

20487034:TFG_MARIAELIPE_final.pdf

por Maria Elipe Gimeno

Fecha de entrega: 28-nov-2019 04:10p.m. (UTC+0100)

Identificador de la entrega: 1223294111

Nombre del archivo: ts_d9f35186-8f6a-4da7-a57f-f8075263366a_TFG_MARIAELIPE_final.pdf (9.97M)

Total de palabras: 13056

Total de caracteres: 71921



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

3

TRABAJO DE FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN GEOMÁTICA Y
TOPOGRAFÍA

Búsqueda de métodos para la
segmentación de imágenes radar
de los sensores
óptico WorldView-2 y radar
TerraSAR-X

AUTORA: Elipe Gimeno, María

TUTOR: RECIO RECIO, JORGE ABEL

Curso Académico 2019-20



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

AGRADECIMIENTOS

“Quiero expresar mi agradecimiento a mi tutor, D. Jorge Recio, por ser mi tutor y por su ayuda en la realización de este trabajo para poder llevarlo a cabo de la manera apropiada.

Gracias, de todo corazón a mi familia por estar siempre ahí apoyándome en todas las decisiones tomadas y en el apoyo recibido para realizar este trabajo.”



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

“El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante; no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecomillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía”

3 RESUMEN

La segmentación es un proceso en el que una imagen se divide en regiones homogéneas (regiones que no se solapan). El desarrollo de algoritmos para el procesamiento de imágenes ha llevado a cabo que su uso se haya extendido y se aplique en campos como la medicina, agricultura, arqueología, entre otros.

Con el desarrollo de sensores de alta resolución, el interés por los métodos de segmentación se ha hecho más popular y, con el desarrollo de los productos de software de procesamiento de imágenes, se obtienen resultados más precisos. Como, por ejemplo, Definiens Developer que permite tratar y manipular con facilidad las imágenes capturadas por los satélites.

Con tal de encontrar unos parámetros de segmentación óptimos, los cuatro softwares que se nombran a continuación son analizados y comparados: Definiens Developer, ERDAS Imagine, ENVI y Halcon. Esto permitirá conocer cómo funciona cada producto de Software y si existe similitud entre cada uno de ellos. Por tanto, la dificultad en comparar estos programas está en que cada Software tiene sus parámetros que difieren de un software a otro. Es decir, cada parámetro es único y depende de cada software en concreto.

El área de estudio de este trabajo es el aeropuerto de Stuttgart, Alemania. Esta área se divide en tres clases: Infraestructura, vegetación y área urbana (edificios). Para toda la zona de trabajo se usa una imagen óptica (WorldView-2) y una imagen radar obtenida como combinación de dos imágenes TerraSAR-X.

Con tal de corroborar los resultados de la segmentación obtenida para cada clase, estos serán representados en Matlab.

Palabras clave: pixel-based segmentation, Definiens Developer, ERDAS Imagine, Halcon, Matlab, Terra-SAR-X, WorldView-2.

ABSTRACT

Segmentation is a process in which an image is divided into homogeneous regions (regions that do not overlap). The development of algorithms for image processing has led to its widespread use and application in fields such as medicine, agriculture, archaeology, among others.

With the development of high-resolution sensors, interest in segmentation methods has become more popular and with the development of image processing software products, more accurate results are obtained. For example, Definiens Developer that allows easy image processing and manipulation of images captured by satellites.

In order to find optimal segmentation parameters, the following four softwares are analyzed and compared: Definiens Developer, ERDAS Imagine, ENVI and Halcon. This will allow to know how each Software product works and if there is similarity between each of them. Therefore, the difficulty in comparing these programs is that each Software has its parameters that differ from one software to another. That is to say, each parameter is unique and depends on each specific software.

The study area of this work is Stuttgart Airport, Germany. This area is divided into three classes: Infrastructure, vegetation and urban area (buildings). An optical image (WorldView-2) and a radar obtained as a combination of two TerraSAR-X images are used for the entire work area.

In order to corroborate the segmentation results obtained for each class, these will be represented in Matlab.

Keywords: pixel-based segmentation, Definiens Developer, ERDAS Imagine, Halcon, Matlab, Terra-SAR-X, WorldView-2.

Índice de Contenido

13	1. Introducción	10
	1.1 Objetivos del proyecto.....	11
	1.2 Motivación	11
	2. Teledetección	11
	2.1 Vista general	12
	2.2 Teledetección con satélites SAR.....	14
	2.2.1 Conceptos básicos / productos de imagen	14
	2.2.2 Terra-SAR-X.....	17
	2.2.3 Método CoVAmCoh	18
	2.3 Teledetección con satélites ópticos	23
	2.3.1 Conceptos básicos / productos de imagen	23
	2.3.2 WorldView-2.....	23
	3. Datos.....	25
	3.1 Área de ensayo	28
	3.1.1 SAR	28
	3.1.2 Óptica: Pancromática, multiespectral y Pansharpening.....	29
	4. Segmentación	31
	4.1 Conceptos básicos.....	31
	4.2 Definiens Developer	32
	4.3 ERDAS Imagine 2011	34
	4.4 ENVI 4.8.....	35
	4.5 Halcon 11.0	36
	5. Estudio sobre los métodos de segmentación.....	37
	5.1 Estrategia para la comparabilidad.....	38
	5.1.1 Resultados de la segmentación para datos SAR	43
	5.1.2 Resultados de la segmentación para datos ópticos	44
	5.2 Evaluación de las segmentaciones	45
	6. Discusión y resumen	49
3	7. Bibliografía	51

ÍNDICE DE FIGURAS DE LA MEMORIA

<i>Figura 1. Tipos de sensores en teledetección</i>	13
<i>Figura 2. Proceso para analizar imágenes basada en objetos</i>	14
<i>Figura 3. Principio básico de SAR</i>	15
<i>Figura 4. Principio de sistema SAR</i>	15
<i>Figura 5. Satélite radar TerraSAR-X</i>	17
<i>Figura 6. Satélite Worldview-2.....</i>	24
<i>Figura 7. Worldview-2 con 8 bandas espectrales y una banda pancromática 24</i>	
<i>Figura 8. Área de estudio</i>	26
<i>Figura 9 . Imagen con el método CoVAmCoh del sensor TerraSAR-X</i>	29
<i>Figura 10. Imagen multiespectral del sensor WorldView-2</i>	30
<i>Figura 11. Imagen pancromática del sensor WorldView-2.....</i>	30
<i>49Figura 12. Phansharpning de infraestructura, urbana y vegetación del área de estudio del sensor WorldView-2 con ERDAS</i>	31
<i>Figura 13. Imagen del comando de Segmentación con Definiens.....</i>	32
<i>Figura 14. Proceso de segmentación del algoritmo de multiresolución</i>	34
<i>Figura 15. Imagen del comando de Segmentación con ERDAS 2011.....</i>	35
<i>Figura 16. Imagen del comando de Segmentación con ENVI 4.8</i>	36
<i>Figura 17. Imagen del comando de segmentación con Halcon 11.0.....</i>	37
<i>Figura 18. Ejemplo de la gráfica circular con Matlab para la clase urbana con datos SAR</i>	46
<i>Figura 19. Imagen aclaratoria de los tipos de errores que se han detectado en Matlab.....</i>	47
<i>Figura 20. Segmentación ideal para el área urbana, infraestructura y vegetación.....</i>	

ÍNDICE DE TABLAS DE LA MEMORIA

<i>Tabla 1. Características de TerraSAR-X</i>	18
<i>Tabla 2. Significado de cada una de las bandas con el método CoVAmCoh</i>	19
<i>Tabla 3. Esquema de la interpretación de la imagen CoVAmCoh</i>	21
<i>Tabla 4. Imágenes de las clases infraestructura, área urbana y vegetación de la zona a analizar capturada por el sensor TerraSAR-X</i>	22
<i>Tabla 5. Características de Worldview-2</i>	25
<i>Tabla 6. WorldView-2 y bandas TerraSAR-X</i>	27
<i>Tabla 7. Imágenes de ejemplo de la representación de cada clase para una imagen óptica (Pansharpening).....</i>	28
<i>Tabla 8. Parametrización de la forma y compacidad de los datos ópticos y SAR</i>	38
<i>Tabla 9. Resultados de la imagen neutra usando los parámetros de forma y compacidad con el software Definiens.....</i>	40
<i>Tabla 10. Resultado de la segmentación de la imagen neutra con los software ERDAS, ENVI y Halcon</i>	42
<i>Tabla 11. Comparación de los parámetros de compacidad y forma con datos de la imagen neutra y SAR/óptica con Definiens</i>	43
<i>Tabla 12. Resultados de la segmentación con datos radar con cada software para cada una de las clases</i>	44
<i>Tabla 13. Resultados de la segmentación con datos ópticos para cada software para cada una de las clases</i>	45
<i>Tabla 14. Resumen en porcentajes de los resultados de Matlab con datos SAR y ópticos para todas las clases</i>	48
<i>Tabla 15. Leyenda de los significados de los resultados obtenidos con Matlab</i>	48
<i>Tabla 16. Resultado de las graficas de Matlab con Definiens, ERDAS y Halcon para datos SAR y ópticos.....</i>	49

1. Introducción

10

El desarrollo de los algoritmos que utilizan imágenes satelitales de alta resolución y los paquetes de software que se utilizan para tratar estas imágenes implica que el número de aplicaciones donde se emplea también esté creciendo. La tecnología de estos paquetes de software está aumentando de manera rápida, y por este motivo es importante conocer qué hay en el mercado y analizar los programas con tal de evaluar las ventajas y desventajas de los diferentes productos. En base a esto, puede ser de gran interés conocer qué software es adecuado para el proceso de segmentación teniendo en cuenta una serie de criterios. Los softwares que se van a analizar son: ERDAS IMAGINE, ENVI, Definiens Developer y Halcon.

Por otro lado, se utiliza el software Definiens Developer como guía con tal de encontrar los parámetros que mejor se acoplan a cada clase y después, poder compararlos al resto de paquetes de software. Los cuatro parámetros del software Definiens son: *parámetro de escala, peso de las bandas de la imagen, forma y compacidad*. El ajuste correcto de los parámetros del software permitirá que la segmentación sea mejor. Esto implica que puedan obtenerse unos parámetros tipo para cada clase (infraestructura, urbana, vegetación). Y así usarlos para futuras segmentaciones.

El tema de la segmentación de imágenes ha despertado el interés por encontrar la segmentación ideal y cada vez hay más artículos que tratan el tema de comparar diferente software como el de Srivastava. V. (2011), el cual compara tres programas diferentes de segmentación: ERDAS IMAGINE, ENVI y eCognition. Este artículo es interesante porque compara tres programas distintos y también investiga los parámetros de segmentación. Estos tres productos de software también se analizan en este proyecto. En otro artículo de interés de Chen.Z, (2012), realiza el análisis de las clases: Vegetación, agua, carretera, edificio y tierra. Para realizar la segmentación utiliza el software eCognition con el algoritmo de segmentación multiresolución. Los datos utilizados provienen del sensor óptico de WorldView-2, que también se utiliza en este trabajo. Ambos artículos ofrecen una interpretación del algoritmo de segmentación utilizado por cada software. Estos artículos son una referencia y una buena ayuda con tal de orientar este Trabajo Final de Grado.

1.1 Objetivos del proyecto

22

Este Trabajo Final de Grado tiene como objetivo principal encontrar los parámetros con los que se puedan lograr resultados óptimos de segmentación. Por esta razón, se recomiendan diferentes conjuntos de parámetros para cada clase (infraestructura, área urbana y vegetación). Los parámetros seleccionados también podrán utilizarse con otros datos como, por ejemplo, para otro aeropuerto. El segundo objetivo es la comparación y validación de diferentes productos de software. En base a esto, se identifican los parámetros correspondientes a cada software y dentro de lo posible, se interrelacionan entre sí.

El resultado permite comparar los resultados de la segmentación de datos ópticos con los obtenidos de segmentar datos radar. De esta manera también averiguamos para qué clase y para qué datos funciona mejor la segmentación.

1.2 Motivación

La principal motivación de este trabajo es el interés de conocer qué paquetes de software encontramos en el mercado con el fin de encontrar la segmentación más idónea para cada clase (infraestructura, urbana y vegetación). De esta manera poder establecer unos parámetros de referencia que faciliten la labor en futuras segmentaciones.

2. Teledetección

20

La teledetección es la ciencia que se ocupa de analizar y representar la información de la superficie de la Tierra. La información de las propiedades de los objetos se recopila sin necesidad de estar en contacto con el suelo (Prasad. S., Thenkabail, 2016).

Existen varios tipos de sensores que se dividen en dos grupos: activos y pasivos. Los sensores pasivos son los ópticos e infrarrojos y de microondas. En cuanto a los sensores activos diferenciamos entre Lidar y radar.

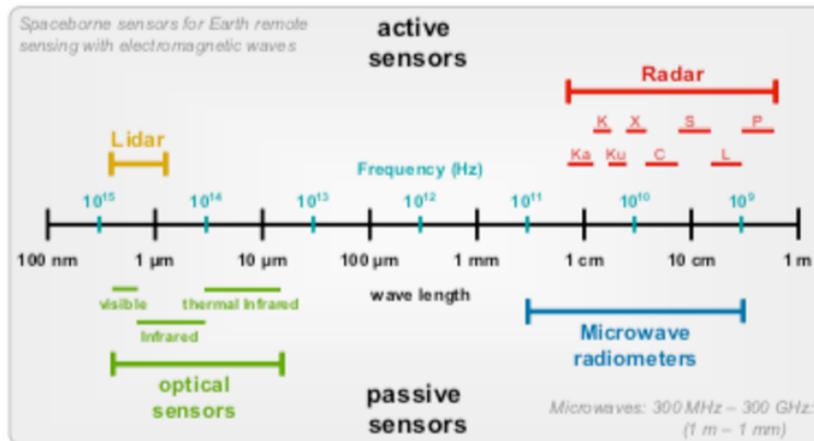
2.1 Vista general

Como se ha comentado anteriormente, los sensores están divididos en activos y pasivos. En el sensor pasivo, no posee una fuente propia de radiación, sino que la radiación proviene directamente del medio externo (por ejemplo, el sol). Aquí estos sensores recogen la energía electromagnética ya sea reflejada de los rayos solares o emitida a causa de su propia temperatura. Los sensores activos en cambio envían su propia energía generada artificialmente (ellos mismos), trabajando en bandas estrechas de alta longitud de onda. Estos sensores emiten radiación hacia los objetos donde se reflejada y es captada por el sensor (Lillesand, 2007).

El primer grupo de sensores son los sensores ópticos e infrarrojos. Los sensores pasivos de este grupo son multiespectrales, hiperespectrales y de alta resolución. Multiespectral es un multicanal que consiste en diferentes bandas espectrales. Los sensores de alta resolución (pancromático) sólo tienen una banda y esta banda contiene todo el espectro visible. (ver Figura 1). En cuanto al hiperespectral, sin embargo, registra imágenes con varios cientos de bandas sobre el espectro electromagnético. Otro tipo de sensores pasivos son los sensores de microondas. En este grupo encontramos los radiómetros. Un radiómetro es un sistema óptico-electrónico que transmite la radiación recibida en diferentes bandas. Estas bandas son convertidas por señales eléctricas en un número digital (ver Figura 1) (Moreira, A.,2013).

Por otro lado, entre los sensores activos está el lidar (Light Detection and Ranging). Este sensor utiliza un láser pulsado para calcular la distancia entre un objeto o superficie. Funciona de manera similar al radar (ambos son sensores activos) pero uno utiliza ondas de luz infrarroja y el otro, ondas de radio radar (Lillesand, 2007) (Moreira, A.,2013). En cuanto al radar distinguimos en espectrómetros, altímetros y SAR. Un espectrómetro mide la energía de microondas reflejada de la superficie. Los altímetros miden la altura de un objeto a una altura determinada. SAR (Synthetic Aperture Radar) utiliza ondas de radio para calcular la distancia entre un objeto o superficie (Moreira, A.,2013).

Types of Remote Sensing Sensors



2

Figura 1. Tipos de sensores en teledetección

Fuente: <https://earth.esa.int/documents/10174/642943/6-LTC2013-SAR-Moreira.pdf>

La información recogida por los sensores permite analizar mejor las propiedades de los objetos. Esta información es espacial, espectral, radiométrica y temporal. La resolución espacial es la resolución geométrica responsable de las propiedades de la forma y de la distribución entre los objetos. La resolución espectral "indica cuántos canales espectrales puede registrar simultáneamente un sensor". Se refiere al número y ancho de las bandas espectrales que pueden ser medidas por un sensor. Cuanto más estrechas sean estas bandas, más grande será la resolución espectral. La resolución radiométrica (o resolución dinámica) hace referencia al número de escala de grises. En cuanto a la resolución temporal, contiene la medida de frecuencia o la frecuencia con la que los satélites pasan por la misma zona (Prasad. S., Thenkabail, 2016).

Todo el proceso necesario para analizar una imagen basada en objetos consta de siete pasos individuales, desde la escena que representa el área a tratar hasta el resultado final (ver Figura 2). Este último incluye los resultados de todo el proceso, por ejemplo, mapas y gráficos. Partiendo de la escena, el primer paso es la adquisición de la imagen, en la que la imagen es capturada y corregida. A continuación, se procede al muestreo, en el que se registran ejemplos para cada clase, por ejemplo, para infraestructura, zona urbana y vegetación, que se utilizarán en los siguientes pasos. Luego se procede a la segmentación, que divide la imagen en diferentes regiones. A continuación, se extraen las características, donde se registran las propiedades espectrales y las características estructurales de los segmentos. Sobre la base de esta información, se realiza finalmente

la clasificación. Cada píxel se asigna a una de las clases anteriores. La imagen resultante y el material cartográfico, incluidos los metadatos, forman la evaluación (Ruiz, L.A., 2013).



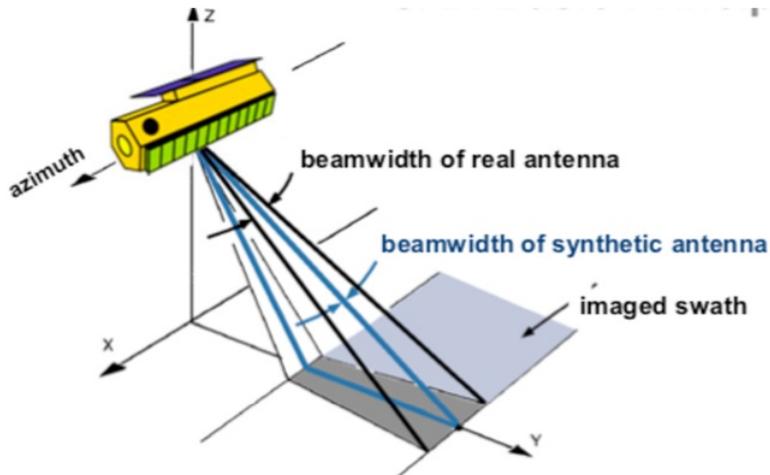
Figura 2. Proceso para analizar imágenes basada en objetos
Fuente: Ruiz, L.A. (2013). Interpretation of Remote Sensing Data

2.2 Teledetección con satélites SAR

Los satélites SAR son sensores activos. Es un sistema de pulsos de radar que utiliza longitudes de onda de 1mm a 1m. “El radar mide la amplitud (magnitud del eco reflejado) y la fase (posición de un punto en un momento concreto del ciclo de la onda)”. El radar sólo puede medir la parte del eco reflejada en dirección a la antena (retrodispersión)” (Podest, 2017).

2.2.1 Conceptos básicos / productos de imagen

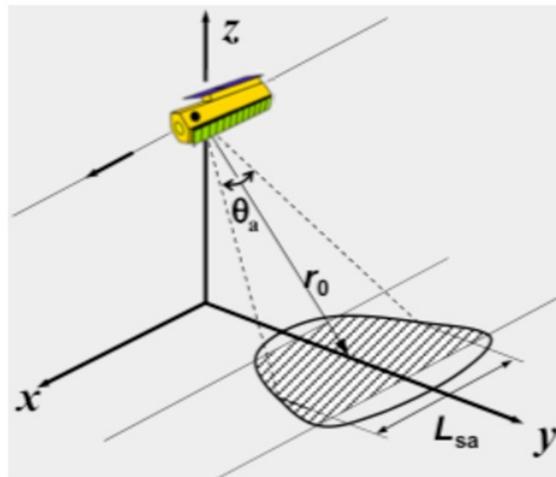
En cuanto al rango y resolución del acimut para un sistema radar diremos que la resolución del rango depende del ancho de banda o de la duración del pulso de la señal transmitida. La resolución del acimut depende del tamaño del acimut de la antena y aumenta con el alcance (Moreira, A., 2013). Se obtienen imágenes bidimensionales (azimut por rango de inclinación). La resolución del acimut es independiente de la distancia de alcance (Figura 3 y 4).



2

Figura 3. Principio básico de SAR

Fuente: <https://earth.esa.int/documents/10174/642943/6-LTC2013-SAR-Moreira.pdf>



2

Figura 4. Principio de sistema SAR

Fuente: <https://earth.esa.int/documents/10174/642943/6-LTC2013-SAR-Moreira.pdf>

La fórmula 1 corresponde a la longitud de la apertura sintética. Representa la distancia medida en el campo de la anchura del haz de la antena sintética. Su valor es la multiplicación entre la anchura del haz de la antena real y la distancia entre el satélite y el suelo r_0 .

$$L_{sa} = \theta_a * r_0 =$$
$$= \frac{\lambda}{da} * r_0$$

Fórmula 1. Longitud de la apertura sintética

En segundo lugar (fórmula 2), la anchura del haz de la antena sintética consiste en la distancia desde la antena real entre dos veces la distancia entre el satélite y el suelo:

$$\theta_{sa} = \frac{d_a}{2 * r_0}$$

Fórmula 2. Anchura del haz de la antena sintética

La resolución del acimut (fórmula 3) es la mitad de la distancia de la antena real:

$$\delta_a = \frac{d_a}{2}$$

Fórmula 3. Resolución de la fórmula δ_a

Las imágenes SAR consisten en una sola banda. Por lo tanto, una imagen SAR sólo puede verse como una imagen en escala de grises. Para generar una imagen RGB a partir de ella, es posible combinar diferentes datos de diferentes imágenes u otros sensores (Oliver, C., Quegan, S., 2004).

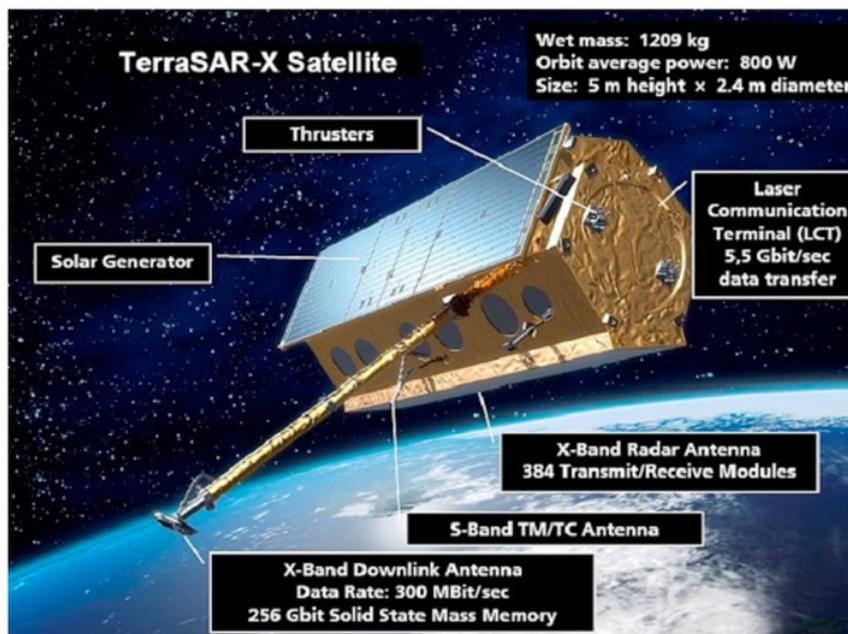
El radar trabaja con una baja emisión electromagnética de pulsos de energía y tiene la capacidad de medir el tiempo entre la emisión y la recepción de los pulsos de energía. Existen varias bandas de microondas: Ka, K y Ku; X-Band; C Band; S-Band; L-Band y P-Band, que se utilizan para diferentes aplicaciones (Moreira, A., 2013).

Las ventajas de su uso son la independencia en cuanto a las condiciones climáticas y en los horarios (diurnos y nocturnos). Además, la resolución geométrica es independiente de la distancia. Las imágenes SAR permiten la combinación de bandas para obtener nuevos productos. Esto significa que las imágenes SAR tienen información adicional en comparación con los sistemas ópticos (Moreira, A., 2013) (Prasad. S., Thenkabail, 2016). Las imágenes SAR requieren la eliminación del ruido en la imagen. Por lo tanto, el tratado es más complicado que en los satélites ópticos. En resumen, las imágenes SAR tienen muchas ventajas en comparación con las imágenes ópticas, pero su tratado y su visualización es más complicada y, por tanto, requiere más trabajo adicional con tal de obtener unos buenos resultados.

2.2.2 Terra-SAR-X

TerraSAR-X es un satélite alemán lanzado en Kazajstán el 15 de junio de 2007. La antena del satélite permite la adquisición de imágenes de radar de alta resolución. La dimensión es de 4,88 x 2,4 m y la altura de órbita es de 514 km (ver Tabla 1).

Este satélite consta de tres partes: *células solares*, *antena Banda-X*, *antena Downlink* y *antena Banda-X SAR* (Figura 5). La banda-X tiene 9.65 GHz y 31mm de longitud de onda y se utiliza para propósitos que requieren alta precisión, tales como aplicaciones militares. La banda-X contiene varios modos y polarizaciones con los que el radar puede trabajar: Modo Spotlight, modo Stripmap y modo ScanSAR. Las diferencias entre estos modos son principalmente la resolución y el rango que se registra. El modo Spotlight graba un área más pequeña y una resolución más alta que los otros modos. El modo ScanSAR graba grandes áreas, más largas y funciona a una resolución más baja (Lillesand, 2007).



11

Figura 5. Satélite radar TerraSAR-X

Fuente: <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/t/terrasar-x>

Lugar	15. junio 2007 Baikonur, Kazajstán
Dimensiones	4,88 * 2,4 m

Duración	Al menos 5 años
Peso al comienzo	1.230 kilogramos
Carga útil	Alrededor de 400 Kilogramos
Bandas de sensores	El sensor SAR de banda X funciona en tres modos y polarizaciones diferentes
Frecuencia del radar	9,65 gigahercios
Resolución	Resolución de acimut de 1 m, resolución de rango de 3 m, modo de 300 MHz (dependiendo del tamaño de la imagen)
Altura de la órbita	514 kilómetros
Ángulo de inclinación contra el ecuador	97,4 grados (sincronizado con el sol)

Tabla 1. Características de TerraSAR-X

Fuentes: http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10377/565_read-436/#/gallery/350

<http://www.bernd-leitenberger.de/terrasar.shtml>

2.2.3 Método CoVAmCoh

CoVAmCoh es un método utilizado con el fin de obtener una mejor interpretación de las imágenes SAR y fue desarrollado en Fraunhofer IOSB en Ettlingen, Alemania. Este método como veremos más adelante permite trabajar con dos imágenes o con una. Para este trabajo debido a que disponemos de dos imágenes radar capturadas en dos fechas distintas, trabajaremos con la combinación de ambas ya que sobrepondrán.

Este método se caracteriza por la representación de tres bandas diferentes: coeficiente de variación, amplitud y coherencia (Boldt, M., Schulz, K., 2012).

La primera banda, Coeficiente de Variación (CoV), contiene interpretaciones de la heterogeneidad local. La segunda banda, la amplitud, da información sobre la intensidad de la retrodispersión. La última banda, coherencia, representa estabilidad temporal (Boldt, M., Schulz, K., 2009). Las tres bandas están representadas en los canales rojo, verde y azul de la imagen resultante, como se muestra en la Tabla 2:

CoV (Coeficiente de variación)	Rojo	Localidad
Am (Amplitud)	Verde	Retrodispersión
Coh (Coherencia)	Azul	Estabilidad

Tabla 2. Significado de cada una de las bandas con el método CoVAmCoh

Fuente: Boldt, M., Schulz, K., (2009). *CoVAmCoh Analysis: A method to improve the interpretation of high resolution repeat pass SAR images of urban areas*, Research Institute for Optronics and Pattern Recognition (FOM), Ettlingen.

Referente a la fórmula de CoVAmCoh, a continuación, se explica cómo funciona cada una de las tres bandas de manera individual. La primera banda, (Fórmula 4 y 5) es el coeficiente de Variación (CoV) y representa la banda roja que contiene información sobre la heterogeneidad (localidad) y representa la medida estadística que se calcula sobre ambas imágenes de amplitud calibradas (Boldt, K., Schutz, K., 2009). Los exponentes $n \times m$ corresponden a las dimensiones de la ventana, como por ejemplo 5×5 :

$$CoV^{n \times m} = \left[\frac{\sigma}{\bar{x}} \right]$$

Fórmula 4. Coeficiente de variación (CoV) fórmula individual

$$CoV = \frac{CoV1^{n \times m} + CoV2^{n \times m}}{2}$$

Fórmula 5. Coeficiente de variación (CoV) en ambas imágenes de Amplitud Calibrada

La primera fórmula (fórmula 4) describe el cálculo de los valores de CoV de manera individual, correspondiente a la desviación estándar de los píxeles locales entre el valor local valor medio. La segunda fórmula (fórmula 5) describe el cálculo en ambas imágenes que fueron capturadas en fechas distintas (CoV1 y CoV2).

La segunda banda, la banda de amplitud, (ver fórmula 6) tiene la propiedad de retrodispersión, que consiste en valores complejos. Estos valores son la parte real (a) y la parte imaginaria (b). El resultado es la suma de los cuadrados de la parte real y la parte imaginaria (Boldt, M., Schulz, K., 2009).

$$Am = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Fórmula 6. Fórmula Amplitud

La parte real (a) es la primera banda y la imaginaria (b) es la segunda parte de la información de retrodispersión.

La tercera banda (fórmula 7) corresponde a la coherencia (Coh). Es el parámetro para evaluar la estabilidad temporal. Este parámetro se encuentra entre los valores [0;1]. El valor 0 significa decorrelación completa y el valor 1 significa correlación óptima. La fórmula contiene s_1 y s_2 , que corresponden a valores complejos medidos (Boldt, M., Schulz, K., 2009), (Boldt, M., Schulz, K., 2010):

$$Coh = \frac{\langle s_1 * s_2 \rangle}{\langle s_1^2 \rangle * \langle s_2^2 \rangle}$$

Fórmula 7. Fórmula de la Coherencia (Coh)

El método CoVAmCoh puede emplearse para analizar pares de imágenes. Esto permite, por ejemplo, la detección de cambios (entre ambas imágenes) facilitando la posterior clasificación y la visualización del terreno. En este trabajo se comparan dos imágenes de fechas distintas (la primera del 13.09.2013 y la segunda del 18.11.2013). La decorrelación se mide entre ambas imágenes.

La interpretación de la imagen compuesta RGB de CoVAmCoh se muestra en la Tabla 3 para todos los colores. Primero, el color rojo representa un área de sombra pequeña debido al alto Coeficiente de Variación (CoV). La vegetación se muestra en color verde debido a la dispersión del volumen (alta Amplitud, la baja CoV y Coherencia).

Además, el azul claro representa la alta Coherencia y la alta Amplitud como, por ejemplo, el techo de una casa. El azul oscuro corresponde, por ejemplo, a una instalación deportiva debido a su gran coherencia. Así como el color púrpura simboliza las vallas o barreras de seguridad debido a la alta CoV en combinación con la alta Coherencia, o en un edificio este color violeta se interpreta por una claraboya (Boldt, M., Schulz, K., 2010). Los colores amarillo y naranja representan estructuras artificiales tales como los espacios de estacionamiento para aviones en el aeropuerto debido al alto CoV (Coeficiente de Variación) y a la amplitud. El color blanco se interpreta por las vallas o farolas como consecuencia al alto CoV, Amplitud y Coherencia. Para terminar, el color oscuro representa una autopista (Autovía, Calle o camino) por el bajo Coeficiente de Variación, Amplitud y Coherencia (Boldt, M., Schulz, K., 2010).

Color	CoV	Am	Coh	Características CoVAmCoh-	Realidad
Rojo	Alto	Bajo	Bajo	Cambios locales con poca reflexión	Pequeña área de sombra
Verde	Bajo	Alto	Bajo	Áreas de dispersión de volumen	Bosque, matorral
Azul	Bajo	Bajo	Alto	Áreas permanentes con alto caudal de retorno	Zonas deportivas
Cyan	Bajo	Alto	Alto	Áreas permanentes con alto caudal de retorno	Tejados de edificios
Lila	Alto	Bajo	Alto	Permanete (local) de bajo retorno	Barandillas de seguridad
Verde	Alto	Alto	Bajo	Cambios locales de retrodispersión de luz	Objetos en movimiento (Coches, aviones)
Blanco	Alto	Alto	Alto	Persistente (local). Objetos reflectantes	Farolas, vayas
Negro	Bajo	Bajo	Bajo	Zonas sin radiación	Lagos, pistas de aterrizaje

Tabla 3. Esquema de la interpretación de la imagen CoVAmCoh

Fuente: Boldt, M., Schulz, K. (2009). CoVAmCoh Analysis: A method to improve the interpretation of high resolution repeat pass SAR images of urban areas, Research Institute for Optronics and Pattern Recognition (FOM), Ettlingen, Paper.

La representación de la imagen compuesta RGB de CoVAmCoh se muestra en la Tabla 4. La primera clase, Infraestructura, muestra en la imagen compuesta RGB de CoVAmCoh algunas zonas oscuras. Estos colores oscuros representan una carretera descrita por un bajo coeficiente de variación, amplitud y coherencia. A veces aparece un color violeta debido al alto CoV en combinación con una alta coherencia. Estos colores

interpretan, en este caso, un puente (Boldt, M., Schulz, K., 2011).

La segunda clase, la estructura urbana, por ejemplo, edificios, está representada en una imagen compuesta RGB CoVAmCoh principalmente en dos colores, en azul claro y también en violeta. El azul claro es creado por una alta coherencia y representa el techo de una casa. La estructura urbana corresponde a una claraboya y aparece en color violeta, lo que sugiere un alto CoV (Coeficiente de Variación). Al final de la tabla se muestra la clase Vegetación. Estos colores son el resultado de la alta amplitud y al bajo CoV y Coherencia.

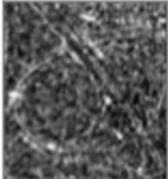
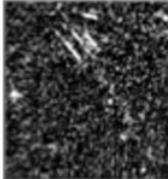
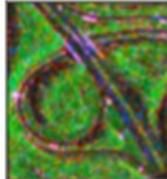
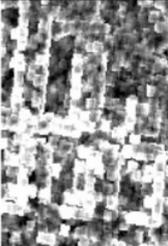
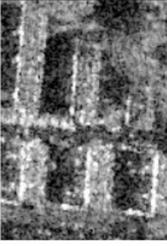
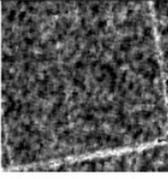
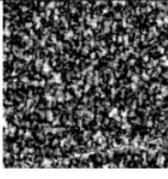
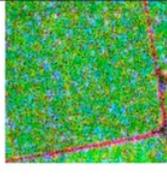
	CoV	Am	Coh	RGB
Infraestructura				
Urbano				
Vegetación				

Tabla 4. Imágenes de las clases infraestructura, área urbana y vegetación de la zona a analizar capturada por el sensor TerraSAR-X

2.3 Teledetección con satélites ópticos

2.3.1 Conceptos básicos / productos de imagen

El nombre de satélites ópticos se da a todos los satélites que trabajan en el espectro óptico. En este espectro se encuentra el rango de la longitud de onda entre 0,3 y 14 μ m. En este intervalo de longitudes de onda se encuentra la radiación UV (Ultravioleta), visible e IR (Infrarrojo) (Lillesand, 2007). Existen muchos satélites ópticos como, por ejemplo, Landsat, Quickbird, Mikonos, WorldView, etc. En este trabajo vamos a ver en detalle el satélite óptico WorldView-2.

2.3.2 WorldView-2

WorldView-2 (Figura 6) es un satélite óptico comercial de Digital Globe con una resolución muy alta. Fue lanzado desde la Base Aérea de Vandenberg el 8 de octubre de 2009. Este fue lanzado justo un año más tarde que su antecesor WorldView-1, que sólo cubre la banda pancromática. El rango espectral en el WorldView-2 está entre 0,450 y 0,800 μ m. WorldView-2 (ver Tabla 5) tiene unas dimensiones de 4,3 x 2,5 m y está situado a una altitud de 770 km. Tiene una resolución de 0,5 m en los canales pancromáticos y de 1,84 m en el canal multiespectral (WorldView-2 Satellite Sensor 2014).

El satélite contiene ocho bandas multiespectrales, incluyendo una de resolución pancromática. Tres de estas bandas representan los colores RGB: rojo, verde y azul. Además, también se utiliza el infrarrojo cercano 1 (NIR1). A parte de estas bandas, el WorldView-2 incluye las cuatro bandas: *Coastal, Yellow, Red edge y Near Infrared 2 (NIR2)*. Con estas bandas se detectan diferentes tipos de vegetación (WorldView-2 Satellite Sensor 2014).



Figura 6. Satélite Worldview-2

15

Fuente: <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-2/>

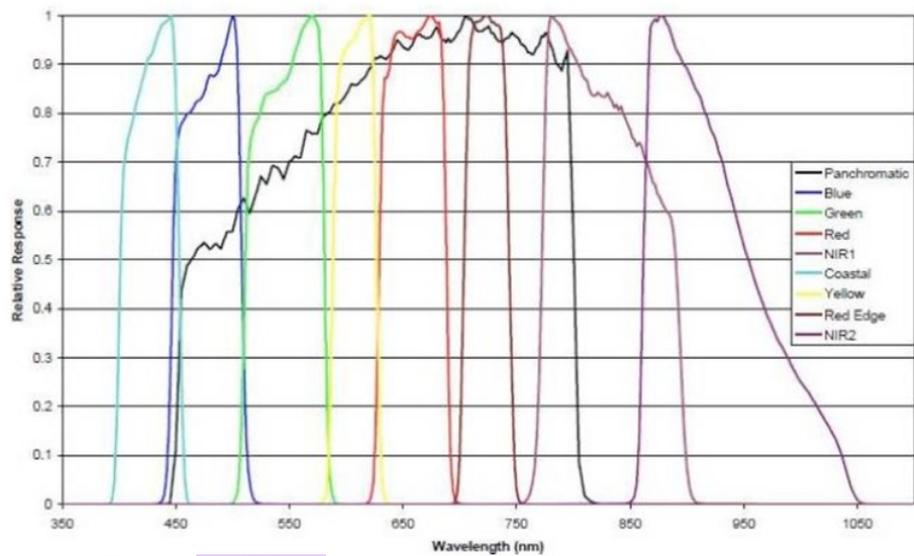


Figura 7. Worldview-2 con 8 bandas espectrales y una banda pancromática
Fuente: Digital Globe

Lugar	8 de octubre, 2009. Delta 7920
Dimensiones	4,3* 2,5m
Orbita	770 kilómetros
Duración	Mínimo 7 años
Bandas del sensor	Pancromático Multiespectral 8 (4 Color estándar: rojo, azul, verde, en el NIR), 4 colores nuevos: rojo fuerte, color marrón, amarillo, NIR2
Resolución del sensor	Pancromática: 0.46 m GSD en Nadir, 0.52 m GSD a 20 ° Off-Nadir Multiespectral: 1,8 metros GSD en Nadir, 2,4 metros GSD a 20 ° Off-Nadir

Tabla 5. Características de Worldview-2

Fuente: <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-2/>

3. Datos

Según observamos en la figura 8, los datos de este Trabajo Final de Grado corresponden a los del aeropuerto de Stuttgart, Alemania. Se localiza a 13 km al sur del centro de Stuttgart, concretamente entre las ciudades de Echterdingen y Filderstadt (Airport Fascination, 2019). La zona del aeropuerto se sitúa próxima al núcleo urbano residencial. Esta área se caracteriza por zonas de grandes extensiones de terreno y zonas forestales, así como algunas zonas urbanas (pueblos y otras ciudades más pequeñas). En cuanto a la infraestructura, el aeropuerto de Stuttgart está situado entre las Autovías A8 y la B27.



Figura 8. Área de estudio
Área de estudio. Fuente: Google maps.

Caracterización del color de la clase:

Referente al color, se analizan los diferentes aspectos. Como se ha explicado anteriormente, el satélite óptico WorldView-2 contiene ocho bandas multispectrales (ver tabla 5), cuatro de las cuales se utilizan específicamente para la detección de vegetación. En este contexto, el tipo de vegetación no es de interés. Por lo tanto, las bandas Coast, Red Edge y Yellow son ignoradas (ver tabla 6). En cuanto a la vegetación, se utiliza *Normalized Differenced Vegetation Index* (NDVI). La banda pancromática junto con la combinación de otras bandas se utiliza para las clases infraestructura y área urbana. El motivo de unificar esta capa pancromática a las otras capas es que permite una mejor calidad de imagen debido a su alta resolución (ver tabla 6).

Por otro lado, las imágenes del satélite radar TerraSAR-X se trabajan utilizando el método CoVAmCoh. Para segmentar la clase infraestructura se utiliza la amplitud y la

coherencia debido a que la infraestructura se caracteriza por su gran amplitud y baja coherencia. En cuanto a la clase urbana utiliza las tres bandas, es decir, el Coeficiente de Variación, Amplitud y Coherencia. Esto es a causa de que las estructuras urbanas muestran un alto coeficiente de variación y también una gran coherencia (detallado en la tabla 3 del segundo capítulo). Finalmente, las bandas Coeficiente de Variación y Amplitud se utilizan para la clase vegetación (ver tabla 6). Aquí la coherencia de la vegetación es muy baja debido a que el crecimiento natural de la vegetación entre dos adquisiciones (de las dos imágenes) reduce la coherencia (Boldt, M., Schulz, K. 2010).

	Optisch								SAR				
	Coastal	Blue	Green	Yellow	Red	Red Edge	NRI1	NRI2	PAN	NDVI	CoV	Am	Coh
Infraestructur		✓	✓						✓			✓	✓
Urban		✓	✓		✓				✓		✓	✓	✓
Vegetation										✓	✓	✓	

Tabla 6. WorldView-2 y bandas TerraSAR-X

Caracterización de la forma de la clase:

En cuanto a la forma, se analizan las diferentes bandas (ver Tabla 7). La forma es larga y estrecha para la clase de infraestructura. La situación es completamente diferente para la clase Urbana, donde es corta y ancha. Por último, la vegetación tiene una forma alargada y ancha.

Clases	Forma	Ejemplo Óptico
Infraestructura	Largo y estrecho	
Urbana	Corto y ancho	

Vegetación	Largo y ancho	
-------------------	---------------	------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 7. Imágenes de ejemplo de la representación de cada clase para una imagen óptica (Pansharpening)

3.1 Área de ensayo

En el área de trabajo se definieron tres clases: Infraestructura, Área Urbana y Vegetación. Estas tres clases fueron capturadas por dos sensores diferentes, WorldView-2 y TerraSAR-X. Los datos SAR corresponden al 13.09.2013 y 18.11.2013. De los datos ópticos, se capturaron dos imágenes en momentos diferentes, y sólo se utilizó la imagen correspondiente a la fecha del 24.08.2011.

Los ejemplos de la representación para cada clase se observan en la Tabla 4 (segundo capítulo) para los datos SAR y en la Tabla 7 para los datos ópticos. La clase de infraestructura representa a Autovías, carreteras comarcales y caminos rurales, donde el suelo está formado por asfalto y tierra. En SAR, la infraestructura se muestra con la combinación de colores violeta o azul oscuro. Sin embargo, en datos ópticos, la infraestructura se visualiza en tonos grises o marrón claro. La clase urbana representa por ejemplo el techo de una casa. En SAR estos colores se ven en tonos rosa, blanco y azul claro. Sin embargo, se visualiza para los datos ópticos en tonos rojizos. Por último, la clase vegetación representa a la hierba, árboles o campos. En SAR esta clase se muestra con colores verde claro pero, sin embargo, con datos ópticos, se visualiza en tonos marrones y verdes.

3.1.1 SAR

Los datos SAR (Figura 9) corresponden al área de coordenadas ($48^{\circ} 39' 4,5618''\text{N}$, $9^{\circ} 15' 36,1847''\text{E}$) y ($48^{\circ} 42' 29,9258''\text{N}$, $9^{\circ} 10' 20,9258''\text{E}$), que está más al sur que el área de la imagen óptica. Al no ser el área de estudio completamente igual, en la imagen SAR se observará más zonas urbanas respecto al área obtenida de los datos ópticos, la cuál plasma más vegetación (Figura 9 y Figura 10).

La representación de la imagen compuesta RGB de CoVAmCoh está detallada con cada una de sus clases en la Tabla 4 (en el segundo capítulo). La primera clase,

infraestructura, muestra el asfalto en colores oscuros. Estos colores oscuros corresponden a una carretera. La segunda clase, la estructura urbana como por ejemplo un edificio, se representa en dos colores: azul claro y también en púrpura. El azul claro representa el techo de una casa y el color púrpura corresponde a una claraboya. Al final de la tabla, la clase vegetación, queda representada por diferentes variaciones de verde.



Figura 9 . Imagen con el método CoVAmCoh del sensor TerraSAR-X

3.1.2 Óptica: Pancromática, multispectral y Pansharpning

Los datos ópticos (véase las figuras 10 y 11) capturados por el satélite WorldView-2, engloban una mayor región respecto a los datos capturados por TerraSAR-X ($48^{\circ} 40' 13,7119''N$, $9^{\circ} 17' 16,2428'' E$) y ($48^{\circ} 44' 56,5178''N$, $9^{\circ} 9' 45,9475'' E$). Por lo tanto, estos datos representan un área donde hay mucho bosque y pocas zonas urbanas (más al norte que el área de TerraSAR-X). El sensor es multicanal con diferentes bandas. La imagen mostrada en la Figura 11 es una imagen pancromática en blanco y negro con alta resolución.

Como ya se ha explicado en el capítulo sobre las zonas de muestra, los datos de la clase infraestructura corresponden a una carretera y se aprecia por su color grisáceo o en marrón claro como, por ejemplo, para visualizar los caminos de terreno en el campo. En cuanto a la clase urbana, se visualiza con colores rojizos y la clase vegetación, se

observa en tonos marrones y verdes.



Figura 10. Imagen multiespectral del sensor WorldView-2



Figura 11. Imagen pancromática del sensor WorldView-2

Para los ejemplos de cada clase, se crea una imagen de Pansharpening usando “Resolution Merge” de ERDAS (Figura 12). El Pansharpening es una técnica que aumenta la calidad de la imagen debido a que es el resultado de la combinación de una imagen multiespectral (baja resolución) y pancromática (alta resolución) (ERDAS tour

guide 2011). Por lo tanto, sólo se utiliza como imagen de referencia, pero no para hacer las segmentaciones.



Figura 12. Phansharping de infraestructura, urbana y vegetación del área de estudio del sensor WorldView-2 con ERDAS

4. Segmentación

4.1 Conceptos básicos

La segmentación es el proceso que se encarga de descomponer una imagen en varias zonas o regiones conforme a criterios de homogeneidad o heterogeneidad, basándose en ciertas características que permiten discriminar unas regiones de otras. En el contexto de analizar imágenes de satélites, el objetivo es obtener las características geográficas como la forma, la posición, tamaño, etc. (Prasad. S, 2016).

Existen distintos métodos de segmentación: Thresholding, basado en bordes y métodos basados en regiones. El método de Thresholding o de Umbral, es el método más simple y también el más común. Consiste en asignar a los píxeles categorías de acuerdo con el rango de valores que se encuentra un píxel. De esta manera existen fronteras entre las distintas categorías de píxeles. El método de Edge-based o método basado en bordes se basa en aplicar un filtro de bordes a la imagen y dependiendo de del resultado de la aplicación del filtro, los píxeles se clasifican como borde o no borde. Los píxeles que no están separados por un borde se asignan a la misma categoría. Por último, método de segmentación basados en regiones funcionan de forma iterativa agrupando los píxeles que son vecinos y tienen valores similares y dividiendo los grupos de píxeles que son diferentes en valor. Existen los siguientes subtipos en los métodos basados en regiones: crecimiento de regiones, fusión y división de regiones (Split and Merge). El crecimiento

de regiones comienza con píxeles individuales que se agrupan con píxeles vecinos, siempre y cuando cumplan los criterios morfológicos del grupo y no se supere un tamaño de umbral definido. Un ejemplo de ello es la llamada segmentación multiresolución. Los algoritmos de división y fusión dividen en subregiones regulares (por ejemplo, cuadrados), que a su vez se dividen hasta que se alcanza un grado definido de morfología. También hay algoritmos que utilizan una combinación de técnicas de división y fusión (Lillesand, Kiefer, Chipman, 2007) (Prasad. S, 2016).

4.2 Definiens Developer

Definiens es un software complejo de Trimble Navigation Limited en Múnich, Alemania. En este trabajo se utiliza Definiens como software guía, concretamente la versión empleada es la de Definiens Developer 7 (antes eCognition Developer).

Después de probar con diferentes algoritmos de segmentación en esta versión, se utiliza el algoritmo de multiresolución (Figura 13). Este algoritmo pertenece a métodos basados en regiones específicamente al algoritmo de crecimiento de regiones. El algoritmo de multiresolución “consiste en aplicar un procedimiento de optimización que minimiza localmente la heterogeneidad media de los objetos de una imagen para una resolución dada” (Definiens Developer User Guide, 2007).

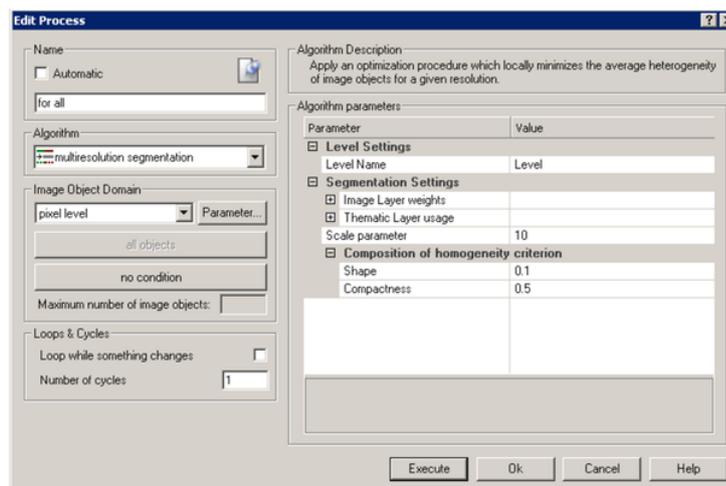


Figura 13. Imagen del comando de Segmentación con Definiens

El color y la forma se utilizan como base para calcular la heterogeneidad. Los parámetros que se pueden fijar en la segmentación son los pesos de las bandas de la imagen y el uso de capas temáticas. En cuanto al criterio de homogeneidad se determina con los parámetros de forma y de compacidad (Definiens Developer User Guide, 2007).

Los parámetros forma y compacidad contienen los parámetros suavidad y color. En versiones anteriores de Definiens Developer (eCognition Developer) es posible seleccionar estos parámetros, pero en la versión utilizada sólo se pueden seleccionar los parámetros Forma y compacidad. Los dos parámetros se presentan a continuación.

Las características del parámetro forma "evalúan la forma del objeto de la imagen en una variedad de aspectos y estas se calculan en función de los píxeles del objeto" (Definiens Developer Reference Book, 2007). El parámetro compacidad "optimiza los objetos de imagen resultantes en relación con la compacidad total con el criterio de forma" (Definiens Developer Reference Book, 2007). Esto significa que la compacidad conecta los objetos entre ellos y la forma define el tamaño del objeto.

⁹ El *parámetro de escala* define el tamaño de los objetos (Definiens Developer Reference Book, 2007). Por ejemplo, si el parámetro de escala es grande, los objetos también son grandes y viceversa. Por lo tanto, no se puede fijar el mismo parámetro de escala para todas las clases. Una de las razones de ello son los diferentes tamaños de los objetos de las clases que se están investigando. Por un lado, las clases vegetación e infraestructura están representadas por grandes objetos, por lo que el parámetro de escala que se fija es grande. Por otro lado, la clase urbana contiene pequeños objetos y como resultado, el parámetro de escala de la clase urbana se ajusta a un valor bajo (Definiens Developer User Guide, 2007). ³ En la figura 14 se representa la relación que existe entre los diferentes parámetros:

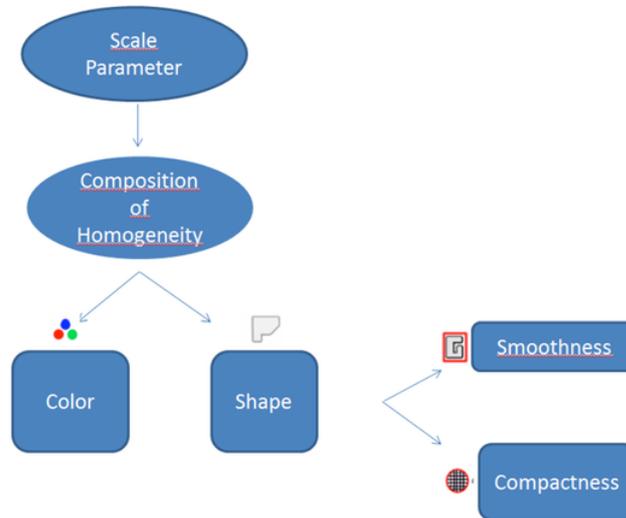


Figura 14. Proceso de segmentación del algoritmo de multiresolución

Fuente: Definiens (2007). *Definiens Developer 7 Reference Book*

4.3 ERDAS Imagine 2011

ERDAS IMAGINE 2011 es un producto de HEXAGON GEOSPATIAL. Es el Software que más se utiliza en la teledetección, especialmente para el análisis de imágenes. El algoritmo que utiliza es el de crecimiento de regiones. Este consiste en seleccionar píxeles aleatorios en la imagen y serán fusionados con los vecinos si el píxel y los vecinos son homogéneos.

El comando que utiliza esta versión de ERDAS 2011 es la función *Image Segmentation* (Figura 15). Como base para la segmentación se utiliza la función *Layer Stack* (apilamiento de capas), con la que se elige una a una las bandas utilizadas. El resultado de esta función es un único archivo que contiene las múltiples bandas seleccionadas. Esto muestra la posibilidad de añadir una banda varias veces. Esta propiedad es comparable a la de *peso de la capa imagen* del software Definiens.

Dentro del software están disponibles los diferentes parámetros de *intensidad*, *todas las capas*, *aplicar detección de bordes*, *diferencia de valor mínima*, *factor de varianza*, *encontrar bandas estrechas (find narrow strips)* y *tamaño mínimo*. Cuando se selecciona la intensidad, se calculan los valores medios (para todas las bandas). Con

el parámetro *todas las capas* se aplica automáticamente la opción de distancia euclídea. Esta distancia euclídea es importante ya que una manera que existe de calcular homogeneidades es a partir de esta distancia. El parámetro *diferencia de valor mínimo* afecta a las diferencias entre segmentos vecinos. El factor de varianza representa el cambio en el valor de los píxeles dentro del mismo segmento. Si se selecciona un valor grande, se reducirá el número de segmentos en las regiones homogéneas (ERDAS field guide, 2011). Como característica especial se puede seleccionar la función *find narrow strips*. Esta función podría ser interesante para el área de Infraestructura. Cuando está activado, las franjas de uno o dos píxeles de ancho se extraen como segmentos separados. De lo contrario, estos píxeles sólo se extraerán si el ancho es superior a tres píxeles (ERDAS field guide, 2011).

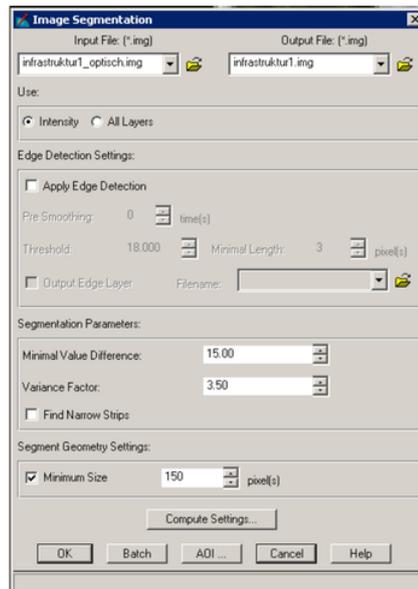


Figura 15. Imagen del comando de Segmentación con ERDAS 2011

4.4 ENVI 4.8

El software ENVI pertenece a Exelis Visual Information Solutions (Exelis VIS). La versión utilizada es la versión 4.8. Este software (Figura 16) se utiliza para el análisis y la visualización de datos (ENVI User guide 2008). En relación con la segmentación, ENVI utiliza el algoritmo thresholding o de umbral. Los objetos creados por ENVI son agrupaciones de píxeles, y a cada agrupación de píxeles se les asigna un identificador

empezando desde el 1 hasta el número máximo de objetos que se hayan creado.

Dentro del software se pueden modificar los diferentes parámetros valor umbral mínimo, valor umbral máximo, población mínima y número de vecinos. Los valores umbral mínimo y máximo consideran sólo los valores del rango correspondiente. La función Quick Statistics (estadísticas rápidas) devuelve un histograma de los valores de los píxeles correspondientes a cada clase. El parámetro de población mínima tiene el menor número de píxeles en un segmento (ENVI User guide 2008). En cuanto a la variable número de vecinos, se pueden seleccionar cuatro u ocho píxeles. En este caso, se seleccionan ocho píxeles. La diferencia entre escoger cuatro u ocho píxeles son los píxeles que toma como muestra. En caso de seleccionar cuatro píxeles cogerá los de arriba, abajo, izquierda y derecha. En cambio, si escogemos 8 píxeles tomará también las diagonales.

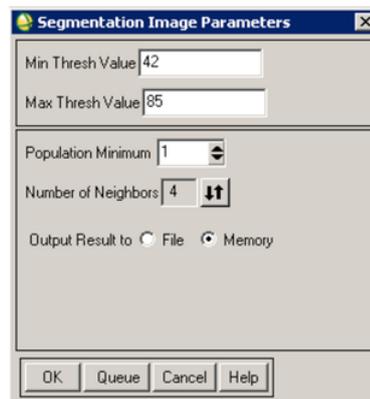


Figura 16. Imagen del comando de Segmentación con ENVI 4.8

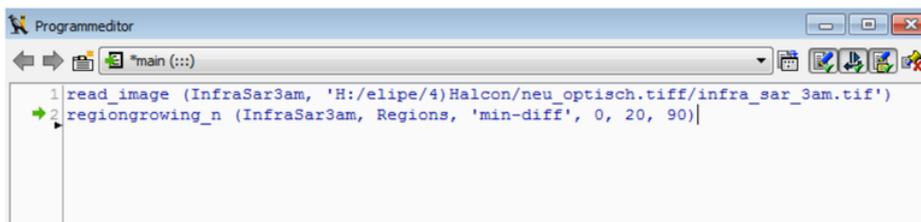
4.5 Halcon 11.0

Halcon es un software de MVTec Software GmbH, que se utiliza también para el procesamiento de imágenes. Halcon está especializado en varios productos de software. La versión utilizada para la segmentación de imágenes es Halcon 11.0 HDdevelop (Figura 17).

Para la segmentación, el algoritmo que emplea es el de crecimiento de regiones (region growing_n). Este método le permite trabajar con múltiples bandas al mismo tiempo

(todas las bandas unidas) que serán seleccionadas previamente con la función *apilamiento de capas* (Layer Stack). Esta función permite decidir con qué bandas se quiere trabajar. Los diferentes parámetros son métricos, tolerancia mínima, tolerancia máxima y tamaño mínimo. Esto permite la selección manual entre diferentes variables. En este caso se selecciona "min-diff" como parámetro y representa la distancia mínima. Es posible seleccionar el parámetro varianza como en ERDAS, pero en este caso no ha funcionado puesto que a la hora de seleccionarlo no se ha notado diferencia. Por otro lado, la tolerancia es una variable que solo está disponible en este software. Esta es el resultado de los valores umbral mínimo y máximo (Halcon. Reference Manual, 2011).

La región de crecimiento tiene otras dos variaciones: la región de crecimiento para una banda y la media de la región de crecimiento (Region growing_mean). Esta última usa la media de los valores de gris. A diferencia de la región growing_n, la media de la región de crecimiento analiza sólo una banda cada vez (Halcon. Reference Manual, 2011).



```
Programador
*main (:)
1 read_image (InfraSar3am, 'H:/elipe/4)Halcon/neu_optisch.tiff/infra_sar_3am.tif')
2 regiongrowing_n (InfraSar3am, Regions, 'min-diff', 0, 20, 90)|
```

Figura 17. Imagen del comando de segmentación con Halcon 11.0

5. Estudio sobre los métodos de segmentación

Entre todos los programas que se analizan en este trabajo se ha seleccionado Definiens como programa ejemplo para el análisis de los parámetros de segmentación. La razón que ha llevado a elegir este software respecto a otros es la amplia gama de opciones de parámetros que ofrece en comparación con otros productos. Definiens permite ajustar parámetros en cuanto a los criterios de homogeneidad como la variable de forma y de compacidad que se definirá para cada clase. Ambos parámetros son únicos de Definiens y proporcionan mejores resultados de segmentación que otros métodos. En Definiens se examinan cuatro parámetros: *peso de las bandas de la imagen, parámetro de escala, forma y compacidad*. Estos parámetros se prueban varias veces con valores diferentes (explicación de los parámetros en el tema 4). El resultado de la segmentación depende, por tanto, de la configuración de los parámetros. Una segmentación precisa

es el resultado de una configuración de parámetros optimizada incluida en cada software.

Después de varios ensayos de combinaciones de parámetros, se utilizan tanto para los datos SAR como para los datos ópticos los mismos parámetros de forma y compacidad que se recogen en la tabla 8. Estos parámetros son diferentes para cada clase. Debido al ruido de los datos SAR, los datos SAR con el mismo parámetro de escala muestran más sobre-segmentación que los datos ópticos. Referente al *peso de las bandas de la imagen*, se establecen diferentes ponderaciones para cada banda. Por un lado, a los datos ópticos de la banda pancromática (clase infraestructura y urbana) se les asigna un peso alto. La razón de esto es que la banda pancromática tiene una alta resolución espacial y por tanto, una mayor resolución de imagen facilita la detección de objetos. Por otro lado, los datos de radar en la banda de amplitud utilizan un peso alto. Mediante el uso de la banda de amplitud, se consigue una diferenciación entre las superficies planas. Si se asigna un valor alto a esta banda, la diferencia entre las diferentes superficies estará mejor definida (Definiens Developer Reference Book, 2007).

La Tabla 8 muestra los parámetros seleccionados para cada clase:

	Forma	Compacidad	Forma/ Compacidad	Parámetro de escala
			SAR& ÓPTICO	SAR& ÓPTICO
Infraestructura	Bajo	Muy alto	0,3/0,9	90
Urbano	Muy bajo	Alto	0,1/0,6	50
Vegetación	Alto	Bajo	0,6/0,3	90

Tabla 8. Parametrización de la forma y compacidad de los datos ópticos y SAR

5.1 Estrategia para la comparabilidad

Con el fin de comparar los diferentes paquetes de Software entre sí, se ha creado una imagen neutra (ver tabla 9) con PowerPoint donde se han añadido distintas formas geométricas. Con estas formas geométricas (cuadrados, rectángulos, círculos, etc.) se

ha pretendido imitar edificios, carreteras, rotondas, entre otras figuras. Se han creado tres capas, cada una para cada clase creada. La primera capa, junta la clase infraestructura y la urbana, interpreta carreteras, rotonda y estructura de edificios en un color gris. La segunda capa, representa la clase urbana e imita solamente la estructura de edificios de color gris oscuro. Por último, la clase vegetación, refleja la forma de arbustos y árboles de color gris claro (imágenes en la tabla 10). Para cada capa se crea una banda lo que implica un total de tres bandas representadas en varias tonalidades de gris.

La idea de esta imagen es obtener una visión general de qué parámetros son los más adecuados para cada clase ya que la misma imagen nos permite hacer una comparación para cada software. Por tanto, lo que interesa de esta imagen es la segmentación que creará con cada parámetro y analizar como reaccionará cada Software. Debido a lo diferente que son las imágenes creadas respecto a las imágenes obtenidas del satélite, la comparabilidad es limitada pero sí que nos sirve para orientarnos con los parámetros de segmentación para cada software.

La elección de los parámetros ha sido a raíz de hacer muchas pruebas e intentar buscar una similitud entre las variables de cada programa. Es por ello que hay parámetros que se han seleccionado con valores grandes que, según se ha analizado posteriormente, no ha sido la elección más apropiada.

Para comenzar con la segmentación, el primer software que se utiliza es el software Definiens y se hacen tres segmentaciones (ver tabla 9). La primera segmentación se realiza con los parámetros de forma 0,1 y compacidad 0,6. En cuanto a la segunda segmentación se usan los parámetros de forma 0,3 y compacidad 0,9. La tercera segmentación emplea los parámetros de forma 0,1 y compacidad 0,9. Los parámetros de forma y compacidad serán diferentes para cada clase. El resultado de la segmentación son líneas negras que dividen los diferentes objetos. Esto hace más sencillo identificar los objetos por fragmentos (de forma individual).

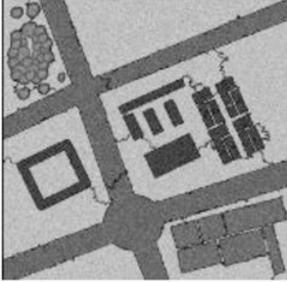
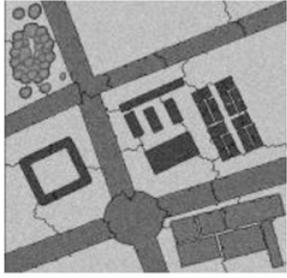
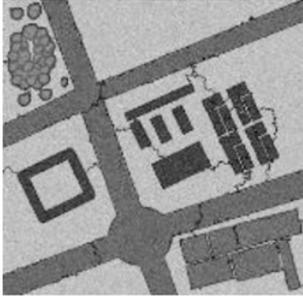
Software	Bandas	Parámetros Parámetro de escala: 120	Ejemplos (imagen creada)
Definiens Developer <i>Segmentación</i> <i>Multiresolución</i>	3 bandas	Forma: 0,1 Compacidad: 0,6	
		Forma: 0,3 Compacidad: 0,9	
		Forma: 0,1 Compacidad: 0,9	

Tabla 9. Resultados de la imagen neutra usando los parámetros de forma y compacidad con el software Definiens

Seguidamente, para el resto de los programas que son ENVI, ERDAS y Halcon se realizan varias pruebas con distintos parámetros, pero al final se determina solo una única segmentación usando todas las bandas a la vez (ver tabla 10). El software ENVI representa una segmentación que no tiene nada que ver con el resultado obtenido con otros métodos. Entre todos los parámetros que vimos que contiene el comando de la función de segmentación con ENVI (en el cuarto capítulo), nos centramos en los parámetros de número de vecinos y población mínima. El número de vecinos 8 y población mínima 120 (tabla 10). Los segmentos se representan como pequeños píxeles muy oscuros y grisáceos, debido a la paleta seleccionada.

Con ERDAS se selecciona finalmente una segmentación con la imagen creada usando los parámetros de tamaño mínimo 120 y varianza 3,50. En la variable de tamaño mínimo de ERDAS se ha seleccionado el mismo valor que se ha escogido para la población mínima de ENVI. Ambos programas emplean distintos algoritmos de segmentación y tal y como vimos en el cuarto capítulo cada variable por separado, estas dos variables tienen distintas funcionalidades dentro de cada software y por tanto, no se pueden comparar. La identificación de los segmentos se hace difícil por la paleta de colores escogida puesto que con tonos tan oscuros es difícil distinguir los segmentos.

El programa Halcon utiliza para la segmentación el algoritmo de crecimiento de regiones (explicado también en el cuarto capítulo). Con este software Halcon realiza una segmentación con la imagen creada usando los parámetros de tolerancia mínima 0, tolerancia máxima 20 y tamaño mínimo 120. En el resultado de la segmentación no se distinguen los diferentes segmentos. Cambiando la paleta de colores tampoco permite diferenciar de forma clara las diferentes regiones. Al igual que ocurre con el software ERDAS, el producto de la segmentación también presenta una imagen muy segmentada con gran diversidad de segmentos, pero a diferencia de Halcon, se distingue mejor las distintas secciones en la imagen. En Halcon la segmentación utilizando el parámetro *varianza* no funcionó. Sin embargo, la segmentación funcionó utilizando el parámetro *min-diff*. ERDAS dispone de una variable similar a *min-diff* que se llama *tamaño mínimo*. Las diferencias son que en ERDAS es posible seleccionar la cuantía de la diferencia de valor mínimo. Dentro de la versión empleada del software Halcon esta variable sólo puede ser seleccionada sin la posibilidad de ajustar el valor.

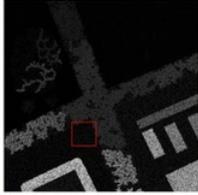
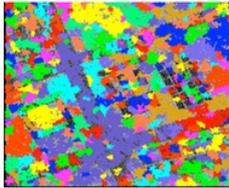
Software	Bandas	Parámetros	Ejemplos
ENVI Algoritmo: Threshold o umbral	Todas	· Número de vecinos: 8 · Población mínima: 120	
ERDAS Algoritmo: Segmentación imagen	Todas	· Tamaño mínimo: 120 · Varianza: 3,50 · Diferencia de valor mínima: 15	
Halcon Algoritmo: Crecimiento de regiones	Todas	· Tolerancia mínima: 0 · Tolerancia máxima: 20 · Tamaño mínimo: 120	

Tabla 10. Resultado de la segmentación de la imagen neutra con los softwares ERDAS, ENVI y Halcon

En cuanto a la relación entre la imagen creada respecto a las imágenes obtenidas del satélite, la comparabilidad es limitada pero sí que nos sirve para orientarnos con los parámetros de segmentación para cada software. La tabla 11 compara los parámetros de forma y compacidad de Definiens tanto para la imagen SAR y óptica (mismos valores para ambas imágenes) con relación a la imagen creada con PowerPoint. Los parámetros entre la imagen creada y las imágenes de satélites no son exactamente los mismos, pero son muy similares. Existen grandes diferencias en la clase vegetación. En

esta clase los valores del parámetro de forma son bajos y los del parámetro de compacidad muy altos.

	Parámetro Forma <i>Fuente: Imagen creada</i>	Parámetro Compacidad <i>Fuente: Imagen creada</i>	Parámetro Forma/Compacidad <i>Fuente: Imagen creada</i>	Parámetro Forma/Compacidad <i>Fuente: Datos SAR & Ópticos</i>
Infraestructura	Muy bajo	Alto	0,1/0,6	0,3/0,9
Urbano	Bajo	Muy alto	0,3/0,9	0,1/0,6
Vegetación	Muy bajo	Muy alto	0,1/0,9	0,6/0,3

Tabla 11. Comparación de los parámetros de compacidad y forma con datos de la imagen neutra y SAR/óptica con Definiens

Las imágenes SAR y óptica para cada una de las clases se han segmentado por separado pero las variables seleccionadas, para cada uno de los programas analizados, han sido siempre las mismas. Esto ha permitido comparar cómo funciona la segmentación para datos radar y cómo lo hace para datos ópticos.

5.1.1 Resultados de la segmentación para datos SAR

En cuanto a la segmentación con datos SAR utilizando el método CoVAmCoh hay que destacar que con el software ERDAS no ha funcionado ya que no se ha obtenido ninguna imagen interpretable. En general, los resultados de la segmentación con estos datos no han sido buenos debido a que ha habido muchos segmentos sobre-segmentados. Esto ocasiona que un fragmento de lo segmentado de la clase infraestructura englobe además fragmentos pertenecientes a otras clases como por ejemplo, de la clase ⁴vegetación. Esto es por tanto incorrecto ocasionando que las regiones se solapen. En la siguiente tabla se observan los resultados obtenidos para cada clase ⁴con cada uno de los cuatro programas:

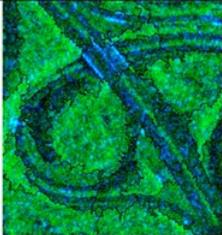
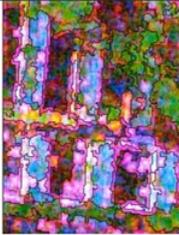
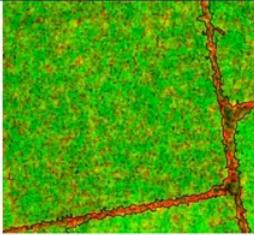
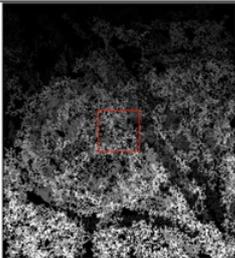
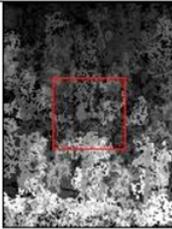
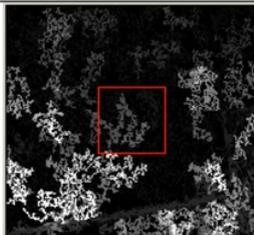
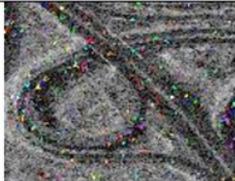
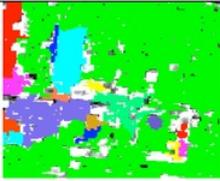
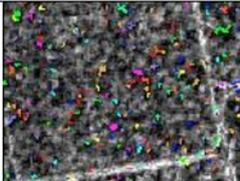
Segmentación para datos SAR			
Software	Clases: Infraestructura, Urbana, Vegetación		
Definiens Developer			
ERDAS	No funcionó. Sin imagen	No funcionó. Sin imagen	No funcionó. Sin imagen
ENVI			
Halcon			

Tabla 12. Resultados de la segmentación con datos radar con cada software para cada una de las clases

5.1.2 Resultados de la segmentación para datos ópticos

Por otro lado, en a la segmentación con datos ópticos se han conseguido por lo general, mejores resultados respecto a datos SAR utilizando el método CoVAmCoh. La segmentación con el software Definiens ha sido con el que mejores resultados se ha obtenido. Respecto al resto de programas, para la clase vegetación ha funcionado por lo

general bien debido a que los segmentos están mejor divididos en regiones homogéneas con menos solapamiento respecto a otras clases. Los resultados se contemplan en la siguiente tabla:

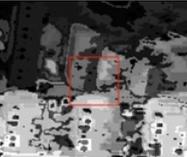
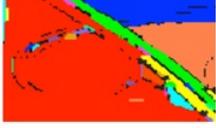
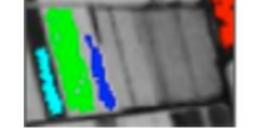
Segmentación para datos ópticos			
Software	Clases: Infraestructura, Urbana, Vegetación		
Definiens Developer			
ERDAS			
ENVI			
Halcon			

Tabla 13. Resultados de la segmentación con datos ópticos para cada software para cada una de las clases

5.2 Evaluación de las segmentaciones

El programa Matlab se ha empleado para corroborar la elección de los parámetros seleccionados. Visualmente se obtiene una gráfica con Matlab para cada clase y para cada software que aparte de confirmar la elección de los parámetros también muestra para qué programa funciona mejor la segmentación. La imagen de entrada que cargamos en Matlab es el fragmento de imagen SAR o óptica que seleccionamos al principio como referencia para cada clase. Ahí seleccionamos el fragmento o

fragmentos que queremos analizar. Para cada clase seleccionaremos siempre las mismas secciones para que los resultados sean lo más similar posible y sea una comparación fiable. Después se cargará el archivo de evaluación que se basa en la comparación entre el segmento de referencia (creado anteriormente) y la imagen segmentada. El resultado es un gráfico circular dividido en tres partes: píxeles de referencia no segmentados, píxeles erróneamente segmentados y píxeles correctamente segmentados. Como, por ejemplo, la gráfica circular obtenida de los resultados de la clase urbana con datos SAR:

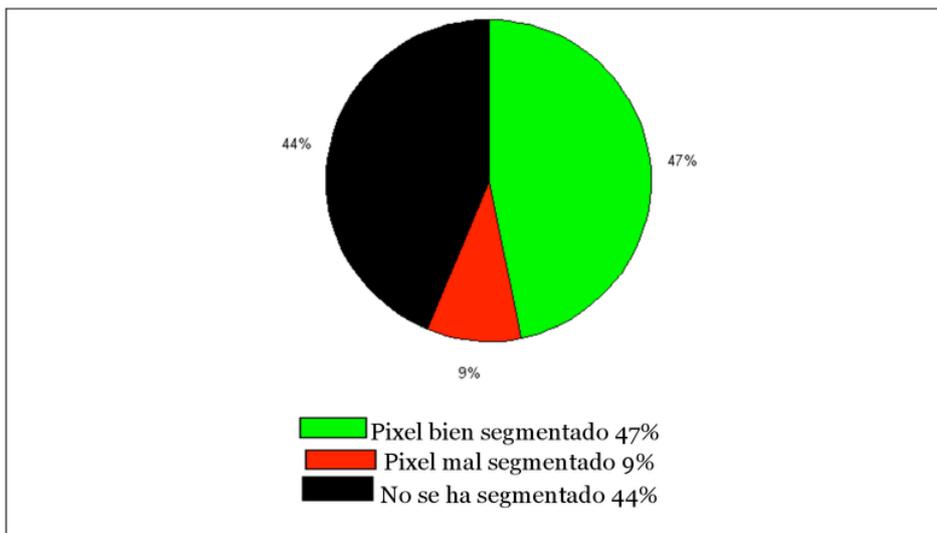


Figura 18. Ejemplo de la gráfica circular con Matlab para la clase urbana con datos SAR

De los resultados de esta gráfica se observa que los píxeles no segmentados son todos los píxeles que no pertenecen al mismo segmento, es decir, los errores por defecto que se han quedado fuera de la zona segmentada y que debería de haber sido segmentada.

En cuanto a los píxeles que han sido mal segmentados, engloba a los píxeles que son incorrectamente segmentados, es decir, el error por exceso que son aquellos píxeles que no pertenecen a los segmentos segmentados. En la figura 19 está explicado este proceso a través de una imagen donde vemos un rectángulo cuadrado de color azul que representa el área que debería ser segmentada y en blanco dentro de esta región, marcada las zonas que sí que fueron segmentadas.

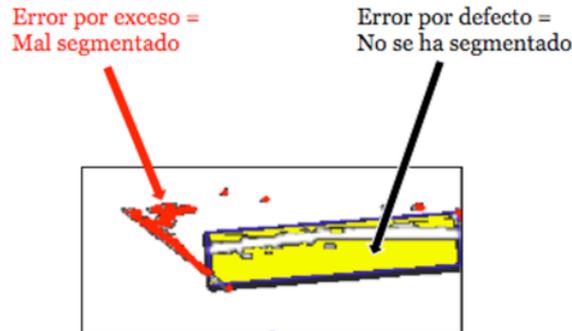


Figura 19. Imagen aclaratoria de los tipos de errores que se han detectado en Matlab

El resumen de los resultados de Matlab (ver las gráficas en los anexos) se muestra en la tabla 14 y 16. En la tabla 14 se observan los valores de los resultados obtenidos en Matlab. Cada uno de estos valores se expresa en porcentajes junto con la correspondiente abreviatura de cada distribución. Estos tres valores se abrevian según las iniciales de cada partición de la gráfica en: bien segmentado (BS), mal segmentado (MS) y no segmentado (NS).

Como puede apreciarse, el mejor resultado se muestra para el software Definiens. Los resultados que destacan son los de la clase infraestructura, la urbana con datos ópticos y la clase vegetación con datos SAR. Respecto a los otros programas, la mejor clase ha sido la vegetación con datos ópticos ya que el NDVI se segmenta mejor respecto a los datos SAR.

	SAR			Óptico		
	Infraestructura	Urbana	Vegetación	Infraestructura	Urbana	Vegetación
Developer	BS= 36%	BS= 47%	BS= 89%	BS= 79%	BS= 57%	BS= 51%
	MS= 16%	MS= 9%	MS= 10%	MS= 17%	MS= 18%	MS= 22%
	NS= 48%	NS= 44%	NS= <1%	NS= 5%	NS= 33%	NS= 28%
ERDAS	Imposible	Imposible	Imposible	BS= 6%	BS= 8%	BS= 40%
				MS= 94%	MS= 91%	MS= 4%
				NS= <1%	NS= <1%	NS= 56%

ENVI	BS= 6% MS= 85% NS= 9%	BS= 5% MS= 35% NS= 60%	BS= 2% MS= 2% NS= 74%	BS= 25% MS= 25% NS= 50%	BS= 31% MS= 43% NS= 26%	BS= 55% MS= 31% NS= 14%
Halcon	BS= 14% MS= 85% NS= <1%	BS= 12% MS= 88% NS= <1%	BS= 23% MS= 20% NS= 57%	BS= 13% MS= 87% NS= <1%	BS= 21% MS= 79% NS= <1%	BS= 58% MS= 42% NS= <1%

Tabla 14. Resumen en porcentajes de los resultados de Matlab con datos SAR y ópticos para todas las clases

16

Con tal de facilitar la interpretación de los resultados obtenidos en Matlab, se ha creado una tabla (tabla 16) donde de manera general se observan cómo de buenos o malos han sido los resultados adquiridos. A continuación, a través de una leyenda se aclararán los símbolos y las condiciones con las que se ha realizado los criterios de clasificación de los resultados en las diferentes categorías:

++	Muy buenos resultados Condiciones: Pixel bien segmentado: $\geq 80\%$ Pixel mal o no segmentado: $\leq 20\%$
+	Buenos resultados Condiciones: Pixel bien segmentado: $\geq 50\%$ Pixel mal o no segmentado : $\leq 49\%$
-	Malos resultados Condiciones: Pixel bien segmentado: $\geq 20\%$ Pixel mal o no segmentado : $\leq 80\%$
--	Muy malos resultados Condiciones: Pixel bien segmentado: $\geq 5\%$ Pixel mal o no segmentado : $\leq 95\%$
×	No funciona la segmentación y por tanto en Matlab tampoco

Tabla 15. Leyenda de los significados de los resultados obtenidos con Matlab

	SAR			Óptico		
	Infraestructura	Urbana	Vegetación	Infraestructura	Urbana	Vegetación
Definiens 7	-	-	+ +	+	+	+
ERDAS 2007	×	×	×	--	--	-
ENVI 4.8	--	--	-	-	-	+
Halcon 11.0	--	--	-	--	-	+

Tabla 16. Resultado de las graficas de Matlab con Definiens, ERDAS y Halcon para datos SAR y ópticos

6. Discusión y resumen

En este último apartado del trabajo se expondrán antes de nada, los resultados que nos hubiera gustado obtener de la segmentación. El motivo de mostrar la segmentación ideal es para clarificar cómo debería de ser la segmentación con tal de evitar confusiones o falsas interpretaciones. Para cada clase se delinea manualmente el resultado ideal que nos gustaría obtener para cada clase.

Para la clase urbana el objetivo de la segmentación es crear un único segmento para cada edificio. En este ejemplo, la segmentación ideal (ver figura 20) sería la división en seis segmentos. Para la infraestructura se crea un solo segmento para cada calle. En cambio, la clase vegetación son segmentos grandes y se divide en cuatro segmentos.



Figura 20. Segmentación ideal para el área urbana, infraestructura y vegetación

En cuanto a los resultados obtenidos de la segmentación con los cuatro programas analizados, comentamos que en el resultado del software ENVI no hay similitudes con otros productos de software. Los parámetros de ENVI, a excepción de la población

mínima, son muy diferentes respecto a los otros programas analizados. El motivo de obtener unos resultados tan diferentes entre las distintas segmentaciones realizadas con los otros programas radica en la dependencia de los parámetros entre el software que se ha tomado como software guía (Definiens) y los otros productos de software (ENVI, ERDAS y Halcon). Después de comprobar los resultados, se determina que el tamaño del parámetro de escala está bien definido en Definiens, pero es demasiado grande para el resto de los programas. Con el software ERDAS versión 2011 se obtienen los peores resultados sobretodo debido a que no ha funcionado la segmentación para datos SAR con el método CoVAmCoh.

Respecto a soluciones de mejora, el software Halcon 11.0 utiliza el algoritmo de crecimiento de regiones. Existe un algoritmo llamado HalconSEG, que no está disponible en la versión utilizada. En otros estudios se ha utilizado este algoritmo y han obtenido buenos resultados como, por ejemplo, en el de Neubert, M., Herold, H., Meinel, G. (2012) donde se evalúa la calidad de la segmentación utilizando el algoritmo HalconSEG. Por tanto, con Halcon también sería posible intentar mejorar la segmentación utilizando este otro algoritmo. En cuanto al software ENVI, la segmentación es muy distinta a los resultados obtenidos con otros métodos. Actualmente la segmentación con otras versiones de este software es similar. Una posibilidad de mejora sería estudiar con más detalle cada uno de los parámetros con tal de encontrar unos valores de segmentación con los que se obtenga mejores resultados.

Para concluir con este trabajo, se ha observado que los resultados obtenidos con el software Definiens utilizando el algoritmo de multiresolución, ha sido el que mejores resultados ha dado. Por lo que corresponde a los datos SAR, destaca la clase vegetación con un 89% de los píxeles bien segmentados. Respecto a datos ópticos, podemos recalcar los resultados positivos referente a los píxeles bien segmentados para la clase infraestructura con un 79% y para la clase urbana con un 57%. En cuanto al resto de programas, los resultados no han sido buenos, a excepción de los resultados obtenidos para la clase vegetación con datos ópticos donde destaca ENVI con un 55% de los píxeles bien segmentados y Halcon con un 58% de los píxeles bien segmentados. Como se ha comentado en este mismo capítulo, la posible solución para futuras mejoras sería probar con otros valores para el parámetro de escala o probar con otras versiones de los softwares empleados que utilicen otros algoritmos.

7. Bibliografía

- Albertz, A., Blaschke, T., Lang, S. (2006): Introduction to object based Image Analysis. Centre for Geoinformation (ZGIS) Salzburg University.
- Boldt, M., Schulz, K. (2009). CoVAmCoh Analysis: A method to improve the interpretation of high resolution repeat pass SAR images of urban areas, Research Institute for Optonics and Pattern Recognition (FOM), Ettlingen, Paper.
- Boldt, M., Schulz, K. (2010). Improving High-Resolution Repeat Pass SAR Image Interpretation by the Co-VAmCoh Method, Fraunhofer IOSB Ettlingen, Paper.
- Boldt, M., Schulz, K., (2012): Change detection in high resolution SAR Images: Amplitude based Activity Map compared with the CoVAmCoh analysis, Fraunhofer IOSB Ettlingen, Paper.
- Chen, Z., Ning, X., Jixian, Z. (2012). Urban Land Cover Classification Based on WorldView-2 Image Data”, Paper, School of Math, Physics and Software Engineering Lanzhou Jiaotong University and Institute von Photogrammetry and Remote Sensing Chinese Academy of Surveying Mapping Beijing, China.
- Definiens Developer User Guide (2007).
- Definiens Developer Reference Book (2007).
- ENVI User guide (2008). ENVI Feature Extraction Module User’s Guide.
- ERDAS tour guide (2011). Recuperado de:
http://redgeomatca.rediris.es/manuales/ERDAS_IMAGINE/16_MOD.pdf
- ERDAS field guide (2011).
- Halcon. Reference Manual (2011).
- Lillesand, Kiefer, Chipman (2007). Remote Sensing and Image Interpretation, Book.
- Moreira, A. (2013). Synthetic-Aperture Radar (SAR). Synthetic Aperture Radar (SAR)-Principles and Applications, eesa and German Aerospace Center (DLR) Microwaves and Radar Institute, Hakopio University, Document. Recuperado de:

<https://earth.esa.int/documents/10174/642943/6-LTC2013-SAR-Moreira.pdf>

Neubert, M., Herold, H., Meinel, G. (2012). Evaluation of remote sensing image segmentation quality- further results and concepts. Leibniz Institute of Ecological and Regional Development (IOER), Document. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/228365286_Evaluation_of_remote_sensing_image_segmentation_quality-further_results_and_concepts

Oliver, C., Quegan, S. (2004). Understanding Synthetic Aperture Radar Images. SciTech Publishing, Inc.

Podest, E., (29 de Noviembre de 2017). Conceptos básicos del Radar de Apertura Sintética (Synthetic Aperture Radar o SAR). Documento de la NASA. Consultado el 18 de Noviembre 2019. Recuperado de:

https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/water/Brazil_2017/Day1/S1P2-span.pdf

Ruiz. L.A. (2013). Interpretation of Remote Sensing Data, Lecture Notes.

Prasad. S., Thenkabail (2016). Remote Sensed Handwork. Taylor & Francis Group, LLC. Version Date: 20150513. Recuperado de:

<https://books.google.es/books?id=c2O1DwAAQBAJ&pg=PA321&lpq=PA321&dq#v=onepage&q&f=false>

Srivastava, V. (2011). Evaluation of various segmentation tools for extraction of urban features using high resolution remote sensing data. Paper, Indian Institute of Remote Sensing.

WorldView-2 Satellite Sensor (2014): Satellite Imaging Cooperation. Consultado el 12 de Noviembre 2019: <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-2/>



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

II PRESUPUESTO ECONÓMICO

1. Presupuesto desglosado

En este apartado se incluyen las horas de las diferentes tareas dedicadas por el ingeniero en Geomática. También, se explicarán los costes directos e indirectos del proyecto.

1.1 Coste personal

Tareas	Duración (h)
Trabajo previo	90
<ul style="list-style-type: none"> Búsqueda de información Aprendizaje de los 4 software utilizados (Definiens, ERDAS, ENVI y Halcon . 	30 60
Tratamiento de imágenes	50
<ul style="list-style-type: none"> Procesamiento de imágenes 	
Procesamiento de datos	80
<ul style="list-style-type: none"> Tratar datos y comparar resultados 	
Redacción	120
Redactar de la memoria	
Revisión	12
<ul style="list-style-type: none"> Supervisión y resolución de dudas 	
Total	352

Tabla 17. Duración desglosada de cada una de las tareas realizadas

Ingeniero en Geomática: Su tarea es realizar todas las fases del trabajo desde el trabajo previo hasta la revisión final.

Perfil	Número de horas	Coste unitario	Coste
Ingeniero	352	18 €/hora	6336 €
Total:			6336 €

Tabla 18. Coste de personal

1.2 Costes directos

Los costes directos incluyen las horas del personal, desplazamientos, coste de los materiales como las licencias de los software utilizados, etc.

Actividad	Materiales	
Tratamiento y procesamiento de imágenes	Coste de los softwares empleados	Licencia Definiens: 502,67 € Licencia ERDAS: 156 € Licencia ENVI: 130 € Licencia Halcon: 554,67 € Licencia Matlab: 139,36 € Total: 1482,70 €
	Precio de las imágenes	SAR & Óptica: Proporcionadas por el cliente.
Total Materiales: 1482,70 €		

Tabla 19. Costes directos solo de los materiales

Total costes directos= coste recursos humanos + coste materiales = 7.818,70 €

En los costes directos van incluidos:

- El precio que cobra un Ingeniero en Geomática por horas se puede ver en la *tabla 17*.
- Las licencias se cobran por las horas dedicadas hasta terminar el proyecto. Por tanto, se ha aplicado la siguiente fórmula:

$$Duración_{trabajo} = 350 \text{ horas} = 2,08 \text{ meses}$$

- La licencia de Definiens Developer cuesta 2900 euros/año que equivale a 241,67 euros/mes por lo que si se multiplica ese precio por la dedicación

mensual se obtiene como resultado el precio de la licencia de la *tabla 18*.

- La licencia de ENVI cuesta 750 euros/año que equivale a 62,50 euros/mes por lo que si se multiplica ese precio por la dedicación mensual se obtiene como resultado el precio de la licencia de la *tabla 18*.
- La licencia de ERDAS cuesta 900 euros/año que equivale a 75 euros/mes por lo que si se multiplica ese precio por la dedicación mensual se obtiene como resultado el precio de la licencia de la *tabla 18*.
- La licencia de Halcon cuesta 3200 euros/año que equivale a 266,67 euros/mes por lo que si se multiplica ese precio por la dedicación mensual se obtiene como resultado el precio de la licencia de la *tabla 18*.
- La licencia de Matlab cuesta 804 euros/año que equivale a 67 euros/mes por lo que si se multiplica ese precio por la dedicación mensual se obtiene como resultado el precio de la licencia de la *tabla 18*.

1.3 Costes indirectos

El coste indirecto es el coste que afecta de forma indirecta y no puede aplicarse directamente al trabajo que se va a realizar. Estos costes se pueden observar de manera desglosada en la siguiente tabla:

Costes indirectos			
Categoría	Año €	Mes €	Coste del proyecto €
Seguros de responsabilidad civil	1700	141,67	294,67
Seguro de la oficina	300	25	52
Alquiler oficina	5400	450	936
Personal de oficina	480	40	83,2
Limpieza	450	37,5	78
Agua y luz	780	65	135,2
Internet y telefonía	840	70	145,6
Licencias	220	18,33	38,13
Amortización equipo móvil	45	3,75	7,80

Amortización equipo portátil	300	25	52
Amortización mobiliario de oficina	250	20,83	43,33
Financiación	500	41,67	86,67
Riesgo por impagos	3200	266,67	554,67
Varios	900	75	156
Total:	15.365	1.280,42	2.663,27

Tabla 20. Costes indirectos

1.4 Otros costes

1.4.1 Presupuesto de ejecución material (PEM)

El PEM es el importe del coste de los materiales utilizados en la ejecución del proyecto y de la mano de obra. Es la suma del coste total de los costes directos e indirectos.

$$\text{PEM} = 7818,70 + 2663,27 = \mathbf{10.481,97 \text{ euros}}$$

1.4.2 Presupuesto de ejecución por contrata (PEC)

Es el precio que se cobra al cliente por los materiales y el de la mano de obra del proyecto. En este importe se obtiene del PEM y se calculan 13% de Gastos Generales y 10% de beneficio industrial sobre ese valor.

Presupuesto de ejecución material y mano de obra: **10.481,97 euros**

- 13% Gastos Generales: 1.362,65 euros
- 10% Beneficio Industrial euros: 1.048,2 euros

PEC: 12.892,82 euros.

Aplicando el 21% de IVA, el presupuesto total sería de: **15.600,31 euros**



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

III ANEXOS

Anexo 1: Resultados de la clase Infraestructura con Matlab para cada software

1) Definiens:

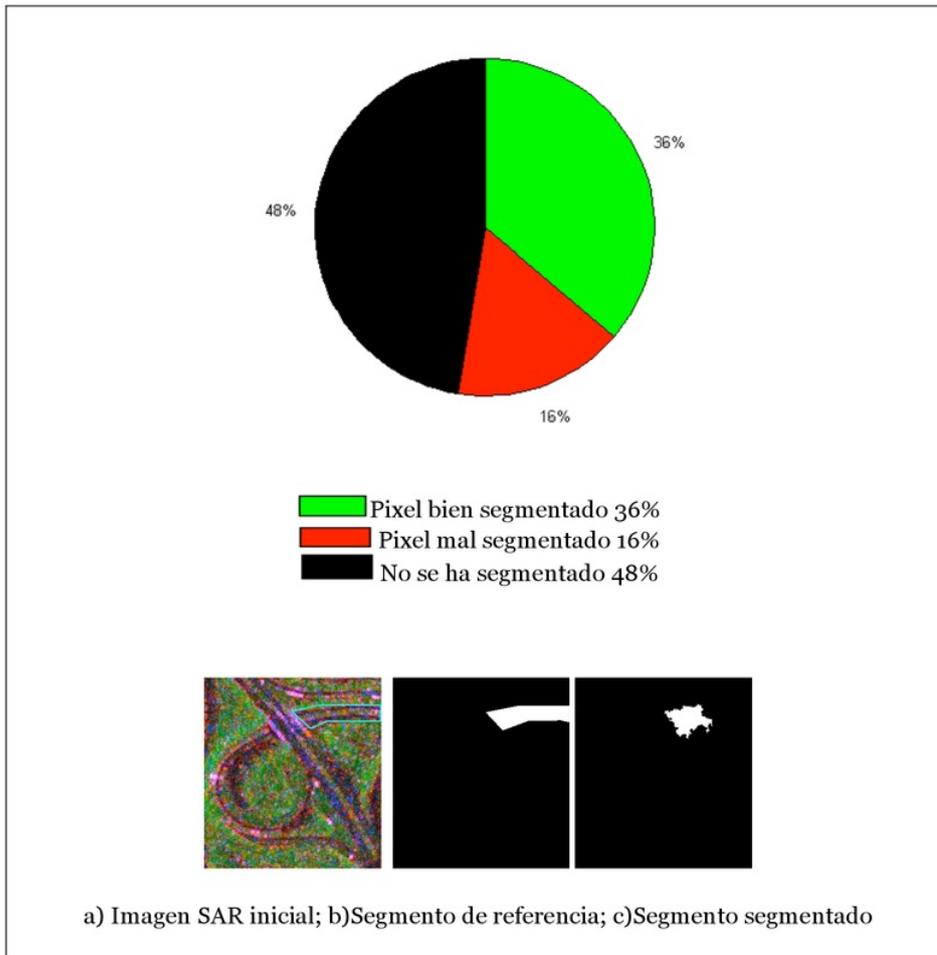


Figura 21. Resultados de Matlab para datos SAR para la clase infraestructura con Definiens

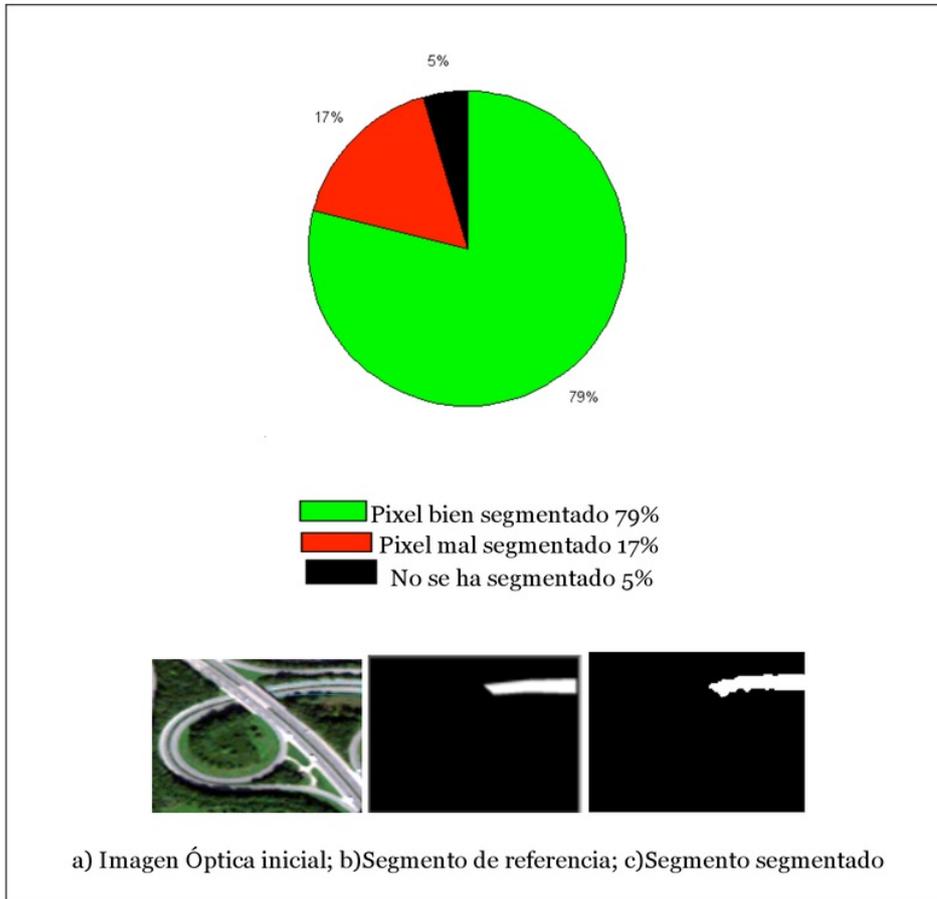


Figura 22. Resultados de Matlab para datos ópticos para la clase infraestructura con Definiens

2) ERDAS:

La imagen SAR es imposible de leer.



Figura 23. Resultados de Matlab para datos SAR para la clase infraestructura con ERDAS

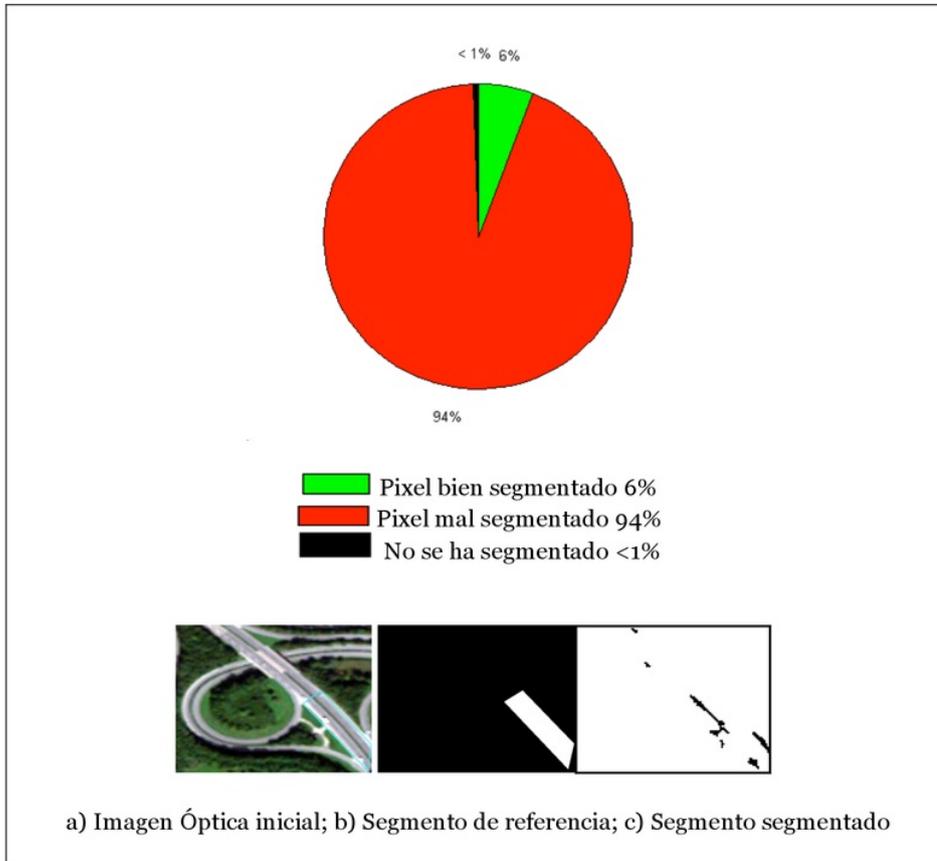


Figura 24. Resultados de Matlab para datos ópticos para la clase infraestructura con ERDAS

3) ENVI:

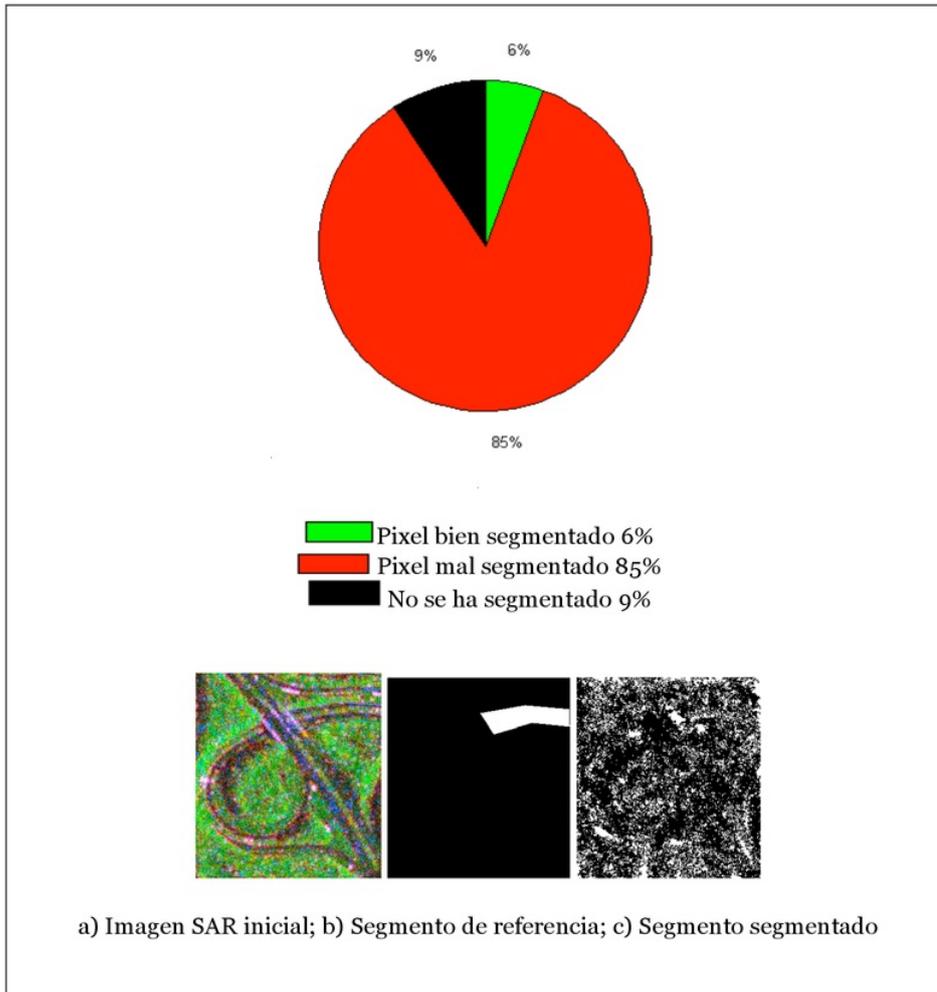


Figura 25. Resultados de Matlab para datos SAR para la clase infraestructura con ENVI

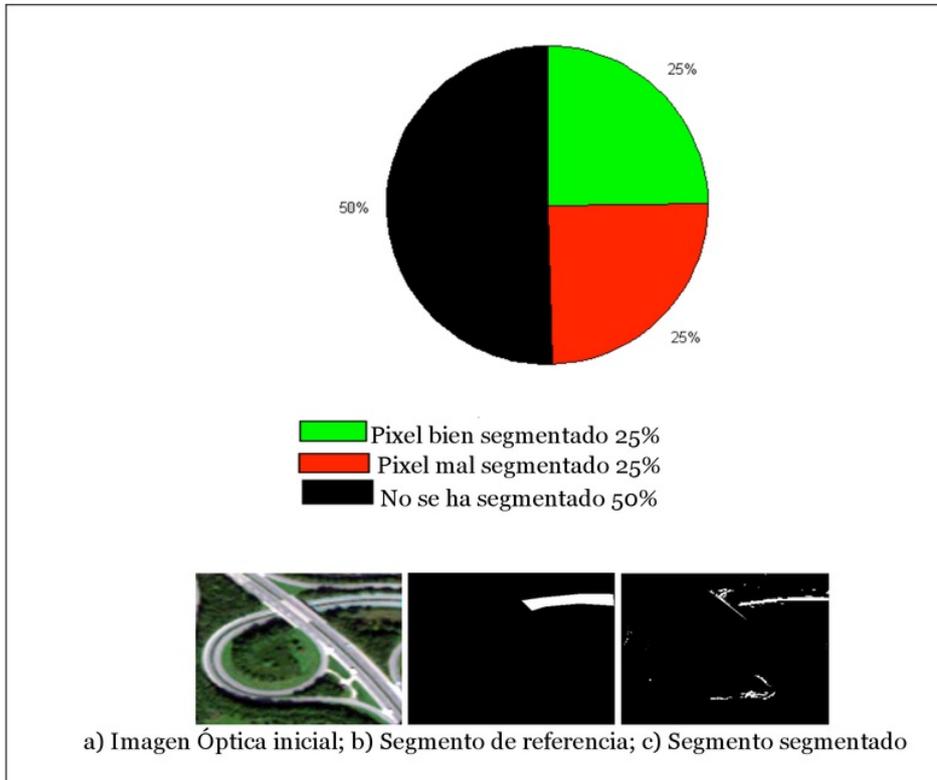


Figura 26. Resultados de Matlab para datos ópticos para la clase infraestructura con ENVI

4) Halcon:

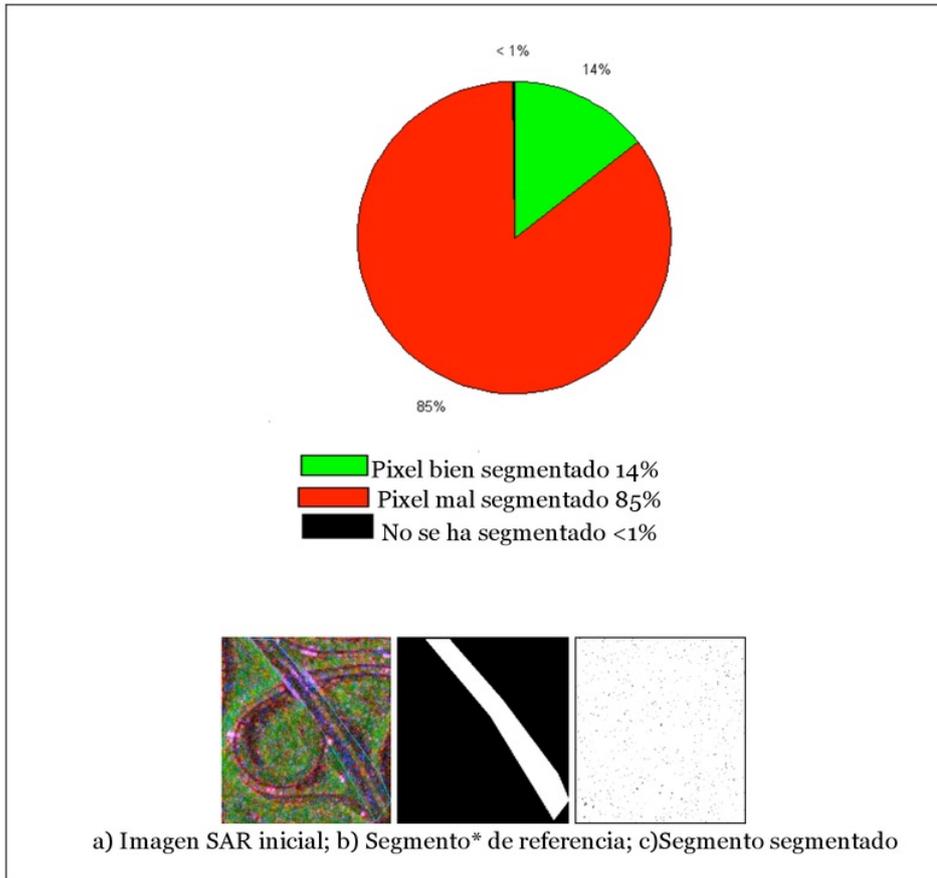


Figura 27. Resultados de Matlab para datos SAR para la clase infraestructura con Halcon

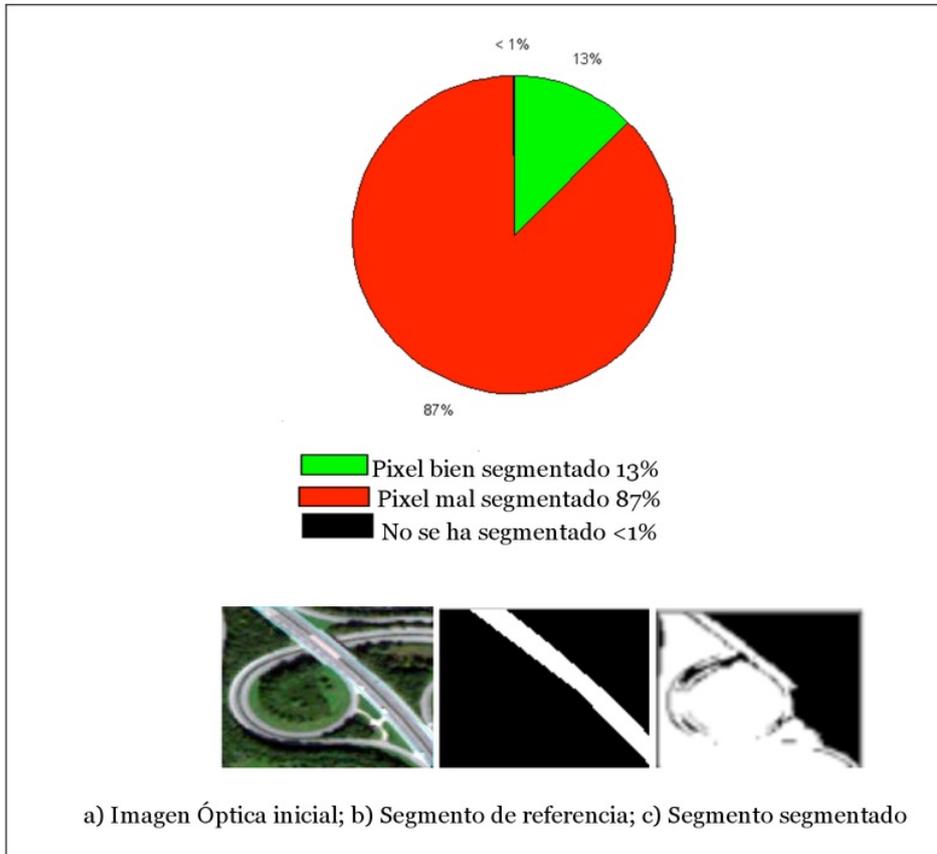


Figura 28. Resultados de Matlab para datos ópticos para la clase infraestructura con Halcon

Anexo 2: Resultados de la clase Urbana con Matlab para cada software

1) Definiens:

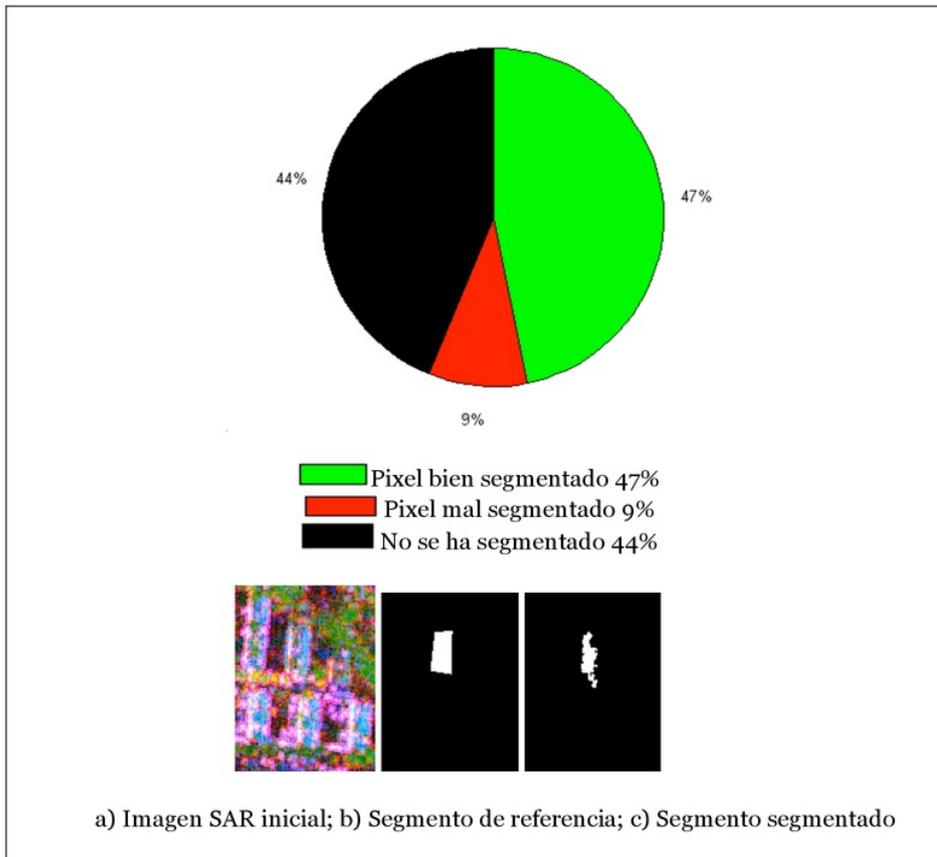


Figura 29. Resultados de Matlab para datos SAR para la clase urbana con Definiens

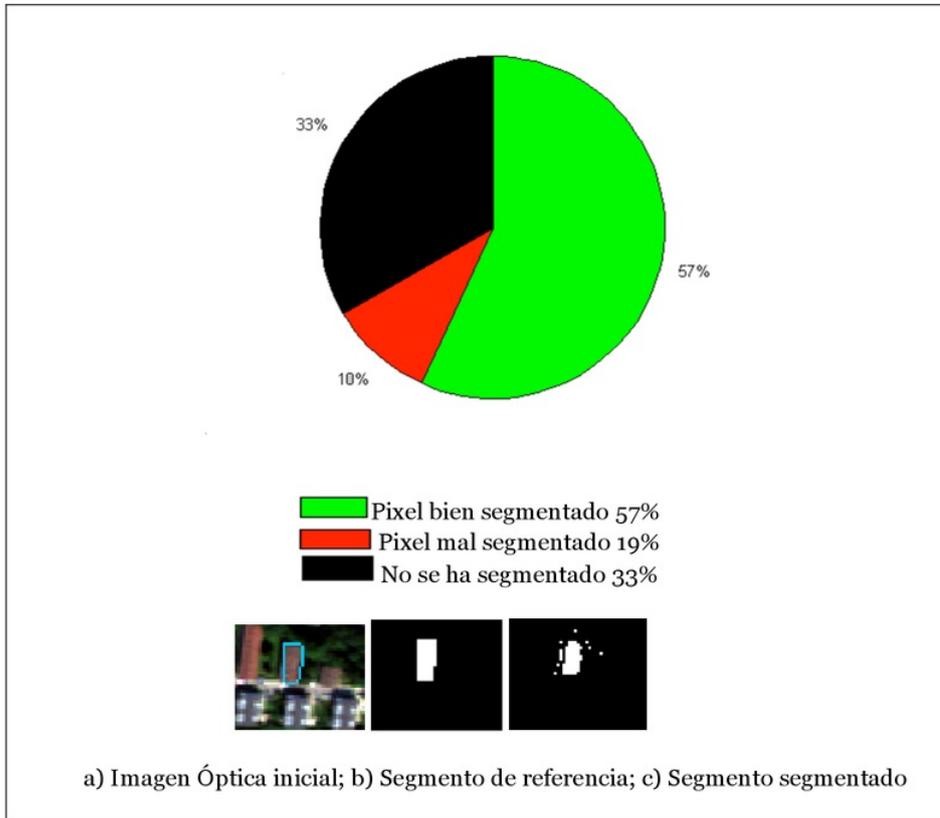


Figura 30. Resultados de Matlab para datos ópticos para la clase urbana con Definiens

2) ERDAS:

La imagen **SAR** es imposible de leer. No se obtuvo imagen.

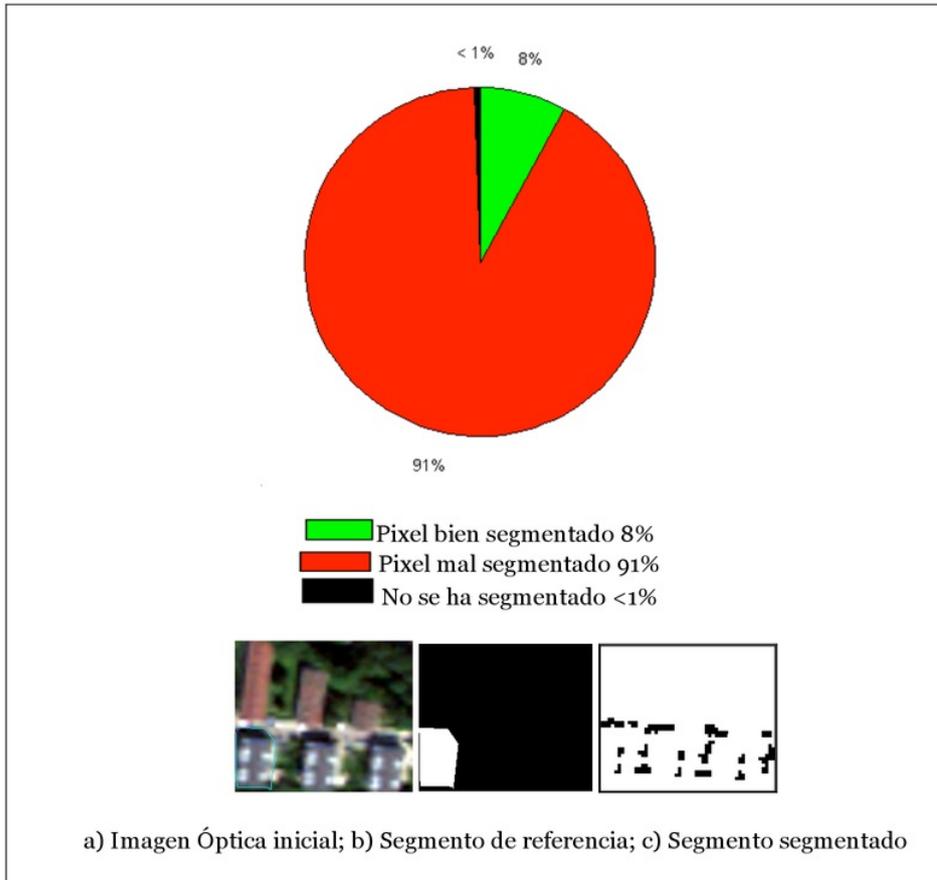


Figura 31. Resultados de Matlab para datos ópticos para la clase infraestructura con ERDAS

3) ENVI:

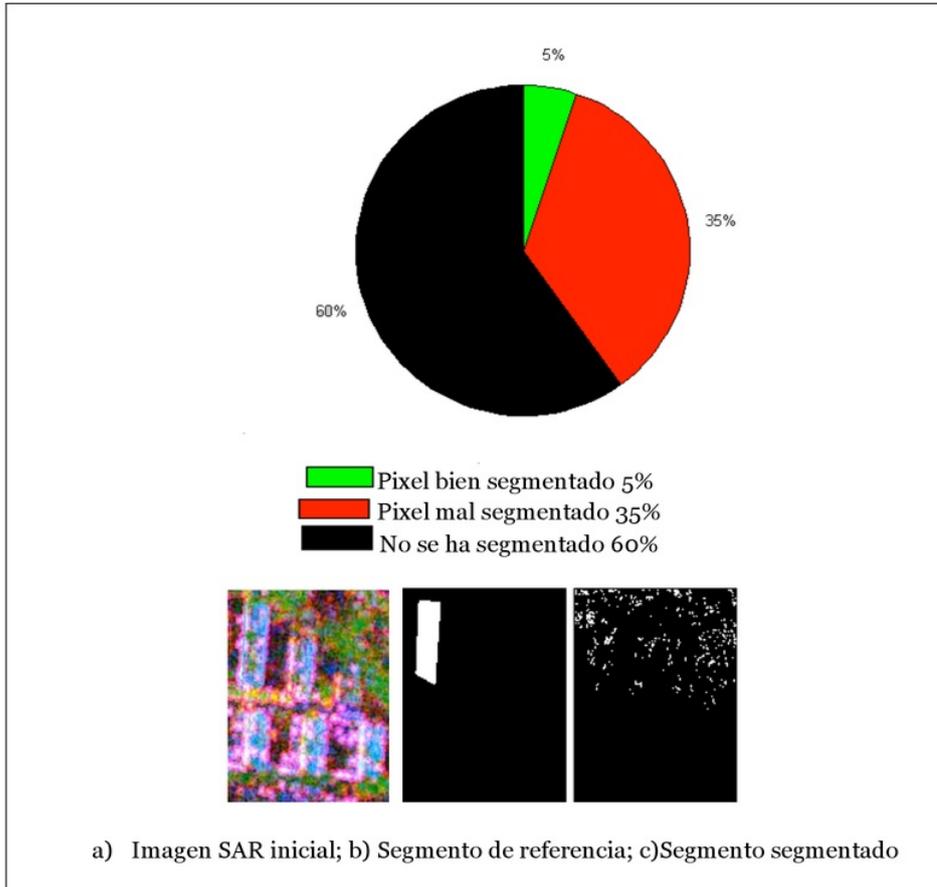


Figura 32. Resultados de Matlab con datos SAR para la clase urbana con ENVI

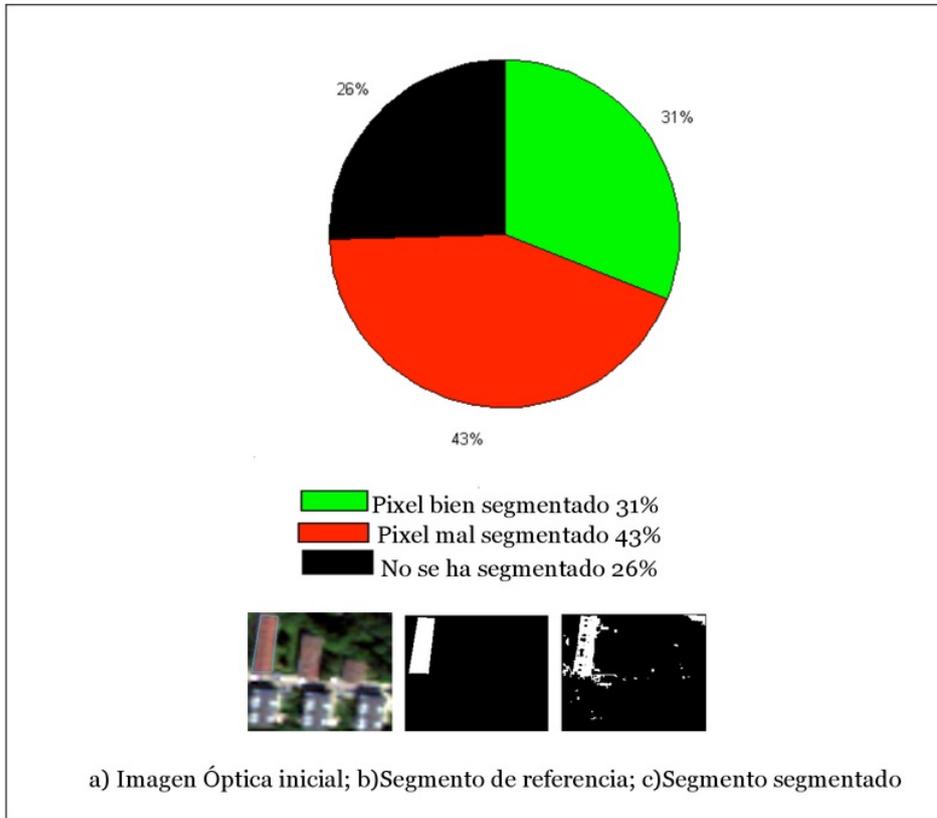


Figura 33. Resultados de Matlab con datos ópticos para la clase urbana con ENVI

4) Halcon:

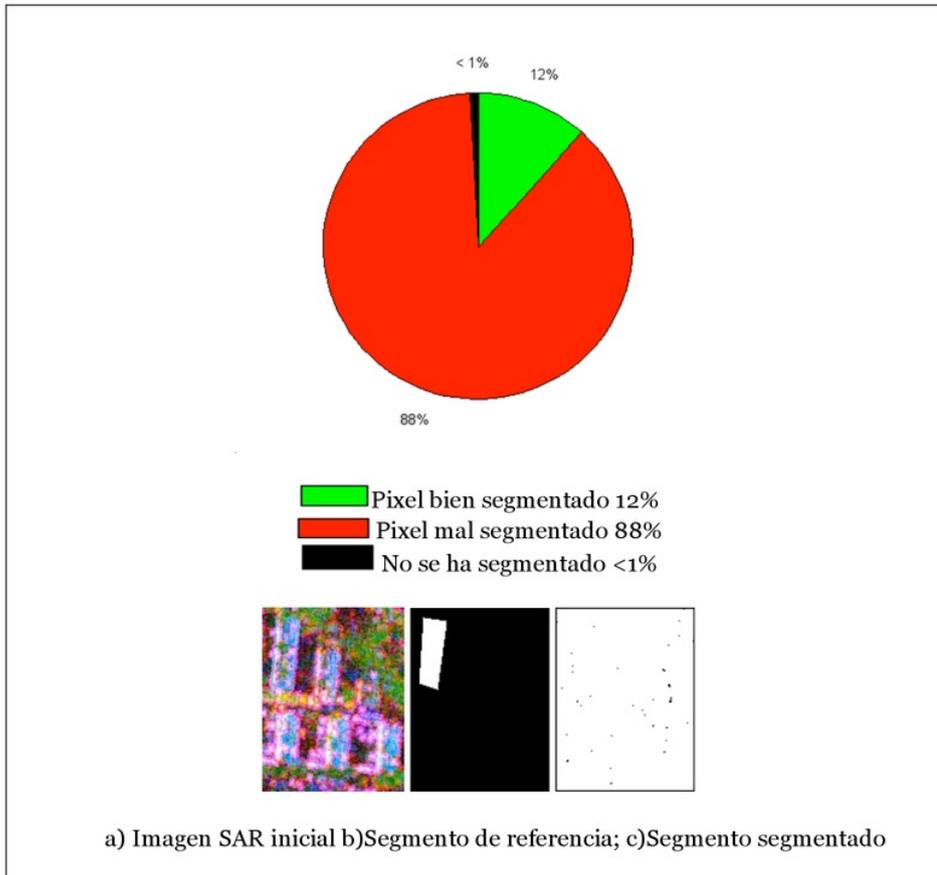


Figura 34. Resultados de Matlab con datos SAR para la clase urbana con Halcon

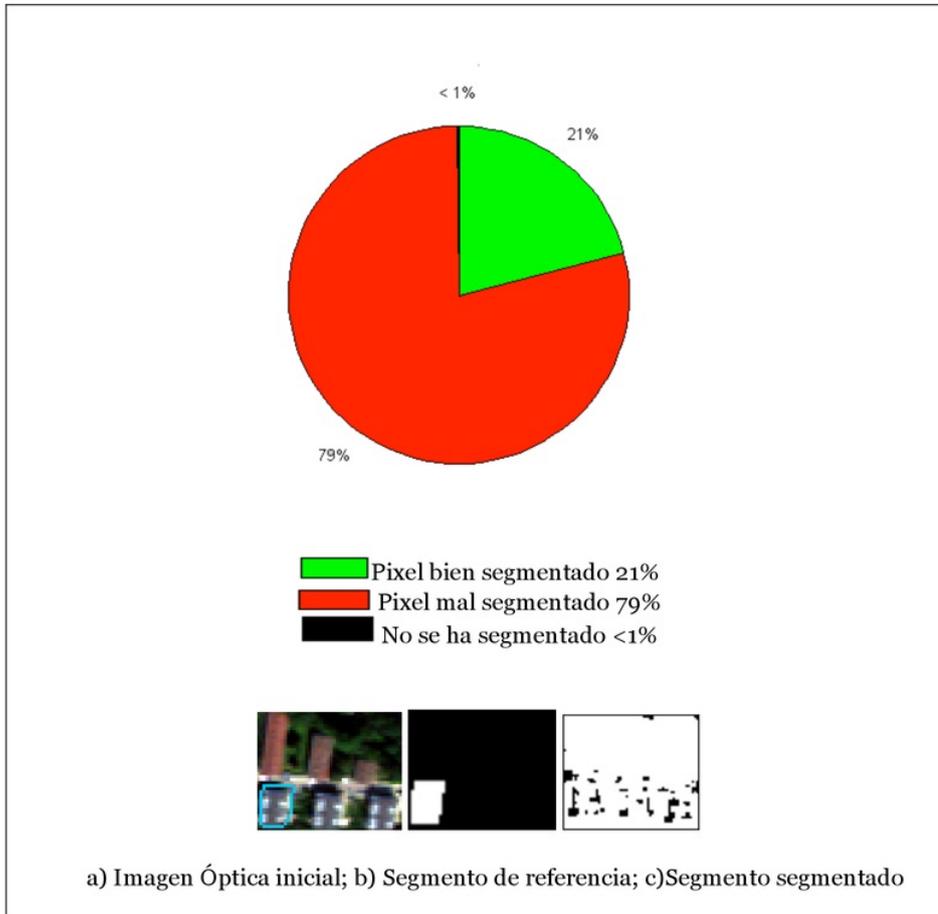


Figura 35. Resultados de Matlab con datos ópticos para la clase urbana con Halcon

Anexo 3: Resultados de la clase Vegetación con Matlab para cada software

1) Definiens:

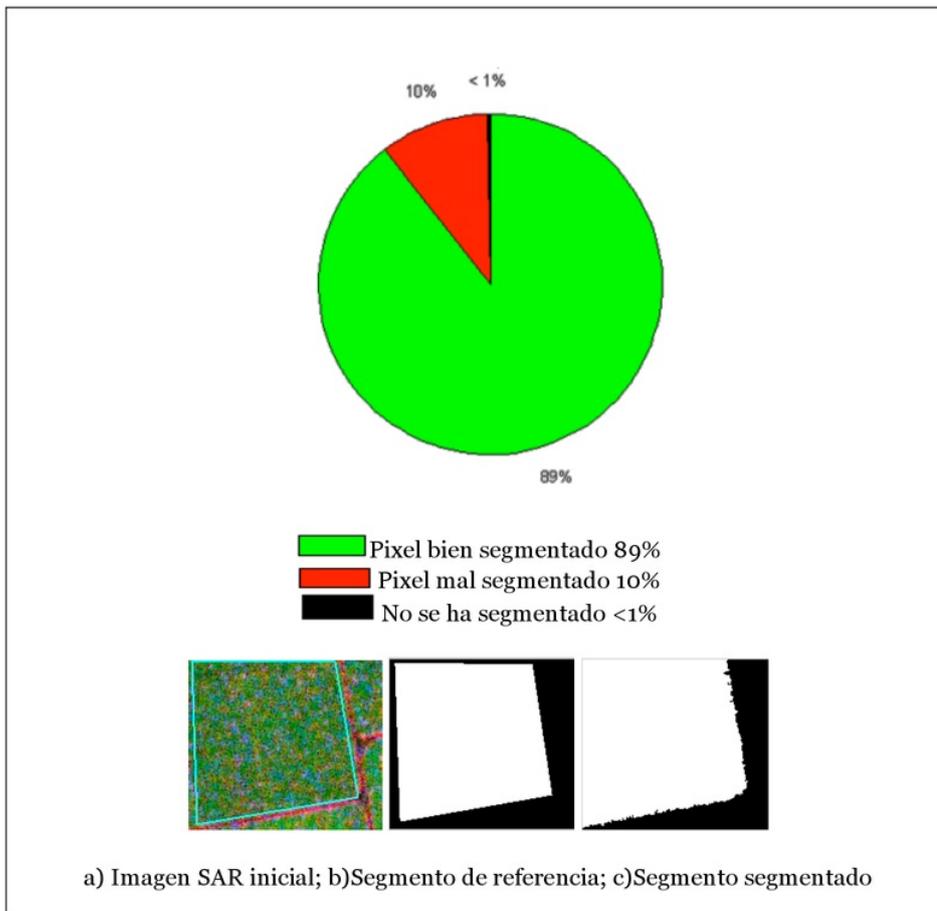


Figura 36. Resultados de Matlab con datos SAR para la clase vegetación con Definiens

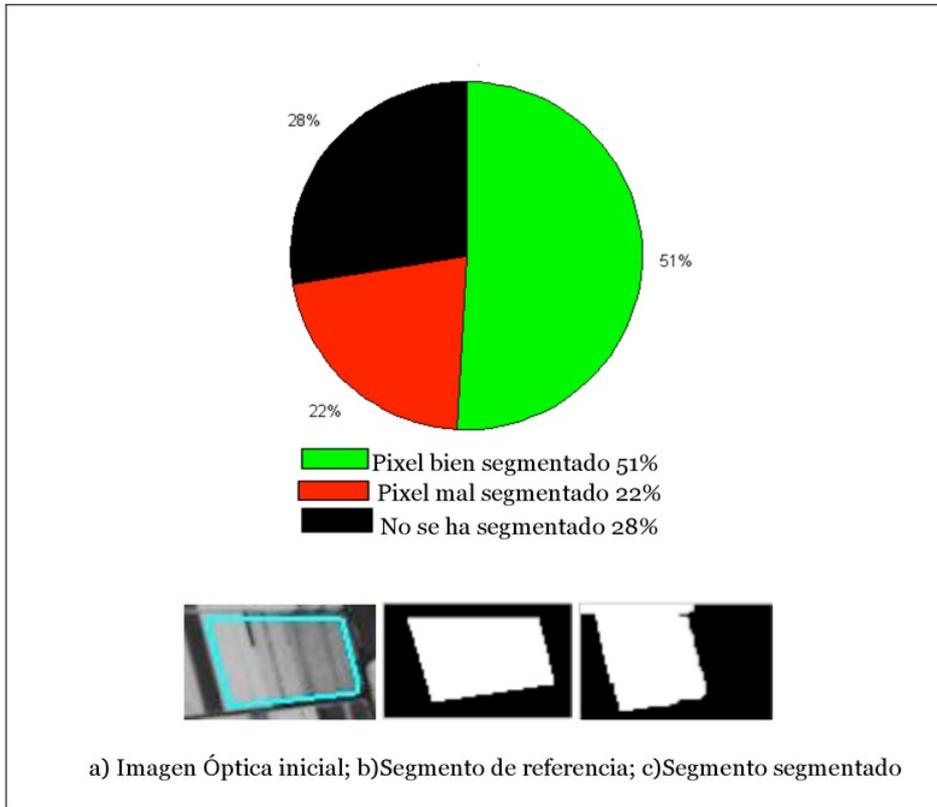


Figura 37. Resultados de Matlab con datos ópticos para la clase vegetación con Definiens

2) ERDAS:



Figura 38. Resultados de Matlab para datos SAR para la clase vegetación con ERDAS

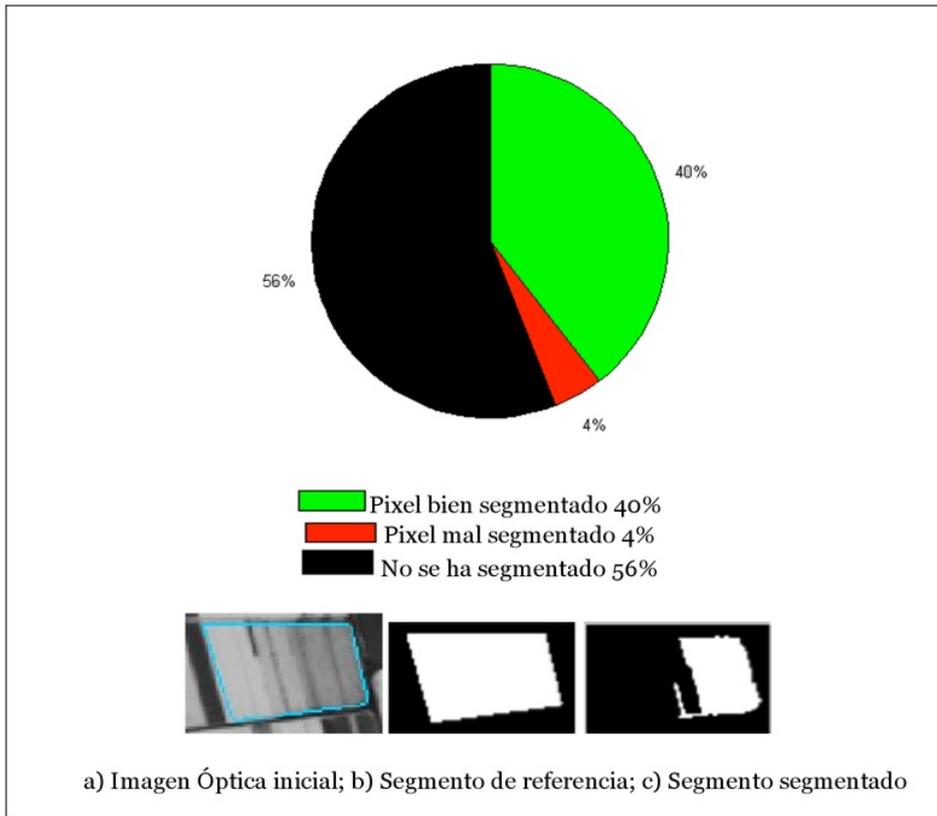


Figura 39. Resultados de Matlab con datos Ópticos para la clase vegetación con ERDAS

3) ENVI:

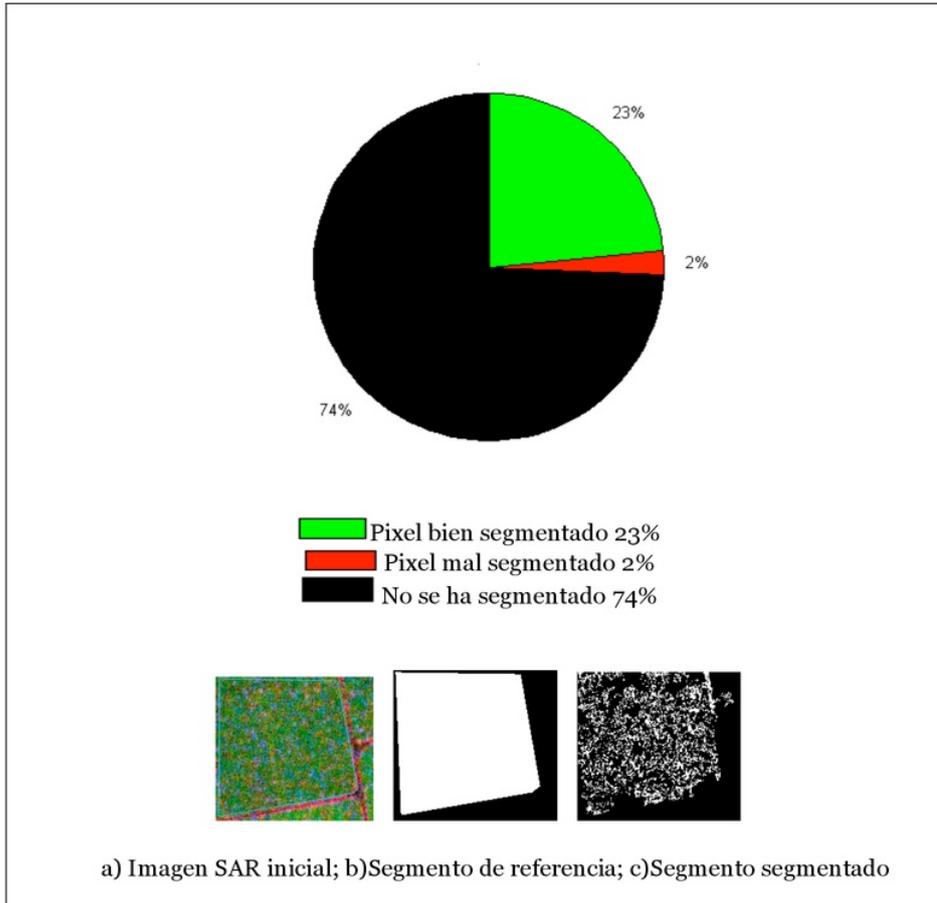


Figura 40. Resultados de Matlab con datos SAR para la clase vegetación con ENVI

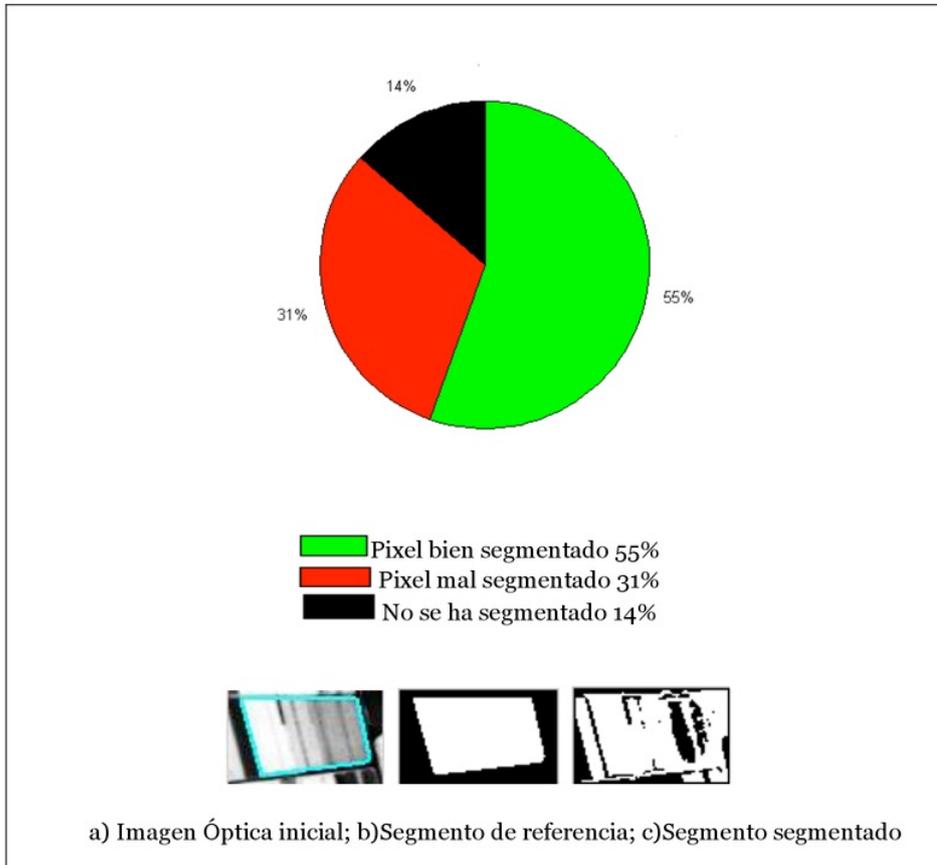


Figura 41. Resultados de Matlab con datos Ópticos para la clase vegetación con ENVI

4) Halcon:

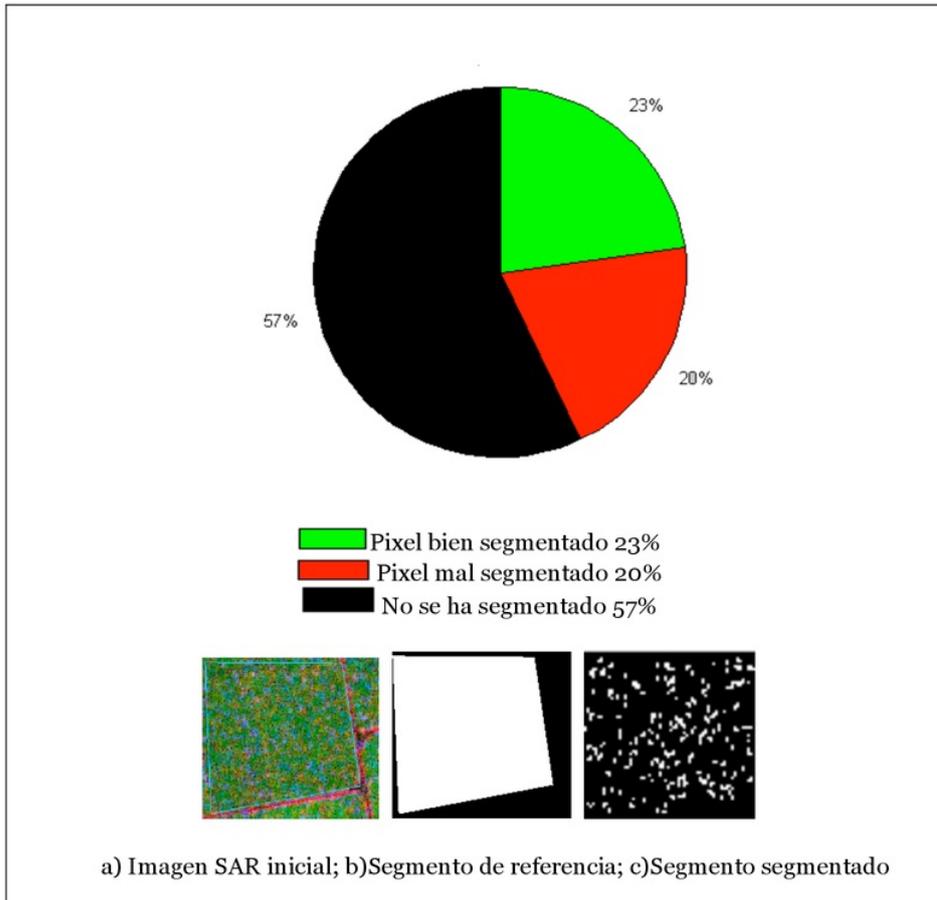


Figura 42. Resultados de Matlab con datos SAR para la clase vegetación con Halcon

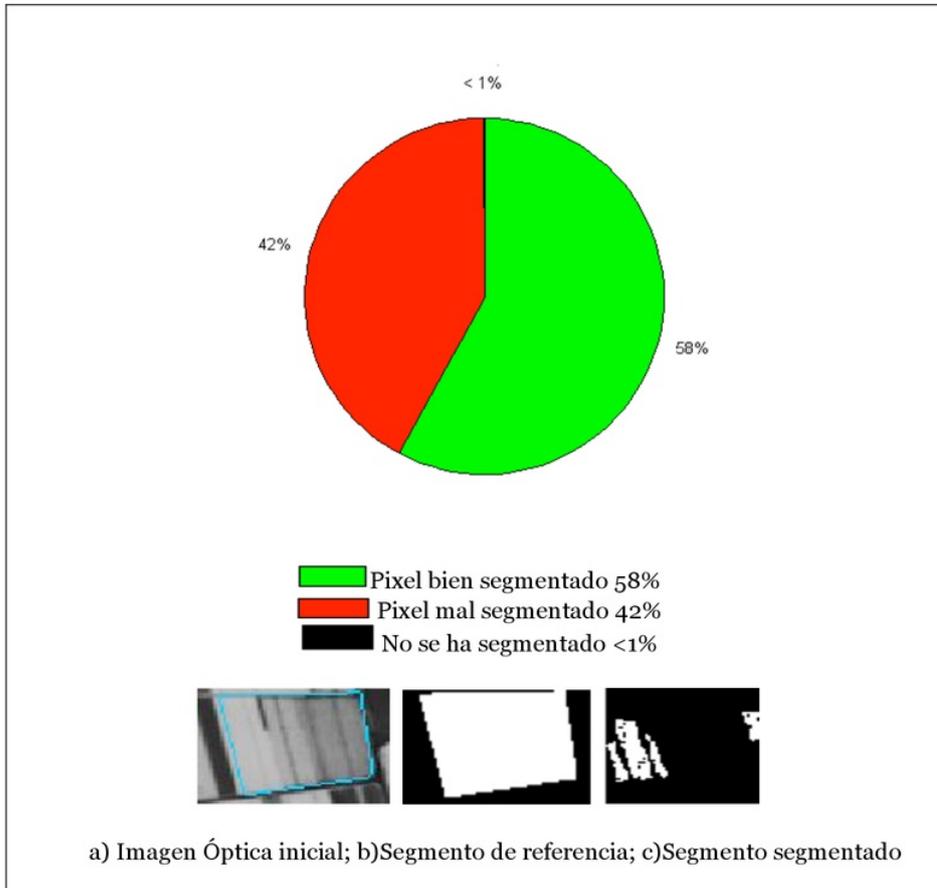


Figura 43. Resultados de Matlab con datos Ópticos para la clase vegetación con Halcon



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

2%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

publica.fraunhofer.de

Fuente de Internet

<1%

2

lynceans.org

Fuente de Internet

<1%

3

[Submitted to Universitat Politècnica de València](#)

Trabajo del estudiante

<1%

4

[Submitted to Universidad Cesar Vallejo](#)

Trabajo del estudiante

<1%

5

Minakshi Kumar, P. S. Roy. "Utilizing the Potential of World View -2 for Discriminating Urban and Vegetation Features Using Object Based Classification Techniques", Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2013

Publicación

<1%

6

[Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León](#)

Trabajo del estudiante

<1%

7

Schulz, Karsten, Markus Boldt, Antje Thiele, and Daniel L. Civco. "", Remote Sensing for

<1%

Environmental Monitoring GIS Applications and Geology IX, 2009.

Publicación

8	Submitted to Victoria University of Wellington Trabajo del estudiante	<1%
9	Submitted to Universidad de Córdoba Trabajo del estudiante	<1%
10	Submitted to Universidad Sergio Arboleda Trabajo del estudiante	<1%
11	Corneliu Octavian Dumitru, Gottfried Schwarz, Fabien Castel, Jose Lorenzo, Mihai Datcu. "Chapter 6 Artificial Intelligence Data Science Methodology for Earth Observation", IntechOpen, 2019 Publicación	<1%
12	bolfor.chemonics.net Fuente de Internet	<1%
13	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
14	dspace.cuni.cz Fuente de Internet	<1%
15	albatros.salon24.pl Fuente de Internet	<1%
16	www.ingelub.com.co Fuente de Internet	<1%

17	pixinsight.com Fuente de Internet	<1%
18	d-nb.info Fuente de Internet	<1%
19	www.citel.oas.org Fuente de Internet	<1%
20	www.lafacu.com Fuente de Internet	<1%
21	www.nordicneurolab.com Fuente de Internet	<1%
22	repositori.uji.es Fuente de Internet	<1%
23	citeseerx.ist.psu.edu Fuente de Internet	<1%
24	Hendrik Herold. "Geoinformation from the Past", Springer Nature, 2018 Publicación	<1%
25	Submitted to Universidad de Costa Rica Trabajo del estudiante	<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo