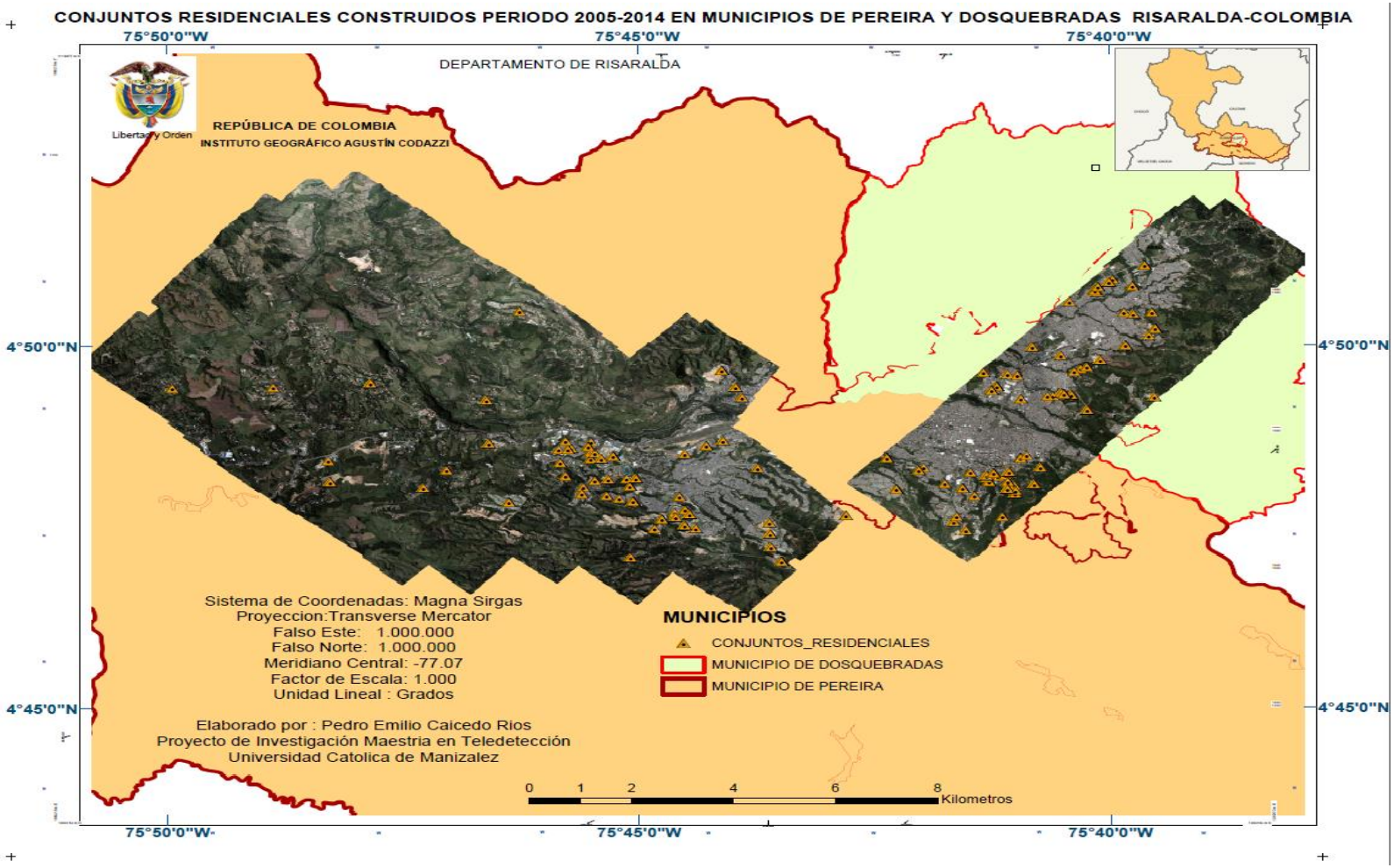


Figura 97 Ubicación de conjuntos residencias construidos en el periodo 2005-2014 ubicados en el área de estudio

Fuente: Base de datos georeferenciada elaborada para evaluación del proyecto

7. RESULTADOS OBTENIDOS

7.1 IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE CONDICIONES ESPECTRALES, GEOMÉTRICAS, DE TEXTURA Y CONTEXTO PARA LAS REGLAS DE ANÁLISIS BASADO EN OBJETOS, QUE PERMITAN DIFERENCIAR CONJUNTOS RESIDENCIALES DE LOS DEMÁS OBJETOS PRESENTES EN LAS IMÁGENES.

7.1.1 Parámetros de condiciones geométricas

Como se ha mencionado en varios apartes de este documento los conjuntos residenciales constituyen un tipo particular de construcción con características recurrentes que permite diferenciarlos del resto de las construcciones. La información de altura de objetos obtenida de los modelos digitales de elevación extraídos (modelo digital de superficie MDS, modelo digital de terreno MDT) a partir de pares estereoscópicos de imágenes Vexcel Ultracam D permitió diferenciar de forma más precisa tanto los conjuntos residenciales como las construcciones en general.

Por esta razón la obtención de modelos digitales de elevación a partir del procesamiento de imágenes es fundamental para la detección de conjuntos residenciales y cualquier tipo de construcción. Las imágenes estereoscópicas adquiridas por sensor Vexcel Ultracam D del IGAC permiten la obtención de dicha información. Sin embargo la calidad de detalle de estos modelos de elevación está condicionada a los parámetros de generación del modelo epipolar en función de las áreas de solapamiento entre pares de imágenes. Para el caso de las imágenes Vexcel Ultracam D procesadas en el software GXL de PCI Geomatics se lograron los mejores resultados a nivel de calidad de detalle de los modelos de elevación con los siguientes parámetros de condiciones geométricas:

Tabla 24 Parámetros con mejores resultados para creación de imágenes Vexcel Ultracam D Epipolares usando software GXL de PCI GEOMATICS

Parámetro	Especificación
Selección de Pares de Imágenes	Selección manual para pares de cuyo solapamiento sea igual o mayor al 60%
Bandas Usadas	Bandas azul, verde, rojo
Factor de Remuestreo	2 píxeles

Tabla 25 Parámetros con mejores resultados para la extracción de modelos digitales de elevación partir de imágenes Vexcel Ultracam D usando software GXL de PCI GEOMATICS

Parámetro	Especificación
Rango de Elevación	Automático
Bandas Usadas	Bandas azul, verde, rojo
Detalle de modelo de elevación	Extra alto
Tipo de Terreno	montañoso
Datum vertical	Nivel medio del mar
Resolución de salida de modelos de elevación	32 bits
Intervalo de remuestreo de píxeles	Cada 2 píxeles

Durante la investigación se pudo apreciar una enorme diferencia en calidad de detalle de formas de vegetación y construcciones que otorga la utilización exclusiva del solapamiento longitudinal (60%) (Figura 101) para los pares de imágenes Vexcel Ultracam D, en comparación con la utilización conjunta con solapamiento transversal (40%) (Figura 100).

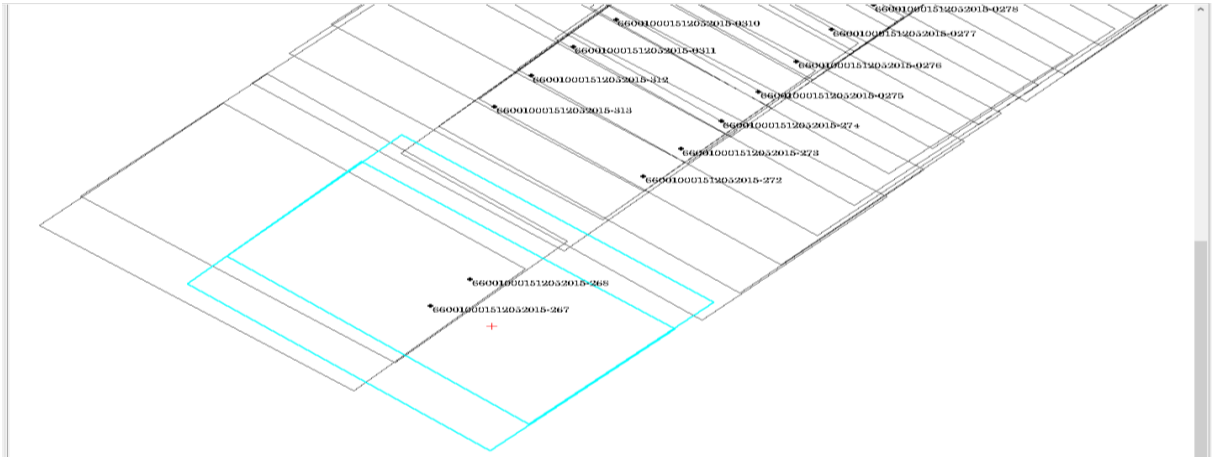


Figura 98 Selección de pares de imágenes Vexcel Ultracam con solapamiento longitudinal 60%

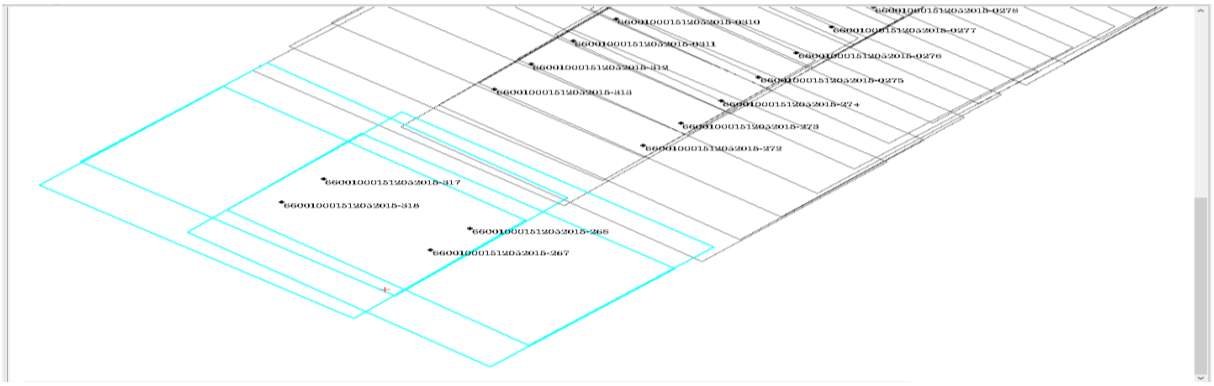


Figura 99 Selección de pares de imágenes Vexcel Ultracam con solapamiento longitudinal (60%) y transversal (40%)

En el caso por ejemplo de los condominios rurales (Figura 100) que están rodeados por vegetación densa y patrones irregulares de construcción, es primordial contar con un modelo de elevación a nivel de superficie con alto nivel de detalle (Figura 102) que permita obtener formas lo más precisas posibles de construcciones para que algoritmos como el de crecimiento por regiones ofrezcan objetos que puedan clasificarse de la forma más exacta posible.

Figura 100 Imagen orto rectificada área de condominio rural

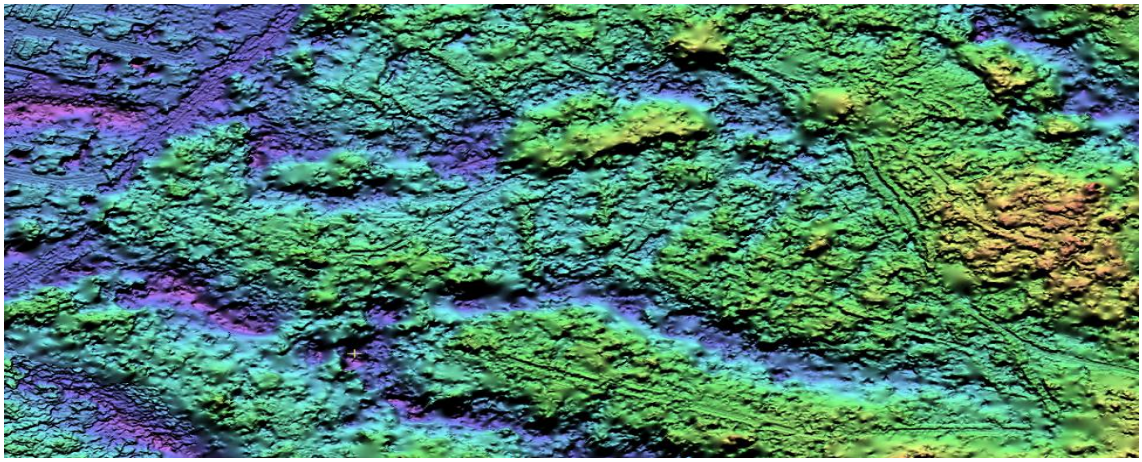


Figura 101 Modelo digital de superficie área de condominio rural utilizando solapamiento transversal y longitudinal de imágenes Vexcel Ultracam D

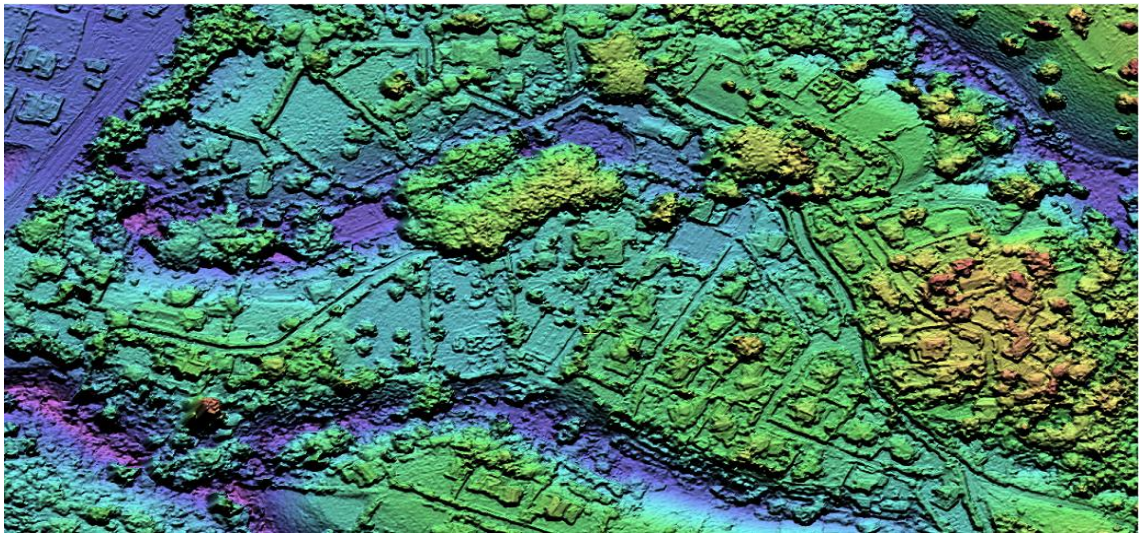


Figura 102 Modelo digital de superficie área de condominio rural utilizando solapamiento longitudinal del 60% de imágenes Vexcel Ultracam D

7.1.1.1 Filtros para modelo digital de superficie

Los modelos digitales de elevación a nivel de superficie para cada una de las áreas de estudio fueron filtrados y depurados aplicando los siguientes algoritmos con sus respectivos parámetros.

Tabla 26 Algoritmos y valores de parámetros utilizados en el software PCI Geomatics para filtrado y depuración de modelo digital de terreno área de estudio no 1 y no 2

Algoritmo	Intervalo de Valores
Filtrado de superficies con pendientes	5% - 35%

Filtrado de superficies con tamaño en píxeles	5 – 800
Remoción de imperfecciones con pendientes	5- 35%
Remoción de imperfecciones con tamaño en píxel	5 - 50
Remoción de agujeros con pendientes	5% - 45%

Tabla 27 Algoritmos y valores de parámetros utilizados en el software PCI Geomatics para filtrado y depuración de modelo digital de terreno área de estudio no 3 parte urbana

Algoritmo	Valores
Filtrado de superficies con pendientes	5% - 35%
Filtrado de superficies con tamaño en píxeles	5 – 800
Remoción de imperfecciones con pendientes	5- 35%
Remoción de imperfecciones con tamaño en píxel	5 - 50
Remoción de agujeros con pendientes	5% - 45%

Las Figuras 103 y 104 ilustran el proceso de filtrado de terreno llevado a cabo sobre el modelo digital de superficie MDS, con el fin de obtener un modelo digital a nivel de terreno que fue empleado para realizar la orto rectificación de las imágenes sobre las respectivas áreas de estudio.

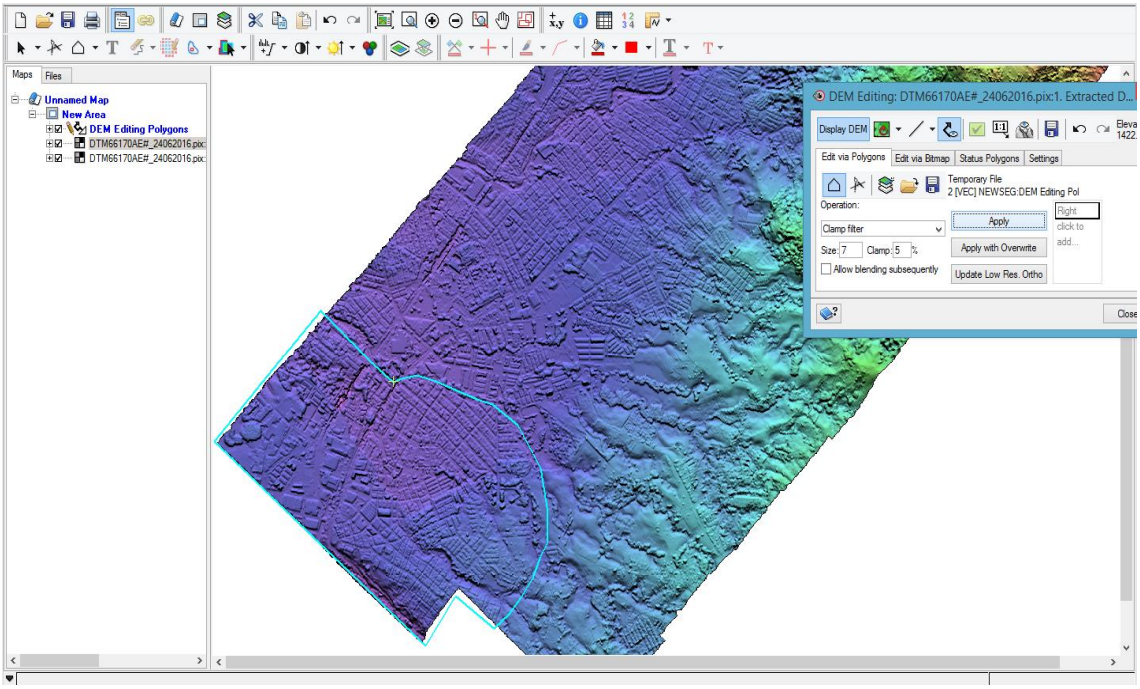


Figura 103 Edición modelo digital de superficie área de estudio no 1

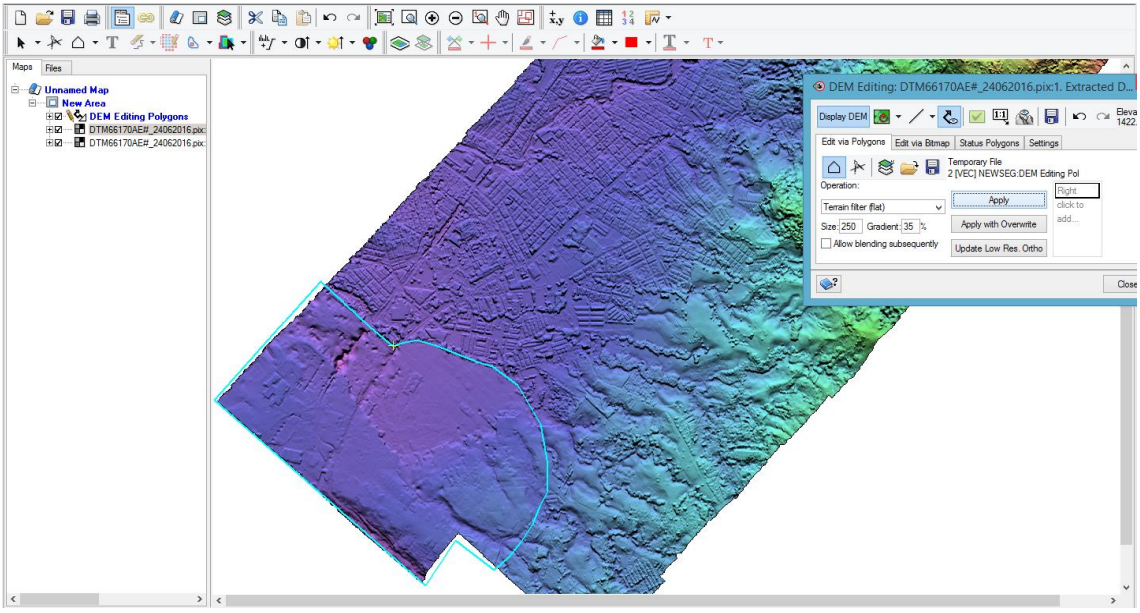


Figura 104 Aplicación de filtrado de objetos de tamaño de hasta 250 píxeles y 35% de pendiente en modelo de superficie del área de estudio no1.

Tabla 28 Algoritmos y valores de parámetros utilizados en el software PCI Geomatics para filtrado y depuración de modelo digital de terreno área de estudio no 3 parte urbana

Algoritmo	Intervalo de Valores
Filtrado de superficies con pendientes	5% - 75%
Filtrado de superficies con tamaño en píxeles	5 – 800
Remoción de imperfecciones con pendientes	5- 75%
Remoción de imperfecciones con tamaño en píxel	5 - 50
Remoción de agujeros con pendientes	5% - 45%

7.1.1.2 Encaje rectangular, longitud y ancho de objetos

Medidas como el encaje rectangular, longitud y ancho en objetos como manzanas catastrales y piscinas fueron determinante para el proceso de clasificación de objetos a partir de las reglas de análisis. Las manzanas de conjuntos residenciales presentan predominantemente un patrón de forma rectangular, un rectángulo perfecto tiene una valor de encaje de 1, para el caso de los conjuntos residenciales de los municipios de Pereira y Dosquebradas se determinó mediante experimentación con las reglas de análisis en el software eCognition y la observación de resultados una valor mínimo de encaje rectangular de 0.8 para considerar una manzana como de conjunto residencial (Figura 105).

Así también la menor longitud para una manzana observada en los conjuntos residenciales ubicados en el área de estudio No 3 fue de aproximadamente 20 metros y el ancho mínimo para las piscinas fue de aproximadamente 2.8 metros

con una área que estuvo entre los 10 y 100 metros cuadrados (Figura 105). Para el caso de las viviendas en condominio o casas finca los valores de área construidas se encuentran entre los 150 a 2000 metros cuadrados de acuerdo a lo consultado en (INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI, 2016) y en el estudio de acabado de construcciones (Departamento de estudios económicos y urbanos CAMACOL RISARALDA, 2016), dadas algunas de las formas observadas el valor mínimo de encaje rectangular para la clasificación fue 0.75

Para el caso de las vías privadas previa aplicación de algoritmos de crecimiento por regiones se determinó que las mismas deben tener una longitud mínima de 10 metros con una medida de encaje rectangular mayor a 0.75. En el caso de las canchas de básquet, césped sintético y tenis la medida de encaje rectangular debe tener un valor superior a 0.95 ya que describen formas rectangulares casi exactas.

Figura 105 Parámetros de condiciones geométricas para una manzana de conjunto residencial

En el área de Estudio No 1 (Municipio de Dosquebradas) las manzanas con tejados grises u otros tejados (no rojizos, rosados, café, ni blancos) que en-un radio de máximo 50 metros tengan cercanía con un objeto clasificado como piscina y que a una distancia de máximo de 5 metros cuente con un vía privada fueron clasificados como manzanas de conjuntos residenciales.

Por su parte las manzanas con tejados de tonalidad rosada, café, roja o blanca cuya longitud fuese superior a 30 metros, su área igual o superior a 360 metros y que a una distancia máxima de 5 metros existiese una vía privada fueron clasificados como manzanas de conjuntos residenciales tanto para las áreas de estudio No1 y NO 2. Así mismo las manzanas conformadas por tejados grises cuya longitud fuese mayor a 20 metros y existiese una vía privada en un radio de 5 metros se evaluarían en forma conjunta con parámetros de condición contextuales definidos en 7.1.4 para saber si pueden ser clasificadas como manzanas de conjuntos residenciales. En la figura (106) se muestra el conjunto residencial primavera azul que tiene la menor área construida de los conjuntos ubicados en el área de estudio según (Departamento de estudios económicos y urbanos CAMACOL RISARALDA, 2016)

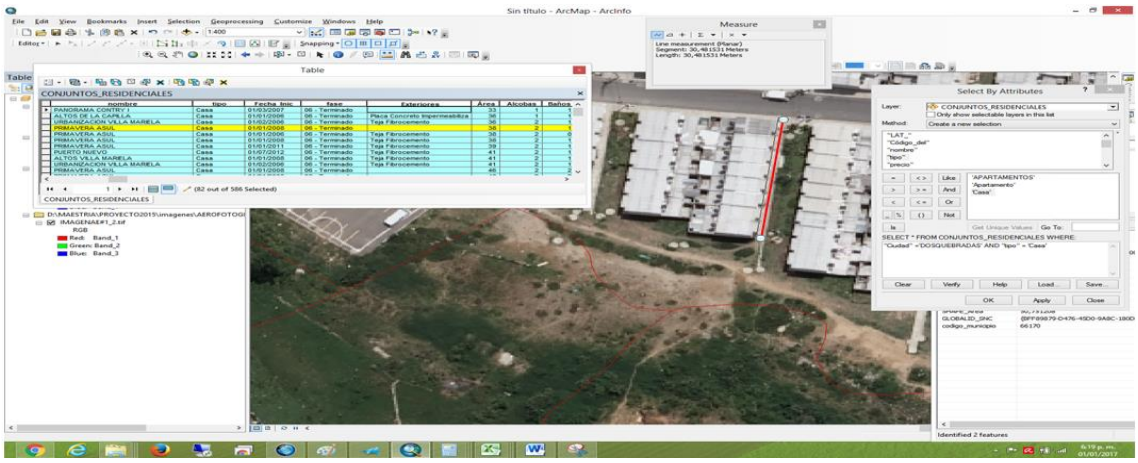


Figura 106 Procedimiento para determinar longitud mínima de manzana para parámetro de condición geométrico en condición contextual

A medida que los objetos se acercaron más los valores umbrales definidos anteriormente fue necesario refinar su clasificación evaluando en forma conjunta parámetros de condiciones espectrales y contextuales definidos en la sección 7.1.2 y 7.1.4 respectivamente.

7.1.1.3 Valor de altura de objetos para diferenciar objetos de tipo construcción

La determinación del umbral para diferenciar objetos a nivel de terreno de aquellos que están sobre el mismo como por ejemplo construcciones, fue realizado ubicando cada uno de los 140 proyectos de conjuntos residenciales en las imágenes ortorectificadas y en los modelos de elevación normalizados (MDS-MDT) para hallar el valor más bajo de todos los proyectos.

La imagen de la figura (107) corresponde al área de estudio No 2 con su respectivo modelo de elevación normalizado MDSNORMALIZADO (21) figura (108) donde se encontró el valor de altura más bajo para los conjuntos residenciales en las tres áreas de estudio.

El conjunto residencial mostrado en las figuras (109 y 110) presento el valor mínimo de umbral para clasificar construcciones.

Siguiendo lo señalado en la guía para extracción de construcciones sobre imágenes (eCognition Trimble, 2010) que afirma que todos los objetos cuyo altura esté por encima del valor medio del modelo de elevación pueden considerarse que están por encima del suelo, el valor umbral de 2.5 metros figura (110) fue

adoptado para diferenciar construcciones del resto de objetos a nivel del terreno, previa clasificación de los objetos de tipo vegetación.

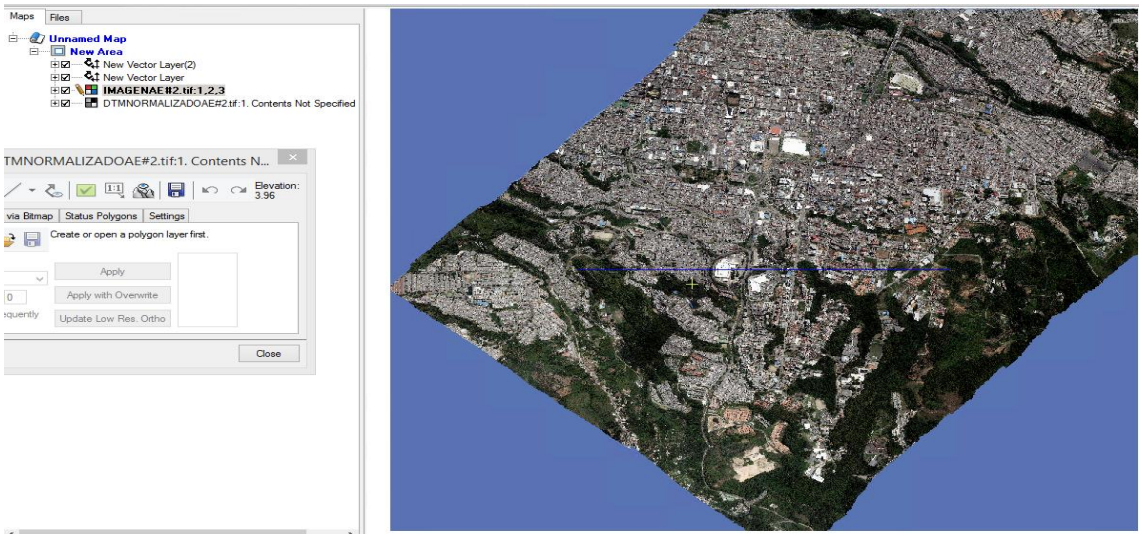


Figura 107 Imagen ortorectificadas área de estudio no 2

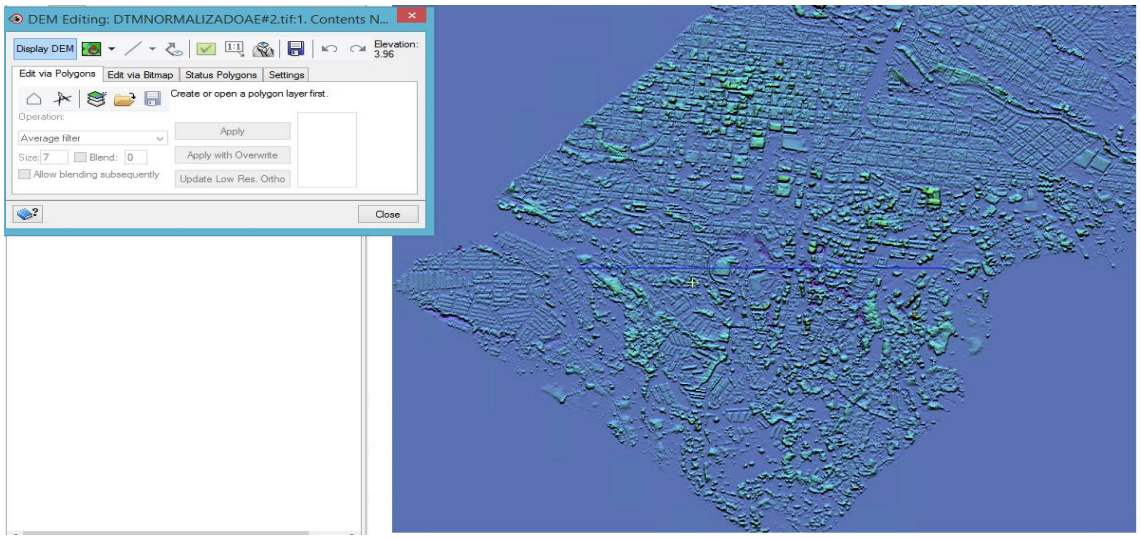


Figura 108 modelo de elevación normalizado para el área de estudio no 2

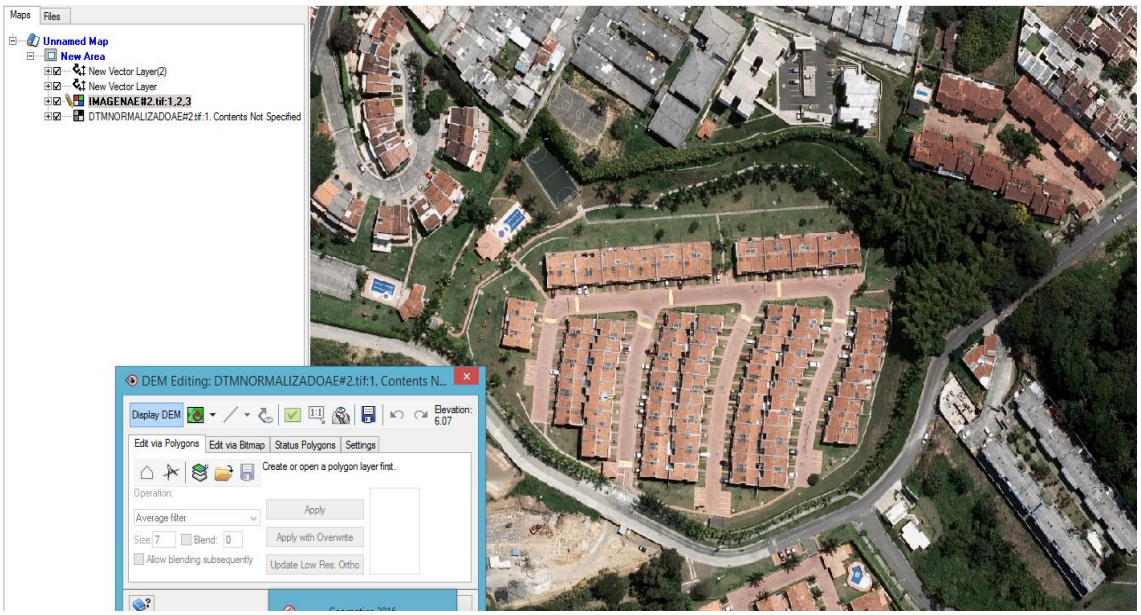


Figura 109 Conjunto residencial en el área de estudio no 2 con el valor más bajo de MDSNORMALIZADO (21) de las 3 áreas de estudio

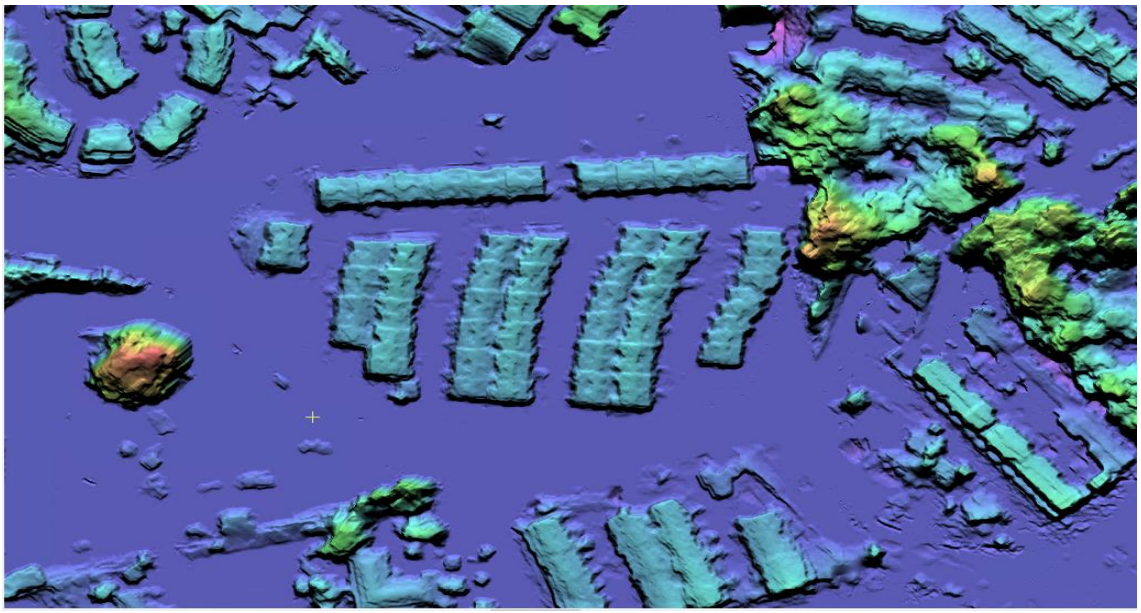


Figura 110 Conjunto residencial en el área de estudio no 2 con el valor más bajo de MDSNORMALIZADO (21) de las 3 áreas de estudio.

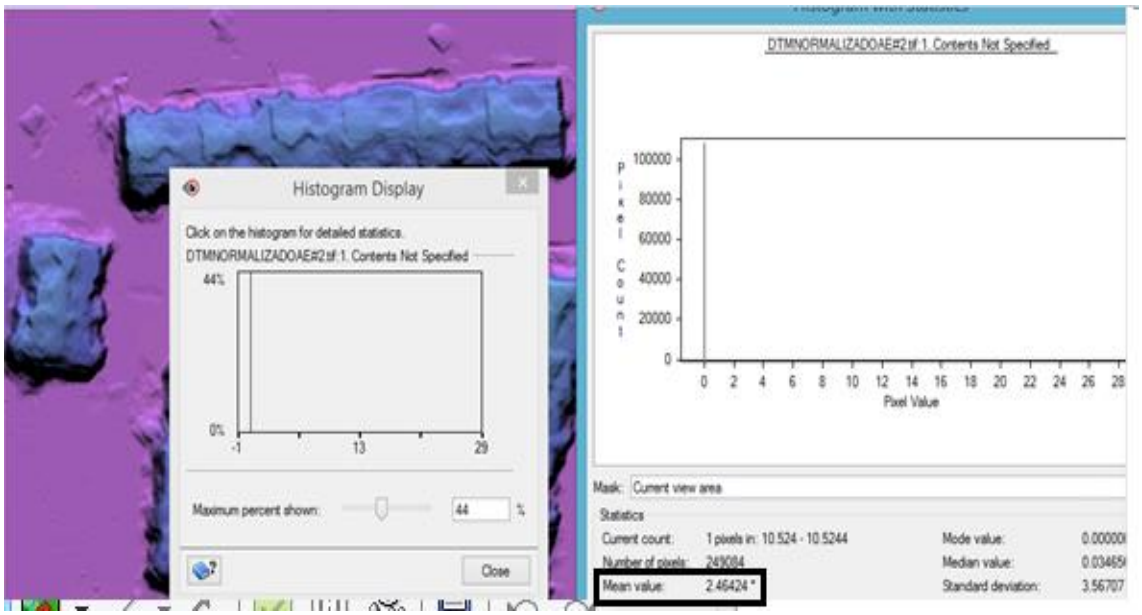


Figura 111 Cálculo de valor medio de modelo de elevación normalizado a partir del área de vista actual para el conjunto residencial

Los valores de MDSNORMALIZADO (21) entre 0-1.5 metros fueron clasificados como objetos a nivel del suelo y los que estén entre 1.5 - 2.5 metros fueron considerados como candidatos a construcciones apoyando su clasificación final en la evaluación conjunta de parámetros de condiciones contextuales.

Para las medidas de índices de forma, densidad, redondez y asimetría no se observó un patrón que se pudiese utilizar para ser incorporado dentro de una regla de análisis.

7.1.2 Parámetros de condición espectrales

Para poder realizar el proceso de corrección o calibración radiométrica de las imágenes vexcel ultracam D, se realizó el cálculo para cada banda de los

parámetros de resolución espectral y ancho a media altura espectral FWHM cuyo detalle se puede ver en el (Anexo 1), mediante el enfoque de determinación instrumental figura (41) (3) y (4), basado en los datos de sensibilidad espectral consignados en el reporte de calibración del sensor (Vexcel Imaging Company, 2013).

Tabla 29 resolución espectral y centro de banda calculados para el sensor Vexcel Ultracam D fuente: elaboración propia

Banda	resolución espectral (nanómetros)	FWHM (centro de banda) (nanómetros)
Azul	75.61	480.31
Verde	91.61	556.26
Rojo	82.29	641.75
Infrarrojo cercano	66.65	740.85

La imagen ortorectificada del área de estudio No 3 (Anexo 3) se dividió en dos parte rural figura (112) y parte urbana figura (113) a efectos de realizar una calibración radiométrica separada, considerando la marcada heterogeneidad entre ambas zonas representada por la mayor densidad de suelo intervenido en la parte urbana frente a la parte rural, así como también una mayor densidad de cultivos y vegetación coexistiendo en menor proporción con condominios y casas finca en la parte rural.

Este análisis se realizó pensando en inducir resultados del modelo empírico lineal que permitieran diferenciar espectralmente en forma más clara las viviendas en condominio o casas finca, sobre las que con antelación se conocía información

contextual derivada del estudio de acabados (Departamento de estudios económicos y urbanos CAMACOL RISARALDA, 2016) que en casi un 100% contaban con teja de barro como cubierta

Los factores de calibración para imágenes vexcel ultracam D de los municipios de Pereira y Dosquebradas son los siguientes.

En el área rural:

Tabla 30 Factores de calibración para imágenes de las áreas de estudio no 1, 2, 3 en la parte urbana

Banda	Longitud de Onda (nanómetros)	Máxima irradiancia solar (nanómetros)
Azul	480.31	235.60
Verde	556.26	196.89
Rojo	641.75	191.68
Infrarrojo Cercano	740.85	305.42

Los objetos y/o coberturas cuyas firmas espectrales se utilizaron para realizar la calibración de imágenes en el área rural específicamente para el área de estudio No 3 se especifican en la tabla 30

La estadística por bandas obtenidas luego de aplicar la calibración radiométrica imagen del área No 3 se muestran en la tabla 31.

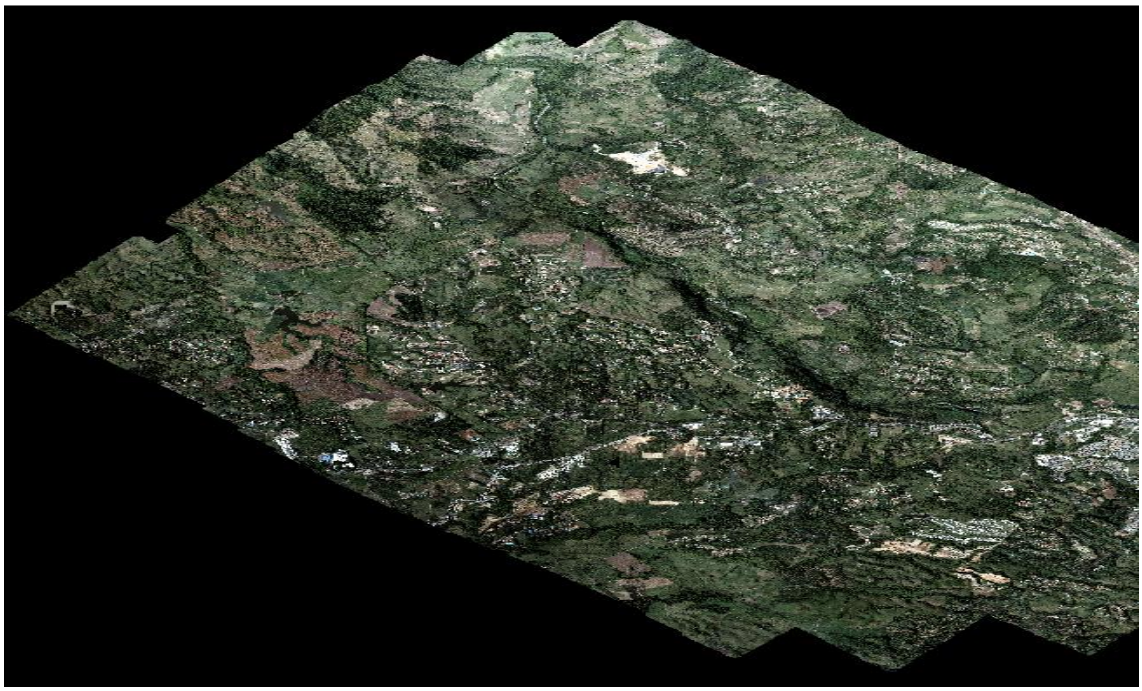


Figura 112 Imagen área de estudio No 3 parte rural

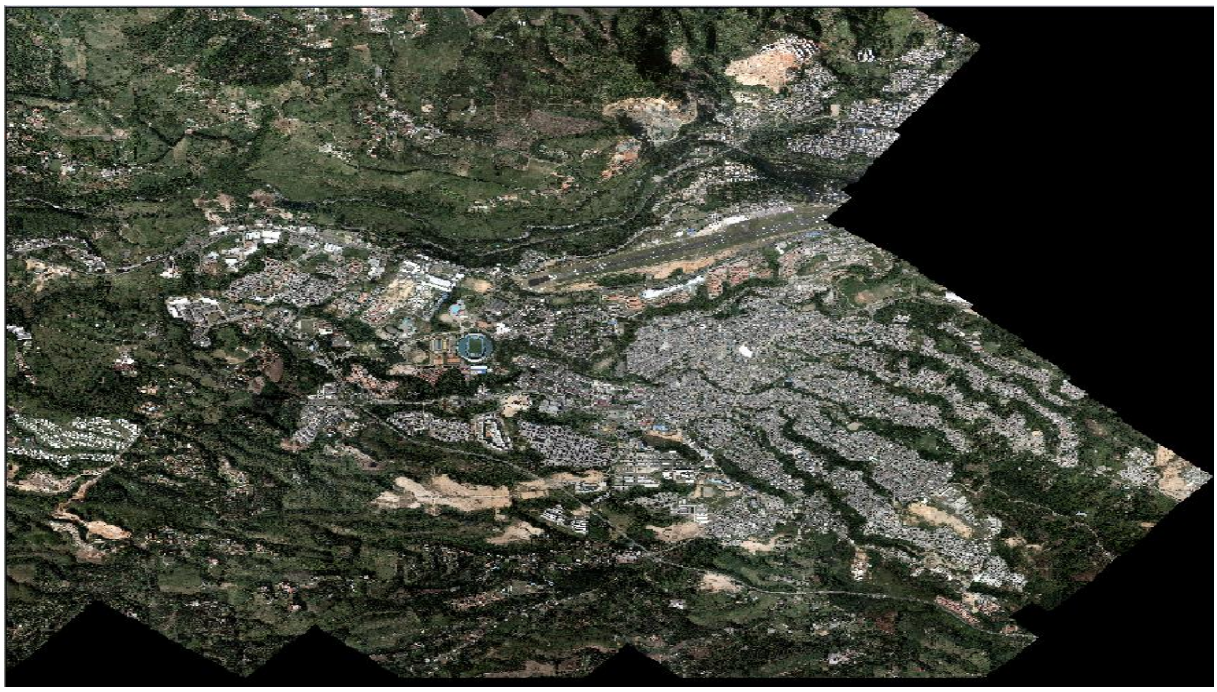


Figura 113 Imagen área de estudio No 3 parte urbana

Tabla 31 Firmas espectrales de objetos y/o coberturas utilizados para calibración radiométrica de imagen de área de estudio no 3 zona rural

Objeto y/o cobertura	Comentario
Blanco de Referencia	Se tomó la firma espectral de la superficie de calibración espectralon
Sombra de Construcción	Firma espectral tomada en terreno
Piscina	Firma espectral tomada en terreno
Teja de Barro	Firma espectral tomada de teja de barro
Asfalto	Firma espectral tomada en terreno
Suelo desnudo	Firma espectral tomada en terreno
Árbol de Guadua	Firma espectral tomada en terreno

Tabla 32 Estadística luego de aplicar calibración radiométrica a la imagen del área de estudio no3 correspondiente al área rural

BANDA	Mínimo	Máximo	Medio	Desviación Estándar
Azul	-0.161998	0.889822	-0.021430	0.176847
Verde	-0.417271	1.058.948	-0.175194	0.278351
Roja	-0.571419	1.105.022	-0.306961	0.321009
Infrarrojo Cercano	-0.371497	1.003.468	-0.043576	0.323385

Como se observa en la tabla 30 los valores mínimos resultantes para cada banda fueron negativos, por lo que se realizó un ajuste banda por banda sumando a cada píxel el valor mínimo a fin de evitar cualquier clase de inconsistencia en el cálculo

de índices espectrales por efecto de aritmética de signos, dando como resultado las estadísticas ajustadas en la tabla 31

Tabla 33 Estadísticas por bandas para la imagen de área de estudio No3 parte rural luego de realizar ajuste por valor mínimo para cada banda

BANDA	Mínimo	Máximo	Medio	Desviación Estándar
Azul	0.008002	1.059.822	0.148570	0.176847
Verde	0.002729	1.478.948	0.244806	0.278351
Roja	0.008581	1.685.022	0.273039	0.321009
Infrarrojo Cercano	0.008503	1.383.468	0.336424	0.323385

La misma situación antes mencionada se dio para las demás imágenes de las áreas estudio no 1, 2, (Tabla 35 y 36) 3 parte urbana (Tabla 33 y 34), donde se utilizaron las siguientes firmas espectrales de coberturas y/o objetos para la calibración radiométrica

Tabla 34 Firmas espectrales de objetos y/o coberturas utilizados para calibración radiométrica de imagen de área de estudio no 1, 2 Y 3 zona urbana.

Objeto y/o cobertura	Comentario
Blanco de Referencia	Se tomó la firma espectral de superficie de calibración espectralon
Sombra de Construcción	Firma espectral tomada en terreno

Piscina	Firma espectral tomada en terreno
Teja de Barro	Firma espectral tomada de muestra de teja de barro
Asfalto	Firma espectral tomada en terreno
Suelo desnudo	Firma espectral tomada en terreno
Cancha de Tenis	Firma espectral tomada en terreno
Teja Fibrocemento Rojiza	Firma espectral tomada de muestra de teja
Césped Sintético	Firma espectral tomada de muestra de césped

Tabla 35 Estadística luego de aplicar calibración radiométrica a la imagen del área de estudio no 3 correspondiente al área urbana.

BANDA	Mínimo	Máximo	Medio	Desviación Estándar
Azul	-0.183340	0.898981	0.042585	0.217807
Verde	-0.323933	0.971165	-0.007607	0.270877
Roja	-0.378861	0.951419	-0.064162	0.290082
Infrarrojo Cercano	-0.152593	0.682313	0.132573	0.188816

Tabla 36 Estadísticas por bandas para la imagen de área de estudio no 3 parte urbana luego de realizar ajuste por valor mínimo para cada banda

BANDA	Min	Max	Mean	Desviación Estándar
Azul	0.001792	1.145.519	0.240535	0.230164

Verde	0.006842	1.365.731	0.338748	0.284219
Roja	0.021139	1.351.419	0.335838	0.290082
Infrarrojo Cercano	0.002763	1.111.683	0.381520	0.250784

Tabla 37 Estadística luego de aplicar calibración radiométrica a la imagen del área de estudio no 1 y no 2 correspondiente al área urbana

BANDA	Mínimo	Máximo	Medio	Desviación Estándar
Azul	-0.198208	0.945519	0.012841	0.253465
Verde	-0.343158	1.015.731	-0.055332	0.311628
Roja	-0.397333	1.000.357	-0.105514	0.332274
Infrarrojo Cercano	-0.227237	0.881683	0.078322	0.276311

Tabla 38 Estadística luego de aplicar calibración radiométrica a la imagen del área de estudio no 1 y no 2 correspondiente al área urbana luego de realizar ajuste por valor mínimo para cada banda

BANDA	Mínimo	Máximo	Medio	Desviación Estándar
Azul	0.001792	1.145519	0.212841	0.253465
Verde	0.006842	1.365731	0.294668	0.311628
Roja	0.002667	1.400357	0.294486	0.332274
Infrarrojo Cercano	0.002763	1.111683	0.308322	0.276311

Los tejados de tonalidad rosada, rojiza y blanca son muy característicos en los conjuntos residenciales ubicados en el área de estudio, 46% de estos cuenta con este tipo de tejados, por lo que era indispensable identificar parámetros de condiciones espectrales que los diferenciaran del resto de los tejados dada la notoriedad frente a otros conjuntos residenciales.

Los parámetros de condiciones espectrales que permitieron diferenciar más claramente las diferentes tonalidad de tejados resultantes de aplicar de la aplicación del algoritmo de separación de características sobre las muestras seleccionadas sección (6.9) con sus respectivas funciones de membresía y condiciones de umbrales para cada medida (6.10) fueron:

7.1.2.1 Tejado con tonalidad rosada o rojiza (a base de material de fibrocemento, barro y/o arcilla, teja española)

El ratio entre bandas rojas y azul (7) con su respectiva función de membresía se muestra en figura (114), para la imagen No 3 correspondiente a la parte rural figura (112) esta medida fue suficiente para la clasificación de tejados de esta tonalidad correspondientes a teja de barro con valores superior a 1.8, aplicando algoritmo de crecimiento por regiones definido en 6.11.3 sobre los segmentos inicialmente clasificados y evaluando parámetros de condiciones geométricas definidos en 7.1.1.2.

7.1.2.2 Tejados con tonalidad blanca (a base de material fibrocemento, teja termo acústica)

Intensidad (10) > 0.847 en la imágenes No 1, 2 Y No 3 parte urbana

Intensidad 2 (11) > 0.847 en la imágenes No 1, 2 Y No 3 parte urbana

Intensidad (10) > 0.9 en la imagen No 3 parte rural

7.1.2.3 Tejados con tonalidad gris de alta reflectancia (típico de conjunto residenciales)

Una vez se hayan clasificados los tejados con tonalidad blanca y rosada estos tejados se lograron clasificar con un rango de valores de intensidad de 0.85-0.95

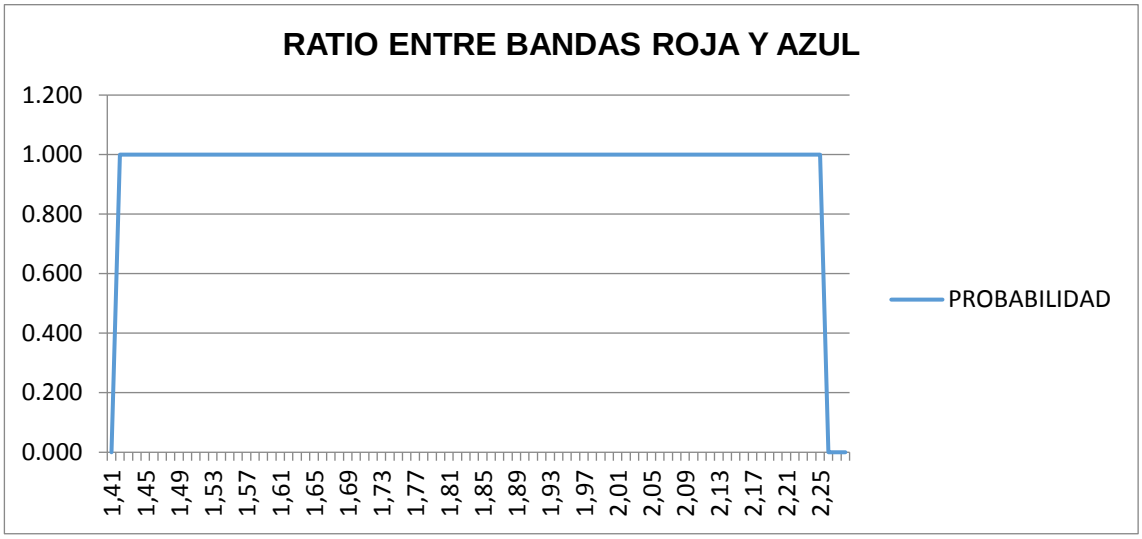


Figura 114 Función de membresía para el ratio entre bandas roja y azul (7) en tejados de tonalidad roja, rosados, cafés

El ratio entre bandas roja y verde (9) con su respectiva función de membresía lo define la figura (114).

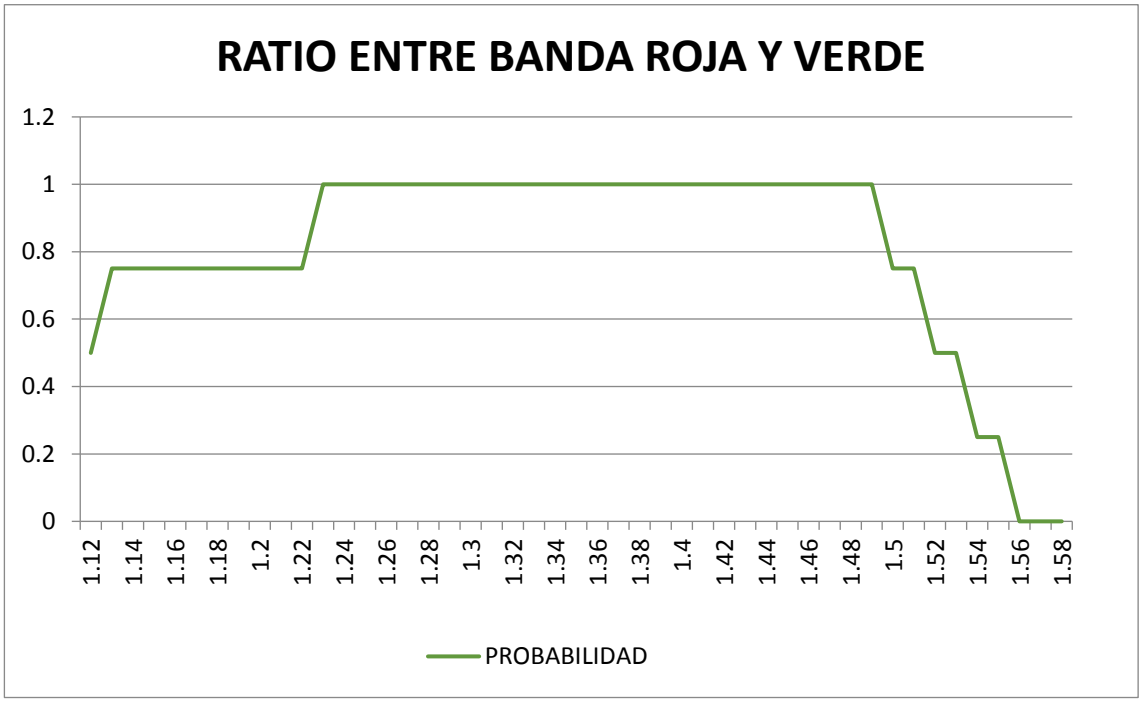


Figura 115 Función de membresía para el ratio entre bandas roja y azul (7) en tejados de tonalidad roja, rosados, cafés

7.1.2.4 Asfalto/Concreto

Índice de áreas construidas (4) ver figura (116)

Índice ratio de agua (12) ver figura (117)

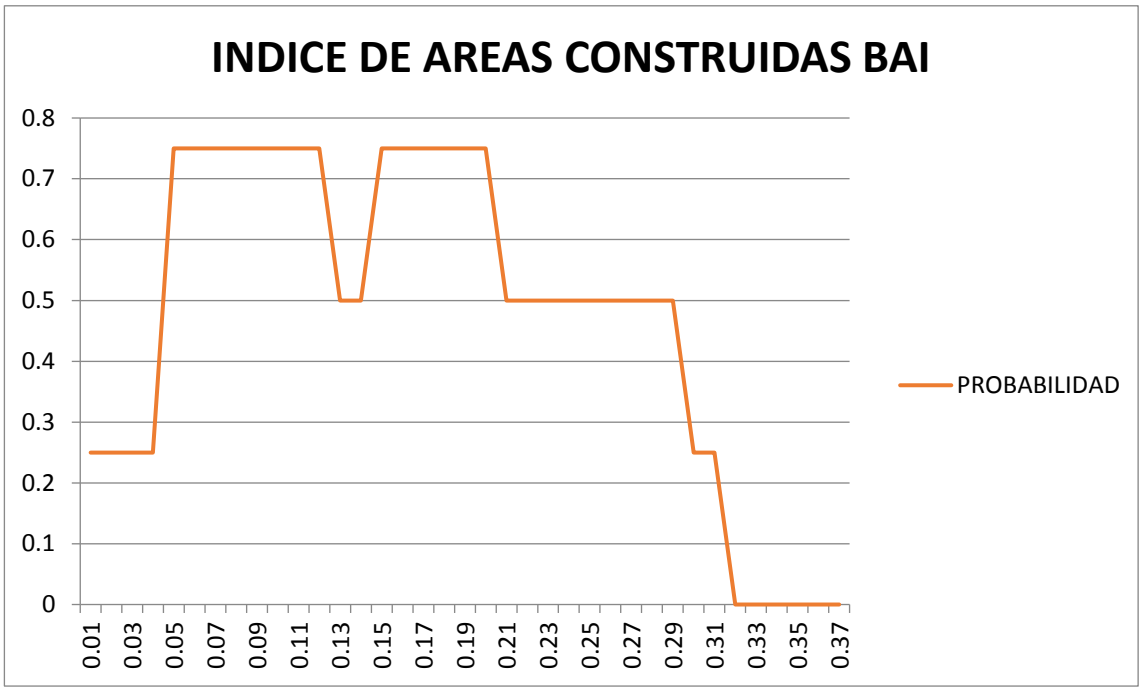


Figura 116 Función de membresía para índice de áreas construidas para objetos de asfalto/concreto

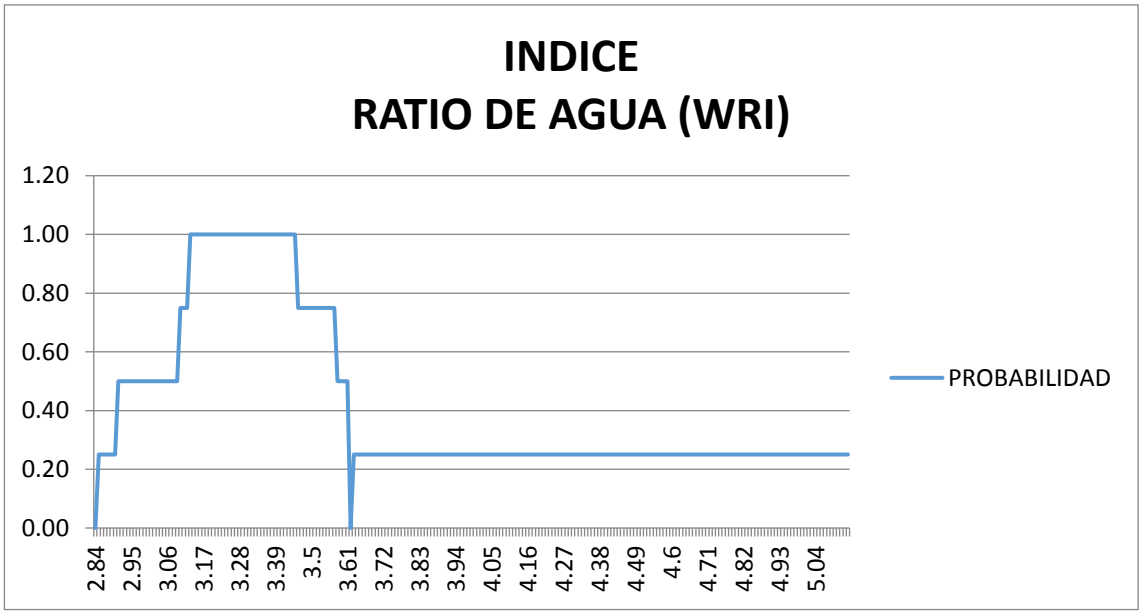


Figura 117 Función de membresía para índice ratio de agua asfalto/concreto

7.1.2.5 Piscinas

Índice de áreas construidas BAI (4) (Figura 118).

Índice ratio de agua (12) (Figura 119).

Índice ratio rojo / verde (9) (Figura 120).

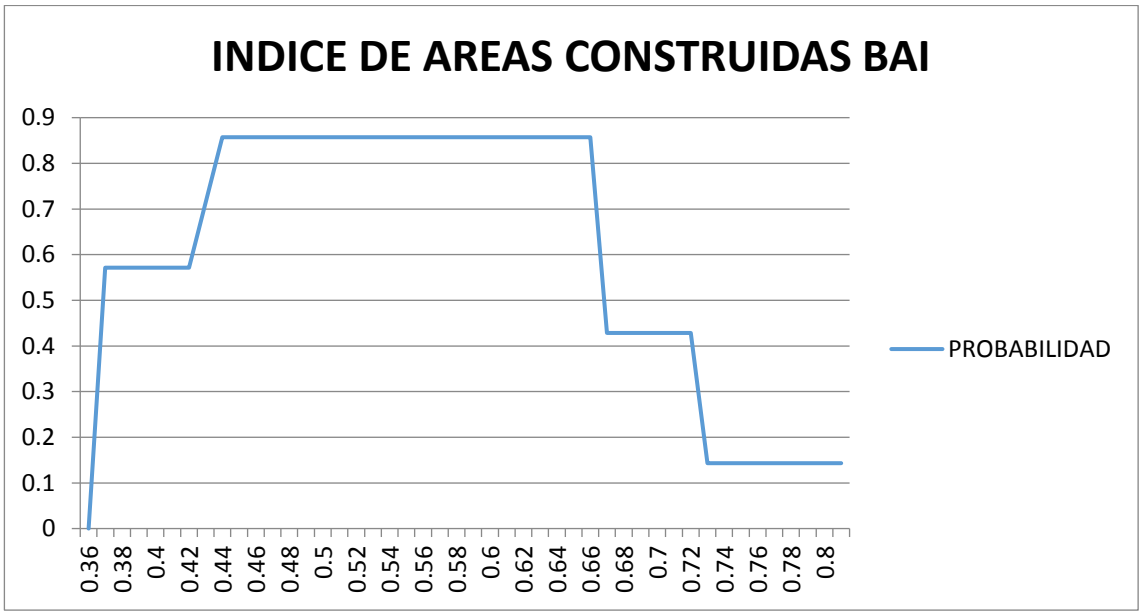


Figura 118 Función de membresía para índice de áreas construidas para piscinas

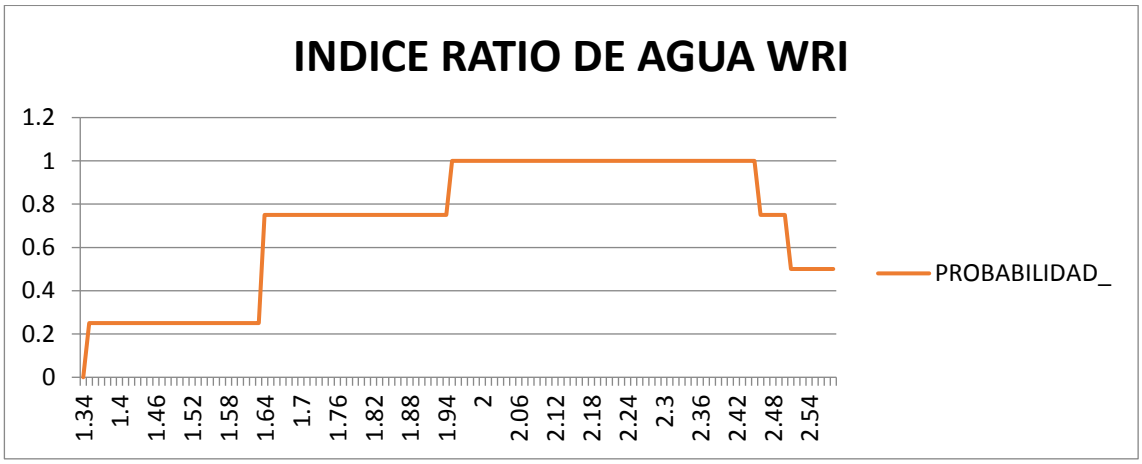


Figura 119 Función de membresía para índice ratio de agua para piscinas

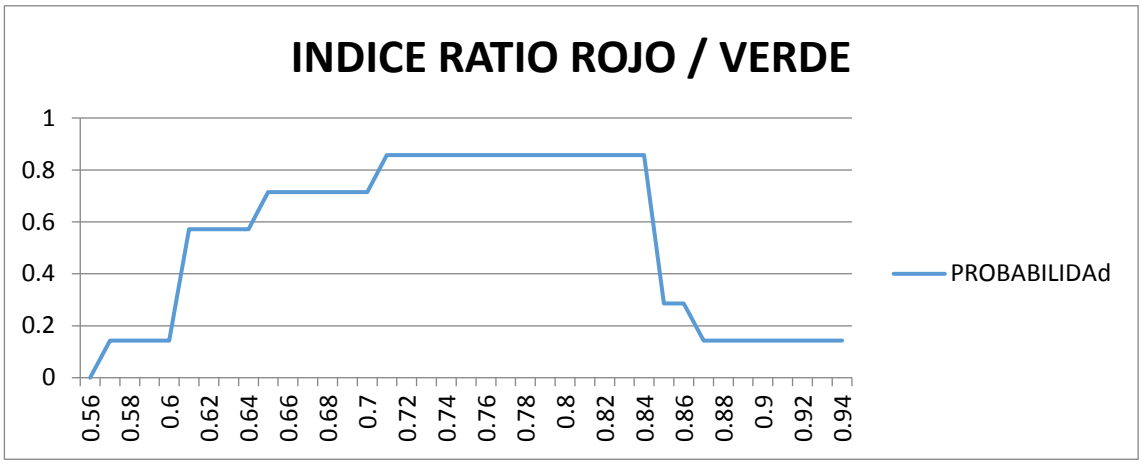


Figura 120 Función de membresía para índice ratio rojo / verde para piscinas

7.1.2.6 Vegetación y Sombras de vegetación

La vegetación considerando tanto arboles como la gran parte de césped pudo clasificarse a partir de la medida de NVDI (6) con valores mayores a 0 y para el caso de las sombras de vegetación el NVDI_D (23) con valores mayores a 0.2

7.1.2.7 Canchas en césped sintético y de tenis

El césped sintético se clasifico con valores NVDI (6) <-0.3, GRNVDI (23) <-0.5 y BAI (4) >0.4, el suelo desnudo y las canchas una vez se clasificaron los demás objetos a nivel del suelo se identificaron con valores de BAI (4) menores a 0.08.

7.1.3 Parámetros de condiciones de textura

La medida de textura de segundo momento angular (16) para cada una de las bandas del visible, permitió clasificar algunas vías hechas a base de concreto y baldosa de adoquín que no fueron clasificadas inicialmente aplicando las funciones de membresía de las figuras (116 y 117) para objetos a base de asfalto

y/o concreto. Las respectivas funciones de membresía se presentan en las figuras (122,123 y 124)

Las funciones de membresía mostradas anteriormente se complementaron con la evaluación del índice de áreas construidas BAI (4) con un valor >0.1.

Con base en los resultados obtenidos por (Ouma et al., 2010) para la detección de construcciones, se experimentó con medidas de textura aplicadas sobre muestras de tejados pertenecientes a conjuntos residenciales versus otros tejados, sin lograrse un valor de separabilidad considerable de conformidad con lo establecido en la metodología de la investigación sección 6.9. La ejecución del algoritmo de optimización de espacio de características evaluando medidas de textura consumió grandes recursos de maquina a nivel de procesador y memoria RAM sin ningún resultado positivo.

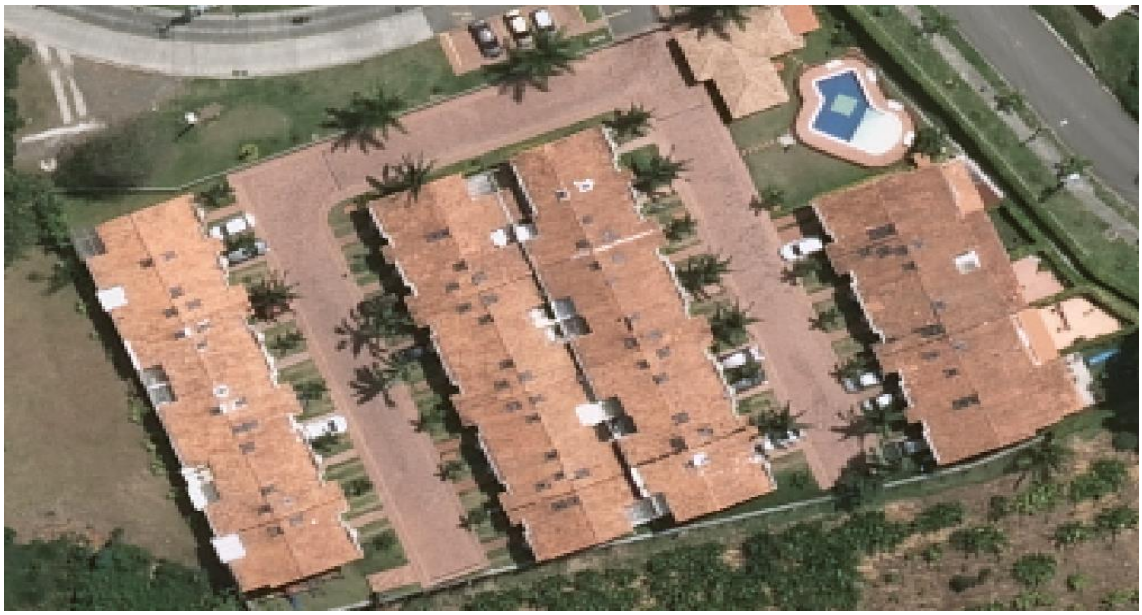


Figura 121 Conjunto residencial con vías privadas en baldos de adoquín

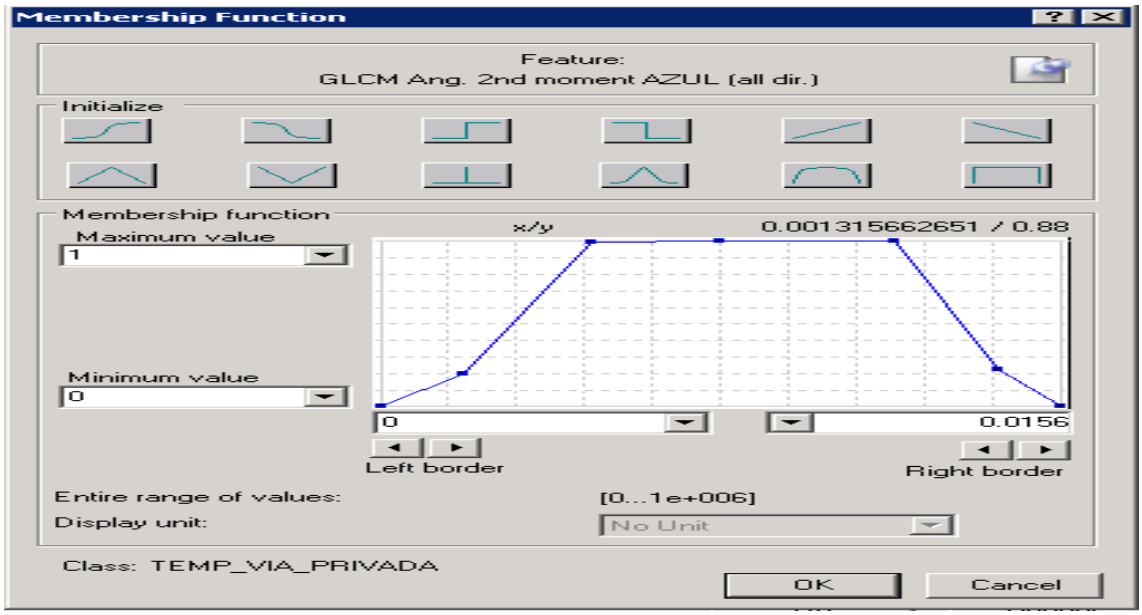


Figura 122 Función de membresía para segundo momento angular en la banda azul

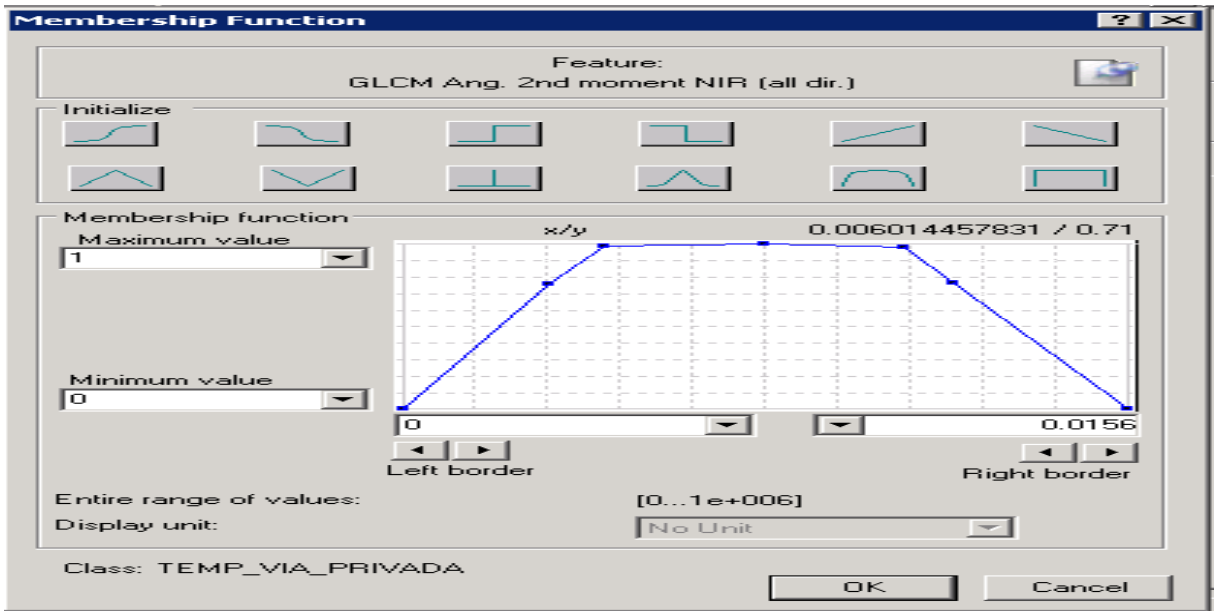


Figura 123 Función de membresía para segundo momento angular en la banda de infrarrojo cercano

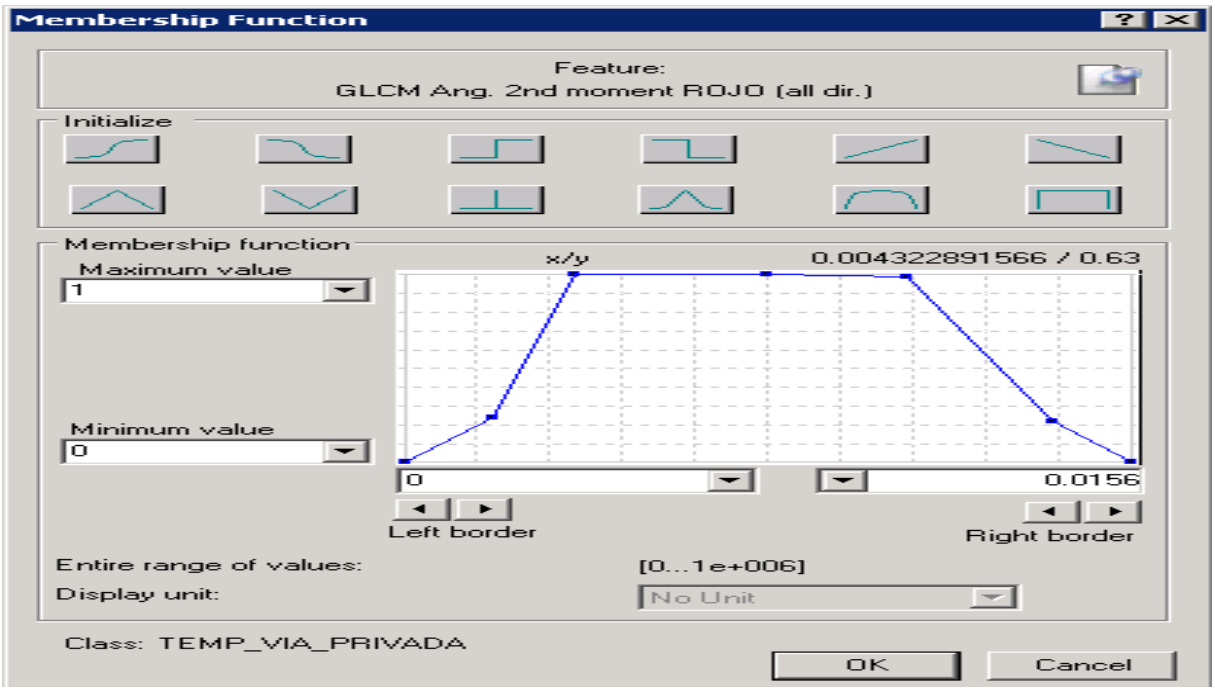


Figura 124 Función de membresía para segundo momento angular en la banda de roja

7.1.4 Parámetros de condiciones contextuales

Adicional a las cifras provenientes del estudio de acabados (Departamento de estudios económicos y urbanos CAMACOL RISARALDA, 2016) que a lo largo del documento se han reconocido como información contextual. Se establecieron los siguientes parámetros de condiciones contextuales para ser implementados dentro de las reglas de análisis. Los parámetros con sus respectivos valores fueron obtenidos a partir de experimentación continua en un proceso iterativo de ejecución de reglas de análisis y evaluación de la clasificación basada en objetos en la tabla 38.

Tabla 39 Parámetros de condiciones contextuales

RELACIONES CONTEXTUALES	TIPO DE RELACIÓN
a. Medida en metros de borde compartido con segmento clasificado como construcción Todo objeto construcción que no haya sido clasificado como tejado rojo, rosado, café o blanco y que comparta un borde de al menos un píxel y su área sea inferior al 20% del área del objeto tejado (rojo, rosado, café blanco) con el que comparte borde será clasificado como este último (rojo, rosado, café, blanco). Lo mismo aplica para las manzanas que hayan sido clasificadas como manzanas de conjuntos residenciales	Relación a Objetos Vecinos
b. Medida en metros de borde compartido con segmento clasificado como vía publica Todo objeto que al finalizar la etapa de clasificación como “suelo (clase temp suelo) (Es decir cualquier objeto diferente a una construcción y un árbol)” , durante la etapa de refinamiento posea un valor para BAI (4) mayor a 0.1 y comparta borde con un objeto clasificado VIA PUBLICA en una proporción mayor a 50% de su longitud será clasificado	Relación a Objetos Vecinos

como vía publica	
c. Medida en metros de distancia con objetos vía privada Todo objeto que este como candidato a clasificarse como manzana de conjunto residencial deberá tener a máximo 5 metros de distancia un objeto de tipo vía privada en cualquiera de las direcciones	Relación a Objetos Vecinos
d. Medida de distancia a objetos clasificado como piscina Toda manzana cuyo tejado no se haya clasificado de color (blanco, rosado, rojo, café, gris) o tenga color gris: Si se encuentre ubicada en el área de estudio No 1 y en un radio de 50 metros de distancia exista una piscina será clasificado como manzana de conjunto residencial Si se encuentra ubicada en el área de estudio No 3.parte urbana y en un radio de 80 metros de distancia exista una piscina será clasificado como manzana de conjunto residencial	Relación a Objetos Vecinos
e. Desviación estándar de altura de segmentos MDSNORMALIZADO (21) clasificados como tejados con respecto al segmento unificado de	Relación Objeto a Subobjeto

construcción denominado manzana Para el caso de la manzanas catastrales con tejados gris cuya desviación estándar de MDSNORMALIZADO (21) para los tejados que la componen sea inferior a 2.2 y a máximo 5 metros de distancia exista una vía privada se clasificaran como manzana de conjunto residencial	
f. Medida de varianza de intensidad (15) para tejado que componen el objeto manzana catastral Finalizado el proceso de experimentación no se observó un valor o función de membresía que hiciera posible determinar un patrón para la clasificación a partir de esta variable	Relación Objeto a Subobjeto

7.2 SEGMENTAR LAS IMÁGENES VEXCEL ULTRACAM D POR NIVELES DE OBJETOS BASÁNDOSE EN CONOCIMIENTO A PRIORI DE ESTOS Y UNA ESTRATEGIA DE PROCESAMIENTO ARRIBA - ABAJO.

Los parámetros que permitieron obtener los segmentos más homogéneos para tejados de conjuntos residenciales aplicando el algoritmo de multiresolución por segmentación fueron los siguientes por áreas de estudio:

Áreas de estudio no 1 ,2 y 3 parte urbana

Tabla 40 Parámetros algoritmo de segmentación por multiresolución para las imágenes de las áreas de estudio No1, 2 y 3 parte urbana.

Parámetro	Valor
Compacidad	0.5
Forma	0.5
Escala	30

Áreas de estudio No3 en su parte rural

Tabla 41 Parámetros para óptimos algoritmo de segmentación por multiresolución para las imágenes de las áreas de estudio No 3 parte rural.

Parámetro	Valor
Compacidad	0.5
Forma	0.5
Escala	80

Tabla 42 Bandas con su respectivo peso asignado para el algoritmo de multiresolución por segmentación.

Bandas	Peso en el algoritmo
Azul (en niveles digitales)	2
Verde (en niveles digitales)	2
Roja (en niveles digitales)	2

Banda obtenida por aplicación de filtros de borde canny	1

Tal como lo indican (Blaschke et al., 2008) el proceso de segmentación y clasificación trabajan conjuntamente para conseguir dividir imágenes en segmentos o partes que correspondan entidades físicas reales. Todas las imágenes se segmentaron en un nivel inicial clasificando la vegetación (color verde Figura 125) evaluando los parámetros de condiciones espectrales definidos 7.1.2.6. El anterior procedimiento fue fundamental para evitar confusión al momento de clasificar las construcciones (color purpura) mediante el parámetro de condición geométrica de altura definido en 7.1.1.3 (Figura 126) evitando confusión con los árboles que se encuentra por encima del suelo.

Figura 125 Imagen sin segmentar por nivel ortorectificada área de estudio no 3 parte urbana

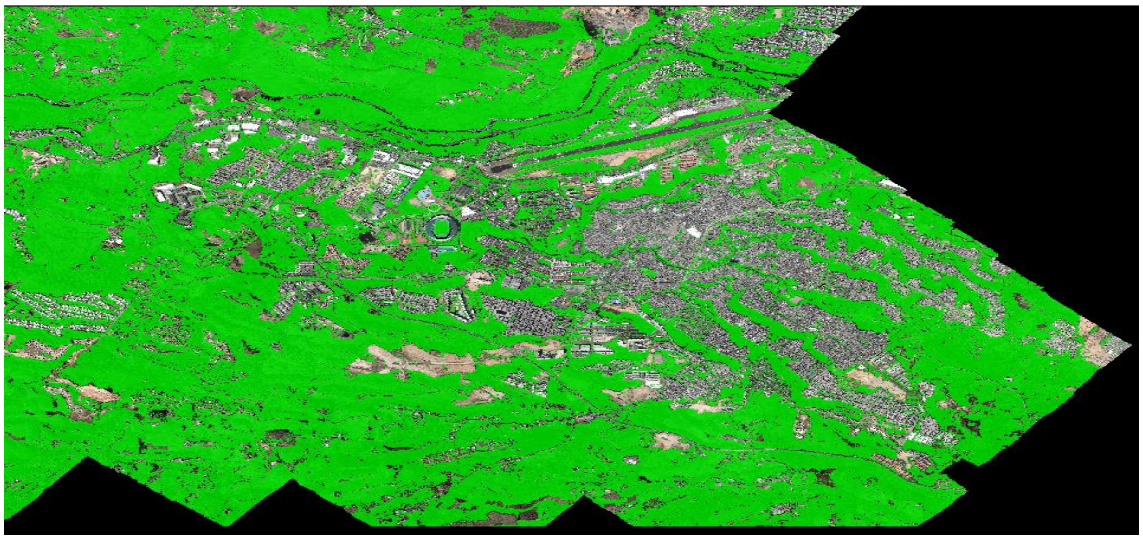


Figura 126 Imagen segmentada por nivel con vegetación clasificada

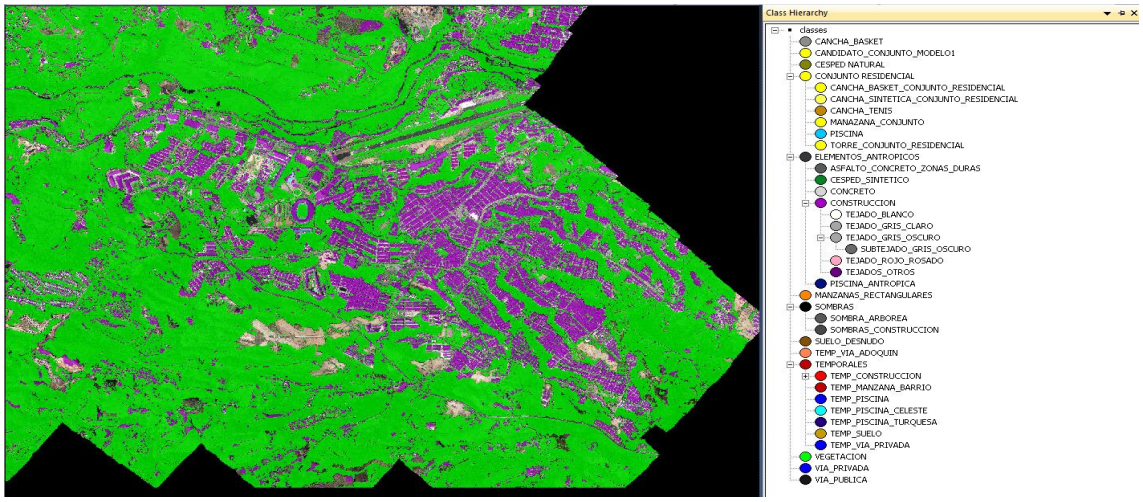


Figura 127 Imagen segmentada en vegetación y construcciones

Una vez alcanzando este nivel inicial donde se segmentaron las imágenes en 3 grandes categorías de objetos a saber vegetación, construcciones y objetos a nivel de suelo (Figura 127)., se clasifica sucesivamente hacia subniveles de objetos como por ejemplo las construcciones que se separan por clases de

tejados (blancos, rojizos, grises u otros tejados) y los objetos a nivel de suelo diferenciando aquellos hechos a base de concreto o asfalto, césped sintético, suelo desnudo y piscinas ejecutando reglas de análisis basado en objetos con los parámetros de condiciones definidos en 7.1 .

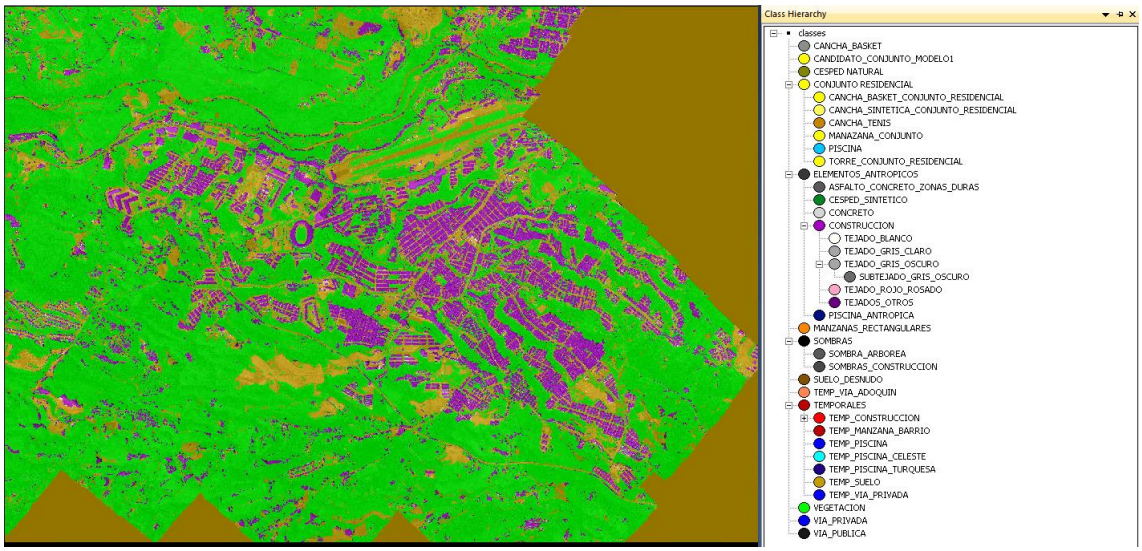


Figura 128 Imagen área de estudio No 3 segmentada en vegetación (color verde), construcciones (color purpura) y objetos a nivel del suelo (color café)

7. 3 GENERAR REGLAS DE ANÁLISIS BASADAS EN OBJETOS, PARA DETECTAR CONJUNTOS RESIDENCIALES EN LAS ÁREAS DE ESTUDIO CON UN GRADO DE EXACTITUD IGUAL O SUPERIOR AL 80%.

La secuencia de aplicación de las reglas de análisis basada en objetos para detectar conjuntos residenciales en las áreas de estudio se resume en la siguiente tabla

Tabla 43 Secuencia de aplicación de reglas de análisis de la clasificación basada en objetos

Regla de análisis	Ejecución
1.Clasificar los segmentos pertenecientes a la clase vegetación a partir del índice normalizado, separando la vegetación de todas las demás clases (Segmentación por niveles)	Se aplica algoritmo de asignación de clases evaluando parámetros de condiciones espectrales definidas en 7.1.2.6
2. Clasificar los segmentos correspondientes a construcciones y objetos a nivel del suelo (Segmentación por niveles)	Se aplica algoritmo de asignación de clases evaluando parámetros de condiciones geométricas definidas 7.1.1.3
3. Clasificar los objetos de clase piscina	Se aplica algoritmo de clasificación por funciones de membresía evaluando parámetros de condiciones geométricas 7.1.1 y parámetros de condiciones espectrales 7.1.2 definidos para la

	clase Piscina. Aplicar algoritmo de crecimiento por regiones para segmentos clasificados como piscinas
4. Aplicar a los objetos a nivel de suelo el algoritmo de clasificación por funciones de membresía para identificar objetos correspondientes a la clase “Asfalto y/o zonas duras”, verificando si se interceptan con el vector de nomenclatura vial publica para separar las vías privadas de las vías públicas.	Se aplica algoritmo de clasificación por funciones de membresía evaluando parámetros de condiciones espectrales 7.1.2. y texturales 7.1.3 Posteriormente se aplica algoritmo de asignación de clase por capa temática para diferenciar vías públicas de vías privadas.
5. Refinamiento de clasificación de objetos hechos a base de asfalto-concreto en subobjeto vías privadas y canchas	Se aplica algoritmo de asignación de clases 6.11.1 y algoritmo de crecimiento por regiones evaluando

	parámetros de condiciones geométricas 7.1.1.2 y condiciones espectrales 7.1.2.3
6. Clasificar los objetos de tipo construcción por funciones de membresía diferenciando tejados de tonalidad rosada, café, blanca, predominantes en tejados de conjuntos residenciales del área de estudio según	Se aplica algoritmo de clasificación por funciones de membresía evaluando parámetros de condiciones espectrales 7.1.2.1, 7.1.2.2
7.Las construcciones con tejados que no fueron clasificados durante el paso 5 deben evaluarse si tienen tejados grises con alta reflectancia común en algunos conjuntos residenciales	Se aplica algoritmo de asignación de clases evaluando parámetros de condiciones espectrales 7.1.2.3
8. Clasificar las construcciones con tejados no diferenciados en los pasos 5 y 6 como de clase ·"otros tejados"	Se aplica algoritmo de asignación de clases 6.11.1
9. Refinamiento de clasificación de tejados con base en evaluación de relaciones contextuales	Se aplica algoritmo de asignación de clases 6.11.1 evaluando

	parámetros de condiciones contextuales 7.1.4
10 Conformar objetos tipo manzanas catastrales a partir de la unión de objetos clasificados como tejados rojos, rosados, cafés y blancos, contiguos espacialmente.	Aplicar el algoritmo de crecimiento por regiones 6.11.3 para los objetos referidos. La condición de final del crecimiento de la región será que no existan más tejados para la clase de tejado cuya región está creciendo
11. Reclasificar objetos manzana catastral para ver si corresponden a manzanas catastrales de conjuntos residenciales	Se aplica algoritmo de asignación de clases evaluando parámetros de condiciones contextuales 7.1.4
12 .Refinamiento de objetos clasificados como manzanas de cualquier de tejados color (blanco, rosado , cafés, gris) otros tejados que compartan borde con vías privadas que colinden con manzanas catastrales clasificadas como manzana en conjunto residencial	Aplicar algoritmo de asignación de clases evaluando parámetros de condiciones geométricas 7.1.1, espectrales 7.1.2 contextuales 7.1.4 evaluándose valores

	por cada área de estudio
13. Clasificación de objetos de tipo construcción con tejado grises o de clase otros (Esta casuística contempla el caso de torre de apartamentos) tejados evaluando su proximidad a piscinas	Aplicar algoritmo de asignación de clases evaluando parámetros de condiciones geométricas 7.1.1.2 parámetros de condiciones contextuales 7.1.4
14. Clasificación de objetos cancha de césped sintético y de tenis.	Aplicar algoritmo de asignación de clases evaluando Parámetros de condiciones geométricas 7.1.1.2 parámetros de condiciones espectrales 7.1.4

Una vez se ejecutaron las reglas de análisis basadas en objetos sobre el software eCognition para cada uno de los proyectos de trabajos definidos en la sección 6.11 tabla 20 se realizó la cuantificación de los conjuntos residenciales detectados por las reglas de análisis, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 43. Para cada una de las imágenes se examinaron los sitios donde se mostraban cruces rojas que señalaban la ubicación de cada uno de los conjuntos residenciales utilizados como muestras para la evaluación de la clasificación.

Figura 129 Ubicación de Conjunto residencial san felipe Pereira-Colombia

Al finalizar la ejecución de las reglas de análisis sobre la imagen procesada se visualizan las subclases que componen el conjunto residencial (Figura 130), posteriormente se aplica la agrupación por superclase (Figura 131) que demarca un polígono que debe contener en su interior la forma de la cruz que representa la coordenada de ubicación para que el conjunto residencial en terreno sea considerado como detectado. Si bien los conjuntos residenciales son un tipo particular de construcciones (superclase Construcción Color morado) para la clasificación estas hacen referencia a viviendas de barrios, bodegas, centros comerciales, colegios, hospitales (Figura 132).

Figura 130 Imagen clasificada con subclases correspondientes a Conjunto Residencial

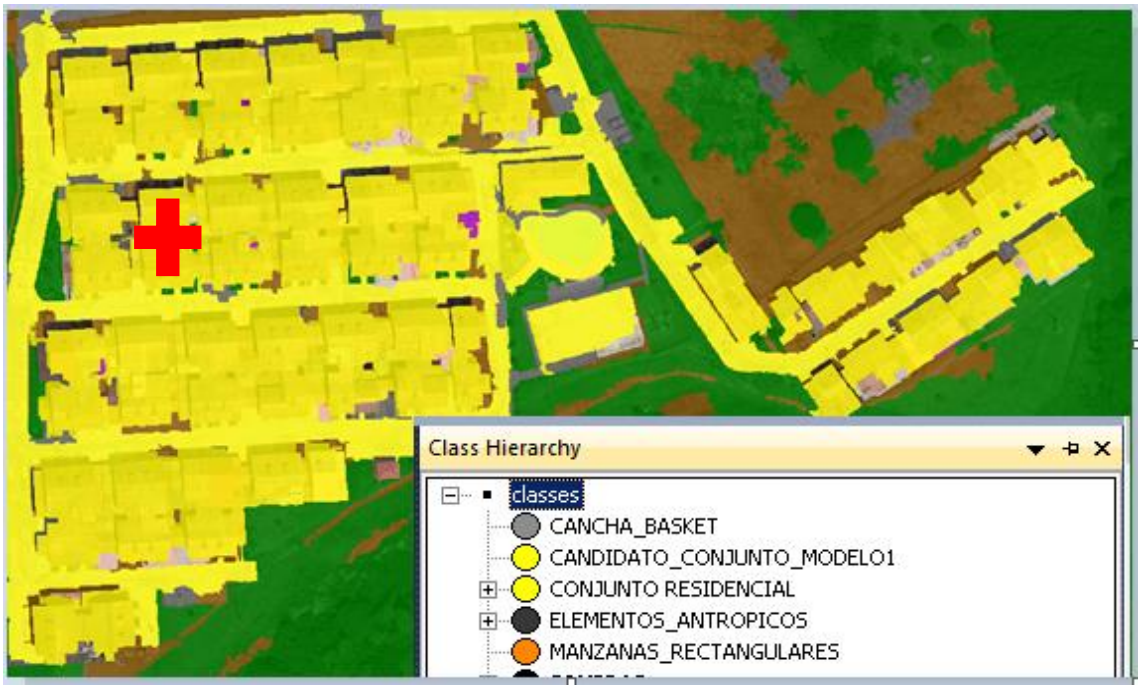


Figura 131 Imagen clasificada denotando presencia de Conjunto Residencial

Figura 132 Vista aérea de barrio cuba Pereira-Colombia

Figura 133 Vista aérea de barrio cuba Pereira-Colombia clasificada

La matriz de confusión para las clases de más alto nivel es la siguiente:

Tabla 44 Matriz de confusión resultado de la clasificación basada en objetos

Polígonos (Objetos)	**CONJUNTO RESIDENCIAL**	**CONSTRUCCIONES**	**VIAS PUBLICAS**	**VEGETACION**	**ZONAS DURAS**	**TOTAL OBJETOS CLASIFICADO**
CONJUNTO RESIDENCIAL	116	7	0	0	2	125
CONSTRUCCIONES	20	41	0	0	1	62
VIAS PUBLICAS	0	0	50	0	0	50
VEGETACION	0	0	0	50	0	50
ZONAS DURAS	4	2	0	0	47	53
TOTAL OBJETOS CAMPO	140	50	50	50	50	340

El índice de exactitud global calculado para la clasificación fue de 0.894% (116+41+50+50+47/340) y las exactitudes de productor (24) y usuario (25) con sus respectivos porcentajes de omisión y comisión para cada clase se detallan en la tabla 44.

$$\text{exactitud productor} = \frac{\text{total objetos categorizados por clase}}{\text{total objetos campo}} \qquad (24)$$

$$\text{exactitud usuario} = \frac{\text{total objetos categorizados por clase}}{\text{total objetos clasificados}} \qquad (25)$$

Tabla 45 Resultados evaluación de exactitud de la clasificación basada en objetos

CLASE	EXACTITUD PRODUCTOR	EXACTITUD USUARIO	ERROR OMISION	ERROR COMISION
CONJUNTO RESIDENCIAL	0.8285	0.9280	0.1714	0.0720
CONSTRUCCIONES	0.8200	0.6613	0.1800	0.3387
VIAS PUBLICAS	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000
VEGETACION	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000
ZONAS DURAS	0.9400	0.8868	0.0600	0.1132

De acuerdo con el parágrafo del artículo 24 de la Ley 1450 de 2011 de la República de Colombia, el avalúo catastral de los bienes inmuebles fijado para los procesos de formación y actualización catastral en todos los municipios, no podrá ser inferior al sesenta por ciento (60%) de su valor comercial. Teniendo en cuenta que el avaluó catastral es liquidado a partir de las áreas construidas dicho porcentaje en un valor igual o superior puede ser tomado como referente valido para la exactitud en la clasificación de imágenes usadas dentro de procesos de actualización catastral La convención de colores que describe los resultados de la clasificación es la siguiente:

Tabla 46 Convención de colores para interpretación de resultados de la clasificación basada en objetos

	Conjuntos residenciales detectados
	Construcciones diferentes a conjuntos residenciales
	Vías
	Suelo desnudo
	Otras Construcciones
	Conjuntos residenciales georeferenciados

No se realizó una cuantificación exacta de los falsos positivos pero en una revisión de los polígonos con las áreas más grandes se identificaron 3 casuísticas principales por las que se presentaron:

- En centros comerciales y bodegas con área de parqueaderos, dichas estructuras poseen tejados blancos o con alta reflectancia aunado al hecho de que pueden tener un valor de encaje rectangular mayor a 0.8 y tener

zona de tránsito y parqueaderos de vehículos susceptibles de ser clasificada como vía privada.

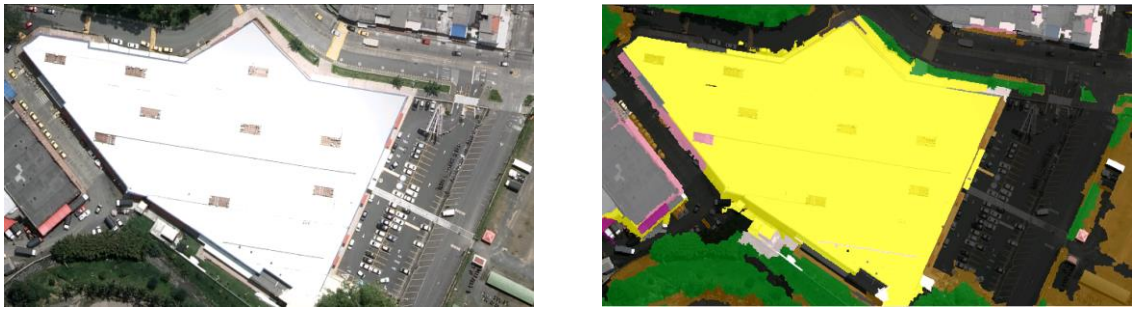


Figura 134 Imagen centro comercial izquierda sin clasificar, derecha clasificada

- En manzanas rectangulares donde existe información incompleta del vector de nomenclatura vial pública que produjo clasificación incorrecta de vías como privadas.

- Por inconsistencias en el filtrado del modelo digital de superficie en las zonas de alta pendiente mayoritariamente en la parte rural, en cultivos de café (Figura 127) con pendiente fuerte que al evaluar MDSNORMALIZADO (21) y funciones de membresía se confunde con construcciones con tejados de tono café. Los resultados obtenidos para cada área de estudio se muestran a continuación se muestran en las figuras (136,137, 138 y 139).

Figura 135 Comparativo de imagen de área rural izquierda sin clasificar derecha clasificada caso falso positivo zonas de alta pendiente suelo rural.

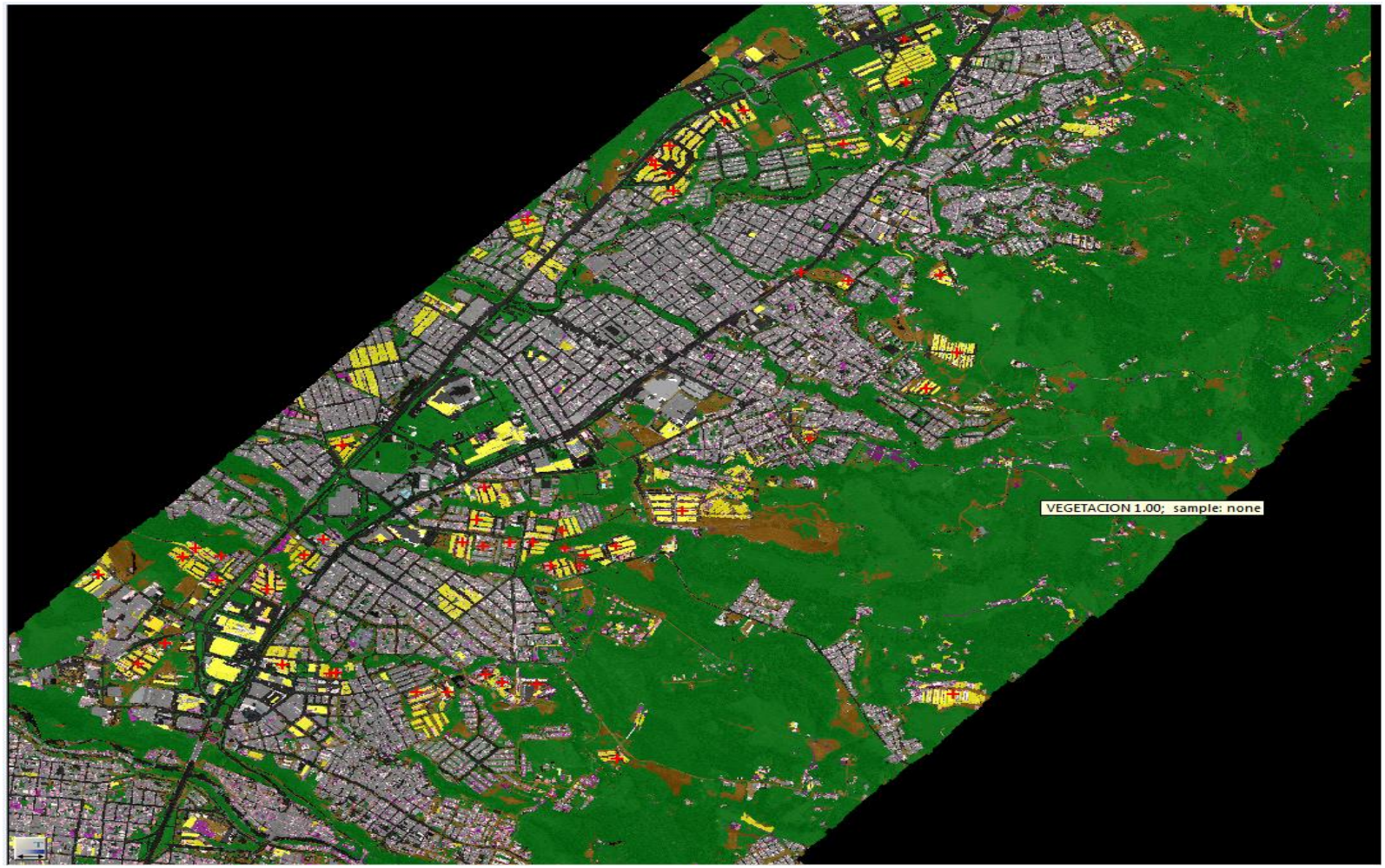


Figura 136 Resultados de clasificación basada en objetos para el área de estudio no 1 (color amarillo representan conjuntos residenciales detectados, cruz roja ubicación conjuntos residenciales base datos geográfica)

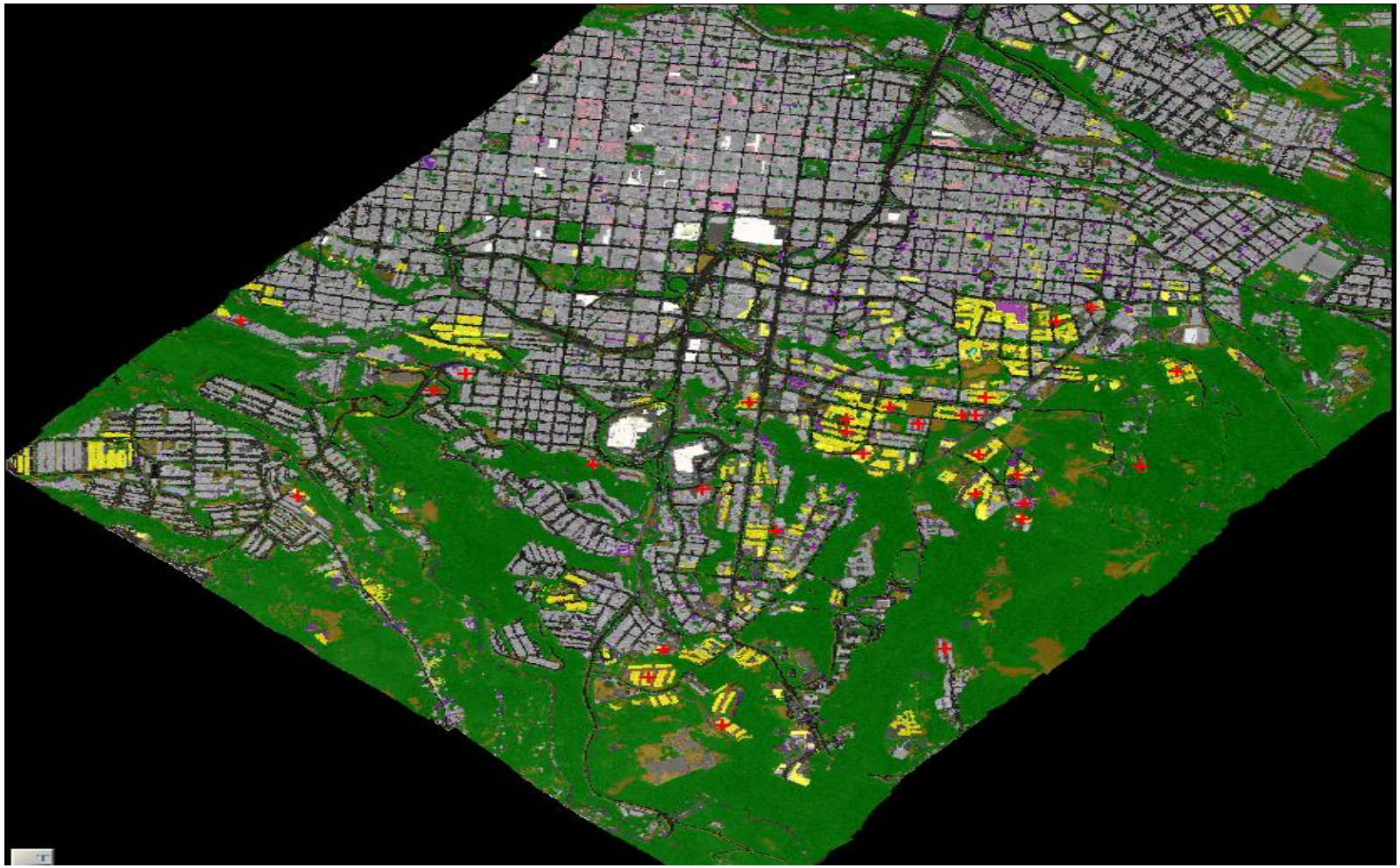


Figura 137 Resultados de clasificación basada en objetos para el área de estudio no 2 (color amarillo representan conjuntos residenciales detectados, cruz roja ubicación conjuntos residenciales base datos geográfica)

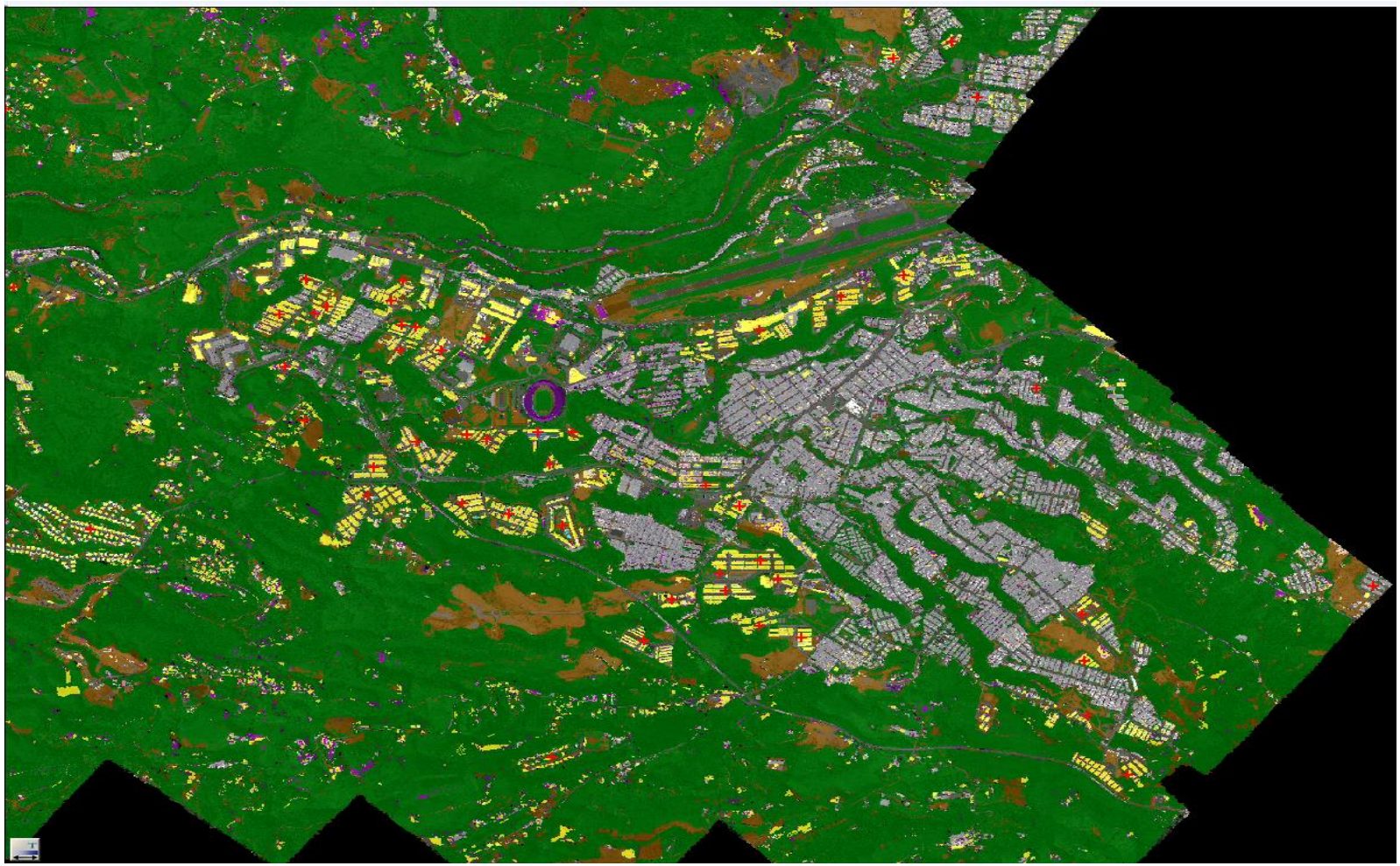


Figura 138 Resultados de clasificación basada en objetos para el área de estudio no 3 (color amarillo representan conjuntos residenciales detectados, cruz roja ubicación conjuntos residenciales base datos geográfica)

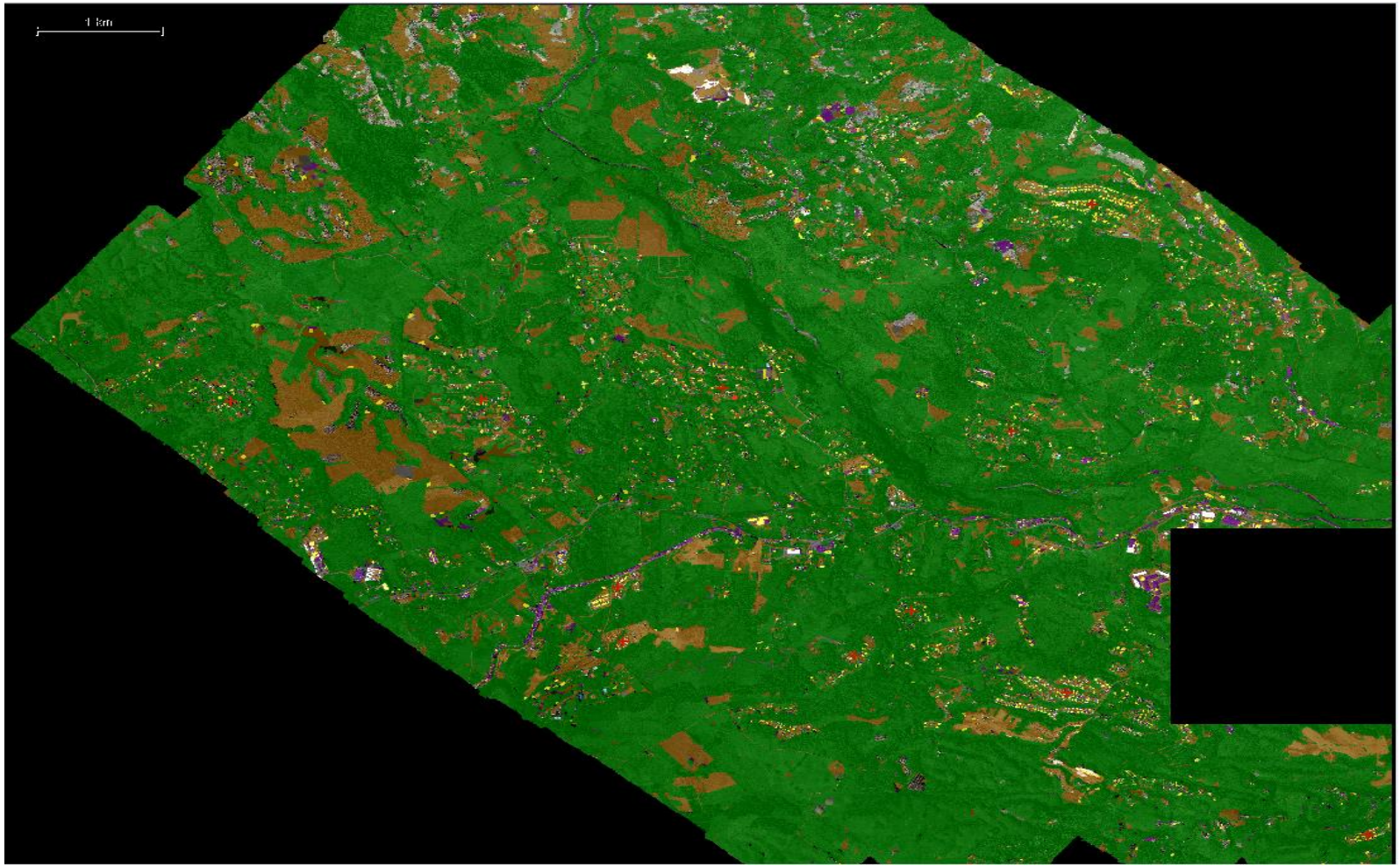


Figura 139 Resultados de clasificación basada en objetos para el área de estudio no 3 parte rural (color amarillo representan conjuntos residenciales detectados, cruz roja ubicación conjuntos residenciales base datos geográfica)

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los mejores resultados se alcanzaron en la detección de conjuntos residenciales ubicados en las áreas de estudio No 1 y No 3, que corresponden a las zonas de expansión urbana de los municipios de Dosquebradas y Pereira respectivamente. Los conjuntos residenciales en las áreas mencionadas siguen un patrón de construcción de manzanas catastrales rectangulares, al tiempo que la mayoría de las ocasiones cuentan con una piscina y se encuentran separados de manzanas catastrales pertenecientes a barrios u otros conjuntos por zonas verdes o vías. Este escenario es propicio para que el algoritmo de crecimiento por regiones determine más correctamente las formas de dichos objetos.

Por su parte los resultados menos favorables se presentaron en el área de estudio no 2, esto se explica debido a la alta densidad de construcciones alrededor de los conjuntos residenciales, hecho que implica que una misma manzana catastral puedan coexistir conjuntos residenciales y otras clase de construcciones como torres de oficinas o viviendas corrientes, configurando varios esquemas de composición de objetos que prácticamente requerirían reglas de análisis especificas por cada uno de los conjuntos a detectar.

El uso de la banda de infrarrojo cercano fue fundamental para la clasificación de objetos de la mayoría de clases definidas en el diagrama de la figura (60). Hasta el momento en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y más específicamente en la subdirección de catastro esta banda no había tenido ninguna utilización, por lo que este trabajo de investigación demuestra la enorme utilidad de los datos contenidos en dicha banda para estudios catastrales y que se puede explicar dado que tiene la menor correlación con todas la bandas del visible tal como se muestra en las estadísticas por banda para cada una de las imágenes calibradas radiométricamente del área de estudio (Tablas 30 a 35).

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El cálculo del filtro de borde de canny sobre la banda roja fue determinante para definir segmentos coherentes con la forma de los tejados en la zona de estudio durante la aplicación del algoritmo por multiresolución por segmentación.

El valor de escala usado para la segmentación en el algoritmo de multiresolución con el fin de detectar construcciones es mayor en el área rural dada la alta dispersión y vecindad de construcciones con respecto a las áreas urbanas

La información de altura de objetos obtenida a partir de modelos digitales de elevación es el criterio que permite clasificar más exactamente tanto conjuntos residenciales como cualquier clase de construcción en imágenes de muy alta resolución. Esto dada la altísima confusión espectral que se presenta en la clasificación de ciertas parejas objetos como por ejemplo una vía asfaltada y una construcción con tejado gris. Consecuentemente con la importancia de esta información para el proceso de actualización catastral es recomendable que la aeronave del Instituto Geográfico Agustín Codazzi realice la toma de las imágenes del sensor Vexcel Ultracam D con un solapamiento entre pares estereoscópicos de mínimo el 60 % y preferiblemente de hasta un 80% para alcanzar un alto nivel de detalle en los modelos de elevación generados a partir del procesamiento de las mismas.

La calibración radiométrica de las imágenes Vexcel Ultracam D con firmas espectrales de la misma área de estudio contribuyeron a obtener una mejor

separabilidad entre clases a partir del cálculo y evaluación de los parámetros de condiciones espectrales identificados en la sección 7.1.2. Aritméticamente esto se puede comprender a partir del hecho que los píxeles pasan de tomar valores entre 0 y 255 a tomar valores entre 0 y 1 o máximo 1.6 como en el caso de la presente investigación, así que al ser más bajos los valores que puede tomar un píxel o un segmento de píxeles para una determinada medida espectral, será también mucho menor su desviación estándar por lo que la posibilidad de tener una distribución de datos uniforme es más alta y con ella la posibilidad de identificar un patrón de reconocimiento de objetos con base en dicha medida espectral. Para la recolección de firmas espectrales en campo con el equipo red tide USB650, es recomendable calibrarlo para cada toma si existe una alta intensidad solar dado que el equipo es muy susceptible a sobresaturarse por su condición de trabajo bajo único haz. De acuerdo a los datos observados y la experiencia adquirida durante la investigación la corrección radiométrica de las imágenes Vexcel Ultracam D para zonas urbanas además de requerir dos firmas espectrales representativas de zonas oscuras y claras debe incluir firmas espectrales de objetos antrópicos compuestos por diferentes materiales como asfalto, arcilla, ladrillo, metales o cualquier otro material que se pretenda identificar durante el proceso de clasificación de la imagen, para que el cálculo y evaluación de los índices espectrales permitiendo obtener marcada separabilidad entre las diferentes clases dada la alta heterogeneidad de las escenas urbanas. Para el caso rural es imprescindible obtener una firma espectral de la especie de vegetación predominante en la zona a fin de aislar las áreas donde esté presente y aumentar la precisión en la detección de un objetivo en específico idealmente contando con su respectiva firma espectral.

La clasificación de piscinas a partir de funciones de membresía usando los índices de áreas construidas BAI (5) y el ratio de agua WRI (12) fue fundamental para la detección de conjuntos residenciales, sobre todo aquellos que no contaban

con manzanas catastrales de forma rectangular y tejados de tonalidad rosada, rojiza, café y blanca, como es el caso de aquellos compuestos por vías privadas y solo torres de apartamentos. Los parámetros de condiciones espectrales definidos en la sección 7.1.2 fueron determinantes en la clasificación de todos los objetos.

El cálculo y evaluación de medidas de textura sobre imágenes de muy alta resolución demanda considerables recursos de computador a nivel de procesador y memoria, no se logró identificar una medida de textura que ayudara a diferenciar claramente alguna clase de construcción. A criterio del investigador esto tiene su razón de ser por la alta variación de texturas presentes en espacios muy pequeños de terreno de una imagen de muy alta resolución, hecho que dificulta enormemente la elaboración de una regla de análisis basada en la evaluación de este tipo de medida para diferenciar cualquier clase de área construida de forma general.

La herramienta GXL de PCI GEOMATICS para geoprocesamiento de altos volúmenes de datos con la que cuenta el Instituto Geográfico Agustín Codazzi para la corrección geométrica y generación modelos de elevación a partir de imágenes Vexcel Ultracam D, permite que las oficinas territoriales de la entidad cuenten con estos productos de forma más oportuna para la realización de procesos de precenso actualización y conservación catastral. Solo faltaría reglamentar bajo procedimiento interno los flujos de proceso y criterios que garanticen la calidad y oportunidad de la información. Una vez se cuente con las imágenes corregidas geométrica y radiométricamente junto con sus respectivos modelos de elevación, los resultados de la detección de conjuntos residenciales ejecutando la secuencia de reglas de análisis basadas en objetos propuesta en la investigación, en forma simultánea en dos servidores de alto procesamiento como los que cuenta la entidad en cada una de sus sedes, se realizaría en menos de una hora para un área de estudio del orden de los 100 Km^2. Aunque las reglas de

análisis pueden aplicarse con los mismos parámetros espectrales, texturales, geométricos y contextuales identificados en la investigación en términos de medidas y valores para otras zonas de estudio, debe considerarse la variación de los valores a partir de un proceso iterativo ejecución de reglas – evaluación de clasificación obtenida y la existencia de esquemas de composición de conjuntos residenciales propios de cada zona de estudio. En su lugar a partir de la experiencia laboral del investigador se estima que la misma labor en áreas de similar o menor magnitud y siguiendo el método tradicional de precenso requeriría de contratar al menos dos personas con un costo no inferior a 5 millones de pesos sin incluir el costo de los desplazamientos en transporte necesarios, para entregar este labor en un tiempo no inferior a 20 días, proyectando este costo en procesos de precenso catastral de las 22 territoriales fácilmente el ahorro para la entidad podría estar por el orden de los cien millones de pesos . La versión 9.1 trial del software eCognition permite la ejecución de los todos los algoritmos requeridos para la detección de conjuntos residenciales y cualquier clase de construcción así que solo se requeriría la intervención de un funcionario que ejecute las reglas y marque sobre una base de datos geográfica usando un software de edición las coordenadas donde se ubica cada conjunto residencial para proporcionar una salida grafica al personal de reconocimiento catastral.

Es imprescindible contar con un vector de nomenclatura vial pública de los municipios donde se pretenda detectar conjuntos residenciales, ya que es el único criterio que permite clasificar correctamente vías privadas internas de este tipo de construcciones. La información temática vectorial de vías en los planes de ordenamiento territorial de cada municipio complementan la información de nomenclatura vial existente en el sistema nacional catastral (INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI, 2016).

El refinamiento de clasificación a partir de las reglas de análisis para eliminar los falsos positivos originados en las casuísticas identificadas en la sección 7 de resultados obtenidos, debe continuar siendo materia de investigación a fin de tener una mayor confiabilidad durante la implementación de la investigación dentro un proceso de precenso catastral bajo una perspectiva de proceso 100% automático. No obstante el trabajo conjunto de la ejecución de las reglas de análisis basadas en objetos desarrolladas sobre el software eCognition 9.1 versión trial y un intérprete humano garantizarían el éxito dentro de cualquier proyecto de actualización catastral.

10 BIBLIOGRAFÍA

PCI Geomatics Enterprises. (5 de Abril de 2016). *PCI Geomatics Portal.* Obtenido de http://www.pcigeomatics.com/

Ariza, A. (JULIO de 2015). MANUAL DE EJERCICIOS PRACTICOS DE TELEDETECCIÓN PARTE 1. *MANUAL DE EJERCICIOS PRACTICOS DE TELEDETECCIÓN PARTE 1 CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS EN ESPECTRORADIOMETRICA*. Santafé de Bogotá, Santafé de Bogotá, Colombia: IGAC.

Arvor D., S.-G. N. (2013). Identifying optimal classification rules for geographic object-based image analysis. *Identifying optimal classification rules for geographic object-based image analysis.XVI Simpósio Brasileiro de Sensoramiento Remoto* (pág. 9). Igaucu, Brazil.: HAL archives-ouvertes.

Arvor, D., Saint-Geours,, N., Dupuy, S., Andrés, S., & Durieux, L. (2013). Identifying optimal classification rules for geographic object-based image analysis. *XVI Simpósio Brasileiro de Sensoramiento Remoto* (pág. 9). Iguazu,Brasil: HAL archives-ouvertes.fr.

Benarchid O., R. N. (2013). Building Extraction using Object-Based Classification and Shadow Information in Very High Resolution Multispectral Images,a Case Study: Tetuan, Morocco. *Canadian Journal on Image Processing and Computer Vision Vol. 4 No. 1,*, 8.

Benarchid, O., Raissouni, N., El Adib, S., Abbous, A., Azyat, A., Ben Achhab, N., . . . Chahboun, A. (2013). Building Extraction using Object-Based Classification and Shadow Information in Very High Resolution Multispectral Images,a Case Study: Tetuan, Morocco. *Canadian Journal on Image Processing and Computer Vision*, 8.

Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., & Heynen, M. (2003). Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 20.

Blaschke, S., Lang, S., & Hay , G. (2008). *OBJECT- BASED IMAGE ANALYSIS Spatial Concept For Knowledge-Driven Remote Sensing Applications.* Berlin: Springer.

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

Congalton, R. G., & Green, K. (2009). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data Principles and Practices.* Boca Raton: Taylor & Francis Group.

Departamento de estudios económicos y urbanos CAMACOL RISARALDA. (2016). *ESTUDIO DE ACABADOS EN CONJUNTOS RESIDENCIALES 2003-2016.* PEREIRA: CAMACOL.

DEPARTAMENTO ESTUDIOS ECONOMICOS Y URBANOS CAMACOL. (2015). *COMPORTAMIENTO ACTIVIDAD EDIFICADORA EN PEREIRA Y DOSQUEBRADAS A OCTUBRE 2015.* PEREIRA: CAMACOL.

eCognition Trimble. (2010). *Getting started – Example: Simple building extraction Classification of buildings using elevation.* Berlin: Trimble.

François, L. (2005). *Feature space optimization prior to fuzzy image classification.* Val-Bélair, Qc,: Defence R&D Canada.

GEOESPACIALES, G. I. (1 de Abril de 2014). INSTRUCTIVO AEROTRIANGULACIÓN DIGITAL. *INSTRUCTIVO AEROTRIANGULACIÓN DIGITAL*. Santafe de Bogota, Santafe de Bogota, Santafe de Bogota: INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI.

Guyon, I., Weston, J., Barnhill, S., & Vapnik, V. (2002). Gene Selection for Cancer Classification using Support Vector. En *Machine Learning* (pág. 444). Berlin: Springer.

Haralick, R. M., Shanmugam, K., & Dinstein, I. (1973). Textural Features For Image Classification. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEM MAN AND CYBERNETICS*, 12.

HARRIS GEOSPATIAL SOLUTIONS. (20 de 09 de 2016). *Harris Geospatial Product Documentation Center*. Obtenido de http://www.harrisgeospatial.com/docs/tutorials.html

Heinrich Kux, H. J., & Araújo, E. H. (2010). Object-based Image Analysis using QuickBird satellite images and GIS data, case study Belo Horizonte (Brazil). En T. Blaschke, S. Lang, & G. J. Hay, *Object-Based Image Analysis* (pág. 803). Berlin: Springer-Verlag.

Heinrich Kux, H. J., Novack, T., & Garcia Fonseca, L. M. (2009). Mapeamento de favelas usando classificação orientada a objeto – estudo de caso em Paraisópolis, São Paulo (SP). *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoramiento Remoto,Natal, Brasil, abril 2009* (pág. 7). Sao Jose dos Campos - SP, Brasil: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE.

IDB PROJECT. (MARZO de 2016). *Index Database*. Obtenido de A database for remote sensing indices: http://www.indexdatabase.de/

IGAC. (2012). *IGAC.* Santafé de Bogotá: IGAC.

IGAC. (1 de 12 de 2016). *INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI*. Obtenido de INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI: www.igac.gov.co

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. (12 de 05 de 2016). *SISTEMA NACIONAL CATASTRAL*. Obtenido de http://snc.igac.gov.co/snc/login.jsf

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI COLOMBIA. (Agosto de 2010). MANUAL DE PROCEDIMIENTOS FORMACIÓN Y ACTUALIZACIÓN CATASTRAL. *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS FORMACIÓN Y ACTUALIZACIÓN CATASTRAL PROCEDIMIENTO P50100-02/10*. Santafé de Bogotá, Santafé de Bogotá, Colombia: IGAC.

Kovacs, A. M., & Sziranyi, T. (2013). MULTIDIRECTIONAL BUILDING DETECTION IN AERIAL IMAGES WITHOUT SHAPE TEMPLATES. *nternational Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 6.

LEY 1450 DE 2011, Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014. (CONGRESO DE COLOMBIA 2011).

Lira, J. (2010). *Tratamiento digital de imágenes multiespectrales.* Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Mhangara, p., Odindi, J., Kleyn, L., & Remas, H. (2010). *Road extraction using object oriented classification.* Hartesbeeshoek, South Africa: SANSA, Space Operations, Earth Observation.

Mhangara, P., Odindi, J., Kleyn, L., & Remas, H. (2013). Road extraction using object oriented classification. *researchgate.NET*, 14.

Navulur, K. (2007). *Multispectral Image Analysis Using the Object-Oriented Paradigm.* Boca Raton: Taylor & Francis Group.

Nussbaum, S., Niemeyer, I., & Canty, M. J. (2006). SEATH - a new tool for automated feature extraction in the context of object-based image analysis. *1st International Conference on Object-based Image Analysis (OBIA).* Salzburg: Research Center Juelich Programme Group Systems Analysis and Technology Development.

Ouma , Y. O., Tateishi, R., & Sri-Sumantyo, J. T. (2010). Urban features recognition and extraction from very-high resolution multi-spectral satellite imagery: a micro–macro texture determination and integration framework. *IET Digital Library*, 10.

Paidamwoyo Mhangara, J. O. (2010). Road extraction using object oriented classification. *SANSA, Space Operations, Earth Observation,*, 14.

Perez Gutierrez, C., & Muñoz Nieto, Á. L. (2006). *Teledetección Nociones y Aplicaciones.* Carlos Perez Gutierrez y Ángel Luis Muñoz Nieto.

Redweik, P. (2015). FOTOGRAMETRIA AEREA. *researchgate*, 38.

Shackelford, A. K., & Davis, C. H. (2003). A hierarchical fuzzy classification approach for high-resolution multispectral data over urban areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* .

Smith, R. (2004). *Percepción Remota del Ambiente.* Raymond Nebraska: MicroImages Inc.

Trimble Germany. (2014). *Trimble Ecognition Developer Reference Book.* Munich, Germany: Trimble Germany GmbH,.

Tucker, C. J. (1979). Red and photographic linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Enviroment*, 55-64.

VEXCEL. (2004). *Brochure Ultracam D.* Boulder, Colorado: aerial-survey-base.

Vexcel Imaging Company. (12 de JULIO de 2013). Calibration Report Ultracam D. *Calibration Report Ultracam D, Serial Number UCD-SU-1-0051*. Santafé de Bogotá, Santafé de Bogotá, Colombia: Vexcel Imaging.

Vijjapu, P. (01 de MARCH de 2013). CLASSIFICATION AND BUILDING DETECTION USING FUZZY SUB-OBJECT DENSITIES AND SHADOW INFLUENCE. Enschede, Enschede, Netherlands.

Wikipedia. (1 de Noviembre de 2016). *Wikipedia La Enciclopedia Libre*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/

Wuest, B., & Zhang, Y. (2009). REGION BASED SEGMENTATION OF QUICKBIRD IMAGERY THROUGH FUZZY INTEGRATION. *XXI Congress, WG VII/4* (pág. 6). Fredericton, Canada: Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick.

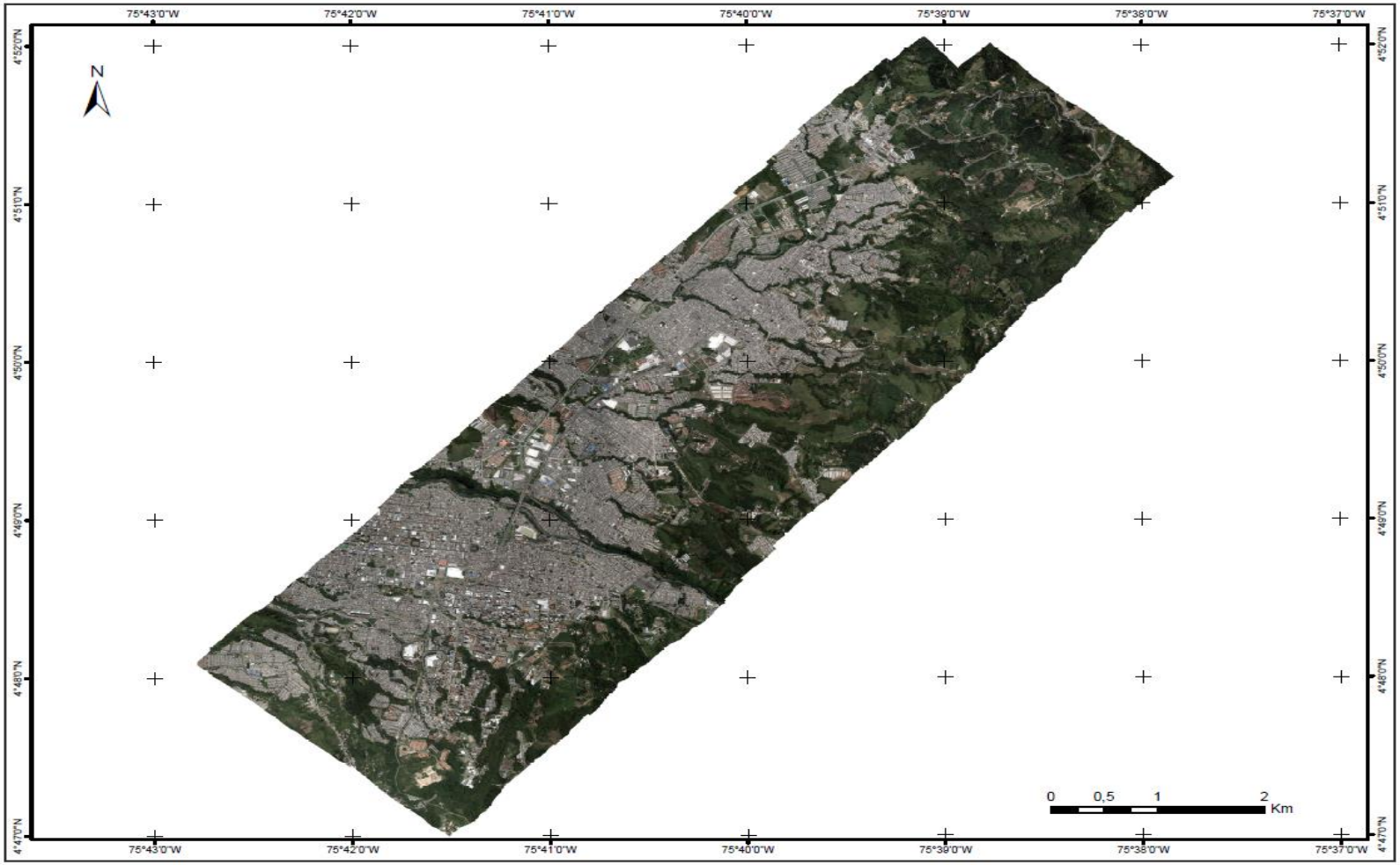
11 ANEXOS

ANEXO 2 CRONOGRAMA DEL PROYECTO

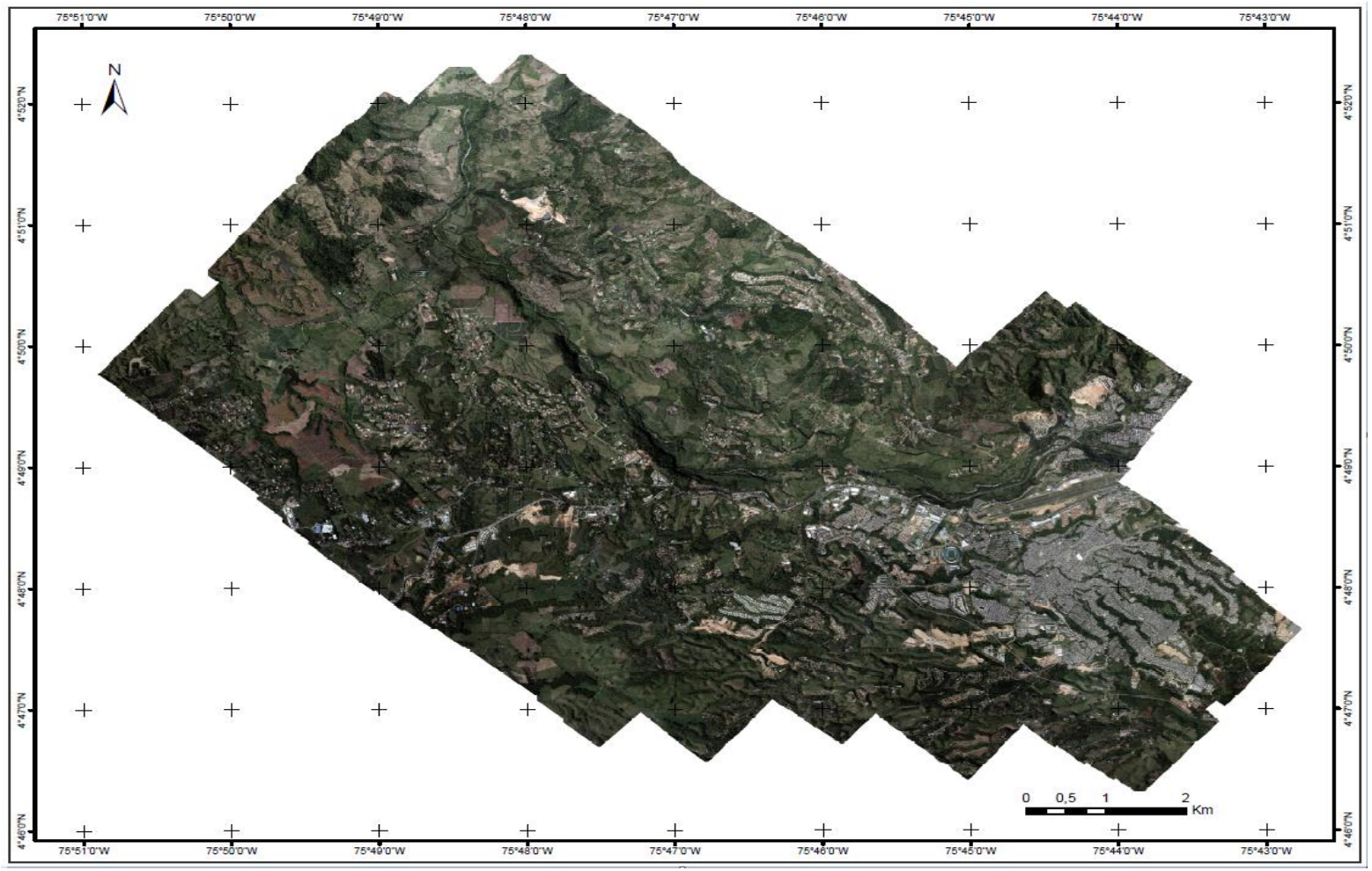
Actividad	Resultado	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Corrección Geométrica de 251 imágenes para las áreas de estudio	Mosaico de Imágenes Vexcel Ultracam D corregidas geométricamente												
Segmentación de imágenes Vexcel Ultracam D por niveles de objetos basándose en conocimiento a priori de estos y una estrategia de procesamiento arriba - abajo	Imágenes segmentadas por niveles de objetos.												
Experimentación con medidas (espectrales, texturales ,geométricos, contextuales) aplicando algoritmos de optimización de características en el área de estudio No 1	Lista de parámetros (pareja medida, valor) para diferenciar conjuntos residenciales de los demás objetos presentes en las imágenes en el área de estudio No 1.												

Recolección de firmas espectrales en campo y corrección radiométrica de imágenes.	Mosaico de Imágenes Vexcel Ultracam D corregidas radiométricamente.												
Grabación de reglas de análisis basadas en objeto en software trial ECognition	Generación de reglas de análisis basados en objetos para el área de estudio No 1.												
Presentación de resultados													

ANEXO 3 ORTOFOTOS DE AREAS DE ESTUDIO



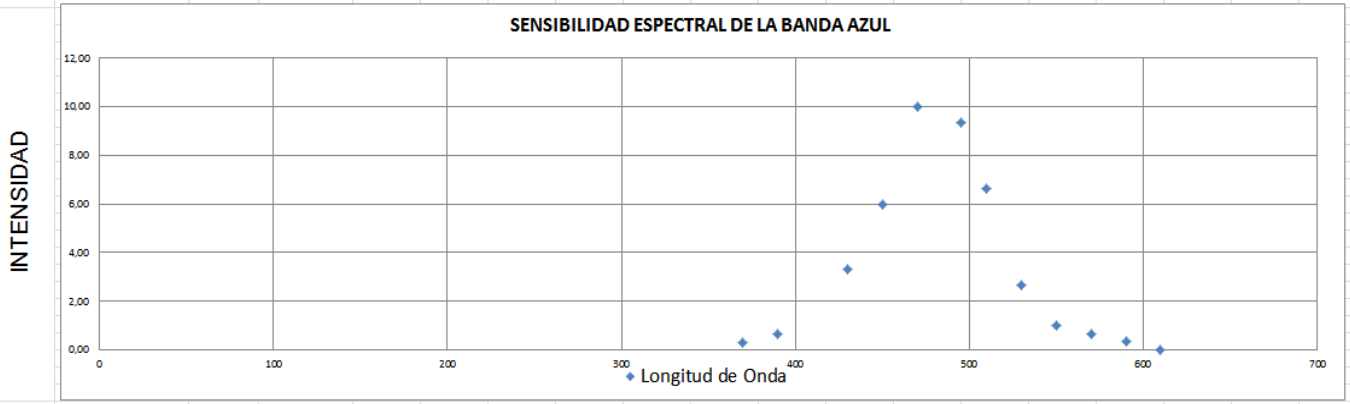
Ortofoto área de estudio No 1 y 2



Ortofoto área de estudio no 3

ANEXO 4 CÁLCULO DE CENTRO DE BANDA (FWHM) Y RESOLUCION ESPECTRAL PARA BANDAS AZUL, VERDE , ROJO E INFRARROJO CERCANO A PARTIR DE DETERMINACION INSTRUMENTAL

BANDA		LONG ONDA	INTENSIDAD	INTENSIDAD NORMALIZADA
AZUL	1	370	0,30	0,000300
AZUL	2	390	0,66	0,000660
AZUL	3	430	3,33	0,003330
AZUL	4	450	6,00	0,006000
AZUL	5	470	10,00	0,010000
AZUL	6	495	9,33	0,009330
AZUL	7	510	6,66	0,006660
AZUL	8	530	2,66	0,002660
AZUL	9	550	0,99	0,000990
AZUL	10	570	0,66	0,000660
AZUL	11	590	0,33	0,000330
AZUL	12	610	0,00	0,000000



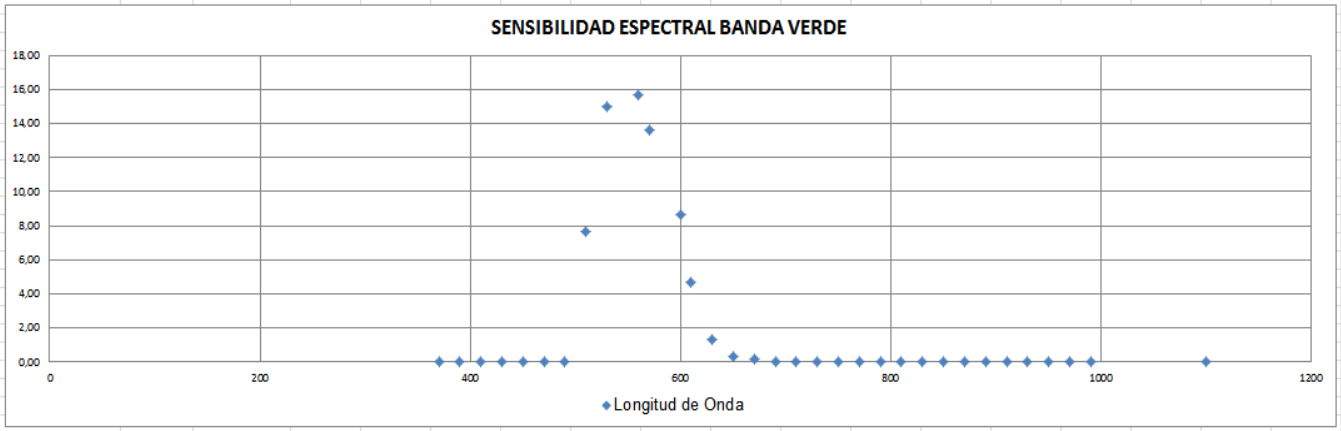
MIN	0,000		MEDIA	5		
MAX	10,000					
Ymedio	5,00					
X0,Y0	430	3,33	X0',Y0'	510	6,600	
X1,Y1	450	6	X1',Y1'	530	2,660	

$$X_A = \frac{(Y_{media} - Y_0)(X_1 - X_0)}{(Y_1 - Y_0)} + X_0$$

$$X_B = \frac{(Y_{media} - Y_0')(X_1' - X_0')}{(Y_1' - Y_0')} + X_0'$$

XA	442,5094	**XB**	518,1218
XB-XA	75,61246		
CENTRO_BANDA	480,3156		

BANDA	MEDIDAS	LONG OND	INTENSIDAD	INTENSIDAD NORMALIZADA
VERDE	1	370	0,00	0,000000
VERDE	2	390	0,00	0,000000
VERDE	3	410	0,00	0,000000
VERDE	4	430	0,00	0,000000
VERDE	5	450	0,00	0,000000
VERDE	6	470	0,00	0,000000
VERDE	7	490	0,00	0,000000
VERDE	8	510	7,66	0,007660
VERDE	9	530	14,99	0,014990
VERDE	10	560	15,66	0,015660
VERDE	11	570	13,66	0,013660
VERDE	12	600	8,66	0,008660
VERDE	13	610	4,66	0,004660
VERDE	14	630	1,32	0,001320
VERDE	15	650	0,32	0,000320
VERDE	16	670	0,15	0,000150
VERDE	17	690	0,00	0,000000
VERDE	18	710	0,00	0,000000
VERDE	19	730	0,00	0,000000
VERDE	20	750	0,00	0,000000
VERDE	21	770	0,00	0,000000
VERDE	22	790	0,00	0,000000
VERDE	23	810	0,00	0,000000
VERDE	24	830	0,00	0,000000
VERDE	25	850	0,00	0,000000
VERDE	26	870	0,00	0,000000
VERDE	27	890	0,00	0,000000
VERDE	28	910	0,00	0,000000
VERDE	29	930	0,00	0,000000
VERDE	30	950	0,00	0,000000
VERDE	31	970	0,00	0,000000
VERDE	32	990	0,00	0,000000
VERDE	33	1.100	0,00	0,000000



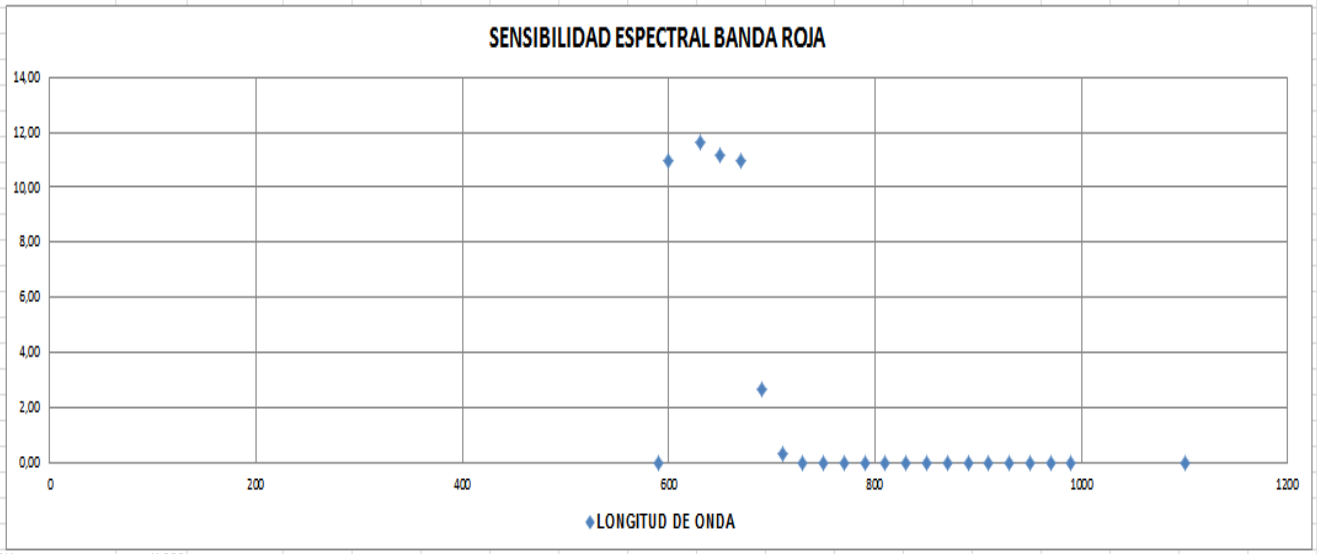
MIN	0,000		MEDIA	7,83			
MAX	15,660						
Ymedio	8						
X0,Y0	510	7,66		X0',Y0'	600	8,660	
X1,Y1	530	14,99		X1',Y1'	610	4,660	

$$X_A = \frac{(Y_{media} - Y_0)(X_1 - X_0)}{(Y_1 - Y_0)} + X_0$$

$$X_B = \frac{(Y_{media} - Y_0')(X_1' - X_0')}{(Y_1' - Y_0')} + X_0'$$

XA	510,4638	**XB**	602,075
XB-XA	91,61115		
CENTRO DE BANDA	556,2694		

BANDA	MEDIDA	LONG OND	INTENSIDAD	INTENSIDAD NORMALIZADA
ROJO	1	590	0,00	0,000000
ROJO	2	600	10,99	0,010990
ROJO	3	630	11,66	0,011660
ROJO	4	650	11,20	0,011200
ROJO	5	670	10,99	0,010990
ROJO	6	690	2,66	0,002660
ROJO	7	710	0,33	0,000330
ROJO	8	730	0,00	0,000000
ROJO	9	750	0,00	0,000000
ROJO	10	770	0,00	0,000000
ROJO	11	790	0,00	0,000000
ROJO	12	810	0,00	0,000000
ROJO	13	830	0,00	0,000000
ROJO	14	850	0,00	0,000000
ROJO	15	870	0,00	0,000000
ROJO	16	890	0,00	0,000000
ROJO	17	910	0,00	0,000000
ROJO	18	930	0,00	0,000000
ROJO	19	950	0,00	0,000000
ROJO	20	970	0,00	0,000000
ROJO	21	990	0,00	0,000000
ROJO	22	1.100	0,00	0,000000



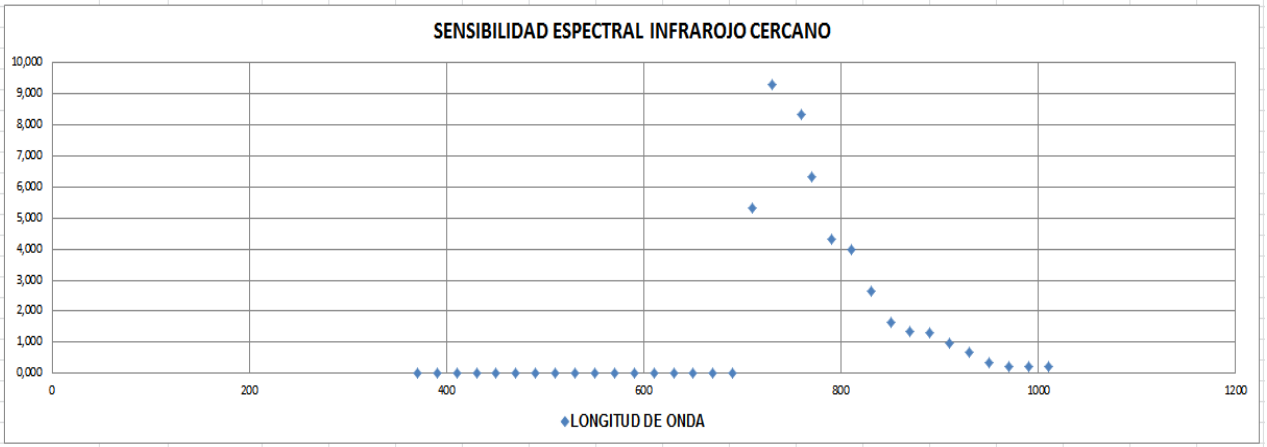
MAX	11,660					
MIN	0,000					
Ymedio	5,83					
X0,Y0	590	0,00	X0',Y0'	670	10,990	
X1,Y1	600	10,99	X1',Y1'	690	2,660	

$$X_A = \frac{(Y_{media} - Y_0)(X_1 - X_0)}{(Y_1 - Y_0)} + X_0$$

$$X_B = \frac{(Y_{media} - Y'_0)(X'_1 - X'_0)}{(Y'_1 - Y'_0)} + X'_0$$

XA	600,6096	**XB**	682,9
XB-XA	82,29035		
CENTRO_BANDA	641,7548		

MEDIDA	LONG ONDA	INTENSIDAD	INTENSIDAD NORMALIZADA
1	370	0,000	0,000000
2	390	0,000	0,000000
3	410	0,000	0,000000
4	430	0,000	0,000000
5	450	0,000	0,000000
6	470	0,000	0,000000
7	490	0,000	0,000000
8	510	0,000	0,000000
9	530	0,000	0,000000
10	550	0,000	0,000000
11	570	0,000	0,000000
12	590	0,000	0,000000
13	610	0,000	0,000000
14	630	0,000	0,000000
15	650	0,000	0,000000
16	670	0,000	0,000000
17	690	0,000	0,000000
18	710	5,320	0,005320
19	730	9,320	0,009320
20	760	8,333	0,008333
21	770	6,330	0,006330
22	790	4,330	0,004330
23	810	4,000	0,004000
24	830	2,660	0,002660
25	850	1,660	0,001660
26	870	1,330	0,001330
27	890	1,300	0,001300
28	910	0,990	0,000990
29	930	0,660	0,000660
30	950	0,330	0,000330
31	970	0,200	0,000200
32	990	0,200	0,000200
33	1.010	0,200	0,000200



MAX	9,320					
MIN	0,000					
Ymedio	4,66					
X0,Y0	690	0,00	X0',Y0'	770	6,330	
X1,Y1	710	5,32	X1',Y1'	790	4,330	

$$X_A = \frac{(Y_{media} - Y_0)(X_1 - X_0)}{(Y_1 - Y_0)} + X_0$$

$$X_B = \frac{(Y_{media} - Y_0')(X_1' - X_0')}{(Y_1' - Y_0')} + X_0'$$

XA	707,518797	XB	774,175
XB-XA	66,656203		
CENTRO_BANDA	740,846898		

ANEXO 5 MEJORES MEDIDAS DE SEPARACIÓN POR PAREJA DE CLASES

CLASE	ASFALTO_CONCRETO_ZONAS_DURA	SUELO DESNUDO	CANCHA TENIS	CESPED SINTETICO	SOMBRAS_CONSTRUCCION	PISCINA	VEGETACION	SOMBRAS VEGETACION
ASFALTO_CONCRETO_ZONAS_DURA		1.NDWI;2. BAI;3.RATIO ROJO/AZUL; 4, RATIO ROJO/VERDE;5.NDWI;6 WRI	1,RATIOROJO/AZUL;2,RATIO ROJO/VERDE;3,GRNDVI;4,NDWI;5.NDVI;6,BAI	1.WRI 2,BAI	1, INTENSIDAD 2,INTENSIDAD MEDIA	ROJO/AZUL;2,RATIO ROJO/VERDE;3.WRI 4.BAI;5, INTENSITY	NVDI	1, INTENSIDAD 2,INTENSIDAD MEDIA
SUELO DESNUDO	1.NDWI;2. BAI;3.RATIO ROJO/AZUL; 4, RATIO ROJO/VERDE;5.NDWI;6 WRI		1. RATIO ROJO/AZUL 2.INTENSITY 3. GLCM CORRELATION VERDER	1, INTENSIDAD, 2, INTENSIDA MEDIA2 3, CORRELACION EN BANDA VERDE	1, INTENSIDAD 2,INTENSIDAD MEDIA	NIR;2,RATIOROJO/AZUL;, 3,RATIO ROJO/VERDE;4,GRNVDI;5,WRI	NVDI	1, INTENSIDAD 2,INTENSIDAD MEDIA
CANCHA_TENIS	1,RATIOROJO/AZUL;2,RATIO ROJO/VERDE;3,GRNDVI;4,NDWI;5.NDVI;6,BAI	1. RATIO ROJO/AZUL 2.INTENSITY 3. GLCM CORRELATION VERDER		1, RATIO ROJO/AZUL 2, INTENSITY2; 3, BAI	1, INTENSIDAD 2,INTENSIDAD MEDIA	R;2,RATIO ROJO/AZUL;3,RATIO ROJO/VERDE;4,RATIO NIR/AZUL;5,NDWI;6,BAI	NVDI	1, INTENSIDAD 2,INTENSIDAD MEDIA
CESPED SINTETICO	1.WRI 2,BAI	1, INTENSIDAD, 2, INTENSIDA	1, RATIO ROJO/AZUL 2, INTENSITY2; 3, BAI		1, INTENSIDAD 2,INTENSIDAD MEDIA	R;2,RATIO ROJO/AZUL;3,RATIO ROJO/VERDE;4,RATIO NIR/AZUL;5,NDWI;6,BAI	1, NDWI 2,BAI 3,GRNDVI 4,RATIO ROJO/AZUL;5.NVDI	1, INTENSIDAD 2,INTENSIDAD MEDIA
SOMBRAS_CONSTRUCCION	1. MEDIA AZUL;2, INTESIDAD MEDIA; 3, INTENSIDAD MEDIA 2	1. INTENSIDAD	1. INTENSIDAD	1. INTENSIDAD 2, NVDI		1. INTENSIDAD	1, INTENSIDAD 2,INTENSIDAD MEDIA. 3,NVDID	1, INTENSIDAD 2,INTENSIDAD MEDIA
PSICINA	1.RATIO ROJO/AZUL;2.RATIO ROJO/VERDE;3.WRI 4.BAI;5, INTENSITY	NIR;2,RATIOROJO/AZUL,;3,RATIO ROJO/VERDE;4,GRNVDI;5,WRI	1,MEDIA_CONTRASTE_NIR;2,RATIO ROJO/AZUL;3,RATIO ROJO/VERDE;4,RATIO NIR/AZUL;5,NDWI;6,BAI		1, INTENSIDAD 2,INTENSIDAD MEDIA		1, NDWI 2,BAI 3,GRNDVI 4,RATIO ROJO/AZUL;5.NVDI	1, INTENSIDAD 2,INTENSIDAD MEDIA
VEGETACION	NVDI	NVDI	NVDI	NVDI	NVDI	1, WRI 2. NVDI; 3.BAI		1, INTENSIDAD 2,INTENSIDAD MEDIA 3,NVDI
SOMBRAS VEGETACION	1, INTENSIDAD 2,INTENSIDAD MEDIA	1, INTENSIDAD 2,INTENSIDAD MEDIA	1, INTENSIDAD 2,INTENSIDAD MEDIA	1, INTENSIDAD 2,INTENSIDAD MEDIA	1, INTENSIDAD MEDIA,INTENSIDAD MEDIA 2	1. INTENSIDAD	1, NVDID	

ANEXO 6 LISTADO DE CONJUNTOS RESIDENCIALES

No	AE # 1	AE # 2	AE #3
1	ZANDALO	GUADUALES DE CANAAN	OLIVAR II DE LOS VIENTOS
2	SENDEROS DE LA PRADERA	MIRADOR DEL BOSQUE	BULEVAR DE LAS VILLAS
3	MITACA	ALAMEDA DE SAN LUIS	RESERVAS DE LAS VILLAS
4	PUERTO NUEVO	ALCARAVAN	ALTAVISTA PARQUE RESIDENCIAL
5	EL CANEY 2	OCEANIA TORRE C	SERREZUELA
6	CIPRES	CONJUNTO RESIDENCIAL LAS L	PUERTO MADERO II
7	MOLIVENTO DE LAS VILLAS	TACARAGUA	PORTAL DEL CAMPO
8	BULEVAR NORTE	TRILOGIA APARTAMENTOS	EL NOGAL CLUB RESIDENCIAL
9	CONJUNTO RESIDENCIAL MOLI	VILLAGIO	ALEGRIAS APARTAMENTOS
10	TERRAZAS DEL LAGO	BAHIA PALMA	GUADALCANAL
11	PAPIRO	BALI	TANGARA
12	TORRES DE LA ARBOLEDA	IGUAZU	URBANIZACION HACIENDA CUBA
13	VILLA ROBLE	SAN JUAN DE LA SIERRA	PUERTO MADERO
14	PRIMAVERA ASUL	SAN SIMON	SAN JOSE DE LAS VILLAS
15	RESERVA DE LA PRADERA	MIRADOR DE LOS ALPES	PALO DE AGUA
16	OPALO	MAITAMA	PARQUES DE BOQUIA
17	LOMA LINDA	PINARES ALTO	SAN SEBASTIAN
18	BAMBUSA	CONDOMINIO LA JULIA	BIRIKAIRA
19	LA ARBOLEDA DE SANTAMONI	MONTECANELO	PALMAR DE VILLA VERDE
20	TERRAZINO	HACIENDA	BATARA
21	TAGUA	PINARES CAMPESTRE	QUINTAS DE LA COLINA
22	ALTOS DE LA CAPILLA	TORRES DE BARAJAS	OBELISCO DE LA VILLA
23	LA ESTACION	ALPES RESERVADO	RINCON
24	QUINTAS DE BALEARES	PINARES DE ALAMEDA	MUKAVA DEL VIENTO
25	TADAIMA	PINAMAR	LA CANDELARIA
26	GALATEA	RESERVA DE LA JULITA	ALSACIA CONDOMINIO CAMPESTRE
27	TORRE MILANO	BOSQUES DE CANAAN	CERRITOS CAMPESTRE
28	TERRAZAS DE LA CASTILLA	PORTAL DE LA 14	SENDEROS
29	GRANATE	COVARRUBIAS DEL PINAR	VILLA DE LEYVA
30	VERACRUZ		QUINTAS DE ALEJANDRIA
31	MOLINOS DEL SOL		BOSQUES DE CANTABRIA
32	URBANIZACION LOS REYES		BULEVAR DEL BOSQUE
33	CEDRO ROJO		GALICIA DEL PARQUE
34	TORRES DE SANTA MONICA		MAKAIRA
35	PORTAL DEL SOL		ALEGRIAS DE LAS VILLAS
36	RESERVA DEL LAGO		PORTAL DE LLANO GRANDE
37	PRADERA		PUERTA DE ALCALA
38	RESERVAAS DE MILAN		BOSQUES DE CUBA
39	PORTAL DEL PARQUE		ALTAVISTA APARTAMENTOS
40	TERRAZAS DE VALHER		KANATA UNIDAD RESIDENCIAL
41	TENSHI		LA ITALIA
42	QUINTAS DEL BOSQUE		PORTAL DE CORALES
43	HANA URBANIZACION		RIVERA CAMPESTRE
44	LOS CEREZOS		UNIDAD RESIDENCIAL LA CORUÐA II
45	PORTAL DE VICTORIA		86_MIRADOR DE LLANO GRANDE APARTAMENTOS
46	PARQUE RESIDENCIAL SANTA BARBARA		CONJUNTO SAN FELIPE
47	JARDINES DE VALHER		BULEVAR DEL CAFE
48	TERRAZAS DEL MILAN		PORTOALEGRE
49	RIVIERA DEL LAGO		CONDOMINIO EL CHAQUIRO
50	PORTAL DE LA PRADERA		CAÐA VERDE
51	MONTEARROYO		PALMAS DE BELMONTE
52			QUINTAS DE COROZAL
53			VILLA SOL PARQUE RESIDENCIAL
54			MIRADOR DE LLANO GRANDE
55			QUINTAS DE LOS ROBLES
56			CORALINA
57			VILLAS DE SAN FERNANDO
58			ALAMEDA DEL CAFE
59			JARDINES DEL NOGAL