UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

METODOLOGÍA PARA LA DETECCIÓN DE HUECOS O BACHES EN VÍAS TERCIARIAS URBANAS A PARTIR DE IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL, USANDO TECNICAS DE GEOBIA Y LÓGICA DIFUSA.

JORGE ANDRES HERRERA MALDONADO
IVAN ANDRES FELIPE SERNA GALEANO

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Ingeniería, Ingeniería Catastral y Geodesia
Bogotá, Colombia
2017

METODOLOGÍA PARA LA DETECCIÓN DE HUECOS O BACHES EN VÍAS TERCIARIAS URBANAS A PARTIR DE IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL, USANDO TECNICAS DE GEOBIA Y LÓGICA DIFUSA.

JORGE ANDRES HERRERA MALDONADO
IVAN ANDRES FELIPE SERNA GALEANO

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Catastral y Geodesta

Director (a):

William Barragán Zaque

Línea de Investigación:

Imágenes de Alta resolución a partir de UAV (Procesamiento de Imágenes)

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Ingeniería, Ingeniería Catastral y Geodesia
Bogotá, Colombia
2017

La preocupación por el hombre y su destino siempre debe ser el interés primordial de todo esfuerzo técnico. Nunca olvides esto entre tus diagramas y ecuaciones.

Albert Einstein

Agradecimientos

Queremos agradecer inmensamente a nuestras familias por su apoyo incondicional en el proceso de formación como personas y profesionales. A nuestra bella alma mater por haber permitido hacer parte de su selecto grupo de alumnos y habernos dado las posibilidades para culminar este proyecto, de la misma manera a los docentes que nos acompañaron en este proceso formativo, corrigiéndonos y mejorándonos como profesionales en Ingeniería Catastral y Geodesia.

De manera especial queremos agradecer al docente Javier Espejo por su acompañamiento incondicional en este proyecto, de igual forma al docente William Barragán por la dirección del proyecto y a la empresa Datum Ingeniería S.A.S por dotarnos de una licencia Demo que permitió culminar este proyecto.

Resumen

Las aplicaciones generadas a partir de sensores remotos han aumentado de manera vertiginosa, esto debido a la velocidad de la tecnificación en este campo científico. Dentro de un contexto urbano es importante la generación de nuevas aplicaciones que permitan la solución de necesidades visibles para la sociedad común, es por esto que este proyecto tiene como objetivo la detección de baches de una calzada vial a partir de imágenes de alta resolución implementando metodologías orientadas a objetos (GEOBIA). El proyecto inicia con la captura de los datos en campo en donde se busca obtener un GSD de muy alta resolución, el cual permite la detección de objeto con alto detalle, esta información es procesada mediante la creación de un algoritmo, el cual segmenta y clasifica a partir de atributos de geométricos, temáticos, espectrales, y de lógica difusa. Estos generan como resultado una metodología que permite la detección de baches o huecos dentro de una zona vial.

Palabras clave: Lógica Difusa, Segmentación, Vías, Pavimento, Drones, UAV, GEOBIA.

Abstract

The applications generated from the remote sensors are growing up in an accelerated way, due to fast forward of technology in the field science. In the urban context is important the generation of new applications that allow the solution of visible needs for the society, that´s the reason why this project has as principal objective the detection of Potholes and Holes in a road using very high-resolution images implementing GEOIBA methodologies. The project begins with the dates capture direct in the city, this phase is looking for getting and very high GSD, that allows the object detection in detail. This information is processed through an algorithm, which segment and classify based on geometry attribute, thematic attribute, spectral attribute and Fuzzy Logic. Finally, the result of the process is a Methodology which allows detect potholes and holes in a road.

Keywords: Fuzzy Logic, Segmentation, Road, Pavement, Drones, UAV, GEOBIA.

Contenido

Pág.

1. Capítulo 1: Formulación del Problema de Investigación 15
1.1 Pregunta de investigación 15
1.2 Justificación 15
1.3 Objetivos 17
1.3.1 Objetivo General 17
1.3.2 Objetivos Específicos 17

2. Capítulo 2: Estado del Arte o Antecedentes 18

3. Capítulo 3: Marco Teórico 22
3.1 Drones (UAV) 22
3.2 Tipos de Drones 22
3.3 Aplicaciones de los Drones 23
3.3.1 Detección de objetos: 23
3.3.2 Seguimiento: 24
3.3.3 Vigilancia: 24
3.3.4 Navegación: 24
3.3.5 Prevención de desastres: 25
3.3.6 Exploración minera: 25
3.3.7 Agricultura de precisión: 26
3.3.8 Cuidado de especies: 26
3.3.9 Catastro: 27
3.3.10 Detección de vehículos y personas: 27
3.4 Pavimentos 27
3.4.1 Pavimento Flexible 28
3.4.2 Pavimento Rígido 29
3.4.3 Agentes de Deterioro del Pavimento 30
3.4.4 Tipos de Deterioro del Pavimento 31
3.4.5 Desintegraciones 33
3.5 Índice de condición de Pavimento 34
3.6 Clasificación Orientada a Objetos 35
3.6.1 Paradigma 35
3.6.2 OBIA 36
3.6.3 GEOIBA 36
3.7 Segmentación 38
3.7.1 Segmentación por tablero de ajedrez 38
3.7.2 Segmentación por contraste de filtros 39
3.7.3 Segmentación por árbol 40

3.7.4 Segmentación por multiresolución 40
3.8 Lógica Difusa: 41
3.8.1 Teoría de Lógica Clásica 41
3.8.2 Funciones lógicas de dos valores lógicos 43
3.8.3 Algebra Booleana 44
3.8.4 Aproximación al Razonamiento y Lógica Difusa 45

4. Capítulo: Metodología 51
4.1 Área de estudio 51
4.2 Materiales 52
4.2.1 Software utilizado 52
4.3 Planeación del vuelo 53
4.4 Captura de datos 54
4.5 Generación Ortofotomosaico ..... **¡Error! Marcador no definido.**
4.6 Incorporación atributo temático “Vía” 54
4.7 Algoritmo de Segmentación y Clasificación 56
4.7.1 PASO A PASO 58
4.8 Exportación datos estadísticos y Shape resultado de Clasificación 88
4.9 Generación mapeo a partir de resultados obtenidos ..... **¡Error! Marcador no definido.**

5. Capitulo: Resultados: 91

6. Evaluación 91

7. Discusión 92

8. Conclusiones y recomendaciones 98
8.1 Conclusiones 98
8.2 Recomendaciones 99

9. Bibliografía: 100

Lista de figuras

Pág.
Ilustración 1 Clasificación Aeronaves según su forma. Tomado de [8]. 23
Ilustración 2 Detección de Carbón a partir de detección en zonas de auto-combustión, tomado de[16]. 25
Ilustración 3 imagen multiespectral, Agricultura de precisión. Tomado de [16]. 26
Ilustración 4 elaboración de cartografía automatizada. Tomado de [12]. 27
Ilustración 5 Lógica de clasificación orientada a objetos Tomado de: [24] 35
Ilustración 6 Procedimiento GEOBIA Tomado de: [28] 37
Ilustración 7 Segmentación por Tablero de ajedrez, Tomado de[35]. 39
Ilustración 8 Segmentación por recuadros tipo árbol, Tomado de [19]. 40
Ilustración 9 Segmentación por Multiresolución, Tomado de [35]. 41
Ilustración 10 Algunos modificadores y su representación gráfica y matemática. Tomado de: [42] 48
Ilustración 11 Ubicación área de estudio. 52
Ilustración 12 Inclusión del Atributo Tematico 55
Ilustración 13 Ortofotomosaico y Atributo Temático 56
Ilustración 14 Árbol de Procesos, metodología aplicada 57
Ilustración 15 Proceso de segmentación 58
Ilustración 16 Parametrización Segmentación 59
Ilustración 17 Resultado Paso Uno 60
Ilustración 18 Paso 2: Clase Vía 60
Ilustración 19 Parametrización asignación de Clase Vía 61
Ilustración 20 Condición Threshold 62
Ilustración 21 Parametrización de las clases a partir de reglas de Lógica Difusa 62
Ilustración 22 Resultado Paso 2 63
Ilustración 23 Segmentación de la Clase Via 63
Ilustración 24 Parematrización de la segmentación de la clase vía 64
Ilustración 25 Vía Segementada 65
Ilustración 26 Parametrización de las segmentación por Diferencia Espectral 66
Ilustración 27 Segmentación por Diferencia Espectral 67
Ilustración 28 Creación de Clase Señal de Transito 68
Ilustración 29 Parametrización de la Clase Señal de Transito 69
Ilustración 30 Clase Señal de Transito 70
Ilustración 31 Clasificación de la Clase Señal de Transito 70
Ilustración 32 Condciones de Parametrización de la Clase Señal de Transito 71
Ilustración 33 Funciones Difusas de parametrizacion de a Clase Señal de Transito 72

Ilustración 34 Clasificación de las Señales de Transito 73
Ilustración 35 Clase Señal de Transito 74
Ilustración 36 Cración de la Clase Luminaria 74
Ilustración 37 Parametrización de la segmentación para la clase Luminaria 75
Ilustración 38 Segmentacón Luminaria 76
Ilustración 39 Segmentación de diferencia espectral para la clasificación de la Clase Luminaria 77
Ilustración 40 Segentación para la Clase Luminaria 78
Ilustración 41 Clasificación de la Clase Luminaria 79
Ilustración 42 Paraetrización Difusa para la Clase Luminaría 80
Ilustración 43 Clase Luminaria 81
Ilustración 44 Creación de la Clase Arbol 81
Ilustración 45 Clasificación de la Clase Arbol 82
Ilustración 46 Parametrización Difusa de la Clase Arbol 83
Ilustración 47 Clase Arbol 84
Ilustración 48 Creación de la Clase Bache 84
Ilustración 49 Clasificación de la Clase Bache 85
Ilustración 50 Parametrización Difusa de la Clase Bache 86
Ilustración 51 Funciones Difuas para la detección de la Clase Bache 87
Ilustración 52 Clase Bache 88
Ilustración 53 Creación de la Exportación 89
Ilustración 54 Parametrización de la Exportación 89
Ilustración 55 Selección de atributos para la exportación 90
Ilustración 56 Exportación de Las Clases 90
Ilustración 57 Esquema de Metodología para la determinación de Baches y/o huecos 91

Lista de tablas

Pág.
Tabla 1 Tabla de verdad para dos variables tomado de: [40] 42
Tabla 2 Funciones con dos Variables 44
Tabla 3 Operaciones Booleanas 45
Tabla 4 Propiedades Básicas Booleanas Tomado de: [41] 45

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Área	m^2	$\iint dx\, dy$

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
α_{BET}	Factor de superficie	$\frac{m^2}{g}$	$(w_{F,waf})(A_{BET})$

Superíndices

Superíndice	Término
n	Exponente, potencia

Abreviaturas

Abreviatura	Término
GIS	Sistema de Información Geográfica
GEOBIA	Análisis de imagen Basado en Objetos Geográficos
OBIA	Análisis de imagen Basado en Objetos

Introducción

La Clasificación Orientada a objetos es un proceso en el cual se realiza una estructuración de las imágenes en diferentes niveles de escala, construyendo así un procesamiento de análisis, estos objetos resultantes de dichos procesos son asociados por homogeneidad en diferentes tipos de variables que los caracterizan como su forma, tamaño, geometría, ubicación entre otros. El desarrollo del proceso mostrará como resultado un mapa de coberturas en el cual debido a la inclusión de más características y variables generará mayor precisión en los productos obtenidos y de la misma forma generando mejores soluciones para los objetos de estudio [1].

El presente documento tiene como objetivo dar a conocer la metodología desarrollada durante el proceso para detección de baches y huecos a partir de imágenes de sensores aerotransportados drones (uav), esto viendo la necesidad del mejoramiento de los métodos actuales de evaluación, en donde frecuentemente no se aprovechan las nuevas tecnologías para su implementación a la hora de resolver problemas, del mismo modo, la gran cantidad de vías locales en mal estado en las ciudades que manejan una gran cantidad de flujo vehicular hace necesaria la optimización de los procesos de evaluación del estado de la malla vial.

Dicho documento muestra una descripción del proceso en donde inicialmente se procede a la captura de información, luego se realiza el procesamiento adecuado o correspondiente a dicha información que servirá de insumo para el diseño de un algoritmo de automatización que genere las salidas finales. El trabajo de investigación pretende mostrar un desarrollo automático en la detección de baches y huecos, generando optimización en los procesos y enmascarando los errores en la evaluación de dicha calzada (bache).

1. Capítulo 1: Formulación del Problema de Investigación

1.1 Pregunta de investigación

La infraestructura vial es uno de los mayores activos de la nación, el tránsito, y las velocidades de acceso a las zonas deseadas por medio de las calzadas es uno de las preocupaciones de las ciudades. El flujo vehicular requiere una gran inversión pues se hace esencial el mantenimiento de las vías para mantener el orden de las ciudades, el flujo y la economía estable a la hora de movimiento de masas en horas pico. El mantener estas calzadas en un buen estado es una manera óptima de mantener un flujo vehicular constante, ya que los daños en las calzadas producen reducciones de velocidades que ocasionan tanto accidentes como trancones.

Los métodos de evaluación de las vías están hechos para ejecutarse en campo, lo que repercute que ocasiones halla reducciones en la velocidad de flujo vehicular, por esto, esté trabajo busca establecer si es *¿posible crear un método que determine la detección de baches y/o los huecos en vías de orden terciario en un entorno urbano, a partir de imágenes de alta resolución espacial utilizando la técnica de segmentación con multiresolución y métodos de clasificación avanzados orientados a objetos como lo es Lógica Difusa?*

1.2 Justificación

En el diario vivir es común encontrar en las calles de cualquier ciudad fisuras o calles agrietadas lo cual se debe al continuo deterioro de la estructura y la base asfáltica que compone la vía dentro de grandes ciudades, el número de calles o vías en mal estado es innumerable, adicionalmente el mal estado de las vías contribuye al tránsito lento en la ciudad, lo que hace de mayor dificultad el transporte dentro de ella y retrasa todas las actividades a desarrollar por los ciudadanos, también el mal estados de las vías contribuye a aspectos como la inseguridad, desvalorización de los inmuebles y disminuye el desarrollo social y económico de diferentes sectores sociales. Por lo cual es de motivación la ejecución de este proyecto investigativo con lo que se busca establecer si la vía contiene alguna región en mal estado que deba ser reparada de una manera masiva y rápida haciendo uso de algoritmos de segmentación e imágenes obtenidas por medios de drones o Vuelos Aerotransportados (uav).

Respecto a la pertinencia en el este proyecto investigativo, en los conocimientos del ingeniero catastral y geodesta se hacen fuertes herramientas como sensores remotos, fotogrametría análoga y digital, procesamiento digital de imágenes, sistemas de información geográfica, geodesias entro otras. Las cuales contribuyen de manera óptima y de manera multidisciplinar en el proceso a desarrollar, que busca generar un conocimiento investigativo con el cual se pueda solucionar problemas en la vida cotidiana de manera ingenieril para lo cual se ofrecen distintas alternativas que generen productos que solventen problemáticas sociales reales que puedan beneficiar a la comunidad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Detectar baches y/o huecos de una vía terciaria urbana a partir de vuelos aéreos no tripulados (UAV), utilizando métodos GEOBIA y Lógica Difusa sobre pavimentos flexibles.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Recolectar la información a partir de vuelos aéreos no tripulados (UAV)
- Procesar la información recolectada para la generación de un Ortofotomosaico.
- Implementar una metodología con procesos de GEOBIA para la identificación de características de tamaño, forma y homogeneidad que permitan determinar los baches y/o huecos en el pavimento.
- Realizar la clasificación de la segmentación a partir de técnicas de lógica difusa.
- Enmascarar las clases detectadas en las subclases: Vía, No Vía y Bache

2. Capítulo 2: Estado del Arte o Antecedentes

La infraestructura vial es uno de los mayores activos de la nación, y con ello, el mantenimiento de esta es de gran importancia para las ciudades que manejan gran flujo vehicular, en Bogotá Colombia la evaluación del estado de las vías se establece a partir de Índice de condición del pavimento ("Paviment Condition Index") [1], el cual permite la clasificación de la condición superficial de la estructura. Este índice se calcula a partir de la cantidad de daños que tiene la vía, es decir, se observan los agrietamientos, baches, parches etc.[2]. Así es como se hace hoy en día en Bogotá la medición, estas indican que las calzadas pertenecientes a la malla vial local son las más afectadas, un 55,55% de la malla se encuentra en mal estado, seguido de un 23,7 % en estado regular [2].

Las metodologías utilizadas para la medición del estado de las calzadas se hacen a nivel local, en Ecuador se hace uso de la metodología PAVER, una metodología de Estados Unidos que registra los daños a partir de formatos, en los que se registran un número definido de fallas dependiendo del tipo de pavimento y sobre el cual se hace la estimación del Índice de Condición del Pavimento. En Irlanda se hace uso del mismo como estimador del estado del pavimento, adicionalmente se establecen tres pasos útiles en manejo de las carreteras urbanas, el primero, es el registro e inventario de todas las carreteras, el segundo, las periódicas evaluaciones de las condiciones y finalmente, el uso de las evaluaciones para la priorización de proyectos y tratamientos adecuados, se establece que la evaluación de las vías es un prioridad para el desarrollo de la ciudad, además que representa una arteria importante para la consolidación del ordenamiento de la ciudad. Estas evaluaciones son recomendables cada dos años, e incluso si se realiza cada año sería mejor[3].

Como anteriormente se mencionó los países citados hacen uso del índice de condición de pavimento, y las prácticas de evaluación se realizan de manera de no remota con prácticas de campo, lo cual exige una gran cantidad de tiempo y

presupuesto. Por ello la actualización de las técnicas de evaluación es una manera de mejorar la eficiencia al momento de las dinámicas urbanas de transporte, para ello varias universidades e institutos han avanzado en la utilización de imágenes de alta resolución en la determinación de estos patrones, El centro nacional de sensores remotos en transporte de california utilizan imágenes espectrales para la creación de mapas urbanos de características e infraestructura vial. Ellos hacen uso de bandas de infrarrojo y visible para la determinación del pavimento[4]. En Brasil la determinación de estas variables ha sido experimentada a partir de imágenes tomadas por sensores aerotransportados, en donde la metodología y la cantidad de bandas consiste en una clasificación de súper objetos y una clasificación sobre él, han demostrado un 90% de efectividad a partir de la utilización de cámaras híper espectrales[5]. En Dakota se realiza el monitoreo de carreteras sin pavimentar con sensores remotos, estos utilizan vehículos UAV con una cámara calibrada, en donde a partir de restitución y modelamientos 3D clasifican e identifican los principales defectos de las carreteras como parámetros para la pavimentación de la carretera. La evaluación de carreteras a partir de UAV son sistemas de bajo costos, flexibles y fáciles de operar, los cuales obtienen la eficiencia necesaria para la evaluación, pero donde la recolección de datos es un punto a mejorar[6].

Dentro de la continua evolución de los procesos y su automatización de cada uno, se han encontrado distintas alternativas para lograr mejorar los proyectos y poder sacar mejores resultados de ello, en unos casos obteniendo mejores resultados y en otros casos disminuyendo los posibles peligros que podría representar diferentes casos a solucionar, el caso del desarrollo de los drones no ha sido ajeno a este tipo de estrategias pues si bien los drones inicialmente empezaron como un desarrollo operado remotamente por un usuario y de manera netamente visual o recreativa, en la actualidad el desarrollo de los drones ha aumentado el número de aplicación y por ende el desarrollo de objetivos.

Los drones según su utilidad han cambiado su diseño y características según los objetivos lo indiquen, también se ha cambiado su forma puesto que en algunas ocasiones se hace necesario que sea de gran tamaño y autonomía, como en otros casos se necesitará de menor tamaño y velocidad. Algunos sectores importantes en

el cual el uso de drones ha significado un cambio importante en el desarrollo de actividades son: en la detección de objetos, seguimiento, vigilancia, recolección de datos, planificación de rutas, navegación, prevención de colisiones, coordinación y monitoreo ambiental.

En el ámbito del análisis de imágenes las técnicas de clasificación OBIA y GEOBIA están en auge, la aplicación de GEOBIA comprende desde la agricultura hasta los recursos naturales, la defensa nacional y el cambio climático global. La implementación de algoritmos de inteligencia artificial para la detección de objetos, En gestión ambiental GEOBIA permite obtener mejores resultados en el análisis espacial, esta tecnología incrementa la gestión y genera una mejor precisión en la clasificación de elementos detonantes para el análisis [7].

Para el caso de OBIA se han hecho gran número de aportes a esta línea de investigación y en su mayoría se ha aprovechado en el área de las imágenes para lo que se ha generado una alta efectividad en sus desarrollos; por otro lado también en el área de la teledetección, [8] en donde se buscaba detectar las zonas de quebradas afectadas y así cuantificar el área de erosión. Otro caso de OBIA se puede evidenciar en [9] en donde con información de radar y de sensores ópticos lograron generar una clasificación de la cobertura vegetal para humedales brasileños y así obtener información valiosa que ayude a definir estrategias para la conservación de especies en el área de investigación, a su vez en [10] OBIA fue utilizado para la detección de humedales buscando su preservación y cuidado con ayuda de micro satélites. Algo similar ocurre en [11] en donde se busca detectar diferentes especies vegetales y analizar su efectividad, debido a la resolución utilizada solo se pudieron detectar especies de gran tamaño. Un caso interesante se puede evidenciar en [12] en donde la OBIA se utilizó para la predicción de un mapeo arqueológico, de esta manera se delimitaba de manera más efectiva y rápida las posibles áreas de estudio.

En cuanto a GEOBIA podemos obtener algunas aplicaciones similares estas a su vez con un componente geográfico más profundo, es el caso de [13] en donde se crea una metodología en ayuda de datos líder que incorporado con objetos geográficos permiten generar muestreos para determinar la altura de bosques del área de estudio.

Un caso similar ocurre en [14] donde se busca medir la textura de los bosques a partir de imágenes multiespectrales ikonos. Por otro lado se muestra en [15] una comparación entre el método de clasificación por objetos y el método de clasificación por pixel en donde se evidencia su gran atractivo por su alta efectividad pero a su vez se aclara cuán optimo es en imágenes de resoluciones altas o medias altas

3. Capítulo 3: Marco Teórico

3.1 Drones (UAV)

Los Drones (UAV) son vehículos aéreos no tripulados que son controlados desde una estación en suelo o mediante algoritmos autónomos de control, han existido múltiples características y diseños en los drones (uav) históricamente los vuelos no tripulados se dieron paso a partir de la segunda guerra mundial la cual estimuló el desarrollo y uso en Europa en lo que se buscaba garantizar una maquinaria armamentista sin perder vidas humanas o por lo menos reducir el número de bajas[16], en la actualidad ha surgido con progreso cada vez mayor la capacidad de generar un manejo autónomo de los drones, aun así para algunos casos como en el sector militar es necesario buscar que los drones sean controlado desde alguna base[17].

3.2 Tipos de Drones

Los drones debido a los diferentes tipos de usos que se han generado se han desarrollado distintas topologías las cuales hacen la diferencia en el momento de ejecutar la labor, dentro de su tipología se puede encontrar **UAS** O Aeronaves no tripuladas, **RPAS** Aeronaves tripuladas a distancia y las **AERONAVES AUTONOMAS**[16]**.** En cuanto a la clasificación de su morfología o forma de la aeronave se tiene una clasificación más específica pues esta consigue su sustentación en la atmosfera, una correcta clasificación lo muestra la ilustración 1 en la que se detalla de manera específica.

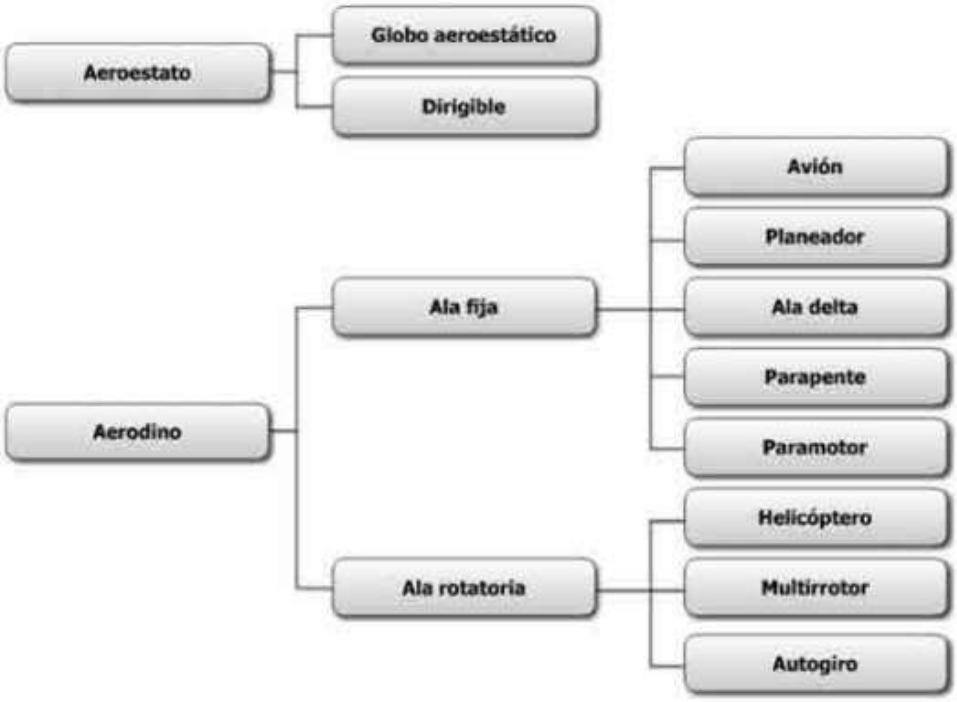


Ilustración 1 Clasificación Aeronaves según su forma. Tomado de [8].

3.3 Aplicaciones de los Drones

3.3.1 Detección de objetos:

Para la detección de objetos los drones (uav) cumplen la función de capturar información a partir de sensores como cámaras y radares, el procesamiento de las imágenes o información capturada genera un insumo de gran aprovechamiento que es tratada mediante algoritmos como señales y uso de la búsqueda bayesiana o también el algoritmo de localización el cual quiere generar múltiples filtrados de la información capturada. Al realizar el algoritmo éste busca los objetos de estudio dentro de la imagen o información capturada, el objetivo es localizado en regiones en el que se le estima la probabilidad de existencia dentro de su misma región generando paramentos de coincidencia y de esta manera establecer si el objetivo localizado es acertado o no[17].

3.3.2 **Seguimiento**:

El seguimiento es una aplicación relacionada con la detección de objetos y tiene que ver con este proceso, pues una vez localizado el objeto éste es rastreado por el dron (uav) y generando un seguimiento en algunas veces autónomo, la detección y el seguimiento en muchos casos puede ser planteado como una sola aplicación, aunque los procesos distintos, la geolocalización logra generar una posición en tiempo real del objetivo localizado y de esta manera trazar una ruta de seguimiento[17].

3.3.3 **Vigilancia**:

Los (uav) también son utilizados para la vigilancia en donde los drones son equipados con diferentes tipos de sensores que capturan de manera continua y es trasmitida de manera remota y en tiempo real a una base en tierra la cual la es procesada e interpretada, este tipo de aplicaciones son utilizadas para la vigilancia de oleoductos, zonas de reservas naturales y zonas de frontera entre países[17].

3.3.4 **Navegación**:

La navegación ha sido una aplicación que ha mejorado de manera amplia en el desarrollo de proyectos a partir de drones pues la navegación se ha apoyado con dispositivos de recepción de GPS estos dictan las coordenadas en las cuales se encuentra el dispositivo y con ayuda de algoritmos de ha podido generar rutas que son seguidas a través del sistema de navegación satelital, mejorando la aplicabilidad de los drones (uav)[17]

3.3.5 Prevención de desastres:

Para la prevención de desastres los drones (uav) son equipados con sensores que capturan información con probabilidad de riesgo o posible afectación que puedan generar colisiones y desastres, la información capturada es procesada por algoritmos que se encargan de detectar posibles obstáculos en el área seleccionada [17].

3.3.6 Exploración minera:

Otra Aplicación en la teledetección a partir de imágenes de alta resolución capturadas con drones (uav) es la prospección y explotación de recursos naturales a partir de la incorporación de sensores como magnetómetros, radiómetros[16] entre otros mediante ellos se estudia de manera atenta la información geofísica capturada y de esta manera poder detectar los posibles yacimientos. Así mismo mediante la incorporación de sensores térmicos se han adelantado determinación de zonas para exploración de carbón con la detección de zonas de auto combustión[16] como lo muestra la ilustración 2.

Ilustración 2 Detección de Carbón a partir de detección en zonas de auto-combustión, tomado de[16].

3.3.7 Agricultura de precisión:

En cuanto a la detección en imagen obtenidas a partir de drones (uav) se han generado algunas aplicaciones en el sector de la agricultura como en [18] en donde a partir de imágenes de alta resolución capturadas por sensores aerotransportados como drones (uav) se determinar la maleza que germina dentro del cultivo esto realizado con técnicas orientada a objetos, pues debido a la alta resolución y un correcto procedimiento se obtuvo un 95% de exactitud en el proceso elaborado, de lo cual también se pudo generar una cobertura con la maleza existente en el cultivo y de la misma manera cuantificar el área mostrado en la ilustración 3.

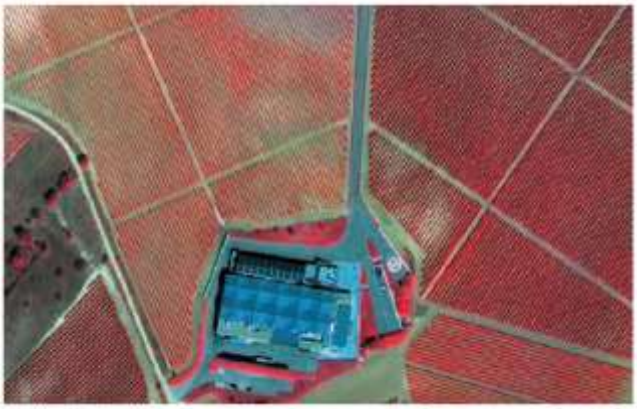


Ilustración 3 imagen multiespectral, Agricultura de precisión. Tomado de [16].

3.3.8 Cuidado de especies:

Una aplicación interesante se divulga en la investigación realizada en [19] en donde a partir de la captura y procesamiento de imágenes provenientes de (uav) se desarrolla un sistema de monitoreo automatizado el cual realiza una segmentación que busca ayudar a salvaguardar y observar los nidos de tortugas marinas, generando un sistema a bajo costo y de gran utilidad para manejar el tamaño de la población de esta especie.

3.3.9 Catastro:

Para un contexto cartográfico[20] muestra mediante algoritmos de multiresolución y segmentación orientada a objetos una aplicación, pues se detectan sectores catastrales y predios los cuales permiten generar una cartografía automatizada con destinación catastral como se evidencia en la ilustración 4, para de esta manera a partir de imágenes de alta resolución solventar necesidades y aumentar a la productividad en la generación del catastro.

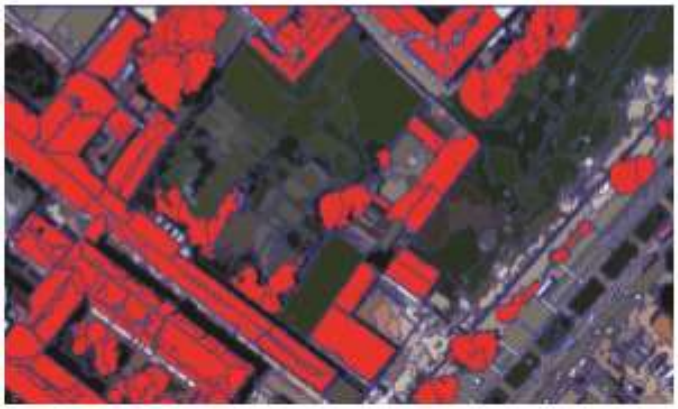


Ilustración 4 elaboración de cartografía automatizada. Tomado de [12].

3.3.10 Detección de vehículos y personas:

En la búsqueda de generar nuevos algoritmos que creen nuevas aplicaciones en [21] se encuentra una la cual por medio del diseño e implementación de un algoritmo de segmentación en imágenes detecta vehículos y personas.

3.4 Pavimentos

Con el fin de definir pavimentos, se observan diversos resultados, es esa cualquier cosa con la que se es pavimentada, un piso o un cubrimiento sólido, se hace de forma resistente y conveniente sobre una superficie para el desplazamiento de elementos, puede ser desde una carretera, andén hasta el piso decorativo de un

interior [1]. En el ámbito del estudio está orientado a definir los pavimentos desde el área ingenieril, exactamente a las vías, luego, se pude definir como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de las terracería y la superficie de rodamiento [2]. Al Pavimento se le asigna la función de generar una superficie de rodamiento uniforme [2], con propiedades como una superficie suave que permita un tránsito vehicular continuo en velocidades constantes, para una rodamiento estable la superficie debe tener una buena superficie de fricción, adicionalmente es un elemento impermeabilizado, lo que evita sobre saturación del suelo[1].

3.4.1 Pavimento Flexible

Los pavimentos flexibles son generalmente referidos como asfalto concreto (ACP) o a tratamiento Bituminosos (BST)[3], estos son construidos de fuertes capas cubiertas de materiales de gránulos naturales con uno o más capas impermeabilizarles de bituminosos (ver Anexo 1) [1], están compuesta estructuralmente por una que absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, las cargas sobre este tipo de pavimento se distribuyen hacia el inferior , por características de fricción y cohesión de los materiales, las capas base, sub-base, permiten el paso de la carga y las tensiones se dan sobre el sub-rasante [4]. El pavimento flexible utiliza en su primera capa material muy flexible, lo cual no le permite estar en caminos que presenten gran estrés vehicular, ya que le causara en áreas pequeñas niveles de estrés altos que permitirán el hundimiento del pavimento, y en áreas grades con niveles bajos, permitirá el uso de materiales débiles [1]. Este tipo de pavimento tiene una vida útil de 10 a 15 años, adicionalmente su construcción es económica, pero así como su vida útil tiene una gran ventaja, se requiere un gran mantenimiento para sostenerlo y al momento de un arreglo de esta capa no evita que vuelva a suceder[4].

3.4.2 Pavimento Rígido

Los pavimentos rígidos están compuestos por superficies PPC. Este tipo de pavimentos son más duros que los flexibles debido al alto módulo de elasticidad de los materiales PPC [1]. Estos pavimentos consisten en una losa de concreto hidráulica y pueden o no tener capa sub-base entre las losa y la subrasante (ver Anexo 2) [2]. Estos pavimentos pueden tener refuerzos de hierro, los cuales reducen o eliminan las uniones. El incremento de la rigidez en este concreto permite la creación de puentes entre capas débiles, tanto como el material de las capas puedan soportar, este no cargará mucho tiempo la fuerza del agua por el bombeo del rodamiento [1]. La rigidez distribuye las cargas verticales sobre un área grande y con presiones muy reducida[4].

Este tipo de pavimento sufre fallas estructurales si sus capas inferiores se deforman, por ellos estos pavimentos deben ser construidos con una capa sub-base, que evita la falla en los bordes de la losa, creando un sistema en el cual el espesor y la resistencia del hormigón están directamente relacionados con el soporte del sistema de cargas dado por el rodamiento[4]. Las ventajas de este pavimento son enormes, ya que disminuye los costos de iluminación hasta un 30% ya que la cantidad lumínica, y sus propiedades de reflectancia. Así mismo no se da ahuellamiento en este tipo de sistemas, lo que no permite la acumulación de agua, así mismo el hormigón también resiste las cargas pesadas, y tiene una vida útil de 30 años, la cual normalmente es sobrepasada, al igual que el cálculo de carga a resistir. La desventaja de este pavimento es el alto costo de inversión inicial, debido al gran trabajo que hay que hacer con su diseño[4].

3.4.3 Agentes de Deterioro del Pavimento

El deterioro del pavimento en su nivel estructural considerando agentes como el clima, el tráfico, los materiales utilizados y el proceso constrictivo, generan un consumo de estructura, estos agentes permitieron la clasificación de tipo de daño global[5], de la cual se hablará más adelante. Los principales agentes en la intervención están dados por**: El tráfico** que es el agente más influyente en la transformación del pavimento, debido a que ejerce una mayor interacción con el medio, este está definido en términos de la magnitud del tráfico, la frecuencia con la que pasan los vehículos y tráfico pesado. **La Humedad** es un elemento significativamente débil, pero que puede introducirse en la estructura del pavimento y generar así fallas en la el subsuelo, esta infiltración se da debido a que el pavimento puede tener hoyos o fisuras. La manera en el que falla es debido a la llegada al subsuelo y la iniciación de la acción capilar. Esto hace que entre en partículas de lubricación, pueda la partícula de conexión y por ende se da un desplazamiento en el pavimento. **El subsuelo**, es natural que con la trasformación de componentes, el subsuelo y la naturaleza reacciones, estas transformaciones van a afectar el pavimento, ya que este está como agente exógeno en el sistema. **La calidad constructiva** los materiales de la construcción son de gran importancia para su soporte, la calidad de ellos y la exactitud del trabajo están directamente relacionadas con la trasformación de un pavimento. Las condiciones de estrés necesitan componentes que la resistan, y para ello se es necesario tener una buena inspección y control de calidad. **El mantenimiento,** el que, cuando, como se mantenga será transformado; no importa que también esté construido el pavimento, el desgaste de este es natural. Un buen mantenimiento permite cumplir con las expectativas de vida de la construcción, pero si no se le hace este, los costos a largo plazo pueden ser mayores[1].

3.4.4 Tipos de Deterioro del Pavimento

Los deterioros y daños en los pavimentos, vienen acompañados de diversos factores, por ejemplo un sobre capa con exceso de asfalto o inadecuado fracturado de material puede que no tenga una adecuado enclavamiento[3]. También, el tipo de pavimento trae inherentes comportamientos diferentes en la pavimentación, por ello dependiendo del tipo de pavimento los daños serás clasificados y justificados de manera distinta. [4] De este modo los deteriores están clasificados dependiendo los agentes y causas que la provoquen [5] de la siguiente manera

3.4.4.1.1 Agrietamiento por Fatiga

Este está representado por una serie de grietas interconectadas creadas de manera pequeña e irregular en el pavimento [1]. Estas fisuras tienden a iniciar en el fondo de las capas asfálticas, donde las tracciones son mayores en la acción de carga, puede ser causas por una falla en la estructura del suelo, o una insuficiencia en el espesor de la estructura, así mismo como puede darse por movimiento del suelo, problemas de drenaje o sobre peso en la carga vehicular de la vía [3].

3.4.4.1.2 Agrietamiento Longitudinal

Son aquellos que siguen un curso aproximadamente paralelo a la línea centro, estos son causados principalmente por la naturaleza, o la carga de tráfico [22]. Hay que entender que el entendimiento de las causas es fundamental para la definición del reparo. El hallo de múltiples líneas de en la calzada, son señal deteriora miento[23].

3.4.4.1.3 Agrietamiento Transversal

Estos son los formados con los ángulos rectos, respecto a la línea central de la vía. Estos tienen las mismas causalidades que los agrietamientos longitudinales. Estos también pueden ser causados por la falta de compactación en la construcción[5]. Las bajas temperaturas al generar contracciones es otra causa de este tipo de agrietamiento[22].

3.4.4.1.4 Agrietamiento en Bloques

Este tipo de fallas es dividido en bloques de forma más o menos rectangular. Este deterioro difiere de la piel de cocodrilo en que este aparece en áreas sometidas a cargas, mientras que los bloques aparecen en áreas no cargadas. Este puede ser causado principalmente por la contracción de asfalto debido a la variación de temperatura durante el día, esto produce ciclos de esfuerzo, también puede ser causado por la combinación de cambio volumétrico del agregado fino de la mezcla asfáltica, como también por la baja capacidad del sustrato[23].

3.4.4.1.5 Agrietamientos Reflejados

Este tipo de grietas se dan cuando el pavimento esta sobrepuesto con concreto asfaltico caliente y el agrietamiento sube a la superficie, a esto se le da ese nombre, ya que refleja las grietas dadas desde la estructura. Este fallo debe ser reparado antes de cualquier parcheo o recubrimiento sobre la zona [5]. Estos danos son causados generalmente por el movimiento dado entre las placas del pavimento, también como por los cambio de temperatura y humedad[23].

3.4.4.1.6 Agrietamiento en Borde

Son grietas con tendencia de longitudinal a semicircular ubicadas cerca del borde de la calzada, se presentan generalmente por la ausencia de berma o por a diferencia de nivel de la berma[1] y la calzada. Las causas de este tipo de grietas están dado por la falta de confinado lateral de la estructura, también a que el ancho de berma es insuficiente o que la sobre carpeta que llegan hasta el borde del carril es insuficiente y quedan en nivel de la berma[23].

3.4.5 Desintegraciones

3.4.5.1.1 Bache

Es un hueco cóncavo, que es formado debido a fallas progresivas, la primera es por la fragmentación de la capa superficial. Otra razón es que al pasar el tiempo las el agotamiento de la vía avanzará hacia abajo, estos están localizados generalmente en zonas d poco drenaje, y son causados por la carga de tráfico, ya que hay una sobre carga en una de las capaz, acompañado de presencia de agua. Estos se reparan por medio de excavación y relleno, hay que hacer una reconstrucción en caso que sea un bache con tamaño considerable[5].

3.4.5.1.2 Parche

Estos son definidos como una porción del pavimento que ha sido removida y remplazada, estos son normalmente usados para repasar defectos de un pavimento. Los danos en los parches están

[1]Según la Real Academia Española Berma se define como
“Espacio al pie de la muralla y declive exterior del terraplén, que servíapara que la tie rra y las piedras que se desprendían de ella al batirla el enemigo, sedetuviesen y no cayeran dentro del foso. "

relacionado al daño del pavimento alrededor[5]. Estos parches se hacen para reparar la estructura o para permite la instalación o reparación de alguna red de servicios[23].

3.5 Índice de condición de Pavimento

Este índice mide la condición de la superficie de una red vial. La cual utiliza una clasificación numérica en escala de cero a cien, siendo cien el valor más óptimo de la condición de una calzada dentro de una red vial[3].

Esta medida tiene en cuenta dos condiciones, una es el tipo, extensión, dureza de la superficie de pavimento y como segundo punto tiene en cuenta la ondulación y textura del pavimento[3].

Este índice se basa en un método subjetivo de evaluación el cual involucra inspección y observación, la ejecución de este método no es un ejercicio ni extenso ni complejo. Es un método sistemático, las observaciones están en una base de datos para la evaluación y uso. Este índice nos muestra la precisión de las condiciones viales y así mismo el grado de deterioro de la red en su momento de inspección[3].

Los beneficios que trae este índice es la identificación inmediata de mantenimiento y rehabilitaciones necesarias, el monitoreo de las condiciones del pavimento en el tiempo y el desarrollo de las red de estrategias preventivas para a conservación, desarrollo de presupuestos para el mantenimiento y la evaluación de los materiales del pavimento y su diseño[3]. Para el cálculo del índice de las condiciones de pavimento se determina la siguiente expresión:

$$PCI_s = \frac{[(N - A) \times PCI_R] + (A \times PCI_A)}{N}$$

Donde:

PCI_s: PCI de la sección del pavimento.

PCI_R: PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

PCI_A: PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

N: Número total de un

Unidades de muestreo en la sección.

A: Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

3.6 Clasificación Orientada a Objetos

3.6.1 Paradigma

La clasificación orientada a objetos va en contravía a la orientación por pixel, ya que esta incluye los parámetros de color y forma para la definición de grupos homogéneos de pixel. Este segmento puede crear clases de objeto a partir de relaciones entre objetos o configuraciones semánticas con segmentos vecinos en relación [24] el proceso se puede evidenciar mejor en la ilustración 5.

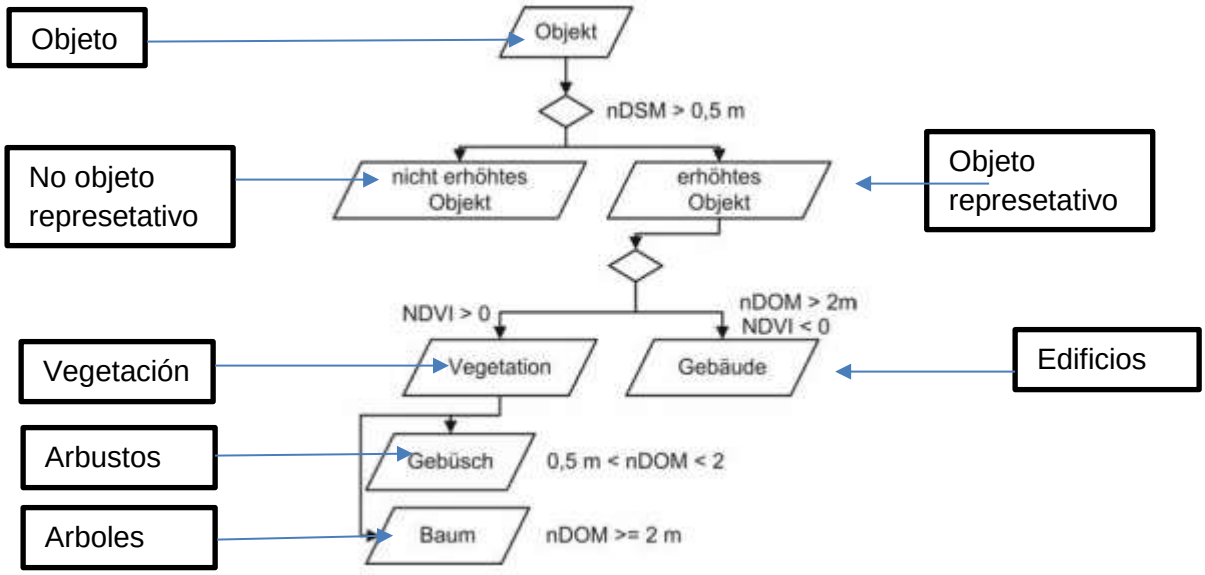


Ilustración 5 Lógica de clasificación orientada a objetos Tomado de: [24]

La diferencia entre la clasificación orientaba a objetos y la clasificación por pixel se puede definir de dos aspectos: Unidades de clasificación y características de clasificación. Por un lado, el enfoque basado en objetos tiene ventajas sobre el basado en pixel en la reducción de la variación de las clases, es decir al orientarse a objetos, las diferencias entre clases se reducen, produciendo así una reducción en las variaciones en la asignación de clases. El otro argumento se basa en la caracterización de los objetos, esto ya que la clasificación orientada a objetos clasifica con diferentes variables como textura, color, forma, contexto y esto potencializa la precisión de la clasificación[25].

3.6.2 OBIA

El análisis de imágenes basados en objetos (OBIA) es una disciplina de las geo ciencias dedicada a dividir imágenes obtenidas remotamente en objetos proceso llamado segmentación, para posteriormente evaluar sus características con el fin de generar una clasificación [26]. El proceso de segmentación empieza por un reconocimiento inicial de cada pixel en la imagen como un segmento. Estos pixeles son unidos eficientemente dentro de un segmento mayor usando procesos de agrupamiento por parejas. El algoritmo en OBIA usa tres parámetros: Escala, Forma y compacidad. El parámetro de escala determina el tamaño de los segmentos generados y en donde la forma y la compacidad son usados para la determinación de la forma de los segmentos[26].

En las herramientas de OBIA los procesos de segmentación y clasificación son aun procesos interactivos y muchas interacciones son requeridas para lograr los bordes finales. En algunos casos si el desarrollo se automatiza a un 100%, los procesos tendrán que requerir algún tipo de edición, debido a la imprecisión del mismo[27].

Para la determinación de los parámetros, normalmente se utiliza la técnica de prueba y error, estas combinaciones solo funcionan en una imagen, las combinaciones son únicas para cada imagen. En OBIA cada objeto hace parte de un “Súper-Objeto”, obtenido por combinaciones de objetos vecinos dentro de uno solo y así mismo cada parte de un objeto se denomina sub-objeto. En general OBIA incrementa la precisión y el detalle para los propósitos de las clasificaciones [28].

3.6.3 GEOIBA

El análisis geográfico ha surgido desde los años noventa como un método particularmente eficaz para el análisis de imágenes de alta resolución espacial y muy alta resolución espacial[29]. Dentro del desarrollo de la clasificación espacial se tenían muchos inconvenientes especialmente en las imágenes de alta resolución espacial pues se tiende a tener una alta variación espectral, lo que hacía incurrir en muchas ocasiones el error en la clasificación, estas ocasiones pueden ser abordadas desde agrupaciones contiguas de pixeles con criterios de segmentación y características de forma, textura y compacidad[29] lo que hace aumentar la efectividad en la clasificación a ejecutar. Hasta el momento la GEOBIA es definida como la aplicación de OBIA en imágenes geográficas, este término nación ya que las técnicas de OBIA no eran aplicables sobre imágenes de sensores remotos, debido a[25]:

1. Los sensores remotos ofrecen datos no solo de longitudes de ondas, este también está dividido en bandas y a diferentes resoluciones, esto hace más complejo el proceso de análisis.

2. Otro tipo de datos como una base de datos geoespacial y buenos datos de elevación han sido incluidos en los últimos desarrollos tecnológicas, de modo que esto permite mayor información en las imágenes.
3. Los objetos en las imágenes de sensores remotos son heterogéneos
4. Debido a lo anterior los modelos de interpretación se hacen más complejos en su implementación
5. Una alta precisión deseada en las clasificaciones de imágenes de alta resolución.

En GEOBIA el sufijo GEO hace referencia a la interpretación geográfica, esta se nota en la separación de objetos mientras que en OBIA la separación se hace a partir de características similares, en GEOBIA la característica tiene una componente geográfica, temporal y su posición tiene mucha relación con el tipo de objeto a interpretar o ser[27].

GEOBIA puede definirse en conclusión como una sub-disciplina de las ciencias de la información geográficas (GIScience) dedicada a desarrollar métodos automáticos para la partición de imágenes de sensores remotos dentro de objetos representativo, y evaluando estas caracterizaciones en las componentes espaciales, espectrales y temporales, para así generar nueva información geográfica[30].

GEOBIA sigue el siguiente diagrama de flujo donde el pre-procesamiento viene en primera instancia y es donde se generan las regiones homogéneas en las imágenes, así mismo la segmentación en donde se agrupan estos segmentos y crean objetos geográficos y los deja listos para la clasificación, en este los segmentos toman una característica de objeto por el análisis y se le hace la asignación de una clase[29], como se evidencia en la ilustración 6.

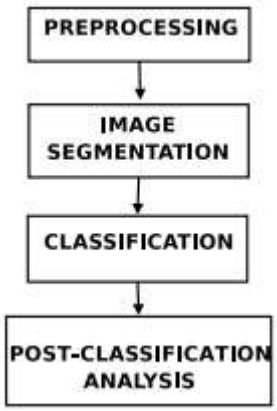


Ilustración 6 Procedimiento GEOBIA Tomado de: [28]

3.7 Segmentación

La segmentación es el proceso de discriminar objetos y características de otros objetos [31]pertenecientes a la misma imagen esta separación ocurre por características como homogeneidad de pixeles con los cuales se identifica el mejor recorrido que establezca o encierre el objeto en donde se debe tener en cuenta aspectos como la varianza y el comportamiento espectral, la segmentación es utilizada en temas de planificación urbana, prevención de desastres, seguridad y vigilancia[31] puesto que requieren una alta efectividad y así los resultados que se obtengan serán confiables. La segmentación de una imagen consiste en la partición, la cual normalmente se utiliza para reconocer objetos es adecuada en procesos de teledetección específicamente en imágenes de alta resolución[32] esto debido a que las imágenes de alta resolución contienen mayor información de los objetos como características y texturas. A diferencia de la clasificación convencional por pixel en la segmentación por objeto se busca eliminar el ruido atribuyéndoles más características a las regiones encerradas, para la ejecución de la segmentación se es necesario la utilización de algoritmos que realizan subdivisiones de la imagen entera al nivel del pixel[20] los cuales también presentan objetos de imagen entre los cuales encontramos algoritmos como tablero de ajedrez y la segmentación por arboles cuadrángulos y otros de mayor complejidad como multiresolución y contraste de filtros[20], en comparación con la teledetección con baja resolución las imágenes de alta resolución son capaces de obtener mejores características para su captura de información, aunque así mismo se presentan nuevos retos no contemplados anteriormente como la variabilidad espectral ocasionada por sombras[33].

3.7.1 Segmentación por tablero de ajedrez

Busca dividir la imagen en objetos cuadrados con un tamaño que el usuario predefine, esta segmentación no cuenta con datos subyacentes y es así que cuando se crean objetos de gran tamaño las características que se

encuentran de los cuadrados no son delineadas las cuales se busca clasificar con este tipo de segmentación se busca complementar procesos más avanzados en donde se combinan varias etapas de la clasificación[34], un ejemplo de este método se puede observar en la ilustración 7.

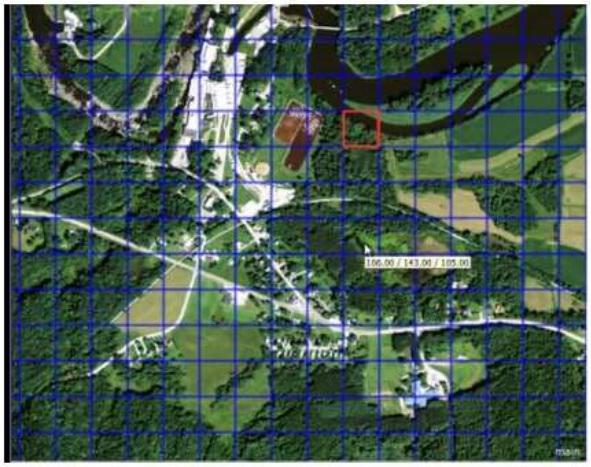


Ilustración 7 Segmentación por Tablero de ajedrez, Tomado de[35].

3.7.2 Segmentación por contraste de filtros

Este tipo de segmentación se encarga de combinar dos filtros por pixel para de esta manera crear una capa temática con valores con lo cual se obtienen objetos con filtro 1, objetos con filtro 2, objetos con ambas capas y objetos con ninguna capa finalmente esta segmentación utiliza segmentación tablero de ajedrez como parámetro en donde también hay que incluir otros parámetros como capa, escala y umbral inferior y superior, este tipo de segmentación permite definir parámetros de forma para controlar los objetos de la imagen de estudio[34].

3.7.3 Segmentación por árbol

La segmentación por cuadro de árbol trata a toda la imagen como un nodo del cual se desprenden cuadros en forma de raíz generando subregiones dentro de la imagen, estas subregiones de forma cuadrada o rectangular se establecen de acuerdo a diferentes criterios de división[32], un primer criterio es la desviación estándar en la cual este valor estadístico permite medir la dispersión en una secuencia aleatoria[32] y en el cual se pretende asociar los valores similares en regiones rectangulares contiguas, un ejemplo de segmentación lo muestra la figura8 en donde se muestra la agrupación de pixeles en forma de árbol.

Ilustración 8 Segmentación por recuadros tipo árbol, Tomado de [19].

3.7.4 Segmentación por multiresolución

Este método es utilizado en imágenes de alta resolución e involucra parámetro de homogeneidad o diferenciación entre regiones vecinas[36], se caracteriza por minimizar la heterogeneidad media de los objetos que la imagen contiene[20], adicionalmente fusiona consecutivamente pixeles u objetos existentes, también se le denomina segmentación de abajo hacia arriba pues es determinada en forma de parejas[20] de lo cual se busca dividir la imagen en regiones y a su vez en subdivisiones buscando la obtención de objetos que se clasifiquen según su similitud[37], para lo cual se tiene

presentes unas reglas como son. 1) el archivo de entrada busca similitudes entre vecinos para poder realizar una fusión, 2) si el ajuste no es el más óptimo se considera un nuevo archivo de entrada o de inicio, 3) el objeto de la imagen busca encontrar su similitud más apropiada 4) si existe similitud entre pixeles y este tiene buen ajuste el objeto se fusiona, 5) en cada ciclo el objeto de imagen en su nivel se maneja solo una vez y el ciclo continua hasta que no se pueda generar más fusión[20], en la segmentación por multiresolución intervienen parámetros como la escala, pues esta determina los posibles cambios de heterogeneidad causados por la fusión, también interviene la forma en donde se incluyen la compacidad y la suavidad que son dos características geométricas[35] la suavidad describe la similitud entre bordes de objetos y la compacidad describe la cercanía entre pixeles agrupados entre objetos[35], un ejemplo de esta segmentación se evidencia en la ilustración 9.

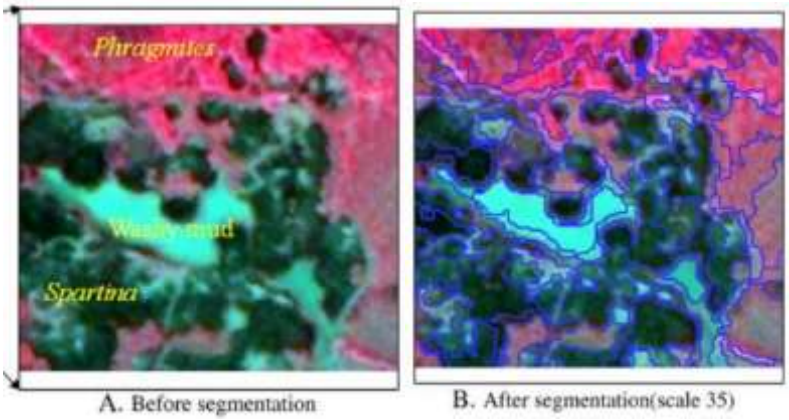


Ilustración 9 Segmentación por Multiresolución, Tomado de [35].

~~3.9~~3.8 Lógica Difusa:

~~3.9.1~~3.8.1 Teoría de Lógica Clásica

La lógica se define como el estudio de los métodos y principios del razonamiento en todas las formas posibles. Las lógicas clásicas han estado siempre orientadas a la lógica booleana de verdadero o falso. Estas lógicas de basan bajo el supuesto que toda afirmación tiene su opuesto al cual llamamos negación. Una parte del estudio de

la lógica trata de la combinación de variables que significan proposiciones arbitrarias. Las variables aleatorias son usualmente llamadas lógicas variables, estas lógicas se basan en posiciones hipotéticas y esto permite asumir además de dos valores verdaderos[38].

-Asumiendo que n variables logicas $v_1, v_2, v_3, v_4, \dots, v_n$ son dados. Así una nueva logica de variables puede ser definida por nuevos valores verdaderos, a estas funciones se les llama funciones lógicas. Con n variables lógicas se pueden asumir 2^n valores verdaderos prospectivos. Siendo asi se encuentran 2^{2^n} de funciones para las variables[39].

Para dar un ejemplo claro de la lógica clásica se supone una cerradura, esta se explica bajo la función[40], que se observa en la Tabla1:

$$L = \begin{cases} 1 & si\ la\ cerradura\ no\ está\ bloqueada \\ 0 & si\ la\ cerradura\ está\ bloqueada \end{cases}$$

Inputs			Outputs
L	*S*	*P*	*P*
0	0	0	0
0	0	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Tabla 1 Tabla de verdad para dos variables tomado de: [40]

Los dígitos = y ¡ representan los posibles status de la lógica, L,S y P son las funciones lógicas, las cuales asumen solo valores 0 o 1[40].

Después que la lógica de variables y funciones son descubiertas, se establece tablas de verdad con relaciones y posibilidades de salida en cada relación, esta tabla relaciona los dos valores lógico específicos para un problema en partículas, por ejemplo en la consola se establece que para la función inicial el valor de 1 es que la cerradura esta desbloqueada, sin embargo para el valor de 0 la cerradura está bloqueada[40] . Del mismo modo se crean otras funciones para la determinación de la salida del modo que:

S el status Del Switch:

$$S = \begin{cases} 1 & si\ el\ Switch\ está\ en\ ON \\ 0 & si\ el\ Switch\ está\ en\ OFF \end{cases}$$

P status Del proceso:

$$P = \begin{cases} 1 & si\ el\ proceso\ está\ corriendo \\ 0 & si\ el\ proceso\ está\ apagado \end{cases}$$

Siendo así en este ejemplo se puede evidencias la lógica clásica que consiste en dos entradas, un conjunto de reglas y dos salidas. Estas serán tomadas también en lógica difusa en una misma estructura excepto que en esta las entradas y las salidas son n- valores, con $n \geq 2$

~~3.9.2~~3.8.2 Funciones lógicas de dos valores lógicos

Dados n valores lógicas $x_1 \dots \dots \dots, x_n$. Dadas esas variables el análisis de dos variables lógicas nos indicas que se pueden generar 2^n combinaciones diferentes de valores verdaderos y 2^{2^n} combinaciones de funciones lógicas. En la Tabla 2 se puede evidencia que el número de funciones lógicas crece exponencialmente con el crecimiento de la variable n. Además, se deduce que as funciones son deducidas desde las lógicas de las tres funciones primarias de la lógica clásica:

- Negación, Y función, Y/O función
- Negación y dos implicaciones

x_1 / x_2	1 0 1 0 / 1 1 0 0	Name of Function	Symbol
y_1	0 0 0 0	zero function	0
y_2	0 0 0 1	nor (not-or) function	$x_1 \veebar x_2$
y_3	0 0 1 0	proper inequality	$x_1 \leftarrow x_2$
y_4	0 0 1 1	negation	$\bar{x}_2$
y_5	0 1 0 0	proper inequality	$x_1 \rightarrow x_2$
y_6	0 1 0 1	negation	$\bar{x}_1$
y_7	0 1 1 0	nonequivalence	$x_1 \not\Leftrightarrow x_2$
y_8	0 1 1 1	nand (not-and) function	$x_1 \barwedge x_2$
y_9	1 0 0 0	and function	$x_1 \wedge x_2$
y_{10}	1 0 0 1	equivalence	$x_1 \Leftrightarrow x_2$
y_{11}	1 0 1 0	identity	x_1
y_{12}	1 0 1 1	implication	$x_1 \Leftarrow x_2$
y_{13}	1 1 0 0	identity	x_2
y_{14}	1 1 0 1	implication	$x_1 \Rightarrow x_2$
y_{15}	1 1 1 0	or function	$x_1 \vee x_2$
y_{16}	1 1 1 1	unity	1

Tabla 2 Funciones con dos Variables

~~3.9.3~~3.8.3 Algebra Booleana

- **Operaciones Básicas**

George Boole, matemático ingles de los 90's definió tres operaciones básicas en la lógica Booleana: *Negación* ¬, *AND* ∧, y *OR* ∨. Para las operaciones básicas de resta -, producto *, y suma +, tal como se observa en la Tabla 3.

Nombre	Símbolo	Ejemplo	Significado
AND	*	a*b	Tanto a como b deben ser verdaderas para que la formula sea verdadera
OR	+	a+b	Si a o b o ambas son verdaderas entonces la fórmula es verdadera

NOT	-	$a\bar{a}$	Si a es verdadera entonces la fórmula es falsa, si a es falsa la fórmula es verdadera.

Tabla 3 Operaciones Booleanas

- **Propiedades Básicas**

Las propiedades del algebra booleana se pueden resumir en la Tabla 4 en donde se establecen las principales propiedades y teoremas que cumplen el álgebra booleana.

PROPIEDADES	Conmutativa	$x+y = y+x$	$x \cdot y = y \cdot x$
	Elemento neutro	$0+x = x$	$1 \cdot x = x$
	Distributiva	$x \cdot (y+z) = (x \cdot y)+(y \cdot z)$	$x+(y \cdot z) = (x+y)(x+z)$
	Asociativa	$x \cdot (y \cdot z) = (x \cdot y) \cdot z$	$x+(y+z) = (x+y)+z$
	Complementario	$x+\bar{x} = 1$	$x \cdot \bar{x} = 0$
TEOREMAS	Idempotencia	$x+x = x$	$x \cdot x = x$
	Identidad	$x+1 = 1$	$x \cdot 0 = 0$
	Absorción	$x+x \cdot y = x$	$x \cdot (x+y) = x$
	DeMorgan	$\overline{(x+y)} = \bar{x} \cdot \bar{y}$	$\overline{(x \cdot y)} = \bar{x} + \bar{y}$

Tabla 4 Propiedades Básicas Booleanas Tomado de: [41]

Otras propiedades de las cuales hace caso el álgebra booleana es:

- **PRINCIPIO DE DUALIDAD:** cualquier teorema o identidad algebraica deducible de los postulados anteriores puede transformarse en un segundo teorema o identidad válida sin más que intercambiar (+) por (·) y 1 por 0.

- **CONSTANTE**: cualquier elemento del conjunto B

- **VARIABLE**: símbolo que representa un elemento arbitrario del álgebra, ya sea constante o fórmula completa.

~~3.9.4~~3.8.4 Aproximación al Razonamiento y Lógica Difusa

La lógica difusa es una extensión de la lógica booleana por Lotfi Zadeh en 1965, basada en la teoría matemática de conjuntos difusos, los cuales son una generalización de la teoría de conjuntos clásica. A diferencia de las lógicas booleanas, lógica difusa provee gran flexibilidad con el razonamiento, el cual crea la posibilidad de tomar en cuenta imprecisiones e incertidumbres[40].

Una ventaja de las lógicas difusas en la formalización del razonamiento humano es que las reglas son establecidas en lenguaje natural[40].

~~3.9.4.1.1~~3.8.4.1.1 Conjuntos Difusos:

La lógica difusa está basada en la teoría de conjuntos dispersos, estos son una generalización de la teoría clásica de conjuntos. Esto indica que la teoría clásica de conjuntos es un subconjunto de la teoría de conjuntos difusos [38]. Un conjunto difuso puede definirse como una clase en la que hay una progresión gradual desde la pertenencia al conjunto hasta la no pertenencia; o visto de otra forma, en la que un objeto puede tener un grado de pertenencia definido entre la pertenencia total (valor uno) o no pertenencia (valor cero). Desde esta perspectiva, los conjuntos convencionales (o conjuntos crisp) pueden verse como un caso particular de conjuntos difusos; un conjunto difuso que sólo admite dos grados de pertenencia (uno y cero)[42].

Sea X el Universo del discurso, y sus elementos se denotan como x. En la teoría clásica de conjuntos crisp se define un conjunto C se define sobre X mediante la función característica de C como[42]:

$$FC(x)\begin{cases} 1 \text{ cuando x } \in \text{ C} \\ 0 \text{ cuando x } \notin \text{ C} \end{cases}$$

Este conjunto mapea el conjunto X en un conjunto de dos elementos, donde la función fC (x) es 1 si el elemento x pertenece al conjunto C y 0 si el elemento x no pertenece al conjunto C. Dentro de la lógica de funciones difusas tendremos una función de pertenencia de un determinado conjunto difuso. La función de pertenencia μA por la que se define un conjunto difuso A, sería:

$$\mu A = X \rightarrow [0, 1]$$

Donde μA(x) = 1 si x está totalmente en A, μA(x) = 0 si x no está en A y 0 < μA(x) < 1 si x está parcialmente en A. Este valor entre 0 y 1 representa el grado de pertenencia (también llamado valor de pertenencia de un elemento x a un conjunto A. Así, el intervalo de la ecuación anterior es de números reales e incluye los extremos. Aunque [0, 1] es el rango de valores más utilizado para representar funciones de pertenencia,

cualquier conjunto arbitrario con alguna ordenación total o parcial podría ser utilizado[42].

~~3.9.4.1.2~~3.8.4.1.2 Variables Lingüísticas

Una variable lingüística es aquella cuyos valores son palabras o sentencias en un lenguaje natural o artificial. De esta forma, una variable lingüística sirve para representar cualquier elemento que sea demasiado complejo, o del cual no tengamos una definición concreta; es decir, lo que no podemos describir en términos numéricos [42]. Así, una variable lingüística está caracterizada por una quíntupla

(X, T(X), U, G, M)

- ✓ X es el nombre de la variable.
- ✓ T(X) es el conjunto de términos de X; es decir, la colección de sus valores lingüísticos (o etiquetas lingüísticas).
- ✓ U es el universo del discurso (o dominio subyacente).
- ✓ G es una gramática libre de contexto mediante la que se generan los términos en T(X), como podrían ser" muy alto", "no muy bajo", ...
- ✓ M es una regla semántica que asocia a cada valor lingüístico de X su significado M(X) (M(X) denota un subconjunto difuso en U).

Los símbolos terminales de las gramáticas incluyen:

- ✓ Términos primarios:"bajo","alto",...
- ✓ Modificadores:"Muy","más","menos","cerca de",...
- ✓ Conectores lógicos: Normalmente NOT, AND y OR.

Se definen los conjuntos difusos de los términos primarios y, a partir de éstos, se calculan los conjuntos difusos de los términos compuestos (por ejemplo, con "muy" y "alto" construimos el término compuesto "muy alto"). Una etiqueta lingüística se forma como una sucesión de los símbolos terminales de la gramática: "Muy alto, no muy bajo...". Un uso habitual de las variables lingüísticas es en reglas difusas [42], esto se puede observar mejor en la ilustración 10.

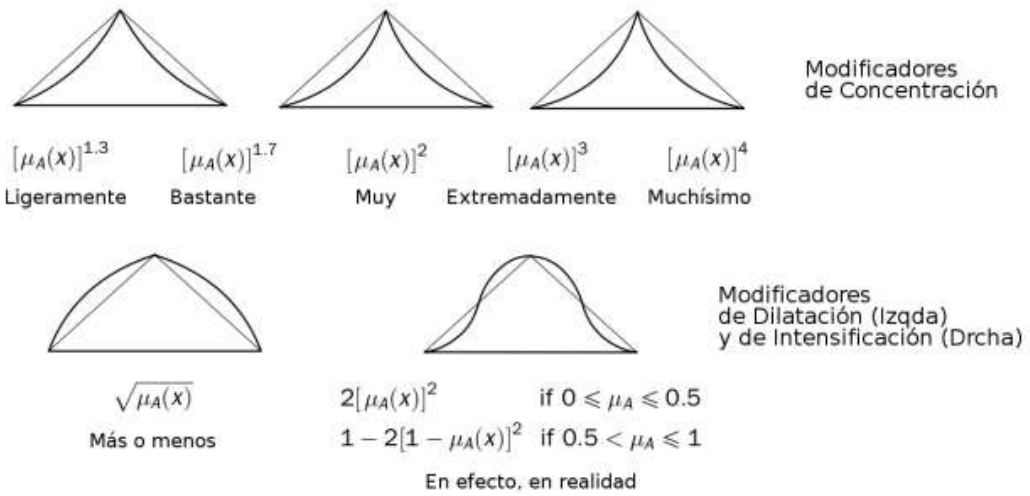


Ilustración 10 Algunos modificadores y su representación gráfica y matemática. Tomado de: [42]

~~3.9.4.1.3~~3.8.4.1.3 Razonamiento Aproximado:

- **Reglas Difusas**

El razonamiento aproximado se utiliza para representar y razonar con conocimiento expresado en forma de primitivas atómicas, enunciadas en lenguaje natural[42].

La transformación de esta expresión en lenguaje natural, en términos de variables lingüísticas se realiza como se indica a continuación:

- ✓ Se selecciona un símbolo V para representar la variable física “velocidad”.
- ✓ Se elige un símbolo P G para representar el valor particular “positivo grande” de la variable física “velocidad”.
- ✓ La expresión en lenguaje natural pasa a ser V es P G A

Este tipo de expresión se le denomina proposición atómica difusa. La interpretación de la expresión atómica anterior viene dada por la pertenencia de la variable física velocidad V al conjunto difuso P G, es decir µP G (v), donde v denota un valor arbitrario del universo del discurso U. Esta interpretación determina el grado en que la expresión es satisfecha dado un valor específico de la variable V. Usando este concepto de proposición difusa y conectores lingüísticos con “y”, “o” y “no” es posible componer proposiciones difusas más complejas “A es X y B es Y”, “A es no X”, etc... El significado

de estas proposiciones difusas compuestas viene dado por la interpretación de los conectores lingüísticos. Esta interpretación se hace en base a las operaciones de intersección, unión y complemento que, como se vio anteriormente, se realiza mediante T-normas, T-conormas y el operador complemento elegido. Hay que tener en cuenta que, el grado de satisfacción de una expresión constituye un conjunto difuso y, por tanto, estos conectores deben interpretarse mediante operadores de conjuntos difusos[42].

Una regla difusa (regla de producción difusa if-then) es expresada simbólicamente como:

$$\text{IF proposición difusa THEN proposición difusa}$$

Donde puede ser una proposición difusa atómica o compuesta[42].

4. Capítulo: Metodología

4.1 Área de estudio

Para el desarrollo del proyecto se buscó escoger áreas en las cuales se pudiera capturar de manera óptima los baches o huecos dentro de la vía local, para lo cual fue elegido como sitio de estudio el barrio Gran Américas perteneciente a la UPZ de Quinta Paredes - Localidad numero 13 (Teusaquillo). Este barrio limita con la avenida NQS al sur oriente, limita con la calle 26 al Nororiente y con la Avenida Américas en el Suroccidente y al Noroccidente con Corderías su topografía es plana y su tránsito es alto, se caracteriza por ser un barrio mayormente residencial de propiedad horizontal (PH). Sin embargo, sus posiciones estratégicas hacen que sea una zona muy comercial. Este barrio fue seleccionado debido a que presenta una combinación en sus vías locales las cuales se podía observar zonas viales en buen estado y zonas viales en mal estado con baches y reparcheos, lo cual hacia que fuera un punto clave para el estudio a realizar, la ilustración 11 muestra el área .

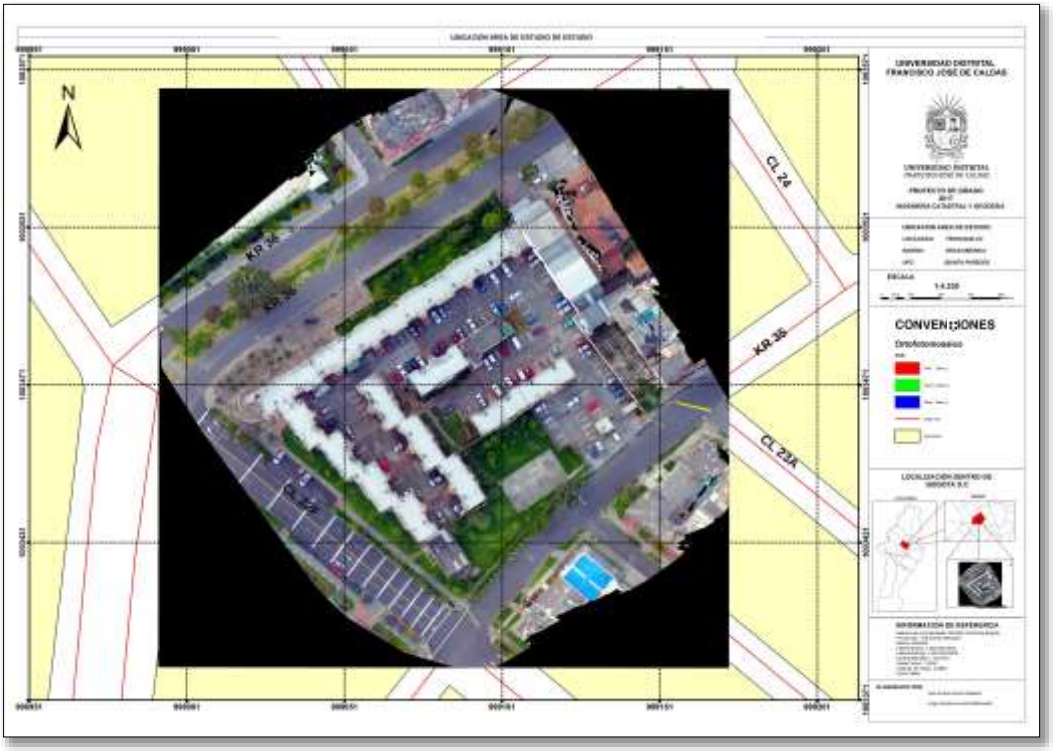


Ilustración 11 Ubicación área de estudio.

4.2 Materiales

Para la ejecución y desarrollo del proyecto fue necesario Una base de datos la cual contenía shape de vías existentes en Bogotá distrito Capital descargada en la página del Instituto de Datos Espaciales del distrito Capital IDECA[43], un dron phamtom 4, Una licencia Demo del software E-cognición la cual fue provista por la empresa Datum Ingeniería S.A.S.[44] filial en Colombia de la casa matriz Trimble[45], también fueron necesarias imágenes obtenidas con un dron y coordenadas aportadas por el mismo.

4.2.1 Software utilizado

ArcGIS v10.2 (licencia académica):

Software que permite almacenar, administrar, analizar y visualizar información geográfica para este proyecto fue necesario utilizar el módulo de geoprocesing con el cual se utilizó la herramienta Buffer para insertar el shape de vías, generando un buffer con el ancho de

la vía en estudio, este software también fue utilizado para la generación de los mapas finales

E-cognition (Licencia Demo):

Software de desarrollo que permite el análisis de imágenes basado en objetos utilizando un conjunto de reglas que operan las imágenes de manera automática, este software fue utilizado en la obtención del proceso de segmentación, clasificación y detección de nuestro objeto a estudiar

Pix4D (Licencia Académica):

Software de fotogrametría avanzada usado para generar superficies de terreno, ortofotomosaicos y modelos de texturas dentro del proyecto fue utilizado este software en la creación de ortofotomosaicos insumo primordial para la generaron los procesos de segmentación y clasificación por objetos.

4.3 Planeación del vuelo

Para la toma de datos, la metodología involucra tener un día con nubosidad despejada que permita una buena iluminación solar en la zona de estudio de tal manera que se permita la obtención de la mayor cantidad de área sin perturbaciones ni obstrucciones por sombras, aunque se hace importante tener en cuenta las condiciones meteorológicas del año, se debe aclarar que este algoritmo fue acondicionado para vuelos hechos durante épocas del año secas. Las cuales permitían la detección de baches en la vía en la condición ideal del asfalto. De igual manera con el fin de evitar sombras provocadas por edificios, árboles o postes se estimó ejecutar la toma del vuelo en las horas de la mañana con una ventana de tiempo aproximado entre 7am y 11 am.

Para la determinación de la resolución del GSD y el área de recubrimiento se concluyó realizar el vuelo con dos fajas que pudieran recubrir el de manera óptima la vía objeto de estudio de manera óptima o una sola faja que garantizara el cubrimiento de la vía teniendo en cuenta los diversos obstáculos que se pueden llegar a presentar en la ejecución del vuelo. Con el fin de garantizar la correcta obtención en la detección de los baches dentro de la vía se estipula tener una altura de vuelo entre 80 metros y 100 metros y un GSD calculado de 2 cm para de esta manera poder obtener un GSD practico que según la experiencia podrá oscilar entre 2,5 cm y 3,5 cm en algunos casos.

4.4 Captura de datos

Teniendo en cuenta los parámetros anteriores se ejecutó el vuelo de tal manera que se garantizara las condiciones para una optimización en la clasificación de objetos, de esta manera en se planeó la ruta a tomar con ayuda de la aplicación Pix4D se le selecciono la ruta a tomar y se realizó el vuelo que garantizara un traslape longitudinal de mínimo 90% en estos casos por ser una vía local terciaria por lo general se encuentra rodeada de muchas construcciones, árboles y mobiliario urbano que hacen que la señal se debilite ocasionando un inconveniente en la toma de las imágenes por lo cual las fajas de toma o los recorridos de dron no deben superar los 200 metros pues al recorrido ser mayor la perdida de la señal entre el operador y el móvil se perderá y la imágenes no serán capturadas en algunos casos. En caso de no tener inconvenientes con la señal ni la toma no se tiene límites en la longitud de la faja o de las fajas a tomar todo lo anterior aclarando de que las fajas deben seguir la dirección de la vía con el fin que se garantice el recubrimiento de dicha.

Luego de ejecutar el vuelo en donde se capturo las imágenes dela zona de estudio es aconsejable tomar unos puntos de GPS el cual servirá para un mejoramiento en el pos proceso y su correcta georreferenciación.

4.5 Incorporación atributo temático “Vía”

Para incorporar el atributo temático de vías en formato shape (.shp) fue necesario descargar de la página de IDECA[43] La Geodatabase la cual contenía todas las vías del distrito capital, esta capa fue cargada en el software ArcGIS y se localizó la zona de interés para evitar una sobrecarga en el procesamiento de la información se realizó un recorte a la zona de interés, luego a esto se verifico el ancho de la vía de acuerdo a la clasificación de vías que ofrece el Instituto de Desarrollo Urbano y en la cual adicionalmente se establece su ancho, esto con el fin de obtener el tamaño del Buffer a realizar, posterior mente se unifican con la Herramienta Marge obteniendo un solo dato para toda la zona en estudio.

Luego de obtener el shape de vías se carga al software E-cognition junto con el ortofotomosaico debidamente editado y se hacen coincidir el atributo a evaluar y su característica, pues será necesario al momento de generar la clasificación.

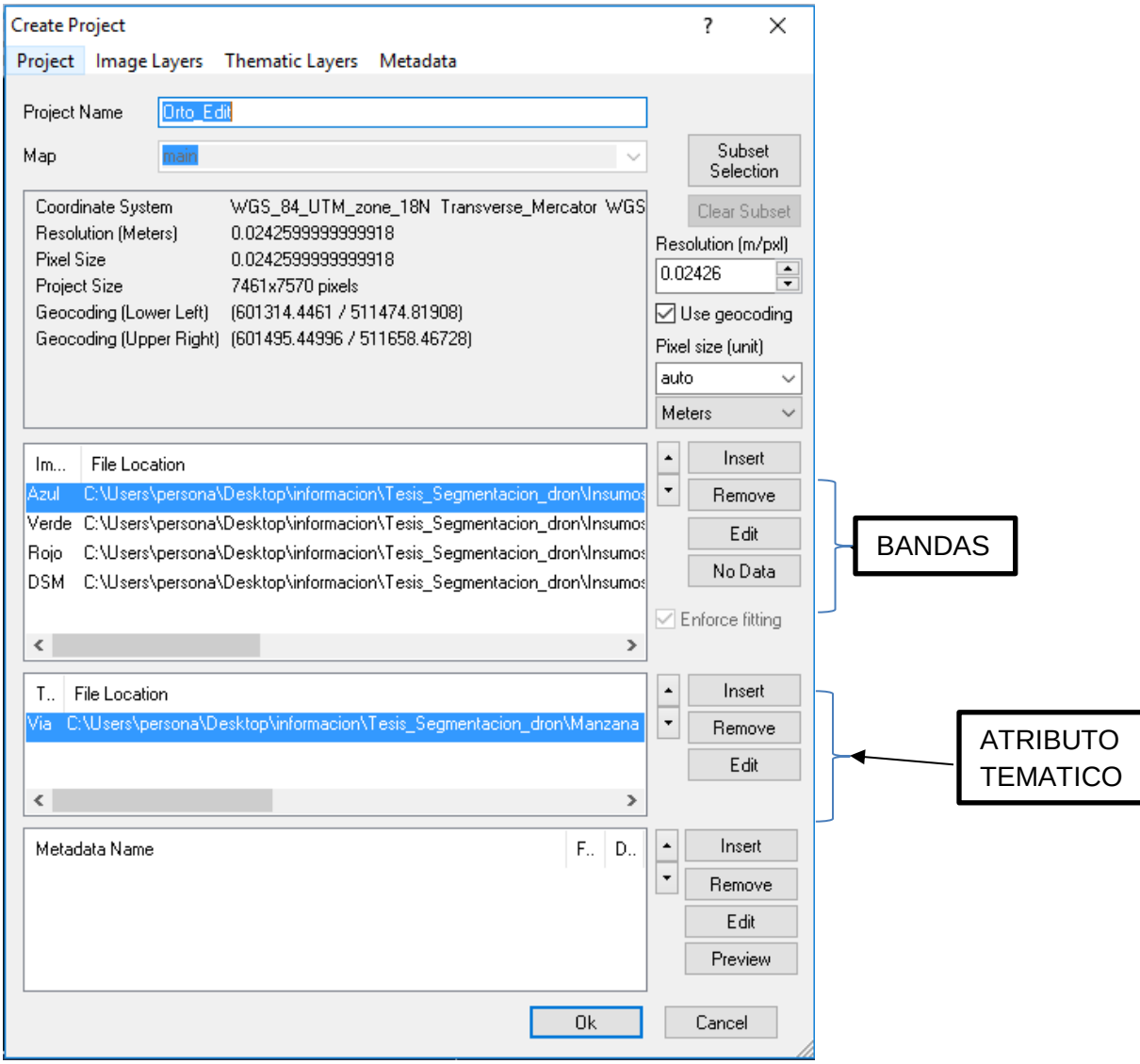


Ilustración 12 Inclusión del Atributo Tematico

Para mejorar una correcta comprensión se renombra la información cargada. Como se muestra en la ilustración 12, y se verificara en el momento de ser cargado los datos.

Ilustración 13 Ortofotomosaico y Atributo Temático

4.6 Algoritmo de Segmentación y Clasificación

En el diseño del algoritmo de segmentación y clasificación se buscaron las mejores alternativas que optimizaran la clasificación y permitiera detectar los baches sin confusión con otras coberturas existentes.

Con el fin de delimitar de manera óptima a zona de clasificación se incorporó un atributo temático (Vía) el resultado se evidencia en la ilustración 13 dentro de la cual se concertaría el algoritmo de segmentación. Teniendo en cuenta que para la detección de baches se deberían tener en cuenta varias aspectos que los caracterizan estas mismas características podrían estar presentes en algunas o varios objetos presentes en esta misma zona de estudio, lo que generaría un error en la detección automática de los baches por lo cual fue prudente organizar un orden en la detección de objetos para finalizar con la detección de baches.

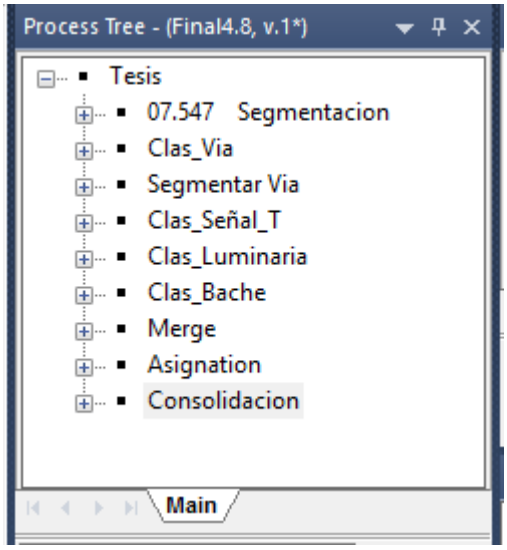


Ilustración 14 Árbol de Procesos, metodología aplicada

Como paso (1) se generó una segmentación con el fin de clasificar la vía como se puede ver en la figura(15), posteriormente se procedió a su clasificación como paso (2)posteriormente teniendo como súper objeto(vía)se ejecutó una nueva segmentación que solo involucrara a la vía clasificada se nombró segmentación vía paso (3)luego se procedió a la clasificación en su respectivo orden clasificación de señales de tránsito(4), clasificación luminaria(5),clasificación árbol(6), clasificación bache(7), en el paso(8) se realiza un merge de cada clasificación de objetos, en el paso (9) las luminarias las asignamos a unclasificator lo mismo que los árboles y las señales de tránsito las incluimos a la cobertura de vía y finalmente en el paso (10) se vuelven a unificar las coberturas existentes y se exportan en formato shape(.shp) y se generan unas estadísticas, como se muestra en la ilustración 14.

4.6.1 PASO A PASO

- Paso 1

La segmentación se generó con el fin se poder delimitar lo mejor posible la vía para lo cual fue utilizado el atributo temático anteriormente mencionado y el tipo de segmentación utilizado fue chess ~~board pues~~board pues esta segmentación permite segmentar de acuerdo a la forma del atributo temático, el orden de este paso puede ser evidenciado en la ilustración 15

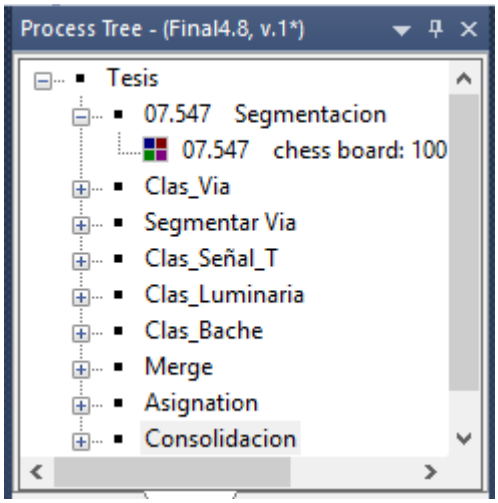


Ilustración 15 Proceso de segmentación

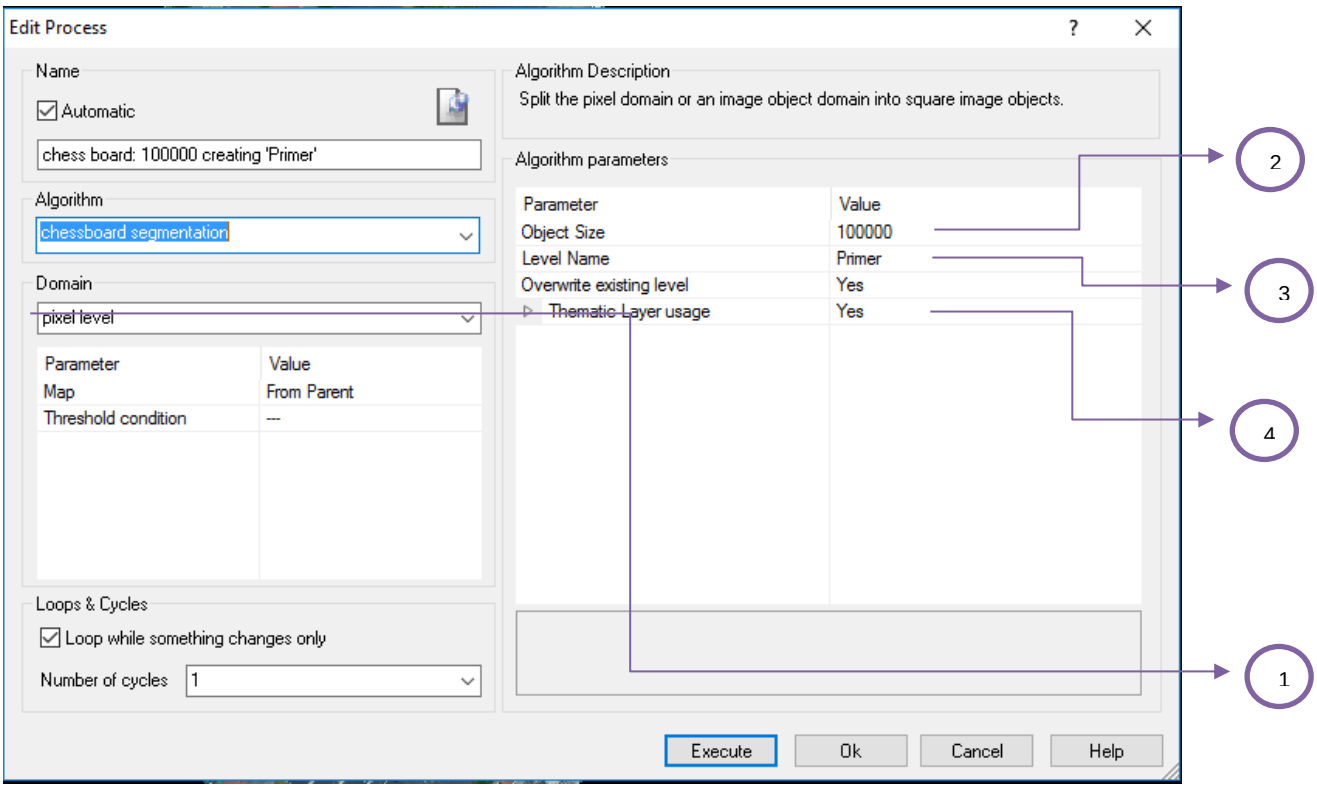


Ilustración 16 Parametrización Segmentación

En la ilustración 16 se muestra como el dominio utilizado fue el nivel del pixel (1) puesto que aún no se han creado objetos y el tamaño del objeto (Object size) debe ser de tal tamaño que sea mayor o igual al tamaño de la imagen en este caso 100000 (2) y se selecciona en Leve Name el primer nivel del usuario en este caso nivel llamado Primer (3) y se le selecciona Thematic Layer Usage (4).

El resultado obtenido se muestra en la ilustración 17

Ilustración 17 Resultado Paso Uno

- Paso 2

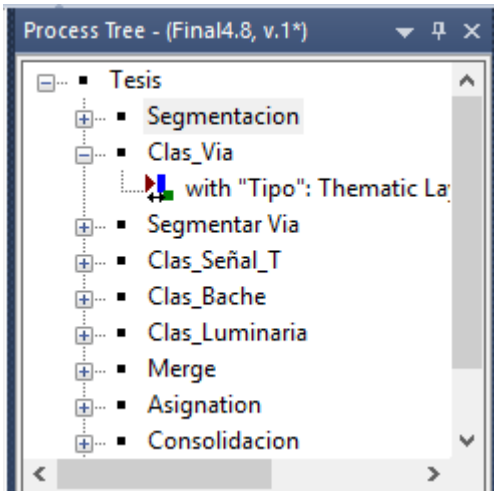


Ilustración 18 Paso 2: Clase Vía

De la segmentación anterior se hace necesario clasificar la vía para obtener un súper-objeto del cual se podrán extraer sub- objetos con cualidades específicas y poder detectar de manera óptima los baches existentes en la vía, como lo muestra la ilustracion18.

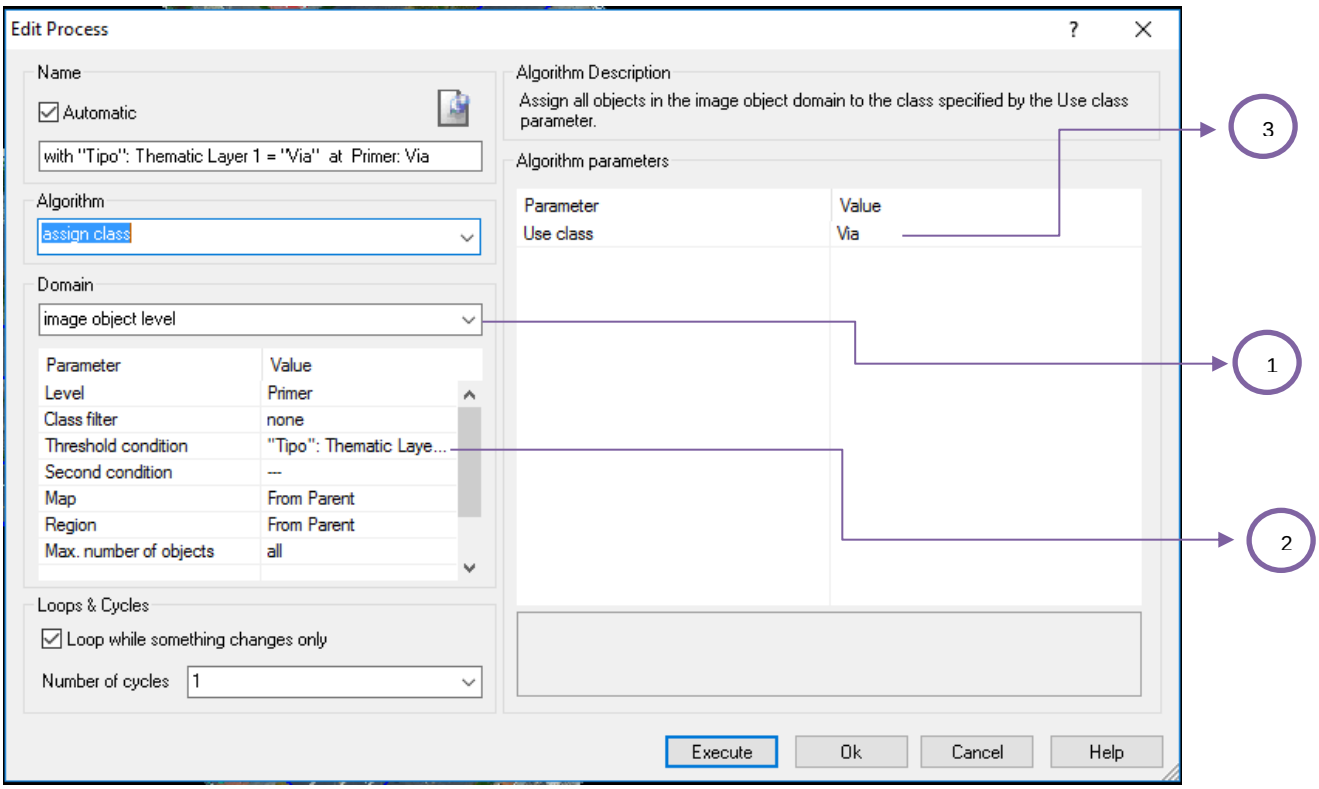


Ilustración 19 Parametrización asignación de Clase Vía

La ilustración 19 muestra como en la clasificación de la vía se utiliza el algoritmo **assign class** teniendo el dominio **Image Object level** esto porque se va clasificar sobre el objeto anteriormente creado (1) para obtener como resultado una clasificación únicamente del objeto vía se debe establecer como condición el atributo temático del shape (.shp) vía.

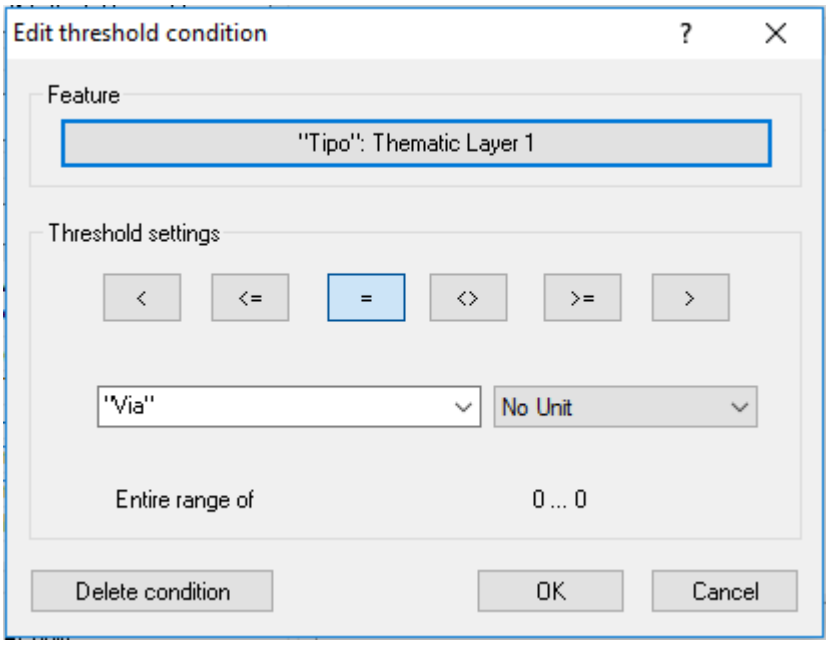


Ilustración 20 Condición Threshold.

En el campo **Threshold condition** (2) se debe seleccionar el atributo **"Tipo"** perteneciente al Shape incorporado y su correspondiente registro **"Vía"** el cual fue el que se le asignó al polígono que corresponde al área de estudio, ver ilustración 20.

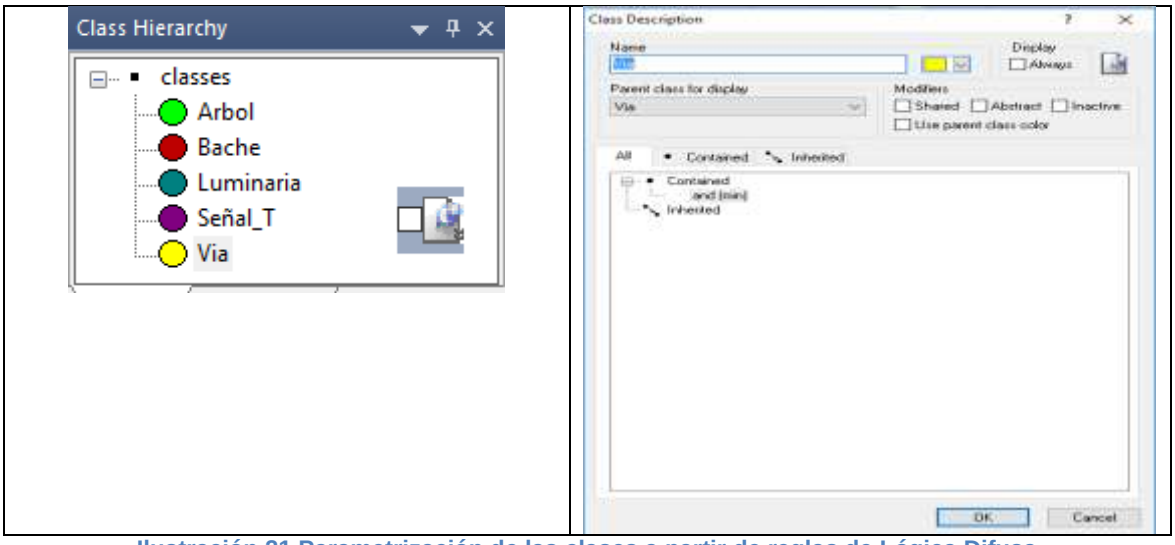


Ilustración 21 Parametrización de las clases a partir de reglas de Lógica Difusa

Las figuras anteriores muestran las clases insertadas y las condiciones que contienen la clase vía. Como se puede ver la clase vía no contiene ninguna condición pues en esta clase la condición se hace en el paso (2) con el atributo temático. Finalmente a la clasificación se le asigna la clase vía en el campo **Use class** (3), ver ilustración 21.

Obteniendo el siguiente resultado, ver ilustración 22.

Ilustración 22 Resultado Paso 2

- Paso 3

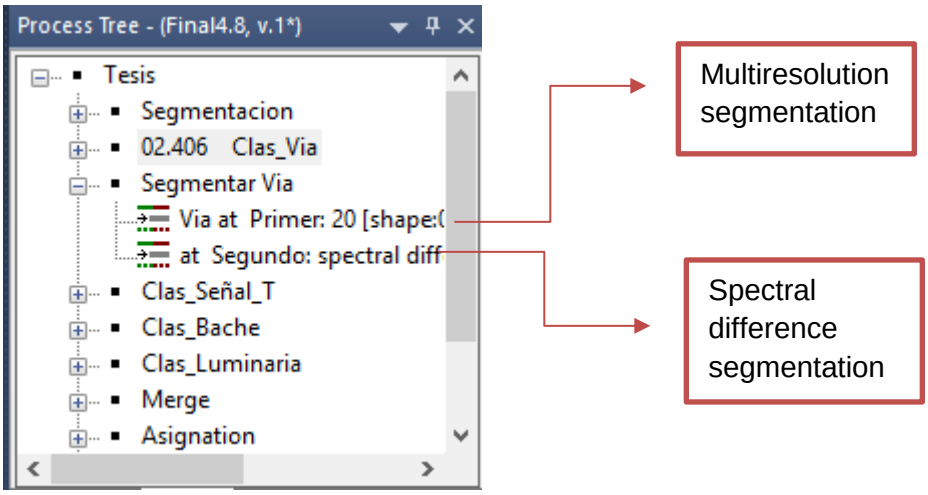


Ilustración 23 Segmentación de la Clase Via

Se debe realizar una segmentación de la vía con el fin de obtener nuevos objetos al interior de la vía que modelen la forma de una manera más óptima lo las coberturas existentes en la zona de estudio, ver ilustracion23. Con este fin se desarrollaron dos segmentaciones primero (**multiresolution segmentación**) y luego (**spectral difference segmentation**).

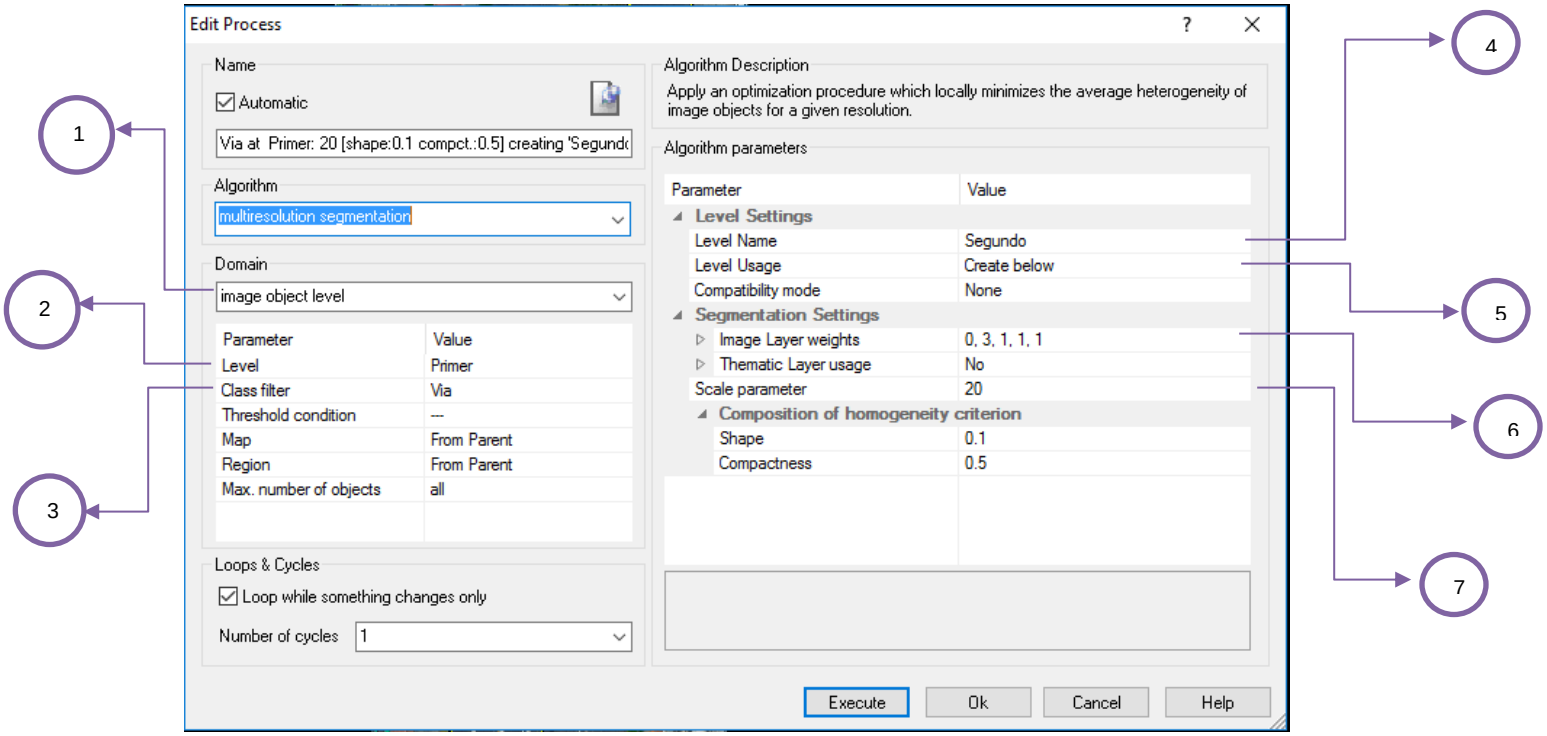


Ilustración 24 Parematrización de la segmentación de la clase vía

En la primera segmentación se utiliza el algoritmo **multiresolution segmentation** como dominio se escoge **Image Object level** (1) esto porque se va a segmentar sobre el objeto anteriormente clasificado, se escoge en **Level** el nivel anteriormente utilizado en este caso "Primer "(2), como filtro de clasificación (Class filter) se utiliza la clase Via (3), en herramientas de nivel se introduce en nombre del nivel **Level name** "Segundo" (4) y se establece en el campo **Level Usage** crear abajo (5), en cuanto a los pesos en el campo **Image Layer Weighth** (6) se le asignan pesos iguales a todos los layer a diferencia del layer 1 o azul esto con el fin de poder definir la forma de las señales de tránsito de la mejor manera y que previamente aparecen con un alto valor en el azul a diferencia de otras coberturas quedando de la siguiente manera (3,1,1,1), para el parámetro de escala de la segmentación (**Scale parameter**) (7) se escogió 20 pues era el que mejor definía los objetos a detectar, de lo cual se obtuvo el siguiente resultado, ver ilustración 24.

Ilustración 25 Vía Segementada

Como se puede observar la creación objetos con este algoritmo a la escala seleccionada ocasiona una mayor densidad en la cantidad de objetos lo que podría ser un inconveniente por otro lado un acercamiento podría dejar en claro que describe de manera óptima la mayoría de los objetivos a clasificar, ver ilustración 25.

El siguiente paso es utilizar el algoritmo de **spectral difference segmentation** el cual unificara los objetos que tengan mayor similitud espectral tratando modelar mejor manera los objetos a clasificar en primera instancia debido a la alta diferencia espectral de las señales de tránsito este será la primera clasificación con el fin de que no intervenga al momento de clasificarlos baches

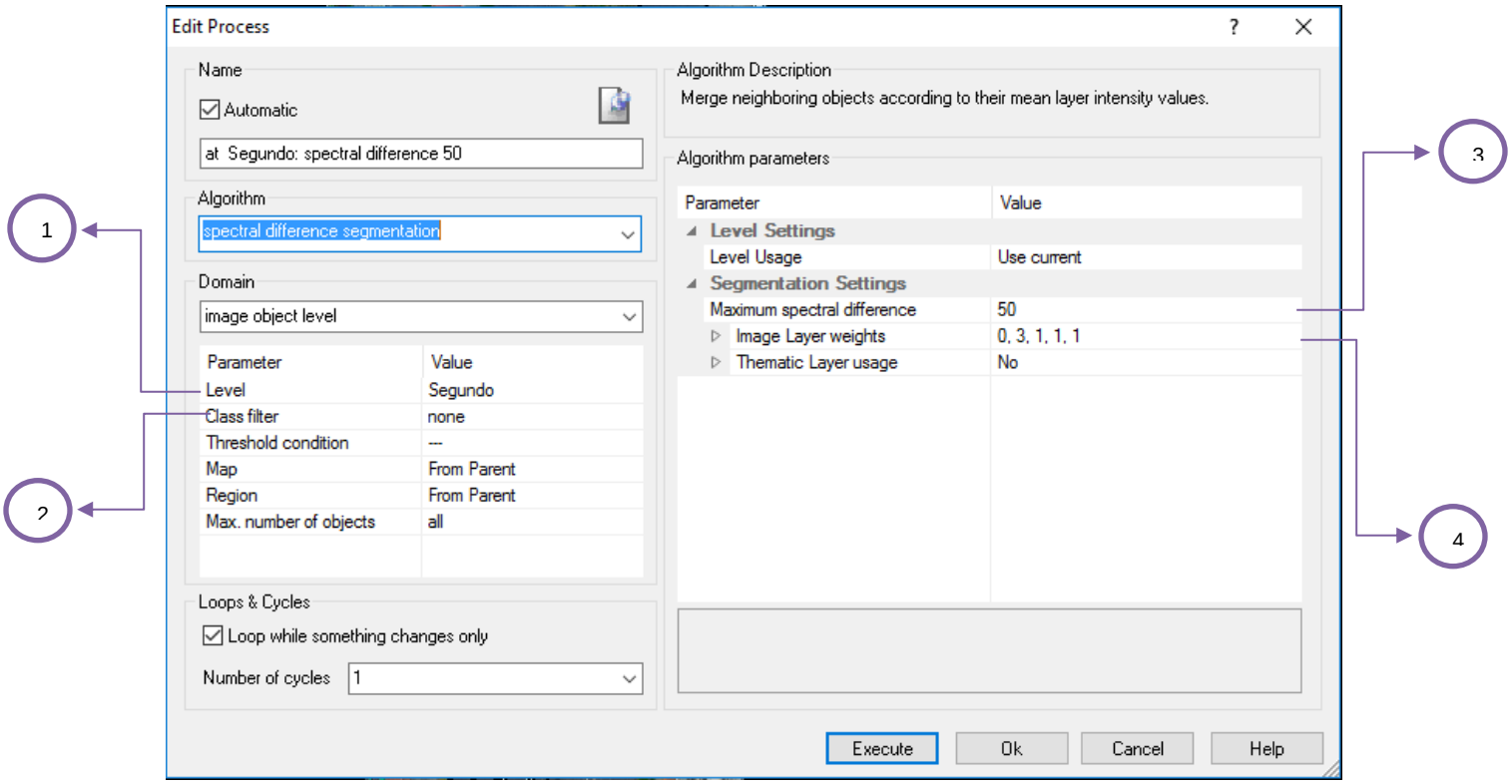


Ilustración 26 Parametrización de las segmentación por Diferencia Espectral

En este caso el algoritmo de diferencia espectral permitirá generar a partir de los objetos generados anteriormente unos nuevos objetos de mayor tamaño generalizando de tal manera que los objetos resultantes asemejen la forma de las coberturas presentes dentro de la vía. En el campo **Level filter** se seleccionara "Segundo" pues es el nivel creado en la segmentación anterior (1), en el campo **Class filter** en esta ocasión no se seleccionara nada pues el nivel de segmentación anterior indica específicamente lo que se desea segmentar (2), en el campo **Máximum spectral difference** se le asignara un tamaño suficientemente grande que permita unir la mayor cantidad de objetos (3), en el campo **Image Layer weights** (4) los pesos se mantendrán de la misma manera que en la anterior segmentación, en cuanto al nivel de segmentación se opta por seleccionar el mismo nivel de ejecución, a continuación se presentan los resultados obtenidos después de la anterior segmentación, ver ilustración 26.

Ilustración 27 Segmentación por Diferencia Espectral

Como se puede apreciaren en la ilustración 27, las señales de tránsito el cual era el primer ítem a clasificar quedaron perfectamente segmentadas.

- Paso 4

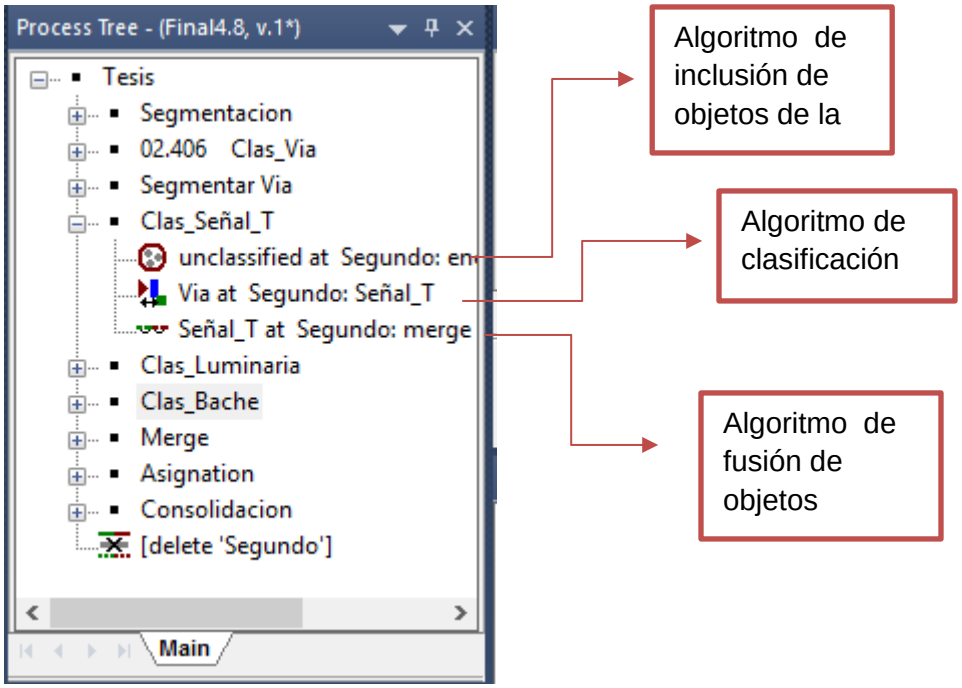


Ilustración 28 Creación de Clase Señal de Transito

El siguiente paso la clasificación de los objetos señales de tránsito demarcados en la vía y cuyos valores espectrales pueden hacer confundir con varias coberturas, es por esto que se le prioridad a su clasificación, ver ilustración 28.

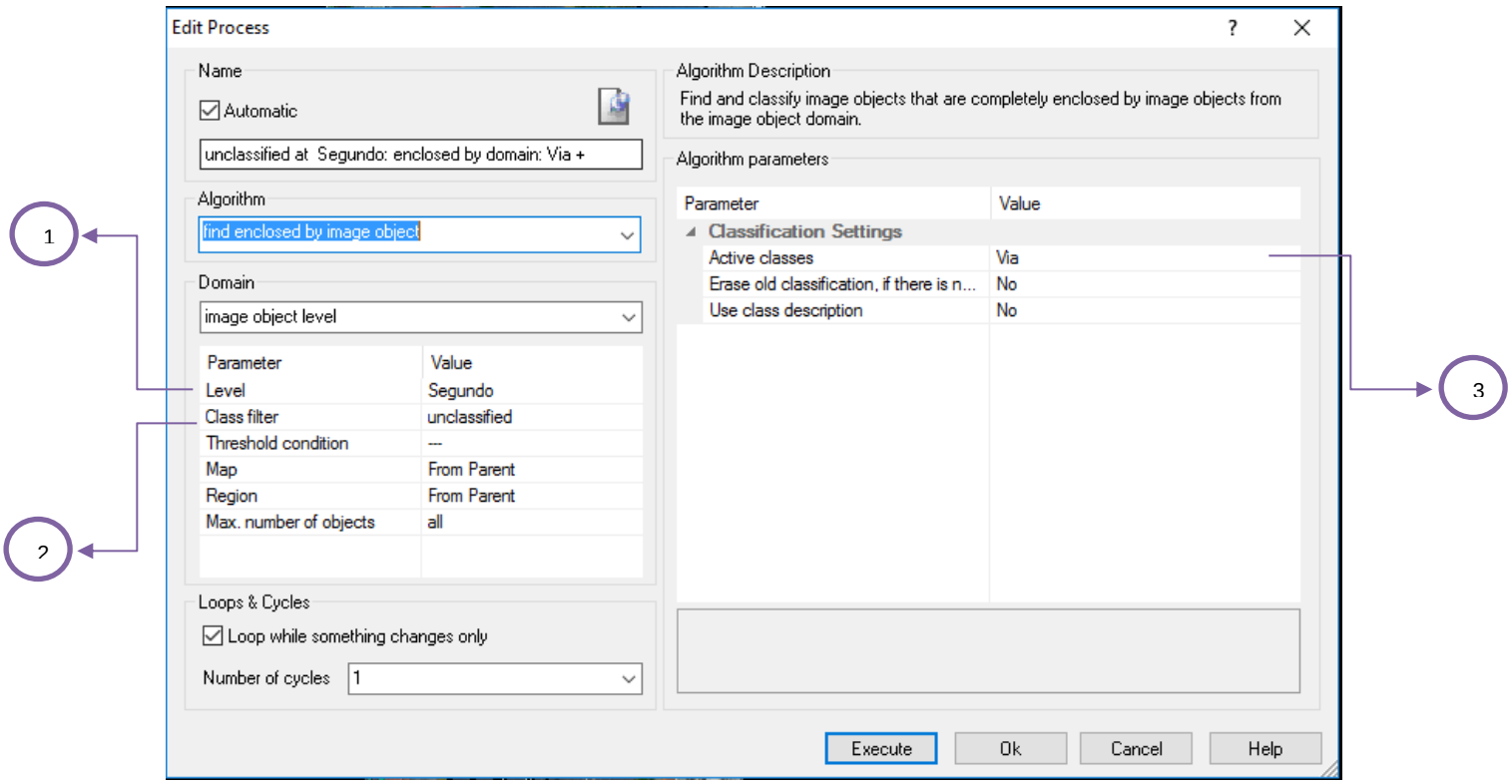


Ilustración 29 Parametrización de la Clase Señal de Transito

En el siguiente algoritmo permite clasificar todos los objetos encontrados en el interior del nivel Segundo y clasificarlos en la clase vía, para lo anterior se asignaron en el campo **Level** "Segundo" (1), en el campo **Class filter** la clase "unclassfied" (2), y en el campo **Active classes** se le asigno la clase "via" (3), como se muestran en la ilustración 29, a continuación se presentan los resultados, ver ilustración 30.

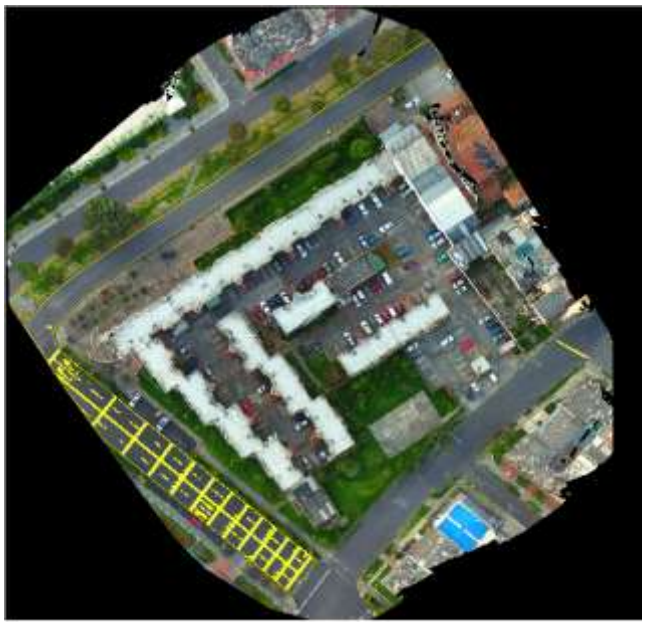


Ilustración 30 Clase Señal de Transito

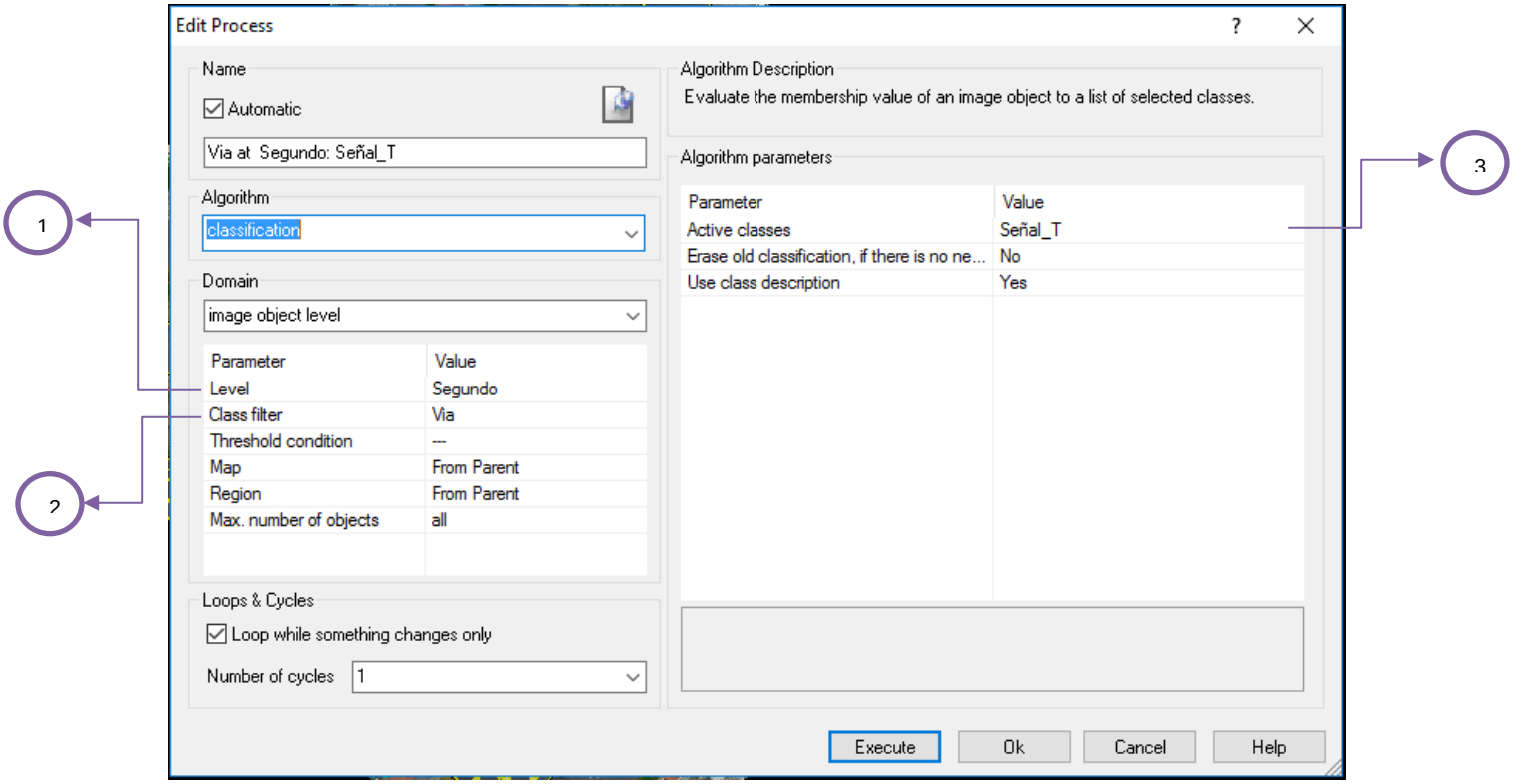


Ilustración 31 Clasificación de la Clase Señal de Transito

En la ilustración 31 se muestra el siguiente procedimiento, el cual será clasificar a partir de los objetos clasificados anteriormente para lo cual se utiliza el algoritmo **clasificación** el cual busca clasificar los objetos “señal de transito” que se encuentren dentro de la clasificación “vía”. En el campo **Level** se asignó “Segundo” (1) pues este es el nivel en el cual se encuentra la segmentación útil para la clasificación, adicionalmente se especifica en **Class filter** la clase “Vía” pues es aquí en donde se encuentra la clasificación de los objetos anteriormente clasificados (2), para el campo **Active Classes** se debe seleccionar la clase a la cual debe ir a clasificación ejecutada (3), para este caso la clase “Señal_T”.

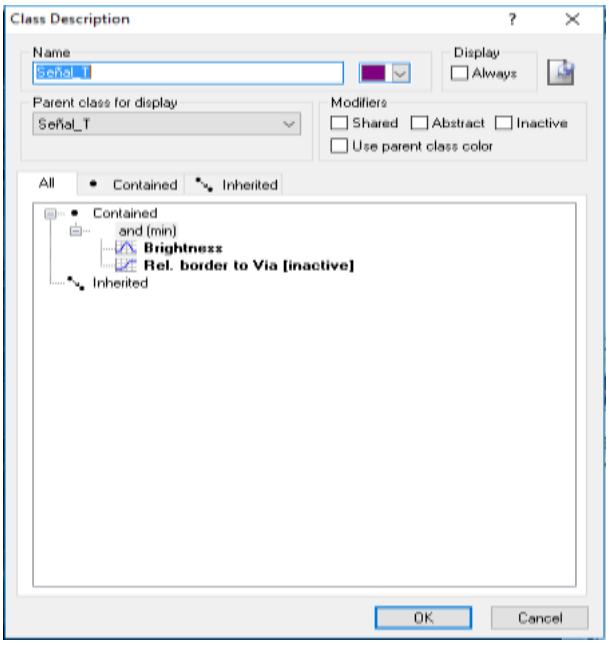


Ilustración 32 Condciones de Parametrización de la Clase Señal de Transito

Para la clasificación de la señal de tránsito se hace necesario la identificación de las mimas por medio de funciones booleanas las cuales permitan acotar intervalos que limiten la clasificación, por lo cual se evidencio que sus características principales son el **brillo** y **la relación borde vía,** ver ilustración 32.

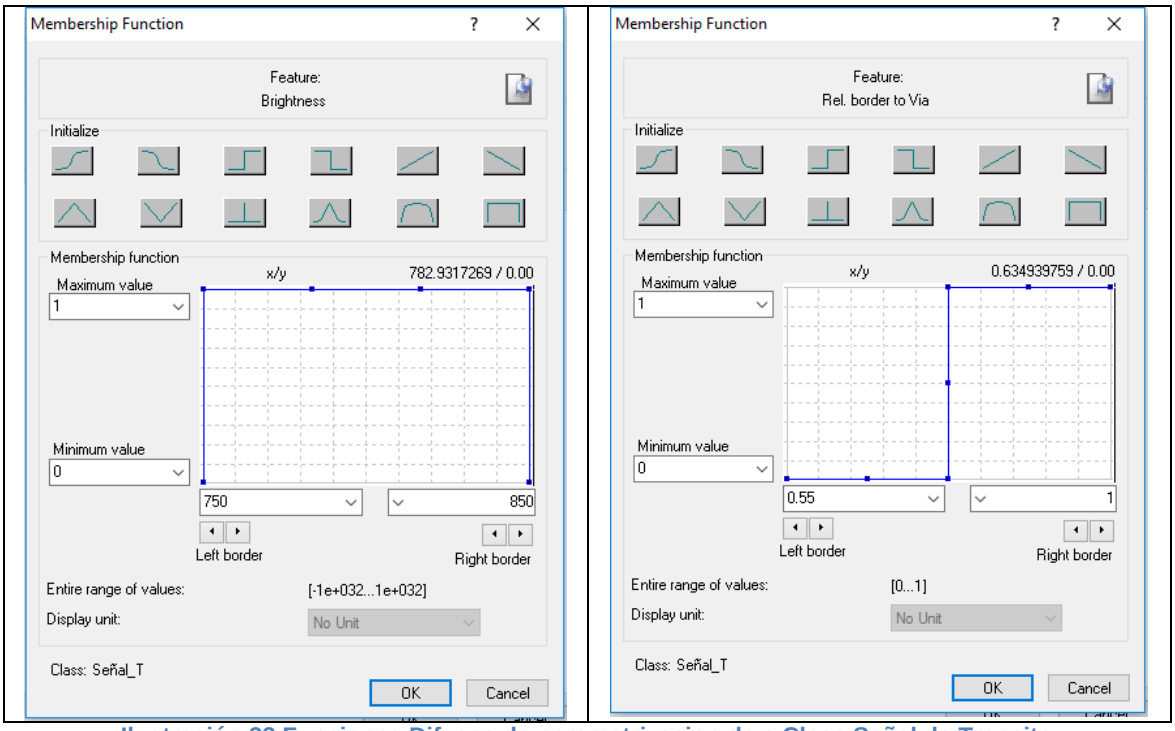


Ilustración 33 Funciones Difusas de parametrizacion de a Clase Señal de Transito

Por lo cual se estableció un intervalo cerrado para el brillo entre (750-850) y un intervalo abierto cerrado para la relación borde vía en donde los valores menores a 0,775 no serán clasificados y los objetos con valores mayores 0775 serán clasificados. Lo que permitirá excluir a todos los objetos que no cumplan con estas dos condiciones y no serán clasificados, de la misma manera serán clasificados los objetos que cumplan con estas dos condiciones, ver ilustración 33.

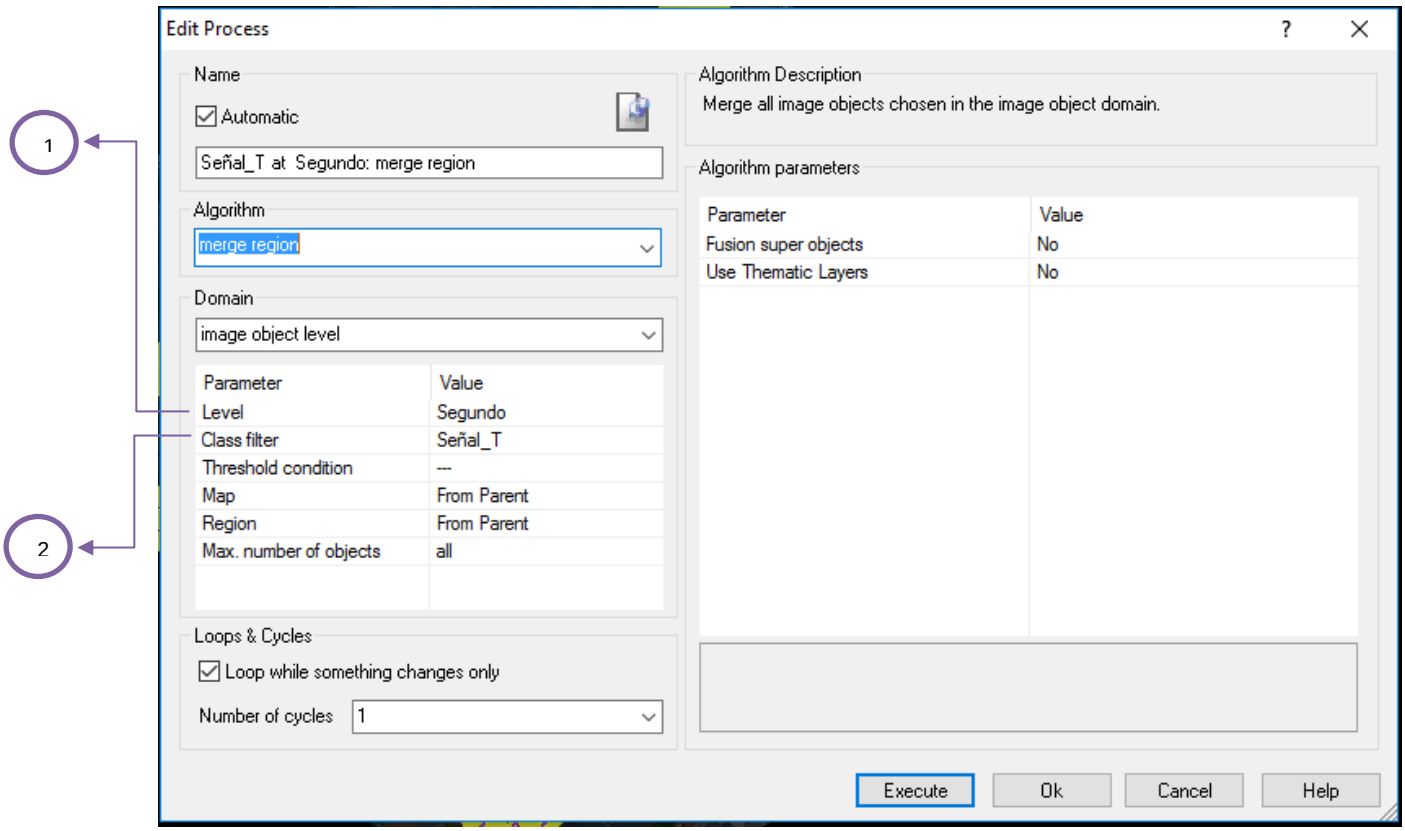


Ilustración 34 Clasificación de las Señales de Transito

El siguiente paso será fusionar todos los objetos anteriormente clasificados como señal de tránsito, así se encuentren separados estos serán una sola entidad, se le asignó al campo **Level** en nivel "Segundo"(1), dentro del campo **Class filter** se le asigno la clase "Señal_T"(2), como se evidencia en lailustracion34. A continuación se muestra los resultados de la anterior clasificación ver ilustración 35.

Ilustración 35 Clase Señal de Transito

- Paso 5

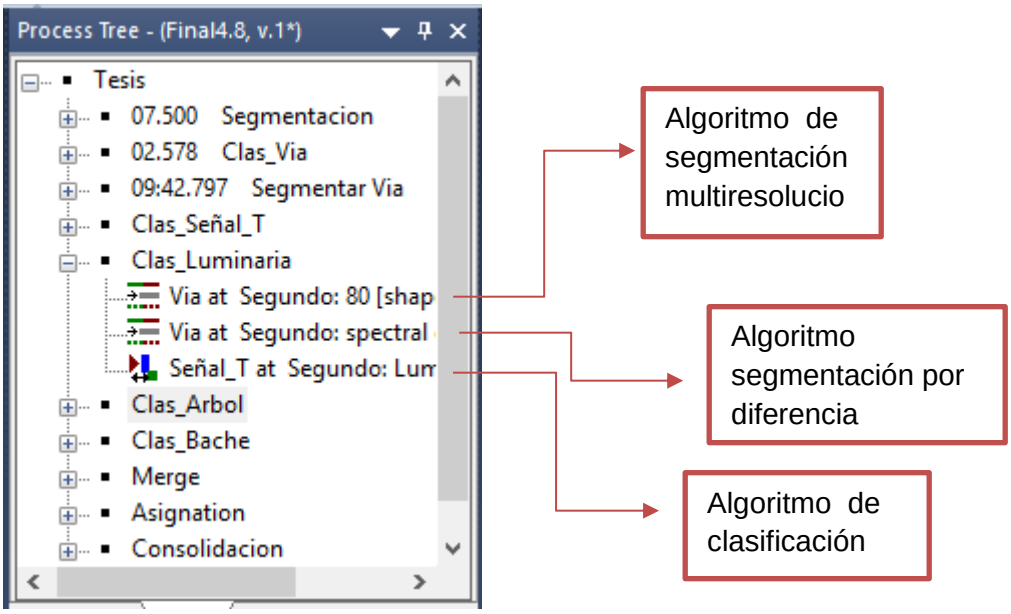


Ilustración 36 Cración de la Clase Luminaria

En el siguiente paso se busca ejecutar una nueva segmentación que se encuentre nuevamente en el nivel “Segundo” y la clasificación vía pero en esta ocasión que discrimine a la clasificación”Señal_T”, lo que generar que no existan interferencia con en el momento de la clasificación pues la señales de tránsito son las que más intervienen por sus altos valores espectrales, como se evidencia en la ilustración 36.

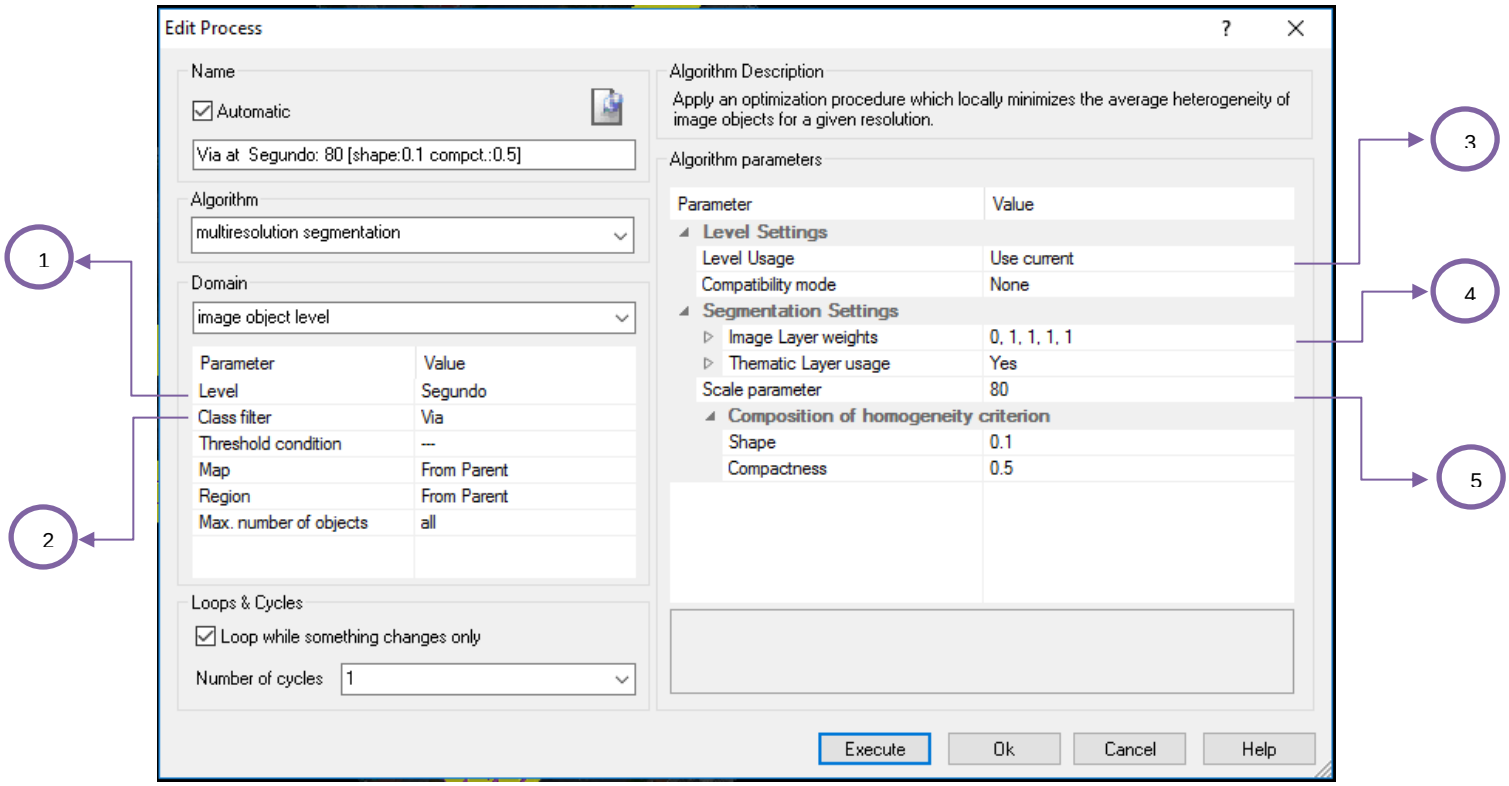


Ilustración 37 Parametrización de la segmentación para la clase Luminaria

En la ilustración 37 se muestra que en la primera segmentación se usó el algoritmo de segmentación por mutiresolucion, buscando modelar la forma de las clases restantes y en especial la clase baches, para el campo **Level** se eligió nivel ”Segundo”(1), para el campo **Classfilter** se selección la clase “vía” (2), esto porque se pretende segmentar dentro del segundo nivel solo lo que se encuentra clasificado como via, en el campo **Level Usage** se utiliza el mismo nivel por lo cual se selecciona “Use current”(3),en el campo **Image Layer weights** se mantienen iguales para todos los layer (1,1,1,1) (4), en cuanto al parámetro de escala(**Scale parameter**) se asignara una escala igual a 80 pues en esta ocasión se pretende obtener la clasificación de los baches (5), obteniendo los siguientes resultados.

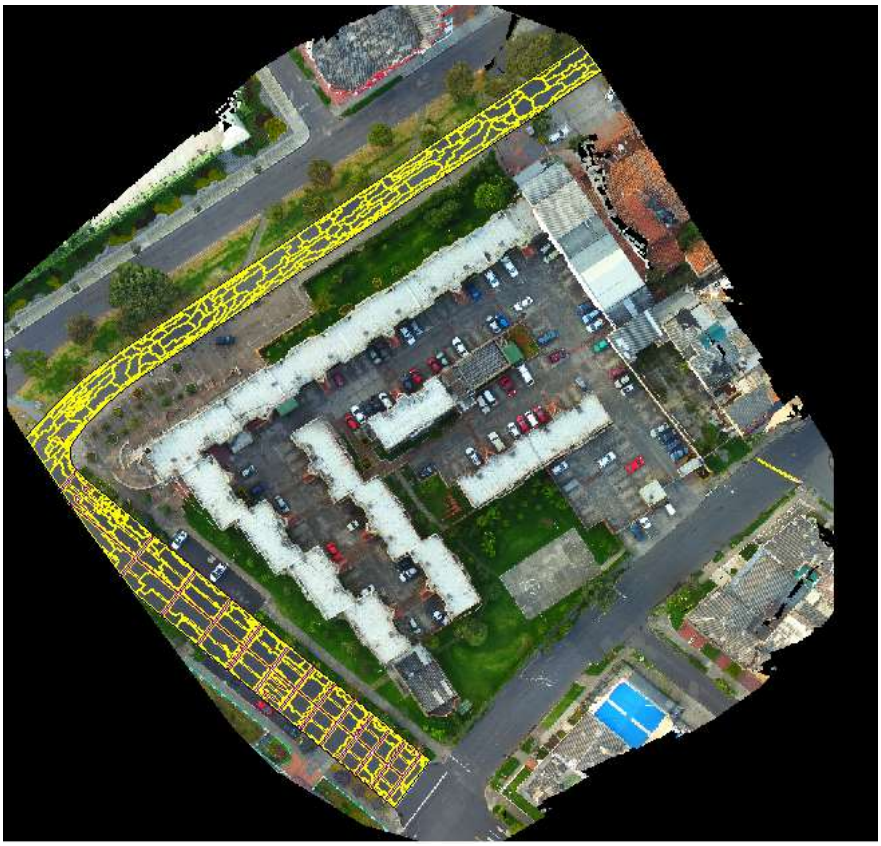


Ilustración 38 Segmentacón Luminaria

Como se puede observar en la ilustración 38, se pudo segmentar de manera óptima excluyendo las señales de tránsito que ya se encontraban clasificadas.

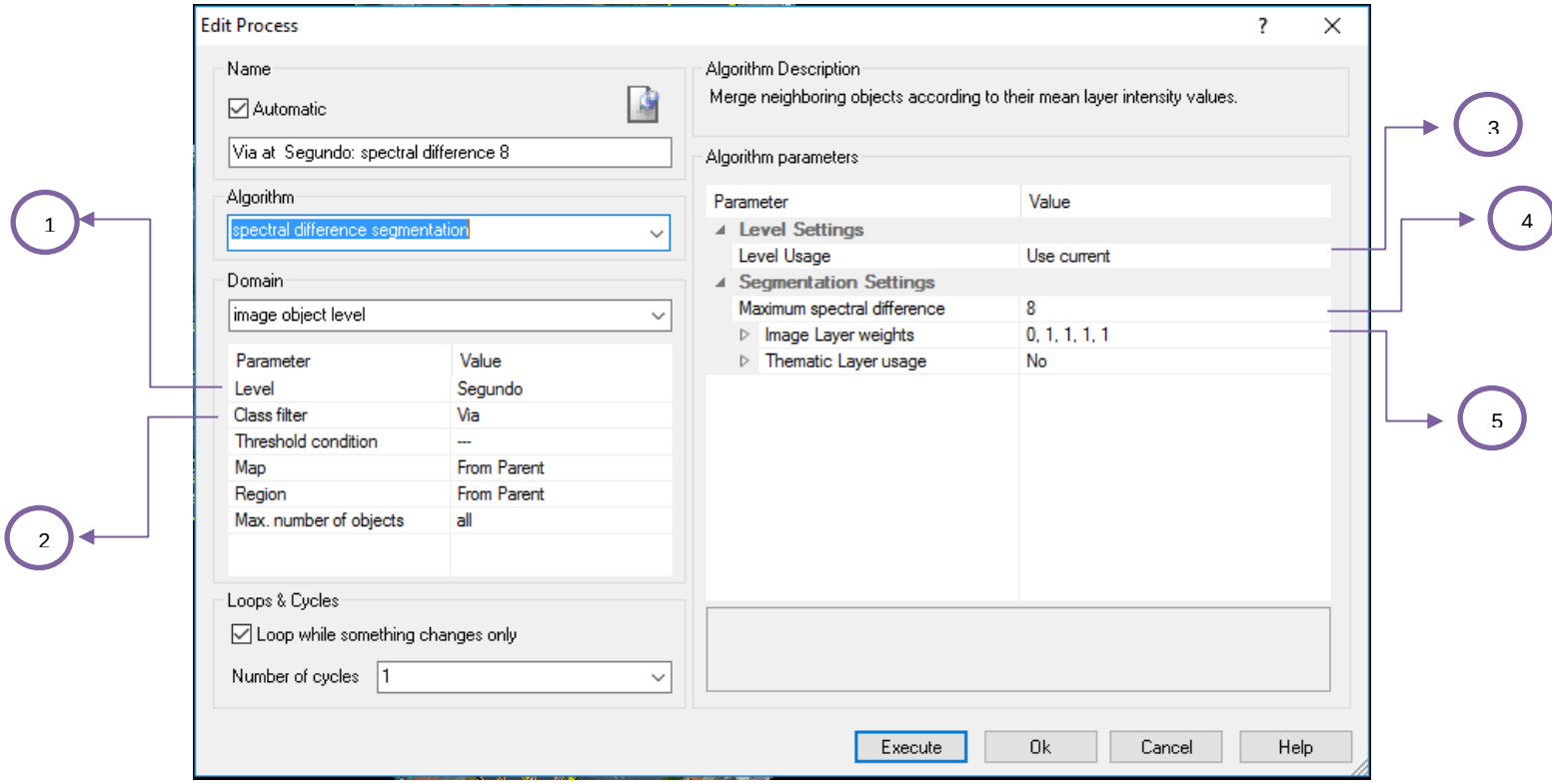


Ilustración 39 Segmentación de diferencia espectral para la clasificación de la Clase Luminaria

Con el fin de generar objetos de mayor dimensión en las zonas; su diferencia espectral será semejante es decir el resultado obtendrá una mejor clasificación de los objetos. Para la ejecución de este algoritmo se siguieron los siguientes parámetros en el campo **Level** fue seccionado “Segundo” esto debido a que la segmentación de diferencia espectral se pretende hacer sobre la anterior segmentación por multiresolucion la cual se encuentra en el nivel segundo (1), de igual manera con el fin de que la segmentación solo se ejecute sobre la clasificación via se selecciona en el campo **Class filter** ”Via” (2),en las herramientas del nivel se encontrara el campo **Level Usage** en donde se debe seleccionar “Use current” esto ocasionado que el resultado se necesita sobre el mismo nivel a trabajar (3), en cuanto al tamaña no de la diferencia espectral en el campo **Máximum spectral difference** es seleccionado el valor 8 en esta ocasión no se necesita fusionar muchos objetos por el contrario solo se busca aglomerar los que su diferencia espectral sea coincidente o discrepe muy poco (4),finalmente el paramento de pesos se le asignan los mismos pesos a todos los layers por lo cual en el campo **image layer weigths** debe coincidir de la siguiente manera (1,1,1,1) (5), ver ilustración 39. El resultado se puede ver en la ilustración 40.

Ilustración 40 Segentación para la Clase Luminaria

Como se puede visualizar n la ilustración 40, los demás elementos a identificar sobre la vía quedaron segmentados de manera óptima y no se presenta saturación de objetos, también se muestra una buena generalización.

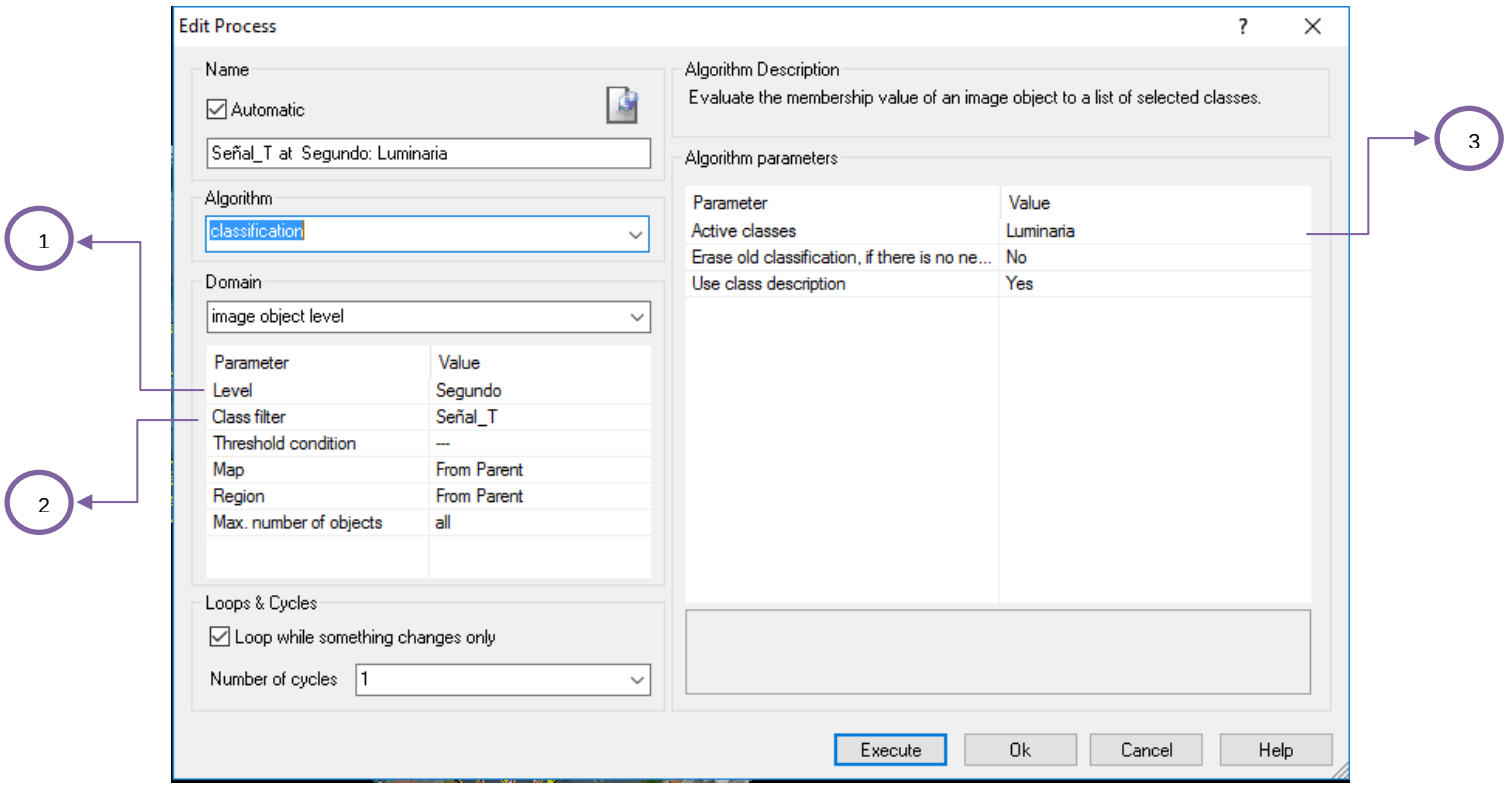


Ilustración 41 Clasificación de la Clase Luminaria

Para la siguiente clasificación se pretende a partir de la clasificación de señales de tránsito que se encuentra en el segundo nivel de segmentación identificar clasificar a partir de los valores del DSM en los cuales la altura de las luminarias será un parámetro de segregación eficaz con respecto a las demás coberturas. En el algoritmo de clasificación **Classification** se debe elegir en el **dominio Image object level**, en el campo **Level** se elegirá "Segundo" (1), en el campo **class filter** se elegirá la clase "Señal_T" (2) esto debido a que lo que se pretende es identificar las luminarias que fueros clasificadas dentro de la clasificación de "Señal_T", en el campo **Active classes** se debe elegir la clase "Luminaria" pues es la clase a la cual debe asignársele la clasificación (3), ver ilustración 41.

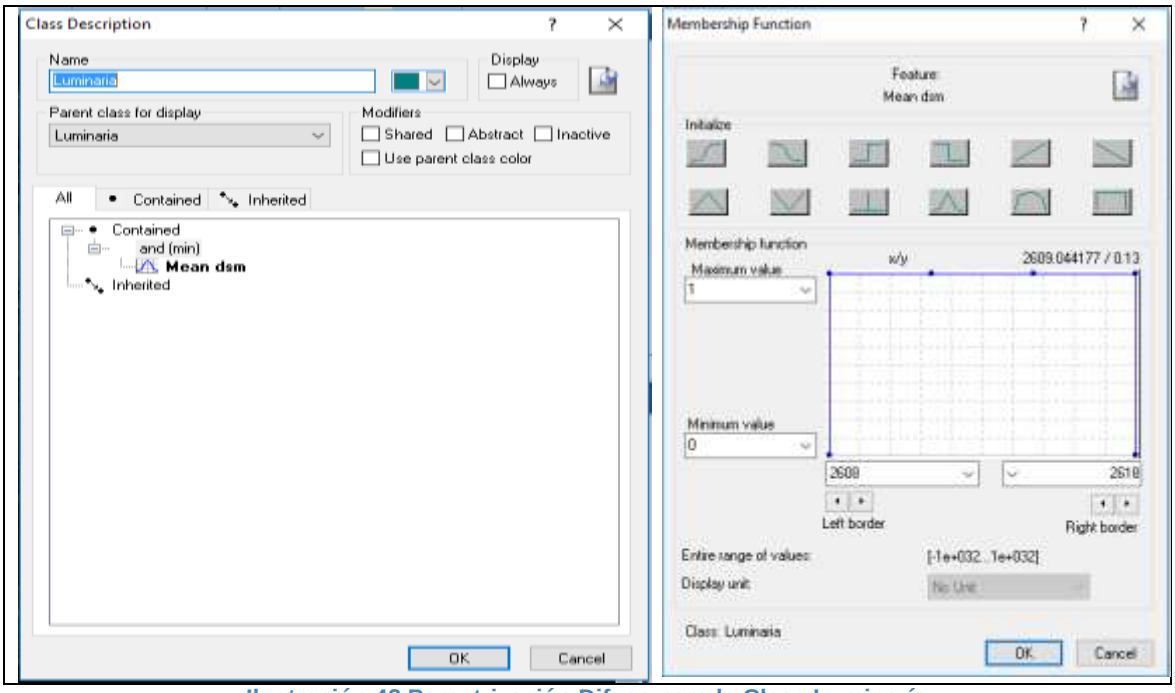


Ilustración 42 Paraetrización Difusa para la Clase Luminaría

De esta manera la clase Luminaria será discriminada de las demás coberturas por el DSM el cual es el layer que indica la altura del objeto en detección para este caso con el fin de identificar la clase Luminaria se estableció una altura en intervalo cerrado entre (2608 – 2018), del cual su clasificación fue completamente eficaz, ver ilustración 42, el resultado se muestra en la ilustración 43.

Ilustración 43 Clase Luminaria

- Paso 4

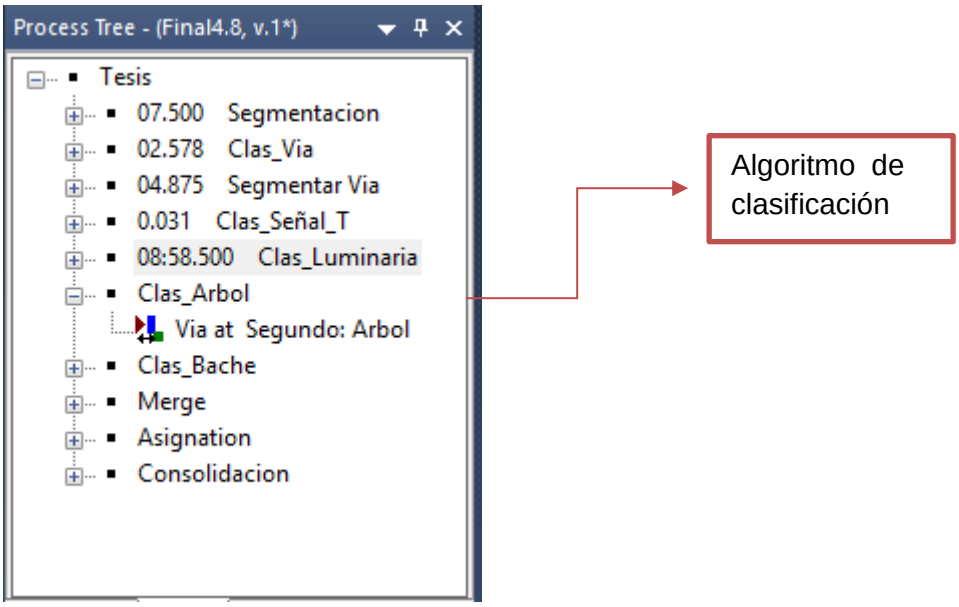


Ilustración 44 Creación de la Clase Arbol

El siguiente paso se la clasificación de los árboles que se encuentran o intervienen dentro de la vía de esta manera en el momento de detectar los baches no existirá inconveniente,

por patrones de forma con los cuales se puede llegar a presentar confusión en el momento de la clasificación, ver ilustración 44.

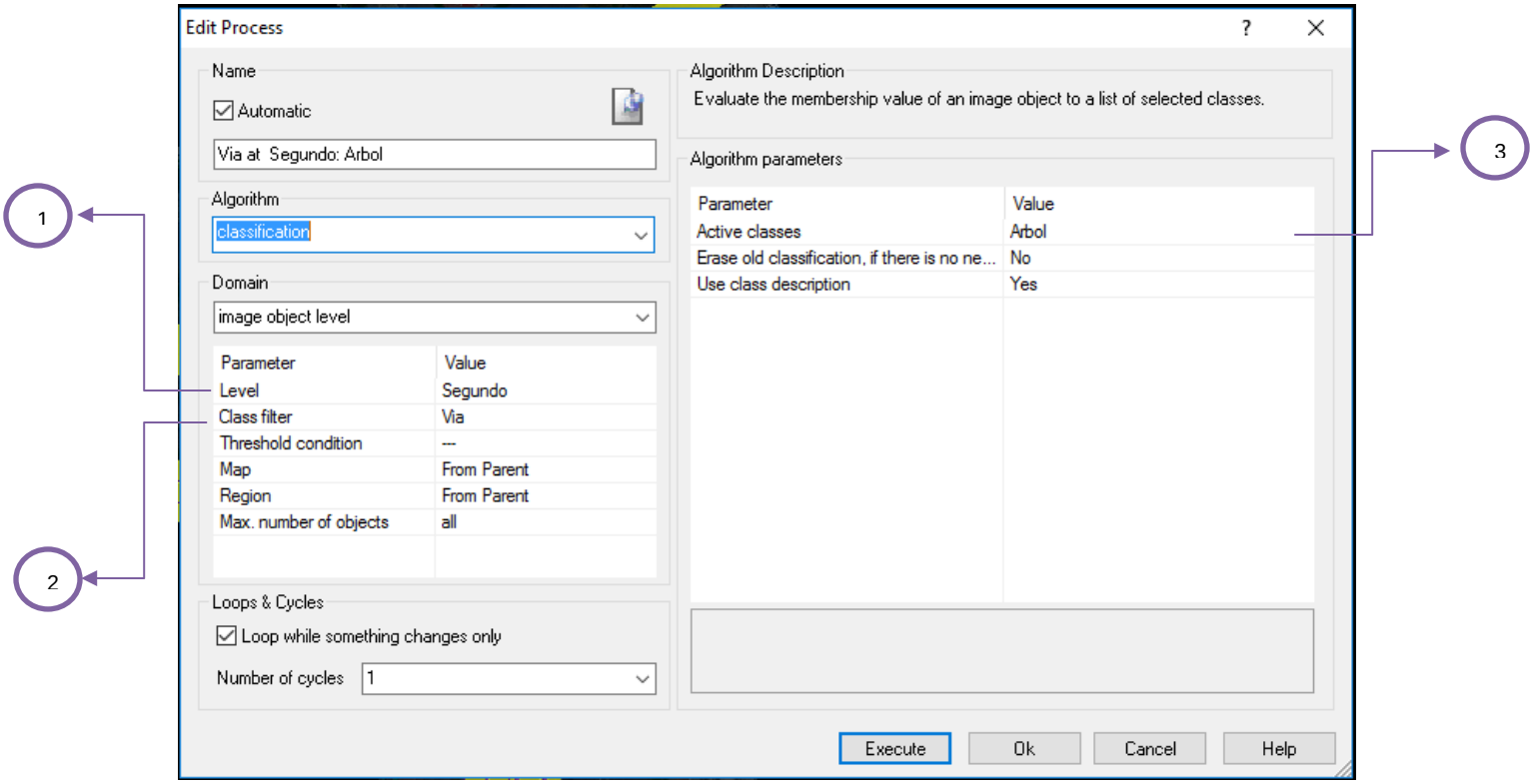


Ilustración 45 Clasificación de la Clase Arbol

Para la clasificación de la clase árboles se buscó clasificar todos los árboles que se encontraran dentro de la clase vía, pues es la clase con la que se presenta interferencia. Para ello se utilizó el algoritmo **clasificación** en donde se utilizó como dominio **Image object level**, en el campo Level fue seleccionado el nivel de segmentación "Segundo" (1), también se debe seleccionar en **class filter** la clase "Vía" (2) esto con el fin de establecer a que clase se le desea hacer la clasificación, como tercer parámetro se debe seleccionar en el campo **Active Classes** la clase "Árbol" (3), ver ilustración 45. Para la determinación en la correcta detección de esta clase fue necesario utilizar funciones booleanas que permitieran extraer de manera óptima los objetos caracterizados como esta clase, ver ilustración 46.

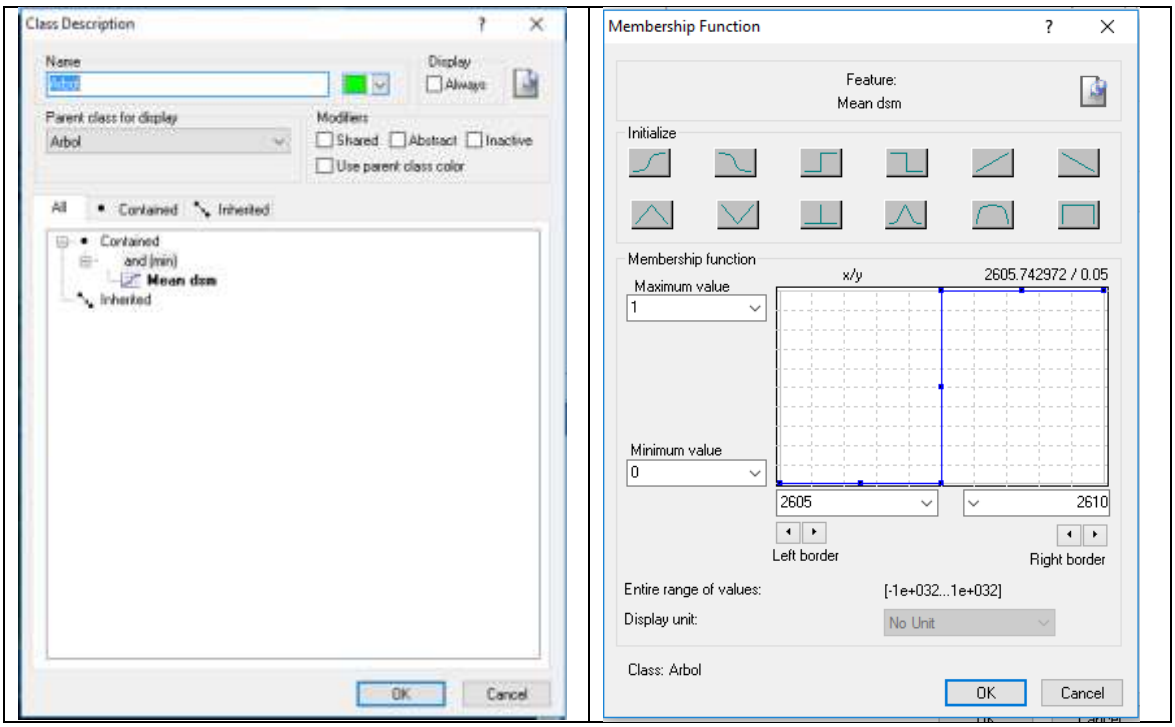


Ilustración 46 Parametrización Difusa de la Clase Arbol

Teniendo en cuenta que algunos objetos que correspondían a la clase árbol se clasificaron como vía se hizo necesario hacer la clasificación de esta clase árbol, se encontró que un parámetro significativo con respecto a los objetos de clase vía son la altura que contenga cada objeto es por esto que el parámetro escogido fue el DSM en donde se le asignó un intervalos abierto cerrado y cerrado abierto en el cual los valores menores 2607,5 no serán clasificado y los valores mayores a 2607,5 si serán clasificado como arboles lo anterior se estableció porque la copa de los árboles son los que le dan la altura a el objeto que los describe, a continuación se muestra los resultados de la clasificación, en la ilustración 47.

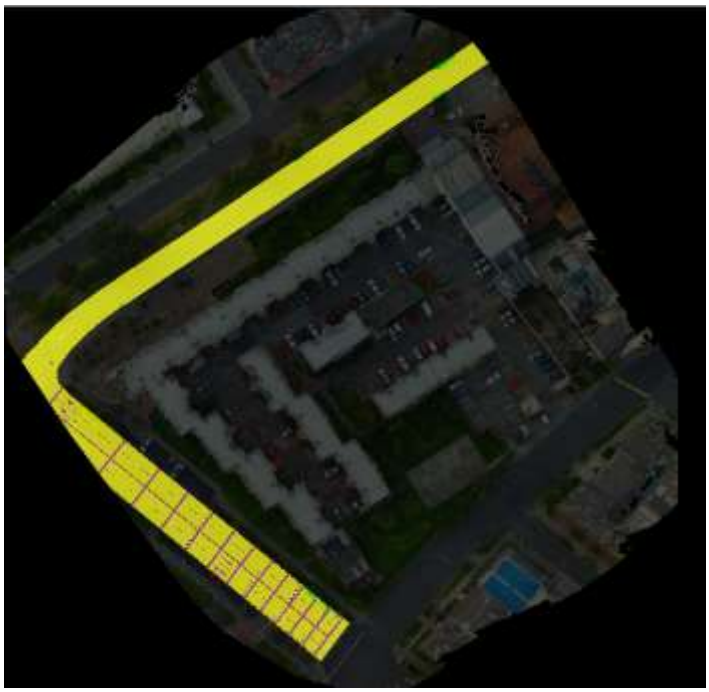


Ilustración 47 Clase Arbol

- Paso 5

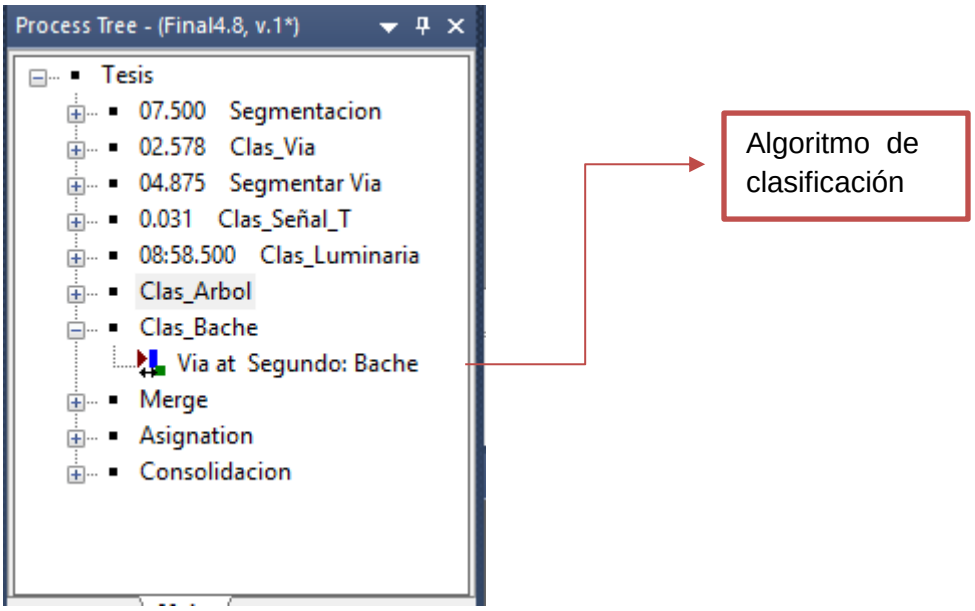


Ilustración 48 Creación de la Clase Bache

Para la clasificación de los baches fue necesario clasificar antes los demás objetos que pertenecían a la clase vía y a su vez causaban interferencia la clasificación de estos, pues para diferenciarlos se necesitaron parámetros como contraste, entropía, relación del borde del objeto con la vía y los valores espectrales en la banda de rojo, como se muestra en la ilustración 48.

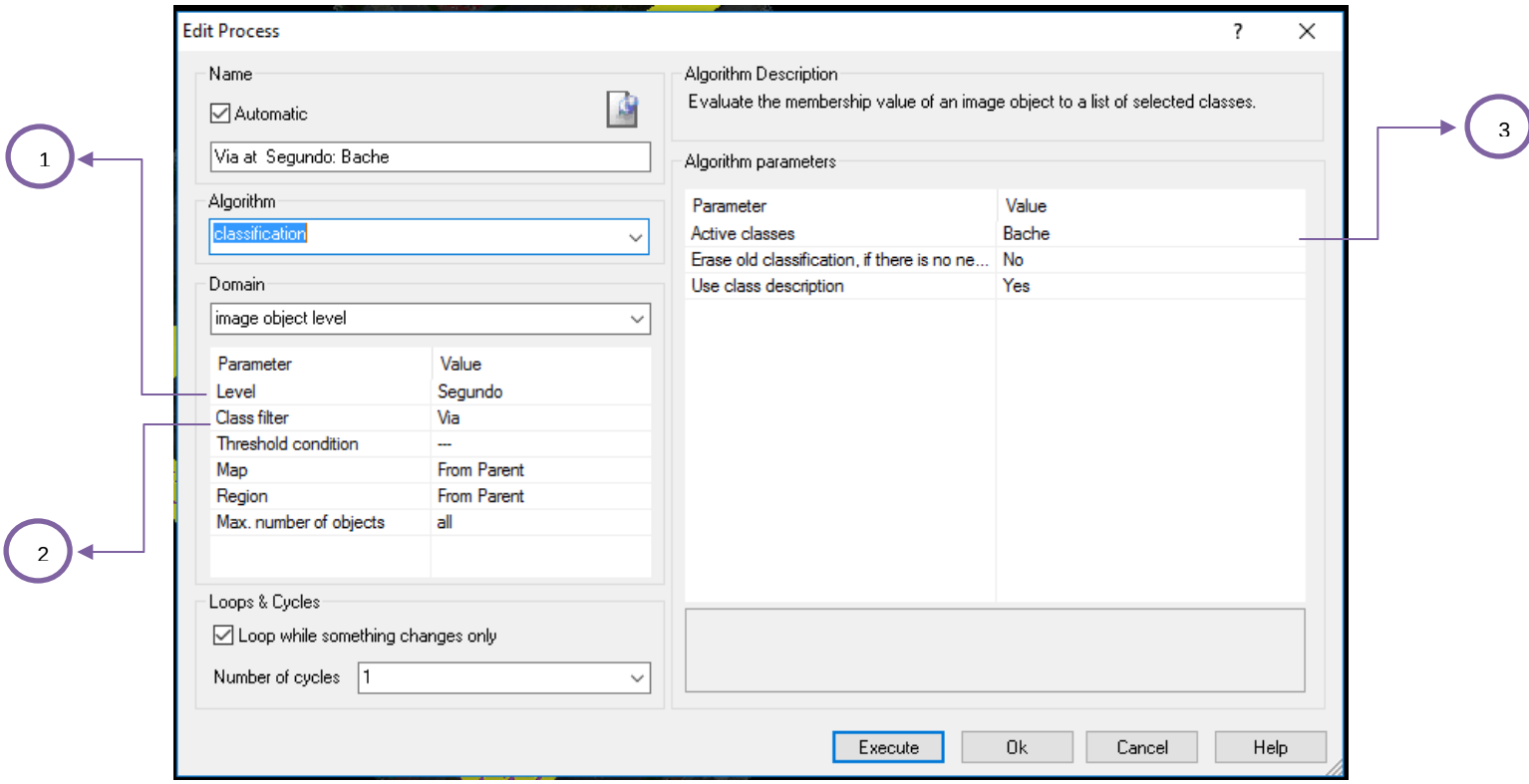


Ilustración 49 Clasificación de la Clase Bache

Para la detección de esta clase la cual es el objeto de estudio fue necesario utilizar el algoritmo **Clasificación** en el cual se trabajara la clasificación sobre el dominio **Image object level**, en campo Level se hace necesario elegir el nivel de segmentación "Segundo" (1) pues es allí en donde se encuentra la segmentación de la cual se generara la clasificación de baches para su detección, en el campo Class filter debe seleccionarse la clase "Vía" (2) pues es a partir de esta clase en la cual se encuentran contenido los objetos que identifican a los baches presentes en la vía por último se debe seleccionar en el campo Active classes la clase "Bache" (3) pues es esta clase a la que se quiere que se le asigne la clasificación ejecutada, ver ilustración 49.

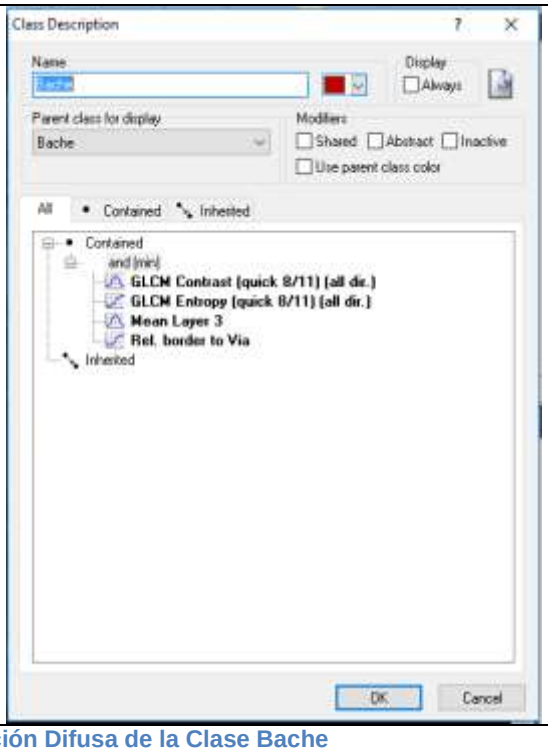


Ilustración 50 Parametrización Difusa de la Clase Bache

De acuerdo con lo anterior fue necesario la utilización de reglas booleanas que identificaron de manera eficaz los baches encontrados dentro de la vía, debido a que los baches presentan tonalidad distinta con respecto a la vía de la misma manera su variación espectral cambia respecto a la vía por esto las funciones booleanas de entropía, contraste y variación medias en la banda del rojo se hacen importantes, por otro lado como los baches se encuentran en el interior de la vía la relación borde del objeto con la vía generan valores altos en esta función booleana, ver ilustración 50.

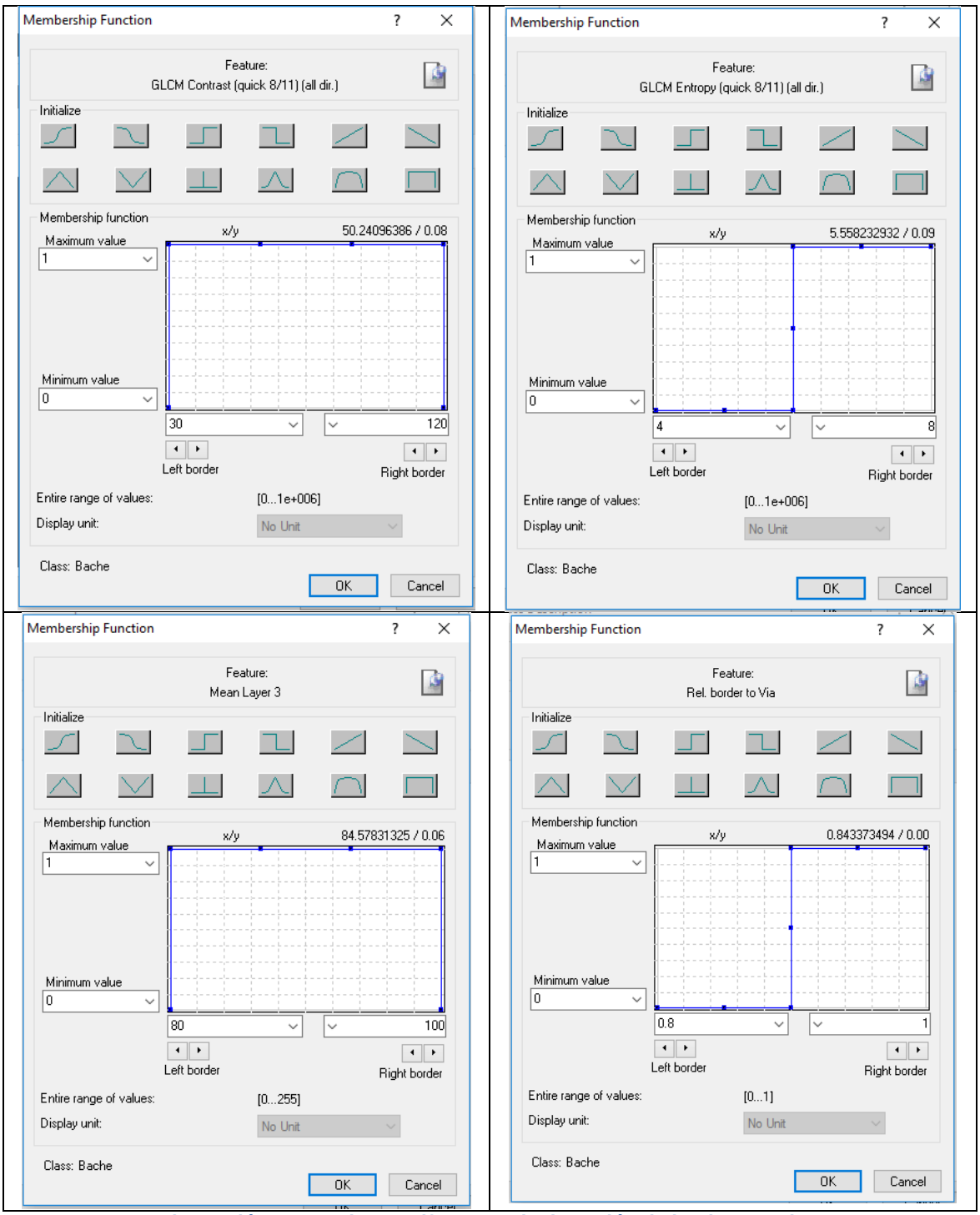


Ilustración 51 Funciones Difuas para la detección de la Clase Bache

Para la función booleana de contraste se estableció un intervalo cerrado de (30-120),de la misma manera se estableció un intervalo abierto cerrado y cerrado abierto en donde los valores menores a 6 no serán clasificado y los valores mayores a 6 serán clasificados, en cuanto a la variación espectral en la banda del roo se estableció un intervalo cerrado de

80 a 100 y finalmente para la relación borde objeto-vía se estable un intervalo abierto cerrado y cerrado abierto en donde los valores menores a 0.9 no serán clasificado y los valores mayores a 9 serán clasificados, ver ilustración 21. En esta clasificación se debe tener en cuenta que se deben cumplir todas las condiciones para que el objeto sea clasificado como Bache de lo contrario no será clasificado y se mantendrán en la clasificación de la cual es originaria, a continuación se presentan los resultados, ver ilustración 52.

Ilustración 52 Clase Bache

4.7 Exportación de Shapefile: resultado de Clasificación

Para la exportación de datos, E-Cognition permite una exportación en formato Shapefile de las clases asignadas a cada polígono segmentado y clasificado, esta exportación se realizó de la siguiente manera:

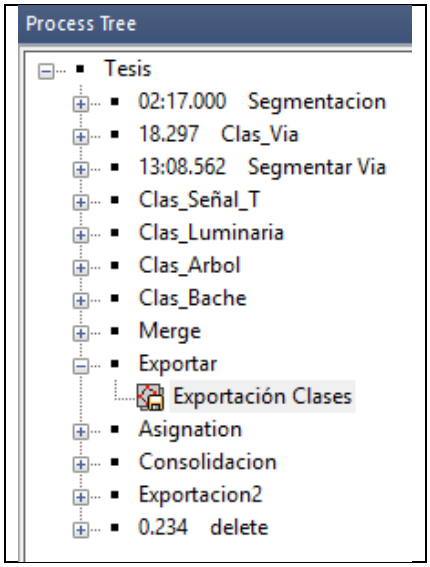


Ilustración 53 Creación de la Exportación

Para la exportación se hace necesaria la creación de un **execute child processes**, este nos permite poner el Child Process necesario para la ejecución de la exportación, ver ilustración 53.

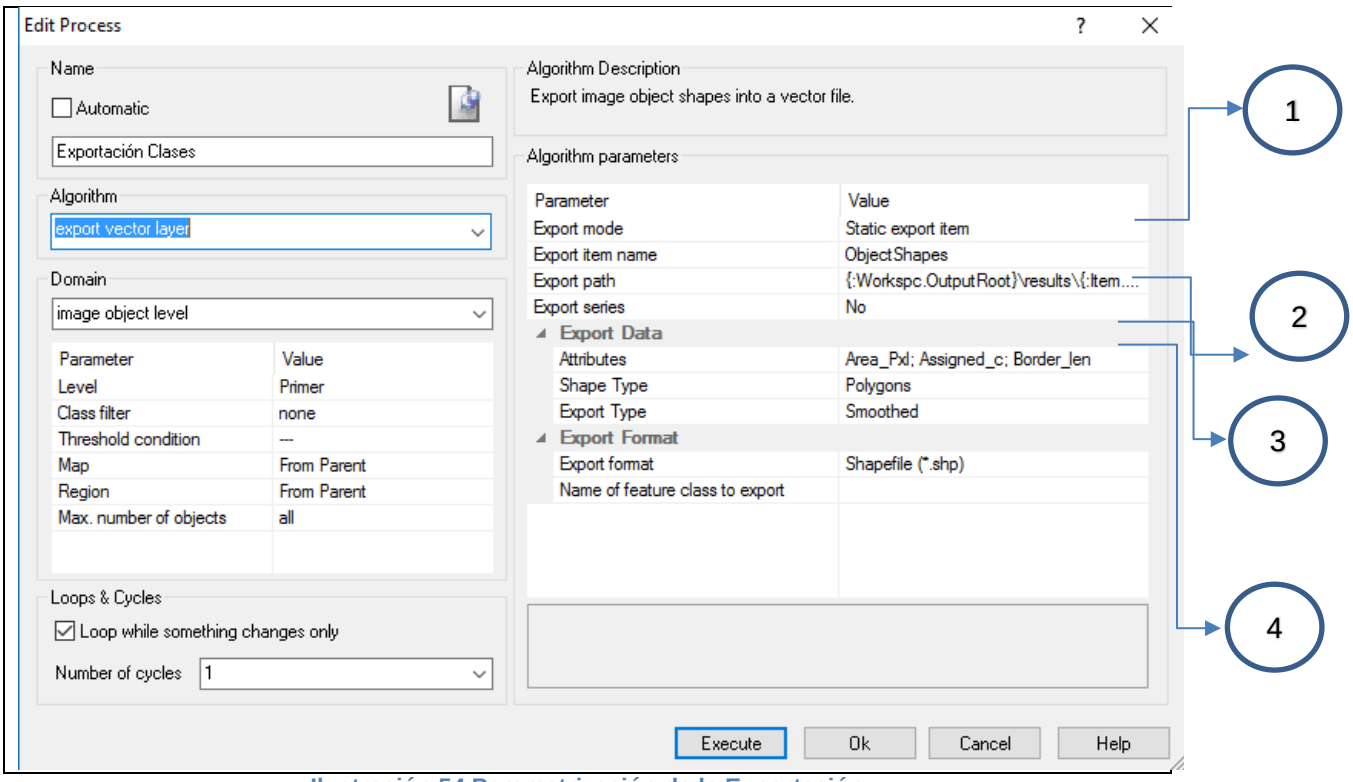


Ilustración 54 Parametrización de la Exportación

Para la generación del Shapefile se requiere que en el Algoritmo se escoja la Exportación de un Vector Layer, en (1) el sistema te dice que tipo de objeto estás exportando, como Object Name. (2) se hace e requerimiento de la carpeta o ruta a guardar, el software por defecto guarda el resultado en la carpeta donde se encuentren ubicados los insumos, sin embargo, si se requiere que sea otra ruta, el software lo permite solo pegando la ruta en la opción. (3) En este se escogen los parámetros a los cuales se les atributos que llevaran el Shapefile. Como se muestra en la ilustración 55:

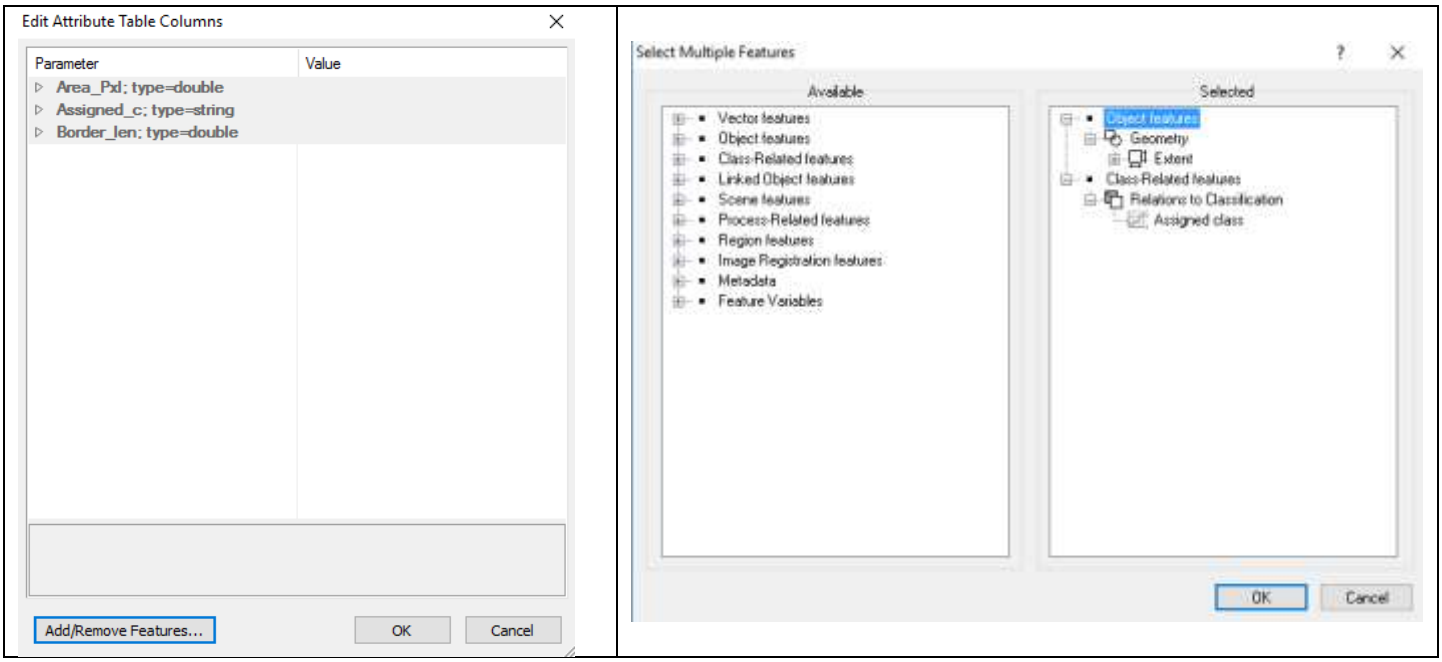


Ilustración 55 Selección de atributos para la exportación.

Así en las imágenes se pueden observar las variables que deben ir determinadas en el Shape file. (4) En este ítem se selección el tipo de geometría de salida, si se desea que las clasificaciones salgan, ya sea en Puntos, Líneas o Polígonos, en la ilustración 56 se evidencia el resultado

.

Ilustración 56 Exportación de Las Clases

5. Capitulo: Resultados:

El resultado de proyecto investigativo es una metodología para la detección de baches y huecos, la cual se explica de manera simple con el siguiente esquema, ver ilustración 57:

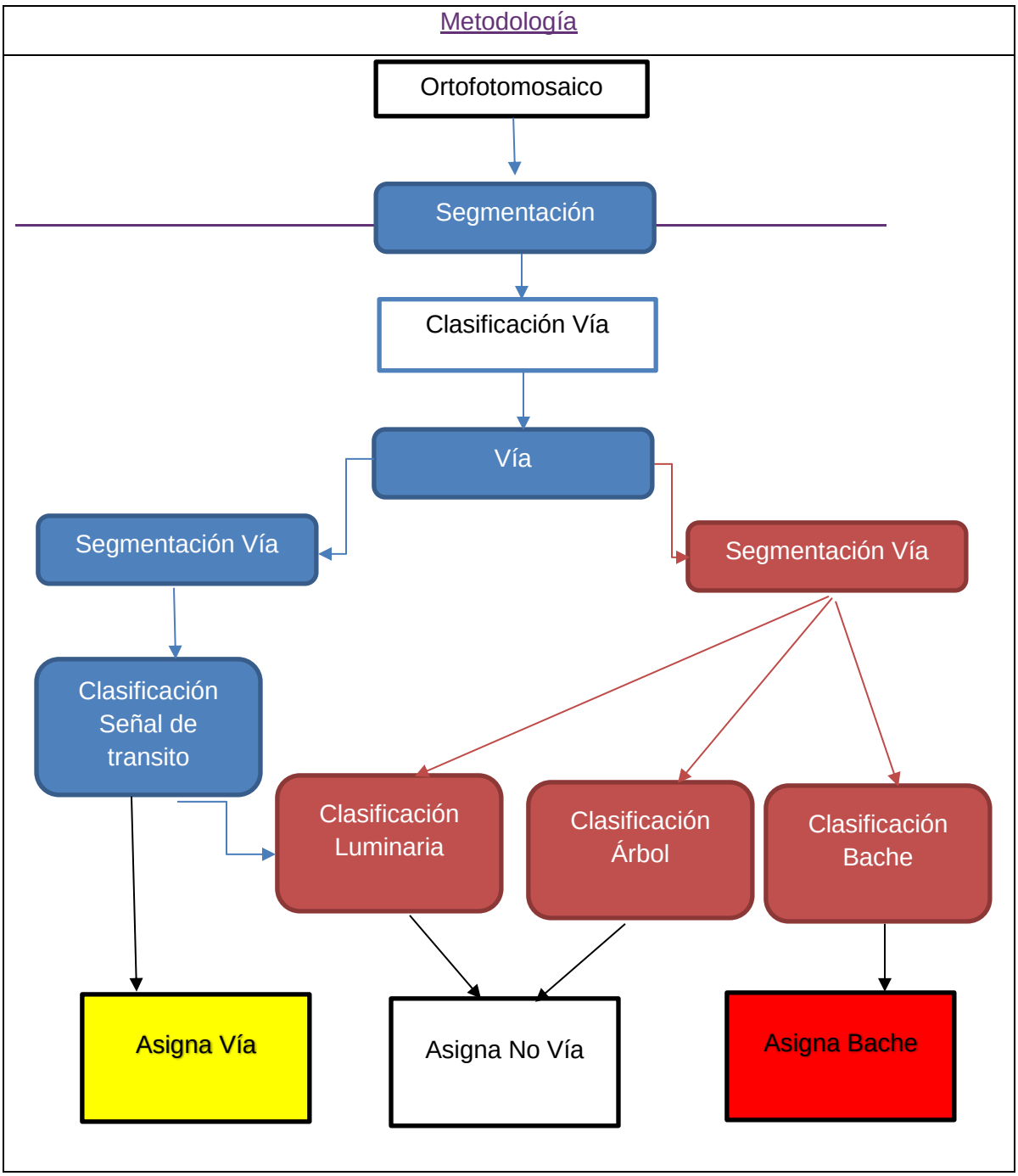
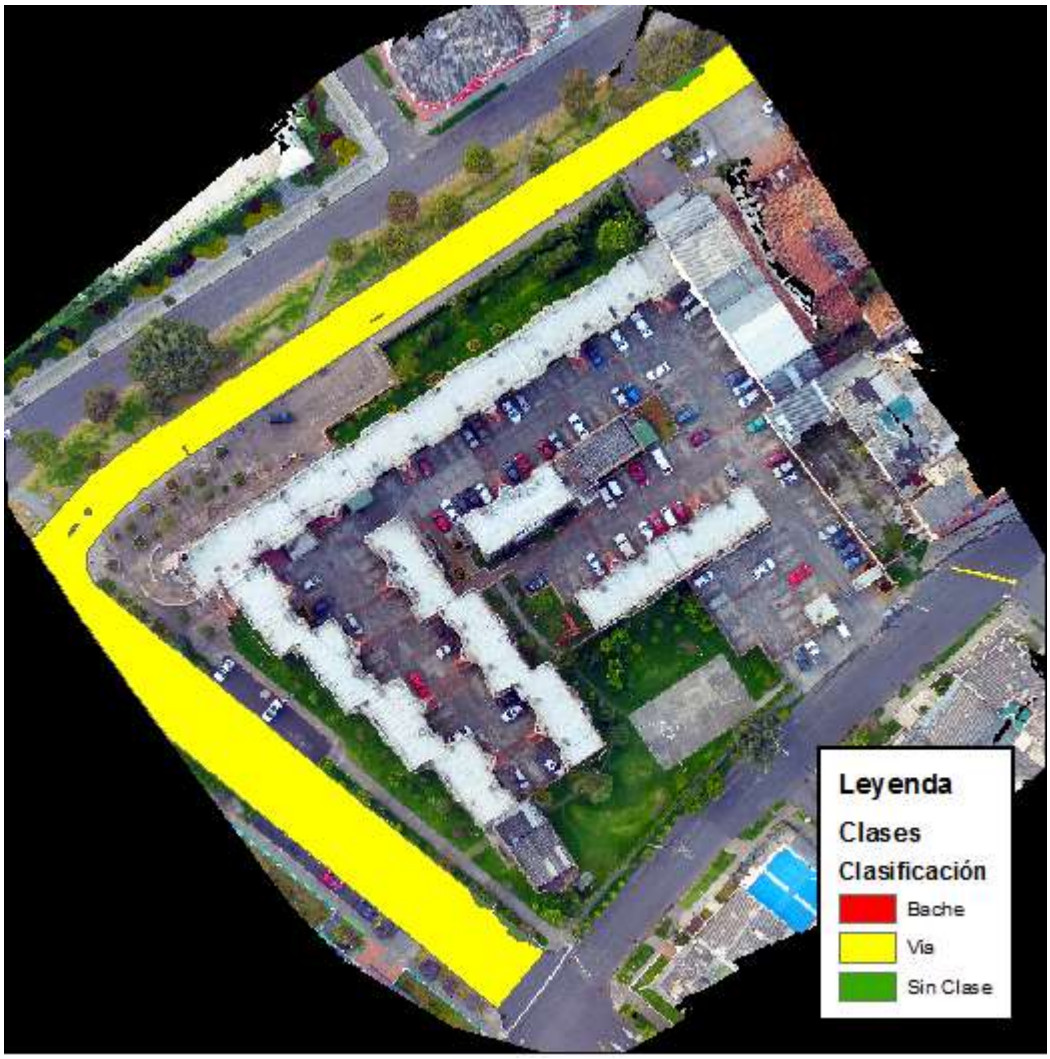


Ilustración 57 Esquema de Metodología para la determinación de Baches y/o huecos

6. Evaluación

La metodología se evaluó un área con diferentes estados de vía ubicadas en la ciudad de Bogotá, de ella resultó un resultado absoluto (en este se distinguen tres clases: Vía, Bache y sin calificación). A continuación, se presenta el resultado:

6.1.1 RESULTADO ABSOLUTO

Resultado


Análisis por Objeto

CLASE VÍA

Resultado

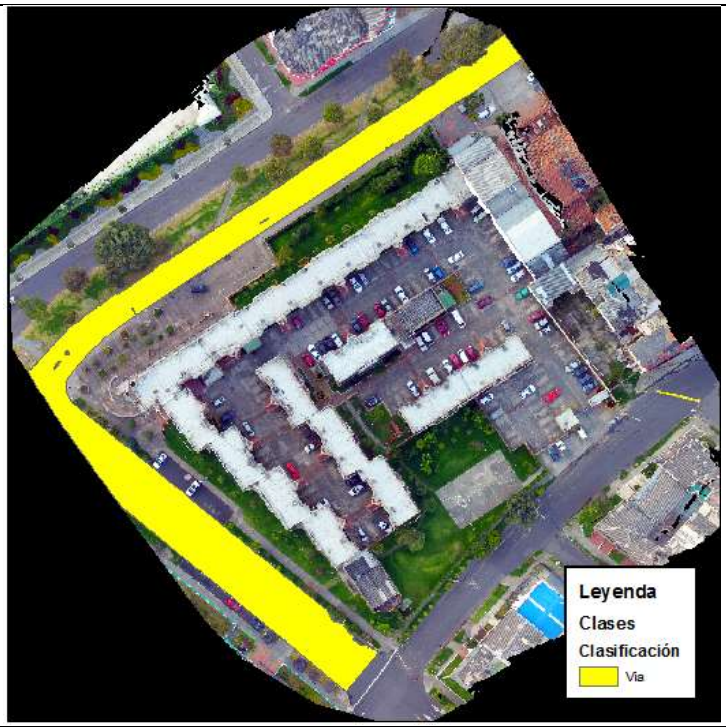


Tabla de Datos

Clase	Área m^2	% Vía Teórica
Vía	2298,9776	99,024%
Vía Teórica	2321,632103	100%

Análisis

En la imagen se observan dos tramos de vías sobre la carrera se encuentran las fallas de pavimento, mientras que en la carrera se encuentra una carretera en buen estado, debido a que lo huecos de la vía no son significativos, se obtiene que el área de la vía pertenece a un 99,024% (teniendo como base la vía teórica hallada a partir de los anchos de clasificación). Ya que los huecos no son representativos y la vía se encuentra en mediano estado, la detección de la vía se hace exitosa, teniendo en cuenta la reglamentación y la poca sobre posición de coberturas en la zona.

CLASE BACHE

Resultado

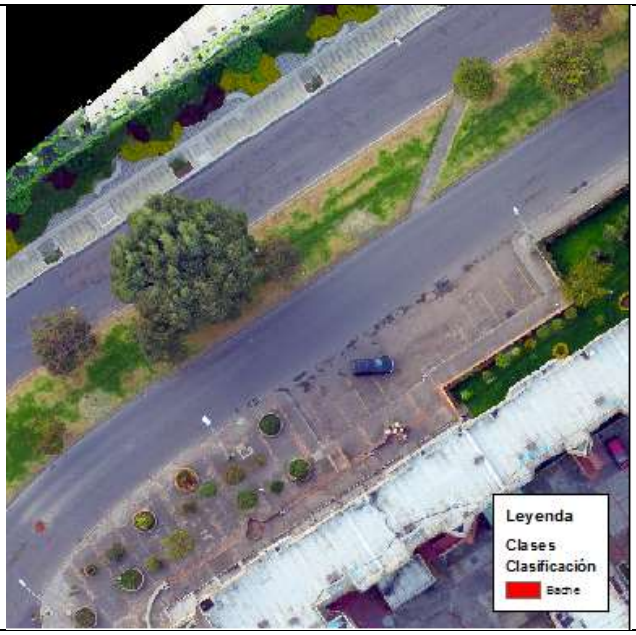


Tabla de Datos

Clase	Área m^2	% Vía Teórica
Bache	1,3737	0,059%
Vía Teórica	2321,632103	100%

Análisis

El área de baches representa menos del uno por ciento respecto a la vía total, sin embargo, teniendo en cuenta los metros cuadrados tener una vía con 1.37 m^2 de falla puede inferir el deterioro de la vía y también indica un estado regular, estos huecos a medida del tiempo van empeorando y pueden traer contraprestaciones para el estado de la vía, por consiguiente se analiza que aunque el área no es significativa respecto a la vial, representa el inicio de una degradación de pavimento, el cual se debe considerar y prevenir a tiempo.

CLASE SIN CLASE

Resultado

Tabla de Datos

Clase	Área m^2	% Vía Teórica
Sin Clase	21,28086035	0,917%
Vía Teórica	2321,632103	100%

Análisis

Para el caso específico la vía de la zona de estudio se puede observar que no presenta mayor cobertura diferente a Bache o a la misma vía, estas coberturas que no perteneces a ninguna de las dos las clasificamos como sin clase, que pertenecen a Árboles, postes, señales de tránsito etc. Se puede analizar que el 0.917% de la vía teórica o “dada por norma” presenta la intervención de estos elementos, en términos porcentuales no es significativa la aparición y no perjudican el estudio, ya que deja para el 99.083% para estudio, sin embargo, en términos numéricos representan 21 metros cuadrados de vías sin analizar, los cuales todos entran dentro de la posibilidad de tener huecos o baches. De esta manera, aunque no se hace significativo, es área que puede representar importancia en el estudio, que en realidad si representan muchos huecos o baches, como se observó en el análisis pasado los huecos de una vía en mediano estado representaban 1 metro cuadrado aproximadamente, estos 21 metros cuadrados pueden representar 20 veces el mismo y hablar de una vía en estado deplorable y con coberturas sobrepuestas que no permiten la detección de estos elementos.

7. Discusión y limitantes

7.1 Discusión

Se han encontrado estudios previos en donde GEOIBA busca obtener resultados en procesos automatizados para verificar la calidad de las vías teniendo en cuenta en su gran mayoría variación espectral y un análisis en el tiempo de los resultados, pero no se han encontrado estudios que tengan como objetivo detectar baches a partir de GEOBIA en zonas de interés.

El principal aporte de este estudio se basa en la generación de una metodología que atreves de un algoritmo automatizado busca solventar una necesidad de detectar los baches de una zona local de una manera rápida, masiva y con ayuda de la tecnología.

7.2 Limitantes

1. Dentro del desarrollo del proyecto se encontraron limitantes que hicieron generar nuevas alternativas para solucionar el problema inicial. Uno de los inconvenientes que tuvieron en el momento de la captura de datos surgió en el momento de volar el dron pues debido a la existencia de construcción el radio de acción del dron se reducía ampliamente, lo que ocasionaba que se debiera tomar tramos cortos para la toma de dato.
2. Otro limitante radica en las diferentes coberturas adicionales que existen en la zona de estudio, pues esto obstaculiza la eficiencia en la detección de los baches pues se podría confundir por variaciones en diferencia espectral y forma, como la existencia de cables aéreos.
3. En el caso árboles y carros que obstaculizan la detección de los baches, en algunos casos se puede editar, sin embargo en algunos, su edición altera el proceso eficiente de la metodología, con lo cual esta limitante podría llegar a ser incorregible.
4. Otro factor importante son las señales de tránsito que tienden a confundirse fácilmente con otras coberturas que como luminarias, en su gran mayoría por la diferencia espectral, por lo cual se busca que el traslape tanto longitudinal como transversal sea del mayor porcentaje posible.

5. Las diferencias espectrales entres pavimentos, en muchas ocasiones en la misma zona se han hecho re parcheos con lo cual se observaran pavimentos más oscuros y menos oscuros esto en el momento de hacer una detección automatizada genera inconvenientes de claridad en los límites de detección del objeto

8. Conclusiones y recomendaciones

8.1 Conclusiones

1. La Metodología resulta eficiente en el análisis detallado de las vías, las áreas de estudios son de una a dos manzanas y tanto la resolución espacial, esta metodología resulta eficiente en las áreas urbanas por la óptima detección de objetos, la segmentación de la vía como súper objeto permite tener una mayor precisión a la hora de la discriminación de varios objetos que se sobreponen en el área vial por razones de ángulo, volumen o área de ocupación.

2. La evaluación relativa permite revisar. Se llega a la conclusión que la metodología es más eficiente y la optimización del proceso es significativa en relación con tiempo y costos.

3. Teniendo en cuenta los respectivos análisis se puede determinar que la delimitación de la calzada vial a partir de normatividades y elementos técnicos permite optimizar los procesos de clasificación, ya que el área de interés está delimitada y permite concentrar a investigador o usuario de la metodología en las coberturas sobrepuestas en la zona, debido al paisaje, ángulo y tomas,

4. La base de la detección de los objetos se basa en un excelente vuelo y generación de Ortofotomosaico, debido a que las imágenes de muy alta resolución espacial como lo son las de Dron no tienen mucho campo espectral que permita jugar con los comportamientos de las firmas espectrales, este requiere ser lo más exacto en forma, tamaño y/o eliminación de objetos por orto rectificación.

8.2 Recomendaciones

I. Para futuros proyectos se recomienda tomar los vuelos de tal modo que las líneas de vuelo queden paralelas a las luminarias, ya que estas presentan gran dificultad en su detección, debido a sus características físicas muy similares a las de elementos elaborados en concreto.

II. Se recomienda hacer énfasis en el procesamiento de las imágenes, ya que el producto final dependerá principalmente de los insumos iniciales, así mismo la detección de los objetos depende de la calidad de estos insumos. Por ellos se recomienda hacer énfasis en la elaboración de los insumos.

III. Se recomienda seguir las características del vuelo especificadas en el proyecto, lo más cercano posible, ya que esté garantiza el éxito de la metodología, teniendo en cuenta estas condiciones son las adecuadas para el vuelo.

IV. Se recomienda hacer el procesamiento a su máximo detalle, con una nube de puntos Ultra densa que permita tener mayor precisión, del mismo modo, si se es necesario, reclasificar la nube de puntos corrigiendo puntos críticos de la Nube, que permitan establecer mejor un DSM lógico.

V. Se recomienda para futuras investigaciones tener en cuenta que las parametrizaciones de las variables deben ser moderadas, ya que una exhaustiva parametrización a partir de funciones difusas, hace correspondencia a casos particulares, la generalidad del algoritmo debe seguir parámetros normativos, y reglamentaciones que permiten la estandarización de diferentes elementos en el paisaje.

9.Bibliografía:

[1] C. E. Marrugo Martínez y others, “Evaluación de la metodología vizir como herramienta para la toma de decisiones en las intervenciones a realizar en los pavimentos flexibles”, B.S. thesis, Universidad Militar Nueva Granada, 2014.

[2] “Pavement Patching and Repair Christopher, C. (2013) - Buscar con Google”. [En línea]. Disponible en: https://www.google.com.co/search?q=Pavement+Patching+and+Repair+Christopher%2C+C.+(2013)&oq=Pavement+Patching+and+Repair+Christopher%2C+C.+(2013)&aqs=chrome..69i57j69i60l3.274j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8. [Consultado: 20-dic-2016].

[3] J. J. Hajek, W. A. Phang, G. A. Wrong, A. Prakash, y G. M. Stott, “Pavement Condition Index (PCI) for Flexible Pavements”, 1986.

[4] M. Herold y D. Roberts, “Spectral characteristics of asphalt road aging and deterioration: implications for remote-sensing applications”, *Appl. Opt.*, vol. 44, núm. 20, pp. 4327–4334, 2005.

[5] “Urban Flexible Roads Manual. Ireland Ltd, P. P. (2013). - Buscar con Google”. [En línea]. Disponible en: https://www.google.com.co/search?q=Urban+Flexible+Roads+Manual.+Ireland+Ltd%2C+P.+P.+(2013).&oq=Urban+Flexible+Roads+Manual.+Ireland+Ltd%2C+P.+P.+(2013).&aqs=chrome..69i57j69i60.174j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8. [Consultado: 20-dic-2016].

[6] M. R. Resende, L. L. B. Bernucci, y J. A. Quintanilha, “Monitoring the condition of roads pavement surfaces: proposal of methodology using hyperspectral images”, *J. Transp. Lit.*, vol. 8, núm. 2, pp. 201–220, 2014.

[7] G. Chen, G. J. Hay, y B. St-Onge, “A GEOBIA framework to estimate forest parameters from lidar transects, Quickbird imagery and machine learning: A case study in Quebec, Canada”, *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation*, vol. 15, pp. 28–37, 2012.

[8] S. d’Oleire-Oltmanns, I. Marzolff, D. Tiede, y T. Blaschke, “Detection of Gully-Affected Areas by Applying Object-Based Image Analysis (OBIA) in the Region of Taroudannt, Morocco”, *Remote Sens.*, vol. 6, núm. 9, pp. 8287–8309, sep. 2014.

[9] T. L. Evans y M. Costa, “Landcover classification of the Lower Nhecolândia subregion of the Brazilian Pantanal Wetlands using ALOS/PALSAR, RADARSAT-2 and ENVISAT/ASAR imagery”, *Remote Sens. Environ.*, vol. 128, pp. 118–137, ene. 2013.

[10] I. Dronova, P. Gong, y L. Wang, “Object-based analysis and change detection of major wetland cover types and their classification uncertainty during the low water period at Poyang Lake, China”, *Remote Sens. Environ.*, vol. 115, núm. 12, pp. 3220–3236, dic. 2011.

[11] J. Müllerová, J. Pergl, y P. Pyšek, “Remote sensing as a tool for monitoring plant invasions: Testing the effects of data resolution and image classification approach on the detection of a model plant species Heracleum mantegazzianum (giant hogweed)”, *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation*, vol. 25, pp. 55–65, dic. 2013.

[12] P. Verhagen y L. Drăguţ, “Object-based landform delineation and classification from DEMs for archaeological predictive mapping”, *J. Archaeol. Sci.*, vol. 39, núm. 3, pp. 698–703, mar. 2012.
[13] G. Chen y G. J. Hay, “An airborne lidar sampling strategy to model forest canopy height from Quickbird imagery and GEOBIA”, *Remote Sens. Environ.*, vol. 115, núm. 6, pp. 1532–1542, jun. 2011.
[14] M. Kim, M. Madden, y T. A. Warner, “Forest Type Mapping using Object-specific Texture Measures from Multispectral Ikonos Imagery”, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 75, núm. 7, pp. 819–829, jul. 2009.
[15] B. A. Baker, T. A. Warner, J. F. Conley, y B. E. McNeil, “Does spatial resolution matter? A multi-scale comparison of object-based and pixel-based methods for detecting change associated with gas well drilling operations”, *Int. J. Remote Sens.*, vol. 34, núm. 5, pp. 1633–1651, mar. 2013.
[16] C. de Madrid, “Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil”.
[17] G. Chmaj y H. Selvaraj, “Distributed processing applications for UAV/drones: a survey”, en *Progress in Systems Engineering*, Springer, 2015, pp. 449–454.
[18] I. Borra, P. Barragán, J. Manuel, J. Torres Sánchez, y F. López Granados, *Evaluación de la técnica de Resampling en imágenes UAV para la detección de malas hierbas mediante análisis OBIA*. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, 2015.
[19] C. M. Padilla, “DETECCIÓN DE OBJETOS EN IMÁGENES DIGITALES”.
[20] W. Barragan, A. Martinez, y P. Garzon, “Generación automática de cartografía para edificaciones, utilizando fotografías digitales aéreas verticales de alta resolución espacial y nubes de puntos LiDAR”, *Rev. Ing.*, vol. 0, núm. 42, p. 30, jun. 2015.
[21] R. Vicente y J. Jhojan, “Detección de personas y vehículos en imágenes tomadas desde un UAV”, *Pontif. Univ. Católica Perú*, ago. 2016.
[22] “DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS - Buscar con Google”. [En línea]. Disponible en: https://www.google.com.co/search?q=DETERIOROS+EN+PAVIMENTOS+FLEXIBLES+Y+R%C3%8DGIDOS&oq=DETERIOROS+EN+PAVIMENTOS+FLEXIBLES+Y+R%C3%8DGIDOS&gs_l=serp.3...1437002.1437002.0.1437176.1.1.0.0.0.0.0.0..0.0....0...1c.1.64.serp..1.0.0.NathpcidmOI. [Consultado: 20-dic-2016].
[23] H. A. Rahardjo y B. Karusi, “Risk Factors Affecting The Performance of Flexible Pavement in West Java Roads-Indonesia”, *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 11, núm. 16, pp. 8878–8881, 2016.
[24] M. PREGESBAUER, C. WEISE, y G. WILHAUCK, “Objektorientierte Landbedeckungsklassifizierung auf Basis von hochauflösenden photogrammetrischen Daten”, *Angew. Geoinformatik 2010*, 2010.
[25] R. Malik, R. Kheddam, y A. Belhadj-Aissa, “Toward an optimal object-oriented image classification using SVM and MLLH approaches”, en *New Technologies of Information and Communication (NTIC), 2015 First International Conference on*, 2015, pp. 1–6.
[26] G. J. Hay y G. Castilla, “Object-based image analysis: strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT)”, en *Proc. 1st Int. Conf. OBIA*, 2006, pp. 4–5.
[27] M. Gianinetto *et al.*, “OBIA ship detection with multispectral and SAR images: A simulation for Copernicus security applications”, en *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International*, 2016, pp. 1229–1232.

[28] G. Khadanga, K. Jain, y S. Merugu, “Use of OBIA for extraction of cadastral parcels”, en *2016 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 2016, pp. 2226–2230.
[29] M. Kim, T. A. Warner, M. Madden, y D. S. Atkinson, “Multi-scale GEOBIA with very high spatial resolution digital aerial imagery: scale, texture and image objects”, *Int. J. Remote Sens.*, vol. 32, núm. 10, pp. 2825–2850, 2011.
[30] “Clasificación basada en objetos (Object-Based Image Analysis – OBIA) – Geoinformacion”. [En línea]. Disponible en: https://geoinformacion.wordpress.com/2011/10/13/clasificacion-basada-en-objetos-object-based-image-analysis-obia/. [Consultado: 14-jun-2017].
[31] C. Li, S. Balla-Arabé, D. Ginhac, y F. Yang, “Embedded Implementation of VHR Satellite Image Segmentation”, *Sensors*, vol. 16, núm. 6, p. 771, may 2016.
[32] G. Fu, H. Zhao, C. Li, y L. Shi, “Segmentation for High-Resolution Optical Remote Sensing Imagery Using Improved Quadtree and Region Adjacency Graph Technique”, *Remote Sens.*, vol. 5, núm. 7, pp. 3259–3279, jul. 2013.
[33] G. Chen, G. J. Hay, y B. St-Onge, “A GEOBIA framework to estimate forest parameters from lidar transects, Quickbird imagery and machine learning: A case study in Quebec, Canada”, *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation*, vol. 15, pp. 28–37, 2012.
[34] “Segmentación 2.7.Chessboard | La clasificación orientada a objetos | Aprendiendo materiales”. [En línea]. Disponible en: http://learningzone.rspsoc.org.uk/index.php/Learning-Materials/Object-oriented-Classification/2.7.Chessboard-Segmentation. [Consultado: 07-nov-2016].
[35] “LEES Lab | Courses”. [En línea]. Disponible en: http://lees.geo.msu.edu/courses.html. [Consultado: 07-nov-2016].
[36] S. Crommelinck, R. Bennett, M. Gerke, F. Nex, M. Yang, y G. Vosselman, “Review of Automatic Feature Extraction from High-Resolution Optical Sensor Data for UAV-Based Cadastral Mapping”, *Remote Sens.*, vol. 8, núm. 8, p. 689, ago. 2016.
[37] N. L. S. Palomino y U. N. R. Concha, “Técnicas de segmentación en procesamiento digital de imágenes”, *Rev. Investig. Sist. E Informática*, vol. 6, núm. 2, pp. 9–16, 2009.
[38] “fuzzy_logic.pdf”. [En línea]. Disponible en: http://www.francky.me/doc/course/fuzzy_logic.pdf. [Consultado: 18-jun-2017].
[39] “139955152739491.pdf”. .
[40] “libro_fuzzy_logic.pdf”. [En línea]. Disponible en: http://sc.uaemex.mx/xose/html/clases/logica/articles/libro_fuzzy_logic.pdf. [Consultado: 18-jun-2017].
[41] “Teoremas y postulados del álgebra de Boole”. [En línea]. Disponible en: https://weblab.deusto.es/olarex/cd/UD/Puertas%20logicas_ES_final/teoremas_y_postulados_del_lgebra_de_boole.html. [Consultado: 25-jun-2017].
[42] “LogicaDifusa.pdf”. .
[43] “IDECA”. [En línea]. Disponible en: https://www.ideca.gov.co/. [Consultado: 11-may-2017].
[44] “Datumweb”. .
[45] “Trimble - Transforming the Way the World Works”. [En línea]. Disponible en: http://www.trimble.com/. [Consultado: 11-may-2017].