



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
GEODÉSICA, CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA



Trabajo fin de Grado en Ingeniería Geomática y Topográfica

**Rodalización y delimitación de la unidad de árbol en
áreas forestales y agrícolas a partir de datos LiDAR aéreo**

Autor: Rafael Llorca Gozávez

Tutor: Alfonso Fernández Sarría

Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésia y Fotogrametría

A mi padre

AGRADECIMIENTOS

Hace aproximadamente un año que las circunstancias me llevaron a tomar la decisión de reciclar mis conocimientos como ingeniero técnico en topografía. Después de 18 años ejerciendo la profesión me había dando cuenta de que las nuevas tecnologías obligaban a actualizarse para ser competitivo. Al principio surgieron un montón de dudas, pero pronto el miedo se transformó en avidez de conocimiento gracias a la excelente labor del profesorado de esta escuela. Gracias a la UPV por haber ofertado este curso de retitulación a grado, a mis profesores por su motivación y a Alfonso, mi tutor, sin el que este trabajo no sería posible.

Gracias a Merche, mi compañera, por su apoyo y paciencia a lo largo de este año tan difícil. Sin tí tampoco habría podido ser.

Valencia, 31 de agosto de 2015

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es presentar una metodología sencilla y ágil para el procesado de datos LiDAR de diferentes densidades en espacios forestales y cultivados. Se utilizará software libre específico para trabajar con nubes de puntos (FUSION) y de segmentación de datos (InterIMAGE). Como software de apoyo y gestión de la información geográfica se utilizará un SIG de escritorio (ArcGIS).

Actualmente la tecnología LiDAR se ha consolidado como una técnica muy fiable en la evaluación de recursos naturales, destacando su uso en el inventario, gestión y modelización de áreas forestales. Algunas de estas aplicaciones requieren de la delimitación de ejemplares arbóreos y agrupaciones de ellos en rodales que serán obtenidos a partir de una red jerárquica dirigida a objeto e integrados posteriormente en una geodatabase.

En la primera parte de este trabajo se describe el procesado de los datos LiDAR para la obtención de los modelos digitales del terreno (MDT) y de superficie (MDS), a partir de los cuales se calcula el modelo digital de vegetación (MDV).

En una segunda fase, se aplicarán al MDV distintos niveles de segmentación y clasificación, utilizando el método de crecimiento de regiones de Baatz & Shape implementado en InterIMAGE.

En una última fase se realizará la integración de los datos LiDAR con imágenes multiespectrales para la mejora en la identificación de copas de árboles.

ABSTRACT

The aim of this research is to present a simple and quick method to process LiDAR data in different densities, in forest and cultivated areas. We'll work with specific free software with point clouds (FUSION) and data segmentation (INTERIMAGE). GIS (ArcGIS) will be used as software support and management of geographic information desktop..

Nowadays, LiDAR technology has been established as a very reliable technique in the evaluation of natural resources, highlighting its use in inventory, management and modeling of forest areas. Some of these applications require the delimitation of tree specimens and groups of them into stands, obtained from a hierarchical network aimed at object and then integrated into a geodatabase.

In the first part of this research, the LiDAR data is described to obtain digital terrain models (DTM) and surface (MDS), from which the digital model of vegetation (CHM) is calculated.

In a second phase, different levels of segmentation and classification will be applied to MDV, using the method of growing regions Baatz & Shape implemented in INTERIMAGE.

In a final stage the integration of LiDAR data with multispectral images to improve the identification of canopy will be achieve.

ÍNDICE

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

- 1.1. Un poco de historia
- 1.2. Algunas nociones básicas sobre LiDAR

Capítulo 2 OBJETIVOS Y MÉTODOS

- 2.1. Objetivos
- 2.2. Software empleado
- 2.3. Esquema de trabajo

Capítulo 3 DATOS

- 3.1. Descripción de las zonas objeto de estudio
- 3.2. Datos de partida
 - 3.2.1. Datos LiDAR de la Zona Norte
 - 3.2.2. Datos LiDAR de la Zona Sur
 - 3.2.3. Datos multiespectrales
 - 3.2.4. Información auxiliar
- 3.3. Descarga de datos del PNOA
 - 3.3.1. Sobre el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea
 - 3.3.2. Descarga de datos LiDAR-PNOA
 - 3.3.3. Descarga de la ortofotografía de apoyo

Capítulo 4 CONFIGURACIÓN DEL ENTORNO DE TRABAJO

- 4.1. Configuración inicial de ArcGIS
- 4.2. Creación de una Geodatabase
- 4.3. Creación de un subconjunto de datos vectoriales
- 4.4. Construcción de un polígono shape en ArcGis

Capítulo 5 GENERACIÓN DE LOS MODELOS MDS Y MDT

- 5.1. Preprocesado de los datos LiDAR-PNOA
 - 5.1.1. Descompresión y análisis de los datos descargados

- 5.1.2. Ajuste de los datos a la zona de estudio
- 5.2. Análisis de los datos LiDAR de partida
 - 5.2.1. Análisis de la Zona Norte
 - 5.2.2. Análisis de la Zona Sur
- 5.3. Filtrado de outliers
 - 5.3.1. Filtrado de la Zona Norte
 - 5.3.2. Filtrado de la Zona Sur
- 5.4. Generación de los MDS
 - 5.4.1. MDS de la Zona Norte
 - 5.4.2. MDS de la Zona Sur
- 5.5. Generación de los MDT
 - 5.5.1. MDT de la Zona Norte
 - 5.5.2. MDT de la Zona Sur

Capítulo 6 CÁLCULO DEL MDV

- 6.1. Integración de los modelos digitales en la geodatabase de ArcGIS
- 6.2. Comprobación de los modelos
 - 6.2.1. Carga de la Ortofotografía del PNOA
 - 6.2.2. Comprobación con un modelo de sombras
- 6.3. Cálculo del modelo normalizado

Capítulo 7 MÉTODO DE ANÁLISIS DE IMÁGENES

- 7.1. Introducción al método de segmentación
- 7.2. El Algoritmo de Baatz & Shape
- 7.3. Introducción a InterIMAGE
 - 7.3.1. Red semántica
 - 7.3.2. Operadores TOP-DOWN
 - 7.3.3. Operadores BOTTOM-UP
 - 7.3.4. Reglas de decisión
 - 7.3.5. Control de interpretación
- 7.4. Descripción de los trabajos de segmentación y clasificación a realizar con InterIMAGE
- 7.5. Reducción de las zonas de estudio para su procesamiento con InterIMAGE

Capítulo 8 RODALIZACIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL

- 8.1. Creación de un nuevo proyecto en InterIMAGE.
- 8.2. Red semántica y reglas de segmentación
 - 8.2.1. Rodalización Zona Norte.
 - 8.2.2. Rodalización Zona Sur.
- 8.3. Extracción de la información asociada a la segmentación.
- 8.4. Clasificación de rodales
 - 8.4.1. Extracción de características de las ROI verdad terreno.
 - 8.4.2. Determinación de umbrales de clasificación.
 - 8.4.3. Clasificación de rodales con InterIMAGE.
 - 8.4.4. Integración de resultados en la geodatabase.
- 8.5. Evaluación de la rodalización.
 - 8.5.1. Resultados de la Zona Norte.
 - 8.5.1.1. Clasificación 1
 - 8.5.1.2. Clasificación 2
 - 8.5.1.3. Clasificación 3
 - 8.5.2. Resultados de la Zona Sur.
 - 8.5.2.1. Clasificación 1.
 - 8.5.2.2. Clasificación 2.
 - 8.5.2.3. Clasificación 3.
 - 8.5.3. Conclusiones.

Capítulo 9 DELIMITACIÓN DE COPAS DEL DOSEL ARBÓREO

- 9.1 Extracción de características de copas con ArcGIS
- 9.2. Segmentación en InterIMAGE.
- 9.3. Interpretación de resultados

Capítulo 10 TIPIFICACIÓN DE ESTRATOS DE MASA VEGETAL

- 10.1. Tipificación de estratos de la masa vegetal.
- 10.2. Resultados de la clasificación
- 10.3. Conclusiones

Capítulo 11 DELIMITACIÓN DE COPAS A PARTIR DE LA INTEGRACIÓN DE DATOS LIDAR Y DATOS MULTIESPECTRALES

11.1. Objetivos

11.2 Datos multiespectrales aportados

11.2.1. Remuestreo y georreferenciación de la imagen NDV1.

11.2.2. Georreferenciación mediante puntos de control

11.2.3. Recorte y ajuste de la imagen

11.2.4. Composición de bandas

11.3. Delimitación de copas

11.3.1. Composición de bandas

11.3.2. Segmentación

11.3.3. Interpretación y valoración de resultados

Capítulo 12 CONCLUSIONES

12.1. Conclusiones

BIBLIOGRAFIA

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Un poco de historia.

Cuando Theodore Harold Maiman patentó el primer láser⁽¹⁾ óptico en 1960, nadie era capaz de imaginar que se convertiría en una herramienta omnipresente en nuestro entorno cotidiano. Hoy en día podemos encontrar miles de aplicaciones en campos tan variados como la medicina, la investigación científica, las telecomunicaciones, la industria, la tecnología militar, la ingeniería civil, la arqueología, la topografía o la teledetección.

Durante la década de los 60, poco después de la construcción del primer láser, comienza a desarrollarse la tecnología **LiDAR**. Esta tecnología se basa en una técnica de teledetección óptica que utiliza la luz de láser para calcular la posición exacta de un objeto en el espacio. Las siglas LiDAR corresponden al acrónimo inglés *Light Detection and Ranging*, o también, *Laser Imaging Detection and Ranging*.

A principio de la década de 1970 se diseñan los primeros sensores activos sobre plataformas aéreas o satélites, y a finales de los 80, con la aparición de la tecnología GPS⁽²⁾ (sistema de posicionamiento global) comienzan a realizarse mediciones de precisión de perfiles desde aviones. Estos perfiles son reemplazados a comienzos de los 90 por un sistema de escáner láser aerotransportado (ALS) que permite el escaneado del terreno gracias a la combinación de dos movimientos: uno longitudinal dado por la trayectoria del avión y otro transversal mediante un espejo móvil que desvía el haz de luz láser emitido por el escáner. El ALS combinado con un GPS diferencial (mediante el uso de un receptor en el avión y uno o varios receptores en estaciones de control terrestres

(1) Acrónimo del inglés *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*.

(2) Acrónimo del inglés *Global Position System*

con coordenadas conocidas) y con sistemas inerciales (INS)⁽³⁾ que miden, además de la velocidad y trayectoria del avión, la rotación, inclinación y encabezamiento del sistema, constituyen la base del LiDAR aéreo. El resultado es la capacidad de obtener con alta precisión cantidades ingentes de puntos georreferenciados que evidencian la realidad del territorio en tres dimensiones.

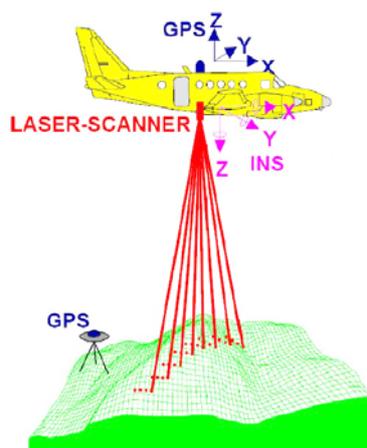


Fig. 1: Componentes básicos de un sistema ALS.

A partir del año 2000 y gracias a los grandes avances tecnológicos en los métodos de adquisición, procesamiento y almacenamiento de grandes cantidades de datos, el uso del LiDAR aerotransportado aumenta significativamente en multitud de aplicaciones como la ingeniería civil, la monitorización de líneas eléctricas, la geología y la edafología, la hidrología superficial, la detección de edificios y caracterización de zonas urbanas, aplicaciones forestales, estudios agrícolas, etc.

La constante evolución de la tecnología nos depara un futuro incierto pero lleno de expectativas, ya que no dejan de aparecer nuevos campos de aplicación, como las novedades más recientes en el ámbito de la física atmosférica, que permiten calcular perfiles de temperatura o medir la estructura de vientos.

(3) *Inertial Navigation System*. Su componente principal es la unidad de medición inercial IMU (*Inertial Measurement Unit*), que informa y recolecta en un ordenador los datos de navegación.

1.2. Algunas nociones básicas sobre LiDAR.

La tecnología LiDAR consiste básicamente en la medida del tiempo que tarda en recorrer un rayo muy estrecho y de muy alta energía (pulso láser), emitido desde un sensor activo, a un punto o superficie en la distancia, donde es reflejado para ser registrado de nuevo por el sensor láser. Conocidas las coordenadas del emisor láser y las mediciones efectuadas de ángulos y distancias se pueden calcular las coordenadas de cualquier punto en el espacio.

Los sistemas LiDAR aerotransportados son sensores remotos activos que han sido principalmente utilizados para la realización de levantamientos topográficos, pero cada vez más en la extracción de información del medio forestal. El sensor montado sobre una plataforma aérea y combinado con un sistema inercial y un sistema GPS, emite pulsos láser y anota la posición en la que se encuentra en ese instante y la dirección en la que ha lanzado los pulsos. Algunos pulsos chocan contra la cubierta vegetal y vuelve hacia el sensor, otros pulsos siguen su camino hasta chocar contra el suelo y, una vez chocan contra la tierra, rebotan y vuelven hacia el avión. El sensor recibe los ecos de los pulsos emitidos y, calculando el tiempo que han tardado en ir y volver, calcula la distancia a la que se encuentra el objeto.

Este comportamiento semipermeable de la vegetación frente al pulso LiDAR permite obtener información tridimensional acerca del tamaño y estructura del dosel de copas y del terreno bajo las mismas.

El primer pulso devuelto es el más importante y se asocia con la entidad más grande como la copa de un árbol o la parte superior de un edificio. La primera devolución también puede representar al suelo, en cuyo caso el sistema LiDAR sólo detectará un retorno.

Dependiendo de la huella del haz láser, de la tasa de pulsos (PRF)⁽⁴⁾ y de la estructura del árbol, es posible que una importante proporción de pulsos penetre a través de los huecos de las ramas, reflejándose en las partes más bajas de la copa, las ramas o el suelo. Los

(4) *Pulse Repetition Frequency*

retornos intermedios, en general, se utilizan para la estructura de la vegetación, mientras que el último eco será el que corresponda al suelo.

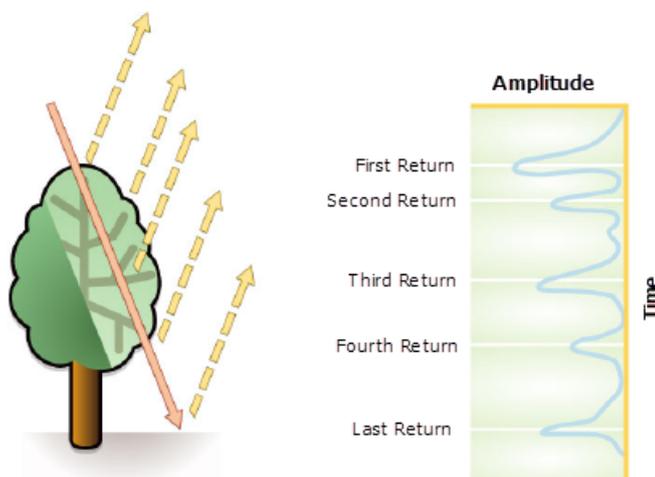


Fig. 2: Diferentes ecos producidos por un sólo pulso

Puede que el último retorno no corresponda realmente a un eco del suelo. Esto ocurrirá por ejemplo si la huella del haz es más pequeña que una rama gruesa que se encuentra en su camino y refleja todo el pulso sin que éste llegue a tocar el suelo.

El sistema LiDAR permite obtener mayor densidad de medidas por unidad de superficie que cualquier otro sistema. Genera de forma precisa un gran volumen de puntos que representa la cubierta terrestre, siendo capaz de penetrar la cobertura vegetal y capturar información del suelo. Sin embargo, esta toma de puntos se realiza de forma indiscriminada. Se controla la zona por la que pasa el avión pero no el lugar exacto donde rebotan los puntos láser emitidos por el sensor. Así, el resultado de un escaneo LiDAR es una nube de millones de puntos almacenados en un fichero tipo **.las* ⁽⁵⁾, de los cuales parte pertenecen al suelo y parte pertenecen a la superficie de las copas de los árboles.

El problema de discriminar qué pulsos son suelo y cuales son copas de árboles se resuelve con la creación de modelos digitales de superficie y de elevaciones mediante algoritmos de filtrado y clasificación de los datos brutos originales.

Un adecuado procesado de la nube de puntos LiDAR nos permite transformar la información registrada en alturas de la vegetación y, estudiando su distribución, obtener

(5) Los ficheros LAS son un tipo de archivos de formato binario que permiten almacenar el enorme tamaño de los conjuntos de datos LiDAR de forma mucho más efectiva que lo hacían los originarios formatos ASCII.

datos de la estructura de la cubierta vegetal.

Para cualquier análisis se requiere disponer de un modelo digital de superficie (MDS), consistente en una representación topográfica de la tierra (o suelo) y de todos los elementos del paisaje que residen en ella: edificios, árboles, líneas eléctricas, ..., y un *modelo digital de elevaciones*, también llamado del *suelo* o *terreno* (MDT), en el que sólo se tiene en cuenta la tierra desnuda de dichos objetos. A partir de ellos se puede obtener el modelo digital de superficies normalizado que, en áreas boscosas recibe el nombre de *modelo de alturas de copas* (Canopy height model, CHM) y que nosotros nombraremos como *modelo digital de vegetación* (MDV). El MDV es la base para la creación de inventarios y extracción de características de los árboles.

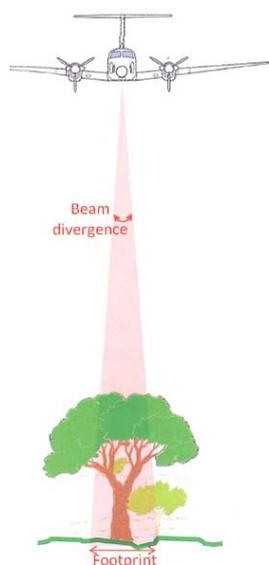


Fig. 3: Huella del haz

El ángulo de divergencia de un láser escáner estándar suele estar entre 0,25 mrad y 1,0 mrad, lo que produce un diámetro de huella de 25 cm a 1 m para una altura de vuelo sobre el suelo de 1000 m. Normalmente el espaciado de puntos suele ser mayor que el ancho de huella del haz, lo que implica que no todos los puntos más altos de las copas de los árboles quedan registrados. Esto provoca una sub-estimación de las alturas de los árboles que dependerá principalmente de la densidad de puntos y de la forma de las copas de los distintos tipos de árboles.

Otros factores que pueden afectar a la subestimación de alturas es la baja tasa de penetración en bosques muy densos o la existencia de una densa vegetación subarborescente que hacen menos preciso el MDT al no definirse correctamente y, por lo tanto, no se obtiene un MDV óptimo.

Capítulo 2

OBJETIVOS Y MÉTODOS

2.1. Objetivos.

La tecnología LiDAR se ha convertido en una herramienta fundamental para la obtención de datos topográficos tridimensionales de alta precisión. En las áreas forestales se hace posible conocer la estructura de la vegetación y obtener importante información sobre la cubierta vegetal. El ALS resulta imprescindible en la creación de inventarios forestales, en la lucha contra incendios, el análisis de sumideros de CO₂, la caracterización de la biodiversidad, el análisis de hábitats o las aplicaciones agrícolas.

El incremento en el número de pulsos por segundo que el láser escáner es capaz de transmitir ha permitido que se puedan realizar estudios más detallados de las zonas forestales. La capacidad de penetración del pulso láser y la capacidad de registro de múltiples ecos permite conseguir representaciones 3D muy precisas en zonas boscosas. Esto posibilita la localización de árboles, conocer sus características, calcular la masa forestal o calcular su altura.

Gracias al desarrollo de programas de licencia libre y la reciente liberalización de los datos LIDAR aerotransportado suministrados por el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), se puede acceder al desarrollo de métodos automáticos de inventario y evaluación de recursos forestales de gran precisión y coste reducido, frente a las técnicas tradicionales de inventario forestal, basadas en costosas campañas de campo que requieren tiempo y recursos y, en algunos casos, son inviables por las dificultades de acceso.

Constantemente se desarrollan nuevas metodologías que permiten la estimación de variables relacionadas con la estructura de la masa forestal, altura media, altura

dominante, número de árboles por hectárea, área basimétrica, perímetro y diámetro de copas y otras variables dasométricas (a nivel de parcela) y dendométricas (a nivel de parcela).

Sin entrar a profundizar en el campo de la dasonomía⁽⁶⁾, vamos a explicar cómo podemos obtener algunas de estas variables a partir de un modelo digital de vegetación (MDV), obtenido mediante la diferencia entre un modelo digital de superficie (MDS) y un modelo digital del terreno (MDT) generados a partir de datos LiDAR.

Tras el procesado de los datos LiDAR obtendremos una imagen ráster monobanda en la que los niveles digitales de los píxeles que la componen se corresponderán con los valores de altura de vegetación.

Procederemos a continuación a analizar los datos de la imagen LiDAR tratando de identificar a partir de una red jerárquica⁽⁷⁾ dirigida a objeto, los distintos elementos que la componen.

Realizaremos distintas clasificaciones orientadas a objeto según los siguientes niveles de escala:

- A nivel de parcela se tratará de realizar una rodalización de los distintos tipos de cubierta vegetal presentes en la imagen.
- A nivel de árbol se tratará de realizar una delimitación de las copas del dosel arbóreo y una estratificación de la cubierta vegetal.

Finalmente se pretende realizar una delimitación de copas a partir de la integración, junto a los datos LiDAR, de los datos NDVI⁽⁸⁾ procedentes de la manipulación de una imagen multiespectral.

Para la segmentación se utilizará en todos los casos el algoritmo propuesto por Baatz-Schäpe (2000) basado en el método de crecimiento por regiones.

(6) Ciencia que se ocupa del cultivo, conservación y explotación de montes y bosques.

(7) Una red semántica que está formada por un conjunto de nodos u objetos que interactúan de algún modo entre sí y que suelen visualizarse por medio de grafos. Un sistema jerárquico es una red cuya configuración obedece a un conjunto de reglas específicas.

(8) Índice de vegetación de diferencia normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*).

Los resultados de los distintos trabajos de segmentación serán integrados en una geodatabase. A través de los sistemas de información geográfica (SIG) se hace posible, no sólo la visualización de la distribución espacial de los resultados, sino también la extracción de características y variables estadísticas que pueden ser utilizadas en modelos de producción y cálculo forestal.

2.2. Software empleado.

La idea inicial de este proyecto era trabajar íntegramente con software libre, empezando por las herramientas de edición de textos, tablas de base de datos y hojas de cálculo de apoyo a través del paquete de programas *Apache OpenOffice* (© 2014 The Apache Software Foundation). De hecho así ha sido para el procesamiento de los datos LiDAR y para los procesos de segmentación y análisis de imágenes, en los que se empleó las herramientas de *FUSION* e *InterIMAGE* respectivamente. Sin embargo, aunque se comenzó trabajando con el conjunto de aplicaciones de *gvSIG Desktop*⁽⁹⁾ para el manejo de la información geográfica, aparecieron algunos problemas en el tratamiento y gestión de los datos ráster que obligaron a cambiar la metodología de trabajo y recurrir al uso del programa comercial *ArcGIS*. Sin duda el problema se debe a que se ha tratado de trabajar con la última versión de *gvSIG* (versión 2.2.0-2313), a la que en el momento de la elaboración de este proyecto acababan de implementarse nuevas herramientas ráster que estaban creando problemas en el entorno de Windows y que seguramente ya se habrán solucionado.

Finalmente el software empleado ha sido el siguiente:

- ***FUSION / LDV***

Se trata de un software libre desarrollado inicialmente para ayudar a los investigadores del Pacific Northwest Research Station del Servicio Forestal de los EE.UU. (The Forest Service of the U.S. Department of Agriculture – USDA) y de la Universidad de Washington, a entender, explorar y analizar los datos LiDAR (Robert J. McGaughey, 2010).

Este programa permite el análisis y visualización interactiva de una ingente cantidad de datos cuya gestión resultaría excesivamente pesada para cualquier sistema de información geográfica (SIG).

(9) Proyecto SIG en software libre impulsado e iniciado por el gobierno de la Generalitat Valenciana en 2010.

El sistema de análisis y visualización consiste en dos grandes programas: FUSION y LDV (Lidar Data Viewer), y una colección de programas independientes en líneas de comando que realizan tareas específicas en entorno MS-DOS.

FUSION puede utilizar distintos tipos de archivo en formato ASCII y LAS, si bien su formato nativo es LDA⁽¹⁰⁾.

Con el programa FUSION se realizará todo el tratamiento previo de los datos LiDAR suministrados y se generarán los modelos de superficie de la cubierta vegetal (MDS) y del terreno (MDT) en formato ráster.

- **ArcGIS**

ArcGIS es un conjunto de aplicaciones SIG producido y comercializado por ESRI, que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.

ArcGIS incluye avanzadas herramientas de análisis espacial y tratamiento de datos ráster que utilizaremos para extraer características en forma de variables estadísticas. Estas variables nos servirán para generar tablas de atributos asociadas a mapas temáticos que almacenaremos en una base de datos geográfica (geodatabase).

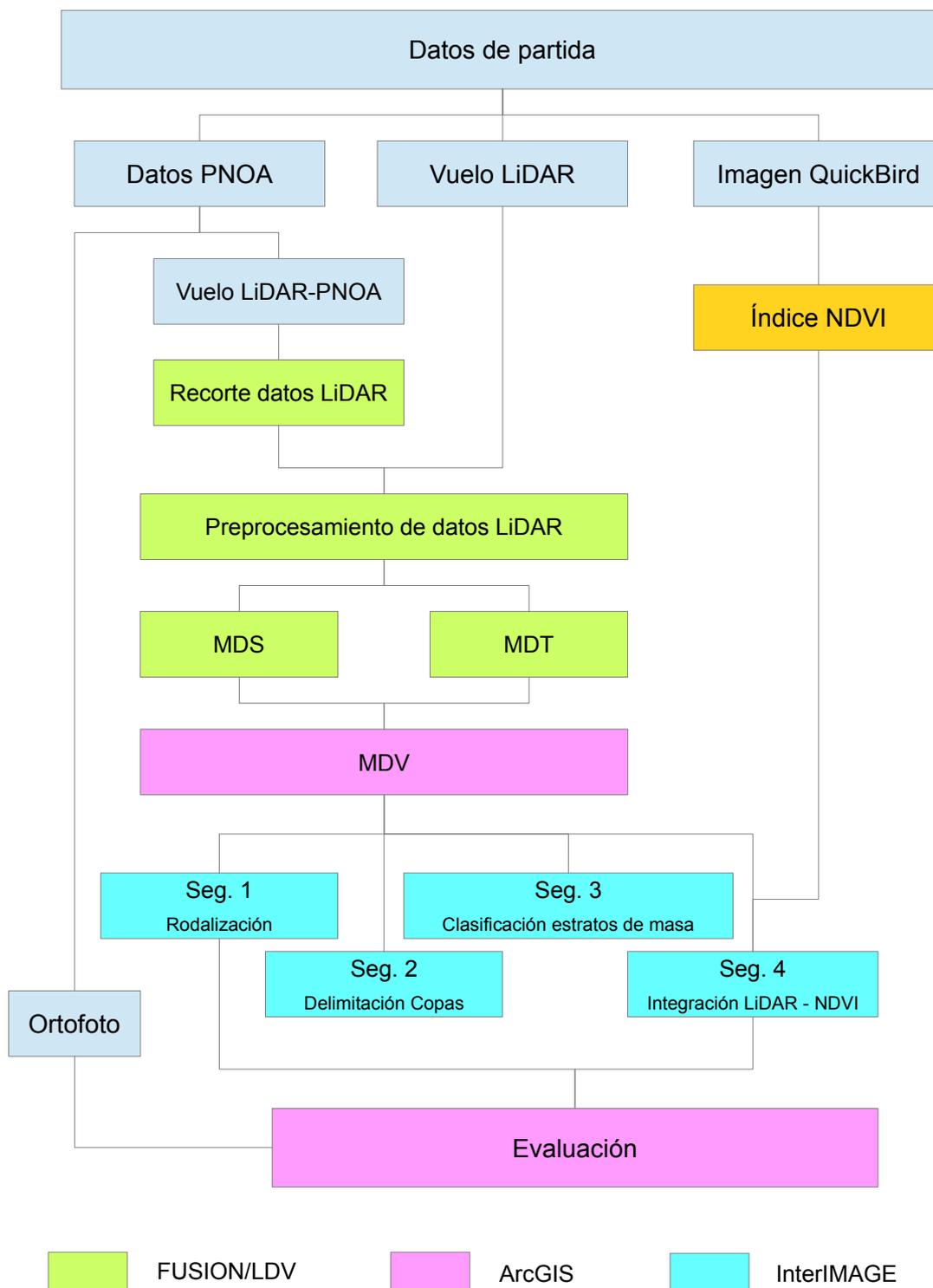
- **InterIMAGE**

InterIMAGE es un software de código abierto para el análisis e interpretación automática de las imágenes a partir de reglas de decisión basadas en el conocimiento del usuario a través de redes semánticas.

Forma parte de un proyecto de cooperación científica internacional liderado por la Universidad Católica de Rio de Janeiro (PUC-Rio) y el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil (INPE).

(10) Formato binario indexeado similar al formato LAS. Los archivos LAS no necesitan ser transformados a formato LDA.

2.3. Esquema de trabajo.



Capítulo 3

DATOS

3.1. Descripción de las zonas objeto de estudio.

Se ha propuesto el estudio de dos parajes bien diferenciados en el término municipal de Viver, provincia de Castellón.

La villa de Viver está localizada al noroeste de la comarca del Alto Palancia, a 559 msnm, en la zona intermedia que pasa del benigno clima mediterráneo al más riguroso del interior turolense. Por ello cuenta con una gran variedad paisajística, desde el bosque mediterráneo hasta los campos de trigo del altiplano, pasando por el monte bajo de aliagas o coscojos y las zonas fértiles regadas con las aguas de sus caudalosos manantiales.

El paisaje actual de la zona es consecuencia de los efectos de las actividades humanas a lo largo de la historia: deforestaciones, incendios, prácticas agro-pastorales, desamortización, repoblaciones forestales, ...

Entre la variedad de árboles de montaña y ribera podemos destacar la presencia de: pino albar (*Pinus sylvestris*), enebro (*Juniperus communis*), roble (*Quercus robur*), carrasca (*Quercus ilex*), alcornoque (*Quercus suber*), ciprés (*Cupresus sempervirens*), llatonero (*Celtis australis* L.), encina (*Quercus ilex*), rebollo-quejigo (*Quercus faginea* Lam.), pino carrasco (*Pinus halepensis*), pino laricio (*Pinus nigra*), endrino (*Prunus spinosa*), coscoja (*Quercus coccifera*), álamo (*Populus nigra* L.), olmo (*Ulmus minor* Mill.) y chopo (*Populus alba* L.). Especies con tamaños y características muy variadas, que suelen ir acompañadas de bajo monte compuesto por gran cantidad de arbustos y plantas aromáticas.

En las zonas de cultivo podemos encontrar también una gran variedad de frutales (principalmente de secano) entre los que destacan: olivo (*Olea europaea*), cerezo (*Prunus cerasus*), madroño (*Arbutus unedo L.*), caqui (*Diospyros kaki*), nispero (*Mespilus germanica*), serbal común (*Sorbus domestica L.*), almendro (*Amygdalus communis*), algarrobo (*Ceratonia siliqua*), membrillero (*Cydonia oblonga Mill.*), mangranero (*Punica granatum L.*), peral (*Pyrus communis L.*), manzano (*Malus domestica = Pyrus malus*), higuera (*Ficus carica L.*), níspero (*Eryobotria japónica*), nogal (*Juglans regia*) y parra (*Vitis vinifera*).

Con la intención de contrastar resultados se han elegido dos regiones del término municipal de aproximadamente 1 Km² con características bien diferenciadas y que hemos distinguido con la denominación de ZONA NORTE y ZONA SUR.

- **ZONA NORTE**

Ocupa una superficie de 850 x 1.000 m² en el paraje de *El Balsar*. Se trata de una zona llana con predominancia de cultivos de secano, principalmente almendros y algún nogal. También podemos encontrar alguna parcela con monte bajo y árboles de monte o pastizales.

La superficie de estudio queda limitada por las siguientes coordenadas definidas en el sistema de referencia EPSG 25830⁽¹¹⁾:

Esquina superior izquierda: 702.750 , 4.423.400

Esquina superior derecha: 703.600 , 4.423.400

Esquina inferior izquierda: 702.750 , 4.422.400

Esquina inferior derecha: 703.600 , 4.422.400

- **ZONA SUR**

Corresponde al paraje conocido como *Barranco de los Vallejos* y cubre una superficie aproximada de 1.000 x 1.000 m². El paraje se encuentra en una zona

(11) Datum: ETRS89. Proyección: UTM, huso 30N.

montañosa con fuertes desniveles, intercalándose zonas de monte con gran cantidad de arbolado, grandes huecos cubiertos por matorral (probablemente debidos a pasados incendios forestales) y terrazas de cultivos de secano, principalmente almendros y olivos.

La zona queda definida por las siguientes coordenadas:

Esquina superior izquierda: 703.740 , 4.421.287

Esquina superior derecha: 704.739 , 4.421.287

Esquina inferior izquierda: 703.740 , 4.420.290

Esquina inferior derecha: 704.739 , 4.420.290

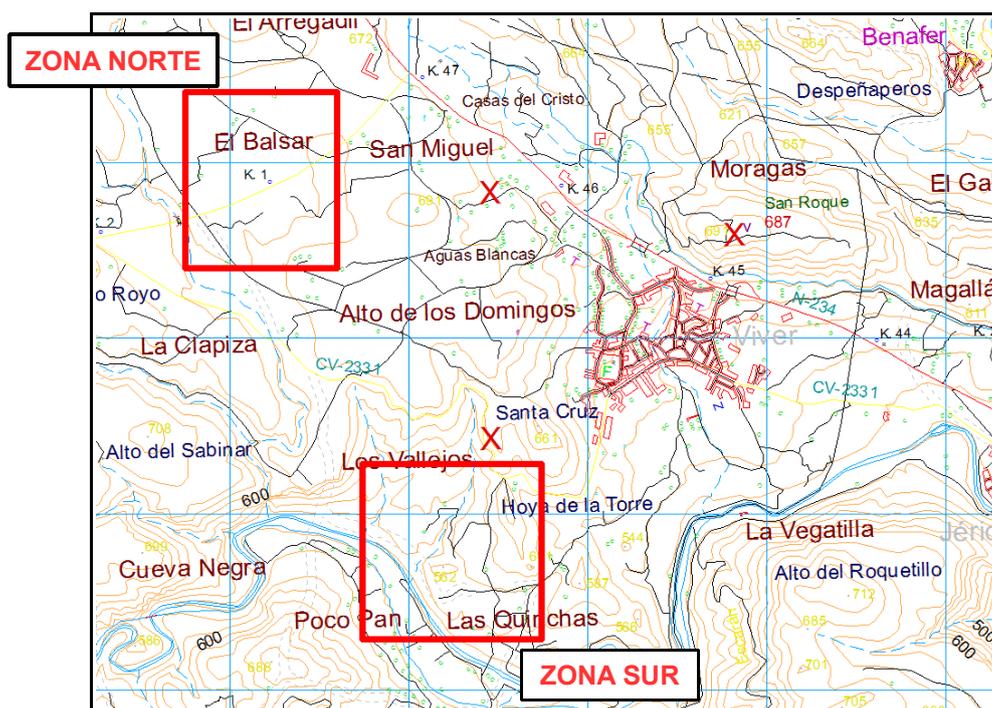


Fig 4: Situación de las zonas de estudio⁽¹²⁾

(12) Mapa base MTN50 © Instituto Geográfico Nacional de España

3.2. Datos de partida

3.2.1. Datos LiDAR de la Zona Norte.

No tenemos más datos iniciales para la Zona Norte que las coordenadas que definen los límites de la zona de estudio. Por ello usaremos los datos procedentes del vuelo LiDAR del PNOA disponible para cualquier usuario a través del *Centro de Descargas* del CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica):

<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/>

Las especificaciones técnicas del vuelo LiDAR del PNOA establecen una toma de datos con una densidad de 0,5 puntos / m².

El vuelo se realizó en el año 2009.

3.2.2. Datos LiDAR de la Zona Sur.

La Universidad Politécnica de Valencia (UPV) ha facilitado el archivo *000088.las* que contiene los datos correspondientes a un vuelo LiDAR realizado en septiembre de 2012 con una densidad de 8 puntos / m².

3.2.3. Datos multiespectrales.

Se han facilitado también, por parte de la UPV, dos fragmentos ráster monobanda con valores NDVI, procesados a partir de la fusión de una imagen pancromática de alta resolución y un imagen multiespectral tomadas por el satélite QuickBird el 6 de Julio de 2011.

Estos fragmentos cubren ampliamente las dos zonas de estudio y serán utilizados en la última parte de este trabajo.

3.2.4. Información auxiliar.

Como cartografía de apoyo se ha procedido a la descarga de la ortofotografía digital de alta resolución (50 cm) del PNOA⁽¹³⁾.

El fichero correspondiente a la hoja del MTN50 (Mapa Topográfico Nacional 1:50.000) que recoge las dos zonas de estudio es PNOA_MA_OF_ETRS89_HU30_h50_0369.

La imagen suministrada tiene una resolución espacial de 25cm/px.



Fig 5: Fragmento ortofotografía Zona Norte



Fig 6: Fragmento ortofotografía Zona Sur

El vuelo de la última ortofotografía validada para la Comunidad Valenciana corresponde al año 2012.

(13) PNOA cedido por © Instituto Geográfico Nacional de España.

3.3. Descarga de datos del PNOA

3.3.1. Sobre el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea

El Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) es un proyecto cooperativo y cofinanciado entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas, que es coordinado y gestionado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT).

El Ministerio de Fomento (a través del IGN y del CNIG) pone en marcha el PNOT para cumplir con los principios de la Directiva Europea 2007/2/CE INSPIRE, con la que se persigue el establecimiento de una Infraestructura de datos geográficos en Europa, de forma que el nivel de detalle máximo de la información geográfica se capture una sola vez y que se comparta abiertamente entre los distintos agentes sociales que tengan necesidad de la misma.

Entre los diferentes proyectos enmarcados en el PNOT, destacan el Plan Nacional de Teledetección (PNT) y el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), a través de los cuales se pretende proveer a las distintas Administraciones Públicas de las imágenes aéreas y de satélite que necesiten de su territorio, con resoluciones y ritmos de actualización optimizados.

El PNOA inicia su actividad en el año 2004 con el objetivo principal de obtener ortofotografías aéreas digitales de alta resolución (25 - 50 cm) y modelos digitales de elevaciones (MDE) de todo el territorio español, con un período de actualización de 2 - 3 años, según la zona.

En el año 2008, se plantea la necesidad de disponer de Modelos Digitales de alta precisión, obtenidos por tecnología LiDAR, para la realización de cartografía de áreas de inundación, proyectos de carreteras, inventarios forestales, etc. El objetivo es cubrir todo el territorio de España mediante nubes de puntos con coordenadas X, Y, Z obtenidas

mediante sensores LiDAR aerotransportados, con una densidad de 0,5 *puntos / m²*, con precisiones altimétricas superiores a los 20 *cm*.

Las nubes de puntos obtenidas son clasificadas de forma automática coloreándolas a partir de la información RGB contenida en los píxeles (de tamaño 25 – 50 *cm*) que componen las ortofotos digitales del PNOA.

Aunque no se ha completado la cobertura LiDAR de todo el territorio nacional por el momento, desde el 14 de enero de 2015 están disponibles de forma gratuita a través del centro de descargas del CNIG, algunos modelos digitales del terreno obtenidos a partir de nubes de puntos LiDAR y los ficheros brutos de los vuelos LiDAR – PNOA.

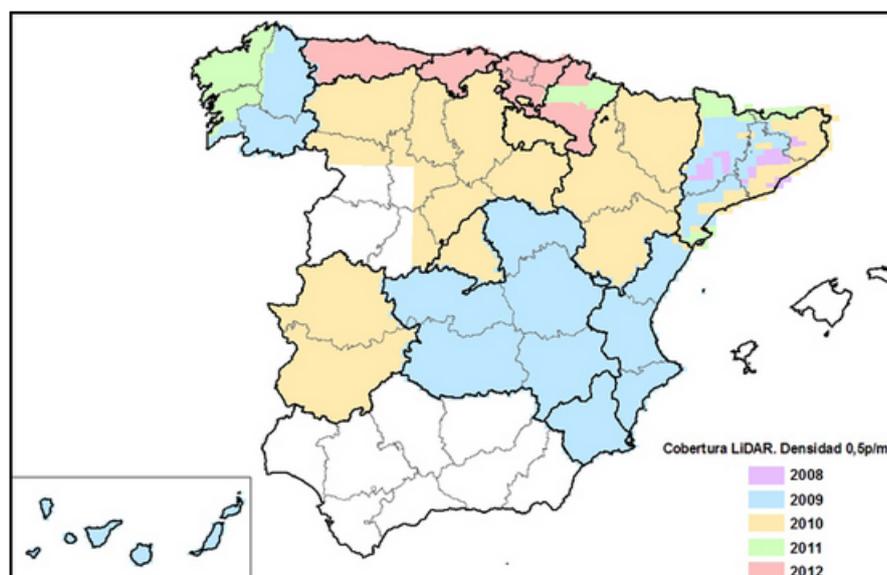


Fig 7: Proyecto PNOA 2008-2012 (<http://pnoa.ign.es/coberturalidar>)

La información altimétrica de la nube de puntos LiDAR se distribuye en ficheros de 2x2 *Km* de extensión. El formato de descarga es un archivo LAZ (formato de compresión de ficheros LAS). El sistema geodésico de referencia es ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla, y REGCAN95 en las Islas Canarias (ambos sistemas compatibles con WGS84) y proyección UTM en el huso correspondiente a cada fichero. Las coordenadas Z son altitudes elipsoidales.

3.3.2. Descarga de datos LiDAR-PNOA

Para obtener los datos LiDAR de la ZONA NORTE deberemos acceder al Catálogo de Productos que ofrece el Centro de Descargas del CNIG⁽¹⁴⁾:

<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do#selectedSerie>



Centro de Descargas/ Catálogo de productos

Catálogo de productos

Infórmese de todas las actualizaciones de los productos del Centro de Descargas en nuestro [servicio de novedades RSS](#).

► **PNOA MÁXIMA ACTUALIDAD:**

Mosaicos de ortofotos del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) más recientes disponibles, en formato ECW, sistema geodésico de referencia ETRS89 y proyección UTM en su huso correspondiente. La unidad de distribución y descarga es la hoja del MTN50 (Mapa Topográfico Nacional 1:50.000), resultado de componer un mosaico con las ortofotos correspondientes a cada hoja del MTN50. Un mosaico de Máxima Actualidad por hoja MTN50 se forma seleccionando de entre toda la información de ortofotografía PNOA disponible, aquella que tenga una fecha de referencia más reciente, y en caso de coincidencia, se seleccionará la que tenga un tamaño de píxel menor. Cada mosaico va acompañado de un archivo de metadatos (XML) y un archivo shape (comprimido en formato ZIP) formado por recintos que indican, para cada píxel del mosaico, la resolución geométrica y la fecha de toma de la ortofotografía.

[Descargar](#) [Gráfico con fechas de vuelo](#)

[ampliar imagen](#)

► **ORTOFOTOS HISTÓRICAS DEL PNOA:**

Mosaicos de ortofotos del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea), desde el año 2004, en formato ECW, sistema geodésico de referencia ETRS89 y proyección UTM en su huso correspondiente. La unidad de distribución y descarga es la hoja del MTN50 (Mapa Topográfico Nacional 1:50.000), resultado de componer un mosaico con las ortofotos correspondientes a cada hoja del MTN50. Un mosaico histórico por hoja MTN50 se forma seleccionando, de entre toda la información de ortofotografía PNOA disponible, aquella que tenga el mismo año de vuelo. Cada año se cubre una superficie diferente del territorio nacional (ver las superficies voladas cada año en <http://pnoa.ign.es/vuelo-fotogrametrico>). En los casos en los que exista más de una ortofoto disponible, se selecciona la que tenga un tamaño de píxel menor. El tamaño de píxel y la fecha de toma de la ortofotografía se encuentran en la información auxiliar.

[Descargar](#) [Información auxiliar, fechas y resoluciones Ortofotos Históricas de PNOA](#)

[ampliar imagen](#)

► **MTN25 RÁSTER:**

Archivos ráster de las últimas actualizaciones del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000, generados por medio de una rasterización digital (conversión vector a ráster) con incorporación de sombreado y sin exteriores. Los archivos no tienen por qué coincidir exactamente con el contenido de las últimas ediciones publicadas en papel, debido a que de forma continua, en el fichero vectorial (MTN25 VECTORIAL), se van incorporando nuevos elementos y resolviendo errores detectados. Los formatos de descarga son TIFF + TFW y ECW, acompañados de un PRJ que contiene información sobre la georreferenciación, Sistema geodésico de referencia ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla, y REGCAN95 en las Islas Canarias (ambos sistemas compatibles con WGS84) y proyección UTM en el huso correspondiente a cada fichero. Alturas ortométricas. No se dispone de ficheros LiDAR de todo el territorio nacional por el momento (consulte la cobertura LiDAR en <http://pnoa.ign.es/coberturalidar>).

[Descargar](#) [Información auxiliar MTN25 ráster](#)

[ampliar imagen](#)

Figura 8

Buscamos el producto LiDAR:

► **LiDAR:**



Ficheros digitales con información altimétrica de la nube de puntos LiDAR, distribuidos en ficheros de 2x2 km de extensión. El formato de descarga es un archivo LAZ (formato de compresión de ficheros LAS), en la información auxiliar se ofrece una herramienta de descompresión y visualización de ficheros LAZ y LAS. Las nubes de puntos han sido capturadas mediante vuelos con sensor LiDAR con una densidad de 0,5 puntos/m², y posteriormente clasificadas de manera automática y coloreadas mediante RGB obtenido a partir de ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) con tamaño de píxel de 25 o 50cm. Sistema geodésico de referencia ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla, y REGCAN95 en las Islas Canarias (ambos sistemas compatibles con WGS84) y proyección UTM en el huso correspondiente a cada fichero. Alturas ortométricas. No se dispone de ficheros LiDAR de todo el territorio nacional por el momento (consulte la cobertura LiDAR en <http://pnoa.ign.es/coberturalidar>).

[Descargar](#) [Información auxiliar LiDAR](#)

[ampliar imagen](#)

Figura 9

(14) Podemos buscar la dirección del enlace en el geoportale de la IDEE o del IGN.

Pulsando sobre el enlace “*Información auxiliar LiDAR*” descargaremos el fichero comprimido “*lidar_documentación.zip*” que contiene los siguientes archivos:

- Carpeta *SOFTWARE* que contiene información y software de ayuda para la visualización de los datos LIDAR, en concreto sobre el programa *LASTaskTools*. Este software solo vale como visualizador y, sobre todo, para descomprimir los archivos *LAZ* a formato *LAS*.
- Archivo “*110131 Especificaciones PNOA VUELO COMBINADO.pdf*”, donde se detallan las especificaciones técnicas del vuelo LiDAR realizado por el PNOA.
- Archivo “*Fichero_Huso_Municipio_Fecha.xlsx*”.
- Archivo “*Metadatos_serie_LIDAR.xml*”, fichero XML de metadatos.
- Archivo “*LEEME.txt*”, fichero de texto que ofrece la siguiente información sobre los formatos LIDAR:

----- Formato LAS -----

El formato de archivo LAS es un formato de archivo público para el intercambio de datos procedentes de nubes de puntos tridimensionales entre los usuarios de datos. Aunque fue desarrollado principalmente para el intercambio de datos de nubes de puntos LIDAR, permite el intercambio de cualquier conjunto de elementos con coordenadas en 3 dimensiones x, y, z. Este formato de archivo binario es una alternativa a los sistemas de propiedad o a los sistemas de intercambio de archivos ASCII genéricos utilizados por muchas empresas. El formato LAS mantiene la información específica a la naturaleza de los datos LIDAR sin ser demasiado complejo.

Fue creado por la *ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Sociedad Estadounidense de Fotogrametría y Teledetección)*. Es un estándar de facto y como tal el software comercial dedicado a manejo de datos LiDAR puede leer dicho formato. Existe software gratuito que lee LAS, como por ejemplo *Fugroviewer* (<http://www.fugroviewer.com/>), así como algunos SIG gratuitos (*gvSIG* y *QGIS*, entre otros) pero con la ayuda de un software complementario.

La especificación usada en los archivos LAS del IGN/CNIG es la 1.3. Para más información consultar la página web <http://www.asprs.org/Committee-General/LASer-LAS-File-Format-Exchange-Activities.html>.

----- Formato LAZ -----

El formato LAZ es un tipo de archivo binario obtenido de la compresión de los ficheros LAS mediante una librería de compresión desarrollada por Martin Isenburg para su herramienta LASzip. El uso del formato y de la herramienta *LASTask Tools Visualizador*, que pone a disposición de los usuarios el IGN y el CNIG, es libre, sin embargo la utilización de LASzip está sometida a ciertas restricciones. Para más información sobre su uso y condiciones consultar <http://rapidlasso.com/>.

En la Carpeta Software se encuentra la aplicación *LASTask Tools Visualizador*, esta versión permite visualizar ficheros LAS y descomprimir ficheros .laz.

Otro software gratuito es *FugroViewer*, se descarga desde el enlace <http://www.fugroviewer.com/request/default.asp>. Permite abrir y observar directamente los datos LiDAR desde el formato *.laz.

Para acceder a la pantalla de búsqueda pulsaremos sobre el enlace de la izquierda “Descarga”



The screenshot shows the 'Centro de Descargas' website interface. At the top, there is a banner with logos for the Spanish Government, the Ministry of Agriculture, and the National Geographic Information Institute (IGN). Below the banner, there is a navigation menu with options like 'Presentación', 'Catálogo de productos', 'Búsqueda en visor', 'Búsqueda avanzada', 'Equipamiento Geográfico de Referencia Nacional', and 'Ayuda'. The 'Búsqueda Avanzada' section is active, displaying three dropdown menus: 'Seleccione Producto' (set to 'LiDAR (.laz 2x2 km)'), 'Seleccione División administrativa:' (set to 'Municipio'), and 'Seleccione tipo de archivo:' (set to 'Todos'). There is also a text input field for 'Escriba nombre municipio' with an asterisk. A 'Buscar' button is located below the search fields. At the bottom, there are links for 'Ver documento de ayuda (pdf)' and 'Ver video de ayuda (avi)'.

Figura 10

Desde aquí podemos buscar el archivo *.laz a descargar introduciendo el nombre del municipio y pulsando el botón “BUSCAR”. Si hacemos esto, veremos que despliega una larga lista de archivos LAZ. La distribución 1:5000 empleada corresponde a la división en

8 x 8 de las hojas MTN50 oficiales⁽¹⁵⁾. Como cada archivo sólo cubre 2 x 2 Km², resulta complicado saber cual o cuales debemos descargar.

Para acceder a más opciones pulsaremos sobre el enlace “*Búsqueda en visor*”.



Figura 11.

Desde aquí accedemos a nuevas opciones de descarga, pudiendo actuar sobre el visor de forma gráfica. En nuestro caso, como tenemos un marco con coordenadas y no tenemos claro que nuestra zona caiga en una zona de solape de ficheros, debemos ir al cuadro “*Seleccionar producto a descargar*”.

En “*Filtrar por productos*” seleccionamos el producto *LIDAR (.laz 2x2 km)*.

(15) El corte de hojas se obtendrá aplicando con un rebase de 50 metros con respecto a las cuatro esquinas teóricas, redondeado a múltiplos de 10 m.



Figura 12.

Aparece el cuadro “Opciones de selección de datos LIDAR”.

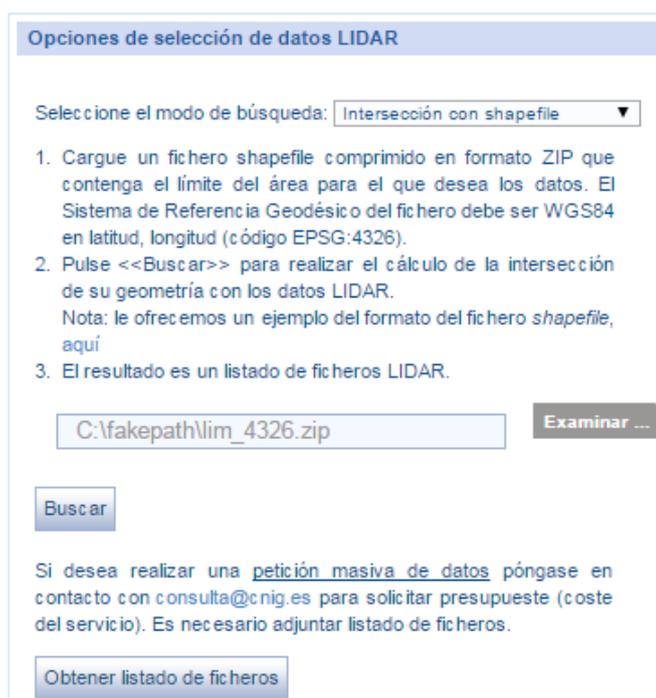


Figura 13.

Existen tres opciones de búsqueda:

- “Polígono dibujado en pantalla”
- “Malla LIDAR predefinida”
- “Intersección con shapefile”

La opción adecuada consiste en generar un archivo vectorial *shapefile* consistente en un rectángulo a modo de ventana con los límites coordenados de la zona que queremos descargar. La *shape* podemos dibujarla con cualquier software SIG⁽¹⁶⁾.

(16) Ver apartado 4.3. *Como generar un polígono shape en ArcGIS.*

Seleccionando la opción “Intersección con shapefile” aparece un cuadro de diálogo en el que se nos dice que debemos cargar un “*fichero shapefile comprimido en formato ZIP que contenga el límite del área para el que desea los datos. El Sistema de Referencia Geodésico del fichero debe ser WGS84 en latitud, longitud (código EPSG:4326).*”

Si hemos dibujado el polígono a partir de las coordenadas en EPSG 25830, deberemos de tener la precaución de realizar la transformación al sistema de referencia EPSG 4326 antes de exportarlo como archivo *.shp.⁽¹⁷⁾

Una vez generado el archivo solicitado, lo cargamos y pulsamos “BUSCAR”. El servidor buscará todos los ficheros *.laz de 2x2 Km² que cubran por completo la zona que hemos definido. En nuestro caso la zona queda cubierta con un único archivo:

Paso 1- Resultados de su búsqueda

Volver a buscar

 Los archivos seguidos de este icono no están seleccionados para descargar.
 Los archivos seguidos de este icono están seleccionados para descargar.

1
página 1 de 1

Comenzar el proceso de descarga

| Producto | Archivo | Formato | Tamaño(MB) | Seleccionar |
|---------------------|--|---------|------------|---|
| LIDAR (.laz 2x2 km) | PNOA_2009_LOTE4_CAS_702-4424_ORT-CLA-COL.LAZ | LAZ | 19,74 |  |

Comenzar el proceso de descarga

1
página 1 de 1

Figura 14.

Tras pulsar el enlace *INICIAR PROCESO DE DESCARGA* deberemos aceptar las condiciones de uso y licencia (ver figura 18).

A continuación aparece una breve encuesta que podemos enviar o pedir que siga con la descarga sin enviarla.

Paso 3- Descarga

1
página 1 de 1

| Archivo | Descargar |
|---|---|
| LIDAR/2009_LOTE4_CAS/LAZ/Huso_30/PNOA_2009_Lote4_CAS_702-4424_ORT-CLA-COL.LAZ |  Descargar |

[Descarga automática](#) [Instrucciones para la descarga automática](#)

Figura 15

(17) Ver en apartado 11.2.1. la georreferenciación de la imagen NDVI con ArcGIS

Es importante tener presente que para acceder a la opción de descarga es obligatorio registrarnos previamente como usuario. El registro es totalmente gratuito y se puede efectuar en cualquiera momento del proceso descrito.

Usaremos la aplicación *LASTask Tools*, descargada al principio del proceso con la información auxiliar, para descomprimir el fichero LAZ descargado a formato LAS, para su posterior procesamiento con el programa *FUSION / LDV*.

3.3.3. Descarga de la ortofotografía de apoyo.

Podemos acceder a la ortofotografía a través del servicio *Web Map Service (WMS)* desde el software de *ArcGIS*, pero no resulta conveniente porque los costes de procesamiento a través de este servicio ralentizan el funcionamiento de nuestro ordenador.

Dado que en nuestro trabajo vamos a necesitar continuamente la ortofoto, resulta más conveniente descargarla a nuestro disco duro desde el servicio de descargas del CNIG. Además de esta forma también podremos usarla para visualizar resultados en *InterIMAGE*.

El procedimiento de descarga es similar al que acabamos de describir para la descarga de los datos LiDAR, pero más rápido y sencillo.

En el Catálogo de Productos que ofrece el Centro de Descargas del CNIG aparece como primer producto el PNOA DE MÁXIMA ACTUALIDAD.

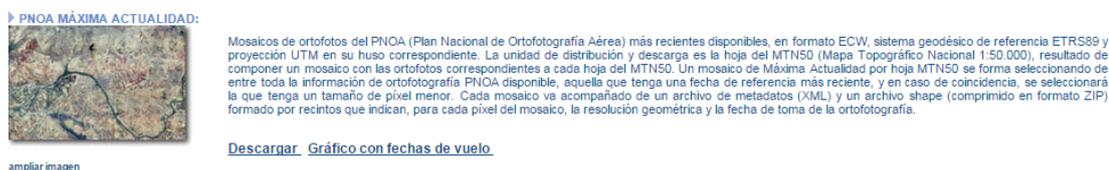


Figura 16

En el enlace de la derecha, *“Gráfico con fechas de vuelo”*, tenemos la opción de descargar las fechas de actualización de las hojas del PNOA. A la izquierda, pulsando sobre el enlace DESCARGAR, accedemos a la ventana de búsqueda avanzada (ver Figura 10), donde comprobaremos que está correctamente seleccionado el producto

“Ortofoto PNOA Máxima Actualidad”.

Si realizamos ahora la búsqueda por el nombre del municipio (Viver), comprobaremos que se lista una única opción, la misma que la hoja correspondiente del MTN50.

Paso 1- Resultados de su búsqueda

Volver a buscar 

 Los archivos seguidos de este icono no están seleccionados para descargar.
 Los archivos seguidos de este icono están seleccionados para descargar.

1
 página 1 de 1

| Producto | Archivo | Formato | Tamaño(MB) | Seleccionar |
|---------------------------------|-------------------------------------|----------------|------------|---|
| Ortofoto PNOA Máxima Actualidad | PNOA_MA_OF_ETRS89_HU30_h50_0639.ecw | ECW | 1598,26 |   |
| Ortofoto PNOA Máxima Actualidad | PNOA_MA_OF_ETRS89_HU30_h50_0639.xml | XML(METADATOS) | 0,05 |  |
| Ortofoto PNOA Máxima Actualidad | PNOA_MA_OF_ETRS89_HU30_h50_0639.ZIP | SHAPE | 0,01 |  |

Figura 17

El resultado de la búsqueda está compuesto por tres archivos:

- La propia ortofoto en formato *ECW (Enhanced Compression Wavelet)*. Se trata de un formato para imágenes ráster desarrollado por la empresa *Earth Resource Mapping* que presenta unos ratios de compresión muy altos, desde 10:1 hasta 50:1, manteniendo la calidad gráfica. Esto permite reducir considerablemente el tamaño de los archivos para facilitar su descarga. Los procesos de compresión, descompresión y carga son muy rápidos, sin consumo excesivo de los recursos del sistema. Otra ventaja de este tipo de archivos es la de preservar la georreferenciación de la imagen mediante un archivo de cabecera con extensión *.ers que lo acompaña.
- Un archivo de metadatos con extensión *XML*
- Un archivo *shape* (comprimido en formato *ZIP*) formado por recintos que indican, para cada píxel del mosaico, la resolución geométrica y la fecha de toma de la ortofotografía.

Con los botones   seleccionamos o deseleccionamos los ficheros a descargar.

Tras aceptar las condiciones de uso y licencia ya estaremos en disposición de iniciar la descarga de archivos.

1. La licencia de uso solicitada ampara exclusivamente el uso no comercial de la información geográfica, entendiéndose como tal el uso que no conlleva aprovechamiento económico directo, indirecto o diferido. Cualquier uso distinto al descrito, incluida la publicación, requerirá la suscripción de una autorización o contrato específico con el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), devengando, en su caso, la contraprestación económica correspondiente. En caso de duda deberá establecerse contacto con el CNIG (consulta@cnig.es).
2. El usuario titular de la licencia se compromete a citar al Instituto Geográfico Nacional (IGN) mediante la fórmula: «© Instituto Geográfico Nacional de España» como origen y propietario de la información geográfica suministrada ante cualquier exhibición o difusión de ella, o de parte de ella o de cualquier producto que, aún siendo de forma parcial, la incorpore o derive de ella.
 - Si se tratara de Ortofoto o MDT5 (PNOA®), la mención se sustituirá por: «PNOA cedido por © Instituto Geográfico Nacional de España».
 - Tratándose de datos LiDAR, la mención se sustituirá por: «LiDAR-PNOA cedido por © Instituto Geográfico Nacional de España».
 - En caso de datos SIOSE®, la mención se sustituirá por: «SIOSE cedido por © Instituto Geográfico Nacional de España».
 - Tratándose de CartoCiudad®, la mención se sustituirá por: «CartoCiudad cedido por © Instituto Geográfico Nacional de España».
3. En caso de CartoCiudad®, los nuevos productos o servicios que puedan generarse basados en CartoCiudad®, no incluirán ninguna referencia a la información catastral, ni suplantarán explícitamente o mediante productos o servicios que puedan dar lugar a confusión a los ofrecidos por la Dirección General del Catastro, del Ministerio de Economía y Hacienda, o a los ofrecidos por la Sociedad Estatal Correos y Telégrafos S.A., a quienes corresponde en exclusiva la competencia para la difusión de la información catastral y postal respectivamente, así como el ejercicio de los derechos de propiedad intelectual inherentes a la información y a las bases de datos catastrales y postales.
4. La cesión de la información digital licenciada, de otra que la incorpore o de cualquier producto derivado de ella, a otra persona física o jurídica, requerirá la concesión por el CNIG de nueva licencia al nuevo usuario, o que el cedente comunique expresamente por escrito al nuevo usuario las condiciones originales de licenciamiento establecidas por el CNIG, y que el nuevo usuario acepte expresamente dichas condiciones. Esta comunicación puede llevarse a término mediante el documento estándar descargable desde www.ign.es, o bien a través de un documento definido por el cedente y aprobado previamente por el CNIG.
5. Esta licencia de uso no comercial, no supone la concesión de ningún tipo de exclusividad, aval o patrocinio, ni responsabilidad alguna del IGN sobre el uso derivado de los datos geográficos.

Figura 18: Condiciones de uso y licencia.

Capítulo 4

CONFIGURACIÓN DEL ENTORNO DE TRABAJO

4.1. Configuración inicial de ArcGIS.

Todo proyecto que requiere la captura, generación, edición, visualización, análisis y gestión de información geográfica necesita hacer uso de un software SIG.

ArcGIS se va a convertir en la base principal de nuestro entorno de trabajo, por su capacidad para realizar todo tipo de análisis espaciales y su capacidad de gestión. Por medio de sus herramientas de edición generaremos los archivos vectoriales necesarios para la descarga de los datos LiDAR y su procesamiento posterior con *FUSION/LDV*, así como las imágenes ráster que serán analizadas en *InterIMAGE*. Recíprocamente, la base de datos de *ArcGIS* será retroalimentada con los productos generados por estos programas externos.

ArcGIS está compuesto por un conjunto de programas de procesamientos geoespaciales que se engloban en familias temáticas (*ArcMap*, *ArcCatalog*, *ArcToolbox*, *ArcScene*, *ArcGlobe*, ...) entre los que *ArcMap* es el componente principal. Desde el interfaz de *ArcMap* podemos acceder al resto de programas de *ArcGIS* y gestionar todo el proyecto.

Lo primero que debemos hacer al abrir *ArcMap* es definir las unidades y el sistema de coordenadas de nuestro trabajo.

Las unidades de mapa se mostrarán como desconocidas hasta que se haya especificado el sistema de coordenadas para el marco de datos. Si el marco de datos no contiene datos, podemos agregar una primera capa al marco de datos, la cual establecerá el sistema de coordenadas automáticamente.

Como la primera vez que abrimos el programa todavía no disponemos de datos, el marco de datos estará vacío. Para acceder al cuadro de diálogo de las *Propiedades del Marco de Datos* ejecutamos:

View \ Data Frame Properties

En la ficha General podemos ver y definir las unidades de Mapa actuales y también establecer las unidades de visualización.

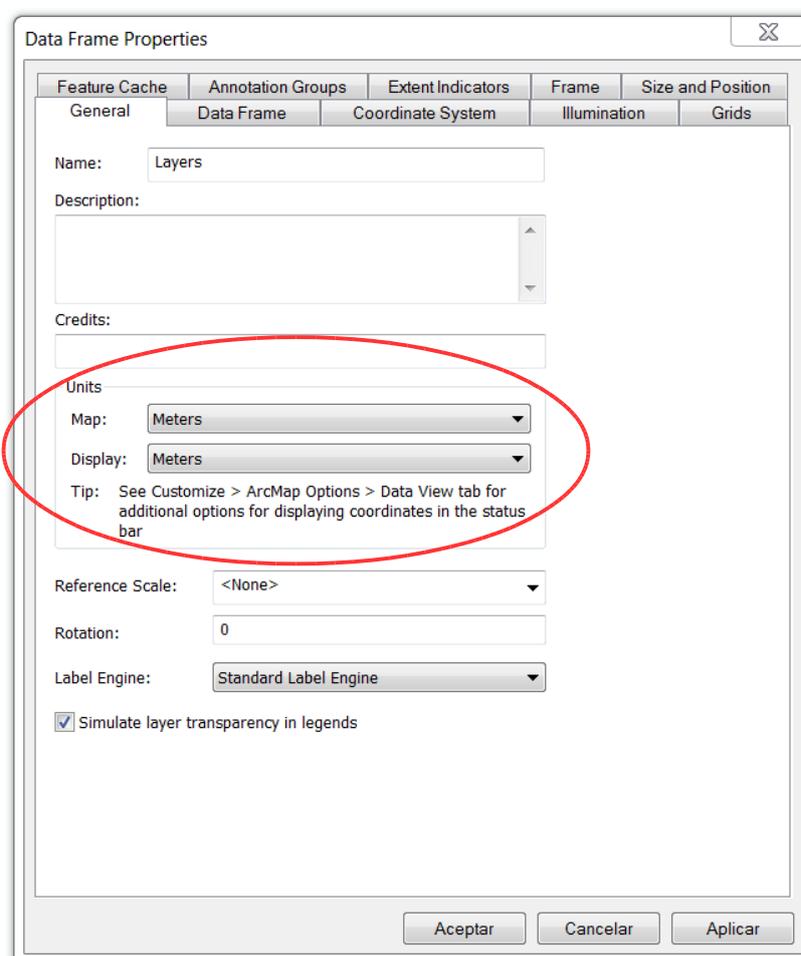


Figura 19

En la ficha *Coordinate System* podremos definir el sistema de trabajo de nuestro proyecto: ETRS89 UTM 30N (EPSG: 25830).

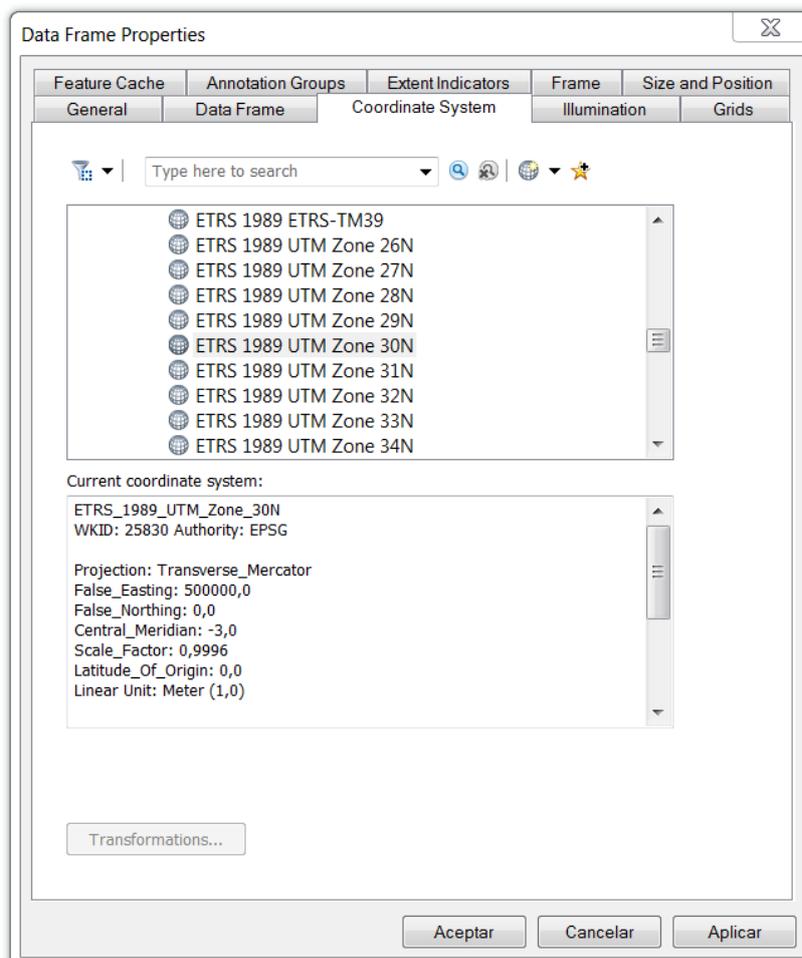


Figura 20

Cuando *ArcMap* se inicia con un mapa vacío y nuevo, el sistema de coordenadas para el marco de datos predeterminado no está definido. La primera capa que se añade a un marco de datos vacío establece el sistema de coordenadas para ese marco de datos, pero también se puede cambiar en cualquier momento si fuera necesario. A medida que se van agregando otras capas, éstas se muestran de forma automática en el sistema de coordenadas del marco de datos, siempre que haya sido definido el sistema de coordenadas de la fuente de datos.

Si no hay información suficiente, *ArcMap* no podrá proyectar los datos en cada capa y visualizarlos correctamente. En este caso, deberemos proporcionar nosotros mismos la información necesaria del sistema de coordenadas.

Capítulo 4 – Configuración del entorno de trabajo

Por lo general, si tenemos una capa cuyo *dataset* no tiene definido un sistema de coordenadas, pero sabemos cual es, deberíamos utilizar la herramienta *Define Projection* en *ArcToolbox* para asignar información de la proyección a los datos. Esto es obligatorio para trabajar con esos datos en *ArcGIS*.

4.2. Creación de una Geodatabase.

La *Geodatabase* (GBD) es un modelo que permite el almacenamiento físico de la información geográfica (datasets geográficos), ya sea en archivos dentro de un sistema de ficheros o en una colección de tablas en un Sistema Gestor de Base de Datos (*Microsoft Access, Oracle, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, Informix* o *IBM DB2*).

Las geodatabases tienen diversos tamaños, distinto número de usuarios, pueden ir desde pequeñas bases de datos de un solo usuario generadas en archivos hasta geodatabases de grupos de trabajo más grandes, departamentos o geodatabases corporativas a las que acceden muchos usuarios.

La geodatabase es la estructura de datos nativa para *ArcGIS* y es el formato de datos principal que se utiliza para la edición y administración de datos. Es el almacenamiento físico de la información geográfica, que principalmente utiliza un sistema de administración de bases de datos (DBMS) o un sistema de archivos.

En lugar de guardar en un trabajo o proyecto **.mxd* de *ArcMap* la información de los enlaces a cada uno de los *shapes* o coberturas en las diferentes carpetas que vayamos generando, podemos aglutinarla en un mismo archivo. La geodatabase (un **.mdb* de *Access* para el caso de una *Geodatabase Personal*) compila elementos de todo tipo que necesitemos para nuestro proyecto: puntos, líneas, polígonos y elementos raster (*Raster Catalog* y *Raster Dataset*), lo cual facilita enormemente la organización de la información y el traspaso de la misma entre los distintos miembros de un equipo de trabajo.

Para crear una nueva geodatabase personalizada, podemos abrir el programa *ArcCatalog*, o bien visualizar en *ArcMap* el conjunto de herramientas *Catalog* desde el menú principal:

Windows / Catalog

Esta aplicación nos ayudará a trabajar de forma ordenada la gran cantidad de ficheros que se van generando a lo largo de un proyecto.

Capítulo 4 – Configuración del entorno de trabajo

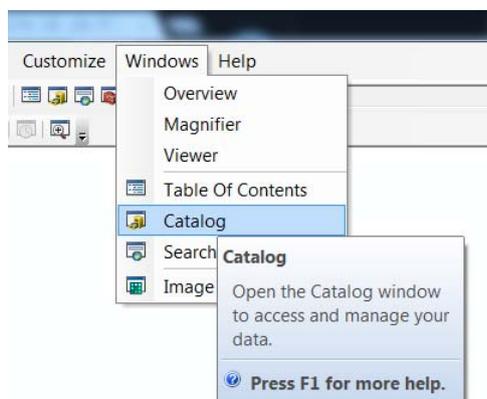


Figura 21

En la carpeta donde queremos generar la geodatabase pinchamos con el botón derecho del ratón y ejecutamos

New \ Personal Geodatabase

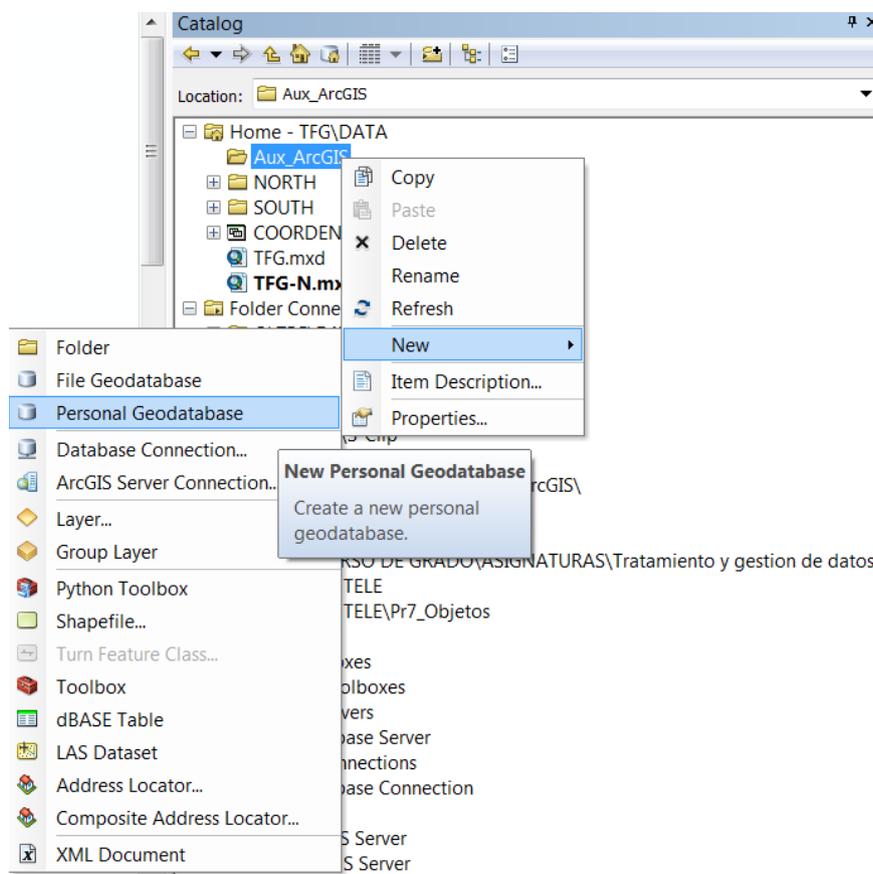


Figura 22

4.3. Creación de un subconjunto de datos vectoriales.

Dentro de la Geodatabase vamos a crear unos archivos llamados “*Feature Dataset*”, que no son más que unas subcarpetas almacenadoras por temáticas. Por ejemplo, para el análisis de la zona norte vamos a crear un *Feature Dataset* que se llamará *North Zone*, para ello nos colocamos con el botón derecho de la base anterior y ejecutamos

New \ Feature Dataset

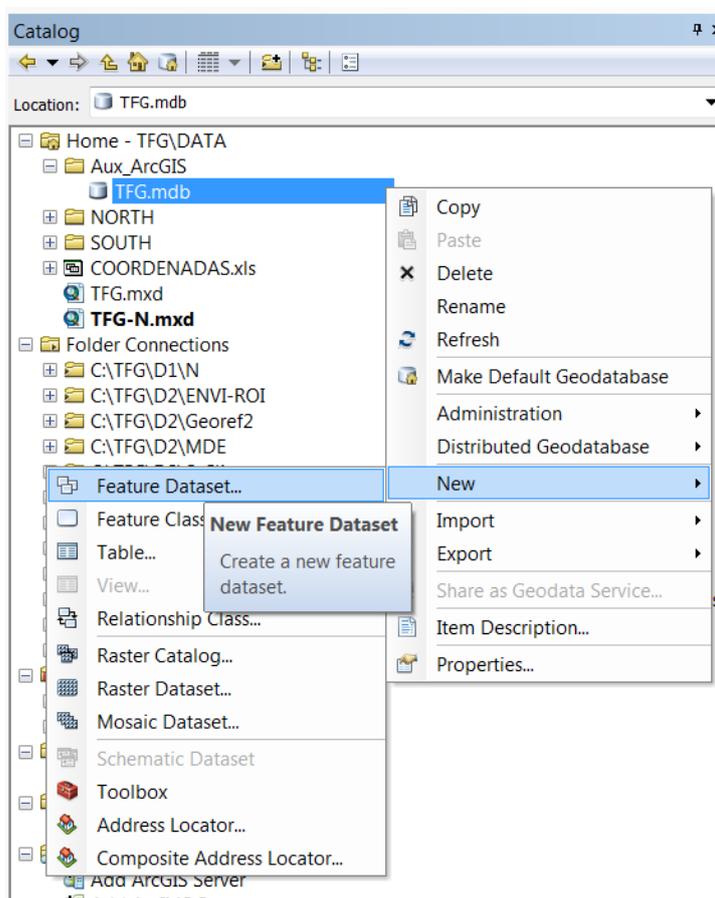


Figura 23

Después de introducir el nombre, en la siguiente ventana debemos definir el sistema de coordenadas en el que va estar referida la información introducida. Seleccionamos:

Projected Coordinate System \ UTM \ Europe \ ETRS 1989 UTM Zone 30N

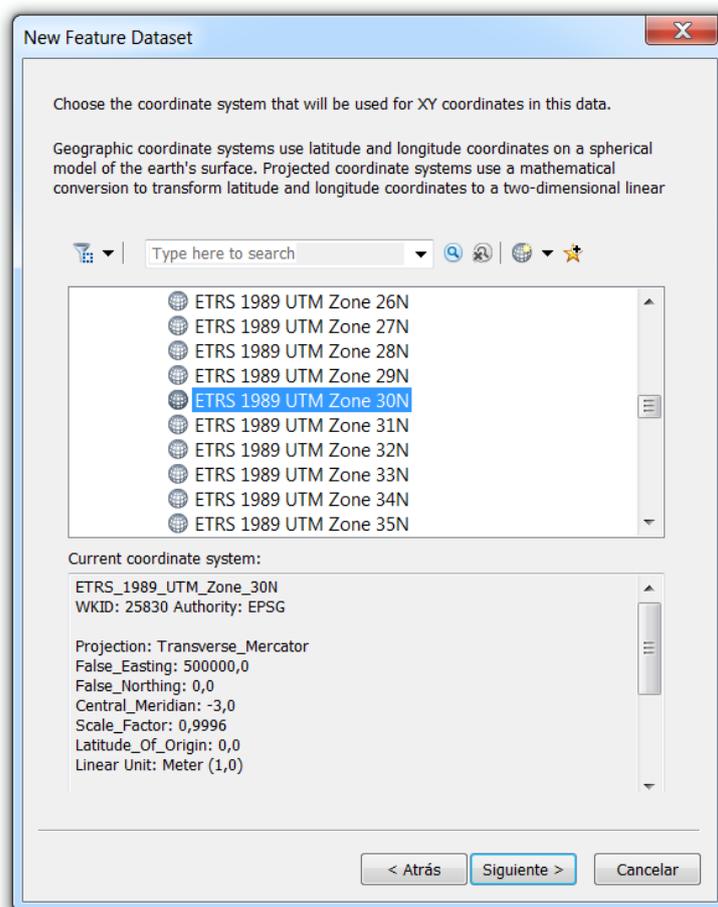


Figura 24

Si ya habíamos definido el sistema de referencia al iniciar *ArcMap*, éste saldrá por defecto.

En la siguiente ventana se nos pide que definamos el datum vertical. Dado que las especificaciones técnicas correspondientes al vuelo fotogramétrico digital con vuelo LiDAR realizado por el PNOA detallan que únicamente se utilizarán alturas elipsoidales referidas a ETRS89 en todos los procesos de cálculo (elipsoide GRS80), definiremos éste como sistema referencia de los datos verticales de nuestro trabajo, aunque podríamos dejar “ninguno” por defecto, puesto que la finalidad última es trabajar con las alturas de los modelos de vegetación y no con alturas absolutas, por lo que el sistema de referencia vertical es indiferente en última instancia.

Finalmente aceptamos por defecto los parámetros de tolerancia definidos en la última ventana de diálogo.

A partir de este punto, cada vez que queramos importar una tabla de atributos asociada a un archivo vectorial (shape), nos colocaremos con el botón derecho del ratón sobre la *Feature Dataset* en que queramos importarla y ejecutaremos

Import \ Feature Class (simple...)

o bien

Import \ Feature Class (multiple...)

Una “*Feature Class*” es un formato de *ArcView* que equivale al *shapefile*. Por ello en el proceso de importación se produce una conversión de formato. La diferencia entre “*single*” y “*multiple*” es que en el primero, además de llamar a un solo archivo, debemos de ponerle un nombre, mientras que con el segundo podemos llamar a múltiples archivos que mantendrán el nombre original.

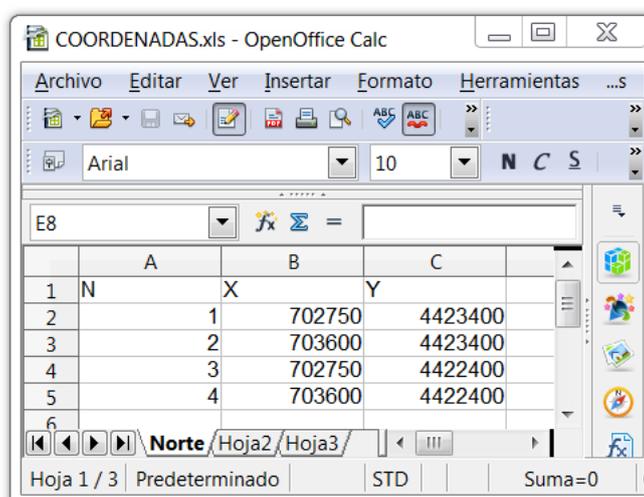
De igual forma podremos generar nuevas *Feature Class (New \ Feature Class...)* sin necesidad de generar archivos *shapefiles* que ocupan espacio en el disco duro y dificultan enormemente la organización de nuestro trabajo.

4.4. Construcción de un polígono shape en ArcGis.

Queremos generar un archivo *shape* en donde dibujaremos un polígono cuyos vértices definen los límites de la zona de trabajo que denominamos *NORTE*.

Generamos una hoja de cálculo con las coordenadas de los vértices que definen la zona de trabajo

Figura 25



| | A | B | C |
|---|---|---|----------------|
| 1 | N | X | Y |
| 2 | | 1 | 702750 4423400 |
| 3 | | 2 | 703600 4423400 |
| 4 | | 3 | 702750 4422400 |
| 5 | | 4 | 703600 4422400 |
| 6 | | | |

Abrimos *ArcMap* y ejecutamos

File \ Add Data \ Add XY Data...

En la ventana de dialogo emergente seleccionamos en primer lugar el archivo que contiene la hoja de cálculo en la que hemos definido las coordenadas. A continuación identificamos los campos que contienen la información. Comprobamos que la descripción del sistema de coordenadas de referencia coincide con el de nuestro trabajo (Si no está correctamente definido lo cambiamos pulsando Edit...).

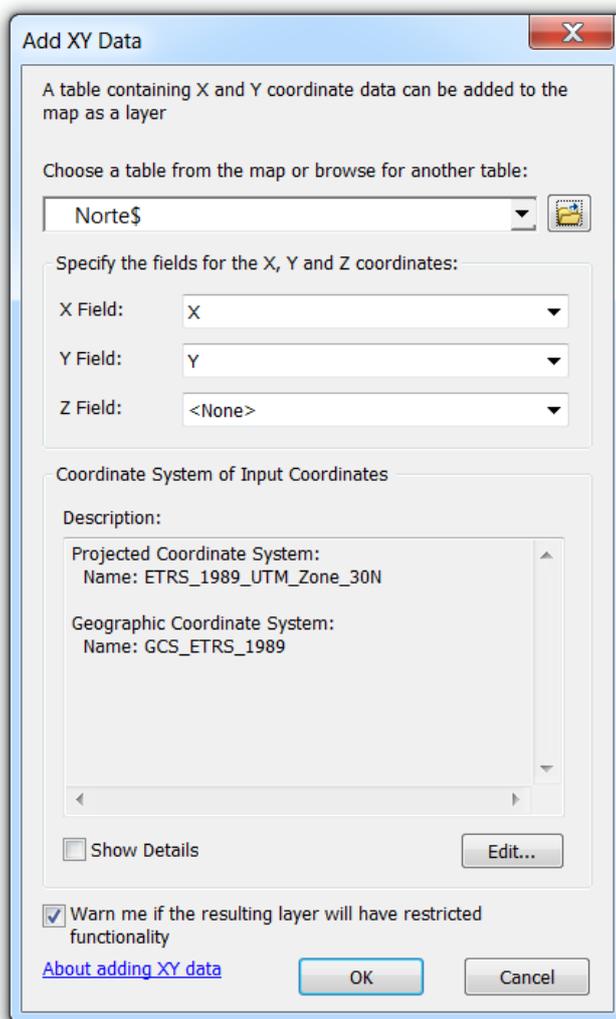


Figura 26

Al aceptar la información introducida nos aparecerá un mensaje de advertencia en el que se nos dice que estamos generando un archivo de hoja de eventos o tabla sin identificador de objeto. Este archivo o capa no es editable. Para poder trabajar sobre él, debemos transformarlo e importarlo como capa *shapefile* sobre la que *Arcmap* sí nos permitirá la edición de entidades vectoriales.

Con el botón derecho sobre la capa anterior ejecutamos

Data \ Export Data...

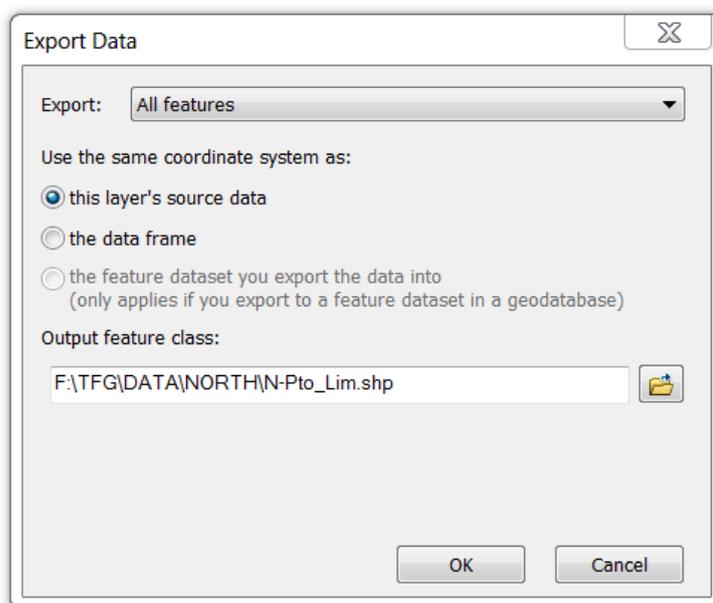


Figura 27

Definimos la ruta y el nombre del archivo de salida y aceptamos la carga del archivo exportado como nueva capa sobre la *Table Of Contents (TOC)*.

Una vez cargada la capa vectorial podemos eliminar la capa de eventos anterior que ya no resulta necesaria.

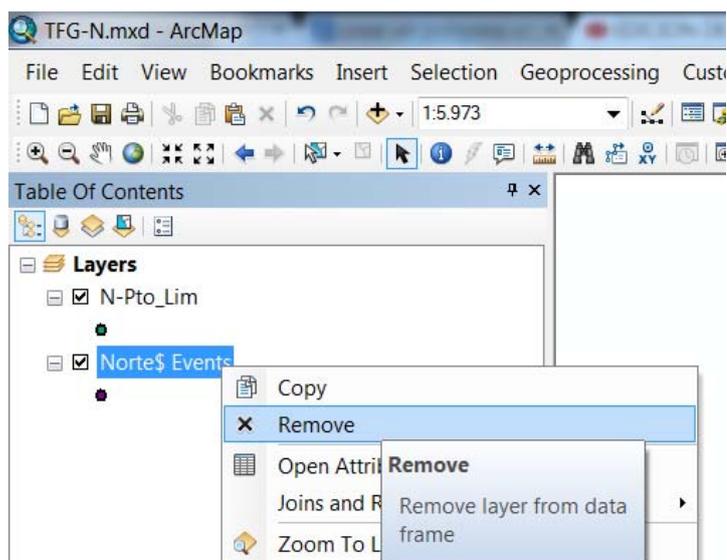


Figura 28

Con el botón derecho sobre la capa vectorial generada podemos acceder a las propiedades de la capa cargada, comprobando que efectivamente se trata de un fichero vectorial (*shapefile feature class*) que tiene asociada la geometría de tipo punto (*point*).

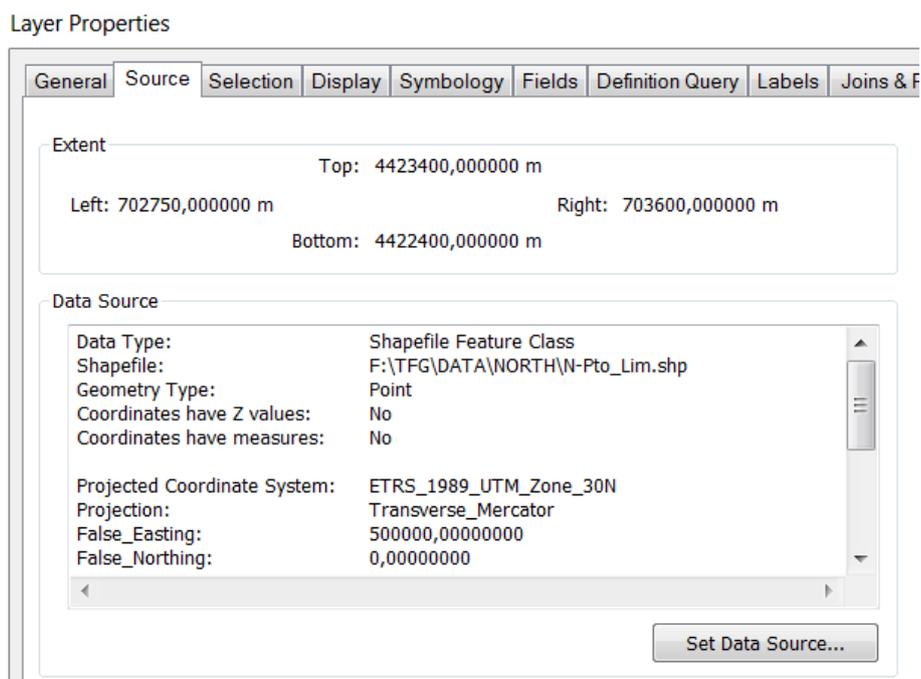


Figura 29

A continuación vamos a generar una nueva capa vectorial con geometría de tipo polígono dentro de la geodatabase personalizada que hemos creado para este trabajo.

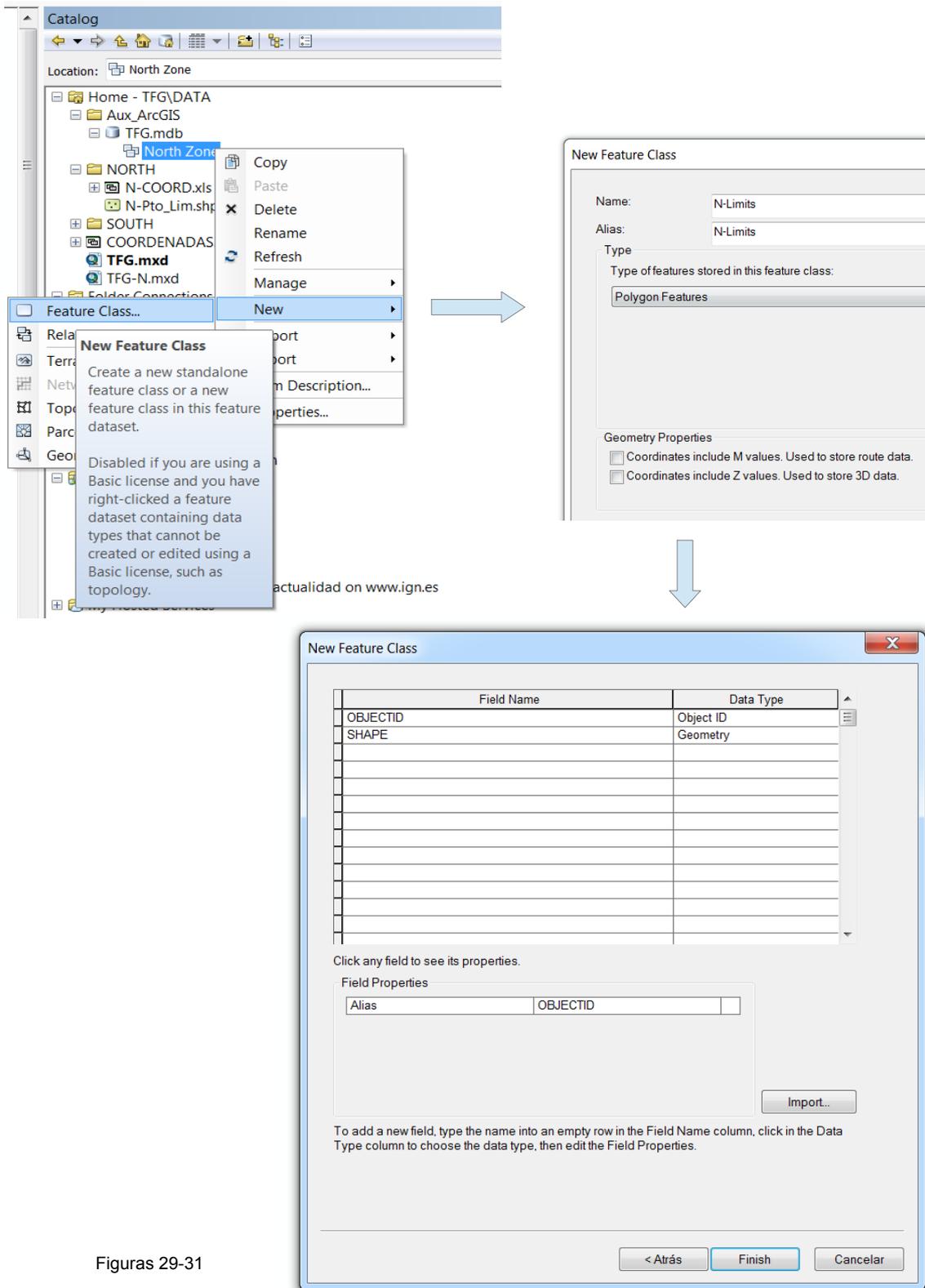
Con el botón derecho del ratón sobre la *Feature Dataset: North Zone*, ejecutamos

New \ Feature Class...

En el cuadro de diálogo emergente introducimos el nombre de la capa: *N_Limits* y el tipo de geometría: *Polygon Features*. También nos pide un Alias al que ponemos en mismo nombre que la capa.

En la ventana siguiente podríamos crear o importar campos en la tabla de atributos asociada. En este caso aceptamos por defecto.

Capítulo 4 – Configuración del entorno de trabajo



Figuras 29-31

La nueva capa se cargará en el TOC

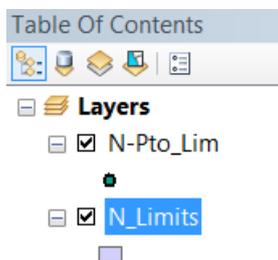


Figura 32

Para dibujar el polígono debemos activar las herramientas de edición pulsando sobre el botón  del menú principal.

Sobre el menú *Editor* ejecutamos

Editor \ Start Editing

Al existir más de una capa activa el programa nos pide que elijamos la que queremos editar

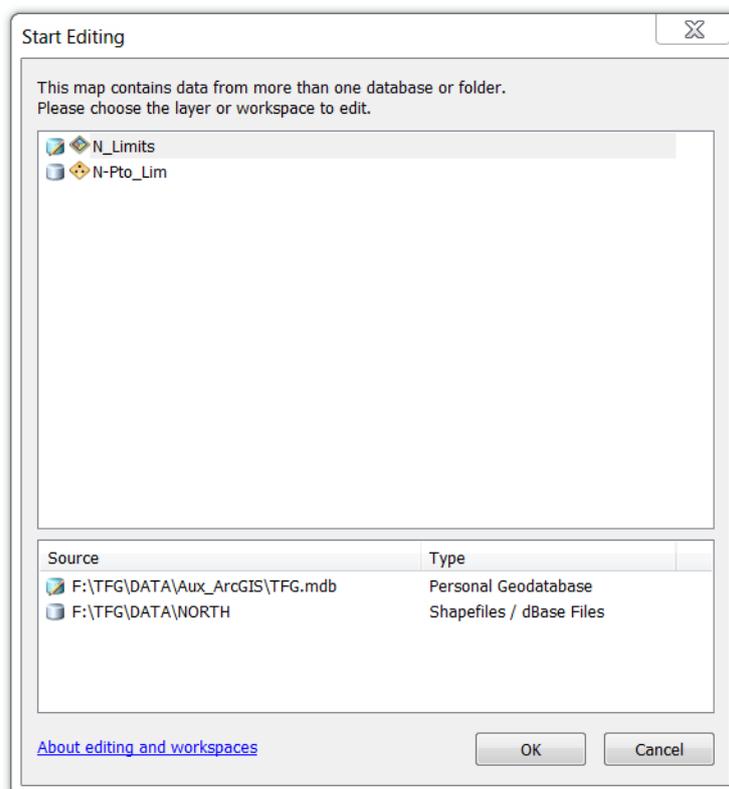


Figura 33

Al aceptar se activarán las distintas opciones de la barra de herramientas de edición. Pulsaremos sobre la opción *Create Features*.



Figura 34

La ventana de creación de entidades se visualizará entonces en el margen derecho del interfaz de ArcMap.

Al seleccionar la capa sobre la que vamos a dibujar se activan las herramientas de dibujo (*Construction Tools*).

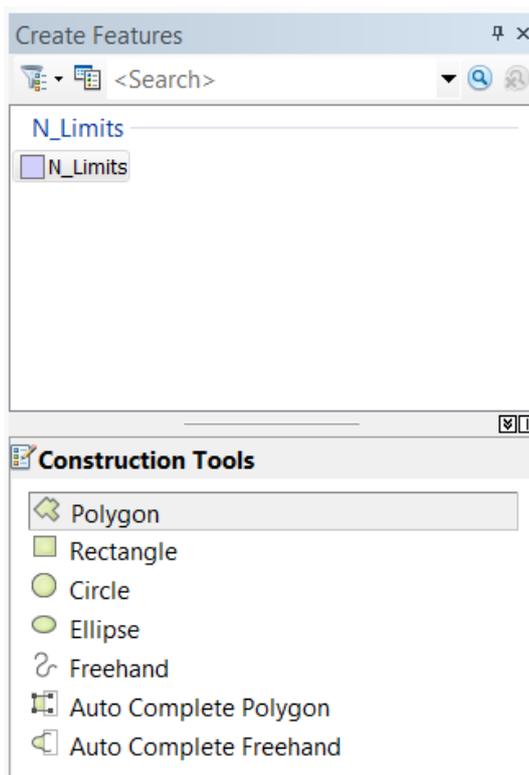


Figura 35

Seleccionamos *Polygon* y dibujamos el polígono. Los vértices se ajustarán automáticamente a la referencia de los puntos dibujados en la capa *N-Pto_Lim*.

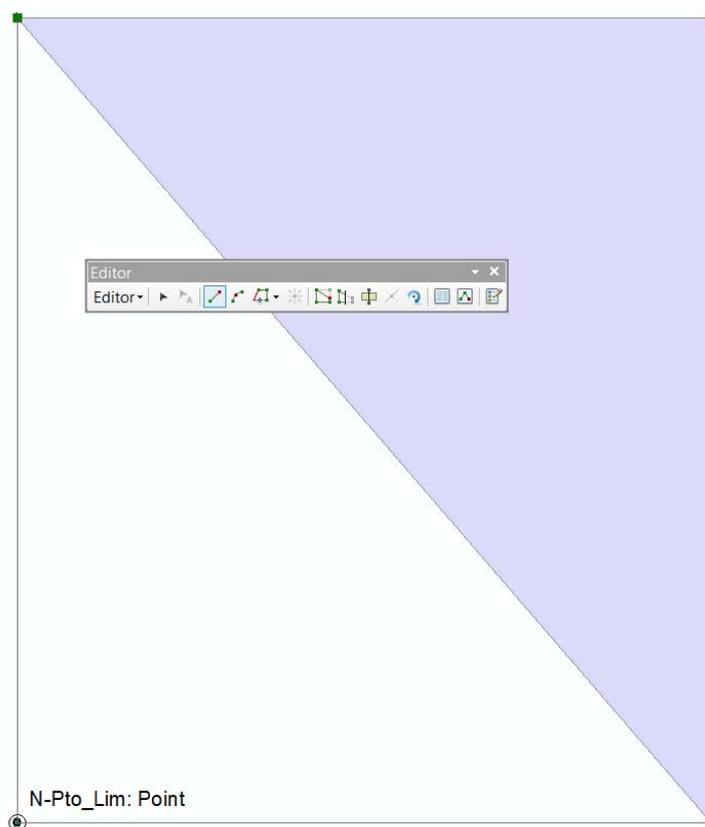


Figura 36

Con doble click sobre el último punto terminamos el dibujo del polígono.

En la barra de herramientas podemos ejecutar:

Editor \ Save Edits

para salvar la información y no perderla si quisiéramos continuar dibujando entidades.

Para terminar la edición ejecutamos

Editor \ Stop Editing

Podemos comprobar que el polígono dibujado corresponde exactamente con los límites buscados abriendo las propiedades de la capa.

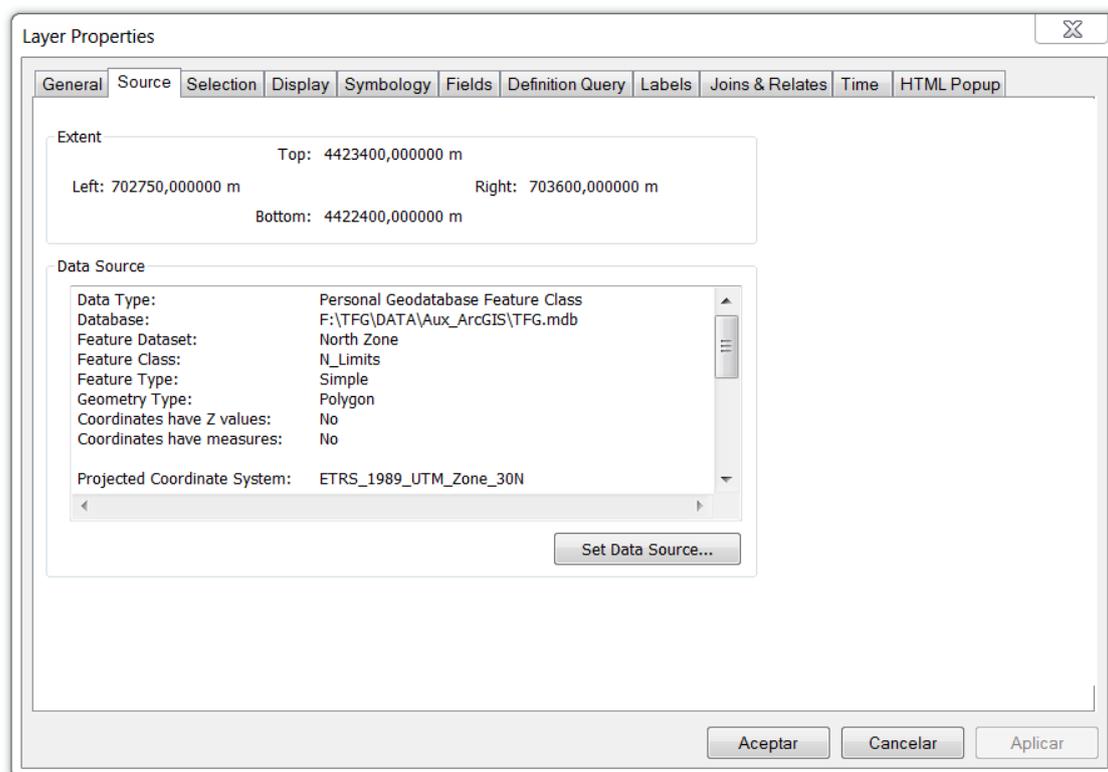


Figura 37

La capa *N-Pto_Lim* ya no es necesaria, por lo que la eliminamos del *TOC*. Esto no significa que el archivo haya sido borrado. Lo podemos eliminar del disco duro directamente desde la ventana *Catalog*.

Por otra parte, sí necesitamos generar el fichero shape para usarlo como plantilla de recorte del fichero de datos LiDAR suministrados por el PNOA, mediante el uso del comando *PolyClipData* del programa *FUSION/LDV*.

Para generar el archivo seleccionamos la capa en el *TOC* y, activando el menú con el botón derecho del ratón, ejecutamos:

Data \ Export Data...

Capítulo 4 – Configuración del entorno de trabajo

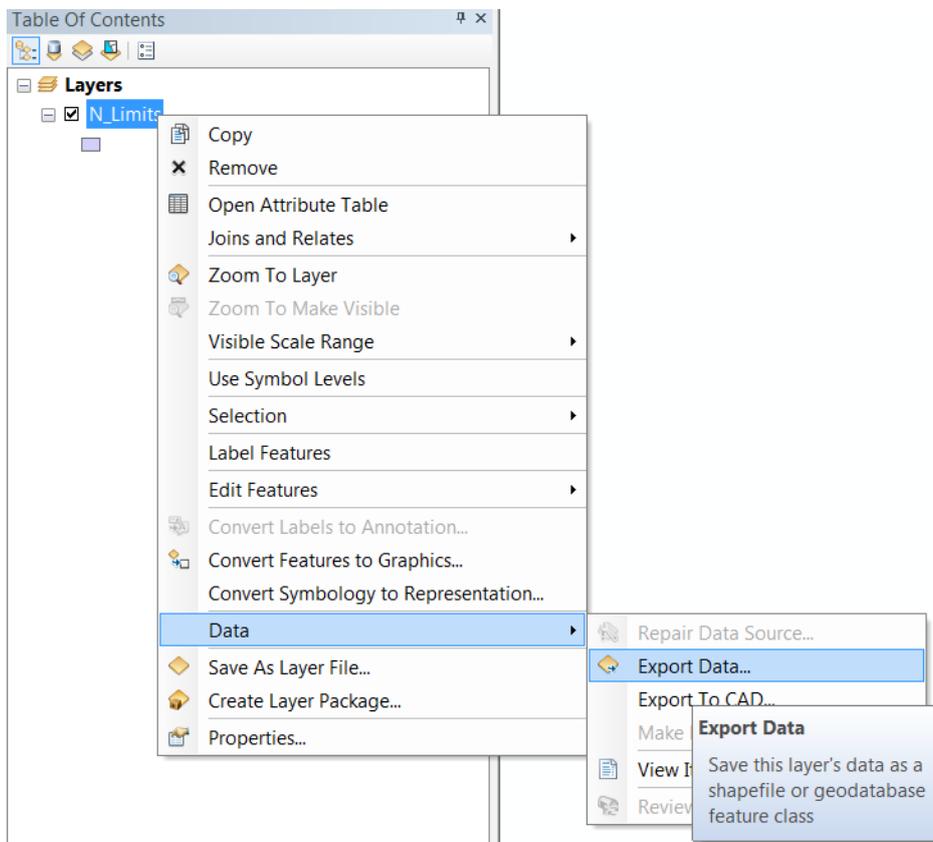


Figura 38

Finalmente, tras introducir el nombre del archivo a exportar y la ruta en donde será guardado, se nos pregunta si queremos importar el archivo como capa en el TOC, a lo que decimos que no, puesto que ya está cargado.

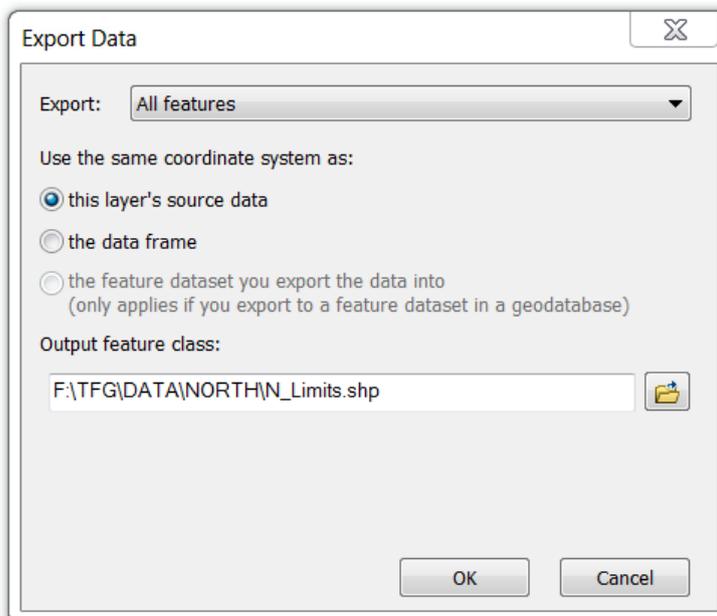


Figura 39

Capítulo 5

GENERACIÓN DE LOS MODELOS MDS Y MDT

5.1. Preprocesado de los datos LiDAR-PNOA.

5.1.1. Descompresión y análisis de los datos descargados.

La forma más rápida para descomprimir los datos LiDAR-PNOA descargados en formato LAZ es utilizar la aplicación *LASTaskTools* facilitada por el CNIG.

Desde esta herramienta podemos hacer una visualización de los datos descargados, pero para descomprimir no es necesario abrir ningún archivo. Sólo abrimos la aplicación y ejecutamos el comando *Descomprimir LAZ*



Figura 40

En la ventana de dialogo simplemente seleccionamos la ruta del archivo LAZ a descomprimir y la ruta donde queremos que se genere el archivo LAS.

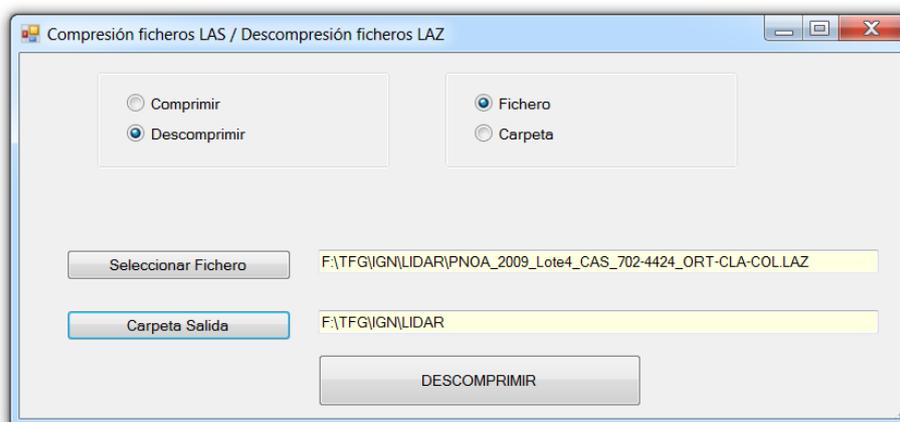
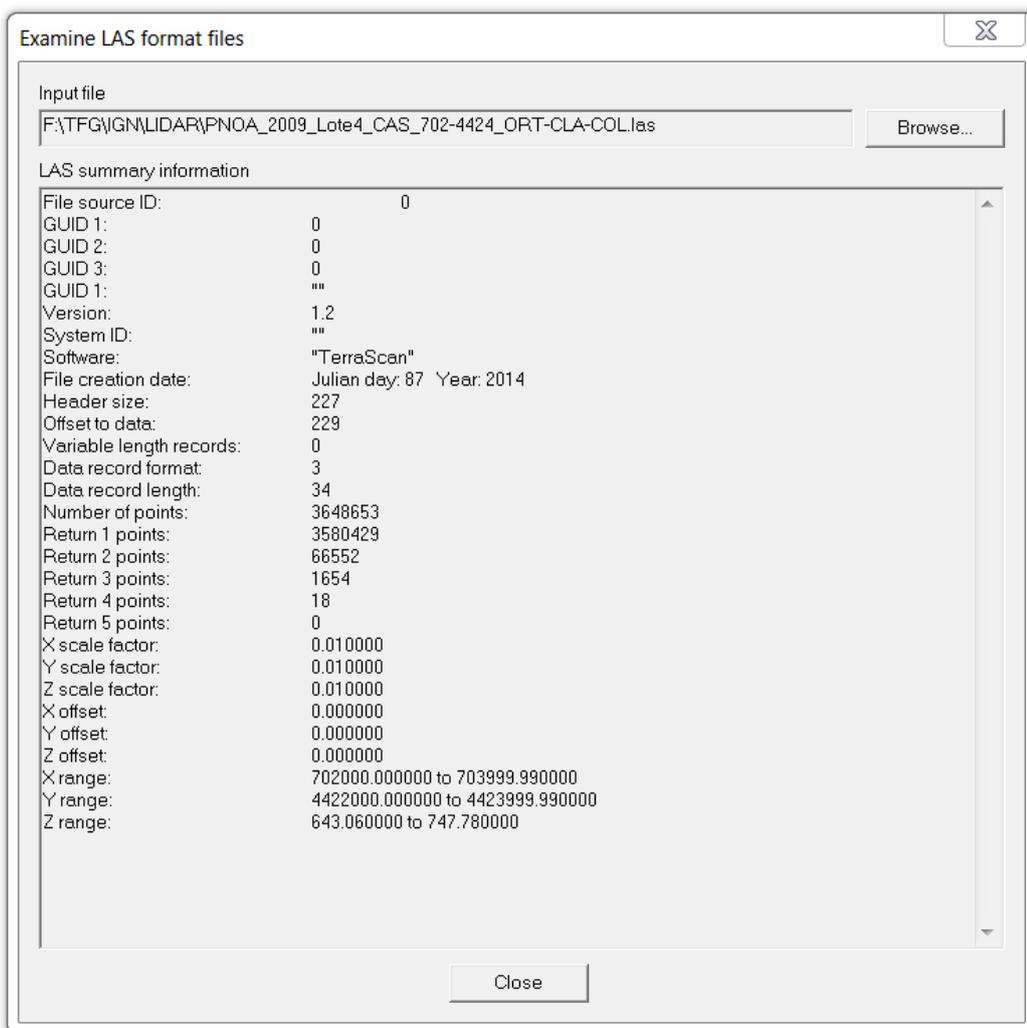
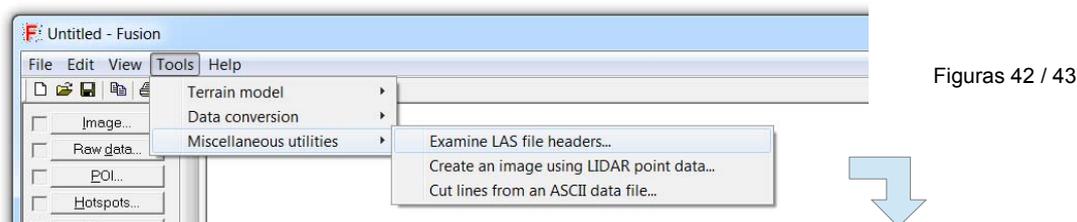


Figura 41

El programa generará en la ruta especificada un archivo *LAS* con el mismo nombre que el del *LAZ* del que procede.

Desde el programa *FUSION* podemos acceder a la información del archivo de cabecera del fichero *LAS* descomprimido ejecutando:

Tools \ Miscellaneous utilities \ Examine LAS file headers...



A partir del archivo de cabecera podemos realizar unos sencillos cálculos en los que comprobamos que, efectivamente, se cubre un área de 2x2 Km² con una densidad de datos superior a la definida en el pliego de condiciones del vuelo LiDAR-PNOA.

$$\Delta X = 703999,99 - 702000 = 1999,99 \text{ m}$$

$$\Delta Y = 4423999,99 - 4422000 = 1999,99 \text{ m}$$

$$\text{Densidad} = \frac{n^{\circ} \text{ de puntos}}{\text{Superficie}} = \frac{3648653}{3999960} = 0,91 \text{ ptos/m}^2 > 0,5$$

La alta densidad de puntos se debe a las zonas de solape correspondientes a las diferentes pasadas del vuelo LiDAR.

5.1.2. Ajuste de los datos a la zona de estudio

La nube de puntos descargada resulta excesivamente grande para el área de estudio definida en el apartado 3.1. (Zona Norte), por lo que vamos a proceder a recortarla usando el comando *PolyClipData* del programa *FUSION*.

PolyClipData recorta datos utilizando polígonos almacenados en archivos de forma “*shape*”. Por defecto *PolyClipData* produce un único archivo de salida que contiene todos los puntos que se encuentran dentro de todos los polígonos del *shapefile*.

La sintaxis del comando es la siguiente:

PolyClipData [switches] PolyFile OutputFile DataFile

siendo:

- PolyFile* → es el nombre del archivo *shape* que contiene los polígonos de recorte.
- OutputFile* → es el nombre de los archivos de datos de salida.
- DataFile* → es el nombre del archivo de datos LiDAR a recortar.

El archivo *shape* será el rectángulo con los límites de la Zona Norte cuya creación con ArcGIS se ha descrito en el apartado 4.4.

La sintaxis finalmente utilizada ha sido la siguiente:

```
C:\FUSION\PolyClipData F:\TFG\DATA\NORTH\Limits.shp F:\TFG\FUSION\NORTH\North.las
F:\TFG\IGN\LIDAR\PNOA_2009_Lote4_CAS_702-4424_ORT-CLA-COL.las
```

Esta sintaxis debemos construirla con editor de texto y guardarla con la extensión *.bat*, creando así un archivo ejecutable. Para ejecutar la orden basta con hacer doble click sobre el archivo. Al hacerlo se abrirá el visor virtual MS-DOS de Windows (ventana CMD), cerrándose de forma automática al finalizar el procesamiento de los datos.

Si observamos el fichero de cabecera del nuevo archivo comprobaremos que se corresponde con el área de estudio, con 657.386 retornos y densidad 0,77 ptos/m².

```
Input file
F:\TFG\FUSION\NORTH\North.las

LAS summary information
File source ID: 0
GUID 1: 0
GUID 2: 0
GUID 3: 0
GUID 1: ""
Version: 1.2
System ID: ""
Software: "PolyClipData v1.51 (FUSION v3.42)"
File creation date: Julian day: 87 Year: 2014
Header size: 227
Offset to data: 227
Variable length records: 0
Data record format: 3
Data record length: 34
Number of points: 657386
Return 1 points: 653740
Return 2 points: 3636
Return 3 points: 10
Return 4 points: 0
Return 5 points: 0
X scale factor: 0.010000
Y scale factor: 0.010000
Z scale factor: 0.010000
X offset: 702000.000000
Y offset: 4422000.000000
Z offset: 0.000000
X range: 702750.000000 to 703599.990000
Y range: 4422400.000000 to 4423399.980000
Z range: 657.870000 to 717.070000
```

Figura 44

5.2. Análisis de los datos LiDAR de partida.

Con la orden *Catalog* de *FUSION* podemos obtener un conjunto de informes descriptivos que describe varias características importantes de los conjuntos de datos LIDAR.

El comando nos proporciona la misma información que la visualización rápida del fichero de cabecera en el interfaz de *FUSION*, pero además nos da la opción de crear el indexado de los datos y de producir imágenes que representan las densidades y los valores de intensidad para toda el área de cobertura.

El indexado facilita la visualización de la nube de puntos y permite realizar el filtrado por clasificación, elevación, intensidad o ubicación de los retornos. El indexado es recomendable la primera vez que abrimos la nube de puntos con *FUSION*, ya que reducirá los tiempos de ejecución en procesos posteriores. Los datos sólo tendrán que ser indexados una vez.

Los mapas de densidad nos facilitan una visión rápida para detectar las zonas donde ha habido una toma de datos por exceso o por defecto.

Además, los datos LiDAR proporcionan valores de intensidad. La intensidad se basa, en parte, en la reflectividad del objeto alcanzado por el pulso láser. Es registrada por el sensor como la cantidad de energía retrodispersada por la tierra o los objetos situados sobre la misma. Sirve de ayuda en la detección y extracción de entidades, en la clasificación de puntos LIDAR y como sustituta de imágenes aéreas de apoyo cuando no hay ninguna disponible.

La sintaxis del comando *Catalog* es la siguiente:

Catalog [switches] datafile [catalogfile]

siendo:

datafile → es el nombre del archivo de datos LiDAR de entrada.

catalogfile → es el nombre base para el archivo de catálogo de salida (es opcional y requiere añadir la extensión del archivo).

La opciones (*Switches*) que vamos a aplicar son:

index → Realiza el indexado de datos.

density:area,min,max → Crea la imagen de densidad de retornos. El parámetro *área* es el tamaño de píxel de la imagen resultante, *min* es la densidad mínima de punto aceptable por unidad de área, y *max* es el límite superior para el intervalo de densidad aceptable. Las células con densidades de puntos comprendidos en el rango mínimo-máximo son de color verde, las células con densidades de puntos por debajo del mínimo son de color rojo, y células con densidades por encima del máximo son de color azul.

intensity:area,min,max → Crea la imagen de intensidad utilizando para cada píxel el valor de intensidad promedio de los primeros retornos. *área* es el área de píxeles, *min* es el valor mínimo de intensidad, y *max* es el valor máximo de intensidad. Se creará una imagen en escala de grises en función de los valores definidos en el rango min-max. Aunque no siempre se puede saber el rango de valores para un determinado conjunto de datos.

Se muestran a continuación los resultados del análisis de las nubes de puntos para cada una de las zonas de estudio.

5.2.1. Análisis de la Zona Norte.

Sintaxis para el comando *Catalog*:

```
C:\FUSION\Catalog /index /intensity:1,0,90 /density:1,0.5,1 F:\TFG\FUSION\NORTH\North.las
```

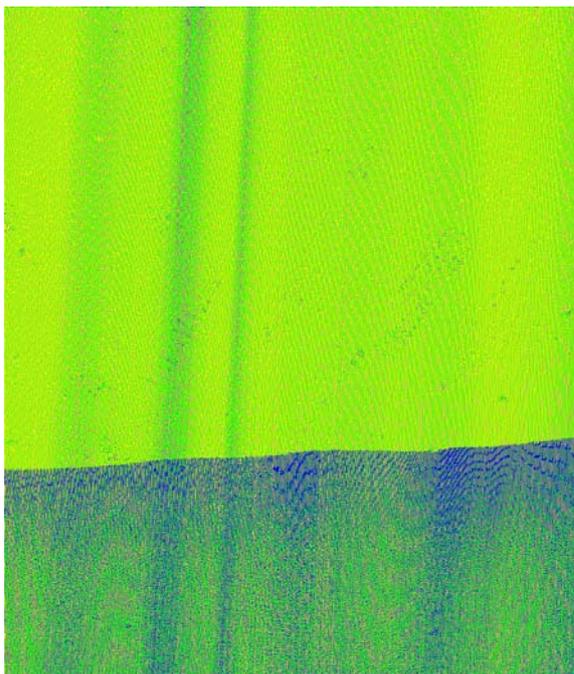


Figura 45: Imagen de densidades.



Figura 46: Imagen de intensidades.

En la imagen de densidades se observan en rojo, los píxeles de 1 m que no cumplen el pliego del PNOA por tener una densidad inferior a 0,5 puntos/m²; en verde, los píxeles que están dentro del rango definido, y en azul, los de densidad superior a 1 punto/m². La zona en azul muestra la franja de solape entre dos pasadas del vuelo LiDAR.

La imagen de intensidades nos sirve para identificar la zona del vuelo en caso de no disponer de más información. La franja horizontal gris que se aprecia en el norte de la imagen se debe a la presencia de nubosidad en el momento del vuelo.

Además de esta información el programa nos devuelve el archivo *Catalog.html* que contiene un resumen de los datos evaluados del que nos interesa destacar la siguiente información:

Capítulo 5 – Generación de los modelos MDS y MDT

| Minimum X | Minimum Y | Minimum Elevation | Maximum X | Maximum Y | Maximum Elevation | Total Returns | Nominal Return Density |
|-----------|------------|-------------------|-----------|------------|-------------------|---------------|------------------------|
| 702750.00 | 4422400.00 | 657.87 | 703599.99 | 4423399.98 | 717.07 | 657386 | 0.77 |

Observamos que hay una diferencia de 50 m entre la cota máxima y la mínima. Esto nos hace intuir que hay algún dato incorrecto ya que la zona de estudio es muy llana.

Para verificar la bondad de los datos procederemos a examinar la nube de puntos con la herramienta de visualización PDQ. Este programa soporta *drag-and-drop*. Podemos abrir archivos *.lda, *.las, y *.dtm simplemente arrastrándolos desde una vista de carpetas y soltándolos en la ventana del programa PDQ.

Al examinar la nube de puntos podemos observar la existencia de *outliers* (puntos que no deberían estar en el paisaje) que puedan alterar la correcta generación de los modelos digitales.

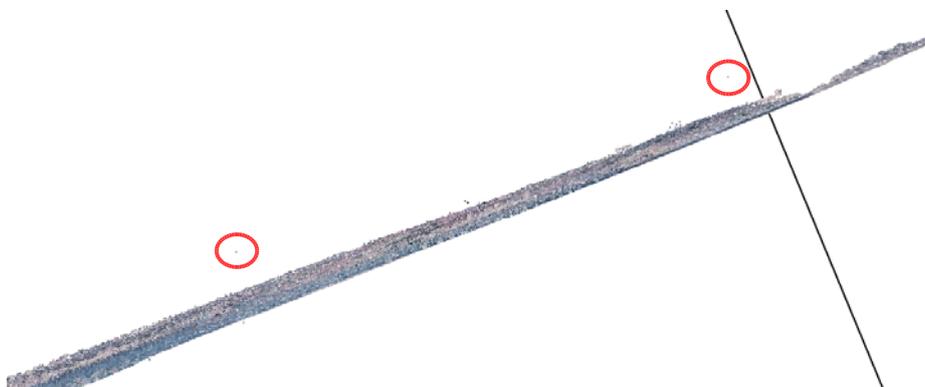


Figura 47

PDQ no ofrece las mismas capacidades que el programa LDV.

El visor de datos LDV permite realizar mediciones dentro de la nube de puntos, aunque no está pensado para observar un conjunto de datos amplio sino detalles de una zona concreta. Para utilizar correctamente esta herramienta abrimos el programa FUSION y generamos una imagen a partir del fichero de puntos LiDAR:

Tools / Miscellaneous utilities / Create an image using LIDAR point data

Capítulo 5 – Generación de los modelos MDS y MDT

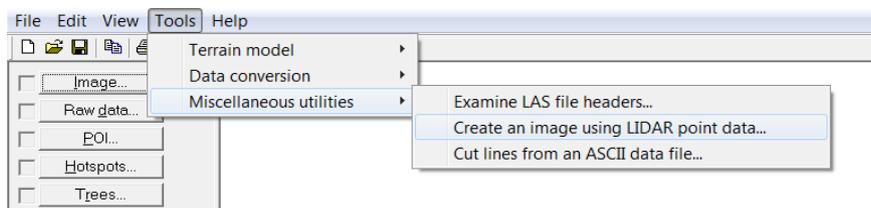


Figura 48

En el cuadro de diálogo debemos decir el nombre de la imagen que vamos a crear, generalmente utilizaremos el mismo que el del *.las. El formato por defecto es *.bmp.

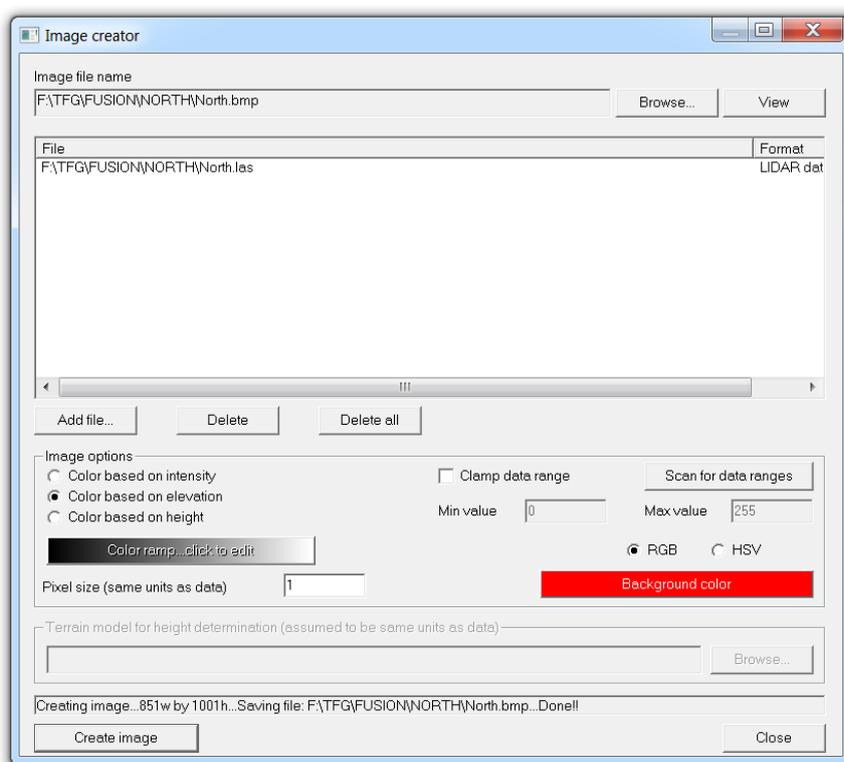


Figura 49

Podemos visualizar la imagen con los puntos LiDAR abriéndolos desde los botones *Image* y *Raw data*

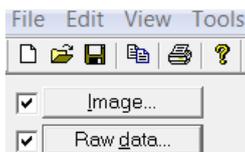


Figura 50

Los datos LiDAR deben estar cargado sobre la imagen antes de intentar abrir el visor *LDV*.

Para abrir el visor dibujaremos un rectángulo del área a visualizar manteniendo apretado el botón izquierdo del ratón. Para que *LDV* no genere problemas de procesamiento, dividiremos la imagen en cuatro cuadrantes de visualización.

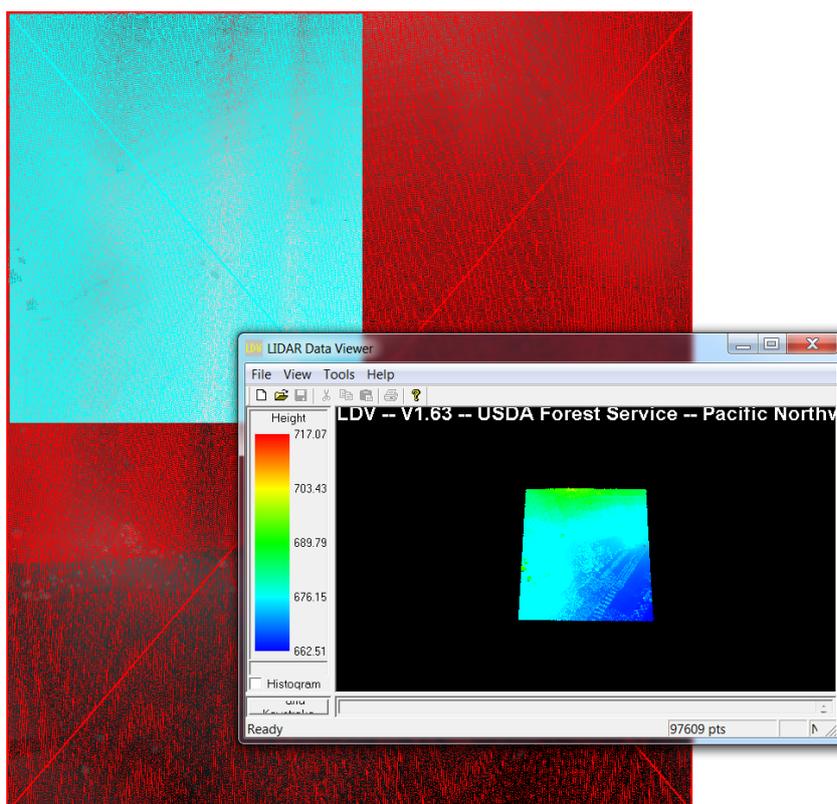


Fig. 51: Activación del visor LDV.

LDV además de ser el entorno de visualización 3D de *FUSION*, permite a los usuarios realizar mediciones dentro de la nube de datos. Al menú de opciones en LDV se accede con el botón derecho del ratón.

Al analizar los datos con las diferentes herramientas de medición que proporciona el visor, observamos con mayor claridad la presencia de distintos *outliers*, que deberemos eliminar antes de iniciar el proceso de creación de los modelos digitales de superficie y del terreno.

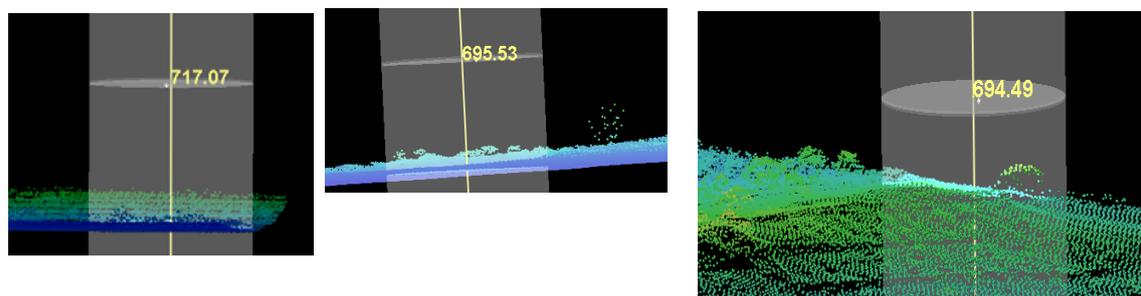


Fig 52-54: Algunos ejemplos de los outliers detectados

5.2.2. Análisis de la Zona Sur.

Sintaxis para el comando *Catalog*:

```
C:\FUSION\Catalog /index /intensity:1,0,90 /density:1,4,8 F:\TFG\FUSION\SOUTH\000088.las
```

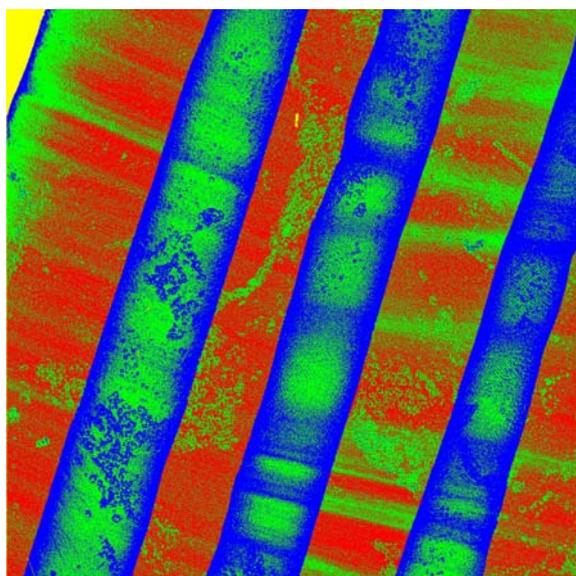


Figura 55: Imagen de densidades.



Figura 56: Imagen de intensidades.

En la imagen de densidades se observan en rojo las zonas con una densidad de retornos inferior a 4 puntos/m², en verde las zonas con densidades entre 4 y 8 puntos/m², mientras que en azul se aprecian las franjas de solape entre las distintas pasadas del vuelo LiDAR con densidades de retornos superiores a los 8 puntos /m².

Capítulo 5 – Generación de los modelos MDS y MDT

Al observar el valor de cota máxima en el cuadro resumen del fichero *Catalog.html* generado por el programa, podemos intuir que también existen *outliers*.

| Minimum X | Minimum Y | Minimum Elevation | Maximum X | Maximum Y | Maximum Elevation | Total Returns | Nominal Return Density |
|-----------|------------|-------------------|-----------|------------|-------------------|---------------|------------------------|
| 703737.56 | 4420285.46 | 567.94 | 704737.55 | 4421285.45 | 924.47 | 7007528 | 7,01 |

Efectivamente, al visualizar con el visor PDQ detectamos rápidamente la presencia de varios puntos erróneos que deberemos eliminar.

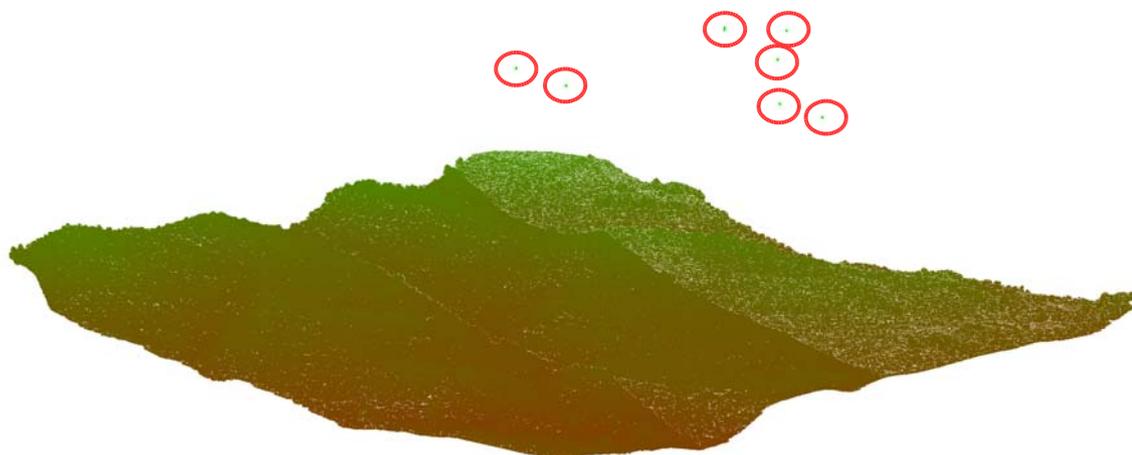


Fig. 57: *Outliers* Zona Sur

5.3. Filtrado de outliers.

Para eliminar los outliers podemos usar distintos comandos:

- *FilterData* aplica diferentes filtros para devolver los que contengan sólo retornos que satisfagan los requisitos del filtro. Es la aplicación más común para eliminar *outliers*, aunque tiene sus limitaciones y existe un gran riesgo de degradar la información disponible.

Su sintaxis es:

FilterData [switches] FilterType FilterParms WindowSize OutputFile DataFile

siendo:

FilterType → Algoritmo de filtrado utilizado para eliminar los retornos de los *DataFile(s)*.

Las opciones son:

outlier

elimina los retornos por encima o por debajo de la elevación media, más o menos la desviación estándar definida en *FilterParms*.

minimum

elimina todos los retornos excepto los que cumplen la elevación mínima.

maximum

elimina todos los retornos excepto los que cumplen la elevación máxima.

FilterParms → Parámetro específico para el método de filtrado:

- Para *outlier* es el valor multiplicador de la desviación típica.
- Para *minimum* y *maximum* el parámetro se ignora, pero debe especificarse en el comando con valor 0.

WindowsSize → Tamaño de la ventana usada para calcular la desviación estándar de las elevaciones o el mínimo / máximo retorno

DataFile → Plantilla de archivo de datos LIDAR o el nombre de un archivo de texto que contiene una lista de nombres de archivo

OutputFile → Nombre para el archivo de datos de salida.

- *ClipData* trabaja con muestras por lo que siempre nos solicita los valores X e Y del cuadrado de la muestra. La sub-muestra puede ser redonda o rectangular, grande o pequeña y se puede extraer una muestra única o múltiples muestras utilizando un único comando. Las submuestras pueden utilizarse para diversas tareas de análisis. Podemos decirle al programa que no nos coja los puntos de una sub-muestra que estén por debajo o por encima de unas cotas definidas por el usuario para eliminarlos. El inconveniente es que, al igual que ocurre con *FilterData*, podemos generar errores graves con importantes pérdidas de información, por lo que la mejor opción es utilizarlo con el switch */ground:file*. Con este comando podemos normalizar un modelo de terreno en formato *DTM* generado previamente con el comando *GridSurfaceCreate*.

Su sintaxis es:

ClipData [*switches*] *InputSpecifier* *SampleFile* [*MinX MinY MaxX MaxY*]

siendo:

InputSpecifier → Plantilla de archivo de datos LIDAR. Nombre de un archivo de texto que contiene una lista de nombres de archivos o un archivo *Catalog.csv* de *FUSION*.

SampleFile → Nombre de archivo sub-muestra (se agregará la extensión) o un archivo de texto que contiene información de la muestra para 1 o más muestras. Cada línea del archivo de texto debe tener los valores *MinX MinY MaxX MaxY* para el área de la muestra, separados por espacios o comas, nombre de archivo y submuestra. El nombre del archivo de salida no puede contener espacios.

MinX MinY → Esquina inferior izquierda del cuadro delimitador del área de la muestra.

MaxX MaxY → Plantilla de archivo de datos LIDAR o el nombre de un archivo de texto que contiene una lista de nombres de archivo.

- *GridSurfaceCreate* crea un modelo de superficie cuadrículada usando colecciones de puntos aleatorios. El modelo de superficie se almacena en formato *DTM* utilizando valores de elevación de punto flotante. Las elevaciones de las celdas individuales se calculan utilizando la elevación media de todos los puntos dentro de la celda.

Su sintaxis es:

```
GridSurfaceCreate [switches] surfacefile cellsize xyunits zunits coordsys zone  
horizdatum vertdatum datafile1 datafile2...
```

siendo:

Capítulo 5 – Generación de los modelos MDS y MDT

| | |
|--------------------|---|
| <i>surfacefile</i> | → Nombre de archivo de la superficie de salida (con extensión *. <i>dtm</i>). |
| <i>cellsize</i> | → Tamaño de celda de la cuadrícula de la superficie. |
| <i>xyunits</i> | → Unidades LIDAR de los datos XY: <i>M</i> para metros, <i>F</i> para pies |
| <i>zunits</i> | → Unidades LIDAR de las elevaciones: <i>M</i> para metros, <i>F</i> para pies. |
| <i>coordsys</i> | → Sistema de coordenadas de la superficie: 0 para desconocido, 1 UTM 2 para <i>state plane</i> . |
| <i>zone</i> | → Zona del sistema de coordenadas (huso en UTM) 0 para desconocido. |
| <i>horizdatum</i> | → Datum horizontal de la superficie: 0 para desconocido, 1 para NAD27 2 para NAD83. |
| <i>vertdatum</i> | → Datum vertical de la superficie: 0 para desconocido, 1 para NGVD29, 2 para NAVD88, 3 para GRS80. |
| <i>datafile1</i> | → El primer archivo de datos LIDAR (formatos LDA, LAS, ASCII LIDARDAT, ...) puede ser comodín o el nombre del archivo de texto que enumera los archivos de datos. |

datafile2 → Segundo archivo de datos LIDAR (formatos LDA, LAS, ASCII LIDARDAT).

Varios archivos de datos se pueden especificar. El límite depende de la longitud de cada nombre de archivo. Al utilizar varios archivos de datos, lo mejor es utilizar un comodín para DATAFILE1 o crear un archivo de texto que contenga una lista de los archivos de datos especificando el archivo de lista como DATAFILE1.

5.3.1. Filtrado de la Zona Norte.

Probamos en primer lugar con el comando *FilterData*, con el switch *outlier*, de forma que se eliminen los valores que estén fuera del umbral 1,5 desviaciones estándar en una cuadrícula con celdas de 5m. La sintaxis del comando es:

```
C:\FUSION\FilterData outlier 1.5 5 F:\TFG\FUSIONNORTH\North_01.las
F:\TFG\FUSIONNORTH\North_01.las
```

Al visualizar el resultado en el visor *PDQ* parece que los outliers se han eliminado por completo, pero al aplicar de nuevo el comando *Catalog*, vemos que el punto más elevado se encuentra a la cota 700,04 y, sin embargo, con el programa *LDV* habíamos identificado outliers con cotas inferiores:

| Minimum X | Minimum Y | Minimum Elevation | Maximum X | Maximum Y | Maximum Elevation | Total Returns | Nominal Return Density |
|-----------|------------|-------------------|-----------|------------|-------------------|---------------|------------------------|
| 702750.00 | 4422400.00 | 657.87 | 703599.99 | 4423399.98 | 700.04 | 646485 | 0.76 |

El uso del comando *FilterData* es rápido, pero los resultados no son siempre satisfactorios y corremos demasiado riesgo de eliminar datos que no deberíamos eliminar.

Probaremos ahora generando un modelo auxiliar del terreno con el comando *GridSurfaceCreate* con los siguientes parámetros:

| | | |
|--------------------|---|--------------------------------------|
| <i>surfacefile</i> | → | Archivo de salida: <i>N_aux.dtm</i> |
| <i>cellsize</i> | → | tamaño de celda: <i>10m</i> , |
| <i>xyunits</i> | → | datos LIDAR XY en metros: <i>m</i> |
| <i>zunits</i> | → | datos LIDAR Z en metros: <i>m</i> |
| <i>coordsys</i> | → | Sistema de coordenadas UTM: <i>1</i> |
| <i>zone</i> | → | Huso: <i>30</i> |
| <i>horizdatum</i> | → | Desconocido: <i>0</i> |
| <i>vertdatum</i> | → | Desconocido: <i>0</i> |
| <i>datafile</i> | → | Archivo de entrada: <i>North.las</i> |

La sintaxis resultante es:

```
C:\FUSION\GridSurfaceCreate F:\TFG\FUSION\NORTH\N_aux.dtm 10 m m 1 30 0 0  
F:\TFG\FUSION\NORTH\North.las
```

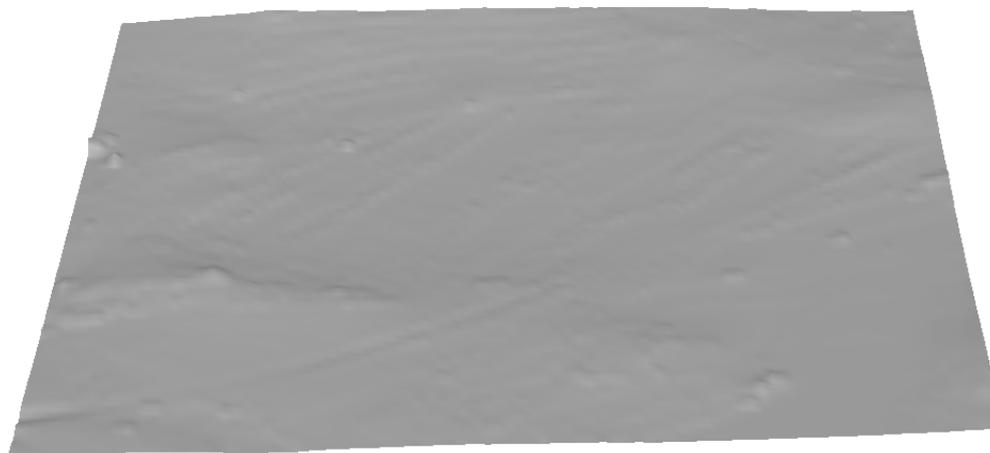


Fig. 58: Visualización del modelo auxiliar *N_aux.dtm* en PDQ.

Vamos a utilizar esta superficie auxiliar para eliminar todos los puntos que se encuentren 10m por encima de una superficie paralela y 5m por debajo con la ayuda del comando *ClipData*. La sintaxis empleada es:

```
C:\FUSION\ClipData /zmin:-5 /zmax:10 /ground:F:\TFG\FUSION\NORTH\N_aux.dtm  
F:\TFG\FUSION\NORTH\North.las F:\TFG\FUSION\NORTH\N_02.las 702750 4422400 703600 4423400
```

Para comprobar que no han quedado *outliers* y que no se ha perdido información es mejor utilizar el visor LDV que el PDQ. Al utilizarlo comprobamos que efectivamente la cota más alta es la 700,04, pero tras examinar exhaustivamente toda la nube de puntos podemos asegurar que el fichero ha quedado limpio de errores significativos.

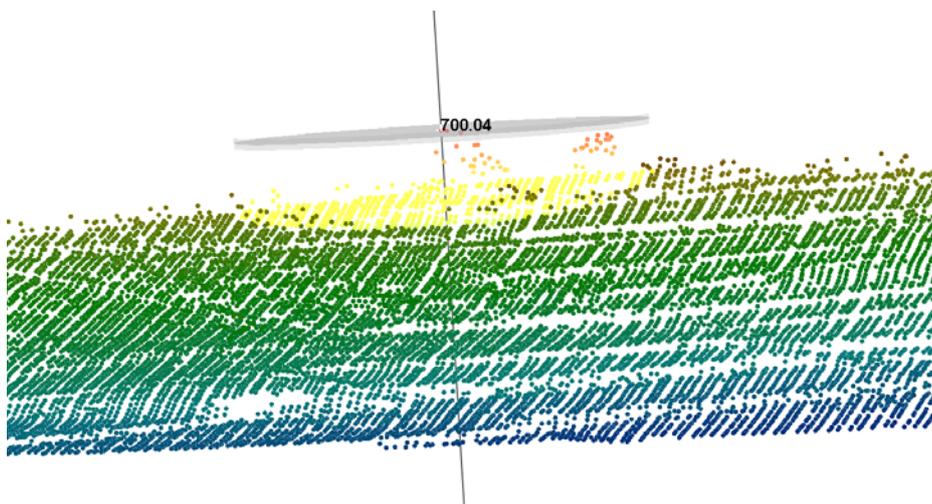


Fig.59: Identificación en LDV de la elevación máxima de la nube de puntos de la Zona Norte.

Ejecutando de nuevo el comando *Catalog* y comparando resultados con el filtrado de *FilterData* vemos que efectivamente la máxima elevación no ha cambiado pero ahora se han eliminado muchos menos puntos, lo cual quiere decir que con *FilterData* habíamos eliminado puntos indebidamente:

| Minimum X | Minimum Y | Minimum Elevation | Maximum X | Maximum Y | Maximum Elevation | Total Returns | Nominal Return Density |
|-----------|------------|-------------------|-----------|------------|-------------------|---------------|------------------------|
| 702750.00 | 4422400.00 | 657.87 | 703599.98 | 4423399.97 | 700.04 | 657295 | 0.77 |

5.3.2. Filtrado de la Zona Sur.

De nuevo al tratar de aplicar el filtrado *FilterData* con los mismos parámetros que los usados en el apartado anterior, tras ejecutar *Catalog* sobre el resultado, comprobamos que ha habido una pérdida excesiva de información:

Capítulo 5 – Generación de los modelos MDS y MDT

| Minimum X | Minimum Y | Minimum Elevation | Maximum X | Maximum Y | Maximum Elevation | Total Returns | Nominal Return Density |
|-----------|------------|-------------------|-----------|------------|-------------------|---------------|------------------------|
| 703740.00 | 4420290.00 | 567.94 | 704737.54 | 4421285.44 | 711.74 | 6838971 | 6,89 |

Optamos pues por realizar el filtrado con la combinación de los comandos *ClipData* y *GridSurfaceCreate*:

```
C:\FUSION\GridSurfaceCreate F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_aux.dtm 10 m m 1 30 0 0
F:\TFG\FUSION\SOUTH\000088.las
```

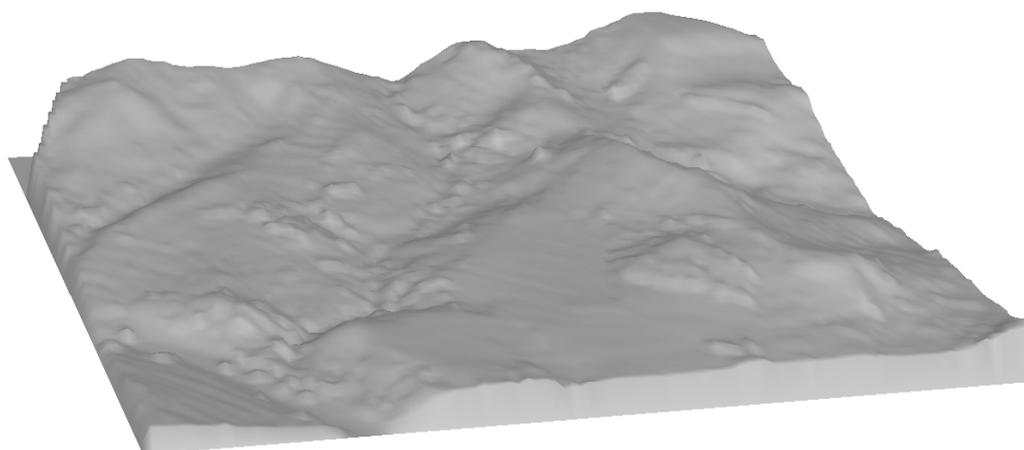


Fig.60: Visualización del modelo auxiliar S_aux.dtm en PDQ

```
C:\FUSION\ClipData /zmin:-5 /zmax:30 /ground:F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_aux.dtm
F:\TFG\FUSION\SOUTH\000088.las F:\TFG\FUSION\SOUTH\S.las 703737.56 4420285.46 704737.55
4421285.45
```

El resultado asegura la total eliminación de *outliers* con un pérdida menor de información:

| Minimum X | Minimum Y | Minimum Elevation | Maximum X | Maximum Y | Maximum Elevation | Total Returns | Nominal Return Density |
|-----------|------------|-------------------|-----------|------------|-------------------|---------------|------------------------|
| 703740.00 | 4420290.00 | 567.94 | 704737.54 | 4421285.44 | 711.74 | 6854677 | 6,90 |

5.4. Generación de los MDS.

Para la generación del modelo digital de superficie (MDS) usamos el comando *CanopyModel* de *FUSION/LDV*.

El algoritmo utilizado por *CanopyModel* crea una malla con el tamaño de celda que el usuario define, y asigna la elevación del retorno de mayor altura a todos los que se encuentran dentro esa celda.

```
CanopyModel [switches] surfacefile cellsize xyunits zunits coordsys zone horizdatum  
vertdatum datafile1 datafile2 ...
```

siendo

- | | | |
|--------------------|---|--|
| <i>surfacefile</i> | → | Nombre de archivo de la superficie MDS de salida (almacenado en formato DTM con extensión <i>.dtm</i>). |
| <i>cellsize</i> | → | Tamaño de celda de la cuadrícula de la superficie. |
| <i>xyunits</i> | → | Unidades LIDAR de los datos XY: M para metros, F para pies. |
| <i>zunits</i> | → | Unidades LIDAR de las elevaciones: M para metros, F para pies. |
| <i>coordsys</i> | → | Sistema de coordenadas de la superficie: 0 para desconocido, 1 UTM 2 para <i>state plane</i> . |
| <i>zone</i> | → | Zona del sistema de coordenadas (huso en UTM) 0 para desconocido. |

- horizdatum* → Datum horizontal de la superficie:
0 para desconocido,
1 para NAD27
2 para NAD83.
- vertdatum* → Datum vertical de la superficie:
0 para desconocido,
1 para NGVD29,
2 para NAVD88,
3 para GRS80.
- datafile1* → El primer archivo de datos LIDAR (formatos LDA, LAS, ASCII LIDARDAT) ... puede ser comodín o el nombre del archivo de texto que enumera los archivos de datos.
- datafile2* → Segundo archivo de datos LIDAR (formatos LDA, LAS, ASCII LIDARDAT).

Varios archivos de datos se pueden especificar. El límite depende de la longitud de cada nombre de archivo. Al utilizar varios archivos de datos, lo mejor es utilizar un comodín para DATAFILE1 o crear un archivo de texto que contenga una lista de los archivos de datos especificando el archivo de lista como DATAFILE1.

Entre los distintos switches (opciones) resulta útil el uso de */ascii*. Este switch añade, junto al DTM creado por el comando *CanopyModel*, otro archivo de superficie en formato raster ASCII que puede ser leído por un SIG.

5.4.1. MDS de la Zona Norte.

Aplicamos la siguiente sintaxis para generar un modelo con tamaño de celda de 1 m:

```
C:\FUSION\CanopyModel /ascii F:\TFG\FUSIONNORTH\N_MDS.dtm 1 m m 1 30 0 0  
F:\TFG\FUSIONNORTH\N_02.las
```

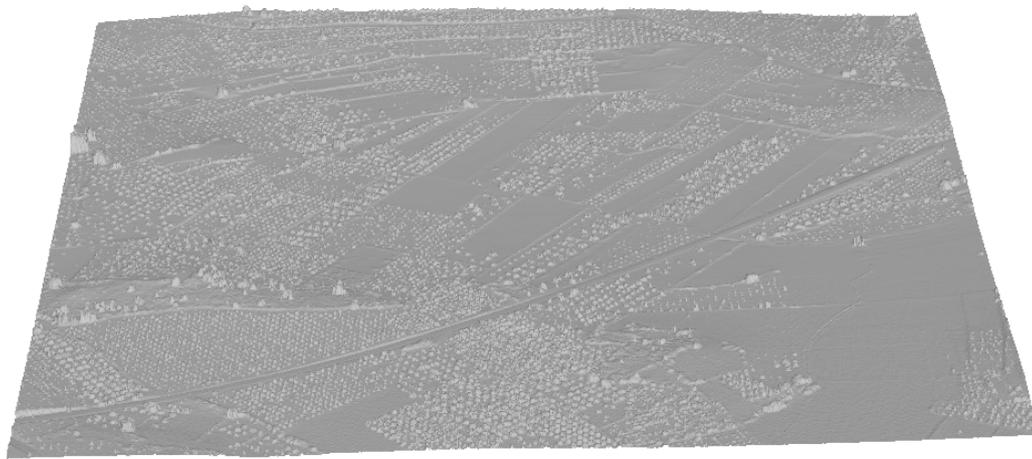


Fig. 61: MDS de la Zona Norte visualizado en PDQ.

Podemos transformar el modelo generado a formato de imagen TIFF con el uso del comando *DTM2TIF*:

```
C:\FUSION\DTM2TIF F:\TFG\FUSION\NORTH\N_MDS.dtm F:\TFG\FUSION\NORTH\N_MDS.tif
```

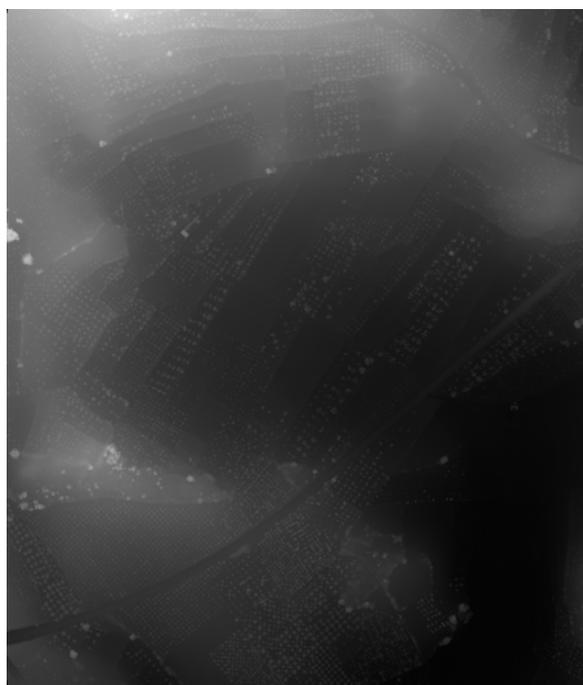


Fig. 62: Imágen TIF del MDS de la Zona Norte.

5.4.2. MDS de la Zona Sur.

Ejecutamos el comando *CanopyModel* con la siguiente sintaxis:

```
C:\FUSION\CanopyModel /ascii F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_MDS.dtm 1 m m 1 30 0 0  
F:\TFG\FUSION\SOUTH\S.las
```

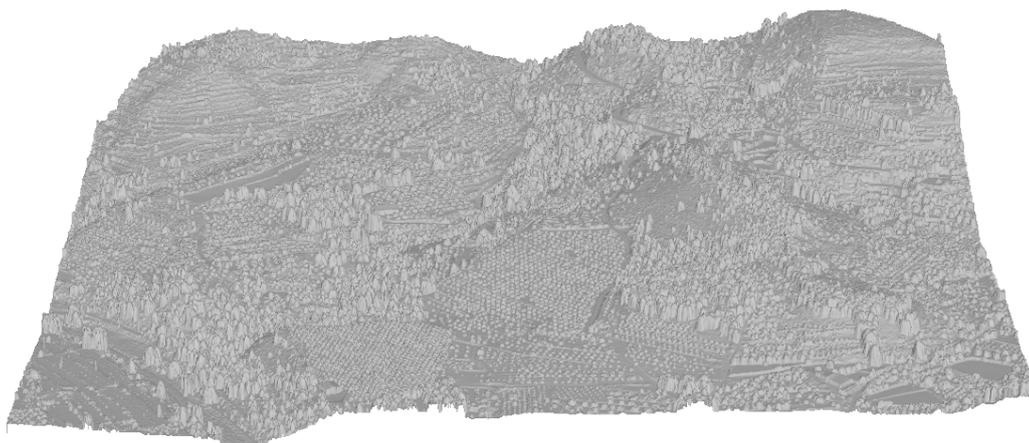


Fig. 63: MDS de la Zona Norte visualizado en PDQ.

Finalmente generamos el archivo de imagen con el comando *DTM2TIF*:

```
C:\FUSION\DTM2TIF F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_MDS.dtm F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_MDS.tif
```

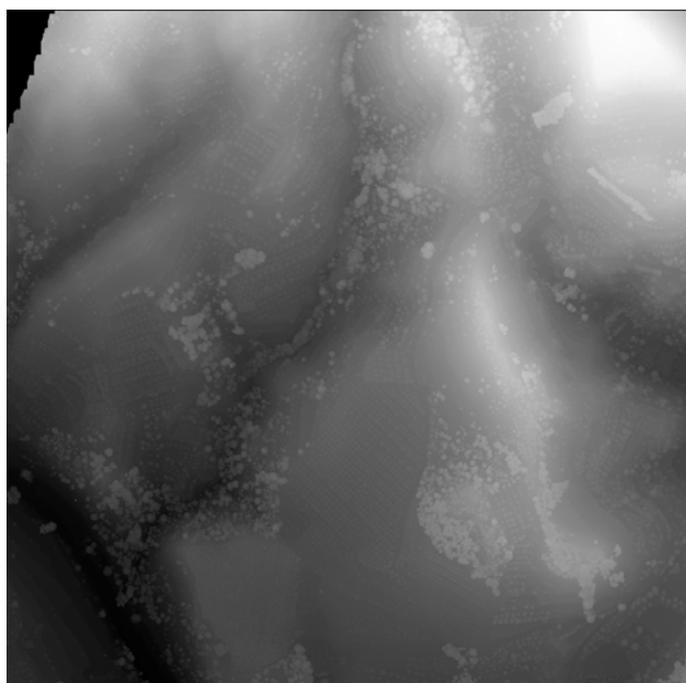


Fig. 64: Imagen MDS de la Zona Sur.

5.5. Generación de los MDT.

Para generar el modelo digital del terreno (MDT) usaremos combinados los comandos *GroundFilter* y *GridSurfaceCreate* de *FUSION/LDV*.

GroundFilter está diseñado para filtrar una nube de retornos LIDAR e identificar a los que tienen una mayor probabilidad de pertenecer a la superficie del terreno desnudo. El programa no produce un conjunto perfecto de puntos de suelo desnudo, ya que no elimina completamente los retornos de superficies grandes elevadas, relativamente planas, tales como techos de edificios. La mayoría de los retornos de la vegetación se eliminan con los coeficientes adecuados para la función de peso y con suficientes iteraciones. La experimentación con *GroundFilter* ha demostrado que los coeficientes por defecto para la función de peso producen buenos resultados en las nubes de puntos de alta densidad (mayor de 4 puntos/m²). El programa se puede utilizar con nubes de puntos de baja densidad, pero se requiere un poco de experiencia para seleccionar los coeficientes apropiados.

La salida de *GroundFilter* es un archivo que contiene sólo los puntos clasificados como retornos de tierra almacenados en formato LDA⁽¹⁸⁾. El archivo de salida se puede utilizar con las utilidades *GridSurfaceCreate* o *TINSurfaceCreate* para producir un modelo de superficie de tierra.

La sintaxis del comando es la siguiente:

```
GroundFilter [switches] outputfile cellsize datafile1 datafile2 ...
```

siendo

outputfile → El nombre del archivo de datos LIDAR de salida que contiene los puntos clasificados como retornos de tierra-desnuda.

cellsize → El tamaño de celda utilizada para modelos de superficie

(18) Formato nativo de *FUSION/LDV*.

intermedios. Esto se utiliza para superficies intermedias y no es igual que el tamaño de la celda para el modelo de superficie del suelo definitivo, creado usando *GridSurfaceCreate* o *TINSurfaceCreate*.

datafile1 → El primer archivo de datos LIDAR (formatos LDA, LAS, ASCII LIDARDAT) ... puede ser comodín o el nombre del archivo de texto que enumera los archivos de datos.

datafile2 → Segundo archivo de datos LIDAR (formatos LDA, LAS, ASCII LIDARDAT).

Varios archivos de datos se pueden especificar. El límite depende de la longitud de cada nombre de archivo. Al utilizar varios archivos de datos, lo mejor es utilizar un comodín para DATAFILE1 o crear un archivo de texto que contiene una lista de los archivos de datos especificando el archivo de lista como DATAFILE1.

Las opciones (switches) son:

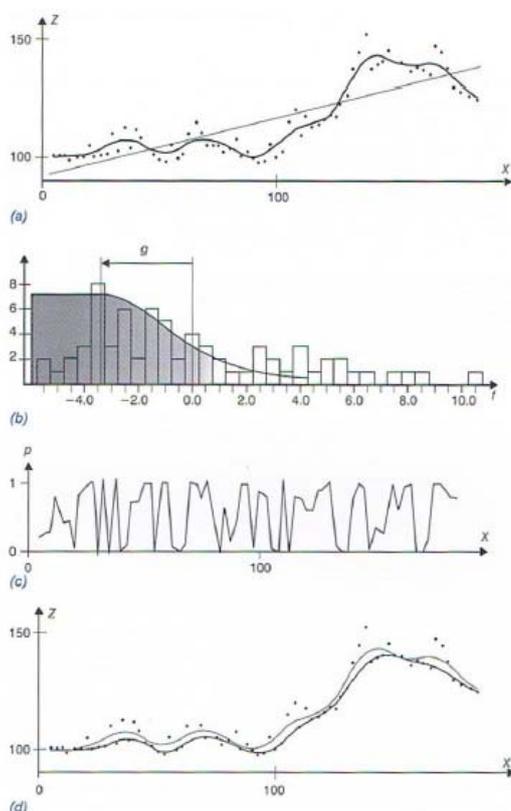
gparam:# → Valor para el parámetro g de la ecuación de peso (ver ecuación siguiente). El valor por defecto es -2.0.

wparam:# → Valor para el parámetro w de la ecuación de peso (ver ecuación siguiente). El valor por defecto es 2.5 .

iterations:# → Número de iteraciones para la lógica de filtrado (por defecto es 5).

El algoritmo utilizado recibe el nombre de **INTERPOLACIÓN JERÁRQUICA ROBUSTA**. En este algoritmo la derivación del terreno, así como la clasificación de los puntos originales se realiza mediante un método jerárquico. En cada nivel jerárquico se hace una interpretación robusta para la clasificación de los puntos y la obtención de una superficie ajustada. Primero se hace una aproximación grosera del terreno utilizando los puntos de ese nivel jerárquico. La distancia vertical de los puntos a la superficie aproximada se

utiliza dentro de una función ponderada para asignar pesos a todos los puntos. A los puntos que están por encima de la superficie se les da un peso muy bajo y a aquellos que están por debajo de la superficie se les da un peso elevado. Se recalcula entonces la superficie utilizando una predicción lineal (una función matemática parecida a la del *kriging*) considerando los pesos individuales. El proceso se itera determinado número de veces o hasta que la nueva superficie computada ya no cambie sustancialmente respecto a la anterior.



Interpolación robusta demostradas sobre un perfil:

- (a) Superficie promediada (línea negra) que se sitúa en una capa o nivel intermedio entre el terreno y los puntos de fuera del terreno (puntos negros). Los puntos del terreno se situarán por debajo de estas superficie intermedia y los puntos externos al terreno serán los que están por encima (o sobre ella).
- (b) Histograma de los valores del filtro f_i superpuestos sobre una función de peso cambiada (por el valor de g ; este valor se ha estimado basándose en los valores del filtro) que asigna un peso alto a los punto del terreno (valores negativos) y peso bajo a los puntos de fuera del terreno (puntos con un valor de filtro mayor que $-g$).
- (c) Peso de los puntos sobre el perfil de la posición del plano del suelo.
- (d) La línea negra representa la superficie del MDE resultante tras unas pocas iteraciones, mientras que la línea gris indica la superficie en la primera iteración (Kraus and Pfeifer, 1998), modificado por Brise (2010).

Pfeifer, N., Reiter, T., Briese, C., Rieger, W., 1999b. Interpolation of high quality ground models from laserscanner data in forested areas. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing XXXII (Pt.3W14), 31– 36.

Funciona iterando: en un primer paso se ajusta una superficie polinómica dando igual peso a todos los puntos LIDAR. Esta superficie obviamente se dispone entre el suelo verdadero y la superficie de la cubierta arbórea. Los puntos del terreno probablemente se localizarán por debajo de la superficie de la vegetación. La distancia y dirección a la superficie se usa para calcular un peso para cada punto LIDAR mediante la siguiente función de pesos

$$p_i = \begin{cases} 1 & v_i \leq g \\ \frac{1}{1 + (a (v_i - g)^b)} & g < v_i \leq (g + w) \\ 0 & (g + w) < v_i \end{cases}$$

Los parámetros a y b determinan lo empinada que ha de ser esta función de peso. Para la mayoría de las aplicaciones sus valores serán 1 y 4 (respectivamente). El valor de la opción g determina a qué puntos se les asignará el peso máximo (1). Los puntos por debajo de la superficie + g tendrán un peso 1. El parámetro w establece el límite superior para puntos que tienen una influencia en la superficie inmediata. Los puntos que estén sobre el nivel definido por $g + w$ se asignarán con peso = 0.

5.5.1. MDT de la Zona Norte.

Nos encontramos ante un paisaje con un terreno llano, con arbolado disperso, por el que discurre una carretera con algunos taludes pero muy pequeños.

Tras realizar algunas pruebas se ha decidido que la mejor opción es la secuencia de comandos descrita a continuación:

```
C:\FUSION\GroundFilter /gparam:1.5 /wparam:3.5 /iterations:8 F:\TFG\FUSION\NORTH\MDT_1.las 25
F:\TFG\FUSION\NORTH\MDT_02.las
```

```
C:\FUSION\GroundFilter /gparam:0.1 /wparam:0.5 /iterations:8 F:\TFG\FUSION\NORTH\MDT_2.las 8
F:\TFG\FUSION\NORTH\MDT_1.las
```

```
C:\FUSION\GroundFilter /gparam:0 /wparam:0.2 /iterations:8 F:\TFG\FUSION\NORTH\MDT_3.las 3.5
F:\TFG\FUSION\NORTH\MDT_2.las
```

```
C:\FUSION\GridSurfaceCreate F:\TFG\FUSION\NORTH\MDT.dtm 1 m m 1 30 0 0
F:\TFG\FUSION\NORTH\MDT_3.las
```



Fig. 65: Fichero de puntos *N_MDT_3.las* resultante del filtrado *GroundFilter*

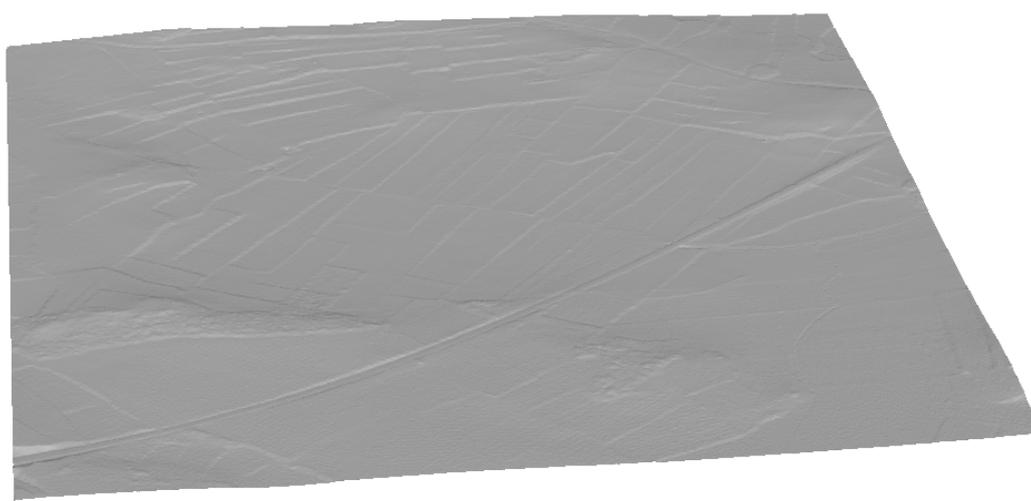


Fig. 66: Modelo digital del terreno (archivo *N_MDT.dtm*) resultante tras ejecutar *GridSurfaceCreate*

Finalmente aplicamos la transformación del modelo resultante a los formatos *TIFF* y *ASCII ráster* ejecutando los comandos *DTM2TIFF* y *DTM2ASCII* según las sintaxis siguientes:

```
C:\FUSION\DTM2TIF F:\TFG\FUSION\NORTH\N_MDT.dtm F:\TFG\FUSION\NORTH\N_MDT.tif
```

```
C:\FUSION\DTM2ASCII F:\TFG\FUSION\NORTH\N_MDT.dtm F:\TFG\FUSION\NORTH\N_MDT.asc
```

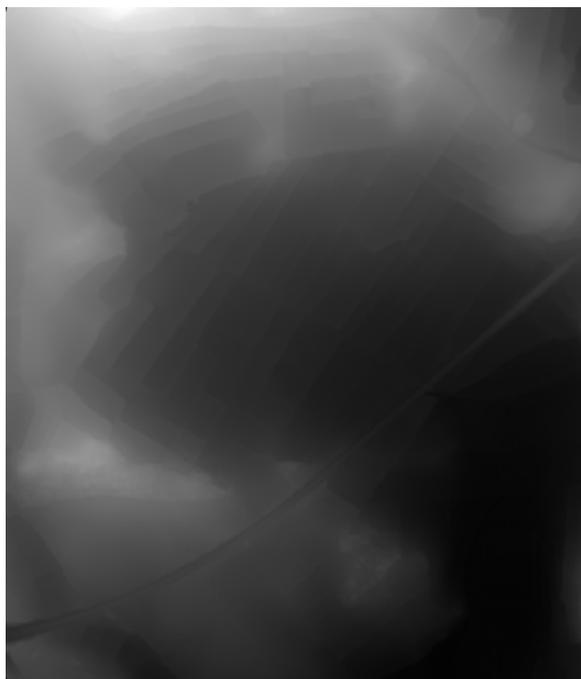


Fig. 67: Imágen del MDT de la Zona Norte.

5.5.2. MDT de la Zona Sur.

La Zona Sur se caracteriza por tener laderas con fuertes pendientes separadas por barrancos y divisorias. Existen agrupaciones de arboles y zonas de cultivo. Resulta muy difícil encontrar un algoritmo único que defina el suelo sin destruir información en crestas y valles.

Como solución se plantea la idea de dividir la imagen en diferentes zonas con características similares, de forma que resulte más sencillo encontrar un algoritmo idóneo distinto para cada zona.

La idea es identificar laderas y recortarlas con el comando *PolyClipData* para realizar los filtrados independiente. De esta forma, los puntos que definen el suelo estarán en un mismo plano, de forma que al aplicar el algoritmo de interpolación jerárquica robusta no se eliminará la información en la arista definida por un cambio de pendiente. Realizados los filtrados, volveríamos a unir los fragmentos con el comando *MergeData* que sirve para fusionar archivos de nubes de puntos.

El planteamiento parecía correcto y los resultados de filtrado de cada zona fueron altamente satisfactorios, pero al final resultó imposible volver a fusionar las nubes de datos filtradas. Los ficheros LAS son muy complejos y su excesiva manipulación puede acabar provocando errores desconocidos.

De cualquier forma el trabajo realizado no fue en vano, ya que sirvió para encontrar unos parámetros de filtrado más que aceptables, ponderados a partir de los usados para cada zona.

A continuación se explica brevemente los pasos seguidos:

Para el dibujo de los polígonos de recorte se utilizó el programa *gvSIG Desktop*.

Previamente había que identificar las líneas divisorias y vaguadas que definirían el perímetro de los polígonos de recorte. Se decidió entonces acceder al Centro de descargas del CNIG para obtener un modelo digital de la zona. En concreto se descargó el fichero correspondiente al producto MDT05/MDT-LIDAR⁽¹⁹⁾ del PNOA.

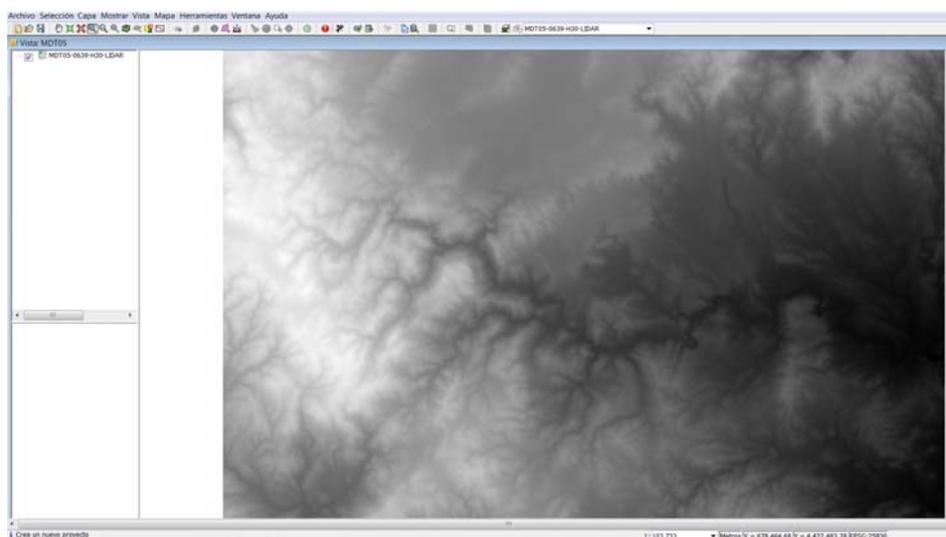


Fig. 68: Visualización del MDT descargado en el interfaz de *gvSIG*.

(19) Modelo digital del terreno con paso de malla de 5 m. Fichero MDT05-0639-LIDAR.

Después de recortar el ráster a los límites de la zona de estudio, se procedió a dibujar las curvas de nivel con una equidistancia de 2 m. Para ello en el menú de la caja de herramientas de gvSIG ejecutamos *SEXTANTE \ Vectorización \ Curvas de nivel*.

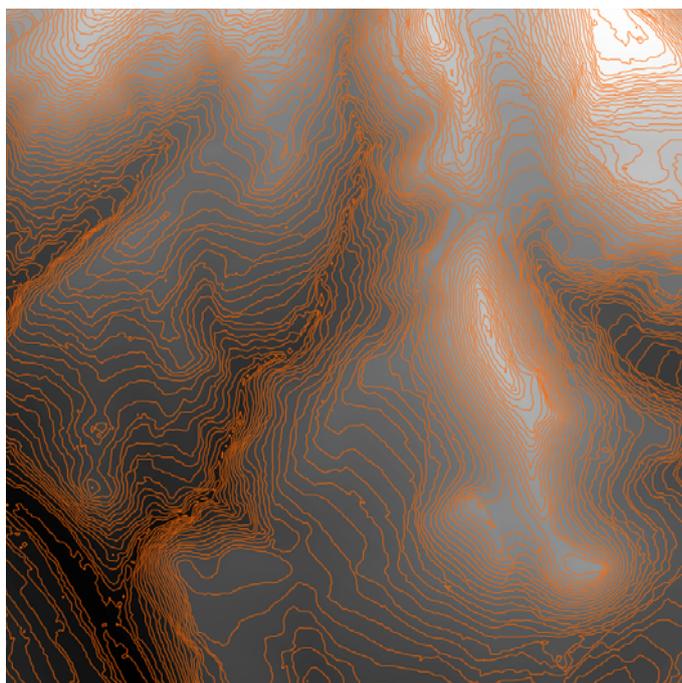


Fig. 69: Curvado del modelo en gvSIG.

Dentro del menú *SEXTANTE*, existe un conjunto de algoritmos llamado “*Geomorfología y análisis del relieve*” que contiene algunas herramientas muy útiles para resaltar características geomorfológicas del terreno sobre una imagen ráster.

Para tratar de resaltar las crestas y los valles, se probaron las herramientas “*Clasificación de formas del terreno*”⁽²⁰⁾ e “*Índice de convergencia*”⁽²¹⁾ con los siguientes resultados:

(20) Este algoritmo realiza un análisis cualitativo de la morfología del relieve. Tomando una celda de un MDT y sus 8 celdas vecinas, clasifica la forma de la celda central en función de los valores del conjunto.

(21) Calcula una medida de cómo el flujo a través de una celda converge (índice de convergencia menor que 0) o diverge (índice de convergencia mayor que 0).



Fig. 70: Clasificación de formas del terreno.

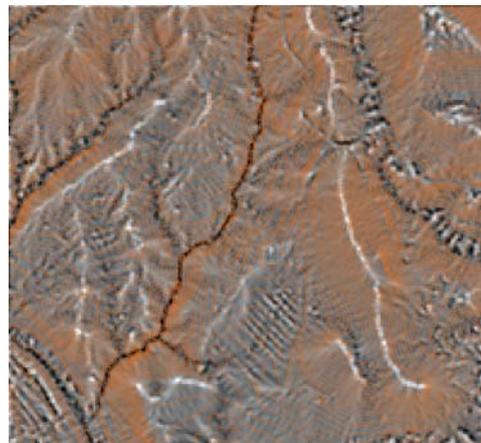


Fig. 71: Índice de convergencia.

Estas imágenes se utilizaron como plantilla para el dibujo de los polígonos de recorte.

Las últimas versiones de gvSIG incorporan un conjunto de herramientas de edición vectorial muy sencillas de manejar. Para el dibujo de los polígonos se hizo uso de la herramienta *Autocompletar Polígonos*. Esta herramienta resulta útil para dibujar polígonos adyacentes a uno existente, evitando así tener que digitalizar todos los vértices para que el límite entre polígonos coincida exactamente.

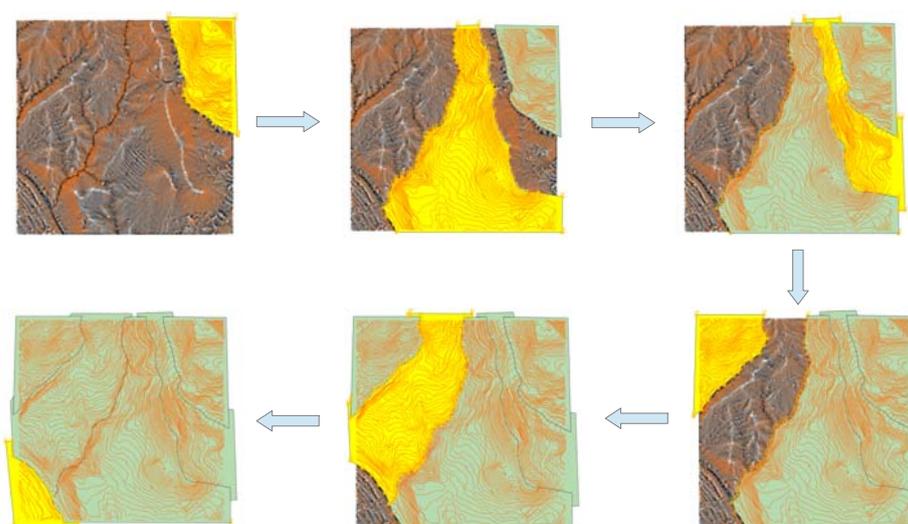


Fig. 72: Secuencia de dibujo de polígonos de recorte

Se definieron 6 polígonos que se exportaron como *shapefiles*.

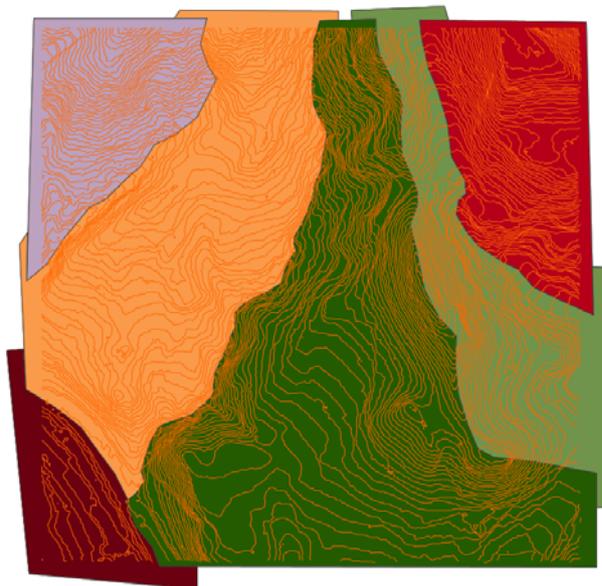


Figura 73

Los *shapefiles* fueron usados por el comando *PolyClipData* de *FUSION* para recortar la nube de puntos original limpia de outliers. Se generaron así 6 ficheros *LAS* que se estudiaron y filtraron de forma independiente mediante el uso del comando *GroundFilter*.

Finalmente se trató de fusionar los 6 ficheros filtrados para formar un único archivo *LAS* sobre el que aplicar la orden *GridSurfateCreate*, con la que generaríamos el archivo *DTM* del modelo digital del terreno.

En un principio se intentó la fusión de los archivos *LAS* con la orden *MergeData*. Luego, al ver que no funcionaba, se crearon ficheros *DTM* independientes para tratar de unirlos con el programa *MergeDTM*, también sin éxito.

Finalmente, ponderando los algoritmos de filtrado empleados se aplicó el siguiente algoritmo sobre el fichero original depurado de *outliers*:

Capítulo 5 – Generación de los modelos MDS y MDT

```
C:\FUSION\GroundFilter /gparam:1 /wparam:2 /iterations:8 F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_MDT1.las 15  
F:\TFG\FUSION\SOUTH\S.las
```

```
C:\FUSION\GroundFilter /gparam:0.5 /wparam:1.5 /iterations:8 F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_MDT2.las 8  
F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_MDT1.las
```

```
C:\FUSION\GroundFilter /gparam:0 /wparam:1 /iterations:8 F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_MDT3.las 5  
F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_MDT2.las
```

```
C:\FUSION\GroundFilter /gparam:0 /wparam:0.2 /iterations:8 F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_MDT.las 1.5  
F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_MDT3.las
```

```
C:\FUSION\GridSurfaceCreate F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_MDT.dtm 1 m m 1 30 0 0  
F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_MDT.las
```

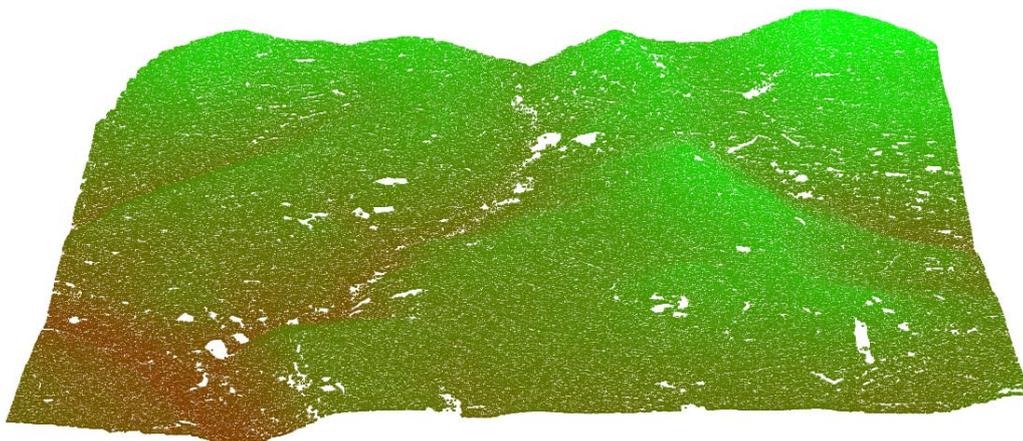


Fig. 74: Fichero de puntos *S_MDT.las* resultante del filtrado *GroundFilter*

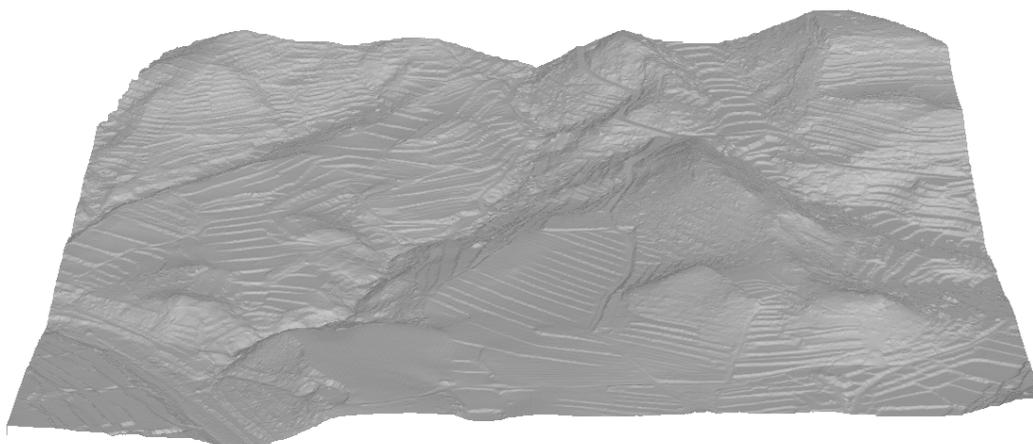


Fig. 75: Fichero *S_MDT.dtm* resultante con *GridSurfaceCreate*.

Capítulo 5 – Generación de los modelos MDS y MDT

El último paso consiste en generar los formatos *TIFF* y *ASCII ráster* que podremos manejar con cualquier SIG. Ejecutamos para ello los comandos *DTM2TIFF* y *DTM2ASCII*:

```
C:\FUSION\DTM2TIF F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_MDT.dtm F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_MDT.tif
```

```
C:\FUSION\DTM2ASCII F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_MDT.dtm F:\TFG\FUSION\SOUTH\S_MDT.asc
```

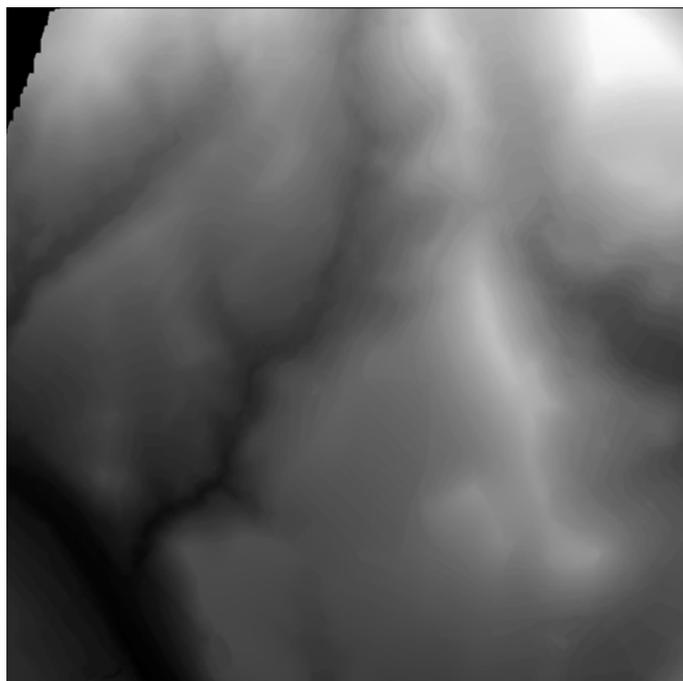


Fig. 76: Imagen del MDT de la Zona Sur.

Capítulo 6

CÁLCULO DEL MDV

6.1. Integración de los modelos digitales en la geodatabase de ArcGIS.

Con el programa *FUSION* hemos generado, para cada zona de estudio, un modelo digital de superficie (MDS), consistente en una representación topográfica de la tierra (o suelo) y de todos los elementos del paisaje que residen en ella: edificios, árboles, líneas eléctricas, etc., y un modelo digital del suelo o terreno (MDT), en el que sólo se tiene en cuenta la tierra desnuda de dichos objetos.

Antes de iniciar los trabajos de identificación y clasificación de objetos con el programa *InterIMAGE*, debemos caracterizarlos mediante el cálculo de las alturas normalizadas, obtenidas como resultado de la resta de los modelos MDS y MDT descritos.

Para realizar estas operaciones vamos a utilizar las herramientas de cálculo de archivos ráster de *ArcGIS*.

Abrimos *ArcMap* y cargamos los archivos *ASCII* (archivos *.asc) que contienen la información ráster de los modelos construidos con *FUSION*.

Para cargar los archivos podemos hacerlo de dos formas:

- Pulsando sobre el icono *Add Data* del menú principal

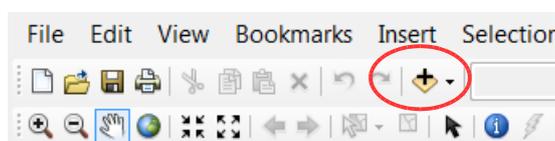


Figura 77

En la ventana de dialogo siguiente buscamos la ruta y seleccionamos el archivo a cargar.

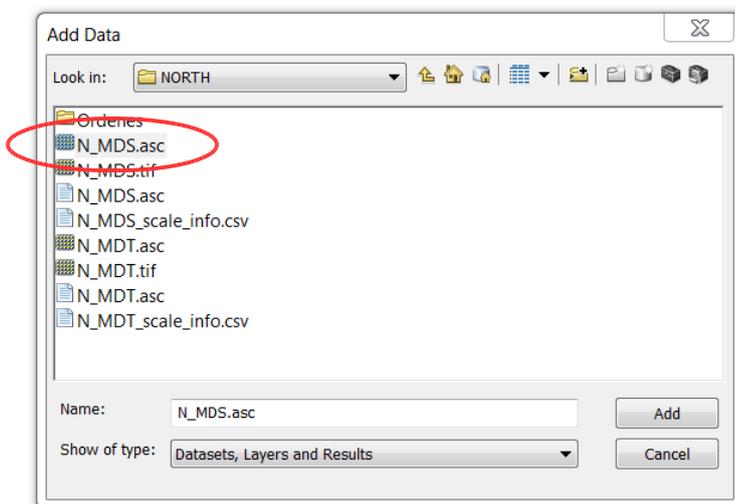


Figura 78

- Desde la ventana *Catalog*, seleccionamos la base de datos personalizada que hemos generado anteriormente y con el botón derecho del ratón activamos el menú para ejecutar:

Import \ Raster Datasets...

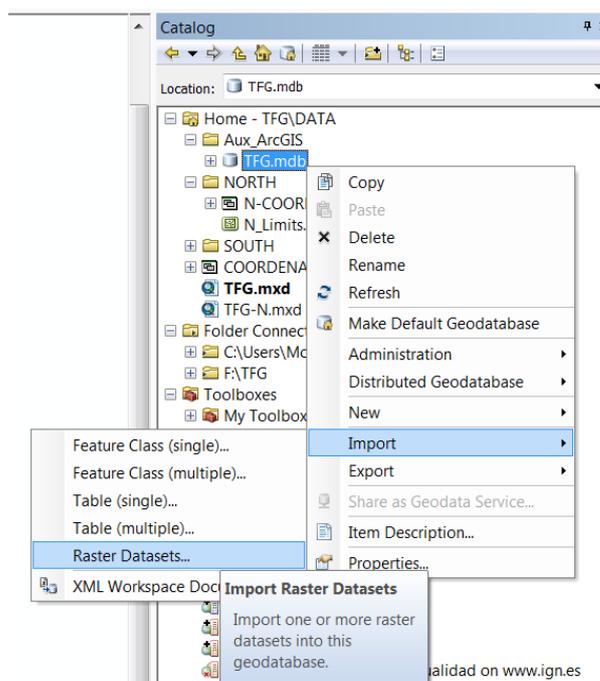


Figura 79

Esta opción nos permite cargar varios archivos ráster a la vez y tenerlos organizados en nuestra base de datos.

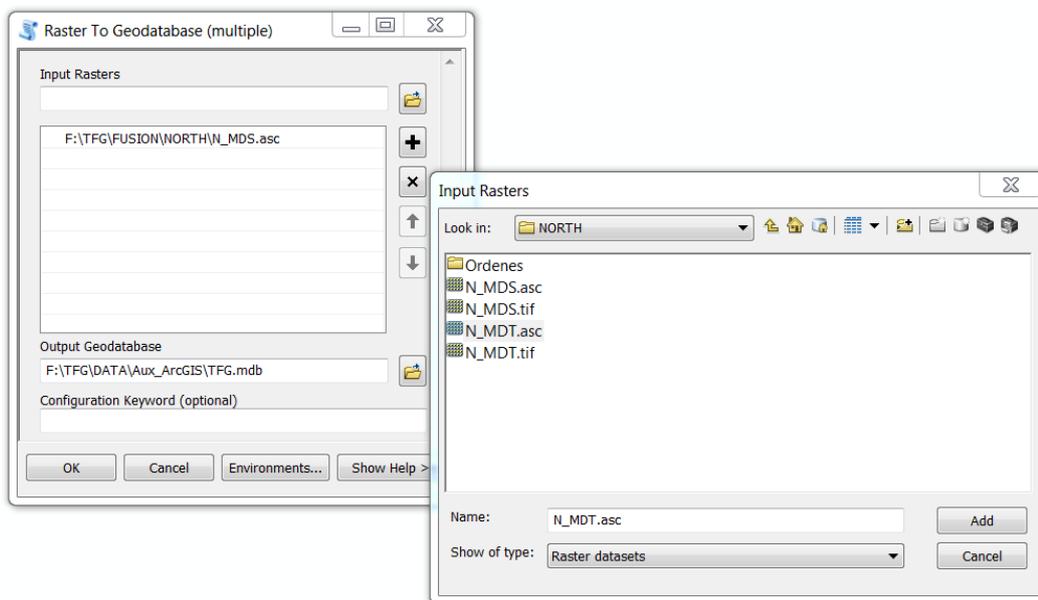


Figura 80

Como queremos integrar en nuestra geodatabase toda la información que va a generar a lo largo del proyecto, optaremos por esta ultima opción.

Para comprobar el sistema de referencia de los archivos cargados, accederemos a las propiedades de los mismos activando el menú con el botón derecho del ratón sobre el ráster seleccionado.

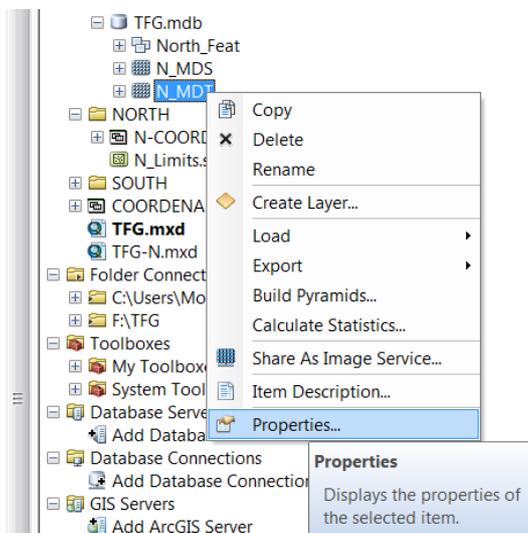


Figura 81

En el cuadro de diálogo emergente editamos y asignamos el sistema de referencia de la misma forma que se ha descrito para la base de datos vectoriales.⁽²²⁾

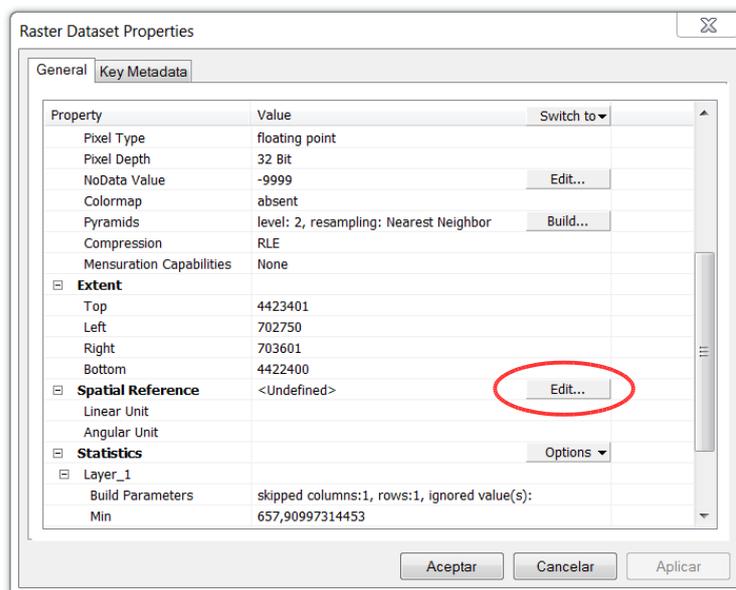


Figura 82

Para poder visualizar los archivos ráster debemos cargarlos en la ventana de la tabla de contenidos como capas. Seleccionamos con el botón izquierdo del ratón el fichero en la ventana *Catalog* y, sin soltarlo, lo arrastramos hasta la ventana del TOC.⁽²³⁾

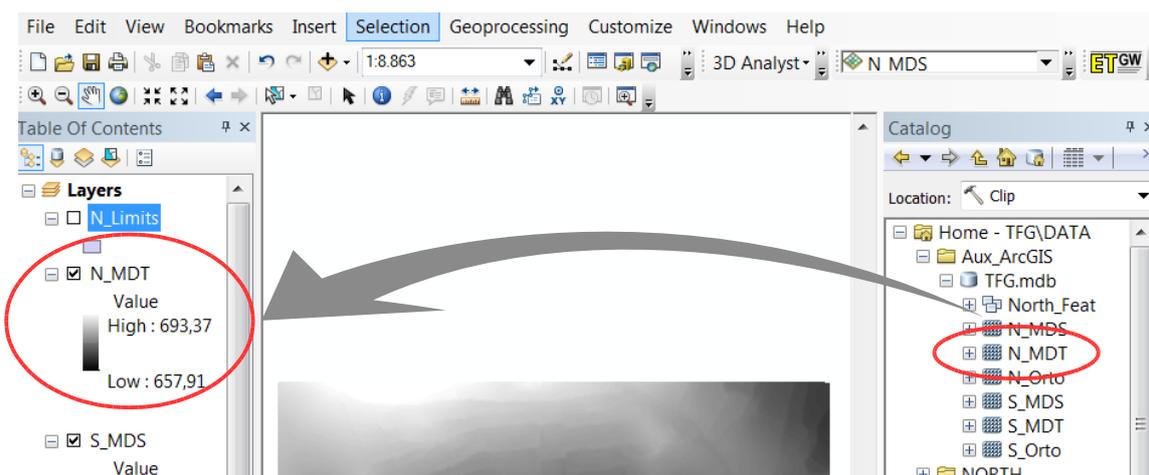


Figura 83

(22) Ver apartado 4.2.

(23) Acción "drag-and-drop".

6.2. Comprobación de los modelos.

6.2.1. Carga de la Ortofotografía del PNOA.

Antes de proceder al cálculo del MDV es conveniente comprobar que los modelos MDS y MDT han sido construidos sin errores y están correctamente georreferenciados. La mejor forma de hacerlo es comparar los modelos con la ortofoto descargada del PNOA.

El fichero ECW descargado tiene un tamaño de 1,56 GB. Esta imagen descomprimida ocuparía un tamaño de 25,15 GB, lo que podría ocasionar errores de procesamiento si tratamos de cargarla en la base de datos de nuestro trabajo. Por esta razón procederemos a cargar la imagen en *ArcMap* usando el comando *Add Data*⁽²⁴⁾.

Una vez hemos introducido la imagen como una capa en el *TOC* de *ArcMap*, accederemos a sus propiedades (*Layer Properties*) comprobando que se ha cargado correctamente con nuestro sistema de referencia. Aquí podemos comprobar que la imagen cubre una extensión de 28,08x19,35 Km², con de píxeles (*cell size*) de 0,25 m (116.320 columnas por 77.400 filas).

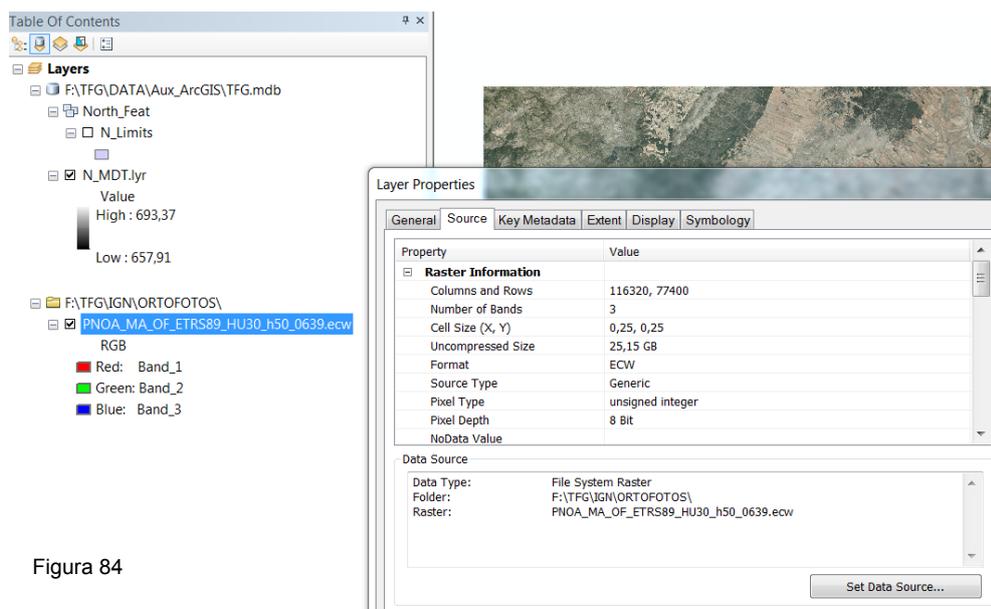


Figura 84

(24) Ver apartado 5.1.

El procesamiento de una imagen tan grande puede ocasionar errores en el sistema, por lo que nos interesa recortarla.

En primer lugar, para visualizar el modelo cargado sobre la ortofoto, debemos cambiar el orden de las capas: Seleccionando el botón superior izquierdo (*List by Drawing Order*) del TOC podremos visualizar las capas por orden de dibujo, de tal forma que arrastrando una sobre la otra cambiaremos el orden de visualización.

A continuación abrimos la barra de herramientas *ARCTOOLBOX*

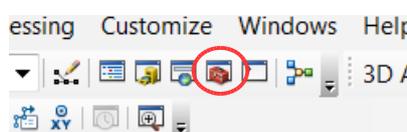


Figura 85

y buscamos la herramienta que nos permite recortar archivos ráster:

Toolboxes \ System Toolboxes \ Data Management Tools.tbx \ Raster \ Raster Processing \ Clip

En la ventana de diálogo emergente introducimos el raster a recortar (*Input Raster*), las coordenadas que definen la ventana de recorte⁽²⁵⁾ (*Rectangle*) y la base de datos raster en la que queremos guardar la imagen resultante.

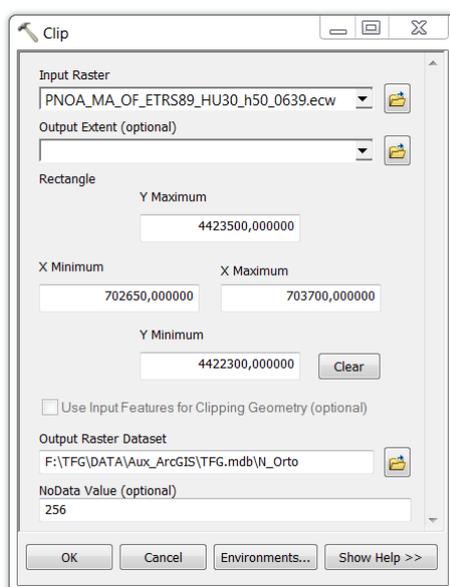


Figura 86

(25) Se ha elegido un rectángulo más grande que las dimensiones de los modelos cargados, de forma que estos queden inscritos dentro de la ortofoto recortada con un margen de 100 m, así visualizaremos los encajes.

Una vez ejecutado el proceso de recorte para los dos zonas de trabajo, podemos eliminar del TOC la ortofoto *.ecw original.

6.2.2. Comprobación con un modelo de sombras.

Para comprobar que no han quedado *outliers* vamos a generar un modelo de sombras colocando un foco de luz como si el Sol estuviera en 45° sobre el horizonte.

Abrimos la barra de herramientas

Toolboxes \ System Toolboxes \ Spatial Analyst Tools.tbx \ Surface \ Hillshade

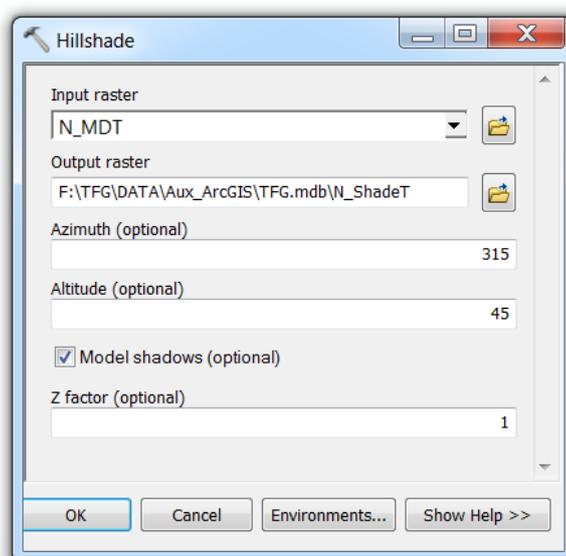


Figura 87

Introducimos el raster de entrada y el de salida. El azimuth y la altitud son opcionales y nos definen la posición del foco de luz (dejamos por defecto 315° y 45°). Opcionalmente podemos generar un modelo de sombras activando *Model shadow*. Con esta opción podemos realizar una identificación de cotas entre los modelos MDS y el MDT.



Fig.88: Modelo de sombras Zona Norte

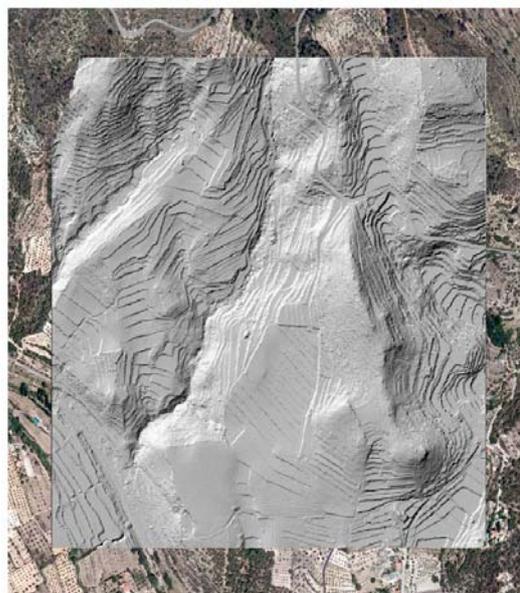


Fig.89: Modelo de sombras Zona Sur

Con la superposición de los modelos de sombras sobre las ortofotos y el uso de la herramienta *Windows \ Image Analysis*, que nos permite asignar grados de transparencia y otras herramientas de visualización a los ráster, podemos hacer una evaluación rápida sobre la calidad de los modelos obtenidos con *FUSION*.

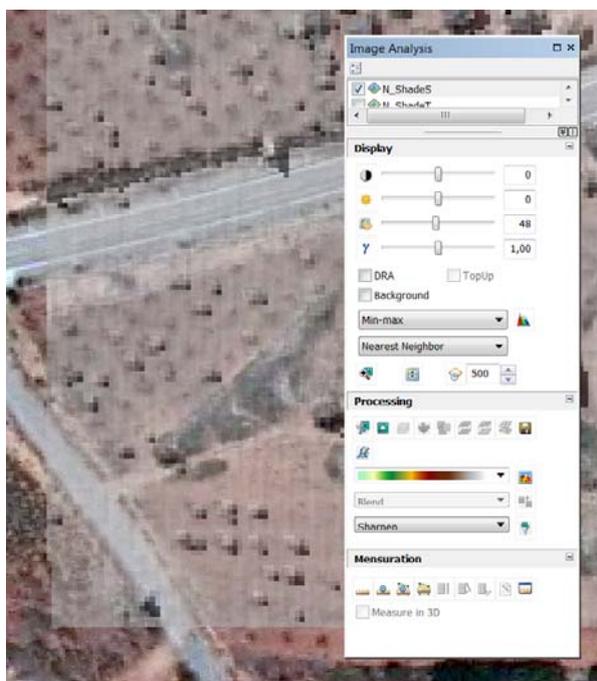


Figura 90

6.3. Cálculo del modelo normalizado.

Para generar el modelo digital de alturas de vegetación (MDV) ejecutamos:

Toolboxes \ System Toolboxes \ Spatial Analyst Tools.tbx \ Map Algebra \ Raster Calculator

Aplicamos el cálculo $MDV = MDV - MDE$ y nombramos el fichero de salida:

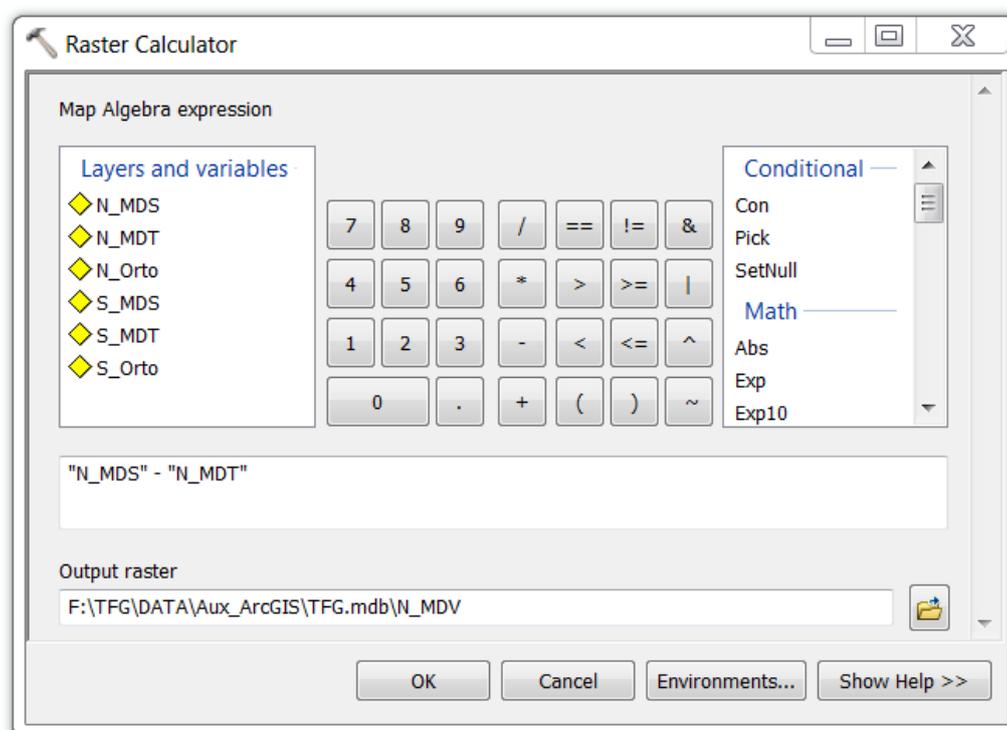


Figura 91

Pueden salir algunas cotas negativas, lo cual es normal siempre que no se obtengan valores exagerados. Esto es debido las zonas en las que, para poder generar el modelo, ha sido necesario interpolar al no existir suficientes datos.

Finalmente, solo queda exportar los modelos a formato **.tif* para su posterior análisis en *INTERIMAGE*.

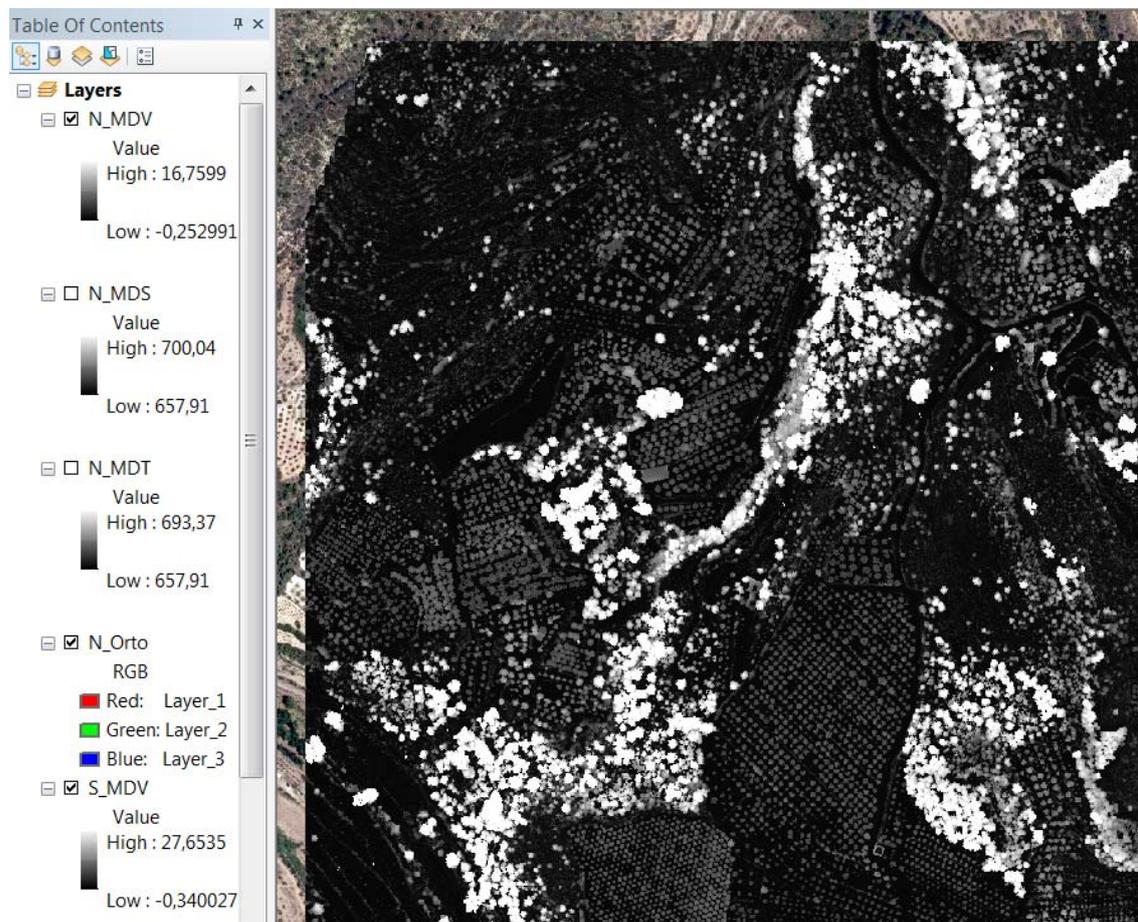
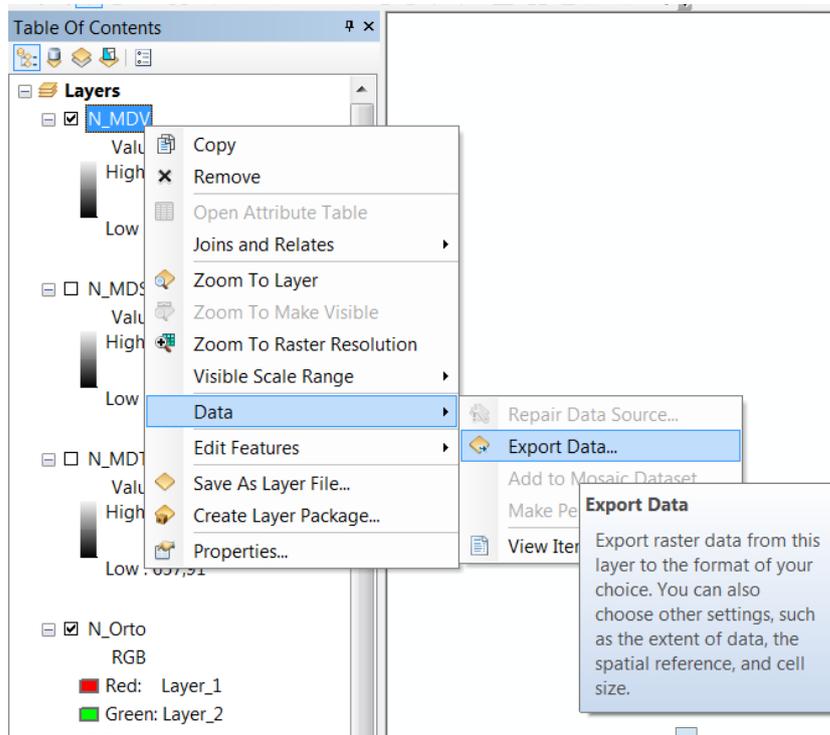


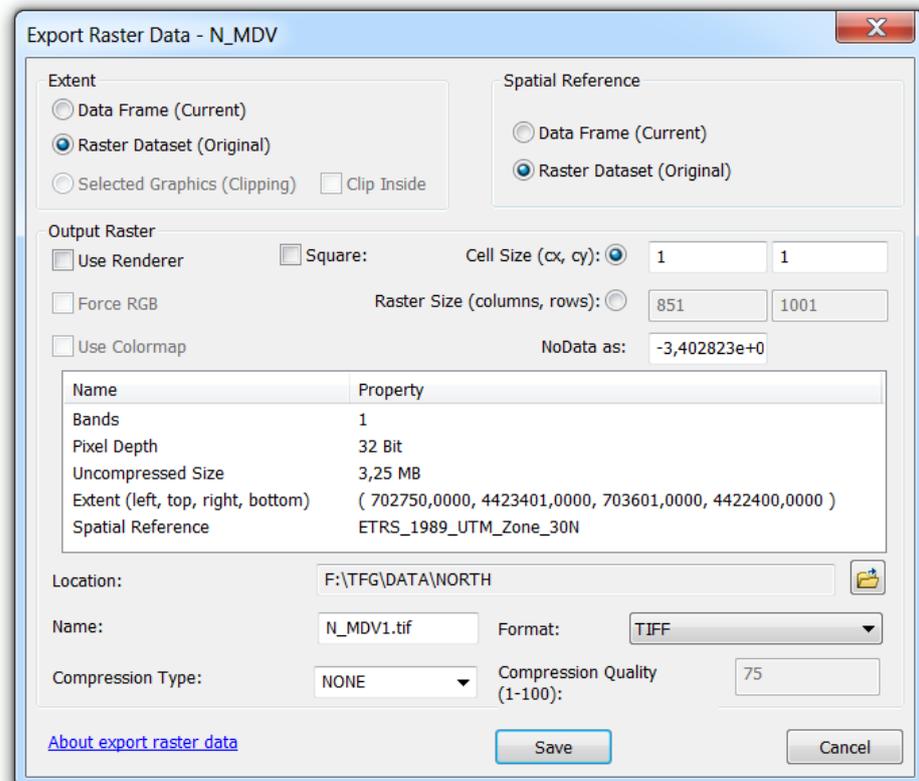
Fig. 92: Visualización en ArcMap del MDV correspondiente a la Zona Sur

Para exportar la imagen desplegamos el menú de la capa con el botón derecho del ratón y ejecutamos

Data \ Export Data...



Figuras 93-94



Capítulo 7

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE IMÁGENES.

7.1. Introducción al método de segmentación.

Los procedimientos de análisis de imágenes, basados en la clasificación de píxeles aislados, presentan algunas limitaciones tales como: la dificultad de discriminar clases con características espectrales semejantes (problema que aumenta con las imágenes de alta resolución espacial), o la no consideración de las relaciones espaciales entre los píxeles. Frente a este tipo de análisis, los procesos de segmentación, consistentes en la clasificación de grupos de píxeles que forman regiones o segmentos con características similares, presentan un contenido semántico mayor que los píxeles individuales.

Se define *objeto-imagen* a una región discreta de una imagen digital que es internamente coherente y diferente de sus alrededores. Por ejemplo, en una imagen de alta resolución, un objeto consiste en la agrupación de varios píxeles entre los que existe una alta correlación espectral.

El proceso de segmentación de una imagen consiste en la subdivisión en sus regiones constituyentes, mediante la identificación de discontinuidades (bordes o límites de objetos) y la delimitación de las regiones u objetos visiblemente homogéneos. El proceso se lleva a cabo hasta que se alcanza un nivel de división en el que se consigue el aislamiento de los objetos de interés.

En todo proceso de segmentación por regiones, dada una región R o zona de la imagen a segmentar en n sub-regiones R_1, R_2, \dots, R_n , deben cumplirse 5 condiciones fundamentales:

1. La unión de todas las sub-regiones tienen que dar la imagen original:

$$\bigcup_{i=1}^n R_i = R$$

2. R_i es una región continua, es decir, no pueden existir dos regiones R_i . Todos los píxeles que pertenecen a una misma región están conectados.
3. Las regiones son disjuntas, o sea, no existe la intersección de dos regiones adyacentes:

$$R_i \cap R_j = \emptyset \quad \text{para todo } i \text{ y } j \text{ con } j \neq i$$

4. Todos los píxeles de una región deben cumplir la condición lógica de pertenencia que se ha establecido para formarla:

$$P(R_i) = \text{CIERTO} \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n$$

5. La condición lógica anterior aplicada a la unión de dos regiones adyacentes es falsa, es decir, no se puede aplicar la misma condición para formar dos regiones distintas, éstas son propias de cada región:

$$P(R_i \cup R_j) = \text{FALSO} \quad \text{para } i \neq j$$

La primera fase del procesamiento consiste en la segmentación propiamente dicha, mientras que en una segunda fase de post-proceso se realiza una re-segmentación en la que se eliminan los segmentos pequeños y se re-definen las fronteras que los delimitan. La siguiente fase consiste en el reconocimiento y clasificación de clases de objetos basándose en los atributos de los segmentos, con o sin el uso de conocimiento contextual y temporal. El resultado será una descripción temática de la escena.

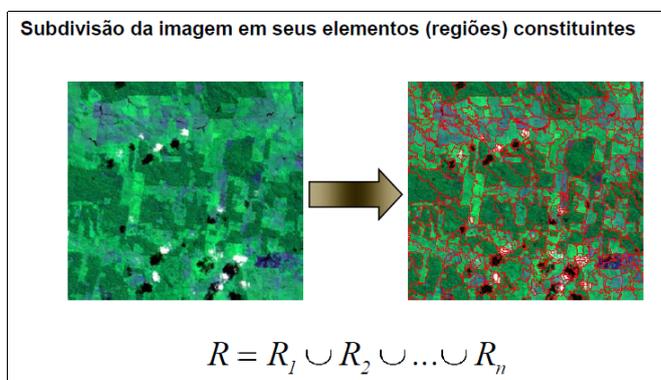


Figura 95
(Gilson A.O.P. Costa - PUC-Rio)

Los algoritmos de segmentación generalmente se basan en dos propiedades básicas de los valores de gris de los píxeles vecinos: la discontinuidad y la similitud.

- La **discontinuidad** fundamenta la división de la imagen basándose en los cambios bruscos de los niveles de gris con el vecindario. Los enfoques principales en esta categoría son la detección de puntos, de líneas y de bordes en la imagen.
- La **similitud** se basa en la búsqueda de zonas con valores similares. Para ello se usan técnicas de umbrales, crecimiento de regiones, y técnicas de división y fusión.

No existe una teoría general de la segmentación. Existen diferentes técnicas, pero todas necesitan de parámetros definidos por el usuario.

En las últimas décadas se han propuesto diversos algoritmos de segmentación (Haralick-Shapiro, 1985; Tilton, 1989; Baatz-Schäpe, 2000; Comaniciu-Meer, 2002; Vese-Chan, 2002; Felzenszwalb-Huttenlocher, 2004; Meinel-Neubert, 2004; Neubert-Herold-Meinel, 2006; Forcadell-Guyader-Gout, 2008; Neubert-Herold-Meinel, 2008; Marpu y otros, 2010). Un estudio realizado por Neubert, Herold y Meinel (2006) indicó que el algoritmo implementado en el software *SPRING* (Cámara y otros, 1996) y el algoritmo propuesto por Baatz y Schäpe (2000), disponible en el software *eCognition*, pueden considerarse como los dos mejores algoritmos de segmentación de entre los más utilizados en los últimos años en el ámbito de la teledetección. Ambos algoritmos se basan en métodos de **Crecimiento de Regiones**.

Los métodos de crecimientos de regiones consisten en la agrupación de píxeles en función de su relación con sus vecinos. El procedimiento más sencillo (denominado *agregación de píxeles*), se inicia con la definición de un conjunto de “píxeles semilla”, de forma que a partir de cada semilla se van formando regiones de píxeles a las que se adscriben aquellos píxeles vecinos que tienen propiedades similares. El resultado de la segmentación dará lugar como mucho a tantas regiones como semillas haya. Sin embargo, puede darse el caso de que dos de esas semillas correspondan a píxeles de la misma región. En este caso el crecimiento desde una de las semillas absorberá a la otra, que deberá ser descartada.

Capítulo 7 – Metodología de análisis de imágenes.

Sin embargo, los algoritmos anteriores difieren en cuanto a la selección de los criterios de similitud que deciden cuándo dos segmentos adyacentes deberían o no fusionarse para formar un único segmento. Mientras que el algoritmo SPRING considera atributos básicamente espectrales, el algoritmo de Baatz y Schäpe considera tanto atributos espectrales como atributos morfológicos. Esta diferencia proporciona, en principio, al algoritmo de Baatz y Schäpe una mayor capacidad de producir resultados perceptiblemente sólidos, pero por otra parte hace que el ajuste de sus parámetros sea más complejo y laborioso.

En imágenes en color o multiespectrales (fotografías desde satélite, por ejemplo) se pueden emplear propiedades de similitud en los diferentes canales disponibles. Sin embargo, en este proyecto estamos trabajando con imágenes de intensidad con un único canal disponible. En este caso las propiedades deben basarse en descriptores locales como son la intensidad y propiedades espaciales. Por todo ello vamos a utilizar en nuestros procesos de segmentación el algoritmo de crecimiento de regiones propuesto por Baatz y Schäpe (2000).

7.2. El Algoritmo de Baatz & Shäpe.

Al inicio del proceso cada píxel de la imagen es considerado como una semilla y representa un objeto. A continuación se inicia un proceso iterativo. En cada iteración cada píxel es visitado una sola vez, siguiendo un orden pseudo-aleatorio con el fin de conseguir un crecimiento equilibrado de todos los segmentos, realizando fusiones entre ellos hasta completar toda la escena.

Para visitar un segmento, se estima un aumento de la heterogeneidad que se derivaría de su fusión con cada uno de sus vecinos. Entonces se determina el vecino más similar, es decir, aquel cuya fusión implicaría un incremento menor de la heterogeneidad global considerando cada segmento por separado. A continuación, toma una de estas dos heurísticas de decisión:

- La variante conocida como el **mejor ajuste** (*Best Fitting*), en la que se lleva a cabo la fusión del segmento visitado con la de su vecino más similar.
- En la segunda variante, conocida como **mejor ajuste mutuo** (Mutual Best Fitting), en el que la fusión sólo se realiza si la relación de mayor similitud es mutua, es decir, primero busca para el segmento visitado A, el vecino B que mejor cumple los criterios de homogeneidad; luego busca para B el objeto vecino C, para el que B cumple mejor los criterios de homogeneidad. Si $C=A$ entonces fusiona los objetos, en caso contrario repite el proceso con respecto a B para A y C para B.

Para ambas heurísticas, el incremento máximo de la heterogeneidad viene limitado por un parámetro del algoritmo llamado escala (sp) que influye directamente en el tamaño medio de los segmentos finales (Brodsky-Boruvka, 2006). Si la homogeneidad del nuevo objeto no excede el parámetro escala, el objeto visitado y el vecino se fusionan. La segmentación termina cuando no quedan más fusiones a realizar.

El incremento de la heterogeneidad f , también llamado **factor de fusión**, consta de un componente espectral o color, h_{color} , y uno espacial o morfológico, h_{shape} , que se relacionan entre sí según la siguiente expresión

$$f = (1 - w_{shape}) \cdot h_{color} + w_{shape} \cdot h_{shape}$$

La importancia relativa de cada componente es valorada por el peso de la forma w_{shape} .

Tanto h_{color} como h_{shape} son medidas de incremento de heterogeneidad resultante de la fusión de dos segmentos. La fusión de un segmento (Seg1) con un vecino (Seg2) supondrá un aumento de la heterogeneidad del segmento resultante (Seg3).

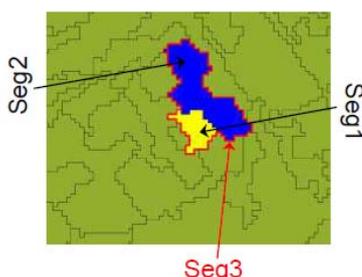


Figura 96
(Gilson A.O.P. Costa - PUC-Rio)

Según esto se evalúa el componente espectral del factor de fusión como:

$$h_{color} = \sum_c w_c \cdot \left(n_{Seg3} \cdot \sigma_c^{Seg3} - \left(n_{Seg1} \cdot \sigma_c^{Seg1} + n_{Seg2} \cdot \sigma_c^{Seg2} \right) \right)$$

siendo

h_{color} , el componente de color,

c , la banda espectral,

w_c , el peso asociado a la banda c , siendo $\sum_c w_c = 1$

n , el área del objeto (o número de píxeles del segmento), y

σ_c , desviación estándar de los valores de los píxeles que componen cada segmento en la banda c .

El componente morfológico se define por el desvío relativo de la forma del segmento en relación a una figura geométrica predefinida. El algoritmo considera dos atributos morfológicos: la compacidad y la suavidad.

De forma general puede establecerse la formulación del atributo morfológico como:

$$h_{shape} = \sum_s w_s \cdot \left(n_{Seg3} \cdot a_s^{Seg3} - \left(n_{Seg1} \cdot a_s^{Seg1} + n_{Seg2} \cdot a_s^{Seg2} \right) \right) \quad (i)$$

donde

h_{shape} , es el componente morfológico,

s , es un índice que indica el atributo morfológico,

w_s , es el peso asociado al atributo morfológico s , siendo $\sum_s w_s = 1$

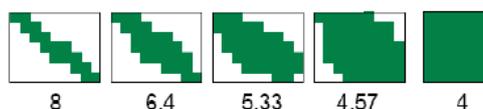
n , es el área del objeto (o número de píxeles del segmento), y

a_s , es el valor del atributo en la banda s .

De entre los distintos atributos morfológicos que se pueden utilizar para definir la heterogeneidad morfológica: compacidad, suavidad, rectangularidad, isometría, volumen, excentricidad, etc, ..., el algoritmo de Baatz-Schäpe solo considera los dos primeros.

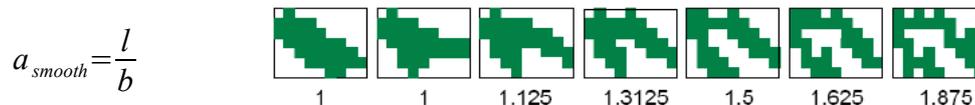
- La compacidad representa la desviación de una forma respecto de un cuadrado. Es dada por la relación entre el perímetro del segmento, l , y la raíz cuadrada de su superficie, definida por el numero de píxeles, n , contenidos en el segmento.

$$a_{compct} = \frac{l}{\sqrt{n}}$$



La compacidad es mínima para un cuadrado y es sensible a las irregularidades del entorno.

- La suavidad mide cuánto se aleja el objeto de la hipotética forma convexa que lo envuelve. Viene dada por la relación entre el perímetro del segmento, l , y el perímetro del rectángulo envolvente mínimo, b .



La suavidad es mínima para un rectángulo perfecto y crece con la presencia de concavidades.

Sea

$$f_s = n_{Seg3} \cdot a_s^{Seg3} - (n_{Seg1} \cdot a_s^{Seg1} + n_{Seg2} \cdot a_s^{Seg2})$$

La expresión (i) para los dos atributos morfológicos definidos quedaría:

$$h_{shape} = w_{smooth} \cdot f_{smooth} + w_{cmpct} \cdot f_{cmpct}$$

como $w_{cmpct} + w_{smooth} = 1$ se puede decir que

$$h_{shape} = (1 - w_{cmpct}) \cdot f_{smooth} + w_{cmpct} \cdot f_{cmpct}$$

En esta expresión se relaciona la compacidad y la suavidad en función de la importancia relativa de cada componente definida por el valor de peso de la compacidad, w_{cmpct} .

Así pues, el control del algoritmo de segmentación queda reducido a la introducción de tres parámetros mínimos por parte del usuario:

- el peso de la compacidad, w_{cmpct} , con el que definimos el componente morfológico,
- el peso del color, w_{color} , con el que definimos el componente espectral, y
- el parámetro de escala, sp , con el que controlamos el incremento de la heterogeneidad y por tanto, el tamaño medio de los segmentos finales.

Si la homogeneidad en una imagen es alta, el componente de *color* es el más importante, pues mejora la calidad de la extracción de elementos. Los criterios de *forma* resultan especialmente útiles cuando los objetos de interés están altamente fracturados. El parámetro de *escala* define la homogeneidad de las regiones resultantes de la segmentación.

7.3. Introducción a InterIMAGE.

InterIMAGE es un software de código abierto orientado al procesamiento de imágenes que forma parte de un proyecto internacional de cooperación científica liderado por el Laboratorio de Visión Artificial del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Católica de Rio de Janeiro (PUC-Rio) y por los departamentos de Procesamiento de Imágenes y Teledetección del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) de Brasil. Es una extensión de un proyecto anterior llamado *GeoAIDA* desarrollado por el Instituto de Procesamiento de la Información de la Universidad Leibniz de Hannover (Alemania).

Este programa permite la interpretación automática de imágenes usando el principio de la segmentación. La estrategia de clasificación implementada por el sistema se basa en un modelo de conocimiento definido por el usuario por medio de una red semántica. Los nodos de la red representan conceptos, clases de objetos que se espera detectar en la imagen. Para cada nodo el usuario puede asociar un operador de procesamiento y definir una reglas de decisión que servirán para analizar los objetos generados por los operadores.

El programa interpreta: imágenes geo-referenciadas, capas vectoriales SIG, modelos digitales de elevación, y otros geo-registros y datos ráster.

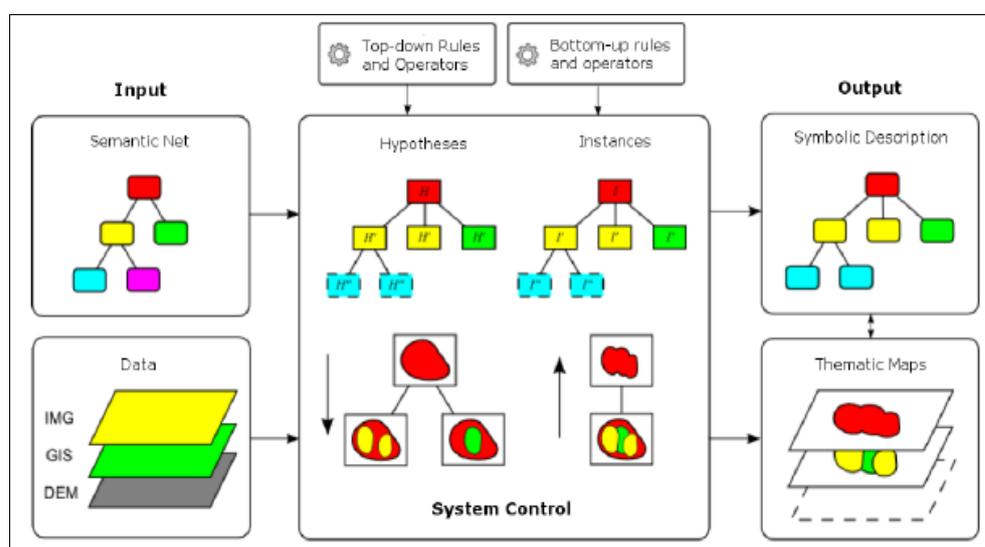


Fig. 96: Proceso de análisis de *InterIMAGE*.

Los operadores son programas ejecutables externos al núcleo del sistema que pueden ser integrados en él.

Se distinguen en dos grupos:

Operadores **TOP-DOWN**:

Realizan una clasificación preliminar dividiendo la escena en regiones más pequeñas, que identifican como objetos que hipotéticamente pertenecen a una misma clase (*Hypotheses*).

Operadores **BOTTOM-UP**:

Realizan el proceso inverso confirmando o rechazando la clasificación anterior, y resolviendo conflictos espaciales entre regiones. Al final del proceso de interpretación las hipótesis se convierten en objetos validados (*Instances*).

El resultado final consiste en el etiquetado de las regiones asociadas a objetos con símbolos que permiten la creación de diferentes mapas temáticos en los que se pueden representar los diferentes niveles de conceptos semánticos de la red. 0.

7.3.1 . Red semántica.

Para interpretar la escena se representa una red jerárquica en la que cada nodo se corresponde con un objeto perteneciente a la clase esperada.

Cada nodo puede estar asociado con un único antecesor (*parent*) y con uno o varios hijos (*children*).

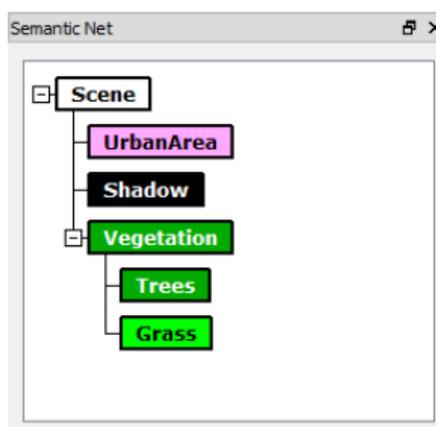


Fig. 97

7.3.2 . Operadores TOP-DOWN.

El análisis *top-down* está basado en modelos y genera una red de hipótesis de objeto. La tarea del operador es identificar los objetos que probablemente pertenecen al nodo semántico asociado y que posteriormente se someterán a validación.

Las reglas de decisión (*Decision rules*) pueden ser definidas de forma explícita por el usuario para el post-proceso de objetos identificados por el operador *top-down*.

Podemos definir un nodo de la red semántica como *TOP-DOWN MULTI-CLASS*. Sólo puede haber un nodo de este tipo para los nodos hijos de un mismo nodo padre. El operador asociado a este nodo deberá identificar los objetos en la imagen no sólo de la correspondiente clase, sino también de los de todos los nodos hermanos.

El sistema proporciona un operador por defecto llamado *DUMMY TOP-DOWN*. Este operador obtendrá una sola región que será igual a la ROI definida en el nodo padre al que va asociado. Este operador no permite el uso de reglas de decisión.

7.3.3 . Operadores BOTTOM-UP.

El análisis *bottom-up* es la agrupación de hipótesis y su evaluación, verificación o falsificación. La entrada de estos operadores es una lista de regiones, cada una de las cuales está asociada a un hipotético objeto perteneciente a las clases de los nodos secundarios.

Las reglas de decisión (*Decision rules*) pueden ser definidas de forma explícita por el usuario para el post-proceso de objetos identificados por el operador *bottom-up*.

El operador agrupa los objetos validados (*Instances*) asignando a cada grupo una región equivalente. Los grupos de objetos originarán nuevas hipótesis para el nodo semántico asociado al operador, que sustituirán la hipótesis original. Los objetos hipótesis son descartados o incluidos en las condiciones de los objetos hasta que toda la red ha sido creada.

El sistema proporciona un operador por defecto llamado *DUMMY BOTTOM-UP*. Este operador no realiza ningún procesamiento, dejando en manos de las reglas de decisión la capacidad de juzgar las hipótesis de los objetos de los nodos secundarios.

7.3.4 . Reglas de decisión

Las reglas de decisión pueden ser usadas tanto para reclasificar hipótesis generadas por operadores *top-down*, como para decidir competencias entre hipótesis durante la fase *bottom-up*.

El resultado de una regla de decisión es un conjunto de objetos. Los pasos básicos son:

- i) seleccionar un conjunto de objetos,
- ii) filtrar el conjunto de objetos,
- iii) asignar un grado de pertenencia a los objetos dentro del conjunto, y
- iv) resolver conflictos espaciales entre objetos del conjunto. Este último paso sólo tiene sentido con el conjunto de operaciones *bottom-up*.

Los pasos anteriores se pueden combinar de diferentes formas para crear reglas complejas.

Para codificar reglas *InterIMAGE* usa un interfaz gráfico con elementos básicos llamados *BUILDING BLOCKS*:

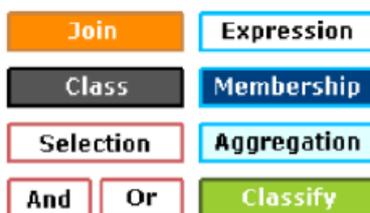


Fig. 98: Building Blocks

- **CLASS** → permite seleccionar objetos pertenecientes a una clase en particular (asociada a un nodo semántico). Con este block se crean conjuntos de objetos de una misma clase.
- **JOIN** → permite la unión entre conjuntos de objetos de distintas clases creados con el block *CLASS*.
- **CLASSIFY** → Permite la resolución de conflictos espaciales entre las clases unidas (especializado en la regla *SPATIAL RESOLVE*).
- **SELECTION** → Permite la selección de objetos de un conjunto a partir de sus atributos, con un umbral definido por el usuario. *InterIMAGE* puede calcular una variedad de atributos para las hipótesis-objeto seleccionadas, los atributos se basan en valores espectrales, forma, textura y características topológicas de segmentos de imagen asociados a esas hipótesis.
- **EXPRESSION** → permite crear variables con los nombres definidos por el usuario de los atributos de las hipótesis-objeto.
- **MEMBERSHIP** → permite al usuario definir un valor de pertenencia de los objetos, que también puede obtenerse como combinación de funciones de pertenencia.
- **AGGREGATION** → permite la agregación de valores de atributos para el conjunto de los objetos seleccionados.

La última operación de una regla de decisión es una operación de unión. Esta operación es responsable de la agrupación espacial del conjunto de hipótesis seleccionadas al final de la regla de decisión. Hay tres posibilidades:

- **MERGE ALL** → Todas las hipótesis se combinan en una sola hipótesis que puede cubrir un área no contigua.
- **MERGE CONNECTED** → Cada grupo de hipótesis conectadas espacialmente es combinado en una única hipótesis que cubre una región contigua.

- **NO MERGE** → Las hipótesis resultantes de la regla de decisión no se combinan.

7.3.5 . Control de interpretación.

El proceso de interpretación dirigido por la red semántica consta de dos pasos:

- El control jerárquico *top-down* genera hipótesis de objetos a través de los operadores *top-down* y las reglas de decisión, siguiendo la red semántica de arriba hacia abajo.
- El control jerárquico *bottom-up* valida o descarta hipótesis de objetos a través de las reglas de decisión *bottom-up*, creando las instancias de objeto de abajo hacia arriba.

Supongamos que N representa un nodo genérico de una red. N' es un hijo del nodo N . N'' es un hijo de N' ... y así sucesivamente.

Supongamos que T_N representa una red estructurada jerárquicamente (árboles de clasificación). N'_m y N'_n representan diferentes nodos en el mismo nivel jerárquico de T_N .

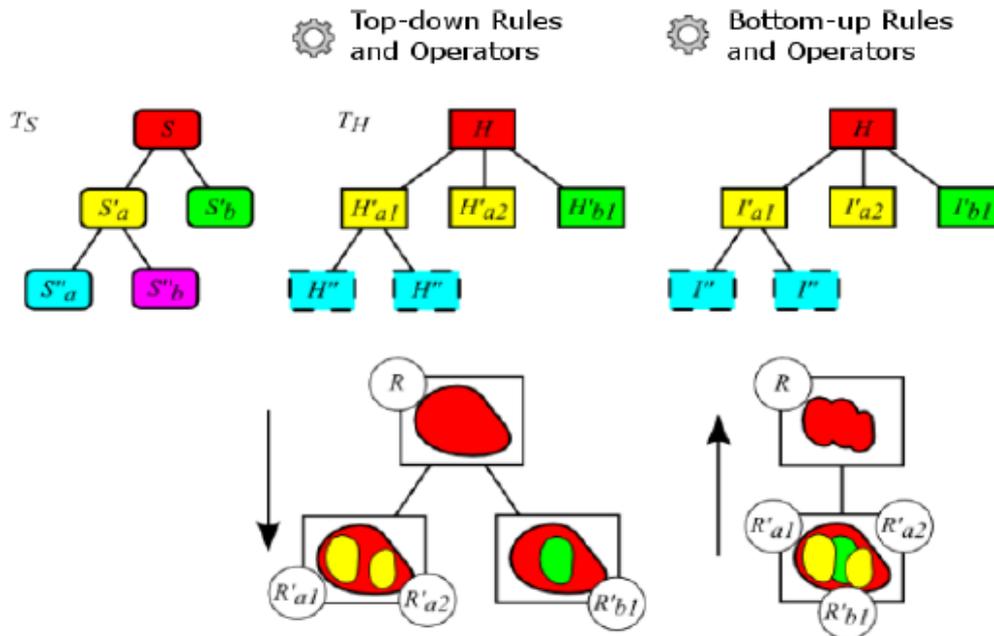


Fig. 99 (manual de InterIMAGE)

Sea S un nodo de la red semántica T_S y sean H e I nodos de las redes T_H y T_I creadas por el proceso de interpretación. H representa el nodo asociado a una hipótesis-objeto (*Hypothesis*) e I representa el nodo asociado a un objeto validado (*Instance*).

Sea R la representación de una región de la escena a la que H e I están asociados. Así pues, R' estará asociado a H' o a I' . Considerando la red hypothesis T_H , todo R' asociado al nodo H' es subconjunto de R ; considerando la red instance T_I , todo R'_m y R'_n asociados a los nodos I'_m y I'_n están desconectados (no interseccionan entre si).

El objetivo del proceso de interpretación es crear una red *instance* T_I y su correspondiente red de regiones T_R , aplicando el conocimiento representado por la red semántica T_S en la interpretación de la región R . Primero se crea la red *hypothesis* T_H y, gradualmente, se van sustituyendo los nodos *hypothesis* H por nodos *instance* I , completándose así la red T_I .

Los nodos *hypothesis* H'_{mi} son generados mediante la ejecución de un operador *top-down* y una regla de decisión (si existe) asociada al nodo semántico S'_m , para una región R . Los nodos H'_{mi} son asociados a las regiones R'_{mi} . Si un operador *Dummy Top-down* es asociado al nodo S'_m , un único nodo *hypothesis* H'_{mi} se asociará a todas las regiones definidas por su nodo padre H . En este caso R'_{mi} será igual a R .

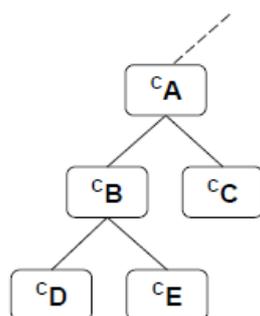
Si S'_m tiene nodos hijo, el procedimiento anterior se repetirá para cada H'_{mi} hasta que se alcancen todos los nodos semánticos hoja. En este punto comienza el proceso *bottom-up*, empezando por los nodos hoja padres. El operador *bottom-up* y la regla de decisión asociados a S'_m , serán ejecutados para H'_m tan pronto como todos los nodos H''_{ni} hayan sido creados (el índice n identifica los descendientes directos de H_m). El operador/regla evaluará los nodos *hypothesis* H''_{ni} y decidirá su validación convirtiendolos en nodos *instance* I''_n o serán eliminados de la red. Además, el operador/regla *bottom-up* volverá a las regiones R''_{ni} asociadas a nodos I''_{ni} disjuntos (resolución eventual de conflictos espaciales).

El operador/regla agrupará los nodos I''_n y generará nuevos nodos *hypothesis* H'_g a los que conectará los nodos *instance*. Entonces, los nuevos nodos *hypothesis* H'_g serán incluidos en la red de hipótesis y asociados al nodo H , siendo eliminado el nodo original H'_m . El control se cede entonces al nodo H , para evaluación y agrupación de los nodos

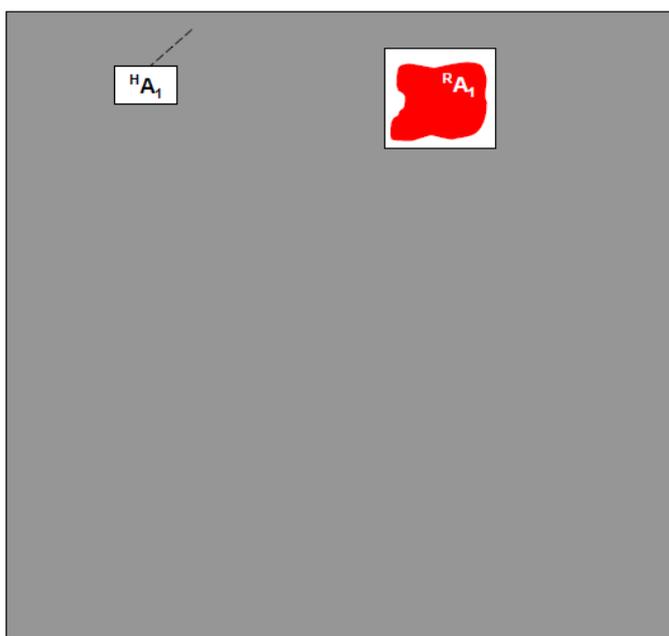
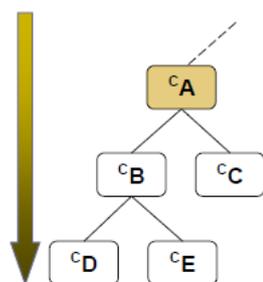
H'. El proceso *bottom-up* continua hasta que se procesa el nodo raíz. Llegados a este punto, se habrá completado la red *instance*.

Veámoslo mejor con un ejemplo más gráfico⁽²⁶⁾

Supongamos la siguiente red semántica:

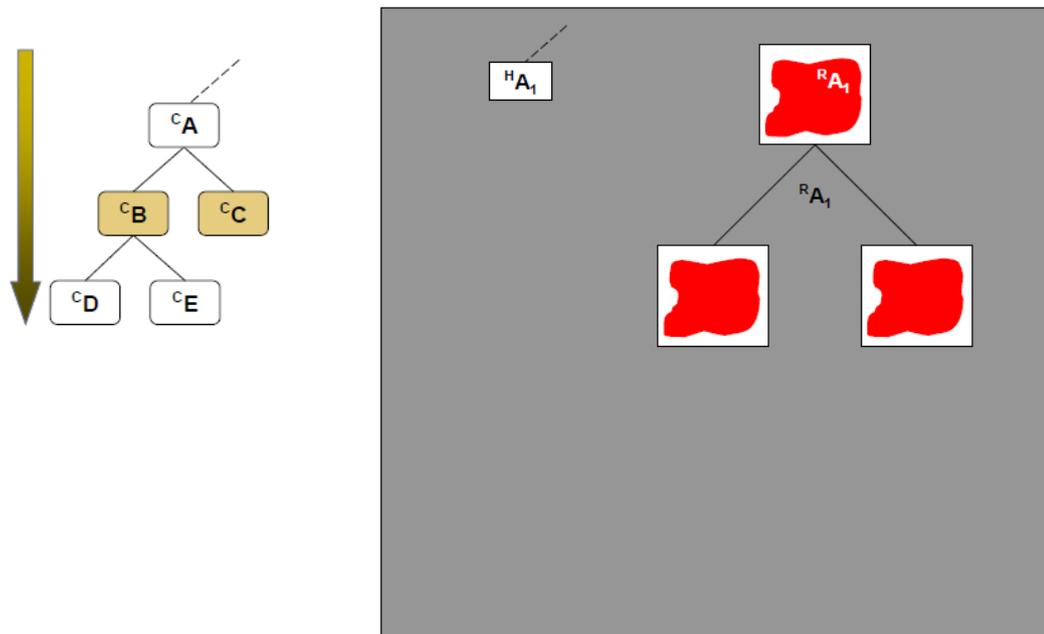


Al iniciar el proceso se ejecuta en primer lugar el operador *top-down* asociado al nodo A, generando un objeto hipótesis A_1 .

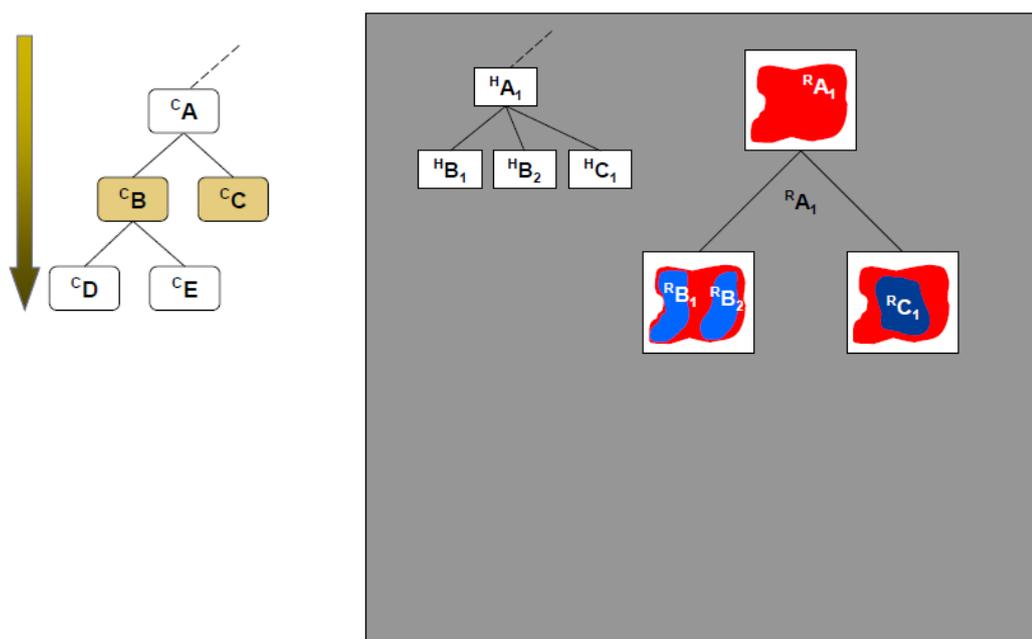


(26) Los esquemas siguientes han sido extraídos de la presentación “Classificação de Imagens de Sensoramento Remoto Baseada em Onjetos com Uso do Sistema InterIMAGE” (Gilson A.O.P. Costa – PUC Rio)

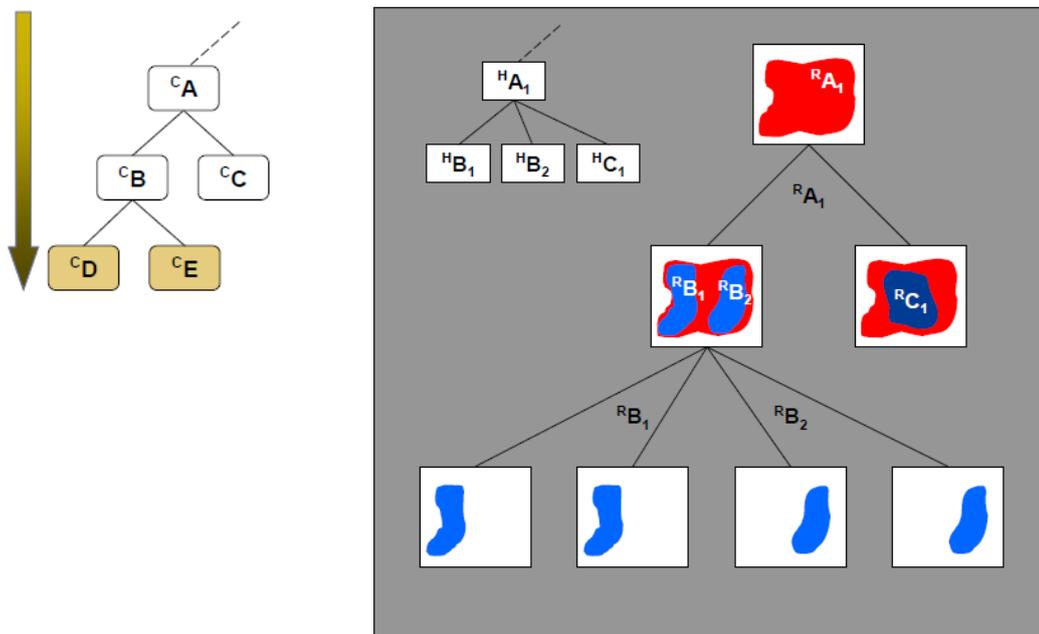
A partir de este objeto se generan máscaras para los nodos hijos de A: B y C



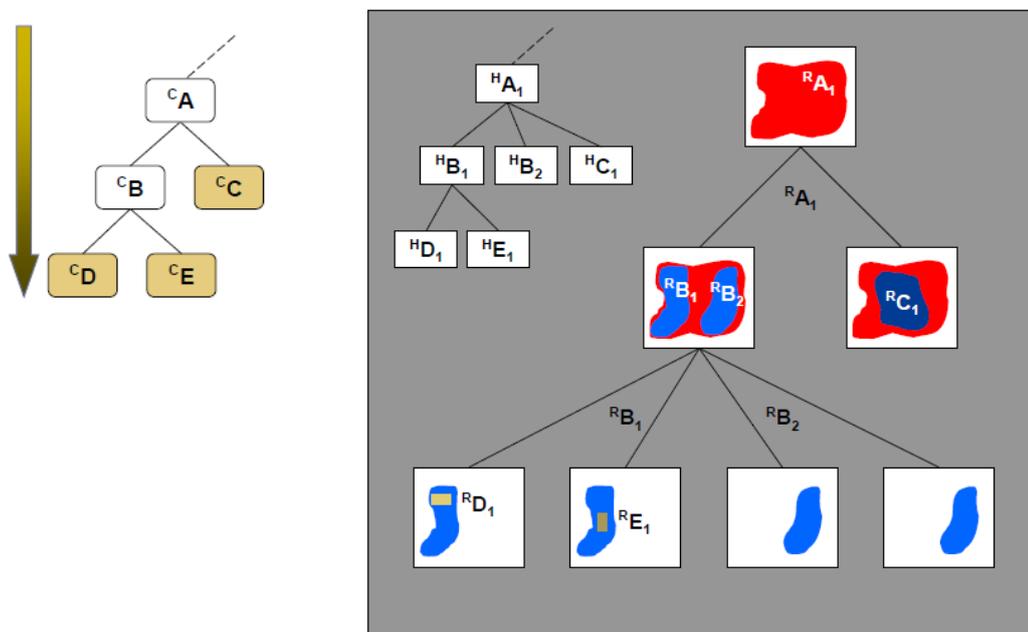
Se ejecutan los operadores asociados a B y C, con lo que se crean las nuevas regiones: B_1 , B_2 y C_1 .



Se crean nuevas máscaras para los operadores asociados a los hijos de B: D y E.

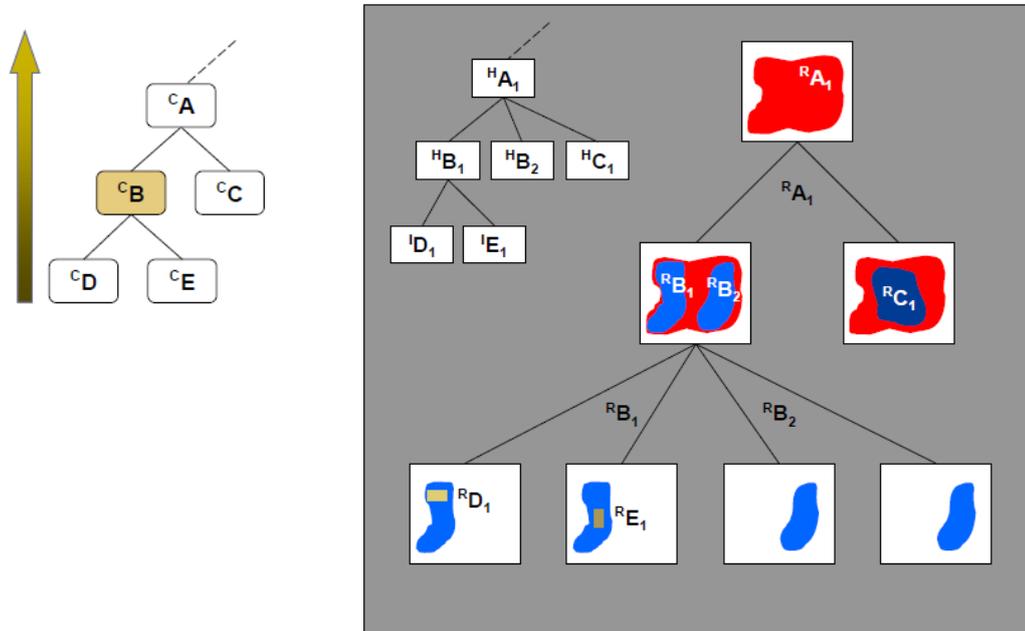


Se ejecutan los operadores asociados a D y E, creándose nuevos segmentos hipótesis.

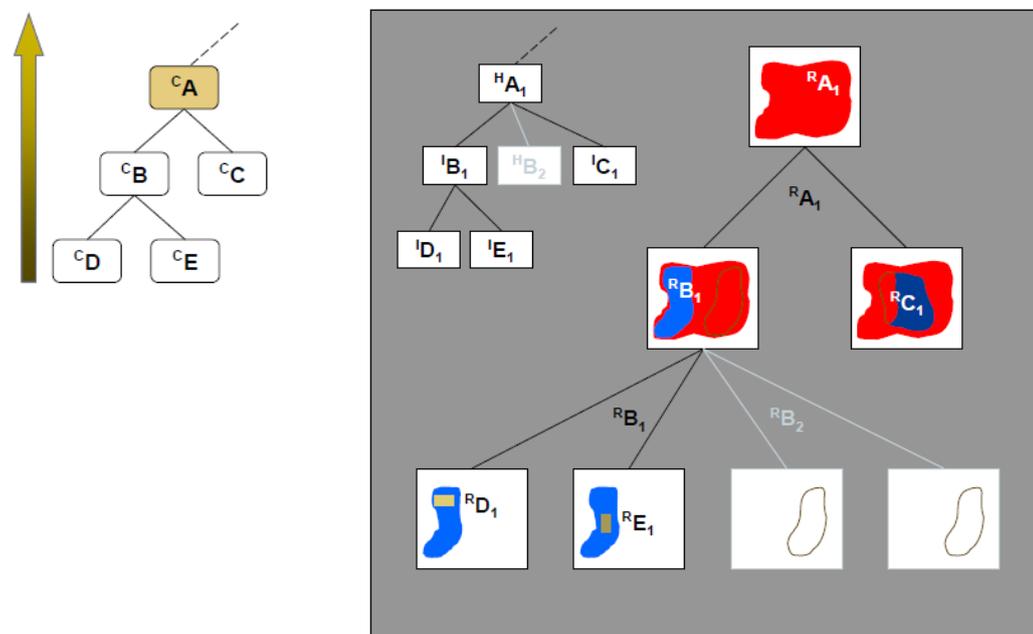


Cuando se han procesado todos los nodos hacia abajo se inicia la fase bottom-up.

Primero se ejecutan las reglas de decisión para validar las hipótesis de los hijos de B.



A continuación se ejecutan las reglas de decisión para validar las hipótesis de los hijos de A



Se ejecutan las reglas de decisión para validar las hipótesis de los hermanos de A hasta finalizar el proceso.

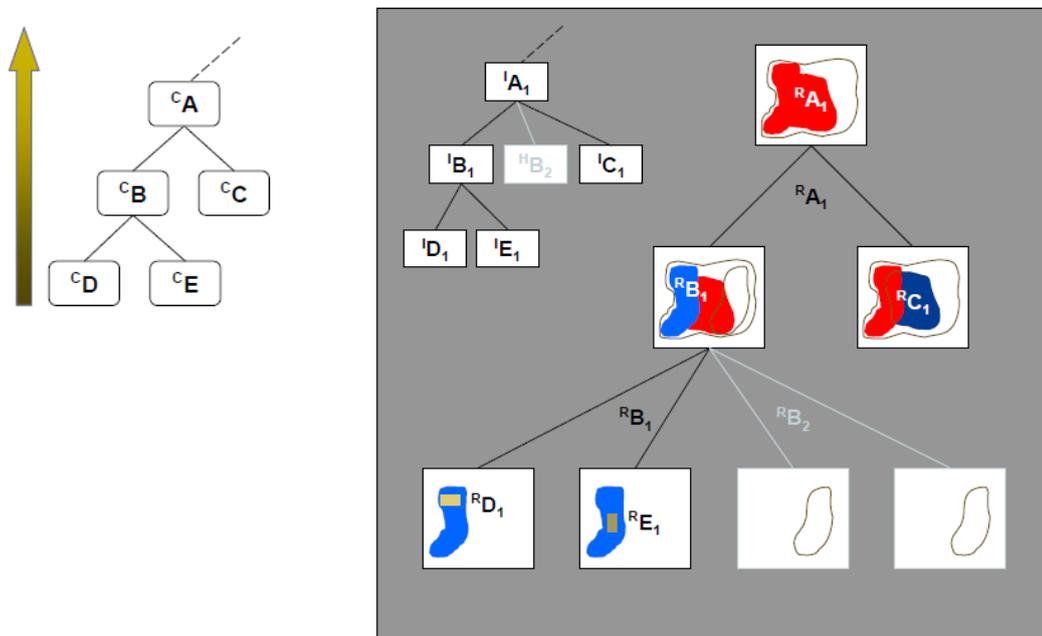


Fig. 100-116 (Gilson A.O.P. Costa – PUC Rio)

7.4. Descripción de los trabajos de segmentación y clasificación a realizar con InterIMAGE.

A continuación se describen brevemente los diferentes niveles de segmentación de imagen que vamos a desarrollar, aplicando la metodología de Baatz-Shape, en los próximos capítulos:

- ***Rodalización de la cubierta vegetal.***

Se realizará una segmentación de la imagen que nos permita identificar rodales de vegetación a los que aplicaremos reglas para la extracción de características como la de altura media del rodal.

Mediante la aplicación de reglas de conocimiento se realizará una clasificación de los tipos de cubierta vegetal que representan los rodales obtenidos en la segmentación anterior. Estas reglas se obtendrán mediante la extracción de atributos de regiones definidas por el usuario (ROIs)⁽²⁷⁾, de las que se tiene certeza de la clase a la que pertenecen (muestras verdad terreno), bien por comprobación en campo o, como en nuestro caso, por comprobación en la ortofotografía del PNOA.

Las mismas ROIs verdad terreno nos servirán para realizar una evaluación de la clasificación realizada mediante la obtención de la matriz de confusión.

Tanto el dibujo de las ROIs verdad terreno, como los cálculos para obtener los elementos que componen la matriz de decisión, se realizarán en *ArcGIS*.

- ***Delimitación de copas del dosel arbóreo.***

Se realizará una segmentación a nivel de objeto con el fin de identificar individualmente las unidades de copas de árbol. De esta forma, se podrá realizar un conteo de las unidades existentes en cada zona, así como extraer

(27) Regiones de Interés (Regions Of Interest).

características del perímetro de copa o altura media del árbol.

- ***Tipificación de los estratos de masa vegetal.***

Se realizará una clasificación a nivel de objeto de los distintos tipos de masa vegetal presentes en cada zona de estudio.

- ***Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.***

Se pretende mejorar la precisión a nivel de identificación de copas con el aporte de datos NDVI obtenidos a partir de imágenes multiespectrales.

7.5. Reducción de las zonas de estudio para su procesamiento con InterIMAGE.

Se ha comprobado que la información contenida en las imágenes que pretendíamos procesar con *InterIMAGE* requerían un coste computacional excesivo, generando errores de procesamiento y fallos en el sistema informático, especialmente en la última parte del trabajo que requiere el procesamiento de una imagen con dos bandas⁽²⁸⁾. Por ello y teniendo presente que el trabajo requiere de pruebas reiterativas hasta llegar a obtener resultados óptimos, se ha optado por reducir la superficie de estudio a 600x600 m² en ambas zonas. Esto no afecta a los objetivos finales de este proyecto y agiliza el estudio y análisis de las imágenes.

Los límites de las zonas de estudio se han reducido a los siguientes:

- ZONA NORTE

Esquina superior izquierda: 702.760 , 4.423.100

Esquina superior derecha: 703.360 , 4.423.100

Esquina inferior izquierda: 702.760 , 4.422.500

Esquina inferior derecha: 703.360 , 4.422.500

- ZONA SUR

Esquina superior izquierda: 703.900 , 4.420.900

Esquina superior derecha: 704.500 , 4.420.900

Esquina inferior izquierda: 703.900 , 4.420.300

Esquina inferior derecha: 704.500 , 4.420.300

Las imágenes han sido recortadas con el programa *ArcMap*.⁽²⁹⁾

(28) 7,6 Mb para las dos bandas de la Zona Sur (profundidad de píxel de 32 bits).

(29) Ver recorte ortofotografía PNOA en apartado 5.2.1.

Capítulo 8

RODALIZACIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL.

8.1. Creación de un nuevo proyecto en InterIMAGE.

Abrimos el programa *InterIMAGE* y creamos un nuevo proyecto.

File \ New Project

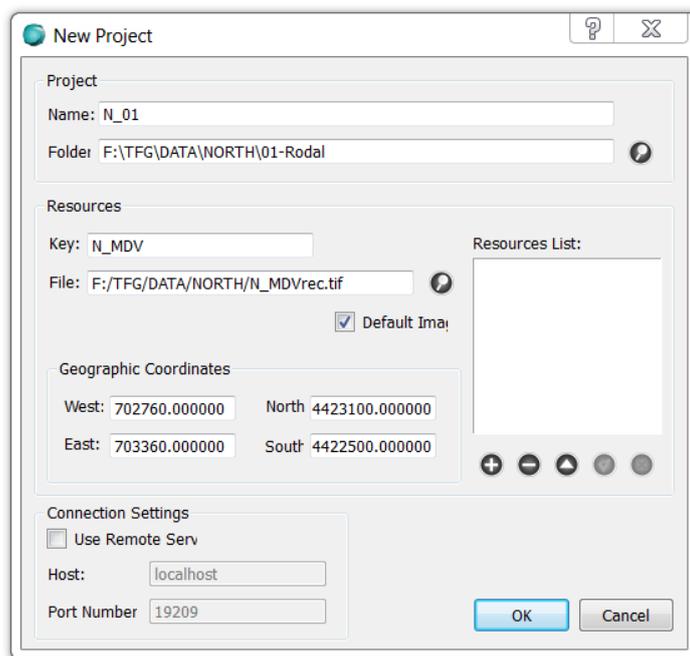


Figura 117

En el diálogo *Project* introducimos el nombre de nuestro proyecto y la ruta en la que lo almacenaremos.

En el diálogo *Resources* introducimos la imagen a procesar. Pulsando sobre el icono  buscamos el archivo, lo nombramos con un alias (*Key*) y lo añadimos a la lista de

recursos (*Resources List*) pulsando . Podemos añadir varias imágenes que nos puedan ayudar a interpretar los resultados de la segmentación, pero el programa solo procesará la imagen en la que se haya verificado la pestaña *Default Image*.

En nuestro caso las imágenes MDV no resultan muy útiles para interpretar visualmente los resultados, por lo que nos interesa añadir de apoyo el fragmento correspondiente de la ortofoto recortada, según los nuevos límites, con *ArcMap*.

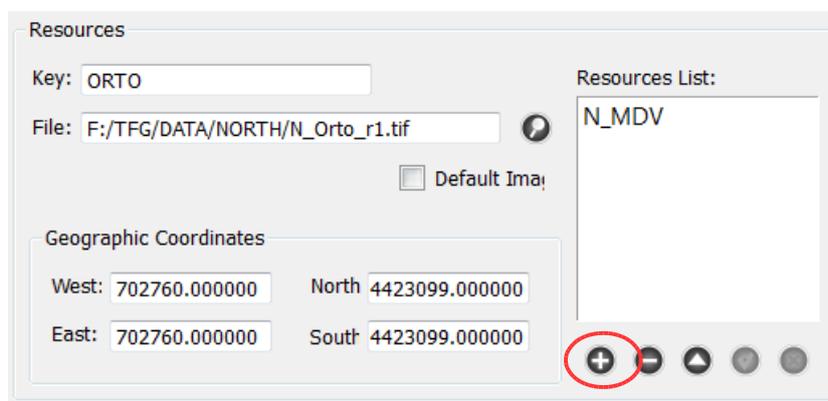


Figura 118

8.2. Red Semántica y reglas de segmentación.

En primer lugar vamos a realizar una segmentación de la escena principal de forma que el programa rodalice objetos a partir de los parámetros que nosotros le definamos, por lo que consideraremos un único hijo al que llamaremos *Cover*.

Para añadir un nodo hijo a la escena, pulsamos con el botón derecho sobre el nodo *Scene* y ejecutamos

Insert Child \ Node

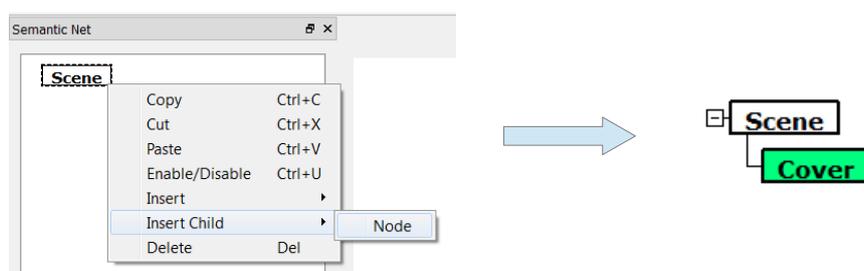


Fig. 118-119.

Seleccionado el nuevo nodo podemos editar sus valores a través de la ventana *Node Editor* situada a la derecha de la pantalla. En este panel podemos cambiar el nombre del nodo (*Class*), el color o asignar los operadores *TopDown* y *Bottom Up* y las reglas de decisión.

Renombramos el nodo hijo como *Cover* y le asociamos un operador *top-down*. Vamos a utilizar el operador *TA_Baatz_Segmenter*: Este operador realiza una segmentación basada en el algoritmo de Baatz-Schäpe. Cada segmento generado representa una hipótesis que será analizada por el siguiente nodo de la red semántica. Su secuencia de proceso es el siguiente:

1. Lee la imagen introducida.
2. Realiza la segmentación.

Capítulo 8 – Rodalización de la cubierta vegetal.

3. Aplica la regla de decisión del usuario utilizando el conjunto de entrenamiento suministrado.
4. Genera la hipótesis de salida.

Los parámetros de entrada son:

| Parámetro | Tipo | Descripción | Valores | Notas |
|--|----------------|---|--|---|
| <i>Input Image</i> | * .tif | Nombre del archivo imagen a procesar | Un nombre válido de archivo de imagen. | El formato de imagen debe ser soportado por <i>TerraLib</i> . |
| <i>Input Bands (comma separated)</i> | <u>String</u> | Lista separada por comas de bandas en la imagen. | Desde cero hasta el número de bandas en la imagen menos 1. | Ej.: Una imagen con 3 bandas aceptará valores de 0 a 2. Ejemplo: 0,1,2 |
| <i>Input Weights (comma separated)</i> | String | Lista separada por comas de pesos asignados a las bandas. | | Ejemplo: 0.1,2.4,1.3 |
| <i>Compactness Weight</i> | Floating point | Peso del atributo de compacidad de <i>Baatz-Schäpe</i> . | (0.0, 1.0] | |
| <i>Color Weight</i> | Floating point | Peso del atributo de color de <i>Baatz-Schäpe</i> . | (0.0, 1.0] | |
| <i>Scale Parameter</i> | Floating point | Atributo de escala (<i>sp</i>) | Cualquier valor real positivo. | |
| <i>Use Optimization</i> | Boolean | Divide, o no, la imagen en regiones y segmenta cada región individualmente. | yes / no | |

Capítulo 8 – Rodalización de la cubierta vegetal.

| Parámetro | Tipo | Descripción | Valores | Notas |
|-------------------------------------|-----------------------|--|---|---|
| <i>Training Set File</i> | <i>*.shp</i> | Archivo con muestras de entrenamiento para la clasificación supervisada. | El archivo debe estar en formato de regiones de <i>InterIMAGE</i> . | |
| <i>Decision Rule</i> | <i>Decision Rule</i> | Regla de decisión aplicada a la hipótesis generada. | | Se deja en blanco para aceptar toda hipótesis generada. |
| <i>Reliability</i> | <i>Floating point</i> | Fiabilidad (se dará prioridad a los nodos con mayor peso en los casos en que existan superposiciones geográficas). | [0.0, 1.0] | |
| <i>Euclidean Distance Threshold</i> | <i>Floating point</i> | Mínima distancia euclídea entre cada segmento. | Mayor que 0. | Este parámetro es necesario para fusionar segmentos de bloques adyacentes cuando la opción de optimización está habilitada. |

Definimos la imagen a segmentar, las bandas (1 banda → *Input Bands* = 0), los pesos de las bandas (*Input Weights* = 1) y dejamos el resto de los parámetros por defecto.

Antes de ejecutar el proyecto lo salvamos

File \ Save Project

Para ejecutar el proyecto ejecutamos

Actions \ Star

o pulsamos sobre el icono  .

Al acabar el procesamiento de la imagen, se genera una capa vectorial llamada *Result* que dibuja el resultado de la segmentación sobre la imagen procesada. Seleccionando la capa en la ventana *Layers*, podemos modificar el color y la opacidad de los segmentos resultantes.

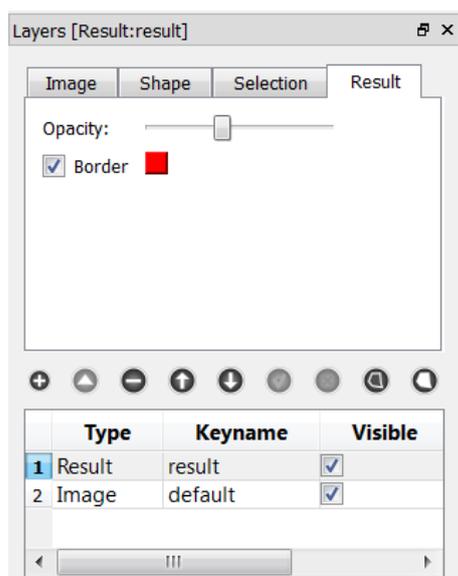


Figura 118

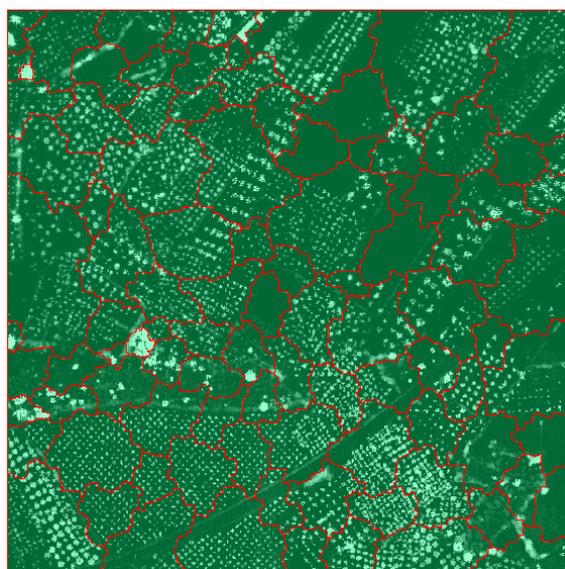


Fig. 119: Resultado de la segmentación.

Para visualizar los resultados de la segmentación sobre la ortofoto debemos cargar la capa. Para ello, en la ventana *Layers* pulsamos sobre el icono **+**, seleccionamos la pestaña *Image*, seleccionamos la imagen que habíamos cargado al abrir el proyecto y le añadimos un nombre (*Keyname*). Finalmente pulsamos sobre **+** para cargar la capa de la imagen. Seleccionando la capa y pulsando sobre **↑** **↓** podremos cambiar el orden de visualización de las capas.

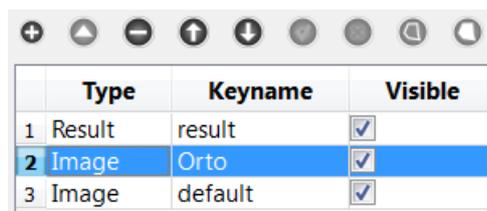


Figura 120

8.2.1. Rodalización Zona Norte.

Prueba 1: $sp=20$, $w_{color.}=0,5$, $w_{cmpct}=0,5$



Fig. 121: Resultado prueba 1.

Podemos observar que la segmentación realizada no resulta en absoluto satisfactoria. Los parámetros introducidos no han conseguido crear unos polígonos que se adapten a las características de los objetos principales que se pueden observar en la imagen: carreteras, parcelas, agrupaciones de árboles,

Deberemos realizar diversas pruebas modificando y combinando los parámetros *Compactness Weight* (w_{cmpct}), *Color Weight* (w_{color}) y *Scale Parameter* (sp) hasta encontrar un resultado satisfactorio.

Prueba 2: $sp=10$, $w_{color.}=0,9$, $w_{cmpct}=0,5$



Fig. 122: Resultado prueba 2.

Prueba 3: $sp=10$, $w_{color.}=0,5$, $w_{cmpct}=0,1$

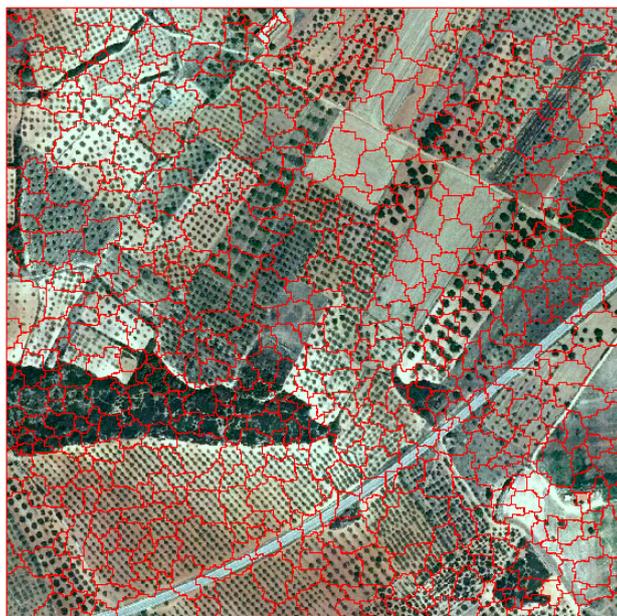


Fig. 123: Resultado prueba 3.

Prueba 4 : $sp=10$, $w_{color.}=0,9$, $w_{cmpct}=0,1$

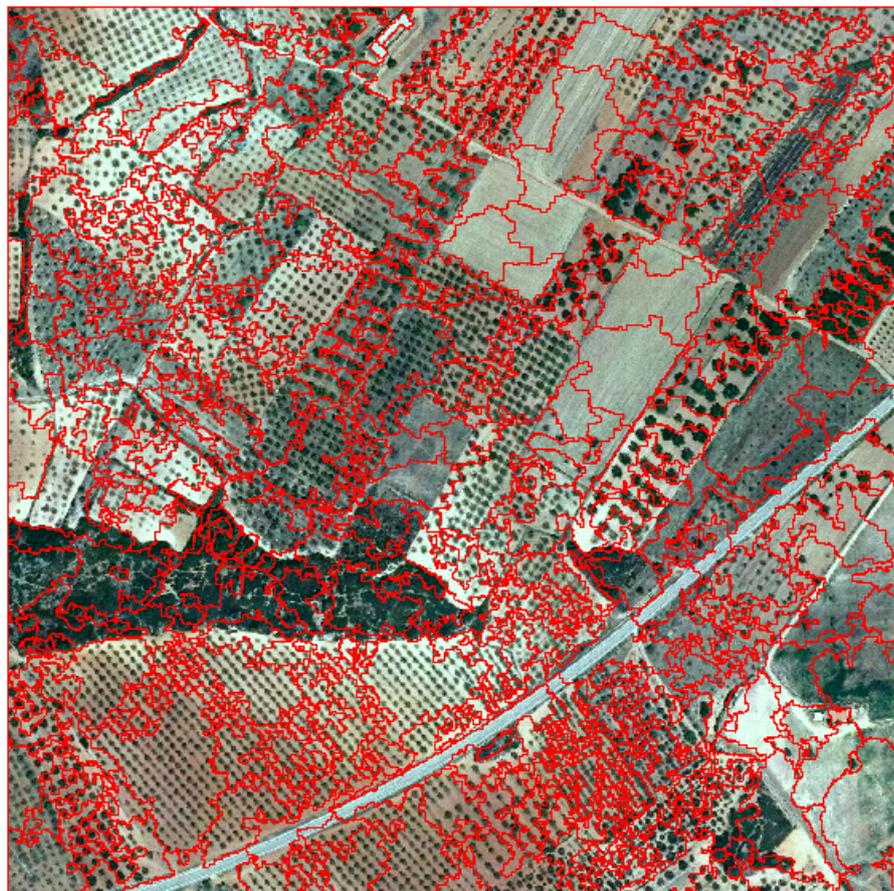


Fig. 124: Resultado prueba 4. Segmentación aceptada

Después de muchas pruebas optamos por esta última segmentación por estimar que es la que mejor respeta los límites de las parcelas y la carretera, como objetos más significativos de la imagen.

8.2.2. Rodalización Zona Sur.

Se han realizado igualmente varias pruebas llegando a la conclusión de que la mejor solución es la que suba los mismos atributos de segmentación que los aceptados para la Zona Norte.

Se aceptan pues los atributos : $sp=10$, $w_{color.}=0,9$, $w_{cmpct}=0,1$

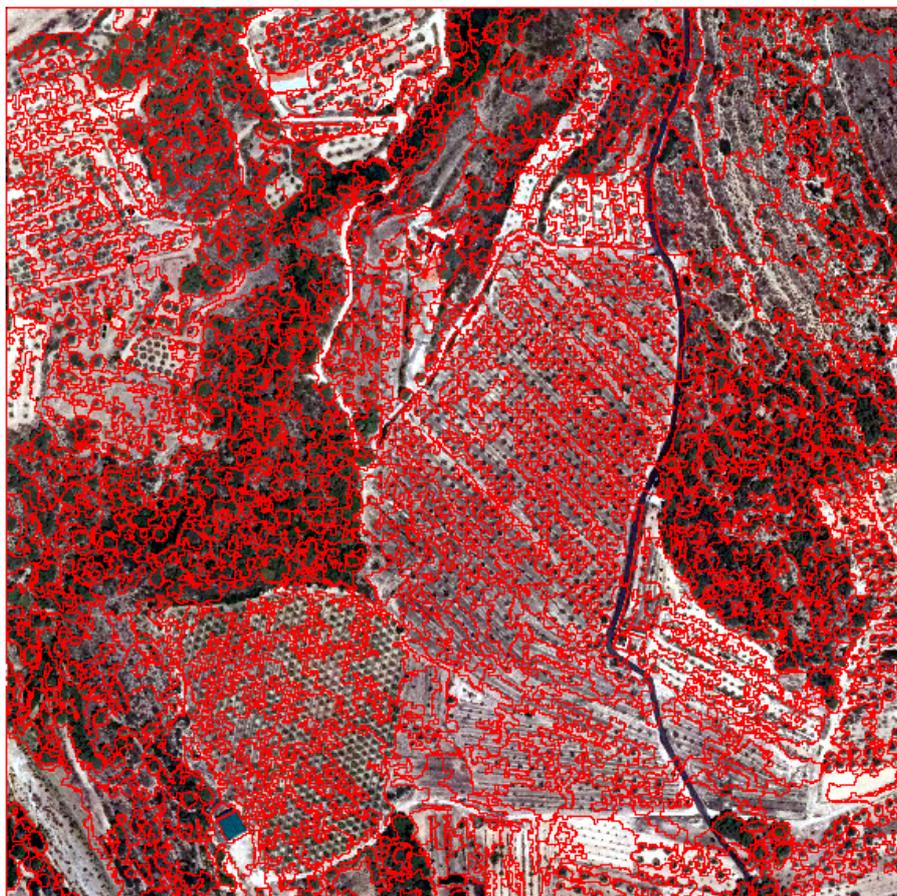


Fig. 125: Rodalización aceptada para la Zona Sur.

Se observa que, pese a haberse aplicado los mismos parámetros, la mayor homogeneidad de la Zona Norte ha generado regiones de tamaño mucho mayor que las de la zona sur.

8.3. Extracción de la información asociada a la segmentación.

Para la extracción de la información asociada a objeto deberemos introducir las variables deseadas en el *TopDown Decision Rule* del nodo *Cover*.

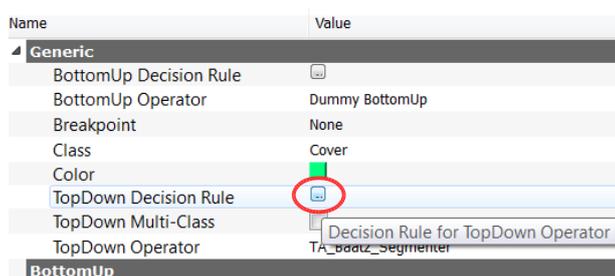


Figura 126.

Al pulsar sobre el *TopDown Decision Rule* se despliega la ventana de diálogo de reglas de decisión. En ella, con doble click del ratón sobre la clase *All*, introducimos la clase de la cual queremos extraer información.

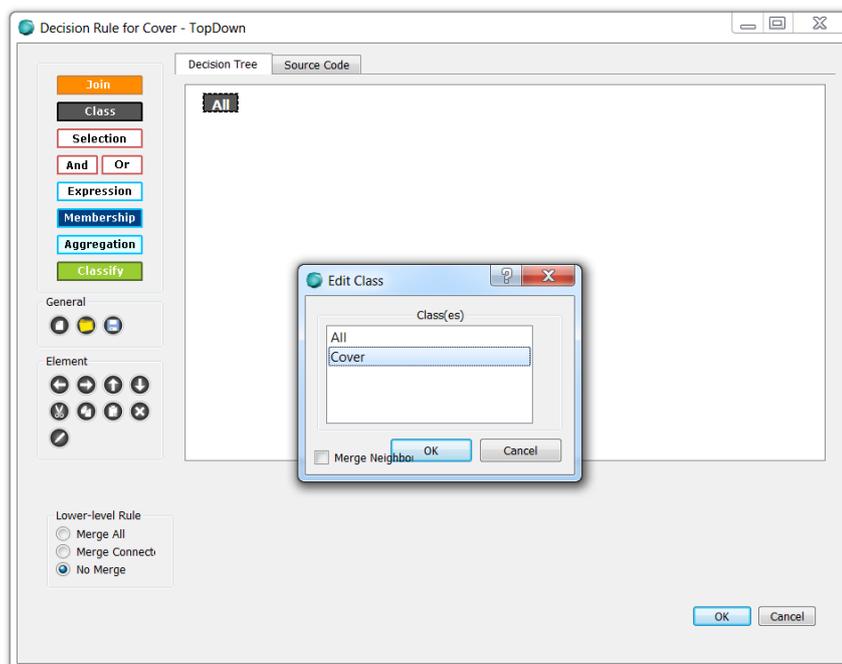
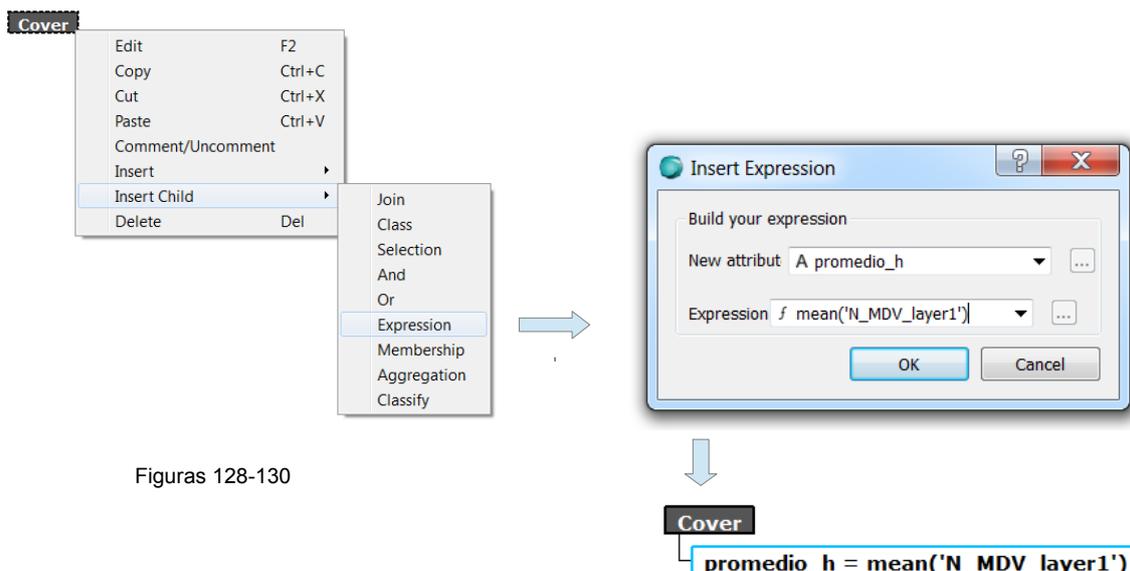


Figura 127

Vamos a solicitar al programa que nos devuelva la altura media de cada región o segmento.

Para codificar la regla usaremos el bloque *Expression*. La regla se introducirá como un hijo del nodo al que se refiere.



Figuras 128-130

Aceptamos teniendo especial cuidado de que en el cuadro *Lower-level Rule* esté seleccionada la opción *No Merge* para que la regla se aplique de forma independiente a cada segmento.

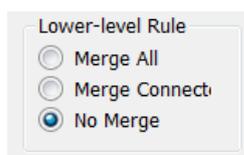


Fig. 131

Salvamos el proyecto y ejecutamos.

Realizado el proceso habremos obtenido una clasificación de rodales que contienen las alturas medias correspondientes a cada uno de los objetos obtenidos tras el procesamiento.

Para obtener la información de un objeto concreto pulsamos sobre el icono . Al seleccionar un segmento visualizaremos su información asociada en la ventana *Object Information*.

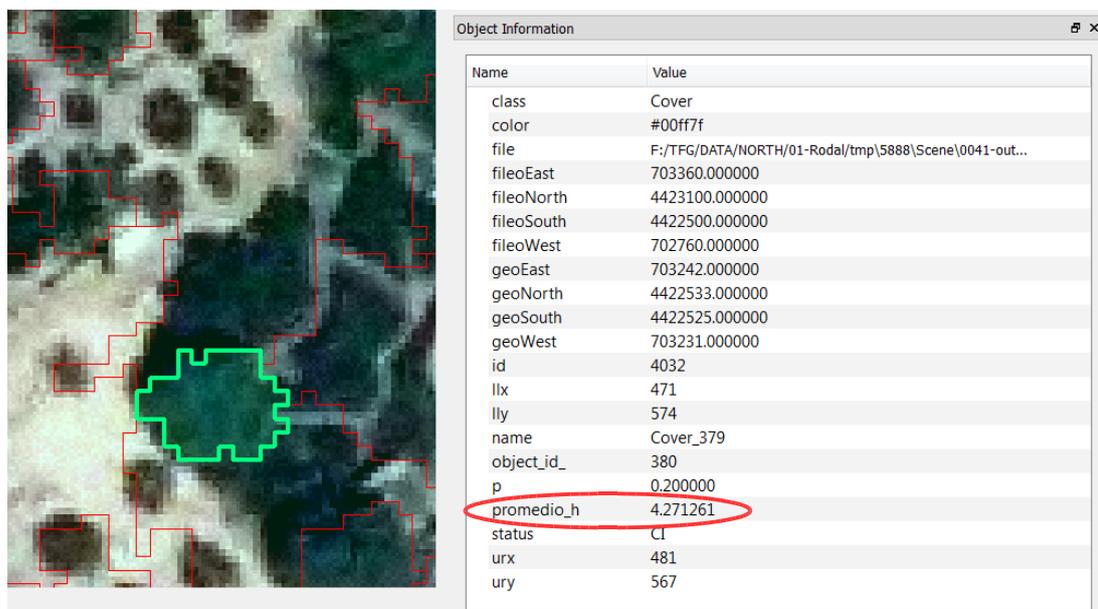


Figura 132

8.4. Clasificación de rodales.

La segmentación obtenida no nos facilita ninguna información significativa si no realizamos una clasificación de los objetos segmentados.

En la ortofoto vemos que podemos distinguir 4 clases de objetos significativas:

- Clase 1: Rodales formados por grupos de árboles
- Clase 2: Rodales formados por parcelas dedicadas al cultivo de almendro y olivo.
- Clase 3: Rodales formados por vegetación baja (matorral, pastos).
- Clase 4: Rodales de suelo desnudo: carreteras, caminos, suelo sin cultivar.

Los únicos datos disponibles para caracterizar a estos objetos son su altura.⁽³⁰⁾ Así pues, deberemos identificar los valores de altura media que umbralicen la pertenencia de un objeto a una determinada clase. Para ello, en *ArcMap*, vamos a definir unas muestras sobre la ortofoto a las que asignaremos una clase en función de nuestro conocimiento. Estas muestras nos servirán como entrenamiento para encontrar los umbrales buscados, pero también nos valdrán como evaluación (verdad terreno) para valorar la clasificación resultante en *InterIMAGE*.

8.4.1. Extracción de características de las ROI verdad terreno.

Abrimos *ArcMap* y añadimos una capa vectorial por cada clase en la *Feature Dataset* y procedemos a dibujar los polígonos o regiones de interés (ROI) de los que posteriormente extraeremos la información.⁽³¹⁾

Definidas las ROI (ver fig. 133 y 134), procedemos a extraer las estadísticas de las clases respecto a los MDV. Para ello ejecutamos:

(30) Podríamos extraer características definiendo unos descriptores de textura, pero este trabajo excede de los objetivos del presente proyecto.

(31) Ver dibujo de un polígono shape en ArcGIS (Apartado 4.5)

Toolboxes \ System Toolboxes \ Spatial Analyst Tools.tbx \ Zonal \ Zonal Statistics



Fig. 133: ROIs verdad terreno Zona Norte

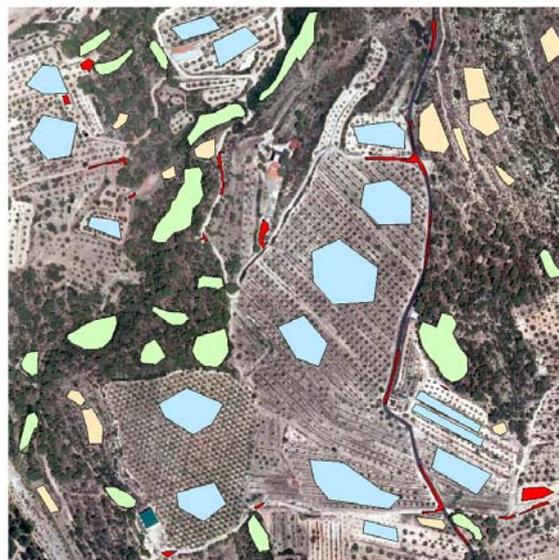


Fig. 134: ROIs verdad terreno Zona Sur

Con esta orden calculamos estadísticas sobre valores de un ráster dentro del dataset (capa vectorial) definido. El programa nos solicita:

- El archivo raster o vectorial con las ROI: *Input raster or feature zone data*.
- El campo identificador de la zona: *Zone field* (dejamos por defecto el identificador de polígono),
- El fichero raster de salida: *Output raster* (se dibujarán las ROIs en formato ráster asignando un nivel de gris a cada polígono en función de los valores obtenidos).⁽³²⁾
- La estadística solicitada en función de la cual calculará los valores del archivo ráster (opcional): *Statistics Type* (introducimos la opción *MEAN* para que calcule los polígonos con el valor medio de los píxeles que encierra el ráster original, aunque podemos cargar todas las estadísticas básicas).

Cuando el programa termina de procesar datos, carga el archivo ráster resultante en el TOC. Si pulsamos con el icono  y pinchamos sobre cualquiera de los polígonos del

(32) Podemos cambiar las paletas de colores según nuestras preferencias.

ráster, automáticamente el programa nos facilita en una ventana el valor estadístico calculado para ese polígono.

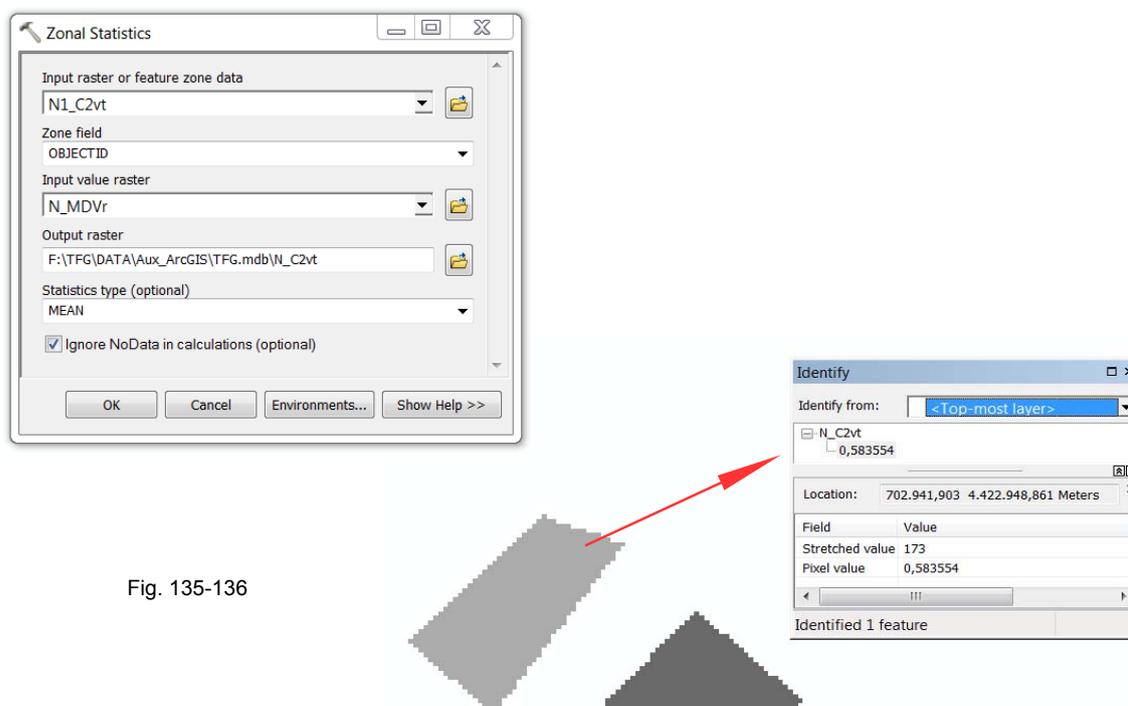


Fig. 135-136

También podemos acceder a las propiedades del ráster para ver las estadísticas en conjunto de los polígonos que lo componen:

| Property | Value |
|-------------------|--|
| Datum | D_ETRS_1989 |
| Statistics | |
| Layer_1 | |
| Build Parameters | skipped columns:1, rows:1, ignored value(s): |
| Min | 0,10573314130306 |
| Max | 1,0372495651245 |
| Mean | 0,39840790267344 |
| Std dev. | 0,20300875761242 |
| Classes | 0 |

Figura 137

De esta forma podemos ver el valor medio (*mean*) de todos los polígonos que forman el ráster y, por tanto, conocer el valor umbral buscado para esa clase.

Con este método podemos obtener una información muy gráfica pero puede resultar un poco engorrosa. Otra forma menos gráfica pero más práctica consiste en ejecutar el comando:

*Toolboxes \ System Toolboxes \ Spatial Analyst Tools.tbx \ Zonal \
Zonal Statistics as Table*

Con esta opción el programa genera como archivo de salida una tabla de datos en lugar de un ráster. Esta tabla contiene toda la información de los polígonos y se puede exportar para trabajar con ella en cualquier hoja de cálculo.

Para abrirla, pinchamos sobre ella con el botón derecho del ratón y seleccionamos la opción *Open*.

Si queremos obtener el valor medio de todos los polígonos que hay en la tabla, seleccionamos cualquier columna de la tabla y con el botón derecho del ratón, seleccionamos la opción *Statistics...* del menú desplegado. En la ventana emergente podremos cambiar el campo con las estadísticas básicas de los datos que lo contienen.

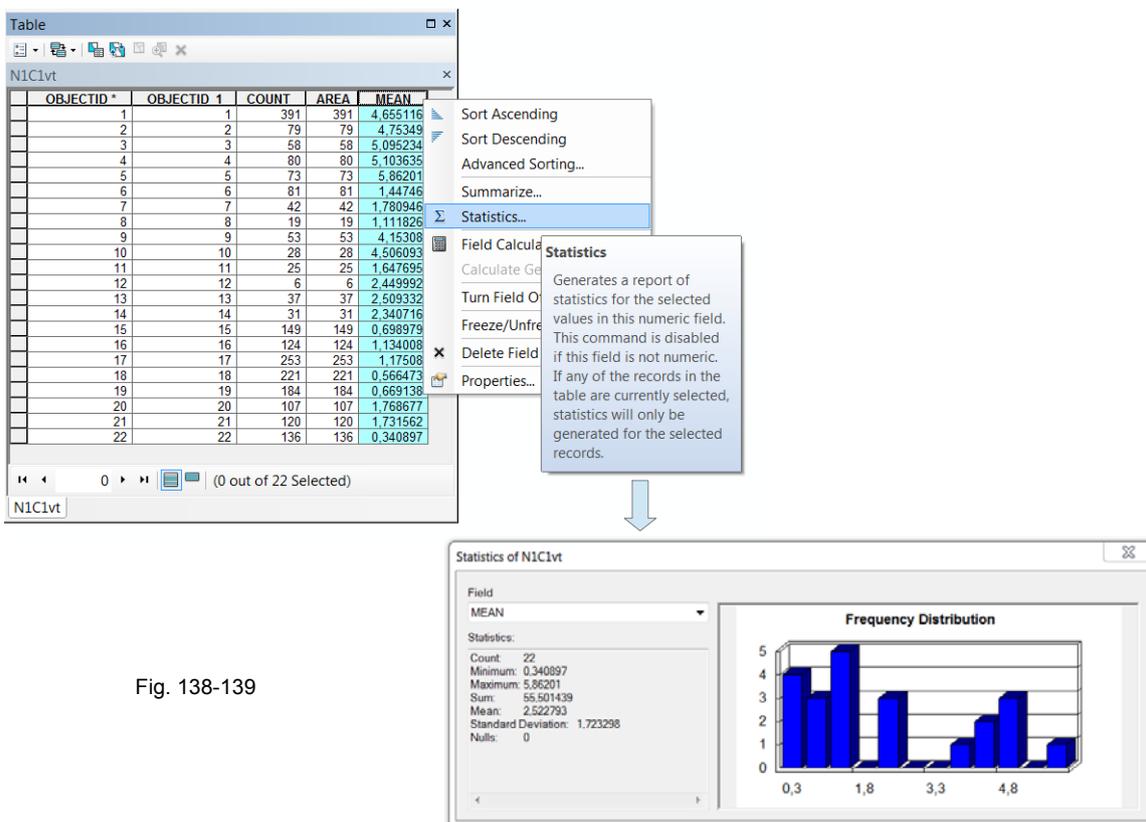


Fig. 138-139

Finalmente, si asociamos la tabla generada al elemento gráfico que la ha generado, podremos seleccionar polígonos por rangos de atributo en la tabla y ver al mismo tiempo gráficamente los polígonos seleccionados. Recíprocamente, podremos seleccionar polígonos gráficamente y visualizar los atributos asociados en la tabla, los cuales podrán ser almacenados en una base de datos o exportados a una hoja de cálculo para realizar con ellos las operaciones pertinentes.

Para realizar la asociación pulsamos con el botón derecho del ratón sobre la capa para desplegar el menú y ejecutamos:

Join and Relats \ Join...

Se abre la ventana de diálogo *Join Data*, en la que se nos pide qué es lo que queremos relacionar con la capa seleccionada (*Join attributes from a table*), el campo identificador de la capa (1) que identificaremos en la tabla (3) y el nombre de la tabla a relacionar (3). Introducimos las opciones que consideremos y aceptamos.

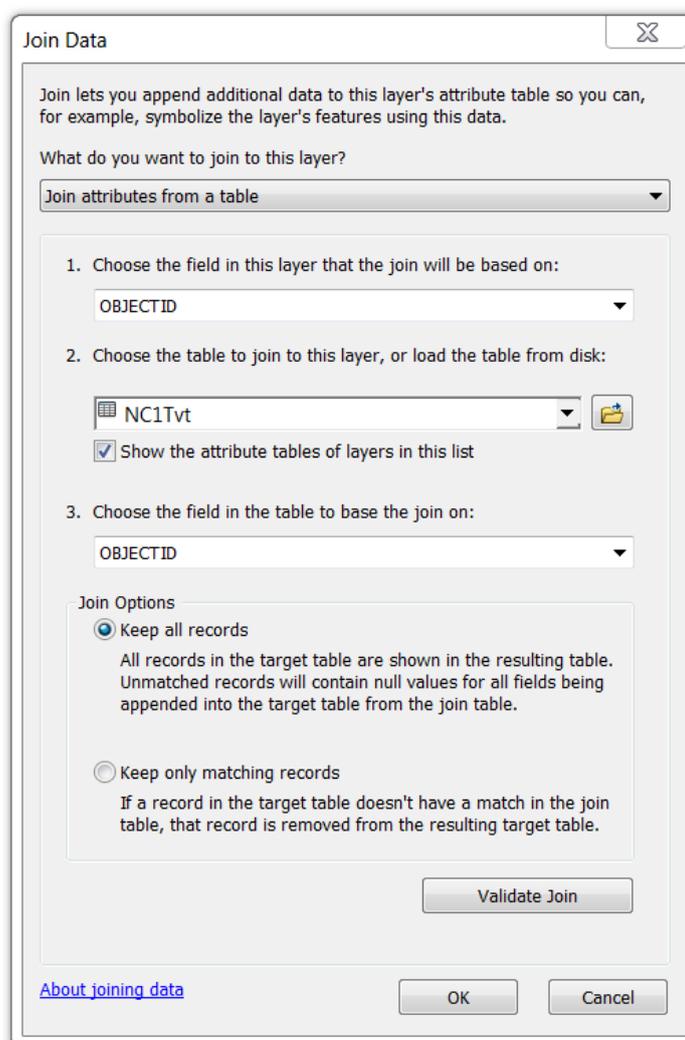


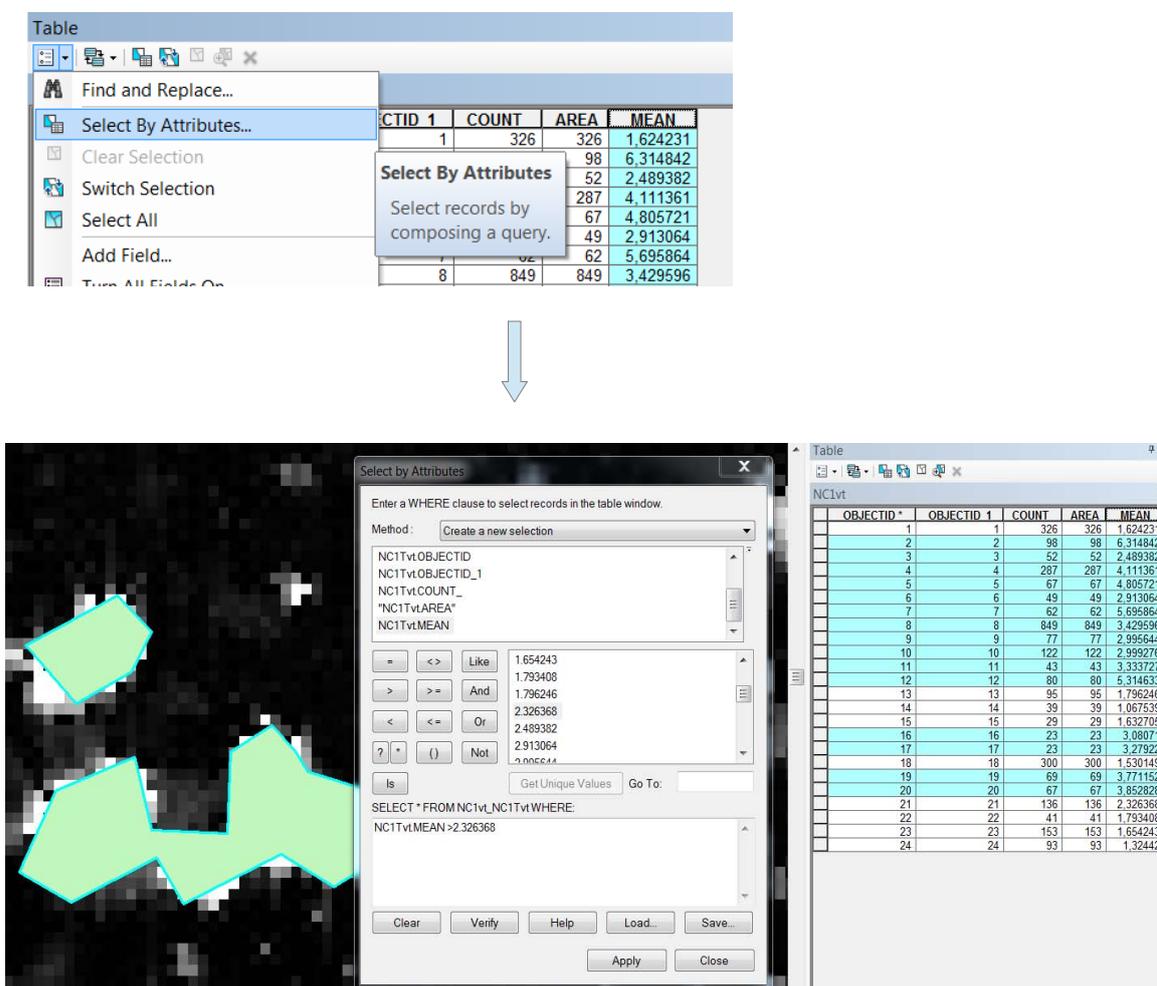
Fig. 140

Capítulo 8 – Rodalización de la cubierta vegetal.

Cuando despleguemos la tabla de atributos de la capa, observaremos que se han añadido los campos de la tabla. Esto nos permitirá hacer operaciones en la tabla y comprobar al mismo tiempo la selección gráfica de los polígono afectados.

Así por ejemplo, podemos seleccionar los polígonos con altura media superior a un determinado valor de la columna *Mean* ejecutando

Selection \ Select By Attributes



Figuras 141-142

8.4.2. Determinación de umbrales de clasificación.

Las estadísticas básicas obtenidas a partir de los valores promedio de las alturas de cada clase se resumen en las siguientes tablas:

| Rodales | Estadísticas básicas Zona Norte | | | |
|---|---------------------------------|--------|--------|--------|
| | Min | Max | Mean | Stdev |
|  Árboles | 1,0675 | 6,3148 | 3,0473 | 1,4092 |
|  Cultivos | 0,1161 | 0,9472 | 0,4588 | 0,2279 |
|  Matorral | 0,0668 | 0,2523 | 0,1583 | 0,0697 |
|  Suelo desnudo | 0,0007 | 0,2463 | 0,0603 | 0,0725 |

| Clases | Estadísticas básicas Zona Sur | | | |
|---|-------------------------------|---------|--------|--------|
| | Min | Max | Mean | Stdev |
|  Árboles | 6,3394 | 13,7559 | 9,2248 | 2,1711 |
|  Cultivos | 0,1879 | 1,8252 | 1,0904 | 0,4439 |
|  Matorral | 0,0169 | 1,6959 | 0,4447 | 0,3920 |
|  Suelo desnudo | 0,0134 | 0,0975 | 0,0525 | 0,0239 |

A la vista de los resultados obtenidos resulta difícil determinar los umbrales que definen la separabilidad entre clases. Para determinarlos se han comparado los resultados obtenidos al aplicar tres modelos de análisis de distancias entre modelos estadísticos. Los modelos aplicados son:

- **Distancia euclídea entre clases:** es un método muy simple que consiste en obtener el umbral como diferencia entre las medias de dos clases i, j .

$$Umbral = |\mu_i - \mu_j|$$

- **Diferencia normalizada:** es la diferencia entre las medias de dos clases i, j . Normalizada respecto de la suma de sus desviaciones típicas.

$$Umbral = \frac{|\mu_i - \mu_j|}{\sigma_i + \sigma_j}$$

- **Intersección de curvas gaussianas:** El método consiste en generar las curvas gaussianas supuestas como función de densidad de una distribución normal,⁽³³⁾ definidas por la media y la desviación típica según la expresión:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_i)^2}{2\sigma_i^2}}$$

Los solapes que puedan existir entre estas curvas nos indican las zonas en que pueden existir puntos comunes a las dos clases de estudio. El valor de intersección entre curvas nos marcará el umbral de separación buscado:

$$Umbral = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2a}$$

siendo

$$a = \frac{\sigma_i^2 - \sigma_j^2}{2\sigma_i^2\sigma_j^2}, \quad b = \frac{\sigma_j^2\mu_i - \sigma_i^2\mu_j}{\sigma_i^2\sigma_j^2} \quad \text{y} \quad c = \frac{\sigma_i^2\mu_j^2 - \sigma_j^2\mu_i^2}{2\sigma_i^2\sigma_j^2 - \ln\left(\frac{1}{\sigma_j}\right) + \ln\left(\frac{1}{\sigma_i}\right)},$$

ecuaciones fácilmente programables en una hoja de cálculo.

Fijando bajo nuestro criterio en 0,1 metros el valor del umbral entre las clases *Suelo-Matorral*, nos faltaría por definir los umbrales *Matorral-Cultivo* y *Cultivo-árboles*. Sustituyendo los valores de media y desviación típica de las tablas anteriores se obtienen los siguientes valores:

(33) Cuanto más se aproxime esta suposición a la realidad, mayor será la probabilidad de acierto en la clasificación.

| Clases | Umrales Zona Norte | | |
|-------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| | Distancia euclídea | Diferencia normalizada | Intersección gaussiana |
| Cultivos-Árboles | 2,6 | 1,6 | 1,0 |
| Matorral-Cultivos | 0,3 | 1,0 | 0,3 |

| Clases | Umrales Zona Sur | | |
|-------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| | Distancia euclídea | Diferencia normalizada | Intersección gaussiana |
| Cultivos-Árboles | 8,1 | 3,1 | 2,7 |
| Matorral-Cultivos | 0,6 | 0,8 | 0,8 |

Valores que tampoco nos ayudan a decidir los umbrales a elegir, siendo aconsejable la compilación de mayor documentación sobre la zona de estudio y/o la toma de datos en campo. De cualquier forma se ha optado por realizar tres clasificaciones distintas con *InterIMAGE*, posteriormente se han evaluado mediante el uso de la matriz de confusión, comparando las fiabilidades obtenidas para decidir cuales son los umbrales adecuados:

- **ZONA NORTE**

Clasificación 1:

- Árboles (C1): Alturas superiores a 2,6 m
- Cultivos (C2): Alturas comprendidas entre 0,3 y 2,6 m
- Matorral (C3): Alturas comprendidas entre 0,1 y 0,3 m
- Suelo (C4): Alturas inferiores a 0,1 m

Clasificación 2:

- Árboles (C1): Alturas superiores a 1,6 m
- Cultivos (C2): Alturas comprendidas entre 1,0 y 1,6 m

- Matorral (C3): Alturas comprendidas entre 0,1 y 1,0 m
- Suelo (C4): Alturas inferiores a 0,1 m

Clasificación 3:

- Árboles (C1): Alturas superiores a 1,0 m
- Cultivos (C2): Alturas comprendidas entre 0,3 y 1,0 m
- Matorral (C3): Alturas comprendidas entre 0,1 y 0,3 m
- Suelo (C4): Alturas inferiores a 0,1 m

• **ZONA SUR**

Clasificación 1:

- Árboles (C1): Alturas superiores a 8,1 m
- Cultivos (C2): Alturas comprendidas entre 0,6 y 8,1 m
- Matorral (C3): Alturas comprendidas entre 0,1 y 0,6 m
- Suelo (C4): Alturas inferiores a 0,1 m

Clasificación 2:

- Árboles (C1): Alturas superiores a 3,1 m
- Cultivos (C2): Alturas comprendidas entre 0,8 y 3,1 m
- Matorral (C3): Alturas comprendidas entre 0,1 y 0,8 m
- Suelo (C4): Alturas inferiores a 0,1 m

Clasificación 3:

- Árboles (C1): Alturas superiores a 2,7 m
- Cultivos (C2): Alturas comprendidas entre 0,8 y 2,7 m
- Matorral (C3): Alturas comprendidas entre 0,1 y 0,8 m
- Suelo (C4): Alturas inferiores a 0,1 m

8.4.3. Clasificación de rodales con InterIMAGE.

Abrimos un nuevo proyecto en *InterIMAGE* y construimos una red semántica en la que añadiremos al nodo *Cover* tantos hijos como clases hemos planificado:

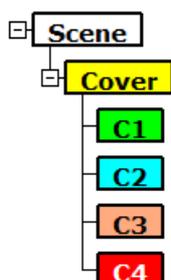


Figura 143

Configuramos el nodo *Cover* con los operadores *Dummy TopDown* y *Dummy BottomUp* por defecto, de esta forma la escena completa será heredada por sus hijos:

| Name | Value |
|------------------------|----------------|
| Generic | |
| BottomUp Decision Rule | |
| BottomUp Operator | Dummy BottomUp |
| Breakpoint | None |
| Class | Cover |
| Color | |
| TopDown Decision Rule | |
| TopDown Multi-Class | |
| TopDown Operator | Dummy TopDown |
| BottomUp | |
| TopDown | |
| Image file: | MDV |
| Reliability: | 0.2 |

Figura 144

Configuramos todos los hijos con el mismo operador *top-down* definido en la anterior segmentación (*TA_Baatz_Segmenter*) y le introducimos los mismos parámetros. De esta forma cada clase realizará una segmentación independiente de la escena heredada e idéntica para todos ellos.

Capítulo 8 – Rodalización de la cubierta vegetal.

| Name | Value |
|-------------------------------------|---|
| Generic | |
| BottomUp Decision Rule | <input type="button" value="..."/> |
| BottomUp Operator | Dummy BottomUp |
| Breakpoint | None |
| Class | NC1 |
| Color | <input type="checkbox"/> ■ |
| TopDown Decision Rule | <input type="button" value="..."/> |
| TopDown Multi-Class | <input type="checkbox"/> |
| TopDown Operator | TA_Baatz_Segmenter |
| BottomUp | |
| TopDown | |
| a) Input Image | MDV |
| a1) Input Bands (comma separated) | 0 |
| a2) Input Weights (comma separated) | 1 |
| b) Compactness Weight | 0.1 |
| c) Color Weight | 0.9 |
| d) Scale Parameter | 10 |
| e) Use Optimization | no |
| f) Reliability | 0.2 |
| g) Euclidean Distance Threshold | 20 |

Figura 145

De nuevo volvemos al nodo *Cover* donde configuraremos las reglas de decisión⁽³⁴⁾ *TopDown Decision Rule*. Cuando el programa concluye el procesamiento *top-down* se inicia el procesamiento *bottom-up*. El nodo padre recibirá los objetos-hipótesis que ha generado cada clase y decidirá, en función de las reglas introducidas, cuales se verifican. Los que no cumplan las reglas serán eliminados de esa clase.

Introduciremos las reglas en la ventana *BottomUp Decision Rule* de la clase *Cover* teniendo en cuenta que se trata de reglas de selección, por lo que usaremos el comando *Selection*, en lugar del comando *Expression* que habíamos usado en la primera segmentación para que el promedio de altura se incluyera en las tablas de atributo.

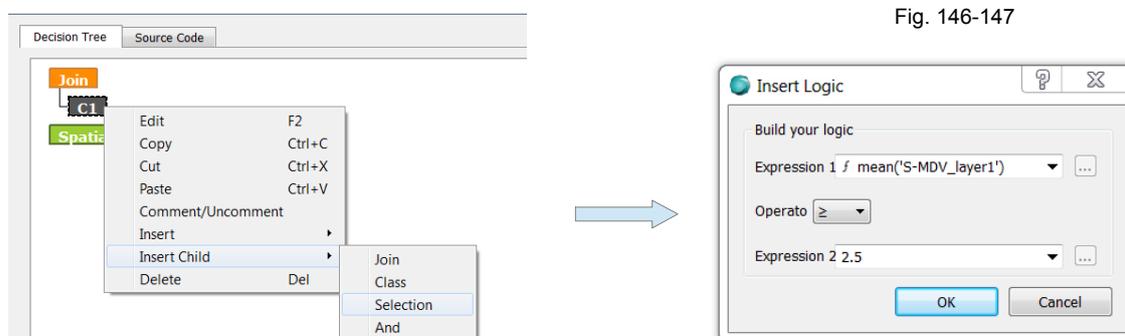


Fig. 146-147

(34) El orden de introducción de los datos es independientes.

El cuadro *BottomUp Decision Rule* para la clase *Cover* quedará:

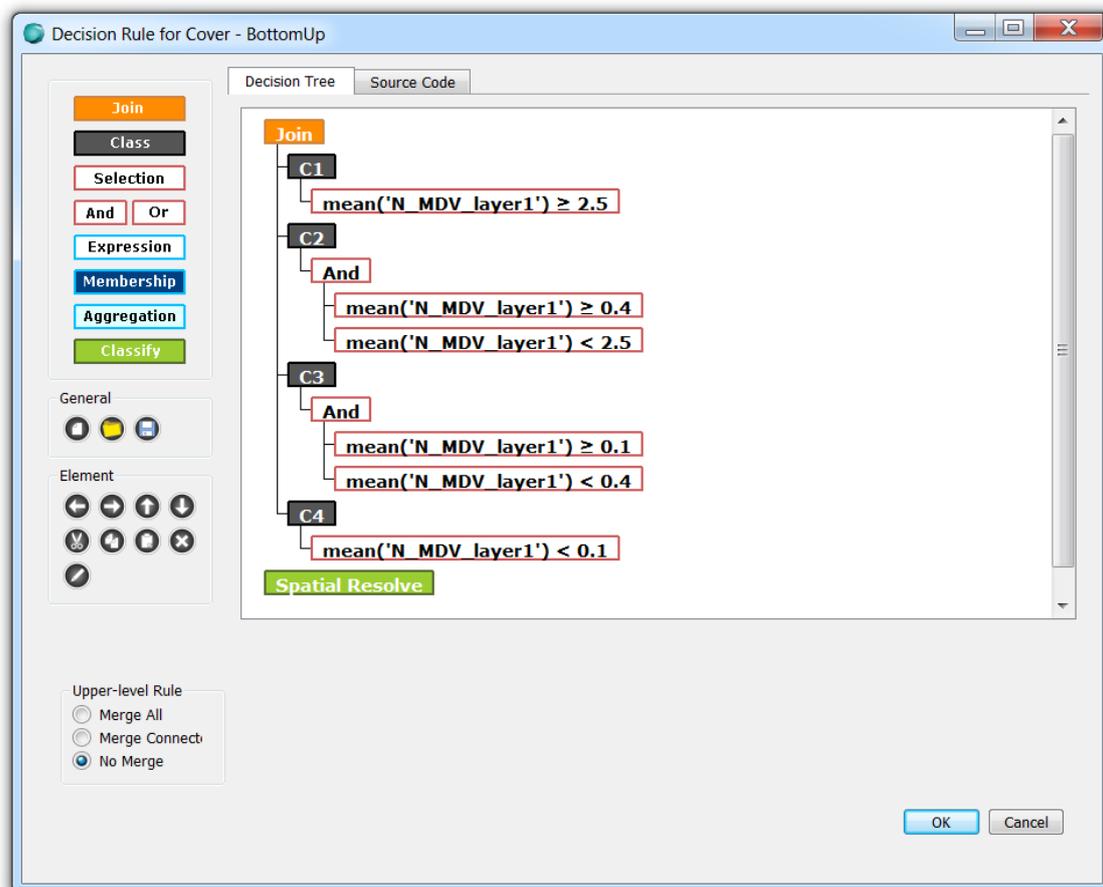


Figura 148

Una vez introducidos todos los parámetros en el programa es siempre importante salvar los cambios antes de ejecutar el proceso.

8.4.4. Integración de resultados en la geodatabase.

Tras la ejecución del proceso el programa generará una capa *Result*, en la que se visualiza el resultado final de la clasificación. Pero, si queremos analizar cada clase por separado, deberemos exportar las clases como *shapefiles* independientes.

De la misma forma que cargamos el fragmento de la ortoimagen, debemos cargar cada clase resultante como capa independiente en el cuadro *Layer de InterIMAGE*:

- Pulsando sobre el icono  , seleccionaremos ahora la pestaña *Selection* y seleccionamos la clase a cargar (*Class*).
- En la opción *Stage* tendremos especial cuidado con seleccionar la carga de la fase que contiene los objetos validados (*instances*): *BottomUp*.
- Introducimos el *Keyname*, modificamos colores de relleno y borde a nuestro gusto, así como el grado de transparencia de la capa, y finalmente pulsamos  para cargar la capa de la imagen.

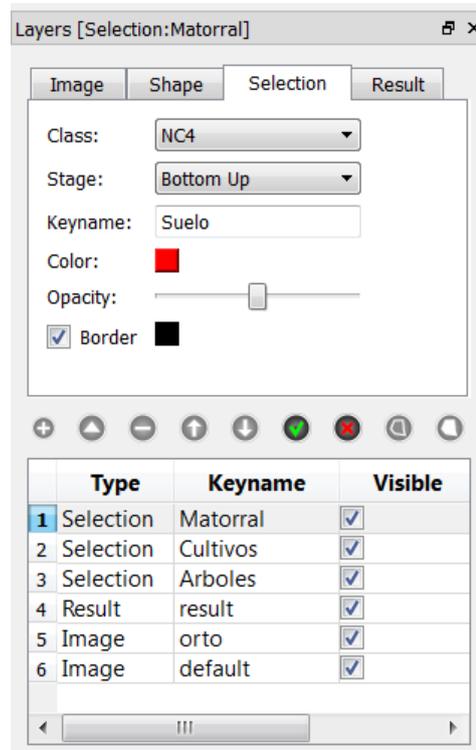


Figura 149

Para exportar la clase, la seleccionamos y pulsamos el botón *Export as Shapefile*

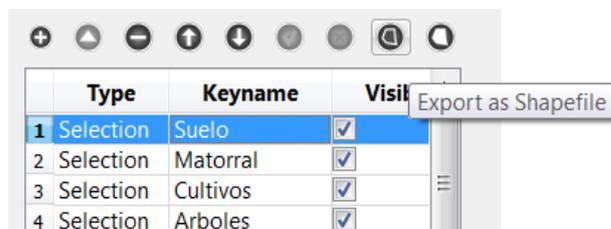


Figura 150

Se abre entonces la ventana *Export Shapefile*. Pulsando sobre el botón *Class* seleccionaremos la clase a exportar. En este punto podremos introducir las expresiones que definen los valores que queremos que aparezcan en la tabla de atributos asociado al *shapefile*. En nuestro caso nos interesa introducir el valor promedio de la altura del objeto.

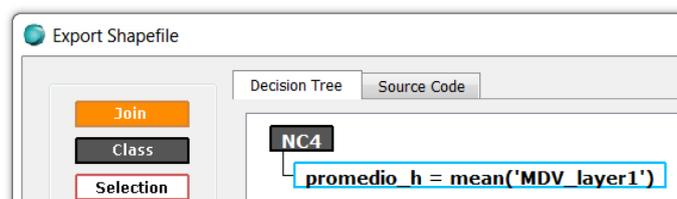


Figura 151

Los ficheros *shapefile* son ficheros multiarchivo, por lo que la exportación genera tres ficheros informáticos con el mismo nombre y las siguientes extensiones:

- La extensión **.shp* corresponde al archivo que almacena las entidades geométricas de los objetos.
- La extensión **.shx* corresponde al archivo que almacena el índice de las entidades geométricas.
- La extensión **.dbf* corresponde a la base de datos, en formato dBASE, que almacena la información de los atributos de los objetos.

De acuerdo con las características que queramos extraer podremos añadir cualquier expresión en la ventana *Export Shapefile*. El resultado será añadido como una columna más en el fichero **.dbf*.

Estos ficheros pueden ser abiertos por ejemplo en una hoja de cálculo en la que podremos realizar operaciones matemáticas, generar estadísticas, elaborar gráficos, etc...

Generados los *shapefiles* procedemos a importarlos en *ArcMap*. Dentro de nuestra geodatabase personalizada creamos las subcarpetas *Feature Dataset*, donde los importamos ejecutando:

Import \ Feature Class (multiple...)

Al importar los archivos éstos se cargarán automáticamente como capas en el *TOC*.

Si pinchamos sobre cualquiera de los polígonos con el icono  activado, vemos que junto con otros atributos, el programa también nos muestra la altura media del segmento, según lo indicado al generar el *shapefile* en *InterIMAGE* (ver figura 152).

También podemos, por ejemplo, abrir la tabla de atributos asociada a una capa y aplicar rangos de selección de polígonos en función de su altura promedio (ver fig. 153).

Capítulo 8 – Rodalización de la cubierta vegetal.

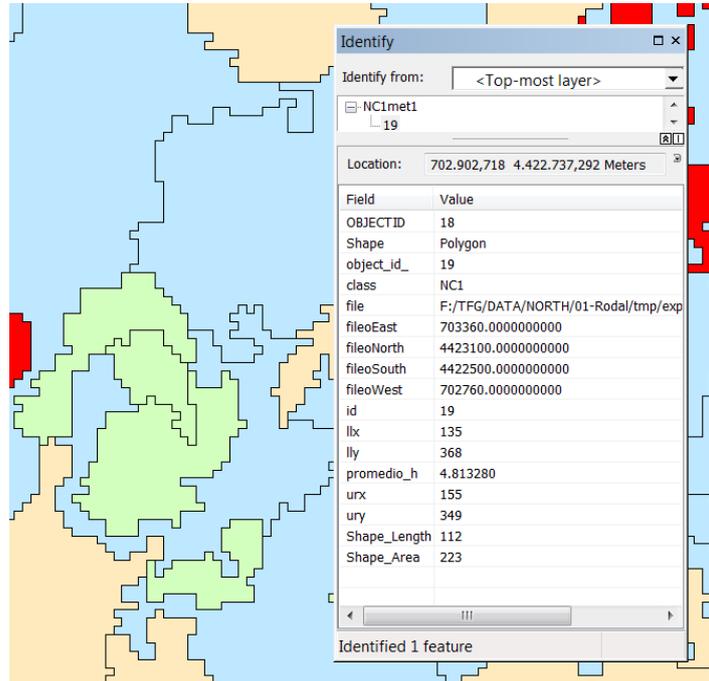


Fig. 152: Identificación de atributos de un polígono

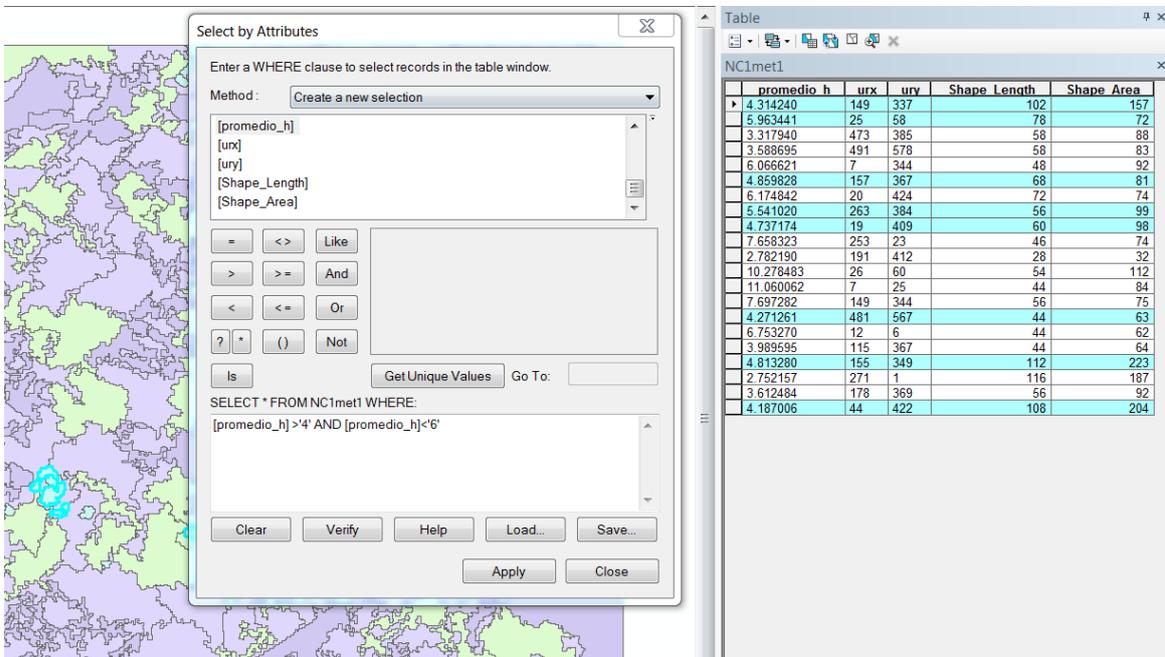


Fig. 153: Selección de polígonos por atributos.

8.5. Evaluación de la rodalización.

Para evaluar la fiabilidad de los resultados obtenidos, debemos comparar las segmentaciones obtenidas con *InterIMAGE* con las muestras de evaluación creadas en *ArcMap*. Para ello usaremos el **método de la matriz de errores**, también conocido con el nombre de **matriz de confusión**. El método consiste en la construcción de una matriz en la que las filas representan las clases obtenidas en el proceso de segmentación y las columnas representan las muestras de evaluación que entendemos como reales (verdad terreno). Las unidades de los elementos que la componen serán en nuestro caso las áreas de los polígonos clasificados y de las muestras de evaluación.

Como las regiones a comparar deben tener el mismo tamaño, recortaremos los polígonos de la segmentación con los polígonos de la muestra de evaluación mediante el uso del comando

Toolboxes \ System Toolboxes \ Analysis Tools \ Extract \ Clip

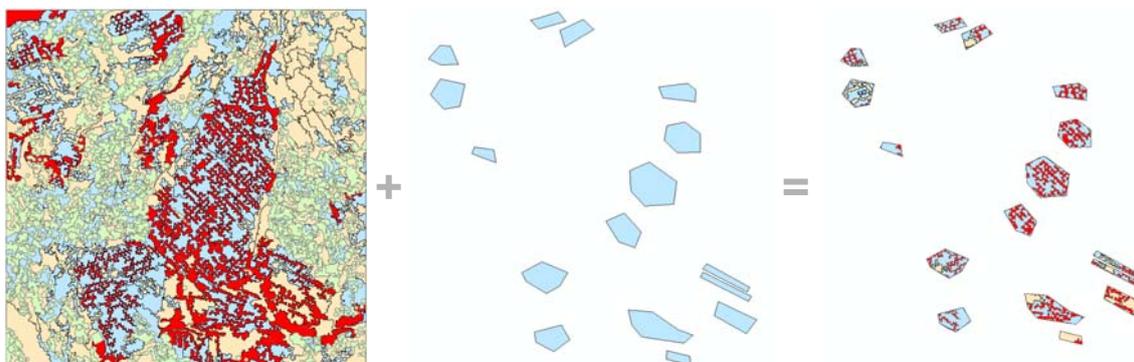


Fig. 154: Recorte de las muestras de clasificación para su evaluación.

Primero introducimos los polígonos a recortar (*Input Features*), luego la capa que delimita la zona de recorte (*Clip Features*) y finalmente el nombre del fichero con las entidades resultantes (*Output Feature Class*).

Capítulo 8 – Rodalización de la cubierta vegetal.

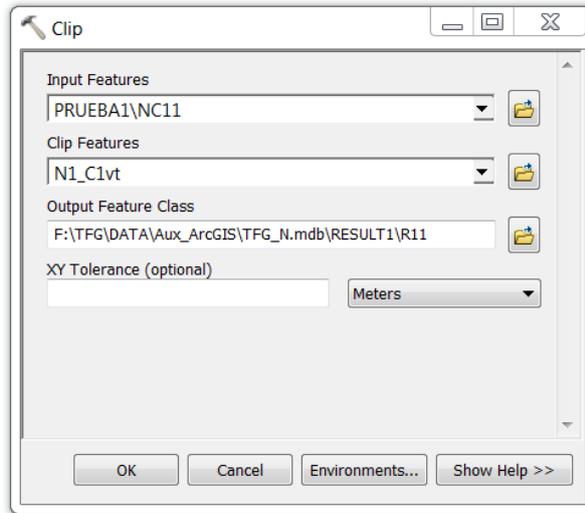


Figura 155

Las superficies de los elementos que formarán la matriz de confusión los obtendremos a partir de las tablas de atributos asociadas a los elementos resultantes del recorte realizado.

Abrimos la capa tabla de atributos, buscamos la columna que nos muestra los polígonos resultantes (*Shape Area*) y abrimos las estadísticas asociadas.

Fig. 156-158

| | llx | lly | urx | ury | Shape Length | Shape Area |
|--|-----|-----|-----|-----|--------------|------------|
| | 139 | 357 | 149 | 344 | 56 | 75 |
| | 135 | 368 | 155 | 349 | 80.200041 | 151.240588 |
| | 471 | 574 | 481 | 567 | 21.04429 | 25.990477 |
| | 353 | 409 | 412 | 349 | 27.584008 | 36.073065 |
| | 128 | 357 | 149 | 337 | 73.783116 | 83.258851 |
| | 251 | 394 | 263 | 384 | 40.102799 | 68.051867 |
| | 133 | 373 | 167 | 341 | 71.748339 | 73.38712 |
| | 553 | 205 | 599 | 168 | 254.320476 | 327.780261 |
| | 314 | 507 | 337 | 489 | 66.567393 | 70.803826 |
| | 482 | 265 | 515 | 222 | 47.898402 | 55.887289 |
| | 8 | 435 | 20 | 424 | 58.779175 | 61.307531 |
| | 21 | 438 | 44 | 422 | 41.533668 | 77.915917 |
| | 498 | 223 | 522 | 202 | 64.436217 | 84.248596 |
| | 495 | 586 | 529 | 571 | 10.928022 | 6.795253 |
| | 454 | 599 | 494 | 570 | 22.187599 | 10.889623 |
| | 5 | 419 | 19 | 409 | 34.506541 | 52.223548 |
| | 479 | 590 | 491 | 578 | 26.176828 | 40.283456 |

El valor *Sum* nos dice la superficie total del conjunto de polígonos resultantes. Anotaremos este valor en la celda correspondiente de la matriz de confusión.

El proceso se repite realizando todas las combinaciones posibles hasta completar la matriz para cada una de las segmentaciones realizadas

De cada matriz resultante se deducen los siguientes índices:

- **Fiabilidad global.** Define la calidad de la clasificación. Se obtiene dividiendo la superficie total de segmentos correctamente clasificados (suma de la diagonal principal) entre la superficie total del conjunto de muestras de evaluación.

$$FG = \frac{\Sigma \text{diagonal}}{\text{Total de superficie clasificada}}$$

- **Fiabilidad del productor.** Expresa la proporción de superficie que ha sido correctamente clasificada dando una idea de los errores por defecto. Se obtiene dividiendo la superficie total asignada a una clase *i* entre la superficie real de esa clase.

$$FP_i = \frac{S_{\text{asignada}(i)}}{S_{\text{real}(i)}}$$

- **Fiabilidad del usuario.** Expresa la probabilidad de que una superficie clasificada dentro de una clase *i*, pertenezca realmente a esa clase. Se obtiene dividiendo la superficie asignada a la clase *i* entre la superficie total clasificada en esa clase, dando una idea de los errores por exceso.

$$FU_i = \frac{S_{\text{asignada}(i)}}{S_{\text{clasificada}(i)}}$$

- **Error por exceso (comisión).** Hace referencia a la cantidad de superficie que sin pertenecer a una clase *i*, ha sido clasificada dentro de esa clase. El mayor error de comisión coincide con la peor fiabilidad del usuario.

$$\text{Error de comisión}_i = 1 - FU_i$$

- **Error por defecto (omisión).** Representa la superficie que, perteneciendo a una clase i , ha sido asignado a otra clase j . El mayor error por defecto coincide con la peor fiabilidad del productor:

$$\text{Error de omisión}_i = 1 - FP_i$$

- **Coefficiente Kappa.**- Es una medida de la diferencia entre la exactitud lograda en la clasificación con un clasificador automático⁽³⁵⁾ y la probabilidad de lograr una clasificación correcta con un clasificador aleatorio. Conceptualmente:

$$\kappa = \frac{\text{exactitud observada} - \text{probabilidad de acierto}}{1 - \text{probabilidad de acierto}} \quad (36)$$

Con fines computacional es se suele utilizar la siguiente expresión:

$$\kappa = \frac{N \sum_{i=1}^f x_{ii} - \sum_{i=1}^f (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^f (x_{i+} \cdot x_{+i})}$$

dónde:

f es el número de filas de la matriz ,

x_{ii} es el número de observaciones en la fila i y la columna i (es decir, sobre la diagonal mayor),

x_{i+} es el total de observaciones en la columna i (es el total marginal a la derecha de la matriz),

x_{+i} es el total de observaciones en la columna i (total marginal al pie de la matriz), y

N el número total de observaciones incluidas en la matriz (la suma de todos los elementos de la matriz).

(35) En nuestro caso, el clasificador automático ha sido *InterIMAGE*.

(36) Un valor de 0,75 indica que la matriz es un 75% mejor que la que hubiera resultado de aplicar un clasificador aleatorio que asignara las clases al azar.

El valor de κ varía entre 0 y 1, aceptándose los siguientes rangos de calidad⁽³⁷⁾:

| Valor de κ | Fuerza de concordancia |
|-------------------|------------------------|
| < 0,20 | Pobre |
| 0,21 – 0,40 | Débil |
| 0,41 – 0,60 | Moderada |
| 0,61 – 0,80 | Buena |
| 0,81 – 1,00 | Muy Buena |

A diferencia de la fiabilidad global, este coeficiente lleva implícita información sobre los elementos marginales (fuera de la diagonal principal) de la matriz. Además recoge en un solo valor información sobre el proceso y permite la comparación directa de varias matrices.

8.5.1. Resultados de la Zona Norte.

A continuación se detallan los resultados obtenidos para cada una de las tres pruebas realizadas en la Zona Norte

8.5.1.1. Clasificación 1:

Reglas de decisión:

- Árboles (C1): Alturas superiores a 2,6 m
- Cultivos (C2): Alturas comprendidas entre 0,3 y 2,6 m
- Matorral (C3): Alturas comprendidas entre 0,1 y 0,3 m
- Suelo (C4): Alturas inferiores a 0,1 m

(37) Landis, J.R.; & Koch, G.G. (1977). "The measurement of observer agreement for categorical data". *Biometrics* **33** (1): 159–174

Resultado de la clasificación:

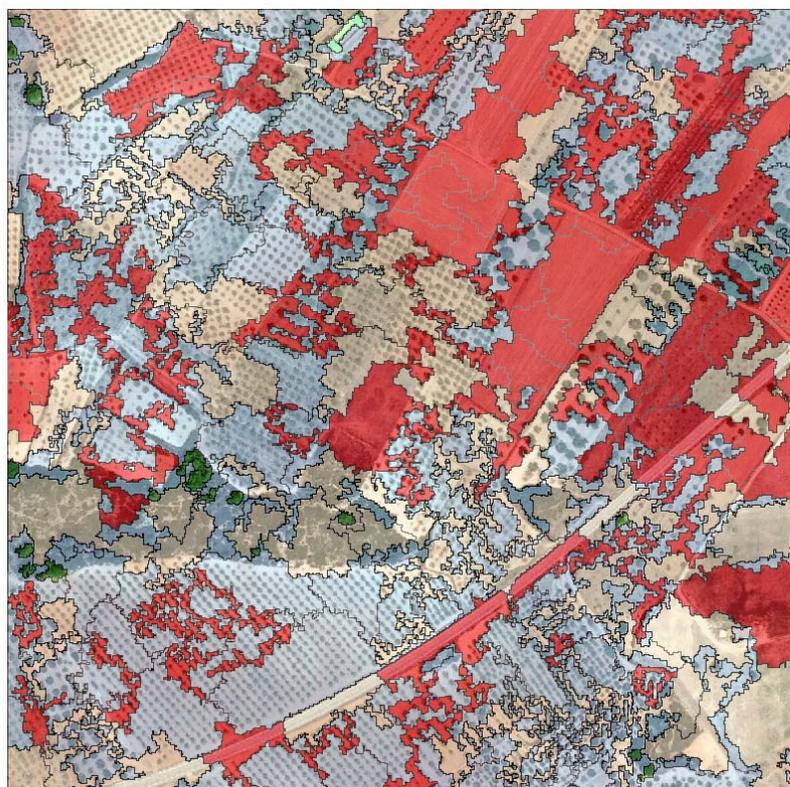


Fig. 159: Clasificación 1
Zona Norte



Matriz de confusión:

| Evalua. Segment. | Árboles | Cultivos | Matorral | Suelo | TOTAL | Fiabilidad Usuario |
|-------------------------|---------|----------|----------|---------|----------|-----------------------|
| Árboles | 1146,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1146,90 | 100,00% |
| Cultivos | 1859,37 | 22670,36 | 174,47 | 69,58 | 24773,78 | 91,51% |
| Matorral | 126,82 | 9457,21 | 1244,23 | 1123,20 | 11951,46 | 10,41% |
| Suelo | 36,92 | 5604,09 | 433,48 | 1490,27 | 7564,77 | 19,70% |
| TOTAL | 3170,02 | 37731,66 | 1852,18 | 2683,05 | 45436,92 | |
| Fiabilidad Productor | 36,18% | 60,08% | 67,18% | 55,54% | | |

| | |
|----------------------------------|---------------|
| Fiabilidad global: | 58,44% |
| Coefficiente kappa (κ): | 0,208 |

CLASIFICACIÓN POBRE / DÉBIL

A pesar de haberse obtenido un resultado muy débil, es la clasificación que ha obtenido el coeficiente de fiabilidad global más alto.

Destaca el 100% de fiabilidad del usuario obtenido en los *Rodales de árboles* frente a la baja fiabilidad del usuario (36,18%). Esto quiere decir que sólo se han clasificado correctamente como árboles un 36,18% de la muestra, aunque el 100% de ésta pertenece realmente a la clase *Rodales de árboles*. Se ha cometido pues un error por defecto del 63,83%. La mayor parte de este porcentaje se ha clasificado como *Rodales de cultivos*. O sea, existe un porcentaje muy elevado de elementos que habíamos considerado inicialmente como árboles y que han sido clasificados como cultivos.

Por contra, un 60,08% de la clase *Rodales de cultivos* ha sido correctamente clasificada, con la seguridad de que un 91,51% de ellos pertenecen realmente a esta clase.

Como era de esperar, las fiabilidades de usuario para los rodales de suelo y matorral son muy bajas ya que se trata de una zona en la que resulta muy difícil identificar las zonas de matorral en la ortofoto. Se produce una gran confusión entre éstas dos clases. Pero además, por la propia morfología de los campos de olivos y almendros, al existir grandes espacios entre los árboles, se obtienen promedios de alturas muy bajos que hacen que muchos de los segmentos que debían haberse clasificado como cultivos se hayan clasificado como matorral.

8.5.1.2. Clasificación 2:

Reglas de decisión:

- Árboles (C1): Alturas superiores a 1,6 m
- Cultivos (C2): Alturas comprendidas entre 1,0 y 1,6 m
- Matorral (C3): Alturas comprendidas entre 0,1 y 1,0 m
- Suelo (C4): Alturas inferiores a 0,1 m

Resultado de la clasificación:



Fig. 160: Clasificación 2
Zona Norte



Matriz de confusión:

| Evalua. Segment. | Árboles | Cultivos | Matorral | Suelo | TOTAL | Fiabilidad Usuario |
|-------------------------|---------|----------|----------|---------|----------|-----------------------|
| Árboles | 1600,27 | 493,01 | 51,54 | 23,22 | 2168,03 | 73,81% |
| Cultivos | 658,15 | 2632,64 | 0,00 | 0,58 | 3291,38 | 79,99% |
| Matorral | 874,68 | 29001,92 | 1367,17 | 1168,98 | 32412,75 | 4,22% |
| Suelo | 36,92 | 5604,09 | 433,48 | 1490,27 | 7564,77 | 19,70% |
| TOTAL | 3170,02 | 37731,67 | 1852,18 | 2683,05 | 45436,92 | |
| Fiabilidad Productor | 50,48% | 6,98% | 73,81% | 55,54% | | |

| | |
|----------------------------------|--------|
| Fiabilidad global: | 15,60% |
| Coefficiente kappa (κ): | 0,060 |

CLASIFICACIÓN MUY POBRE

Los resultados obtenidos con esta clasificación nos obligan a rechazarla de facto. Sin embargo su realización ha sido útil para comprobar cómo varían las fiabilidades en función de las variaciones introducidas en los umbrales de alturas.

Se observa especialmente que, al disminuir la altura de la clase *Rodales de árboles*, ha aumentado considerablemente la fiabilidad del productor, reconociéndose como tales parte de los que antes habían sido considerados como cultivo.

Se observa además que zonas de cultivo con una mayor densidad de árboles han pasado a clasificarse como *Rodales de árboles*.

Por contra, aumentar la cota media de separación entre las clases *Rodales de cultivos* y *Rodales de matorral* ha empeorado mucho la clasificación ya que casi todas las zonas de cultivo han sido clasificadas como matorral.

8.5.1.3. Clasificación 3:

Reglas de decisión:

- Árboles (C1): Alturas superiores a 1,0 m
- Cultivos (C2): Alturas comprendidas entre 0,3 y 1,0 m
- Matorral (C3): Alturas comprendidas entre 0,1 y 0,3 m
- Suelo (C4): Alturas inferiores a 0,1 m

Resultado de la clasificación:

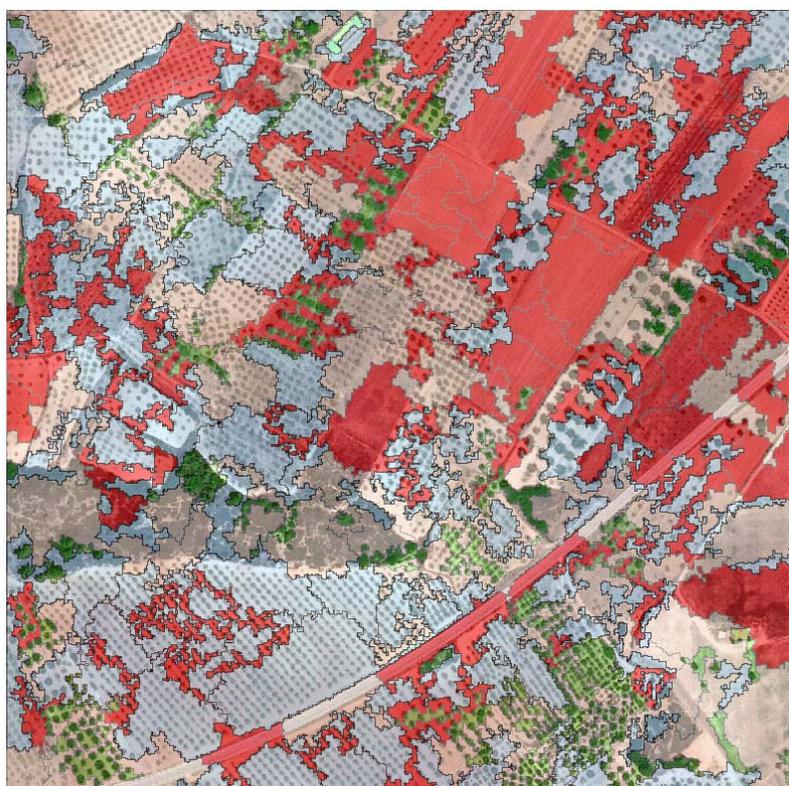


Fig. 161: Clasificación 3
Zona Norte



Matriz de confusión:

| Evalua. Segment. | Árboles | Cultivos | Matorral | Suelo | TOTAL | Fiabilidad Usuario |
|-------------------------|---------|----------|----------|---------|----------|-----------------------|
| Árboles | 2258,42 | 3125,65 | 51,50 | 23,80 | 5459,37 | 41,37% |
| Cultivos | 747,86 | 19544,71 | 122,94 | 45,78 | 20461,28 | 95,52% |
| Matorral | 126,82 | 9457,21 | 1244,23 | 1123,20 | 11951,46 | 10,41% |
| Suelo | 36,92 | 5604,09 | 433,48 | 1490,27 | 7564,77 | 19,70% |
| TOTAL | 3170,02 | 37731,67 | 1852,15 | 2683,05 | 45436,89 | |
| Fiabilidad Productor | 71,24% | 51,80% | 67,18% | 55,54% | | |

| | |
|----------------------------------|--------|
| Fiabilidad global: | 54,00% |
| Coefficiente kappa (κ): | 0,230 |

CLASIFICACIÓN DÉBIL

Observamos cómo, pese a disminuir la fiabilidad global con respecto a la primera clasificación, aumenta ligeramente el coeficiente kappa, lo que nos da una idea de la importancia de considerar los datos marginales de la matriz de confusión en la valoración final de resultados.

Hemos conseguido aumentar la fiabilidad del productor en la *Rodalización de árboles* hasta un 71,24%, aunque sólo un 41,37% de ellos pertenecen realmente a esa clase. Un porcentaje muy elevado de las zonas de cultivo donde hay una mayor densidad de árboles ha sido clasificado dentro de esa clase. Este hecho ha empeorado la fiabilidad del productor para la clase *Rodales de cultivo* y, por tanto, la fiabilidad global.

La calidad final de la clasificación dependerá en última instancia del uso a que se destine. Elegiremos una u otra opción en función de si sólo queremos identificar zonas forestales, zonas de cultivos o hacer una interpretación de rodales en función de una alta concentración de árboles de cultivo. De cualquier forma, se pone de manifiesto la dificultad que entraña la realización de una clasificación por rodales cuando el paisaje dominante está formado por parcelas con árboles (almendros y olivos principalmente), por la gran diversidad de tamaños de árboles y por su propia distribución espacial en la parcela.

8.5.2. Resultados de la Zona Sur.

Se describen ahora los resultados obtenidos para cada una de las tres pruebas de clasificación en la Zona Sur.

8.5.2.1. Clasificación 1:

Reglas de decisión:

- Árboles (C1): Alturas superiores a 8,1 m
- Cultivos (C2): Alturas comprendidas entre 0,6 y 8,1 m
- Matorral (C3): Alturas comprendidas entre 0,1 y 0,6 m
- Suelo (C4): Alturas inferiores a 0,1 m

Resultado de la clasificación:

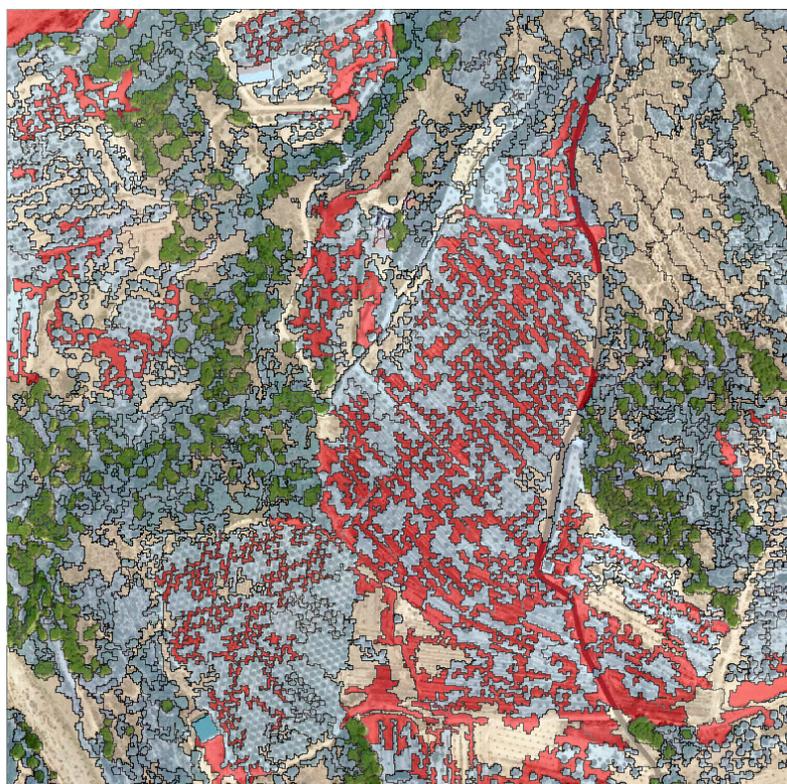


Fig. 162: Clasificación 1
Zona Sur



Matriz de confusión:

| Evalua. Segment. | Árboles | Cultivos | Matorral | Suelo | TOTAL | Fiabilidad Usuario |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------------|
| Árboles | 8268,49 | 0,00 | 25,36 | 1,62 | 8295,46 | 99,67% |
| Cultivos | 5503,83 | 13748,86 | 1111,22 | 169,01 | 20532,93 | 66,96% |
| Matorral | 237,39 | 2491,37 | 4793,27 | 657,63 | 8179,66 | 58,60% |
| Suelo | 5,28 | 7162,53 | 249,89 | 1259,73 | 8677,43 | 14,52% |
| TOTAL | 14014,98 | 23402,76 | 6179,75 | 2087,99 | 45685,48 | |
| Fiabilidad Productor | 59,00% | 58,75% | 77,56% | 60,33% | | |

| | |
|--------------------------------|---------------|
| Fiabilidad global: | 61,44% |
| Coficiente kappa (κ): | 0,434 |

CLASIFICACIÓN MODERADA

Al igual que ocurría con la primera clasificación de la Zona Norte, nos encontramos con un porcentaje muy alto de fiabilidad del usuario que contrasta con una baja fiabilidad del productor. De nuevo el elevado umbral de separación entre árboles y cultivos hace que muchos de los árboles reales hayan sido clasificados como cultivos, aunque los que han sido correctamente clasificados tienen una probabilidad del 99,67% de pertenecer realmente a esa clase.

El mayor error por defecto se produce para la clase *Rodales de cultivos*. Gran porcentaje de esta clase ha sido clasificada como matorral, pero sobre todo como suelo. Sin duda esto último no debería de ser considerado un error ya los espacios que separan almendros y olivos realmente están ocupados por suelo desnudo. De nuevo se pone de manifiesto lo difícil que resulta realizar una segmentación por rodales en campos formados por plantaciones uniformes de árboles con espacios de suelo desnudo entre ellos.

El porcentaje asignado a matorral se debe especialmente a la presencia de almendros u olivos de pequeño porte.

8.5.2.2. Clasificación 2:

Reglas de decisión:

- Árboles (C1): Alturas superiores a 3,1 m
- Cultivos (C2): Alturas comprendidas entre 0,8 y 3,1 m
- Matorral (C3): Alturas comprendidas entre 0,1 y 0,8 m
- Suelo (C4): Alturas inferiores a 0,1 m

Resultado de la clasificación:

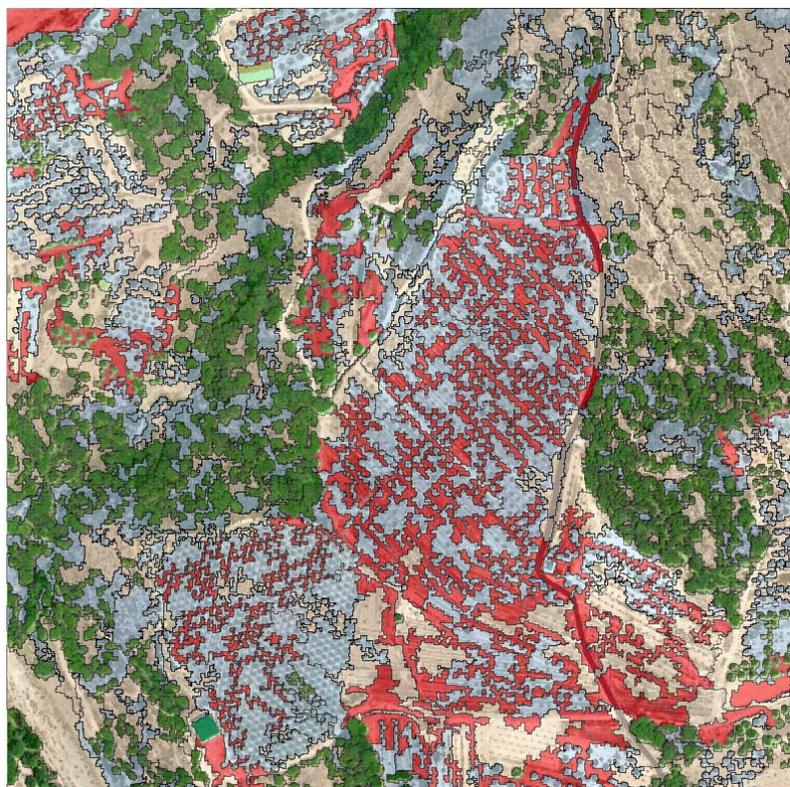


Fig. 163: Clasificación 2
Zona Sur



Matriz de confusión:

| Evalua. Segment. | Árboles | Cultivos | Matorral | Suelo | TOTAL | Fiabilidad Usuario |
|-------------------------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------------------|
| Árboles | 12396,32 | 80,09 | 31,48 | 6,37 | 12514,26 | 99,06% |
| Cultivos | 1124,24 | 12822,98 | 729,53 | 143,60 | 14820,35 | 86,52% |
| Matorral | 489,14 | 3337,17 | 5168,84 | 678,29 | 9673,44 | 53,43% |
| Suelo | 5,28 | 7162,53 | 249,89 | 1259,73 | 8677,43 | 14,52% |
| TOTAL | 14014,98 | 23402,76 | 6179,75 | 2087,99 | 45685,48 | |
| Fiabilidad Productor | 88,45% | 54,79% | 83,64% | 60,33% | | |

| | |
|----------------------------------|--------|
| Fiabilidad global: | 69,27% |
| Coefficiente kappa (κ): | 0,569 |

CLASIFICACIÓN MODERADA

Observamos que al disminuir el umbral de alturas entre árboles y cultivos se ha mejorado sensiblemente la calidad global de la clasificación. Hemos aumentado la cantidad de árboles correctamente clasificados hasta un 88,45%, de los que un 99,06% pertenecen realmente a la clase Rodales de árboles.

Por su parte, al aumentar en 20 cm la cota promedio de separación entre las clases matorral y cultivos, se ha conseguido disminuir considerablemente los segmentos que siendo matorral habían sido clasificados como cultivos. Este hecho ha supuesto aumentar las zonas de matorral correctamente clasificadas hasta un 83,64%, pero sobre todo ha aumentado la probabilidad de que los segmentos que han sido clasificados como cultivo, pertenezcan realmente a esta clase.

Esta clasificación es la que ha conseguido los mejores niveles de valoración. Además, los altos índices de fiabilidad conseguidos en la clase *Rodales de árboles* corroboran que resulta mucho más sencillo identificar rodales en zonas boscosas que en zonas de cultivos.

8.5.2.3. Clasificación 3:

Reglas de decisión:

- Árboles (C1): Alturas superiores a 2,7 m
- Cultivos (C2): Alturas comprendidas entre 0,8 y 2,7 m
- Matorral (C3): Alturas comprendidas entre 0,1 y 0,8 m
- Suelo (C4): Alturas comprendidas entre 0 y 0,1 m

Resultado de la clasificación:

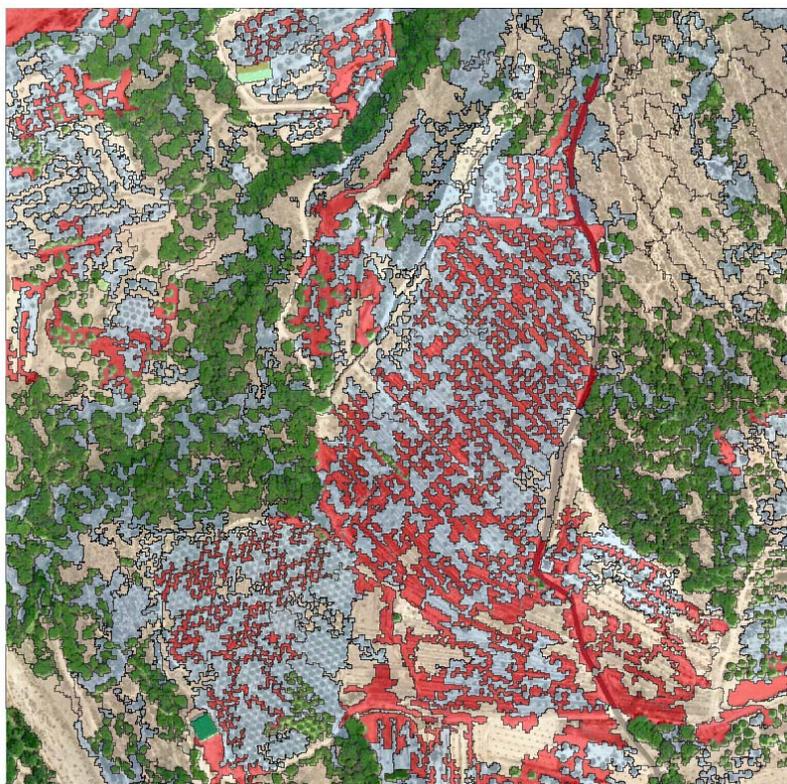


Fig. 164: Clasificación 3 Zona Sur



Matriz de confusión:

| Evalua. Segment. | Árboles | Cultivos | Matorral | Suelo | TOTAL | Fiabilidad Usuario |
|----------------------|----------|----------|----------|---------|----------|--------------------|
| Árboles | 12422,60 | 482,11 | 31,48 | 6,37 | 12942,55 | 95,98% |
| Cultivos | 1097,96 | 12420,96 | 729,53 | 143,60 | 14392,06 | 86,30% |
| Matorral | 489,14 | 3337,17 | 5168,84 | 678,29 | 9673,44 | 53,43% |
| Suelo | 5,28 | 7162,53 | 249,89 | 1259,73 | 8677,43 | 14,52% |
| TOTAL | 14014,98 | 23402,76 | 6179,75 | 2087,99 | 45685,48 | |
| Fiabilidad Productor | 88,64% | 53,07% | 83,64% | 60,33% | | |

| | |
|----------------------------------|---------------|
| Fiabilidad global: | 68,45% |
| Coefficiente kappa (κ): | 0,558 |

CLASIFICACIÓN MODERADA

Esta clasificación y la anterior son muy similares. Se ha pretendido conseguir una mejora de la clasificación anterior bajando el umbral de separación entre árboles y cultivos sin conseguirlo.

8.5.3. Conclusiones.

La mejor clasificación para la Zona Norte ha sido la número 3 con una fiabilidad del global del 54% y un coeficiente kappa de 0,23.

Para la Zona Sur la mejor clasificación ha sido la número 2, con una fiabilidad global del 69,27% y un coeficiente kappa de 0,57.

Teniendo en cuenta que los pliegos establecían una densidad de datos de 0,5 puntos/m² para la Zona Norte, frente a los 8 puntos/m² de la Zona Sur, resulta comprensible que se obtengan mejores precisiones para la Zona Sur. A mayor cantidad de información, más heterogénea resultará la imagen a analizar y, por tanto, más fácil le resultará al clasificador automático realizar la segmentación.

Por otra parte, existe una gran dificultad para plantear umbrales de clasificación sólo con el aporte de la altura de objeto que nos aporta los datos LiDAR. Especialmente cuando estamos trabajando a un nivel de segmentación por rodal.

Este problema se acentúa evidentemente cuando queremos identificar parcelas con árboles frutales, ya que la separación entre árboles hace que disminuya la cota media del segmento, formando un conjunto de datos bastante homogéneo. Se generan así grandes confusiones entre las clases cultivo-matorral y matorral-suelo que se acentúan en la Zona Norte por falta de datos.

Sin duda, las fiabilidades obtenidas para las agrupaciones de árboles en zonas forestales han resultado mucho más efectivas a este nivel de rodal. La diferencia de altura entre estas agrupaciones y las otras clases hace más fácil su interpretación automática.

Concluimos que la metodología utilizada resulta efectiva para la identificación de agrupaciones de árboles en zonas forestales de las que podríamos extraer información como superficie ocupada, altura media o cálculo de la biomasa.

Capítulo 9

DELIMITACIÓN DE COPAS DEL DOSEL ARBÓREO.

9.1. Extracción de características de copas con ArcGIS.

Mientras que en el capítulo anterior se ha trabajado con segmentaciones a nivel de rodal, ahora vamos a tratar de identificar las copas de los árboles.

Para averiguar la altura media de copa que caracteriza cada zona, realizaremos un muestreo mediante la digitalización de arboles. Esta digitalización consiste en dibujar polígonos a modo de calco de los árboles sobre la ortofoto, de forma que cubramos aproximadamente un 2% de la imagen. Dado que las imágenes cubren una superficie de 36 Ha, bastará con dibujar los árboles encerrados en 8 cuadrados de 30x30 m².

ArcGIS incorpora diversas herramientas que permiten crear mallas de tipo vectorial para muestrear datos de campo. En concreto la herramienta *Fishnet* permite crear mallas de naturaleza lineal/poligonal pudiendo indicar diversas opciones como el número de filas y columnas de la malla, las coordenadas máximas y mínimas o el tamaño de cada una de las cuadrículas.

Encontraremos la herramienta siguiendo la ruta siguiente:

*Toolboxes \ System Toolboxes \ Data Management Tools.tbx \ Feature Class \
Create Fishnet*

En el cuadro de diálogo Create Fishnet introduciremos la siguiente información:

- En el apartado *Template Extent* podemos emplear la cartografía de referencia disponible para asignar los límites máximos y mínimos espaciales de la malla. Al

Capítulo 9 – Delimitación de copas del dosel arbóreo.

asignar una de las imágenes de nuestro trabajo automáticamente se rellenarán las casillas.

- El ancho y alto de cuadrícula lo introducimos en los apartados *Cell Size Height* y *Cell Size Width* respectivamente.
- En *Number of Rows* y *Number of Columns* introduciremos el número de filas y columnas que deseamos crear.
- Finalmente podemos decidir si queremos crear una etiqueta de puntos (opcional) y el tipo de geometría: polilínea o polígono.

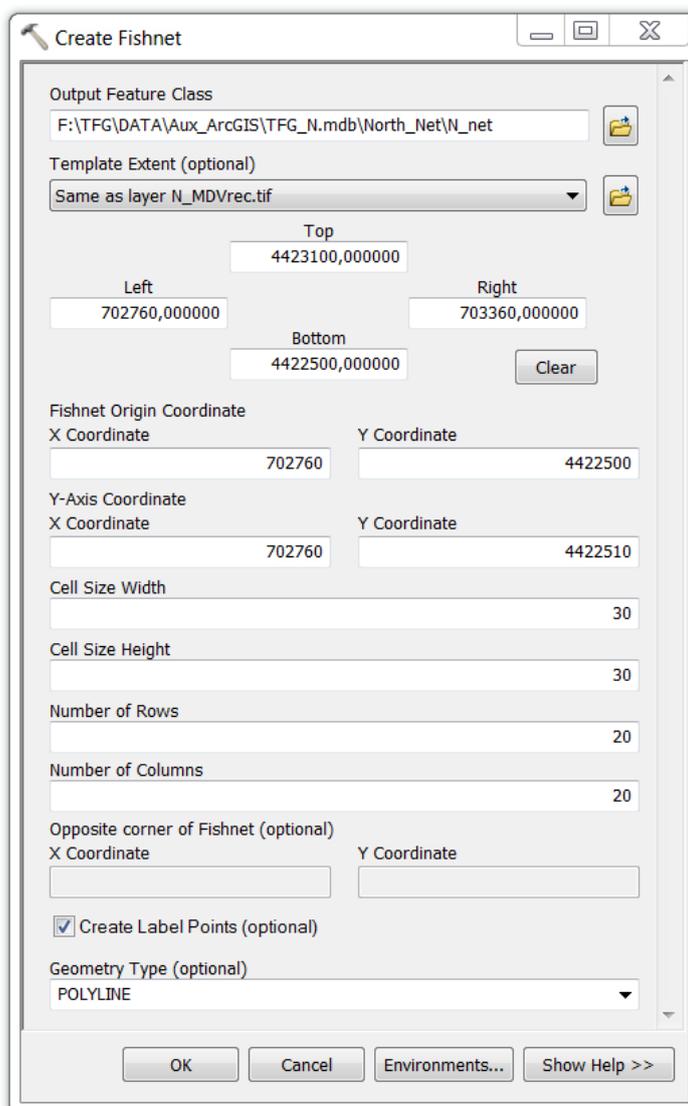


Figura 165

Una vez obtenida la malla, nos servirá como plantilla para identificar los 8 recuadros en los que digitalizaremos árboles como muestra verdad terreno.

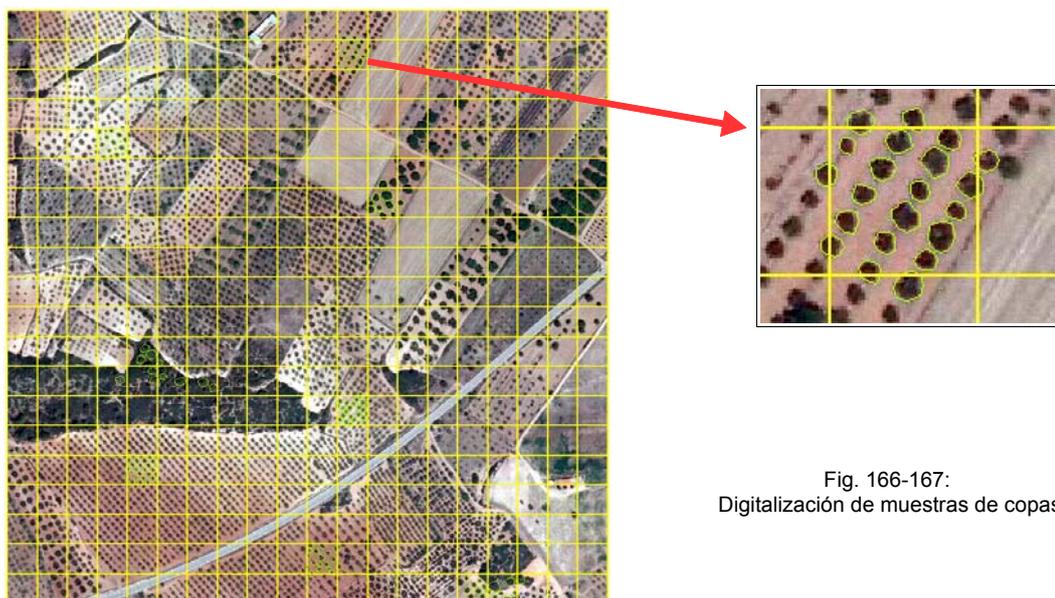


Fig. 166-167:
Digitalización de muestras de copas

Digitalizados los árboles de los 8 recuadros, procedemos a la extracción de las estadísticas básicas de los valores de los niveles digitales de elevaciones:

*Toolboxes \ System Toolboxes \ Spatial Analyst Tools.tbx \ Zonal \
Zonal Statistics as Table*

De la tablas resultantes se obtienen los siguientes datos

Zona Norte:

- Se ha muestreado un total de 157 árboles, la mayoría correspondiente a cultivos de secano, principalmente almendros y algunos nogales.
- El valor promedio de altura de los valores muestreados es de 1,30 metros (alturas medias).
- El valor promedio del rango de alturas es de 2,90 metros (alturas máximas).
- La superficie media de la copa es de 22,31 metros.
- El perímetro de copa promedio es de 16,74 metros.

Zona Sur:

- Se han muestreado 134 árboles, mezclando olivos, almendros y bosque.
- El valor promedio de altura es de 4,33 metros (alturas medias).
- El valor promedio del rango de alturas es de 6,08 metros (alturas máximas).
- La superficie media de la copa es de 29,50 metros.
- El perímetro de copa promedio es de 18,84 metros.

9.2. Segmentación en InterIMAGE.

Abrimos un nuevo proyecto en *InterIMAGE* y creamos una red semántica consistente en un único nodo al que llamaremos *Crown*. Este nodo será el encargado de realizar la segmentación y validar posteriormente los objetos generados.

De nuevo volvemos a utilizar el operador *TopDown TA_Baatz_Segmenter* para configurar el nodo *Crown*, pero modificando los parámetros de los atributos que habíamos usado para la rodalización. Por un lado respetaremos el atributo de *color*, pero por otro debemos de modificar el atributo de *compacidad* de forma que los segmentos se adapten a la forma redondeada de las copas de los árboles y no a la rectangular de las parcelas y carreteras de la segmentación anterior. Además deberemos de bajar el valor del atributo de escala para que se adapte al tamaño de los árboles. Los parámetros elegidos son:

$$sp=3 \quad , \quad w_{color.}=0,9 \quad , \quad w_{compct}=0,9$$

| TopDown Oper... | TA_Baatz_Segmenter |
|--------------------|--------------------|
| BottomUp | |
| TopDown | |
| a) Input Image | PNOA_MDVn |
| a1) Input Band... | 0 |
| a2) Input Weig... | 1 |
| b) Compactnes... | 0.9 |
| c) Color Weight | 0.9 |
| d) Scale Param... | 3 |
| e) Use Optimiz... | no |
| f) Reliability | 0.2 |
| g) Euclidean Di... | 20 |

Figura 168

A continuación añadiremos la regla de decisión *TopDown* al nodo *Crown* que permita discriminar la cota media de alturas que no cumpla las características de cada zona:

- **Zona Norte:** Alturas medias superiores a 1,30 metros.



Figura 169

- **Zona Sur:** Alturas medias superiores a 4,33 metros.



Figura 170

Una vez realizada la segmentación procedemos a exportarla e integrarla en nuestra geodatabase con *ArcGIS*, donde podremos extraer características sobre altura, perímetro de la copa, superficie u hacer un conteo de copas detectadas.

9.3. Interpretación de resultados.

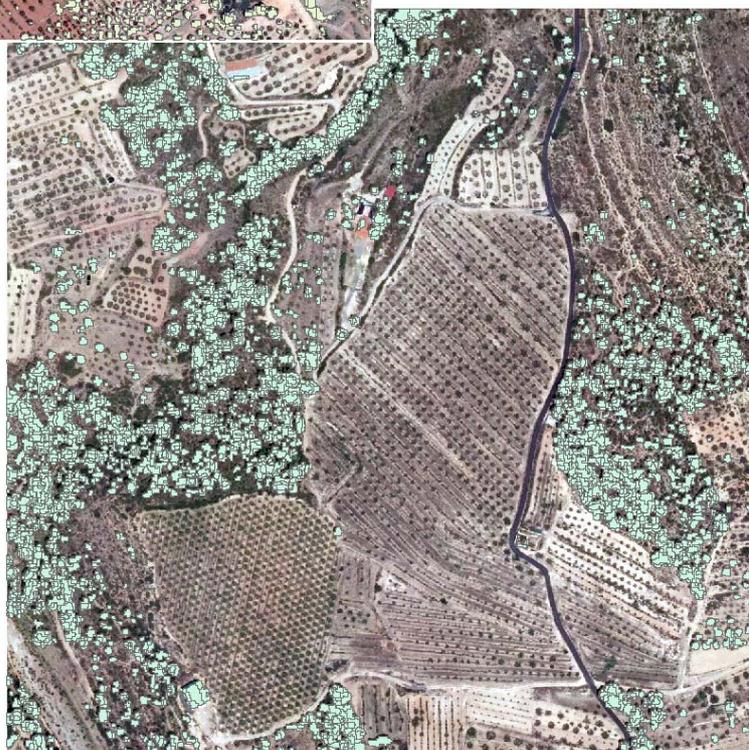


ZONA NORTE

Figura 171: Identificación de copas la Zona Norte con $sp=3$

ZONA SUR

Figura 172: Identificación de copas la Zona Sur con $sp=3$



Con las reglas aplicadas, para un factor de escala $sp=3$, observamos:

- **ZONA NORTE**

Se ha interpretado gran parte de los cultivos, pero hay muchos árboles que no han sido identificados por no cumplir la altura media.

Si observamos un fragmento de la Zona Norte, en él concurren árboles de distinto tamaño. Se identifican bastante bien los olivos y almendros que cumplen la altura media requerida, pero en las zonas de monte se forman agrupaciones de segmentos que hacen difícil interpretar si se trata de grupos de árboles o de un único árbol segmentado.



Fig. 173: Detalle Zona Norte con $sp=3$

Si hacemos una nueva segmentación cambiando el atributo de escala a la mitad ($sp=1,5$), el número de píxeles que forman parte de un grupo que cumplen unas condiciones de homogeneidad disminuirá. Esto hace que muchos segmentos que antes no cumplían la condición de altura media, ahora sí la cumplan. Con esto se consigue identificar los cultivos de pequeño porte que no se reconocían en la segmentación anterior. Por el contrario, se agudiza el problema de identificación de copas en la zona de bosque, e incluso se produce una sobre-segmentación en los almendros cuya copa había quedado antes bien delimitada.



Fig. 174: Detalle Zona Norte con $sp=1,5$

- **ZONA SUR**

La gran diferencia de tamaño entre pinos y almendros/olivos y la gran proporción de los primeros incluida en la muestra, ha elevado mucho el rango de altura, lo que ha dejado sin identificar a la práctica totalidad de los árboles de cultivo.

A la vista de los resultados obtenidos parece, lógico separar la segmentación en dos clases de árboles: *monte* y *cultivo*.

Mediante selección por captura gráfica en ArcGIS de las muestras de entrenamiento, podemos analizar las características de cada clase por separado, obteniendo los siguientes resultados:

- Zona Norte:
 - Monte → Altura media = 3,73 m. Altura máxima = 6,96 m.
 - Cultivo → Altura media = 1,05 m. Altura máxima = 2,62 m.
- Zona Sur:
 - Monte → Altura media = 10,56 m. Altura máxima = 17,42 m.
 - Cultivo → Altura media = 2,04 m. Altura máxima = 3,13 m.

A partir de estos datos, si quisiéramos identificar únicamente los árboles forestales en ambas zonas, aplicaríamos en *InterIMAGE* una única regla de decisión que validara sólo aquellos objetos cuya altura media fuera superior a 6,96 m. Si quisiéramos identificar sólo frutales, aplicaríamos el rango de decisión entre 2,62 y 6,96 metros.

Unificando criterios para ambas zonas, vamos a tratar de identificar todas las copas sin distinción de clases. Para ello, realizamos ahora la segmentación limitando la regla de decisión a valores superiores a 1 metro:

ZONA NORTE

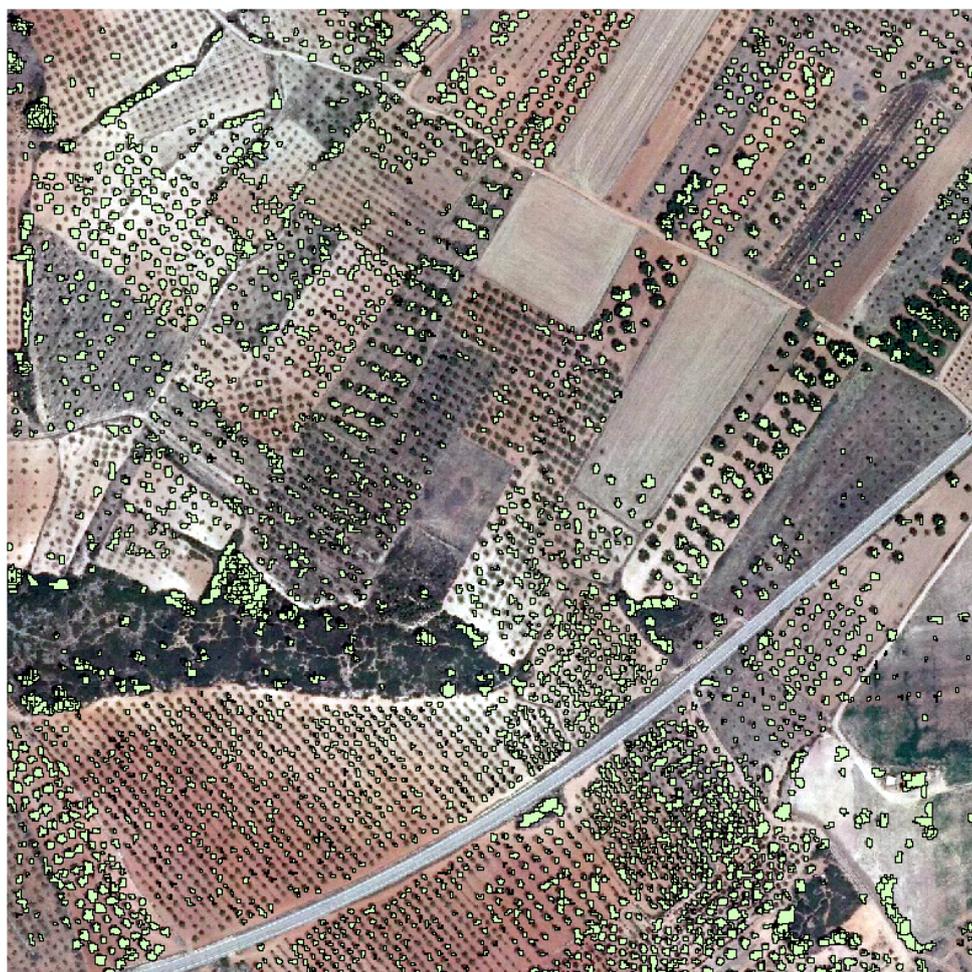


Fig. 175: Segmentación Zona Norte con $sp=3$ y altura de copa $> 1m$.

ZONA SUR



Fig. 176: Segmentación Zona Sur con $sp=3$ y altura de copa $> 1m$.

Observamos que la delimitación de copas resulta mucho más efectiva e interpretable en las zonas de cultivo. Al reducir el atributo de escala se limitan los criterios de homogeneización para la formación de regiones. Las alturas medias de los objetos resultantes serán más heterogéneas en las zonas de frutales que en las zonas de monte por la existencia de regiones de suelo con elevaciones muy distintas. Esta heterogeneidad entre regiones hace más fácil la aplicación de reglas para la validación del objeto, es decir, la identificación automática de los árboles.

Capítulo 9 – Delimitación de copas del dosel arbóreo.

Por el contrario, si comparamos los resultados con los de la segmentación del capítulo anterior, podemos afirmar que resulta más efectivo rodalizar agrupaciones de masas forestales que campos de cultivo.

En el capítulo 11 de esta memoria, vamos a ver cómo la integración de datos multiespectrales hace mucho más efectiva la identificación de copas y realizaremos una valoración de la segmentación.

Capítulo 10

TIPIFICACIÓN DE ESTRATOS DE MASA VEGETAL.

10.1. Tipificación de estratos de la masa vegetal.

En este apartado se pretende realizar una identificación de la masa forestal a nivel de objeto y no de rodal como se realizó en el primer ejercicio. De hecho, este ejercicio se convierte en una mezcla de los dos anteriores: Por un lado, siguiendo los pasos del capítulo 8, aplicaremos unas reglas de decisión para clasificar los objetos hipótesis generados en la fase de segmentación. Por otra parte, a partir de los estudios realizados en el capítulo 9, modificaremos los atributos de los operadores *top-down* para que se adapten a las características morfológicas de los objetos a individualizar con la segmentación.

Teniendo en cuenta la información obtenida con las muestras de evaluación de los dos ejercicios anteriores, vamos a aplicar el siguiente criterio de clasificación:

- Arbolado (*Tree*): Alturas superiores a 1 m.
- Marorral (*Shrubs*): Alturas comprendidas entre los 0,30 y 1 m.
- Pastizal (*Grass*): Alturas comprendidas entre 0,10 y 0,30 m.

Generamos un nuevo proyecto en *InterIMAGE* y construimos la siguiente red semántica:

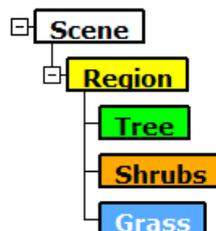


Figura 176

Configuramos el nodo *Region* con el operador por defecto *Dummy Top-Down* y aplicamos las reglas de decisión *bottom-up* que validarán y clasificarán los objetos hipótesis generados en la fase *top-down*:

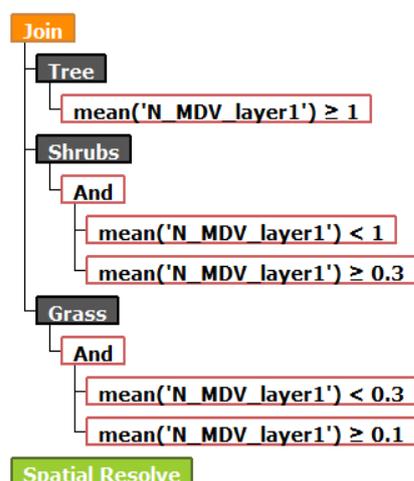


Figura 177

Configuraremos los nodos *Tree*, *Grass* y *Shrubs* usando el mismo operador *top-down* *TA_Baatz_Segmenter* al que aplicaremos los siguientes criterios:

- Asignaremos el valor 0,9 al peso de la compacidad, $w_{compact}$, con lo que definiremos geometrías más redondeadas.
- Disminuiremos a 0.5 el peso del color, w_{color} , de forma que el componente morfológico adquirirá más importancia que el espectral.
- Reduciremos el parámetro de escala, sp , con el que controlamos el incremento de la heterogeneidad, al valor 2,3⁽³⁸⁾. Hay que tener presente que en este ejercicio no se trata de realizar un conteo de árboles como en el capítulo 2. Además, la sobre-segmentación que pueda provocar la disminución del tamaño medio de las regiones resultantes no nos importa tanto como la correcta clasificación de la biomasa.

Aplicaremos los mismos criterios para la Zona Norte y para la Zona Sur.

(38) Valor intermedio al del estudio para la Zona Norte en el apartado 9.3.

Capítulo 10 – Tipificación de estratos de masa vegetal.

| Name | Value | Name | Value | Name | Value | | | |
|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|---|-----------------|--|--|
| Generic | | | Generic | | | Generic | | |
| BottomUp Dec... | <input type="checkbox"/> | BottomUp Dec... | <input type="checkbox"/> | BottomUp Dec... | <input type="checkbox"/> | | | |
| BottomUp Ope... | Dummy BottomUp | BottomUp Ope... | Dummy BottomUp | BottomUp Ope... | Dummy BottomUp | | | |
| Breakpoint | None | Breakpoint | None | Breakpoint | None | | | |
| Class | Tree | Class | Shrubs | Class | Grass | | | |
| Color |  | Color |  | Color |  | | | |
| TopDown Deci... | <input type="checkbox"/> | TopDown Deci... | <input type="checkbox"/> | TopDown Deci... | <input type="checkbox"/> | | | |
| TopDown Multi... | <input type="checkbox"/> | TopDown Multi... | <input type="checkbox"/> | TopDown Multi... | <input type="checkbox"/> | | | |
| TopDown Oper... | TA_Baatz_Segmenter | TopDown Oper... | TA_Baatz_Segmenter | TopDown Oper... | TA_Baatz_Segmenter | | | |
| BottomUp | | | BottomUp | | | BottomUp | | |
| TopDown | | | TopDown | | | TopDown | | |
| a) Input Image | MDVn | a) Input Image | MDVn | a) Input Image | MDVn | | | |
| a1) Input Band... | 0 | a1) Input Band... | 0 | a1) Input Band... | 0 | | | |
| a2) Input Weig... | 1 | a2) Input Weig... | 1 | a2) Input Weig... | 1 | | | |
| b) Compactnes... | 0.9 | b) Compactnes... | 0.9 | b) Compactnes... | 0.9 | | | |
| c) Color Weight | 0.5 | c) Color Weight | 0.5 | c) Color Weight | 0.5 | | | |
| d) Scale Param... | 2.3 | d) Scale Param... | 2.3 | d) Scale Param... | 2.3 | | | |
| e) Use Optimiz... | no | e) Use Optimiz... | no | e) Use Optimiz... | no | | | |
| f) Reliability | 0.2 | f) Reliability | 0.2 | f) Reliability | 0.2 | | | |
| g) Euclidean Di... | 20 | g) Euclidean Di... | 20 | g) Euclidean Di... | 20 | | | |

Fig. 178-180: Valores de los atributos del operador top-down TA_Baatz_Segmenter.

Exportamos los resultados añadiendo la expresión promedio de alturas a la tabla de atributos asociada al *shapefile* patra integrarlos posteriormente en nuestra geodatabase de *ArcGIS*.

El resultado será unos mapas temáticos con la estratificación de la masa de la que podremos extraer características relacionadas a las alturas o superficie que, junto con los datos extraídos sobre perímetros de copa en el capítulo 9, podrían permitirnos realizar otros cálculos, como el del volumen de la masa forestal, aplicando algoritmos que entran ya en el campo de la dasometría.

10.2. Resultados de la clasificación.

- ZONA NORTE:

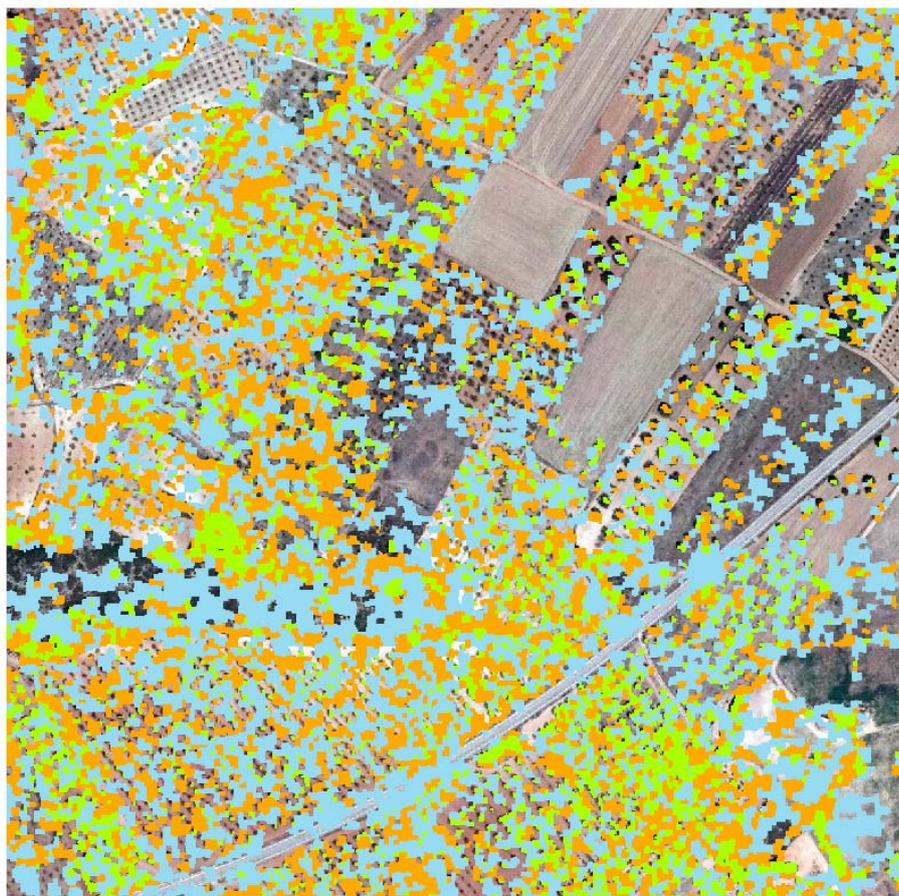


Fig. 181: Tipificación estratos de masa vegetal en Zona Norte

| | | Superficie (m ²) | Altura media (m) |
|---|----------|------------------------------|------------------|
|  | Árboles | 35.822 | 2,10 |
|  | Matorral | 68.981 | 0,55 |
|  | Pastizal | 107.541 | 0,18 |

- **ZONA SUR:**

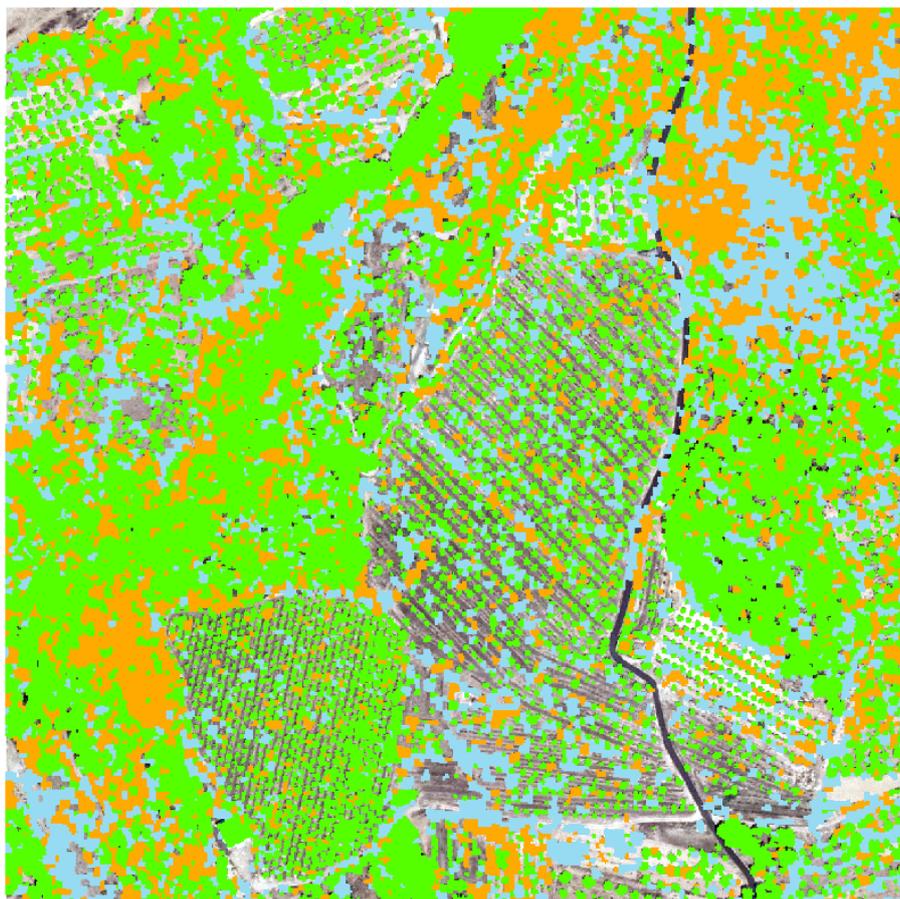


Fig. 182: Tipificación estratos de masa vegetal en Zona Sur.

| | | Superficie (m ²) | Altura media (m) |
|---|-----------------|------------------------------|------------------|
|  | Árboles | 144.417 | 5,38 |
|  | Matorral | 69.633 | 0,55 |
|  | Pastizal | 63.756 | 0,19 |

10.3. Conclusiones.

Si comparamos visualmente los dos mapas temáticos podemos observar que en la Zona Norte se han cometido más errores de interpretación que en la Zona Sur. Esto era de esperar ya que hay que recordar que el modelo digital de elevaciones de la Zona Sur ha sido obtenido a partir de un vuelo planificado con una densidad de 8 puntos/m², mientras que los datos LiDAR del PNOA fueron adquiridos con una densidad de 0,5 puntos/m². Esta falta de información deriva en un modelo digital más suave, con interpolaciones donde hay falta de información, lo que provoca una mayor homogeneidad entre los valores digitales de los píxeles que forman el modelo ráster y que no son más que una representación de los datos altimétricos. Al aplicar un valor pequeño al parámetro escala, el operador que procesa la segmentación cometerá más errores de interpretación de objetos en una zona homogénea que en una zona heterogénea.

La baja densidad de puntos LiDAR en la Zona Norte, unida a la propia morfología del terreno con cultivos leñosos en su mayoría de bajo porte, separados entre 6 y 10 metros, genera una segmentación con polígonos que tienen unos valores promedio de altura muy uniformes que hacen difícil su clasificación.

Podríamos valorar la clasificación por medio del cálculo de la matriz de confusión. El método ya ha sido detallado en el apartado 8.5., por lo que se ha considerado que repetir el procedimiento resultaría excesivamente redundante.

Capítulo 11

DELIMITACIÓN DE COPAS A PARTIR DE LA INTEGRACIÓN DE DATOS LIDAR Y DATOS MULTIESPECTRALES.

11.1. Objetivos.

Hasta ahora hemos trabajado exclusivamente con series de datos LiDAR y hemos comprobado que, cuando tratamos de realizar segmentaciones a nivel de copa, nos encontramos con algunas limitaciones, especialmente en la Zona Norte donde hay una menor cantidad de información.⁽³⁹⁾

Una densidad media de 0,5 puntos/m² puede resultar suficiente para la gestión de ecosistemas forestales a nivel de rodal, pero para la detección, segmentación y modelado de las copas de los árboles son necesarias densidades mayores a 1 punto/m². A esta escala es recomendable la ayuda de imágenes multiespectrales.

Podemos mejorar la precisión aplicando índices y ratios que permitan resaltar las características de la cobertura vegetal.

Estos índices se basan en la relación inversa que se produce entre los valores de reflectancia de la vegetación en las regiones del rojo (*R*) y del infrarrojo (*IR*) del espectro electromagnético.

La luz roja sufre una fuerte absorción por la clorofila, mientras que la radiación infrarroja es capaz de atravesar las capas más altas de la vegetación, siendo absorbida parcialmente por las capas inferiores y reflejada de nuevo por los tejidos del mesófilo de

(39) La densidad media del vuelo LiDAR es de 0,5 puntos/m².

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.

la hoja. Esto provoca una acusada diferencia entre ambos valores, proporcionando una medida de la importancia de la reflectancia de la vegetación.

Uno de los índices de vegetación más utilizados es el de la Diferencia Normalizada **NDVI** (*Normalized Difference Vegetation Index*) :

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

Este índice proporciona valores comprendidos entre -1 y 1 que caracterizan la cubierta de la siguiente forma:

- Los valores negativos corresponden a cubiertas con agua, debido a que ésta presenta una reflectancia superior en el *R* que en el *IR*.
- El suelo descubierto con vegetación rala presenta valores positivos pero cercanos a cero.
- Los valores positivos corresponden a zonas de vegetación.

En este capítulo vamos a integrar una imagen monobanda, formada con valores NDVI obtenidos al aplicar este índice a una imagen satélite multiespectral de la zona de estudio, con la imagen LiDAR existente, formando una única imagen de dos bandas (una LiDAR y otra NDVI).

11.2. Datos multiespectrales aportados.

La *Universidad Politécnica de Valencia* ha facilitado para este trabajo dos imágenes monobanda con valores NDVI, que cubren aproximadamente una superficie de 1300 x 1500 m² en cada zona de estudio.

Estas imágenes son fragmentos obtenidos mediante el procesamiento de una imagen original *QuickBird* tomada el 6 de julio de 2011.

Las imágenes QuickBird tienen un ancho de 16,5 Km, tanto en la banda pancromática como en las multiespectrales. Su resolución espacial y espectral se detalla en el cuadro siguiente:

| Imagen | Banda | Resolución espacial (m) | Resolución espectral (μm) |
|----------------|------------|-------------------------|--|
| Pancromática | Pan | 0,6 | 0,45 – 0,90 |
| Multiespectral | Azul | 2,4 | 0,45 – 0,52 |
| | Verde | 2,4 | 0,52 – 0,60 |
| | Rojo | 2,4 | 0,63 – 0,69 |
| | Infrarrojo | 2,4 | 0,76 – 0,90 |

Con el fin de mejorar la resolución espacial de la imagen multiespectral se ha realizado su fusión con la pancromática, previo registro y remuestreo con un tamaño de píxel de 0,6 m. A continuación se han ejecutado las operaciones entre bandas para generar la imagen NDVI.

Estas operaciones, junto con la de recorte en los dos fragmentos facilitados por la Universidad, fueron realizadas en el programa ENVI.

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.

Se ha comprobado que la imagen facilitada ha sido reverenciada en el sistema de coordenadas EPSG 32630 (Datum WGS-84 y proyección UTM 30 N).⁽⁴⁰⁾

Antes de integrar las imágenes NDVI aportadas deberemos transformarlas al sistema de referencia de nuestro trabajo: EPSG 25830, cambiar su resolución espacial al tamaño de 1 m/px y recortarlas para que tengan exactamente las mismas dimensiones que nuestras imágenes LiDAR.

11.2.1. Remuestreo y georreferenciación de la imagen NDVI.

Al cargar la imagen, el programa lanzará un mensaje advirtiendo que el sistema de referencia de la imagen que tratamos de cargar no coincide con el de nuestro trabajo.



Figura 183

(40) Las licencias disponibles de ENVI no llevan implementado el sistema ETRS-89 UTM 30N (EPSG: 25830).

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.

Al aceptar la advertencia, la imagen será reproyectada al vuelo y cargada como una capa en el TOC, pudiéndose observar las diferencias de georreferenciación.

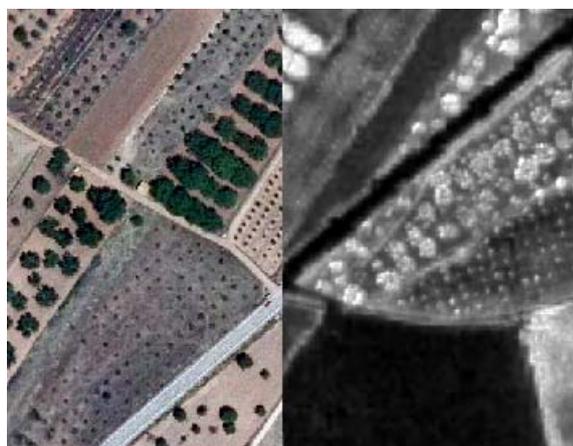


Fig. 184: Errores de georreferenciación

Pulsando con el botón derecho del ratón sobre la capa, accederemos a visualizar la información asociada al fichero ráster:

Layer Properties \ Source

| Property | Value |
|---------------------------|-----------------------------|
| Raster Information | |
| Columns and Rows | 2169, 2336 |
| Number of Bands | 1 |
| Cell Size (X, Y) | 0,6, 0,6 |
| Uncompressed Size | 19,33 MB |
| Format | ENVI |
| Source Type | Generic |
| Pixel Type | floating point |
| Pixel Depth | 32 Bit |
| NoData Value | |
| Spatial Reference | UTM_Zone_30N |
| Linear Unit | Meter (1,000000) |
| Angular Unit | Degree (0,0174532925199433) |
| False_Easting | 500000 |
| False_Northing | 0 |
| Central_Meridian | -3 |
| Scale_Factor | 0,9996 |
| Latitude_Of_Origin | 0 |
| Datum | D_WGS_1984 |
| Statistics | |

Fig. 185-186: Propiedades de la imagen NDVI.

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.

Observamos que efectivamente la imagen tiene una resolución espacial de 0,6 m/píxel (*Cell Size*) mientras que nosotros estamos realizando nuestro trabajo con tamaño de píxel de 1 m. Además comprobamos que el datum no se corresponde con el de nuestro trabajo.

Para cambiar el sistema de referencia y remuestrear la imagen ejecutamos:

System Toolboxes \ Data Management Tools \ Projections and Transformations \ Raster \ Project Raster

El programa abrirá la ventana de diálogo *Project Raster* en la que deberemos definir:

- El nombre del raster a transformar: *Input Raster*.
- El nombre del raster resultante de la transformación: *Output Raster Dataset*.
- El sistema de referencia de destino: *Output Coordinate System*.
- El sistema de transformación a aplicar (obligatorio si el datum de origen y el de destino no es el mismo): *Geographic Transformation*.
- El algoritmo de remuestreo: Resampling Technique. Las opciones disponibles son:
 - Nearest → Método del vecino más próximo (Nearest Neighbour). Este método consiste en asignar a cada píxel de la imagen corregida el nivel digital de píxel más próximo en la imagen original. Es el método más sencillo y no altera los valores originales de los píxeles, sólo los traslada. Su principal inconveniente radica en las distorsiones que introduce en rasgos lineales de la imagen.
 - Bilinear → Método de interpolación bilineal (Bilinear (Interpolation)). En este método el nivel digital transferido a la imagen corregida es el resultado de promediar los valores de los cuatro píxeles más cercanos a las coordenadas calculadas tras la transformación. Este promedio se pondera según la distancia del píxel original al corregido, de este modo tienen mayor influencia aquellos píxeles más cercanos. Con este método se

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.

reduce el efecto de distorsión en rasgos lineales pero difumina los contrastes espaciales creando un resultado más suavizado.

- Cubic → Método de convolución cúbica (Cubic Convolution). En este método se consideran los valores digitales de los 16 vecinos más próximos interpolando mediante el uso de polígonos de tercer orden. Es el que mejor efecto visual consigue y el que mejor se adapta a los datos reales por cuanto la media y la desviación típica de la imagen corregida se asemeja bastante a la original. Sin embargo, supone un volumen de cálculo mucho mayor con gran coste computacional.
- Majority → Método de remuestreo de mayoría que consiste en determinar el nuevo valor de la celda basándose en los valores más populares de la ventana de filtro

Las opciones *Bilinear* y *Cubic* son los más apropiados para los datos continuos, pero pueden alterar los valores de las celdas, mientras que las opciones *Nearest* y *Majority* se utilizan para los datos discretos. El método *Nearest* es la opción por defecto, por ser el más rápido y porque no modifica los valores de los píxeles, de modo que será el método que emplearemos.

- La resolución espacial del ráster resultante: *Output Cell Size*. Los números de filas y columnas en el ráster de salida están determinados de la siguiente manera:

$$n^{\circ} \text{ de columnas} = \frac{(X_{max} - X_{min})}{\text{tamaño de celda}}, \quad n^{\circ} \text{ de filas} = \frac{(Y_{max} - Y_{min})}{\text{tamaño de celda}}$$

Si queda algún resto en las ecuaciones anteriores se realiza un redondeo.

- Las coordenadas X e Y usadas para la alineación de píxeles: *Registration Point*. Esta opción permite especificar un punto de origen para el anclaje de las celdas resultantes distinto al pre-establecido. Por defecto, la esquina inferior izquierda del dataset ráster de salida tendrá la misma ubicación que la esquina inferior izquierda del dataset ráster de entrada.

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.

Después de realizar todo el proceso de transformación se ha podido comprobar que existe un fallo en la georreferenciación de la imagen *QuickBird* suministrada, ya que al superponerla sobre la ortofoto o sobre el ráster LiDAR, se ha apreciado un desplazamiento sistemático de unos 8 metros hacia el oeste y unos 15 metros hacia el norte. Dado que no hemos sido nosotros los que hemos procesado la imagen, desconocemos la causa de este error.

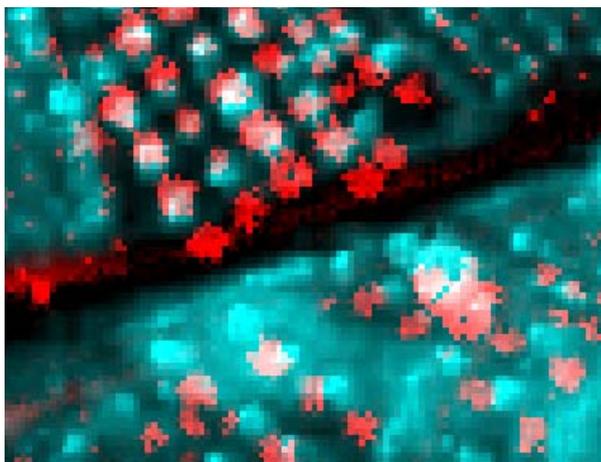


Fig.187: Desplazamiento de la imagen NDVI respecto de la imagen MDV

La solución pasa por georreferenciar de nuevo la imagen mediante el uso de puntos de apoyo que podemos identificar en la propia imagen suministrada y en la ortofoto. Para ello, haremos uso del conjunto de herramientas *Georeferencing* implementado en *ArcGIS*. Con 4-6 puntos de apoyo sería suficiente, ya que la imagen suministrada está adaptada al sistema WGS84 y se supone que las distorsiones de la propia imagen ya han sido corregidas, por lo que solo necesitamos una transformación afín para desplazar la imagen de forma correcta.

11.2.2. Georreferenciación mediante puntos de control.

Para corregir los errores de georreferenciación de las imágenes NDVI debemos georreferenciarlas de nuevo por medio de puntos de control que identificaremos en una imagen de referencia: la ortofoto y en la imagen a corregir.

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multispectrales.

Para georreferenciar una imagen ráster con respecto a otra debemos activar en *ArcGIS* el módulo *Georeferencing*:

Customize \ Toolbars \ Georeferencing



Figura 188

Al activarlo aparecerá la barra de herramientas *Georeferencing* que en un principio aparecía con todas sus funciones inactivas y que podemos anclar, arrastrándola sobre el menú principal, para utilizarla en otros trabajos.



Fig. 189

En primer lugar debemos cargar en el *TOC* la imagen de referencia, que en nuestro caso será el fragmento de la ortofoto correspondiente. La primera capa cargada define el sistema de coordenadas del marco de datos que en nuestro caso es EPSG 25830.

Antes de cargar la Imagen NDVI a corregir, debemos tener presente que las capas a cargar en la barra de herramientas *Georeferencing* debe estar en el mismo sistema de coordenadas que el marco de datos o no tener una referencia espacial definida. Sin embargo, los fragmentos NDVI suministrados llevan definido el sistema de referencia EPSG 32630.

Si intentamos cargar la imagen, el sistema nos advertirá que se encuentra en un sistema de referencia distinto al definido en nuestro marco de datos y realizará una reproyección al vuelo que permitirá visualizar la capa mostrando los datos almacenados en una proyección como si estuvieran en otra proyección, pero no permitirá cargarla en la lista de capas de la barra de herramientas *Georeferencing*.

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multispectrales.

Si el archivo ráster está en una geodatabase, la información de georeferenciación de la imagen se escribe internamente; pero si el ráster está basado en archivo, existirá un archivo ASCII del mismo nombre que el dataset ráster y con diferente extensión, que contiene la información del sistema de referencia asociado.

En nuestro caso el dataset ráster suministrado consta de cuatro archivos con el mismo nombre y diferente extensión:

**.img* → es el formato de imagen de ENVI. Se trata de un simple archivo binario plano al que se asocia un fichero ASCII de cabecera,

**.hdr* → es el archivo ASCII de cabecera de ENVI. Contiene la información necesaria para leer el archivo de imagen, como fecha de adquisición, formato de almacenamiento de datos (BSQ, BIP o BIL), tamaño de celda, número de filas y columnas, sistema de referencia, ...

**.ovr* → es un archivo de vista general que sirve para almacenar las capas de pirámide para un dataset ráster. Las pirámides se utilizan para mejorar el rendimiento y acelerar la visualización de los datos ráster.

**.aux.xml* → es un archivo auxiliar que almacena cualquier información auxiliar que no se puede almacenar en el propio ráster.

Los dataset ráster procedentes de ENVI incluyen la información de georeferenciación en los campos *map info* y *coordinate system string* del archivo de cabecera **.hdr*. Esta información deberá ser eliminada para poder hacer uso de las herramientas *Georeferencing*.

Para eliminar esta información editaremos el archivo **.hdr* con un editor de texto, eliminaremos el contenido de los campos y, a continuación, guardaremos el archivo. Previamente, para no perder la información de los archivos originales, convendría copiarlos y renombrarlos en otra carpeta.

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multispectrales.

```
NDV-n.hdr
1 ENVI
2 description = {
3   File Resize Result, x resize factor: 1.000000, y resize factor: 1.000000.
4   [Thu Jul 16 12:24:12 2015]}
5 samples = 2168
6 lines = 2669
7 bands = 1
8 header offset = 0
9 file type = ENVI Standard
10 data type = 4
11 interleave = bsg
12 sensor type = Unknown
13 byte order = 0
14 x start = 274
15 y start = 4116
16 map info = {UTM, 1.000, 1.000, 702499.800, 4423800.600, 6.000000000000e-001, 6.000000000000e-001, 30, North, WGS-84, units=Meters}
17 coordinate system string = {PROJCS["UTM_Zone_30N",GEOGCS["GCS_WGS_1984",DATUM["D_WGS_1984",SPHEROID["WGS_1984",6378137.0,298.257
18 wavelength units = Unknown
19 band names = {
20 Resize (NDVI (11JUL06102817-FUSION):11JUL06102817-NDVI)
```

Figura 190

Realizada esta operación podemos cargar el fragmento de la imagen NDVI a corregir. Al hacerlo, aparecerá un mensaje de advertencia indicando que la imagen carece de información espacial.

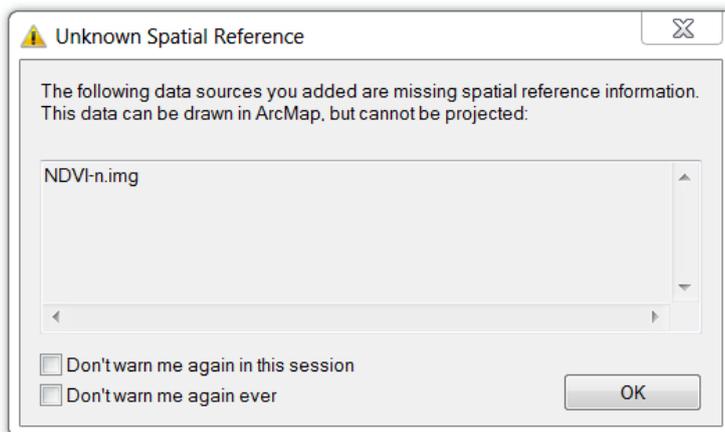


Figura 191

Cerraremos la ventana de aviso aceptando la advertencia.

El siguiente paso consiste en identificar la imagen a corregir en la barra de herramientas *Georeferencing*, que ya habrá sido activada



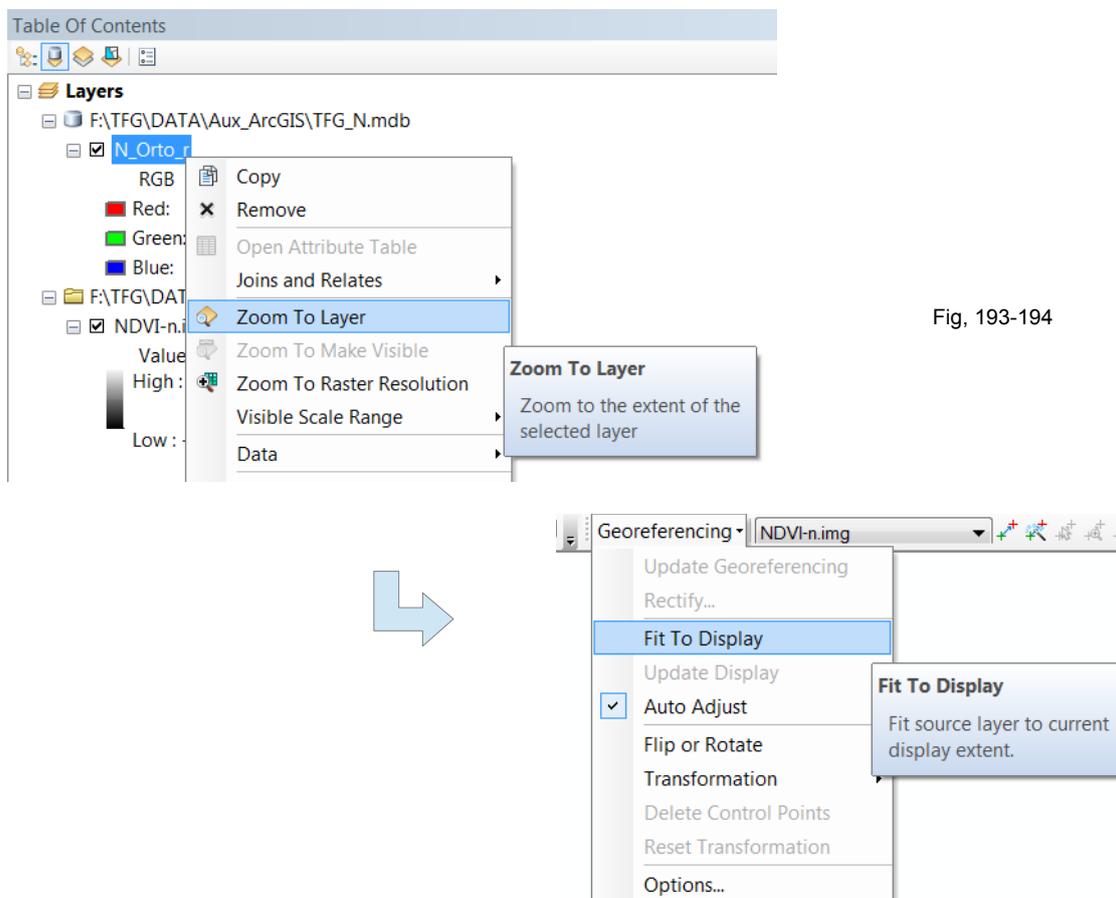
Figura 192

Lo normal es que ambas capas tengan coordenadas muy diferentes, por lo que será difícil que las veamos en el mismo marco de visualización. Para ayudarnos a visualizarlos conjuntamente podemos utilizar la opción *Fit To Display*, de entre las diferentes opciones

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multispectrales.

que nos ofrece el menú desplegable de *Georeferencing*. Este comando convierte el ráster al área de extensión de visualización activa. Para ejecutar la orden correctamente, situaremos como área de visualización actual la de la imagen de referencia con información espacial, ejecutando *Zoom To Layer* con el botón derecho del ratón sobre la capa correspondiente del *TOC* y, posteriormente, ejecutaremos

Georeferencing \ Fit To Display



Fig, 193-194

La imagen a corregir se trasladará al mismo marco de visualización sin escala (ver figura 195).

Si hacemos click sobre el botón *Viewer*  en la barra de herramientas de georreferenciación, se abrirá una nueva ventana visor llamada *Image Viewer* que muestra el ráster que estamos tratando de georreferenciar.

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.

En la ventana visor pulsaremos el botón *Reposition*  para que las dos ventanas queden automáticamente del mismo tamaño. Opcionalmente podremos cambiar el tamaño de las ventanas manualmente.

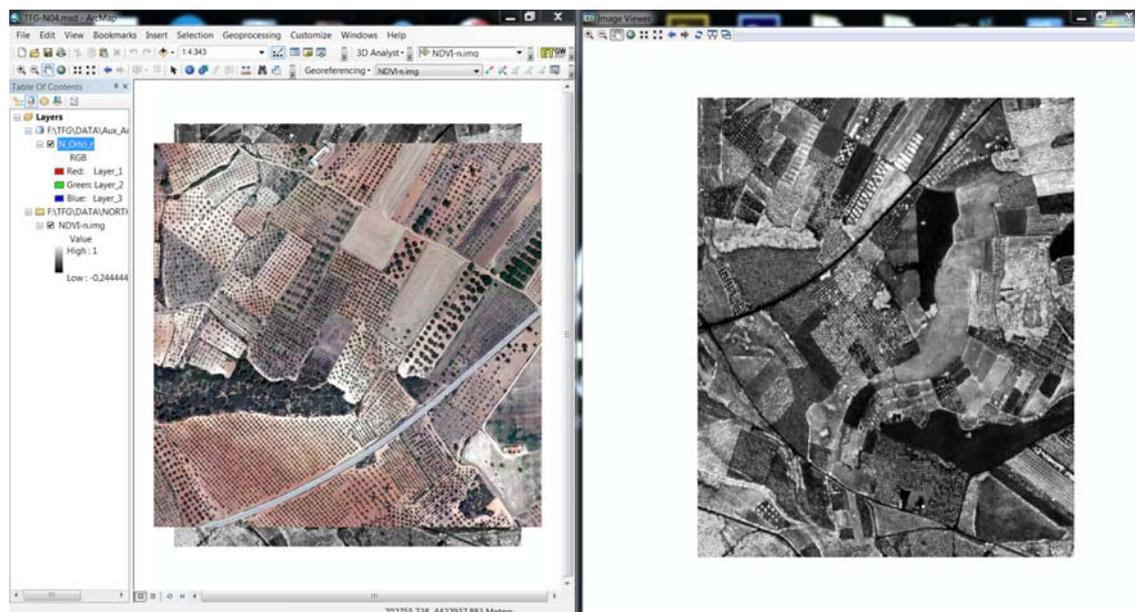


Figura 195

Para comenzar a introducir puntos de control pulsaremos el botón *Add Control Points* . Marcaremos primero el punto en la imagen a corregir y a continuación identificaremos e introduciremos su homólogo en la imagen de referencia.

Si en el menú desplegable de *Georeferencing* tenemos activada la opción *Auto Adjust*, cada vez que incorporemos un punto *ArcGIS* realizará la transformación en tiempo real y nos permitirá ir seleccionando los siguientes puntos de control con mayor facilidad.

Una vez hayamos introducido algunos puntos, podemos pulsar en la ventana visor el botón *Link To Main Display*  con el que ambas ventanas usarán el mismo marco de visualización, facilitando la búsqueda de nuevos puntos homólogos.

Las coordenadas de los puntos de control se recogen en una tabla que podremos visualizar pulsando el botón *View Link Table* . Desde aquí controlaremos los errores

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.

residuales de cada punto y borraremos aquellos puntos que puedan haber sido tomados erróneamente o que disparen el error medio cuadrático total (RMS).

Para la Zona Norte y para la Zona Sur ha sido suficiente con localizar cuatro puntos de apoyo y realizar una transformación afín.

| Link | X Source | Y Source | X Map | Y Map | Residual_x | Residual_y | Residual |
|------|-------------|--------------|---------------|---------------|------------|------------|----------|
| 1 | 722,260393 | -1227,705799 | 702936,676... | 4423058,77... | 0,149625 | 0,0748124 | 0,167286 |
| 2 | 627,178679 | -2112,949841 | 702879,597... | 4422527,49... | -0,149653 | -0,0748265 | 0,167317 |
| 3 | 1338,758563 | -2140,547572 | 703306,967... | 4422510,95... | 0,170021 | 0,0850105 | 0,190089 |
| 4 | 1422,565541 | -1361,375959 | 703356,674... | 4422978,27... | -0,169993 | -0,0849965 | 0,190058 |

Fig.196: Transformación afín para la Zona Norte.

| Link | X Source | Y Source | X Map | Y Map | Residual_x | Residual_y | Residual |
|------|-------------|--------------|---------------|---------------|------------|------------|----------|
| 1 | 1049,426715 | -462,135627 | 704239,738... | 4421104,76... | 0,0278767 | 0,170071 | 0,17234 |
| 2 | 122,942297 | -861,352852 | 703684,003... | 4420862,71... | -0,0422218 | -0,257588 | 0,261025 |
| 3 | 309,627045 | -1792,571774 | 703796,011... | 4420302,24... | 0,0352388 | 0,214985 | 0,217854 |
| 4 | 1673,929968 | -1899,279726 | 704614,180... | 4420239,14... | -0,0208937 | -0,127469 | 0,12917 |

Fig.197: Transformación afín para la Zona Sur.

Si estamos conformes con la transformación podemos almacenarla de dos formas:

- En un fichero auxiliar que se almacenará con el mismo nombre que el archivo corregido y la extensión *.aux, para lo cual ejecutaremos en la barra de herramientas:

Georeferencing \ Update Display

De esta forma, el fichero original seguirá siendo el mismo y, cada vez que ArcMap trate de visualizarlo, realizará automáticamente una transformación para ajustar la geometría.

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multispectrales.

- Creando otro archivo ráster con la geometría transformada ejecutando

Georeferencing \ Rectify

Para poder exportar el archivo a *InterIMAGE* deberemos elegir la segunda opción.

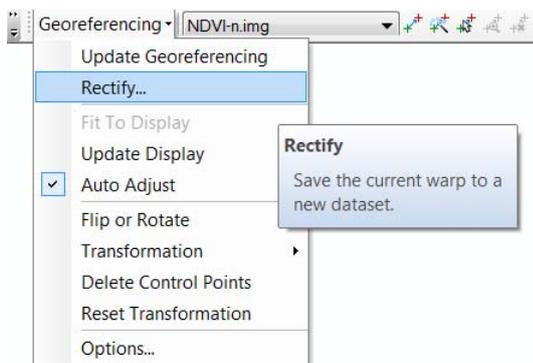


Figura 198

En el cuadro de diálogo emergente modificaremos el tamaño de celda a 1 m, asignaremos el método de remuestreo por defecto *Nearest Neighbor* e introduciremos la ruta y el nombre del archivo ráster de salida.

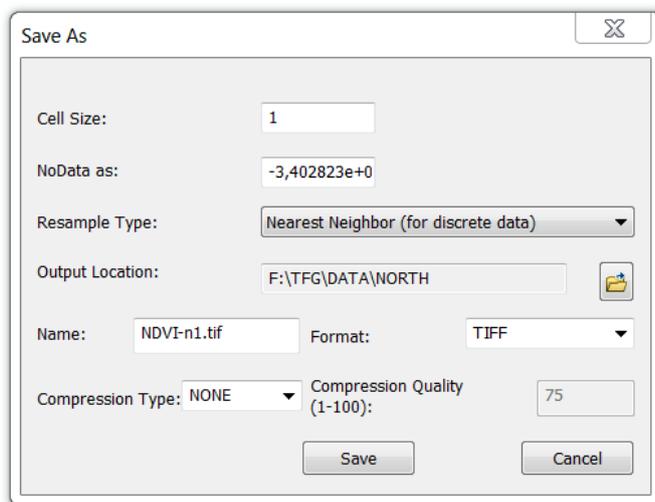


Figura 199

Si cargamos la imagen generada en el TOC y visualizamos las propiedades de la nueva imagen, comprobaremos que efectivamente su resolución espacial es de 1 metro y el sistema de coordenadas asociado es EPSG 25830.

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.

| | | | |
|---------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Data Source | | Spatial Reference | |
| Raster | NDVI-n1.tif | Linear Unit | Meter (1,000000) |
| Data Type | File System Raster | Angular Unit | Degree (0,0174532925199433) |
| Folder | F:\TFG\DATA\NORTH\ | false_easting | 500000 |
| Raster Information | | false_northing | 0 |
| Columns and Rows | 1302, 1602 | central_meridian | -3 |
| Number of Bands | 1 | scale_factor | 0,9996 |
| Cell Size (X, Y) | 1, 1 | latitude_of_origin | 0 |
| Uncompressed Size | 7,96 MB | Datum | D_ETRS_1989 |
| Format | TIFF | | |

Figuras 200-201

11.2.3. Recorte y ajuste de la imagen.

El paso siguiente es el de recortar la imagen obtenida de forma que coincida exactamente en número de filas y columnas con el ráster LiDAR correspondiente.

Cargamos en el TOC la imagen LiDAR y ejecutamos:

System Toolboxes \ Data Management Tools.tbx \ Raster \ Raster Processing \ Clip

En la ventana de diálogo *Clip* introduciremos el nombre del archivo a recortar (*Input Raster*), la ruta y el nombre del archivo de salida (*Output Raster Dataset*) y, opcionalmente, podemos introducir un archivo ráster o vectorial (*Output Extent*), cuyas dimensiones servirán como referencia de recorte sin necesidad de introducir las coordenadas de forma manual.

Para asegurarnos que el archivo resultante (el ráster NDVI recortado) y el de referencia (el ráster LiDAR) tienen sus celdas correctamente alineadas, deberemos configurar la extensión del procesamiento (*Processing Extent*) a la que accederemos pulsando el botón *Environments Settings*. En el apartado *Snap Raster* seleccionaremos el nombre del archivo de referencia con el que queremos que queden alineados los píxeles resultantes del proceso de recorte.

La extensión *alinear ráster (Snap Raster)* pretende ajustar la extensión para que las celdas del ráster de salida se alineen con las del ráster de alineación, de forma que la esquina inferior izquierda de la extensión dada se mueva a la esquina más cercana de la celda del ráster de alineación, de tal modo que la nueva esquina inferior izquierda esté fuera de la extensión dada. Si la esquina inferior izquierda de la extensión dada ya

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.

coincide con una esquina de celda del ráster de alineación, no se realizará ningún ajuste. La esquina superior derecha de la extensión dada se mueve a la esquina más cercana de la celda del ráster de alineación, de tal modo que la nueva esquina superior derecha estará fuera de la extensión dada. Si, como es el caso, el tamaño de celda del ráster de salida es el mismo que el del ráster de alineación, la esquina superior derecha terminará coincidiendo con una esquina de celda del ráster de alineación.

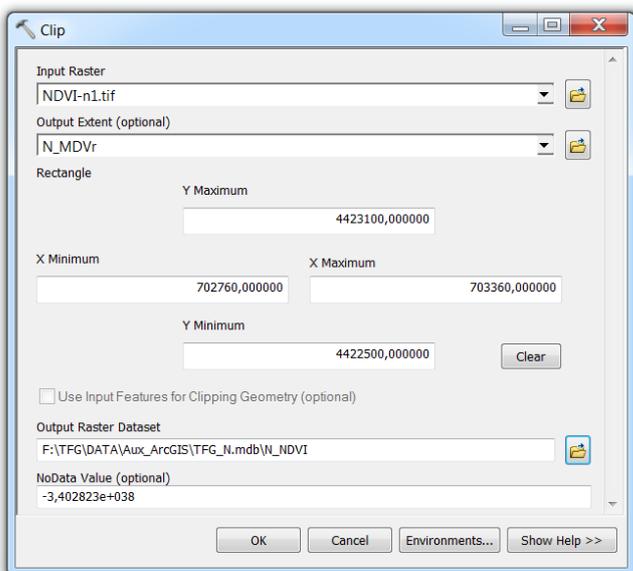
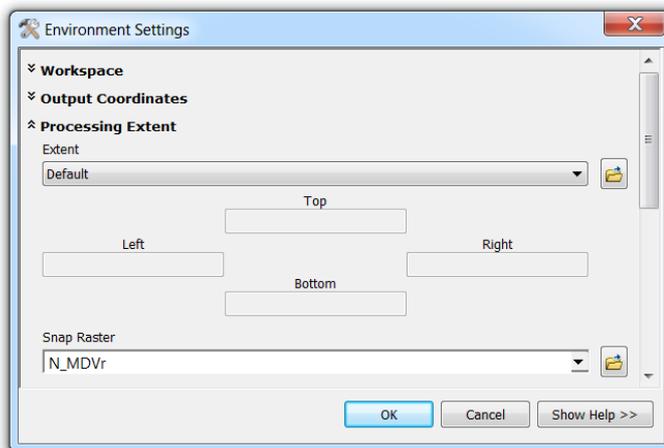


Fig. 202-203



Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.

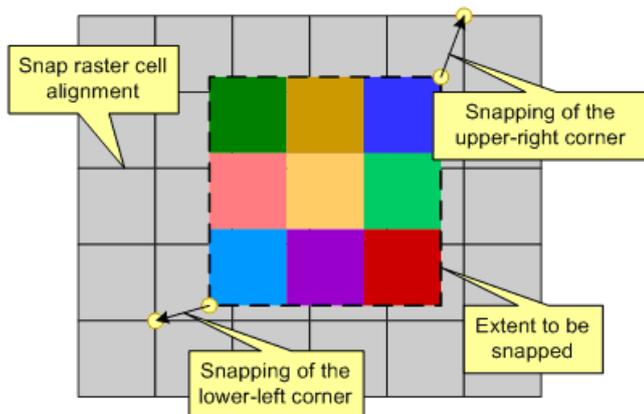


Fig. 204: Extender para realizar la alineación (Manual de ayuda de ArcGIS 10.1)

Por lo general, la alineación resulta en una extensión de salida más grande que la extensión dada. El ráster de salida puede terminar con una fila o columna adicional, o ambas, como se muestra en la figura. El valor de celda en el ráster de salida depende de dónde cae el centro de la celda sobre el ráster de entrada.

Si abrimos las propiedades del ráster resultante de la transformación, comprobamos que aunque está correctamente alineado con el ráster LiDAR, posee dos filas y dos columnas de más.

| Property | Value |
|---------------------------|---------------------|
| Raster Information | |
| Columns and Rows | 602, 602 |
| Number of Bands | 1 |
| Cell Size (X, Y) | 1, 1 |
| Uncompressed Size | 1,38 MB |
| Format | IMAGINE Image |
| Source Type | Generic |
| Pixel Type | floating point |
| Pixel Depth | 32 Bit |
| NoData Value | -3,40282306074e+038 |

Figura 205

Observamos que la extensión de procesamiento ha añadido una fila y una columna en cada margen (fig. 205 y 206)

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.



Fig. 206

Para corregirlo deberemos aplicar de nuevo la orden *Clip* corrigiendo las coordenadas del rectángulo de recorte. El resultado será una imagen con el mismo número de filas y columnas que el ráster LiDAR

| | |
|--|-----------------------------|
| <input type="checkbox"/> Raster Information | |
| Columns and Rows | 600, 600 |
| Number of Bands | 1 |
| Cell Size (X, Y) | 1, 1 |
| <input type="checkbox"/> Extent | |
| Top | 4423100 |
| Left | 702760 |
| Right | 703360 |
| Bottom | 4422500 |
| <input type="checkbox"/> Spatial Reference | |
| | NUTM30 |
| Linear Unit | Meter (1,000000) |
| Angular Unit | Degree (0,0174532925199433) |
| false_easting | 500000 |
| false_northing | 0 |
| central_meridian | -3 |
| scale_factor | 0,9996 |
| latitude_of_origin | 0 |
| Datum | D_ETRS_1989 |

Fig. 207

11.2.4. Composición de bandas.

Una vez hemos conseguido registrar especialmente de forma correcta el fragmento de la imagen NDVI, solo nos queda integrarla en un único archivo de imagen con los datos LiDAR.

Para crear un único dataset raster de múltiples bandas a partir de varios ficheros ráster monobanda debemos ejecutar:

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.

System Toolboxes \ Data Management Tools.tbx \ Raster \ Raster Processing \
Composite Bands

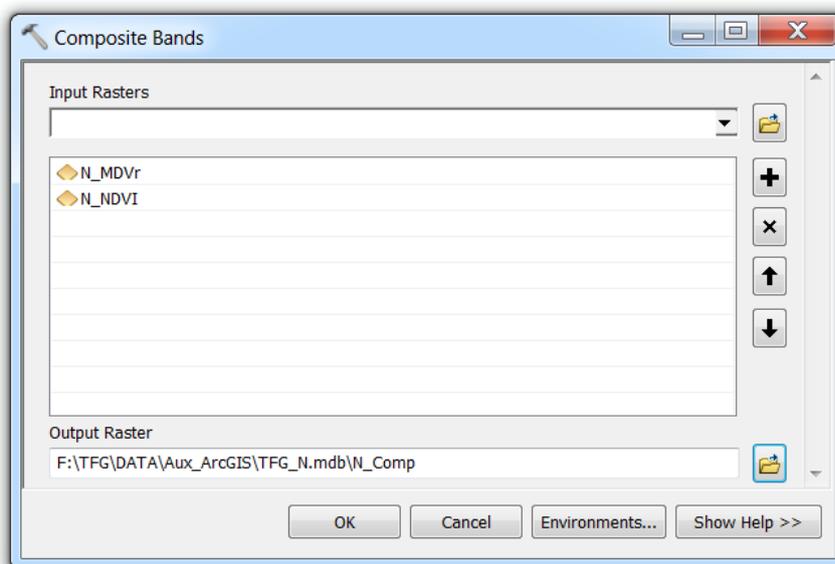


Figura 208

Al añadir los dos archivos obtendremos un dataset ráster formado por dos bandas

| Raster Information | |
|--------------------|----------|
| Columns and Rows | 600, 600 |
| Number of Bands | 2 |
| Cell Size (X, Y) | 1, 1 |
| Uncompressed Size | 2,75 MB |

Fig. 208

En la banda 1 hemos introducido los datos LiDAR, mientras que la banda 2 será la que integre los valores NDVI.

Finalmente deberemos exportar la imagen en formato TIFF para su procesamiento en *InterIMAGE*.

11.3. Delimitación de copas.

11.3.1. Extracción de características NDVI.

Usando los mismos polígonos de muestra que utilizamos en el apartado 9.1 para extraer la altura media de las copas del dosel arbóreo, podemos extraer los valores medios del índice NDVI que nos ayudarán a la identificación del arbolado. Los resultados obtenidos se muestran a continuación junto con los valores de alturas que ya habíamos obtenido en dicho apartado.

| ZONA NORTE | Nº muestras | NDVI promedio | Altura promedio |
|------------------|-------------|---------------|-----------------|
| Total muestra | 157 | 0,35 | 1,30 |
| Arboles monte | 14 | 0,50 | 3,73 |
| Arboles frutales | 143 | 0,33 | 1,06 |

| ZONA SUR | Nº muestras | NDVI promedio | Altura promedio |
|------------------|-------------|---------------|-----------------|
| Total muestra | 134 | 0,39 | 4,33 |
| Arboles monte | 36 | 0,46 | 10,56 |
| Arboles frutales | 98 | 0,37 | 2,04 |

A partir de las características extraídas y en función de los objetivos buscados, elegiremos las reglas de decisión.

A fin de comparar resultados, vamos a utilizar los mismos criterios que utilizamos en la última segmentación del apartado 9.3, pero con la diferencia de integración de los valores NDVI.

Vamos pues a rechazar como árbol a todos aquellos objetos que tengan una altura inferior a 1,06 m y un valor NDVI inferior a 0,33.

11.3.2. Segmentación.

En primer lugar crearemos el nodo *Segmentation*, que realizará una segmentación fina de la imagen inicial, de forma que, al obtener objetos más pequeños, habrá mayor heterogeneidad y, por lo tanto, será más fácil discriminar aquellos objetos que no cumplan la doble condición impuesta.

Sobre el nodo *Segmentation* aplicaremos el operador *TopDown TA_Baatz_Segmenter* con los valores

$$sp=0,5 \quad , \quad w_{color.}=0,8 \quad , \quad w_{compact}=0,8$$

e indicando que la imagen consta de dos bandas a las que atribuiremos el mismo peso:

| TopDown | |
|-------------------------------------|--------|
| a) Input Image | N_Comp |
| a1) Input Bands (comma separated) | 0,1 |
| a2) Input Weights (comma separated) | 1,1 |
| b) Compactness Weight | 0.8 |
| c) Color Weight | 0.8 |
| d) Scale Parameter | 0.5 |
| e) Use Optimization | no |
| f) Reliability | 0.2 |
| g) Euclidean Distance Threshold | 20 |

Fig. 209

Añadiremos ahora las reglas de decisión *top-down* a la segmentación obtenida.

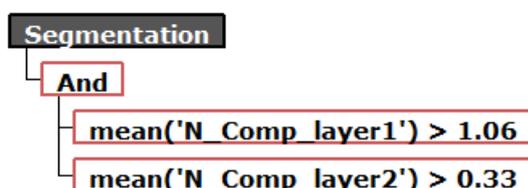


Fig. 210

Al aplicar las reglas de decisión activaremos la opción *Merge All*.

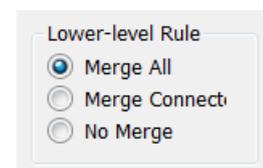


Fig. 211

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.

Los objetos obtenidos de la segmentación no son útiles para extraer características como perímetro de copa o altura media, ya que su pequeño tamaño no se ajusta a la realidad de la dimensión de copa. Aplicando la condición *Merge All* estamos uniendo los objetos validados con el fin de aplicar una post-segmentación que se adecúe más a la realidad del objeto.

Para realizar la post-segmentación, añadimos el hijo *Crown* y le aplicamos el operador *TopDown TA_Baatz_Segmenter* con el mismo atributo de escala definido en el capítulo 9 para la identificación de copas:

$$sp=3 \text{ , } w_{color.}=0,9 \text{ , } w_{cmpct}=0,9$$

| TopDown | |
|-------------------------------------|--------|
| a) Input Image | N_Comp |
| a1) Input Bands (comma separated) | 0,1 |
| a2) Input Weights (comma separated) | 1,1 |
| b) Compactness Weight | 0.9 |
| c) Color Weight | 0.9 |
| d) Scale Parameter | 3 |
| e) Use Optimization | no |
| f) Reliability | 0.2 |
| g) Euclidean Distance Threshold | 20 |

Fig. 212

Si deseamos extraer las características de perímetro de copa y promedio de altura, añadimos al nodo *Crown* las reglas de expresión:

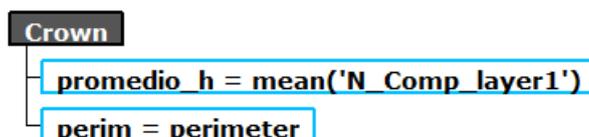


Fig. 213

Guardamos y ejecutamos.

Finalmente exportamos el resultado como shapefile, incorporando las características mencionadas (fig. 213) a la tabla de atributos asociada, y lo integramos en la geodatabase de ArcGIS.

11.3.3. Interpretación y valoración de resultados.

- ZONA NORTE



Fig. 214: Resultados Zona Norte

Se han detectado 5563 copas que ocupan una superficie de 27.821m², con las siguientes características:

| | Max. | Min. | MEDIA |
|------------|-------|------|-------|
| Superficie | 89,00 | 1,00 | 5,00 |
| Perímetro | 68,00 | 4,00 | 9,14 |
| Altura | 13,95 | 1,00 | 5,58 |

- **ZONA SUR**



Fig. 214: Resultados Zona Norte

Se han detectado 12.004 unidades de copa que ocupan una superficie total de 114.409m², con las siguientes características:

| | Max. | Min. | MEDIA |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| Superficie | 99,00 | 1,00 | 9,53 |
| Perímetro | 72,00 | 4,00 | 14,26 |
| Altura | 20,69 | 1,06 | 4,18 |

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.

Si comparamos los resultados obtenidos con los del capítulo 9, podemos comprobar que algunos objetos que cumplían los rangos de altura, como es el caso de algunas edificaciones, habían sido identificados como copas de árboles sin serlo. Gracias a la integración de la información espectral estos errores han sido corregidos.

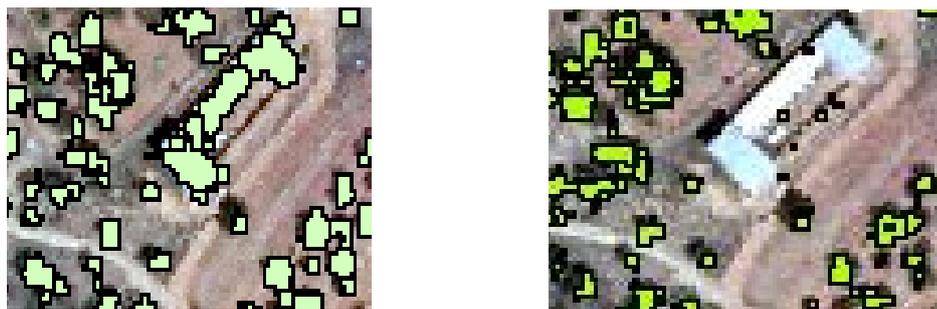


Fig. 214-215: Detalle en Zona Norte.

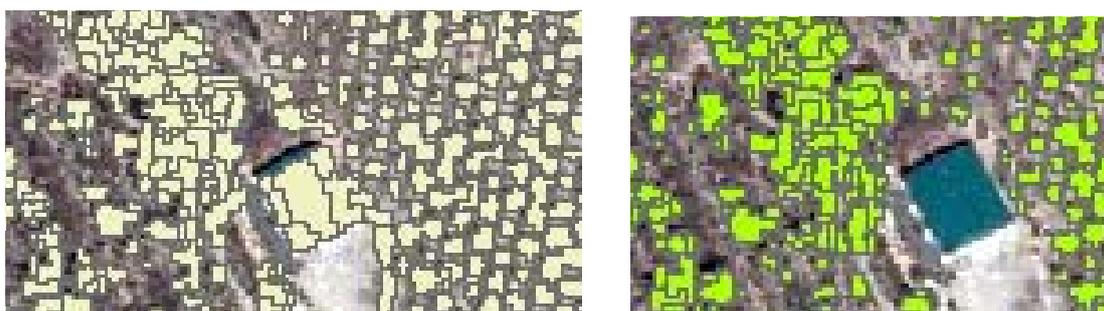


Fig. 215-216: Detalle en Zona Sur.

Para evaluar los resultados obtenidos seguiremos los pasos descritos en el apartado 8.5 para la evaluación de rodales. Ahora las muestras verdad terreno son los árboles digitalizados (aptdo. 9.1):

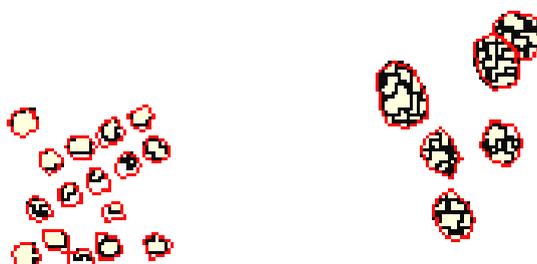


Fig. 217: Recorte de la segmentación con las muestras verdad terreno

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.

Para evaluar la segmentación consideraremos dos características. Por un lado realizaremos un conteo manual de todos aquellos árboles verdad terreno que contienen algún objeto resultante de la segmentación. Por otro, consideraremos qué superficie de las muestras ocupa el resultado de la segmentación. Ambas características no guardan ninguna relación, por lo que, al ser independientes, no existen errores por exceso⁽⁴¹⁾. Así pues, no debemos considerar los valores periféricos de la matriz de errores y por tanto no utilizaremos el índice kappa.

Los resultados obtenidos son:

- **ZONA NORTE**

| Evalua. Segment. | Nº Árboles | Sup. Árboles | TOTAL |
|----------------------|------------|-----------------|---------|
| Nº Árboles | 120,00 | | 120,00 |
| Sup. Árboles | | 1278,12 | 1278,12 |
| TOTAL | 157,00 | 3503,18 | 3660,18 |
| Fiabilidad Productor | 76,43% | 36,48% | |
| Fiabilidad global: | | 38,20% | |

- **ZONA SUR**

| Evalua. Segment. | Nº Árboles | Sup. Árboles | TOTAL |
|----------------------|------------|-----------------|---------|
| Nº Árboles | 129,00 | | 129,00 |
| Sup. Árboles | | 2990,38 | 2990,38 |
| TOTAL | 134,00 | 3953,18 | 4087,18 |
| Fiabilidad Productor | 96,27% | 75,64% | |
| Fiabilidad global: | | 76,32% | |

(41) Al evaluarse una única clase, la probabilidad del usuario será del 100%.

Capítulo 11 – Delimitación de copas a partir de la integración de datos LiDAR y datos multiespectrales.

Observamos que las fiabilidades obtenidas en la Zona Sur son muy superiores a la de la Zona Norte. Esto se debe, no sólo a la diferencia entre densidades de puntos LiDAR, sino también a las diferencias de fechas de toma de datos: Mientras que la ortofotografía (2012) sobre la que se han tomado las muestras de entrenamiento y evaluación, y las fechas de toma de la imagen multiespectral (2011) y del vuelo LiDAR de la Zona Sur (2012), son relativamente próximas, el vuelo LiDAR-PNOA de la Zona Norte fue tomado 2 ó 3 años antes (2009). Durante este periodo de tiempo es posible que muchos plantones de frutales fueran demasiado jóvenes en el momento de la toma de datos y no cumplan la condición de altura para su identificación en la Zona Norte.

Hay que tener también en cuenta, que se ha tratado de hacer una identificación grosera sin diferenciar entre los distintos tipos de árboles. Para optimizar resultados, deberíamos realizar una separación por tipos de árbol, según las características que hemos extraído anteriormente. Es decir, deberíamos aplicar reglas de segmentación para cada clase de árbol.

Para realizar estos trabajos deberíamos reducir aún más la escala de estudio, ya que, conforme añadimos más reglas, mayor es el coste de procesamiento.

Considerando que los trabajos realizados cumplen los objetivos establecidos al inicio de este proyecto, que no son otros que conocer los algoritmos de segmentación a partir de la información procedente de fuentes de datos LiDAR y su integración con imágenes multiespectrales, se puede dar por concluido el presente trabajo.

Capítulo 12

CONCLUSIONES.

12.1. Conclusiones.

Como se comentó al inicio de este trabajo⁽⁴²⁾, el desarrollo de software libre para el manejo de datos LiDAR supone un acercamiento a los usuarios de SIG estándar y a la comunidad científica a esta nueva tecnología.

Los métodos de adquisición de datos LiDAR son cada vez más accesibles. La reciente liberalización de productos fotogramétricos del PNOA, con cobertura nacional y periódica, que incluyen los vuelos LiDAR de baja densidad (0,5 puntos/m²), se convierten en herramientas de bajo coste y elevado potencial para multitud de aplicaciones como la creación de mapas temáticos y extracción de características de la cubierta vegetal que hemos desarrollado a lo largo de este proyecto.

Las metodologías desarrolladas en este proyecto demuestran que los datos LiDAR-PNOA son una excelente fuente de información para la planificación y gestión de los montes a un nivel de escala regional. Además, la integración junto con imágenes multiespectrales supone una herramienta de apoyo fundamental en el campo de la teledetección.

Por el contrario, los datos LiDAR-PNOA de baja densidad resultan insuficientes para la clasificación a nivel de copas de árboles frutales en parcelas, haciéndose necesaria la integración de información multiespectral o, incluso la aplicación de técnicas de detección de bordes o análisis de texturas que sirvan como complemento a la clasificación orientada a objeto por el método de crecimiento de regiones.

(42) Ver apartado 2.2.

BIBLIOGRAFÍA

Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation.

Baatz, M.; Schäpe, A.

XII Angewandte Geographische Informationverarbeitung, Wichmann Verlag, Heidelberg, 2000.

Avaliação de Critérios de Heterogeneidade Baseados em Atributos Morfológicos para Segmentação de Imagens por Crescimento de Regiões.

Rodrigo Da Silva Ferreira, Gilson A. O. P. Costa, Raul Queiroz Feitosa.

BCG - Boletim de Ciências Geodésicas - On-Line version, ISSN 1982-2170

Classificação de Imagens de Sensoriamento Remoto Baseada em Objetos com Uso do Sistema InterIMAGE.

Gilson A. O. P. Costa (P.U.C. Rio)

Object-Based Image Analysis and Treaty Verification: New Approache in Remote Sensing – Applied to Nuclear Facilities in Iran.

Sven Nussbaum, Gunter Menz (2008 Springer Science+Busines Media B.V.)

Cálculo de variables de masa para Pinus sylvestris L. en Álava a partir de individualización de copas con datos LIDAR aerotransportado y datos del IFN4.

Valbuena Rabadán, M.A., Cantero Amiano, A., Santamaría Peña, J. y Sanz Adán, F.

6º Congreso Forestal Español, Vitoria-Gasteiz, 10-14 de junio de 2013. (6CFE01-442).

Cartografía de Vegetación en la Comunidad de Madrid utilizando información LiDAR del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).

Tomé Morán, J.L., Sanjuanbenito García, P. y Fernández Landa, A.

6º Congreso Forestal Español, Vitoria-Gasteiz, 10-14 de junio de 2013. (6CFE01-421).

Aplicaciones del tratamiento de datos LiDAR aéreo. Parte 1: Aplicaciones forestales.

Josep E. Pardo Pascual

Principios del láser escáner. Parte 1: Fundamento de la Adquisición de los Datos procedentes del LiDAR Aerotransportado.

Josep E. Pardo Pascual (Septiembre 2013)

Algoritmo para la estimación de la masa forestal, cálculo de características de árboles individuales partiendo de imágenes LiDAR.

Mª Pilar Palomino Palomino, Luis Garmendia Salvador, Francisco Mauro Gutiérrez, Alfonso Garmendia Salvador.

Jornadas Internacionales de Didáctica de las Matemáticas en Ingeniería.

Analicemos nuestro paisaje.

Aranda Edo, Agustín, Bayona Chulia, Jesús, Nevot Rozalen, Juan, Gimeno Paulo, Pedro José, Villalba Monte, Rafael, Angeles Sanchez, Rafael (2007).

Universidad de Mayores Jaime I de Castellón. Sede del Interior: Comarca del Alto Palancia

Detección y localización de árboles en áreas forestales empleando datos LiDAR e imágenes de alta resolución.

José Luis Gil Yepes

Trabajo final de carrera Ingeniería Geodésica y Cartográfica (UPV). Tutores: Luis Ángel Ruiz Fernández / Alfonso Fernández Sarría.

Clasificación Digital de Zonas Forestales usando datos LiDAR, ortofoto y análisis orientado a objetos.

Eduardo González Ferreiro / Laura Barreiro Fernández / David Miranda

Artículo Revista Ambient@.

Medir el bosque, comprender el paisaje. Cambios en el paisaje forestal vasco y nuevas herramientas del inventario forestal.

Alejandro Cantero Amiano. Fundación Hazi Fundazioa (2013). ISBN:978-84-695-7820-9.

www.hazi.es

InterIMAGE 1,41 User Guide

www.lvc.ele.puc-rio.br/projects/interimage

FUSION/LDV: Software for LiDAR data analysis and Visualization

Robert J. McGaughey (March 2014- Fusion Version 3.42)

Ayuda de ArcGIS 10,1

www.resources.arcgis.com/es/help